

UNIVERSITE D'ALGER

ECOLE NATIONALE
POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
الكلية
الهندسية
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

1/66
جامعة الجزائر
1966

المدرسة الوطنية للهندسة

Department
Electronique

PROJET DE FIN D'ETUDES.

ALIMENTATION EN ENERGIE
ELECTRIQUE DE LA STATION.R.T.A.
DE DJEBEL MEGRIS

Fascicule N° 1

S. AMARI - ENPA 1963-66

Amari

ALGER

MA RECONNAISSANCE VA A TOUS LES PROFESSEURS QUI ONT CONTRIBUE
A MA FORMATION AINSI QU'AUX INGENIEURS DU SERVICE CENTRAL
TECHNIQUE (E.G.A. - X N) POUR L'AIDE QUI M'A ETE PRODIGUEE
QUANT A L'ETABLISSEMENT DE CE PROJET.

SOMMAIRE

Page 1/- Détermination 5 la section des Conducteurs

- " 5/- Etude mécanique des lignes aériennes
- " 7 /- Chaînette - Assimilation
- " 8/- Hypothèses Administratives
- " 10/- Etude du premier Canton de pose
- " 17/- Equation de changement d'Etat
-Abaques
- " 22/- Etude du deuxième Canton de pose
- " 28/- Abaques des tensions de pose
- " 31/- Calcul des Massifs de Fondation

DOCUMENTATION :

- Rapport de Stage Eté 65
- Cahiers des charges
- Techniques de l'Ingénieur
- Documentation Constructions de Lignes Electriques (E.G.A)
- Equipement Electrique (MAUDUIT)

C O N S T R U C T I O N . . . D ' U N E . . . L I G N E . . . E L E C T R I Q U E

SUJET: Alimentation en énergie électrique du poste émetteur R.T.A.
du Djebel Mégris.

CARACTERISTIQUES :

Puissance	400 K.V.A	$\cos \varphi = 0,8$
Chute de tension maximum	5 %	
Tension	30 KV.	
Longueur	7,5 Km	
Zone Hauts plateaux		
Surcharge de givre à prévoir		
Armements nappe-voûte		
Isolateur	C.T.V. 175	

NOTA : Ce sujet a été proposé par les ingénieurs du service central
technique de la Direction des distributions de l'Electricité
et Gaz d'Algérie.

- 1 -

D E T E R M I N A T I O N D E L A S E C T I O N

E L E C T R I Q U E M E N T N E C E S S A I R E

=====

Elle doit être telle que la chute de tension en ligne soit dans les limites imposées.

Méthode de Calcul .

$$V_1 \cos \phi - V_2 = (R I \cos \phi + X I \sin \phi) L$$

$$\text{Chute de tension relative} = \frac{V_1 - V_2}{V_1}$$

$$\text{Chute de tension en \%} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100$$

Si nous traçons le diagramme des tensions, le triangle caractéristique est de très faible dimension vis à vis des tensions V_1 et V_2 . On peut donc supposer que V_1 et V_2 sont sensiblement parallèles et écrire :

$$V_1 - V_2 = R I \cos \phi + X I \sin \phi$$

L = Longueur de la ligne en Km

ϕ = Déphasage entre V_1 et V_2

R = Résistance de la ligne en Ω/Km

$X = (L \omega - \frac{1}{\omega C})$ = Réactance de la ligne en Ω/Km

$$\Delta U \% = \frac{I (R \cos \phi + X \sin \phi) L}{V_1} \cdot 100$$

Si on exprime V_1 en KV.

$$\begin{aligned} \Delta U \% &= \frac{I (R \cos \phi + X \sin \phi) L}{1000 V_1} 100 \\ &= \frac{I (R \cos \phi + X \sin \phi) L}{10 V_1} \end{aligned}$$

Si on considère la tension entre phase, l'expression précédente devient :

$$\Delta U \% = \frac{I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)L}{10 \frac{U_1}{3}}$$

$$\Delta U \% = \frac{I \sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi)L}{10 U_1}$$

D'où l'expression finale de la chute de tension dans une ligne de transport

d'énergie :

$$\Delta U \% = \frac{U_1 I \sqrt{3} \cos \varphi \cdot L}{10 U_1^2 (R + X \operatorname{Tg} \varphi)}$$

Le produit $U_1 I \sqrt{3} \cos \varphi \cdot L$ est appelé MOMENT de TRANSPORT de la LIGNE.

