

**LES PRINCIPALES  
STATIONS TELEPHERIQUES  
DE MADAGASCAR**

**LES PRINCIPALES STATIONS TELEPHERIQUES  
de JAUGEAGE de MADAGASCAR**

---

**par M. ALDEGHERI, Chargé de Recherches ORSTOM,  
Chef du Service Hydrologique de l'Institut de  
Recherche Scientifique de Madagascar**

---

Avec des sources situées à des altitudes comprises entre 1.000 et 1.500 m et des cours ~~à~~ dont la longueur totale ne dépasse jamais 500 km, les rivières de Madagascar ont un profil en long très accentué et sont encore bien loin d'avoir atteint leur équilibre.

Même dans leur cours inférieur, les grands fleuves, BETSIBOKA et MANGOKY, conservent encore des pentes importantes de l'ordre de 50 cm à 1 m au Km.

Les caractéristiques du sol et de la végétation entraînent, lors des précipitations, un ruissellement très rapide.

Tous ces facteurs déterminent des crues brutales et de courte durée. Les vitesses du courant sont fortes et égalent facilement 4 et 5 m/seconde, même aux endroits où sont installées les stations de jaugeage.

Les mesures de débit, sont de ce fait difficiles à réaliser, souvent dangereuses à cause des arbres et débris divers charriés en grande quantité par la rivière.

Nous avons été obligés d'adopter pour les grands fleuves BETSIBOKA, IKOPA et MANGOKY, la solution de la station téléphérique de jaugeage. Ces installations coûteuses sont justifiées par l'ampleur des projets ayant pour base ces études :

Sur la BETSIBOKA et l'IKOPA, il serait possible d'aménager un ensemble de chutes qui pourraient produire annuellement 10 à 15 milliards de Kilowatt/heures.

La connaissance des débits du MANGOKY est nécessaire pour la mise en valeur agricole de la région deltaïque qu'il traverse avant de se jeter dans le Canal du Mozambique. Dans un premier stade 20 à 25.000 Ha seront utilisés pour la culture du coton par irrigation. Mais il doit être possible de trouver dans le delta 80 à 100.000 Ha de terrains favorables à cette production, et ces immenses surfaces demanderont de grandes quantités d'eau.

Il est bien évident que ces installations dont le prix de revient dans les conditions économiques actuelles atteint 1.000.000 Frs C.F.A. ne peuvent pas être généralisées à toutes les rivières. Les Hydrologues de Madagascar devront donc se contenter encore, dans la plupart des cas, du matériel léger pour mesurer les débits et faire souvent de réelles acrobaties pour tenter de mesurer les plus fortes crues.

## I - DISPOSITION DES STATIONS : A) IKOPA - BETSIBOKA

Nous groupons dans un même chapitre les deux stations de l'IKOPA et de la BETSIBOKA : elles sont situées dans deux régions très voisines et, de plus, le même matériel a été utilisé.

### a) Aperçu géographique

L'IKOPA et la BETSIBOKA prennent leur source sur les Hauts-Plateaux, dans la région de TANANARIVE.

Leur confluent se trouve un peu au Nord de MREVATANANA à une centaine de Km de la mer, dans une zone deltaïque et marécageuse.

Le relief des deux bassins est très comparable. Mais les pentes du Bassin de la BETSIBOKA sont légèrement plus fortes que celles du Bassin de l'IKOPA. La couverture végétale est la même : steppe sur les plateaux et les pentes, végétation arborée dans les fonds de vallée. Cependant, les crues de la BETSIBOKA sont plus rapides et plus violentes. L'IKOPA est un peu régularisée par la traversée de la plaine d'inondation de TANANARIVE.

Ces deux rivières drainent des Versants égaux respectivement à 11.800 et 18.550 km<sup>2</sup> aux stations d'AMBODIROKA et ANTSTRANA.

### b) Observations hydrologiques antérieures

Des échelles de crues ont été placées en 1948 à AMBODIROKA sur la BETSIBOKA et ANTSTRANA sur l'IKOPA.

Des mesures de débits ont été effectuées de 1948 à 1957 avec du matériel léger et un étalonnage assez précis avait été obtenu pour les basses et moyennes eaux, particulièrement à ANTSTRANA où la section au droit de l'échelle est relativement stable. A AMBODIROKA, aux difficultés dues aux vitesses plus élevées que sur l'IKOPA, vient s'ajouter une variation quasi permanente du profil en travers de la rivière rendant difficile le tracé d'une courbe d'étalonnage.

### c) Stations téléphériques

Pour mettre au point le projet d'aménagement hydro-électrique de ces deux fleuves il a été décidé de monter des stations de jaugeage par téléphériques afin de pouvoir mesurer en toute sécurité les débits les plus élevés.

Ces deux stations ont été mises en place en 1958. Leur installation a duré cinq mois depuis le début des travaux de terrassement jusqu'à la mise sous tension des câbles.

### Matériel utilisé

Le câble porteur est en acier fondu de 22 mm de diamètre. Il est constitué par une âme de 5 mm entourée par 18 brins de 4 mm. Il pèse 1,5 kg au m/linéaire. Sa résistance à la rupture est au moins égale à 25 tonnes (les chiffres exacts n'ont pas été fournis par le constructeur). Les câbles tracteurs ont un diamètre de 6 mm.

Les manoeuvres de translation et de descente du saumon sont effectuées avec des treuils doubles DONAU OTT, actionnés par une seule manivelle.

Le saumon est suspendu à un câble électroporteur de 3 m à un conducteur isolé.

Nous avons utilisé un saumon OTT de 100 kg à la station d'AMBODIROKA et de 50 kg à la station d'ANTSATRANA.

Les mesures de vitesses ont été effectuées avec un moulinet OTT type V ARKANSAS et un moulinet DUMAS NEYRPIC magnétique. Les tops sont comptés à l'aide d'un compteur à impulsion OTT type F 6 GARONNE.

### Implantation des stations

AMBODIROKA : La station est située à environ 800 m en aval des chutes, soit à 2 km du pont de la route TANANARIVE-MAJUNGA.

A cet endroit, le fond du lit ~~est~~ est très instable. Les plans d'eau sont contrôlés de ce fait par une échelle placée au droit des chutes dans une section à fond rocheux. Les berges sont escarpées et constituées en rive ~~gauche~~ par des roches altérées en surface mais solides en profondeur. En rive ~~gauche~~ la latérite compacte repose sur un socle rocheux situé à environ 15 m au-dessous du sol naturel.

Une plate-forme de 10 m x 10 m a été creusée au flanc de la berge.

Le dessin n° 1 montre le profil en travers au droit des ancrages. La vue d'ensemble de la station est donnée sur le plan n° 2.

Le massif rive droite a la forme d'un tronc de pyramide dont les dimensions sont les suivantes :

grande base :	2,20 x 3,50
petite base :	1,50 x 3,20
hauteur moyenne :	2 m

Il est ancré par l'intermédiaire de fers ronds de 30 scellés dans le socle rocheux.

Rive gauche, nous avons rencontré des roches relativement saines, et le massif n'a pas pu avoir une forme géométrique, ses dimensions moyennes sont les suivantes :

longueur perpendiculaire à l'axe de câble :	3,00 m
largeur moyenne :	1,85 m
profondeur moyenne :	2,00 m

Pour les deux massifs la face située contre la colline présente un léger fruit destiné à donner une plus grande stabilité en faisant entrer en jeu la poussée des matériaux situés au-dessus.

La tension du câble sera équilibrée par la poussée des terres sur la face frontale et la réaction contre la paroi postérieure. Dans les conditions les plus défavorables, l'effort exercé par le câble sera toujours inférieur à 10 tonnes. En admettant un taux de travail à la compression de 8.000 kg/m<sup>2</sup> pour la latérite la face frontale du massif R.D. peut encaisser :

$$8.000 \times 3,5 \times 2 = 56.000 \text{ kg}$$

Ainsi sans tenir compte de la réaction des terres sur les parois latérales nous avons un coefficient de stabilité à l'arrachement égal à : 5,6.

En rive gauche, le rocher quoique assez altéré à une tenue meilleure que la latérite. Nous pouvons adopter un taux de résistance à la compression égal à 15 tonnes. Le massif peut résister à un effort de  $15 \times 3 \times 2 = 90$  tonnes ce qui donne un coefficient de stabilité égal à : 9.

Les fers sur lesquels viennent s'articuler les tendeurs sont noyés dans le béton avec des morceaux de rails pour répartir les efforts.

Le câble de 22 mm a été passé en étiage sans trop de difficulté. La mise sous tension provisoire a été réalisée à l'aide d'un treuil amarré à un ancrage.

Les tendeurs livrés avec tout le matériel ayant une course de réglage de 1 mm avec filetage With worth 1 ½ - 2 ½ ", ont permis très facilement de donner au câble sa flèche définitive égale en moyenne à 5,50 m avec une charge de 120 kg.

Une flèche plus faible rendait difficile la manoeuvre du treuil de translation, le câble tracteur étant soumis à une traction trop importante.

Nous avons effectué des essais avec des saumons dont les poids varient de 10 à 175 kg. Nous avons réalisé plusieurs séries de mesures dans le courant de la journée avec des températures différentes. Pour chaque série, la température du câble variait très peu et nous avons admis qu'elle est constante.

Les courbes de variations de la flèche sont données sur le graphique n°3.-

La tension du câble est la résultante de la tension due à la charge répartie (poids du câble seul + effort du vent) et de la tension due au poids du chariot et du saumon. (Voir figure 4).