L'expression $\frac{10 U_1^2}{R + X \operatorname{Tg} \varphi}$ est appelé MOMENT de TRANSPORT SPECIFIQUE de la LIGNE.

b)- Calcul de la chute de tension dans le transport SETIF-Aïn-Abessa

Chute de tension totale admissible entre SETIF et Djebel MEGRIS = 5 %

La ligne SETIF-Aïn-Abessa se compose de 3 tronçons de différentes sections :

<u>1er Tronçon</u> :	Longueur	0,8 Km	S = 48 mm ²
<u>2ème Tronçon</u> :	Longueur	1,701 Km	S = 38 mm ²
<u>3ème Tronçon</u> :	Longueur	37,5 Km	S = 22 mm ²

b₁)- Calcul des résistances respectives

Résistance d'un câble de cuivre aux conditions de fonctionnement.

$$R = \frac{18,65}{S} \text{ en } \Omega/\text{Km}$$

$$\text{1er Tronçon : } R_{48} = \frac{18,65}{48} = 0,389 \Omega/\text{Km}$$

$$\text{2ème Tronçon : } R_{38} = \frac{18,65}{38} = 0,49 \Omega/\text{Km}$$

$$\text{3ème Tronçon : } R_{22} = \frac{18,65}{22} = 0,847 \Omega/\text{Km}$$

a) Calcul des chutes de tension

$$\text{Chute de tension en \%} = \frac{M_t}{P_L}$$

Mt = moment de transport exprimé en KW.Km

PL = moment de transport spécifique

R = Résistance en ohm/km

X = Réactance exprimée en ohm/km = 0,39 pour les lignes M.T.

U₁ = Tension en kv

b) Puissance moyenne appelée par la ligne

$$500 \text{ kw} + 400 \cdot 0,8 = 820 \text{ kw}$$

Chute de tension dans le premier trançon

$$U_{48} = \frac{8200 \cdot 0,8}{10 \times 30^2} \frac{0,389 + 0,39 \times 0,75}{0,389 + 0,39 \times 0,75} = 0,0525 \%$$

Chute de tension dans le deuxième trançon

$$U_{38} = \frac{8200 \times 1,701}{10 \times 30^2} \frac{0,49 + 0,39 \cdot 0,75}{0,49 + 0,39 \cdot 0,75} = 0,1555 \%$$

Chute de tension dans le troisième trançon

$$U_{22} = \frac{8200 \times 36,5}{10 \times 30^2} \frac{0,847 + 0,39 \times 0,75}{0,847 + 0,39 \times 0,75} = 3,33 \%$$

Chute de tension d totale entre Sétif et Aï n -Abessa

$$0,0525 + 0,155 + 3,33 = 3,53 \%$$

Calcul des caractéristiques de la ligne Aïn Ab essa - Mégris

Réactance : X = 0,39 ohm/km

$$\text{Chute de tension en \%} = \frac{M_t}{P_L} = 1,5 \%$$

$$\frac{400 \cdot \cos \phi \cdot 7,5}{10 \times 900} = 1,5 (R + xTg \phi)$$

$$R = \frac{400 \cdot 0,8 \cdot 7,5}{10 \times 900 \times 1,5} \dots 0,39 \cdot 0,75 = 6 \text{ ohm}$$

Connaissant la résistance de la ligne on détermine la section :

$$R = \frac{33,2}{S} \text{ pour un câble en Almelec}$$
$$S = \frac{33,2}{6} = 5,50 \text{ M/M}^2$$

Pour que les pertes par effet Joule dans les câbles soient acceptables, le calcul impose l'adoption d'une section au minimum égale à $5,5 \text{ mm}^2$.

On voit que cette section est très faible et ne pourra permettre des portées assez grandes. On peut évidemment l'adopter mais la construction nécessiterait un nombre très élevé de supports, ce qui ne serait pas du tout économique.

L'E.G.A adopte pour les Hauts-Plateaux le conducteur de $54,6 \text{ mm}^2$ ou de $93,3 \text{ mm}^2$.

Dans la construction des lignes électriques, il importe surtout de calculer la résistance des câbles aux tensions mécaniques.

Le profil en long du terrain très accidenté impose l'implantation des supports à des points précis et fixe donc les portées approximatives.

E T U D E M E C A N I Q U E
DES
L I G N E S A E R I E N N E S

COURBE PRISE PAR UN FIL.

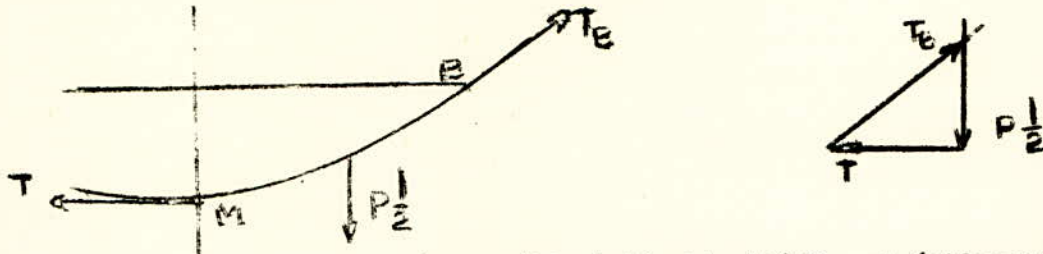
Si l'on suspend par ses deux extrémités un fil très souple formé d'un métal homogène, la courbe d'équilibre prise par ce fil est une Chainette.

Si nous considérons une position de fil comprise entre deux poteaux, ce fil va prendre une certaine position d'équilibre et affectera la forme d'une Chainette dont la courbure dépend de la longueur du fil, de la tension qui lui a été donnée, de la flèche et de la distance entre appuis que nous appellerons portée.

L'équation de la Chainette étant assez compliquée on la remplace parfois dans certains calculs par l'équation d'une parabole. C'est ainsi que dans le calcul de la flèche, il sera procédé à une substitution qui pourra se faire d'ailleurs sans crainte en ce sens que les résultats obtenus sont si peu différents.

EXPRESSION DE LA TENSION APPLIQUEE AU CABLE.

Dans le triangle des forces : $T_B^2 = T^2 + (p \frac{l}{2})^2$



T_B représente la tension appliquée au câble à l'extrémité B, est évidemment égale à la tension appliquée en A.

L'expression ci-dessus donne la valeur de T_B pour des conditions initiales bien déterminées. C'est à dire sans qu'aucun changement n'intervient.

Il nous faut considérer maintenant comment cette expression ou sa valeur évolue compte tenu des conditions fixées par les cahiers des charges.

FACTEURS DONT DEPENDRA LA TENSION DE POSE.

Il nous faudra déterminer une équation dite : "Equation de changement d'Etat", dans laquelle interviennent :

- les variations de température
- les variations de longueur du câble par suite des variations de tension du câble.
- de l'action du vent.
- du poids du gréage admissible sur la ligne.

Cette équation sera utilisée pour la détermination des abaques de tension de pose, des contraintes et surcharges.

EQUATION DE LA CHAINETTE : Assimilation -

$$y = PCh \frac{x}{P}$$

La décomposition en série donne :

$$y = Pch \frac{x}{P} = P \left(1 + \frac{x^2}{2!P^2} + \frac{x^4}{4!P^4} + \dots \right)$$

en effectuant un changement d'axe :

$$y - P = Y$$

$$x = X$$

L'équation décomposée devient :

$$Y = \frac{PX^2}{2!P^2} + \frac{PX^4}{4!P^2} + \dots$$

Je considère uniquement le premier terme du deuxième membre, la suite étant faible, est négligeable devant : $\frac{PX^2}{2!P^2}$

$$Y = \frac{PX^2}{2!P^2} = \frac{X^2}{2!P}$$

C'est l'équation d'une parabole.

On voit donc que l'équation d'un câble tendu peut être représentée approximativement par une parabole.