Nous calculerons les tensions en appliquant la formule des câbles tendus :

$$T = \frac{L}{4f} \left( P + \frac{Q}{2} \right) \quad (\text{Voir figure 5})$$

dans laquelle P désigne la charge concentrée et Q la charge répartie

Pour déterminer la portée exacte entre appuis nous avons adopté la méthode suivante : un câble de 3 mm a été placé à l'aide d'un petit treuil exactement entre les points de fixation du gros câble. Nous avons mesuré successivement la flèche de ce filin lorsqu'il était tendu au maximum en égard à sa résistance à la rupture. Nous avons repéré la longueur du câble dans cette position. Ensuite, nous avons détendu le câble de façon à lui donner une flèche correspondante à celle du gros câble et noté la longueur déroulée. La même opération a été répétée lorsque le câble de 3 mm touchait l'eau. (Voir figure 6) *de 3 mm*

Les résultats de ces essais sont consignés sur le graphique N° 7. La variation de longueur avec la flèche est une droite de pente sensiblement égale à 20%. La portée exacte a été obtenue par extrapolation (partie pointillée des courbes). *1-30 m*

Nous avons donc :

$$\begin{aligned} L &= 244\text{m},50 \\ Q &= 368 \text{ kg} \\ P &= \text{poids du saumon} + 30 \text{ kg} \end{aligned}$$

Les 30 kg représentant le poids du chariot et du câble électroporteur. Nous supposons que le vent exerçait sur le câble porteur, pendant les mesures, une force de 35 kg/m<sup>2</sup>. L'effort total est donc égal à :

$$F_v = 35 \times 244,50 \times 0,022 = 188 \text{ kg}$$

La charge répartie sur le câble, résultante du poids  $Q$  et de l'action du vent, est donc égale à :

$$Q_1 = 413 \text{ kg}$$

Les essais ont été effectués en étiage, le saumon hors de l'eau. Il n'était en effet pas possible de réaliser ces opérations en crue.

Le tableau ci-dessous donne la tension et les flèches en fonction des températures et des poids :

	Températures du câble					
	19°		26°		32°	
	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne
Chariot seul	4,68	3,09	4,77	3,08	4,90	2,98
10 kg	4,73	3,18	4,83	3,11	4,98	3,03
25	4,80	3,24	4,92	3,25	5,09	3,14
50			5,10	3,43	5,22	3,35
75	5,06	3,76	5,21	3,65	5,38	3,54
100	5,19	3,96	5,33	3,85	5,48	3,74
125	5,31	4,16	5,44	4,06	5,59	3,94
150	5,41	4,33	5,56	4,25	5,72	4,13
175	5,53	4,56	5,68	4,42	5,81	4,32

Les appuis du câble sont à la cote 13,30 par rapport au repère P 13 du plan n° 1.

atteinte

La cote maximale/au-dessus de ce même repère au cours du cyclone de Mars 1959 a été à peu près égale à 4 m.

Le câble tracteur a son point le plus bas à 1 m au-dessous du câble porteur. Il se situe donc environ dans le cas le plus défavorable (T 32° P = 175 kg) à 2,50 m au-dessus du niveau des plus hautes eaux.



Sur la BETSIBOKA, les arbres charriés en crue ne sont jamais très importants et cette garde est suffisante.

Au moment des jaugeages le saumon immergé reçoit une poussée assez <sup>forte</sup> importante due au courant et aux herbes qui peuvent s'accrocher au câble.

La composante horizontale de la poussée est égale au produit du poids du saumon par la tangente de l'angle du câble avec la verticale. Cet angle a été au maximum égal à 30°. Cependant dans des cas exceptionnels, souches heurtant le câble, il peut atteindre 50°.

Dans ce cas, avec un saumon de 175 kg et en admettant qu'on puisse effectuer un jaugeage par un vent de 100 km/h exerçant sur une surface cylindrique une pression de 80 kg/ m<sup>2</sup> environ quelle sera la tension du câble porteur ?

Le câble est soumis aux efforts suivants :

- force horizontale due à la poussée du courant

$$p = 175 \times 1.992 = 950 \text{ kg}$$

- force verticale poids du chariot et du saumon = 205 kg

La résultante de ces forces est égale à : 400 kg

- le vent exerce sur le câble une pression de :

$$80 \times 244,5 \times 0,022 = 440 \text{ kg}$$

La charge répartie sur le câble est égale à 570kg.

Dans ces conditions nous estimons d'après les courbes du graphique n°3 que le câble aura une flèche de 6,30 m. Il sera donc soumis à une tension :

$$T = 7 \text{ tonnes}$$

Le coefficient de stabilité des ancrages, dans les conditions les plus défavorables sera donc égal à :

$$\frac{56}{7} = 8$$

#### ANTSATRANA :

Les ancrages sont du même type que ceux d'AMBODIROKA. Les berges assez peu élevées sont constituées par des rochers très altérés transformés en sable grossier assez compact. La résistance à la compression de ce sol est certainement supérieure à celle de la latérite.

Les massifs ont les dimensions suivantes :

$$1,20 \times 3,00 \times 2,30$$

La face frontale a une surface de 6,9 m<sup>2</sup>, elle peut encaisser une poussée de  $6,9 \times 8.000 = 56,200 \text{ kg}$ .

Le schéma n°8 donne le profil en travers des berges

au droit des ancrages. La vue d'ensemble de la station et du câble est donnée par le plan n° 2.

Nous avons mesuré la portée du câble en adoptant la méthode décrite pour la station d'AMBODIROKA. La distance horizontale entre appuis est donné par le graphique n° 7. Elle est égale à : 217,30 m

Nous avons réalisé les mêmes essais qu'à AMBODIROKA.

Le graphique n° 9 donne la variation de la flèche en fonction de la température et du poids du saumon.

Ces flèches sont plus petites qu'à AMBODIROKA du fait de la faible hauteur des berges. Nous sommes allés jusqu'à la limite admissible pour le fonctionnement normal du treuil de translation.

Les valeurs des tensions des câbles calculées avec les données suivantes :

- portée  $L = 217,30$  m
- poids du câble : 326 kg
- effort dû au vent : les essais ont été effectués avec un vent dont la vitesse moyenne était voisine de 30 Km/h. La pression exercée sur la surface cylindrique du câble est égale à 25 kg/m<sup>2</sup>

d'où :

$$F_v = 25 \times 217,30 \times 0,022 = 115 \text{ Kg}$$

- La charge répartie sur le câble ( $Q$  et  $F_v$ ) = 345 Kg

Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Charges	Températures du câble							
	13°		25°		27°		37°	
	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne
chariot seul	3,12	3,52	3,26	3,37	3,34	3,29	3,43	3,20
Poids 10kg	3,20	3,61			3,43	3,36	3,52	3,27
25	3,27	3,78	3,45	3,58	3,52	3,51	3,60	3,43
50	3,43	3,99	3,58	3,83	3,67	3,73	3,75	3,65
75	3,55	4,24			3,79	3,97	3,86	3,91
100	3,66	4,49	3,80	4,32	3,88	4,24	4,01	4,09
125	3,76	4,73			4,04	4,40	4,11	4,33
150	3,88	4,93	4,03	4,75	4,15	4,62	4,23	4,53
175	4,00	5,12	4,12	4,97	4,25	4,82	4,31	4,76

Avec le saumon de 175 kg et pour une température du câble de 37°, nous avons une flèche de 4,31.

*Les appuis* Les appuis sont à la cote 10,62 m au-dessus du zéro de l'échelle. Le point bas du câble se trouve par suite à la cote 6,31.

Le câble tracteur a une flèche plus grande d'environ 80 cm. Le point de bas se trouve donc à 5,503 au-dessus du zéro de l'échelle.

*La cote de l'eau est de 6,00 m au-dessus du zéro de l'échelle.*  
Au moment des plus hautes eaux dont le niveau n'a, depuis le début des observations, jamais dépassé la cote 4 m, il ne reste que 1,50 m de garde entre les câbles et le plan d'eau.

*La cote de l'eau est de 5,02 m au-dessus du zéro de l'échelle.*  
Cette distance est faible. Mais elle s'est avérée suffisante même pendant le cyclône de Mars 1959.

Cependant, si les travaux de protection de la plaine de TANANARIVE contre les crues de l'IKOPA se réalisent, il faudra surélever de 2 m au minimum les appuis à l'aide de pylônes métalliques ancrés sur chaque berge, car les crues n'étant plus écrêtées par la zone d'inondation, il s'en suivra un relèvement des plans d'eau maximaux à l'aval.

Comme pour la station d'AMBODIROKA, nous avons calculé la tension à laquelle sera soumis le câble dans les conditions défavorables suivantes :

- saumon = 175 kg
- vent de 100 km/h

Le câble est soumis à une force concentrée :

$$P = 350 \text{ kg}$$

Le vent exerce une pression sur le câble égale à :

$$80 \times 217,3 \times 0,022 = 380 \text{ kg}$$

La charge répartie sur le câble est égale à

$$\sqrt{380^2 + 326^2} = 500 \text{ kg}$$

D'après la courbe de variation de la flèche en fonction du poids nous trouvons dans ces conditions que la flèche sera sensiblement égale à 4,50 m, à la température de 13°,5

La tension du câble est donc :

$$T = \frac{L}{4f} \left\{ P + \frac{Q}{2} \right\} = 7,5 \text{ tonnes}$$

Le coefficient de stabilité des massifs est ici encore doté d'une large marge de sécurité, puisque dans les plus mauvaises conditions il est égal à 7.

Les conditions examinées ci-dessus sont difficilement réalisables, car des jaugeages avec des vents de 100 km/h

doivent être pratiquement impossibles à exécuter. Mais pendant les cyclones, il arrive fréquemment que le vent atteigne des vitesses supérieures à 180 km/h. Les tensions encaissées par le câble dans ces conditions sont très voisines de celles que nous avons trouvées plus haut .

## B)- MANGOKY au BANIAN

### a) Aperçu géographique

Le MANGOKY est le plus grand fleuve de Madagascar.

Il draine un Bassin versant de 60.000 km<sup>2</sup>, limité à l'Est par le méridien 47°30 et à l'Ouest par la cote du Canal de Mozambique . En latitude, il se situe entre les parallèles 20°30 et 23° Sud.

Le haut du Bassin draine les plateaux cristallins de la région d'AMBOSITRA, FIANARANTSOA, dont l'altitude est comprise entre 1.000 et 2.500 m. Le MANGOKY traverse ensuite une zone sédimentaire ayant environ 250 km de large, ~~sur laquelle~~ le fleuve se jette dans l'océan dans une zone deltaïque dont la surface couvre environ 2.000 km<sup>2</sup> .

La station de jaugeage du BANIAN a été placée en amont de cette zone dans le défilé de VONDROVE situé entre deux massifs gréseux et jurassico-crétacés.

Sur les hauts-plateaux, nous trouvons une végétation arbustive limitée à des galeries forestières et quelques périmètres de reboisement. Les fonds des vallées sont aménagés en rizières étagées (pays Betsileo).

La zone sédimentaire est, en moyenne, plus boisée. Le long du cours du MANGOKY règne une importante galerie forestière.

Les crues sont moins brutales que sur la BETSIBOKA, mais la pente importante entraîne des vitesses assez élevées. Les transports solides sont également importants. En crue, le fleuve charrie de nombreux débris allant de l'herbe aux troncs d'arbres de 10 et 15 m de long.

### b) Observations antérieures

A partir de 1951, les débits du MANGOKY sont mesurés à VONDROVE. Mais les difficultés rencontrées pour jauger les débits supérieurs à 500 m<sup>3</sup>/s nous ont amené à reporter la station au site du BANIAN, à 8 km en amont.

La vitesse du courant, les matériaux transportés et la largeur du lit (400 m dans les zones les plus étroites) rendent impossible l'utilisation du matériel léger.

Aussi à partir de 1955 un câble de 16 mm a été installé pour matérialiser la section.

Les jaugeages étaient réalisés à partir d'un chaland de 12 m de long amarré au câble de 16 mm.

Cependant, même avec ce matériel lourd, les mesures en crue se sont avérées dangereuses et nous avons décidé de mettre en place une station téléphérique.

### c) Station téléphérique

L'aménagement d'une station téléphérique sur 425 m de portée est un travail assez délicat qui n'a pas été simplifié par l'éloignement de tout centre important, et l'obligation dans laquelle nous étions, de devoir utiliser au maximum le matériel existant déjà.

L'ensemble a cependant pu fonctionner correctement à partir de février 1959. Les premiers essais avaient été effectués en Novembre 1958 avec des treuils de fortune qui ont été abandonnés par la suite.

### Matériel utilisé

Nous avons conservé le câble porteur de 16 mm installé en 1955 dont les caractéristiques sont les suivantes ;

- diamètre de 16 mm. Il est constitué par une âme de 5,9 mm de diamètre, comprenant 7 torons de 2 mm de diamètre ayant chacun 7 brins de 0,5 mm et 6 torons extérieurs de diamètre 5 mm avec 15 brins de 1 mm et 5 brins de 0,5 mm -

- son poids au m/linéaire est de 1 kg.

- sa résistance à la rupture 15.000 kg.

Le câble tracteur est en acier de 6 mm avec âme chanvre et 6 torons composés de 20 brins de 0,3 mm.

Les treuils de commande sont des treuils doubles DONAU OTT.

L'électroporteur est du câble NEYRPIC de 3,6 mm de diamètre à un conducteur isolé. Il est parfaitement antigiratoire.

Nous avons utilisé un saumon de 50 kg et les moulinets OTT type V ARKANSAS et DUMAS NEYRPIC magnétique.

### Ancrages

Ils sont fondés sur du rocher en place (grès) et ils ont nécessité de ce fait la mise en oeuvre de très peu de béton. Les efforts transmis par le câble sont encaissés par l'ensemble rocher et ancrage.

### Implantation de la station

Le câble de 16 mm a une portée totale entre appuis de 425 m. Il est mis sous tension par un treuil ATLER de 8 tonnes ancré sur la rive gauche.

Du fait de la grande portée il ne nous a pas été possible de faire fonctionner la station avec un seul treuil de commande car le câble tracteur de 6 mm était beaucoup trop tendu.

Nous avons dû adopter la solution suivante :

Un treuil DONAU est placé sur chaque berge. Le renvoi des câbles tracteurs se fait sur deux poulies fixées sur le câble de 16 mm au milieu de la portée.

Les appuis sont dénivelés. Ils sont situés à 21,90 au-dessus du zéro de l'échelle, rive gauche à 14,50 m en rive droite. Le point le plus bas du câble est situé, à vide, à 30 m du milieu vers l'ancrage rive droite.

La disposition des ouvrages et des câbles, est représentée sur le profil en travers n°10 ainsi que sur le plan d'ensemble n°11.

Nous avons effectué les mêmes mesures qu'aux deux stations précédentes et calculé les tensions en fonction des températures et des poids. Le graphique n°12 montre la variation de la flèche au cours des essais. Le saumon a été au milieu de la portée et non au point le plus bas, de façon à faire travailler le câble au maximum.

Au-dessus de 25 kg le point le plus bas se confond avec le milieu du câble.

Les données sont les suivantes :

portée  $L = 425$  m  
poids du câble  $= 425$  kg  
poids des poulies de renvoi  $= 30$  kg  
poids du chariot  $= 20$  kg

Au moment des essais nous avions un vent dont la vitesse était égale à 30 km/h environ. Il exerce sur les surfaces cylindriques une poussée de 25 kg/m<sup>2</sup>.

Les forces appliquées au câble sont les suivantes.

Effort dû au vent sur le câble porteur :

$$F_v = 425 \times 0,016 \times 25 = 170 \text{ kg}$$

Effort dû au vent sur les câbles tracteurs :

$$F'_v = 800 \times 0,006 \times 25 = 120 \text{ kg}$$

Effort dû au vent sur le câble électroporteur :

$$F''_v = 212,5 \times 0,003 \times 25 = 20 \text{ kg}$$

Le poids dû au câble électroporteur et tracteur sera pris égal à : 80 kg

La charge répartie  $Q = \sqrt{425^2 + 170^2} = 460 \text{ kg}$

La charge concentrée sera la résultante des forces représentées sur la figure 13.-

Nous avons donc pour P les valeurs suivantes :

Poids du Saumon	P kg
5 kg	150
25	170
50	193
70	212
95	235

Les dénivellation des appuis par rapport à la portée étant très faible, nous appliquons pour le calcul de la tension la formule :

$$T = \frac{L}{4f} \left( P + \frac{Q}{L} \right)$$

f étant la longueur AB. (Voir figure 14)

Les essais ont été effectués en étiage, le saumon hors de l'eau. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Saumon	Température du câble							
	18°4		22°		27°6		37°	
	Flèche en m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne	Flèche m	Tension tonne
5 kg	8,71	4,68	8,80	4,65	8,95	4,57	9,18	4,46
25	9,11	4,72	9,16	4,70	9,32	4,63	9,59	4,50
50	9,47	4,80	9,54	4,77	9,70	4,69	10	4,55
70			9,75	4,87	9,93	4,77	10,26	4,61
95	9,90	5,00	1,00	4,95	10,25	4,86	10,51	4,71

La plus forte tension est donc égale à 5 tonnes avec un saumon de 100 kg et à 18°. Le coefficient de sécurité à la rupture du câble est donc égal à 3.

Examinons quelle sera la tension dans les conditions les plus défavorables de fonctionnement suivantes :

1°)- Saumon de 50 kg, jaugeage par vent de 100 km/heure la poussée du courant faisant incliner le câble électroporteur de 50° par rapport à la verticale.

2°)- Mêmes conditions mais avec un saumon de 95 kg.

Nous avons donc ce cas :

- effort dû au vent sur le câble porteur

$$P_v = 425 \times 80 \times 0,016 = 395 \text{ kg}$$

- effort dû au vent sur les câbles tracteurs

$$P'_v = 800 \times 80 \times 0,006 = 384 \text{ kg}$$

- effort dû au vent sur le câble électroporteur

$$P''_v = 212,5 \times 80 \times 0,003 = 160 \text{ kg}$$

Poussée du courant :

$$\text{saumon 50 kg} : 50 \times \operatorname{tg} \theta = 50 \times 1,992 \approx 100 \text{ kg}$$

$$\text{saumon 100 kg} : \quad \quad \quad = 100 \times 1,992 \approx 200 \text{ kg}$$

Les efforts s'exerçant au milieu du câble sont les suivants (voir figure 15).

$$\text{Saumon 50 kg} : P_1 = 413 \text{ kg}$$

$$\text{Saumon 100 kg} : P_2 = 550 \text{ kg}$$

La charge répartie sur le câble porteur est égale dans ce cas à :

$$Q = \sqrt{595^2 + 425^2} = 580 \text{ kg}$$

Nous admettons que dans ces conditions la flèche du câble est égale à 12m avec 50 kg et à 12,50m avec 100 kg.