X représente la demi portée.

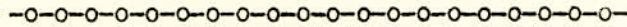
Donc : $2X = a =$ portée.

$$Y = \frac{a^2}{8P}$$

Y représente la flèche.

N.B. C'est cette dernière expression qui sera utilisée pour le calcul des flèches.

H Y P O T H E S E S A D M I N I S T R A T I V E S



Afin de répondre aux conditions de sécurité, des hypothèses ont été formulées par des arrêtés techniques. Il conviendra dans la construction de la ligne de ne pas dépasser les limites imposées.

I. HYPOTHESE "A" DE L'ARRETE TECHNIQUE :

A la température moyenne, avec un vent de 48 Cpz, la tension mécanique des conducteurs ne doit pas dépasser le tiers de leur charge de rupture.

II. HYPOTHESE "B" DE L'ARRETE TECHNIQUE :

A la température minimum pour un vent de 18 Cpz, la tension des conducteurs ne doit pas dépasser le tiers de leur charge de rupture.

III. VIBRATIONS :

A la température moyenne sans vent, la tension mécanique des conducteurs ne doit pas dépasser le cinquième de leur charge de rupture.

Remarque :

Portée critique : c'est la portée mécanique pour laquelle la tension dans l'Hypothèse "A" est égale à la tension dans l'Hypothèse "B".

IV. GIVRE :

Lorsque la ligne est construite dans une zone soumise à de faibles températures, il y a lieu de tenir compte du manchon de givre qui entoure le conducteur. A la température de - 5° C avec un vent de 48 Cpz sur le conducteur considéré, la tension présente un coefficient de sécurité de 1,75 par rapport à la charge de rupture.

5-DIFFERENTES ZONES

à considérer

En Algérie, il convient l'existence de trois zones caractérisées

par des régimes de températures définis ci-après :

<u>LITTORAL</u>	Température Max.	+ 45°C
	Température moyenne	20°C
	Température Mini	- 5°C

<u>HAUTS PLATEAUX</u>	Température Max.	+ 50°C
	Température Moyenne	+ 20°C
	Température Mini.	- 10°C

<u>SAHARA</u>	Température Max.	+ 55°C
	Température moyenne	+ 25°C
	Température Mini	- 5°C

6) HAUTEUR ET CALCUL DU CONDUCTEUR

La hauteur des supports sera déterminée de telle sorte que le point le plus bas des conducteurs se trouve à une hauteur minimum de 6 mètres au dessus du sol pour une température de 55°C sans vent, et 8 mètres au dessus des routes

Traversée des lignes de télécommunications :

La distance minimum est fixée à 2 mètres pour éviter les effets d'induction

7 ECARTEMENT ENTRE PHASES

Dans tous les cas d'armement la distance entre deux conducteurs sera donnée par la formule empirique suivante :

$$D = 0,72(\sqrt{F_m + L + \frac{U}{150}})$$

Fm = Flèche maximum

U = tension entre phases

L = longueur de la chaîne des isolateurs

ETUDE DU PREMIER CANTON DE POSE

La ligne est divisée en deux cantons de pose. Le premier canton de 2263 mètres en longueur en cable d'Almelec de section 54,6 mm² relie Ain-Abessa et le point d'altitude 1200 mètres.

La détermination du paramètre nécessite de nombreux tatonnements. En définitif on adoptera le paramètre 800 pour le 1er canton correspondant à une portée mécanique de 193 mètres.

Les tableaux ci-joint donnent les caractéristiques du canton de pose considéré.

TABLEAU N°	DETERMINATION	DU	PARAMETRE				
			$\left\{ \begin{array}{l} S = 54,6 \text{ mm}^2 \\ = 2,75 \cdot 10^{-6} \end{array} \right.$				
Portées M	a M	a ³ · 10 ⁶ M	a méca M	Altitude	Surcharge	Paramètre	T _i Kg/mm ²
GIVRE							
136	2263	2,52	193	1200	1200g/m/m	800	2,2
196		7,55					
214		9,81					
138		2,62					
207		8,88					
210		9,25					
168		4,74					
263		18,20					
245		14,50					
224		11,23					
102		1,06					
160		4,10					