La tension sera égale à :

$$\text{Saumon 50 kg} : T_1 = 6 \text{ tonnes}$$

$$\text{Saumon 100 kg} : T_2 = 7 \text{ tonnes}$$

Le câble travaille donc avec un coefficient de sécurité égal à 2.

Avec le saumon de 100kg utilisé dans des conditions normales et à 18° la flèche est égale à 10,51 m. Le milieu du câble est alors à 7,70 m au-dessus du zéro de l'échelle. Les plus hautes eaux observées (Janvier 1956) ont atteint la cote 6,40. Nous n'avons donc que 1,39 m de garde entre ce niveau et le câble porteur. Les câbles tracteurs sont à 1 m environ au-dessous du gros câble. En cas de forte crue ils ne seront qu'à 40 cm du plan d'eau.



Depuis l'installation de la station le niveau le plus élevé a atteint 5,40 m en mars 1959. La marge de sécurité était voisine de 2,00 m car nous n'utilisons qu'un saumon de 50 kg.

Cependant, afin de diminuer les risques dus au passage de grands arbres nous envisageons d'installer un nouveau câble ancré au-dessus du ler à la cote 28 m en rive gauche et 36 m en rive droite. Il sera destiné à soutenir le câble porteur en son milieu et le surélever de 5 à 6 m.

La position de ce câble est indiquée en pontillés sur les plans n°10 et 11.

Les ancrages seront constitués par des fer ronds de 30 mm saillés dans le rocher et enrobés dans un petit massif en béton. Les efforts seront encaissés en totalité par du rocher en place.

Pour une surélévation de 5 m, la flèche du nouveau câble sera égale à 17 m. La portée totale est de 500 m environ.

Nous adopterons pour le calcul de la tension, les valeurs des efforts correspondant à :

Saumon de 100 kg au milieu

Vent de 30 km/heure

Poussée du courant inclinant le câble à 50°

La charge concentrée au milieu du câble due au poids du saumon, à la pression du vent et à la poussée du courant égale à 200 kg est donc :

$$P_1 = 300 \text{ kg}$$

Le nouveau câble sera soumis à ce poids augmenté de la moitié de la charge répartie (poids + vent) sur l'ancien : soit 230 kg

$$\text{d'où } P = 300 + 230 = 530 \text{ kg}$$

La charge répartie sur le nouveau câble est égale à :

$$Q = \sqrt{500^2 + 200^2} = 540 \text{ kg}$$

200 kg étant la force exercée par le vent

d'où la tension

$$T \approx 5 \text{ tonnes.}$$

La fixation entre les deux câbles sera rigide. Le câble porteur actuel aura donc un appui supplémentaire en son milieu. La tension sera un peu diminuée, ce qui nous permettra d'utiliser sans crainte un saumon plus lourd.

L'installation n'étant pas encore réalisée, nous n'avons aucune donnée précise pour calculer les tensions de ce système.

Les essais seront effectués aussitôt après le montage qui doit avoir lieu au début du mois de septembre.

Le nouveau câble sera balisé avec des boules de signalisation de lignes électriques haute tension.

## II - DIFFICULTES RENCONTRES

### EN COURS DE MONTAGE :

La mise en place de ces trois stations s'est effectué dans l'ensemble sans trop de difficultés.

Le passage et la mise sous tension d'un câble de 22mm est une opération délicate, bien sûr, mais qui se réalise assez facilement même avec les moyens réduits dont nous disposons.

Deux accidents qui auraient pu être graves sont cependant à signaler :

- rupture du câble auxiliaire de 10 mm servant à la mise sous tension provisoire du câble d'AMBODIROKA. Cette rupture s'est produite au moment où nous fixions les serre-câble avant de procéder à la tension définitive avec les tendeurs. Il n'y a eu que quelques égratignures sans gravité.

- rupture d'un serre-câble sur le câble tracteur du BANIAN au moment où il était presque sous tension normale. Cette rupture a entraîné la chute du câble dans le fleuve et la récupération a été assez laborieuse.

### EN COURS D'EXPLOITATION :

Les stations téléphériques permettent de réaliser les mesures de débit, dans les conditions les plus difficiles, en toute sécurité pour les opérateurs. Cependant, elles sont très longues. Un jaugeage en ~~cane~~ sur la BETSIBOKA et l'IKOPA dure en moyenne 4 h. et 8 heures sur le MANGOKY.

La translation du saumon est assez lente, l'aller et retour du saumon sur 200 m nécessite 50 à 60 minutes. La manoeuvre des travaux est pénible, et ce travail n'est pas très apprécié par les aides.

La précision des mesures est liée à la façon dont peut-être repérée la position du fond. Il est nécessaire pour arriver à un bon résultat d'équiper les saumons d'un contact de fond solide et sensible. Les contacts de fond OTT ne sont pas utilisables sur les rivières de Madagascar. Ils sont toujours bloqués soit par les grains de sable, soit par les débris flottants.

Un contact de fond bloqué entraîne automatiquement un ensablement du moulinet, car on est obligé de laisser reposer le saumon plus longuement pour détecter le fond lorsque le contact ne marche pas. Il faut apprécier l'instant où la tension du câble électroporteur diminue or, sur une longue distance, cela n'est pas très net et le saumon s'enfonce plus ou moins dans le sable souvent très meuble.

Le moulinet OTT s'ensable plus facilement que le moulinet Dumas et il a dû être ~~abandonné~~ abandonné sur la BETSIBOKA.

Le nettoyage des moulinets peut s'effectuer, quand les vitesses sont faibles, à partir d'un canot. Lorsque les vitesses sont plus fortes, il devient impossible de faire cette opération depuis une embarcation et il faut ramener l'ensemble à la berge d'où une très grosse perte de temps.

Il est donc nécessaire, pour éviter tous ces ennuis et opérer dans les meilleures conditions de rapidité et de précision d'avoir un contact de fond à large semelle actionnant soit un contacteur étanche ou mieux un contacteur à mercure. MEYRPIC a réalisé des contacts de fond de ce genre. Mais la semelle a une surface trop faible pour les sables fins et mouvants des rivières de Madagascar, et de plus l'articulation n'est pas à l'abri des branches et des débris.

Une autre précaution très utile consiste à fixer le moulinet à 20 cm au moins au-dessus du saumon. Le montage en bout de saumon est à rejeter.

Nous avons également eu des ennuis au début de l'exploitation avec le câble électroporteur OTT qui n'est pas parfaitement antigiratoire. Lorsque le contact de fond est bloqué pour une raison quelconque, le fait de chercher le fond en repérant la diminution de tension du câble entraîne la formation de cosses, qui au moment de la remise en tension, font travailler l'isolant dans des conditions anormales et entraînent la mise en court-circuit des conducteurs. Ceci montre une fois de plus la nécessité d'avoir un contact de fond réellement efficace. Il semble que les constructeurs de matériel hydrologique n'ont pas suffisamment étudié ces appareils.

Chaque fois qu'on le peut, il y a intérêt à utiliser le saumon le plus lourd possible, afin de diminuer l'angle fait par le câble électroporteur avec la verticale.

Sur la BETSIBOKA, avec un saumon de 100 kg, nous avons mesuré des angles compris entre 30 et 40° pour des vitesses maximales égales à 4,90 m/sec. Ces angles font surestimer les profondeurs dans des proportions notables (5 à 10 % pour les angles compris entre 30 et 40°). Pour établir la correction nous avons essayé de voir la différence entre l'angle pris par le câble lorsque le saumon est dans l'eau, en surface et lorsqu'il est au fond. La différence est très faible. Nous avons donc négligé la correction du câble secondé et nous ne faisons porter la correction que sur la longueur de câble inondé en appliquant la relation : Profondeur = câble déroulé (1-K). K est donné par les tables.

Ce n'est que dans des cas très particuliers (herbes s'entassant sur le câble électroporteur) que les angles très importants entraînent de grosses corrections de profondeurs.

Pour la situation du BANIAN, en particulier, il est absolument impossible de jauger pendant la montée du plan d'eau. Les arbres et les herbes descendent en très grand nombre et l'immersion du moulinet s'avère extrêmement dangereuse. Il faut attendre le moment où la crue commence à s'étaler pour débiter la mesure. Sur le MANGOKY, cet instant est facilement visible.

Durant la mesure il est nécessaire de surveiller en permanence la surface du plan d'eau et d'observer les corps flottants susceptibles de venir heurter le câble. Il est prudent de ne pas hésiter à relever rapidement le saumon dans le cas où on n'est pas très sûr de la trajectoire des arbres, qui à 200 m; est souvent difficile à déterminer.

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, les jaugeage par téléphérique ne sont pas des opérations simples. Elles demandent une attention de tous les instants.

Le principal avantage de ces installations réside dans le fait qu'on peut toujours opérer par n'importe quel temps. C'est souvent très intéressant, surtout sur des rivières à crues très rapide.

### III - RESULTATS OBTENUS -

#### SUR LA BETSIBOKA & L'IKOPA :

Depuis l'installation des stations en 1958 nous avons effectué :

- 40 mesures sur la BETSIBOKA. Le débit maximal mesuré est égal à 2.854 m<sup>3</sup>/s, les vitesses maximales atteignant : 5,50 m/sec.

- 30 mesures sur l'IKOPA. Le débit maximal mesuré a été de 2.000 m<sup>3</sup>/s.

Sur l'IKOPA, la courbe d'étalonnage couvre pratiquement toute l'amplitude de variation du plan d'eau.

Il n'est pas de même <sup>sur</sup> la BETSIBOKA où la cote maximale en Mars 1959 a été de 5,67 et le maximum mesuré est égal à 3,10 m. La crue de Mars 1959 a été extrêmement rapide. Elle a duré deux ou trois heures. Les vitesses dans la section de jaugeage ont dû atteindre des valeurs certainement voisines de 8 m/sec.

#### SUR LE MANGOKY :

Depuis l'installation de la station téléphérique en Février 1959, il n'y a pratiquement pas eu de grosses crues au BANIAL

Sur les 100 Jaugeages effectués depuis cette date, seuls une dizaine ont été faits à partir du téléphérique. Le débit le plus fort mesuré est égal à 2794 m<sup>3</sup>/sec.

Cette faible proportion est due au fait que l'opérateur préfère utiliser le matériel léger (canot pneumatique et saumon de 25 kg) ~~car~~ que la cote du plan d'eau le permet, c'est-à-dire jusqu'à des vitesses de 3m/sec. Les mesures sont en effet beaucoup plus rapide rapides et plus précises.

#### CONCLUSION :

Ainsi contrairement à ce que nous pensions lors de l'installation, il ne nous a pas été possible d'obtenir au cours des deux dernières campagnes des résultats spectaculaires avec nos stations téléphériques. Cependant, nous attendons sans aucune crainte, les prochaines saisons des pluies. Nous savons, qu'à moins d'un incident imprévisible nous pourrions mesurer les plus forts débits qui se présenteront sur ces trois rivières très importantes de Madagascar.

Il serait souhaitable de pouvoir aménager ainsi de nombreuses autres rivières également intéressantes du point de vue hydroélectrique et agricole et où les difficultés de mesure des débits de crue sont aussi très grande.

---

O.R.S.T.O.M - I.R.S.M.  
SERVICE HYDROLOGIQUE  
**STATION D'AMBOIROKA**  
PROFIL EN TRAVERS  
Echelle 1/100

hp 3

PLAN N°1

ALTITUDES	13004	12640	11735 10215	10197	9689	7619	5239	3445	1990	0.000
DISTANCES CUMULEES	24.15									
DISTANCES PARTIELLES	320	440	245	248	315	315	180	136	220	
NUMERO DES PIQUETS	1	2	3 6	6	7	8	10	11	12	13

ALTITUDES	0.000	1.108	3.141	5.703	8.181	11.212	12.493	13.051	13.300
DISTANCES CUMULEES	40.00								
DISTANCES PARTIELLES	160	400	675	695	500	360	840	280	
NUMERO DES PIQUETS	9	8	7	6	5	4	3	1	0