1er canton
S = 54,6
d = 9,45

DETERMINATION des LONGUEURS soumises au vent ,
DETERMINATION de la Nature des Supports d'alignement

N° Pylône	Type	Longueur soumise au vent	Pression vent	Effort total	Pylône normalisé	Matière
3	146 bs	218	48 cp	302	146 bs 77	A 37
4	96 bs	183	48,96 kg/m ²	254	96 bs 55	
5	96 bs	175		243	96 bs 55	
6	126 bs	213		296	126 bs 66	
7	106 bs	198		275	106 bs 55	
8	116 bs	228		317	116 bs 66	
9	116 bs	263		315	116 bs 66	
10	106 bs	247		343	106 bs 66	
11	146 bs	174		242	146 bs 77	
12	86 bs	133		185	86 bs 45	

DETERMINATION des PYLONES d'ANGLES et d'ARRÊT
dans le canton N° 1

I Calcul du Pylône N° 1

caractéristiques : Pylône d'Arrêt
coef. de sécurité 1,75
Nbre de conducteur 3

a) Tension mécanique admissible. au coefficient 1,75

$$\frac{R_r}{1,75} = \frac{30,8}{1,75} = 17,6 \text{ kg/mm}^2$$

b) Force de traction due aux conducteurs dans le cas d'une rupture accidentelle

$$17,6 \times 3 \times 54,6 = 2900 \text{ kg}$$

c) Effort dû au vent =

$$F_r = L \times 48,96 \times 9,45 \times 3 = 93 \text{ kg}$$

d) Résultante :

$$R^2 = 93^2 + 2900^2$$

$$R = 2900 \text{ kg}$$

Dans le cas d'un pylône d'arrêt, on peut négliger sans grande erreur l'effort dû au vent sur les trois conducteurs.

On choisira dans la gamme du fabricant le pylône 96 bs 1010
effort en tête 3450 kg - Poids 757 kg

II - Calcul du pylône N° 2

caractéristiques : Pylône d'angle = 112 G2 = 101°
coef de sécurité 1,75

Ce support doit être calculé de la même façon qu'un pylône d'arrêt
vent 48 opt

$$\text{Tension mécanique } 17,6 \text{ kg/mm}^2$$

.. effort dû aux trois conducteurs : en cas de surcharge accidentelle.

$$F_1 = F_2 = 17,6 \times 54,6 \times 3 = 2900 \text{ Kg}$$

b) Effort résultant dans l'hypothèse la plus sévère.

$$2 \times 7 \times 54,6 \times 3 \times \sin \frac{\alpha}{2} = 7 \times 54,6 \times 3 \times 2 \times 0,777 = 890 \text{ kg}$$

c) Effort dû au vent : négligeable devant l'effort dû aux conducteurs en cas de rupture accidentelle.

Le pylône sera calculé pour l'effort le plus élevé c'est à dire pour le cas d'une rupture accidentelle.

On placera un pylône 96 bs 1010

III - Calcul du pylône d'arrêt N° 13

Il y a changement de paramètre et changement de section de cable, le pylône sera calculé pour l'effort le plus élevé :

a) effort exercé par les trois conducteurs en cas de surcharge accidentelle :

$$16,95 \times 93,3 \times 3 = 4750 \text{ kg}$$

on choisira deux pylônes (bipôde) 86 bs 99

1er CANTON

CALCUL de l' ARMEMENT

Distance entre phase

Il convient de calculer d'après les portées adjacentes la distance entre phase d'après l'expression donnée précédemment.

- On emploiera l'armement nappe voûte 170. Dans le cas où les portées adjacentes n'existent pas 185 m.