O.R.S.T.O.M-I.R.S.M  
SERVICE HYDROLOGIQUE

# STATIONS IKOPA-BETSIBOKA

Echelle 1/500°

Bp 2

217 m 35

IKOPA A ANTSAITRANA

245 m 19

Bp 4

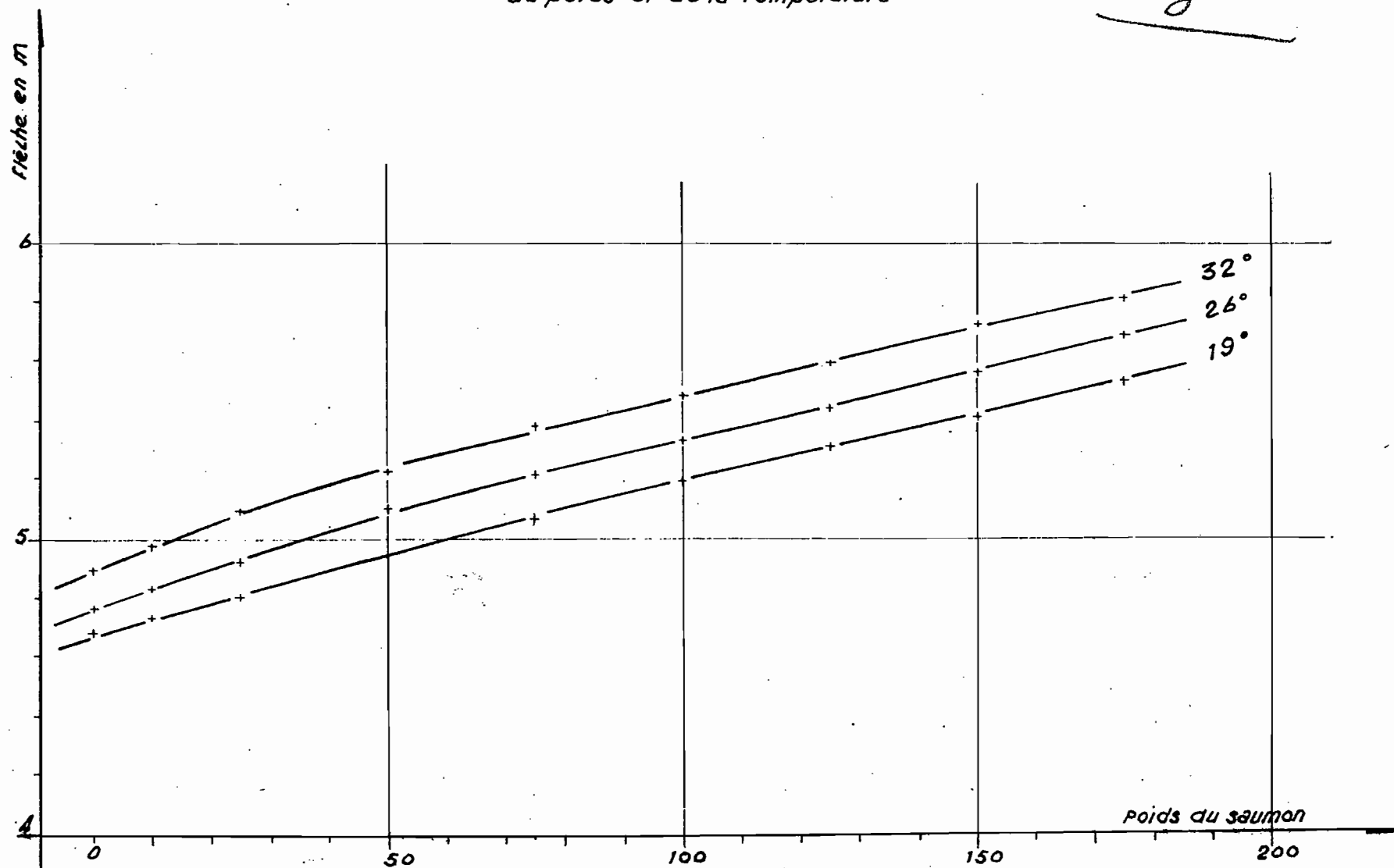
BETSIBOKA A ANTOANRANA

PLAN N° 2



**STATION D'AMBODIROKA**  
Variation de la flèche en fonction  
du poids et de la température

Bp 10



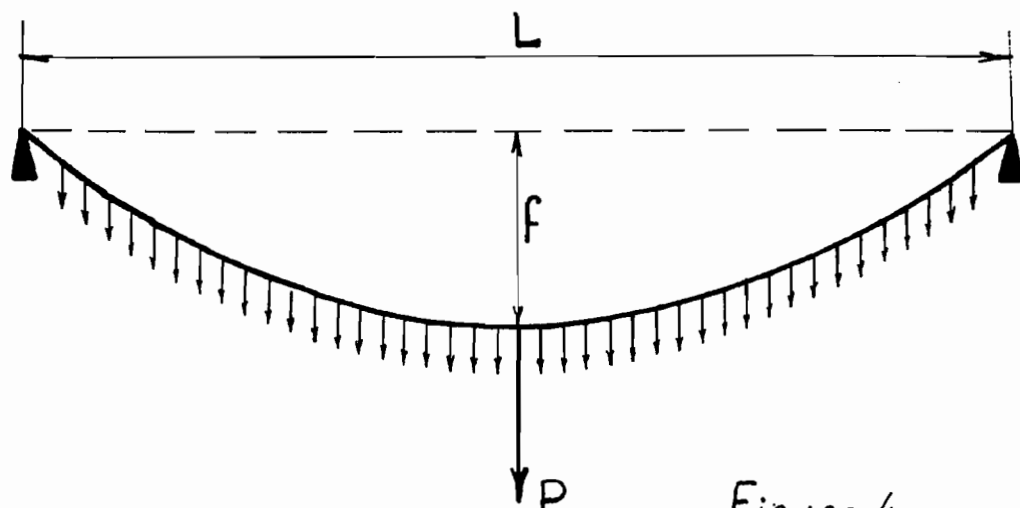


Figure 4

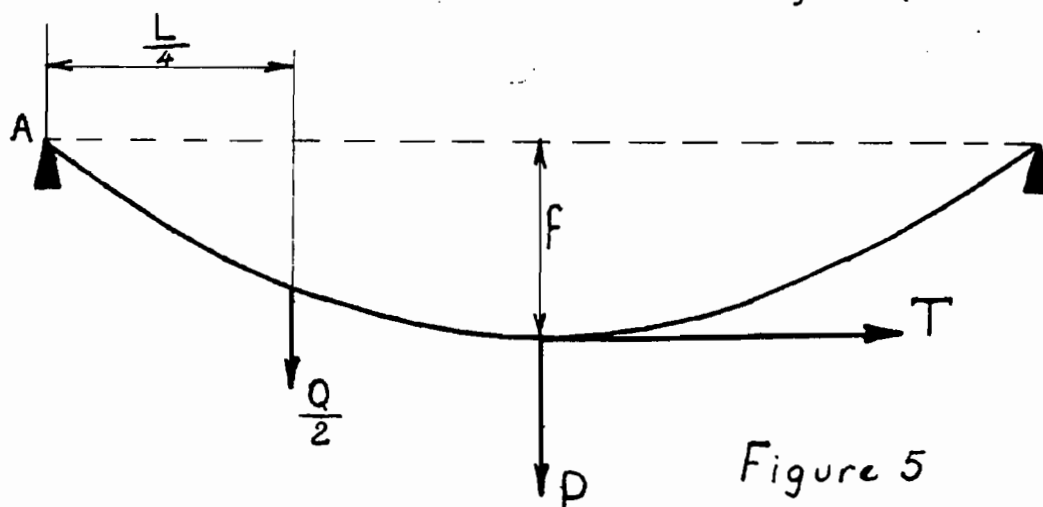


Figure 5

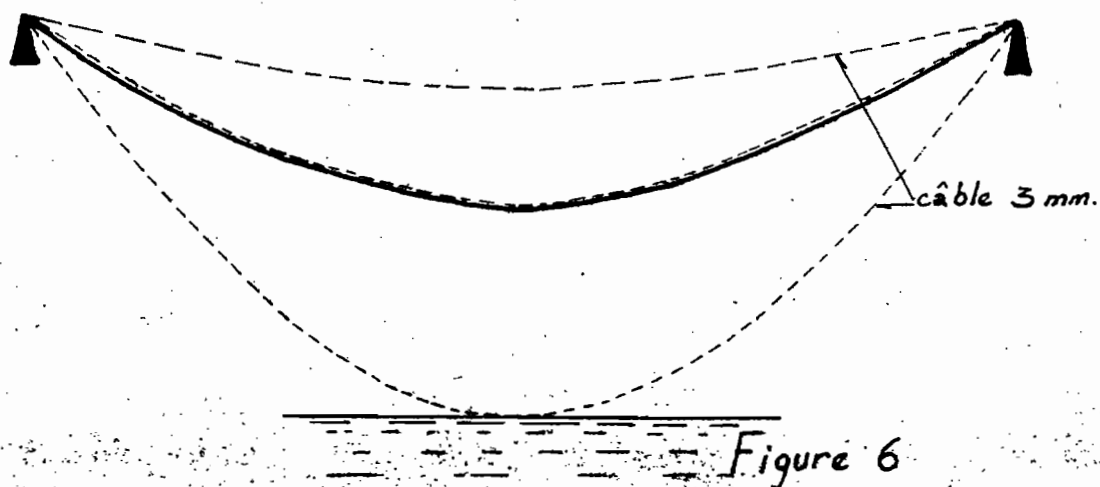


Figure 6



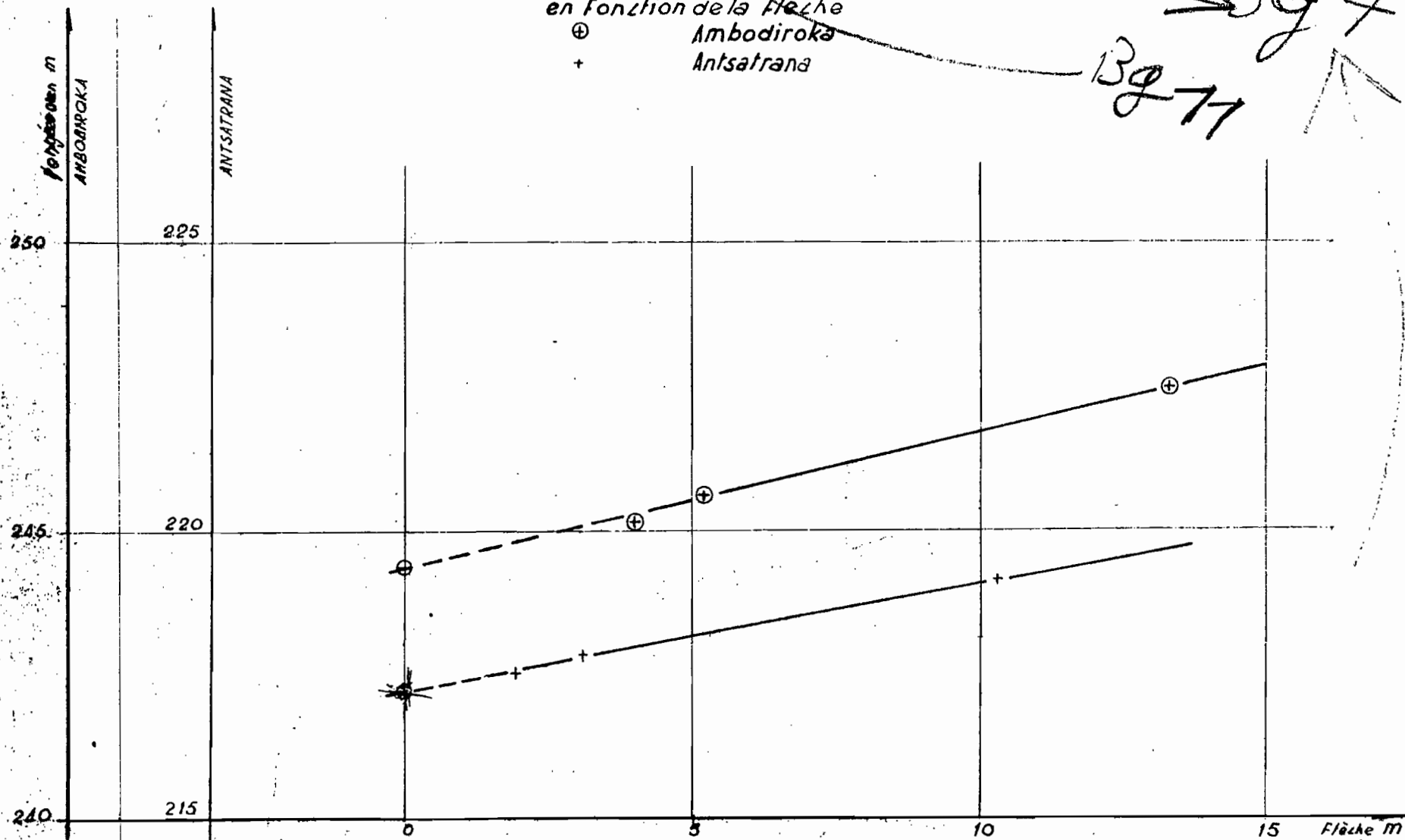
# STATIONS D'AMBODIROKA ET ANTSATRANA

Variation de la longueur du zable