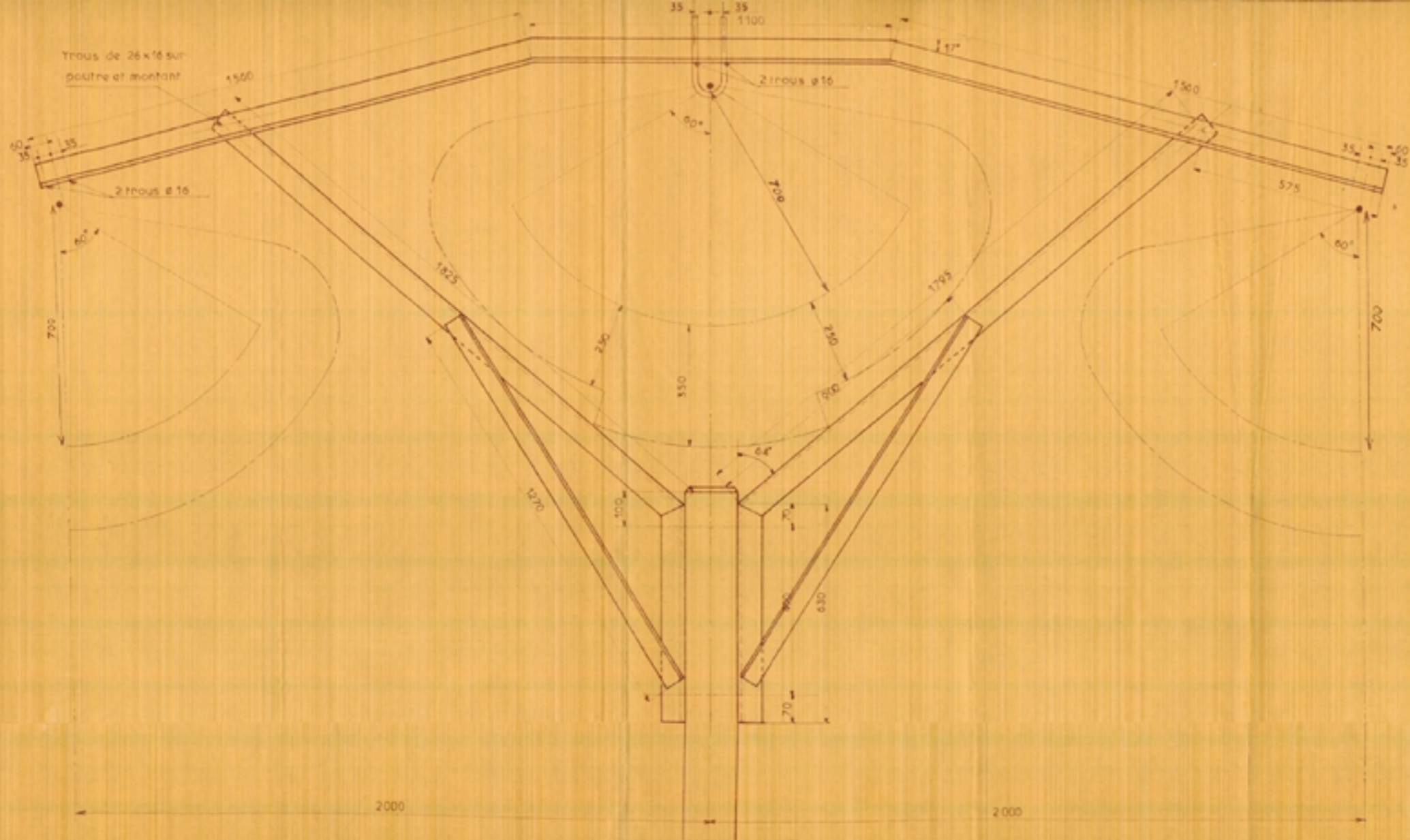
- L'armement 200 nappe voûte dans le cas où les portées adjacentes n'excèdent pas 211m.

- Dans tous les autres cas on utilisera l'armement en nappe voûte ou nappe.

Les distances entre phase sont données dans le tableau ci-joint.

- Les isolateurs utilisés sont des chaînes à trois éléments CTV 175 (voir dessin). Dans le cas d'une traversée d'une grande route, on utilisera une chaîne à quatre éléments.