en fonction de la Flèche

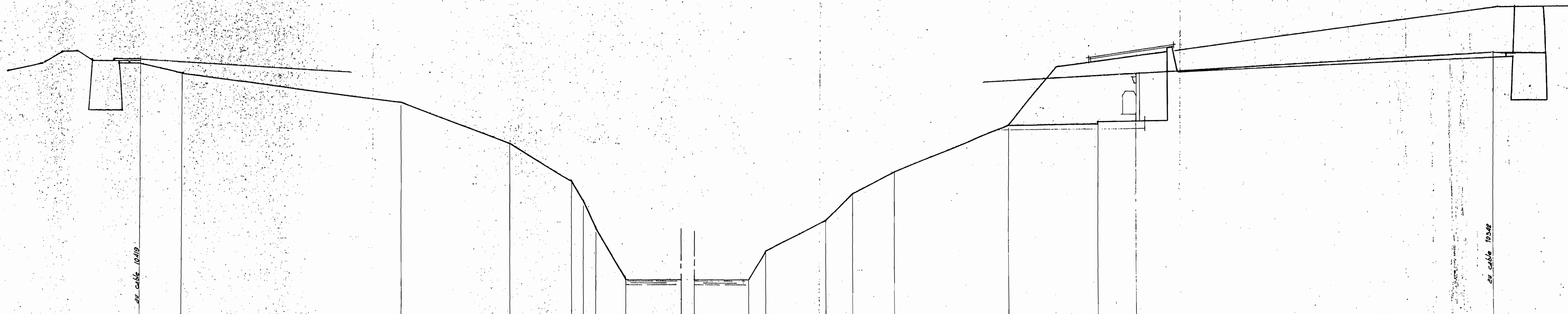
⊕ Ambodiroka

+ Antsatrana



O.R.S.T.O.M - I.R.S.M  
 SERVICE HYDROLOGIQUE  
**STATION D'ANTSATRANA**  
 PROFIL EN TRAVERS  
 ECHELLE : 1/100

Bp 1



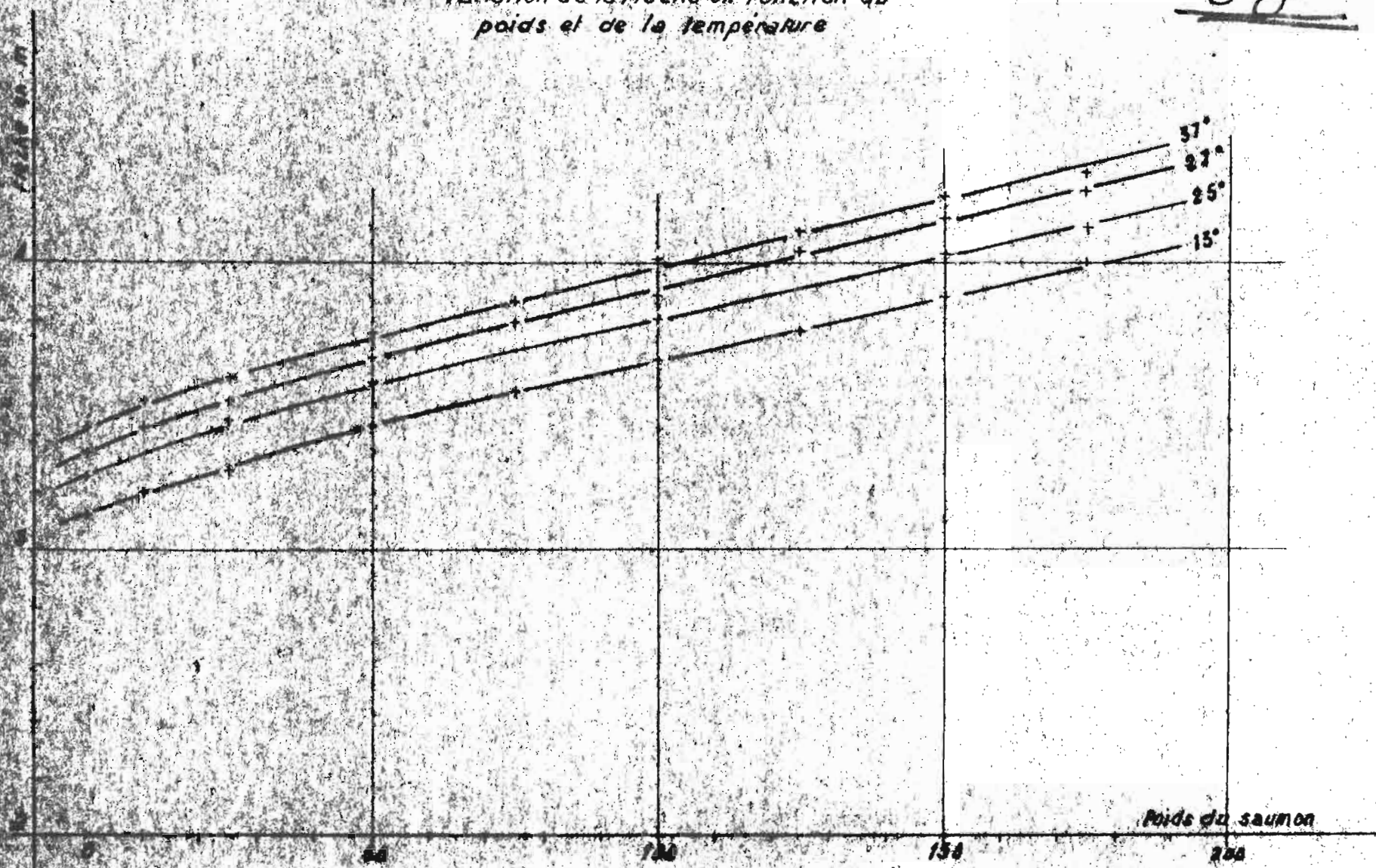
ALTITUDES	10119	9749	8390	6418	4571	3670	2350	0.000
DISTANCES CUMULEES			22.27					
DISTANCES PARTIELLES	190	10.15	500	280	052	035	135	
NUMERO DES PIQUETS	1	2	3	4	5	6	7	8

ALTITUDES	0.000	1384	2700	3971	5007	7187	7585	9553	10042
DISTANCES CUMULEES							34.05		
DISTANCES PARTIELLES	080	2.80	120	190	520	4.10	175	16.50	
NUMERO DES PIQUETS	7	6	5	4	3	1	2	8	9

PLAN N° 8

**STATION D'ANTSATRANA**  
 Variation de la flèche en fonction du  
 poids et de la température

13 g 6





O.R.S.T.O.M - I.R.S.M.  
SERVICE HYDROLOGIQUE

# STATION DU BANIAN

PROFIL D'ENSEMBLE

Echelle 1/500

423 m

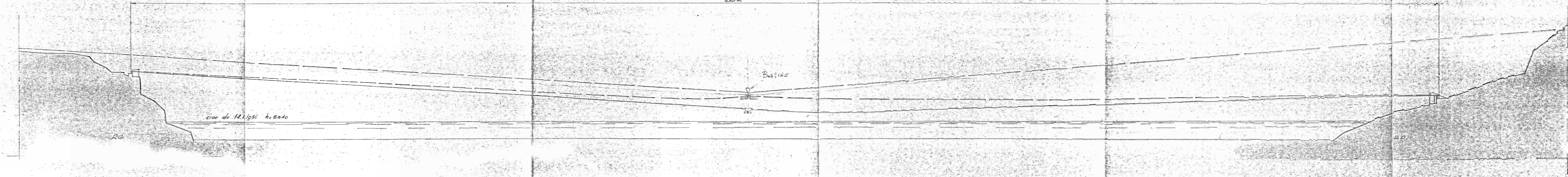
Ba. 125

cote du 14.1.1956 h<sub>2</sub> 6m40

RG

RD

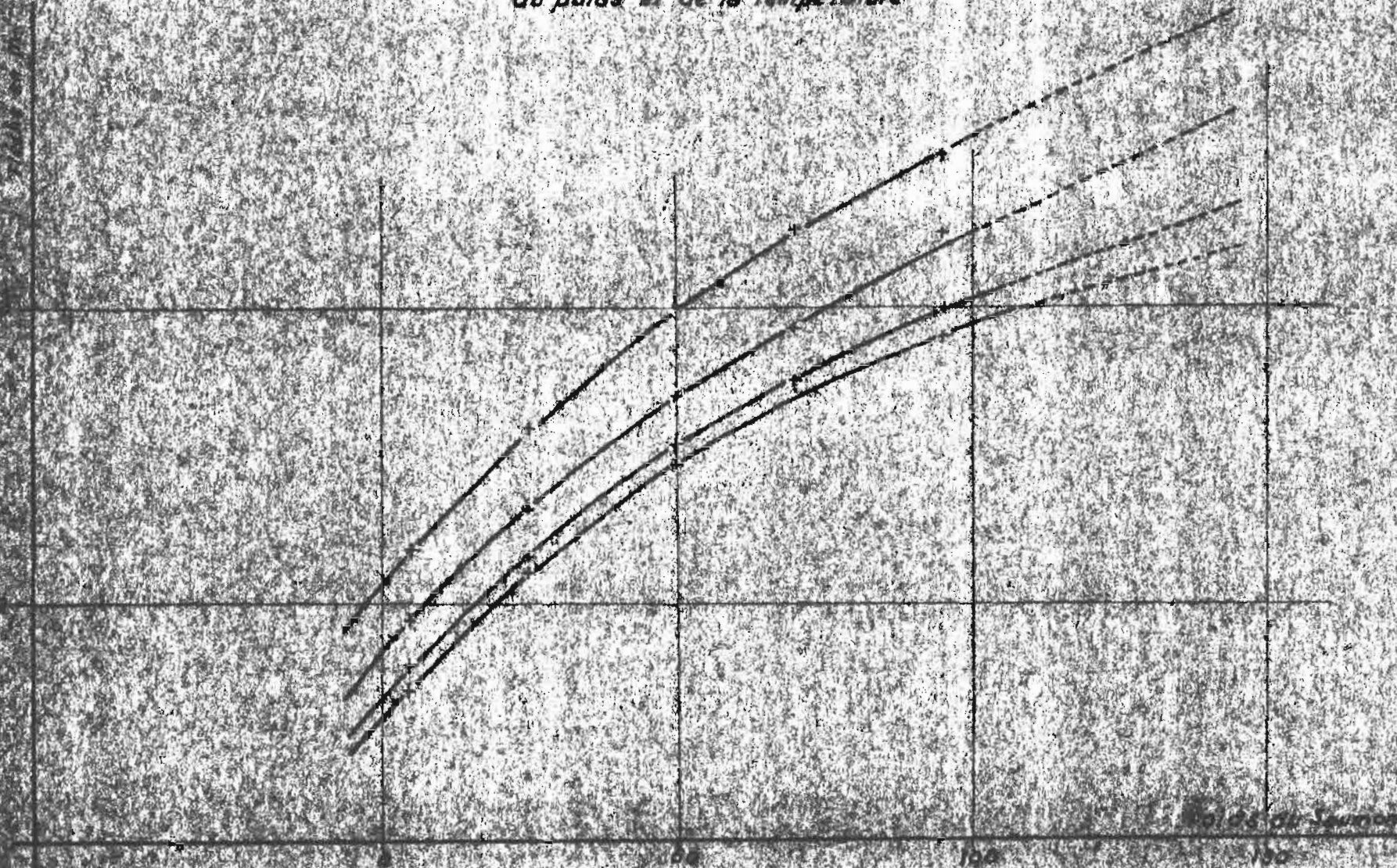
PLAN N° 11





# STATION DU BANIAN

Variation de la flèche en fonction  
du poids et de la température



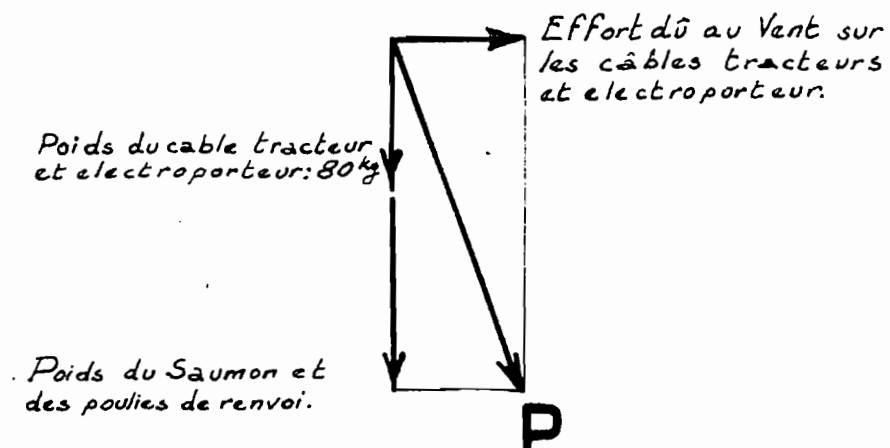


Figure 13

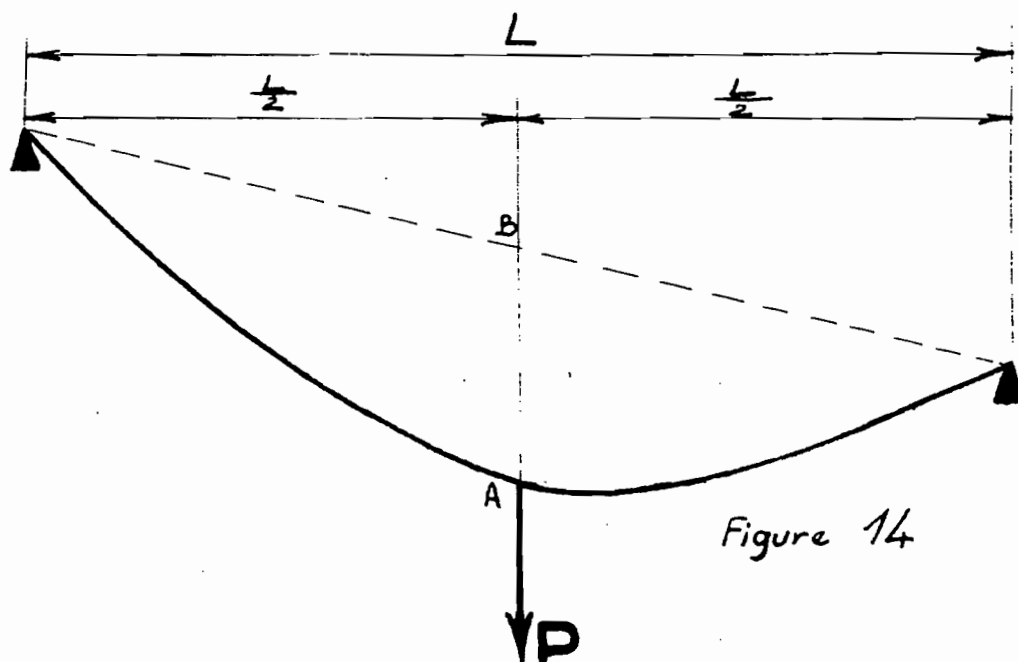


Figure 14

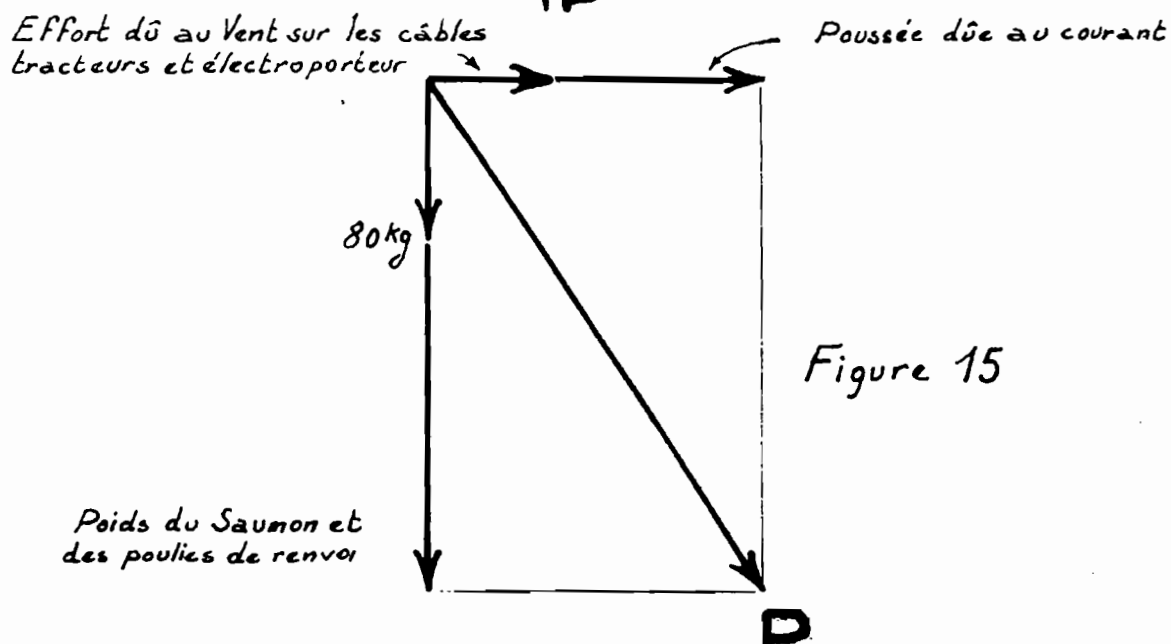


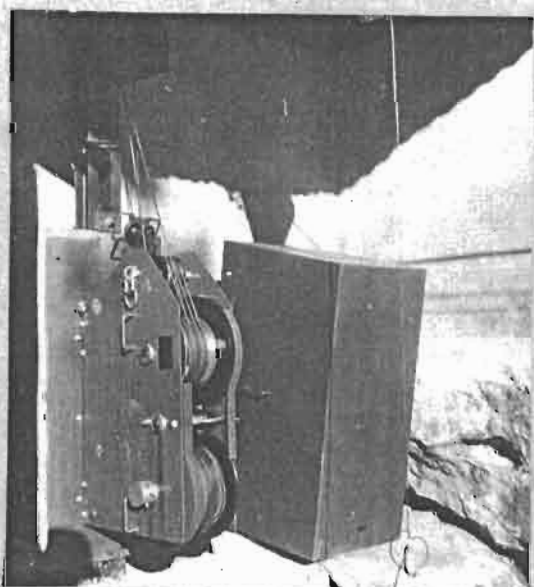
Figure 15



Station du BANIAN. Vue  
d'ensemble depuis la R. D.



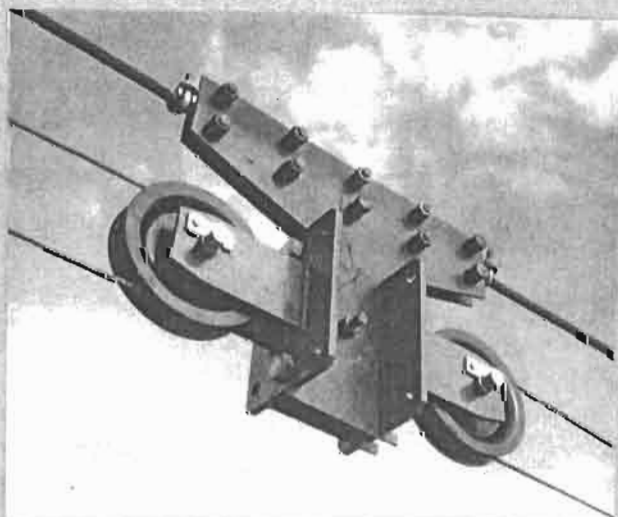
Station du BANIAN. Travail R.G.  
encours de montage.



Travail dans son abri



Manœuvre d'un treuil  
en cours de montage.



Poulies de renvoi.



Emplacement Ancre  
pour 2<sup>e</sup> m cable

O.R.S.T.O.M - I.R.S.M.  
SERVICE HYDROLOGIQUE

STATION DU BANIAN

PROFIL EN TRAVERS R.G

Echelle 1/100

Origine zero echelle R.G

Echelle  
R.G

ALTITUDES	22.419	22.346	22.654	22.765	22.899	22.754	21.70	21.703	21.690	21.689	21.515	19.373	14.513	12.246	9.054	5.154	2.457				
DISTANCES CUMULEES	53.35																				
DISTANCES PARTIELLES	8.05	9.15	5.00	1.67	4.15	0.95	2.10	1.50	0.80	2.75	15	4.45	330	230	8.00	0.60					
NUMERO DES PIQUETS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

PLAN N°10

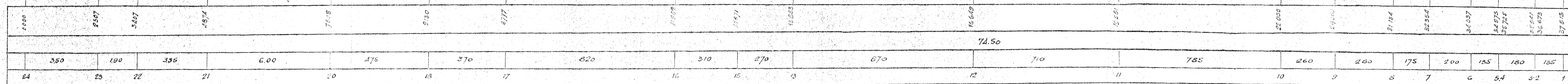


O.R.S.T.O.M - I.R.S.M  
 SERVICE HYDROLOGIQUE  
**STATION DU BANIAN**  
 PROFIL EN TRAVERS R.D  
 Echelle 1/100<sup>e</sup>

Emplacement Ancrage 2<sup>em</sup> Cable

Echelle  
R.D

origine zéro, échelle R.G



PLAN N° 10

Aldegheiri Marius

Les principales stations téléphériques de jaugeage de  
Madagascar

Tananarive : ORSTOM, 1960, 18 p. multigr.