N° pylone	Longueur chaîne	Flèche max.	D	Type d'Armement	Nbre d'éléments Isolateur	REMARQUES
1	0,65 m	2,89	170	Nappe	3	Ancrage
2		6	200	"	"	"
3		7,025	200	Nappe voûte	"	alignement
4		2,98	200	"	"	"
5		6,7	200	"	"	"
6		6,9	200	"	"	"
7		4,42	200	"	"	"
8		10,8	260	"	"	"
9		9,4	260	"	"	"
10		7,85	230	"	"	"
11		1,62	170	"	"	"
12		4	170	"	"	"
13			200	Nappe	"	Ancrage



ARMEMENT METALLIQUE
 NAPPE VOUTE
 —
 TYPE 200

Chaînes d'isolateurs CTV175

- Distance entre gâse : 2m
- Effort vertical admissible par étrier : 160kg
- Effort transversal horizontal admissible
 par étrier 110kg
- Longueur de chaîne maximum : 700m
- Distance d'isolement { Sens vent 0,35m
 Avec vent 0,25m
- Inclinaison maximum des chaînes : 60°
- Cornière 70x70,7mm
- Poids 85kg

EQUATIONS de CHANGEMENT d' ETAT

Soit un conducteur tendu entre deux supports A et B et désigné par :

- t_i = tension initiale en kg/mm^2
- ρ = poids spécifique
- m_i = coefficient de surcharge dû au vent à l'état initial
- θ_i = température initiale

Ces grandeurs sont appelées à évoluer avec le changement des conditions atmosphériques.

L'expression ci-dessous permet de passer d'un état initial à un état final. définit par :

- t_f = tension finale
- m_f = coef de surcharge final
- θ_f = température finale

$$t_f^3 + t_f^2 \left[\frac{E}{24} \frac{m_i^2 - 2 a^2}{t_i^2} + E \alpha (\theta_f - \theta_i) - t_i \right] = \frac{E}{24} m_f^2 a^2$$

- avec E = module d'élasticité
 a = portée mécanique
 α = coef de température du métal

cette équation permet de tracer les abaques, dans chacune des hypothèses définies par l'arrêté technique.

$t_f = f(a)$ dite abaque de tension et surcharge

$t_f = f(\theta)$ dite abaque des tensions de pose.

.../...

CONSTRUCTION des ABAQUES

I - ABAQUES des CONTRAINTES et SURCHARGES.

connaissant les conditions initiales, il faut déterminer les valeurs des tensions finales en fonction des portées mécanique.

On considère trois cas :

- 1 - d'après l'hypothèse administrative A
- 2 - d'après l'hypothèse administrative B
- 3 - d'après la condition à vibration

Hypothèse A.

<u>Conditions initiales</u>	P = 800	S = 54,6 mm ²
d'après l'hypothèse A	t _i = 2,2	/mm ²
	θ _i = 50°	
	θ _f = 20° = θ moyen	
	vent = 48 C.F.E	

ABAQUES de CONTRAINTES : $t_f = f(m)$

S = 54,6
P = 800

$$t_f^3 + t_f^2 \left[\frac{E}{24} \frac{m_i^2 \sigma^2}{t_i^2} + E (\theta_f - \theta_i) - t_i \right] = \frac{E}{24} m_f^2 \sigma^2 =$$

Expression qui peut être mise sous la forme $t_f^3 + t_f^2 A = B$
 $= t_f + A = \frac{B}{t_f^2}$

		$\frac{E}{24} m^2 \sigma^2$	$\frac{E}{24} \frac{m_i^2 \sigma^2}{t_i^2}$	$E (\theta_f - \theta_i)$	m_f	m_f^2	$\frac{E}{24} m_f^2 \sigma^2$	$C + D - t_i$	t_f
50	$25 \cdot 10^2$	$47,25 \cdot 10^{-1}$	$9,77 \cdot 10^{-1}$	- 4,14	3,24	10,25	$485 \cdot 10^{-1}$	-5,363	6,51
100	10^4	$189 \cdot 10^{-1}$	$39,1 \cdot 10^{-1}$				$1940 \cdot 10^{-1}$	-8,43	6,675
150	$225 \cdot 10^2$	$425 \cdot 10^{-1}$	$87,9 \cdot 10^{-1}$				$4360 \cdot 10^{-1}$	2,45	6,85
200	$4 \cdot 10^4$	$756 \cdot 10^{-1}$	$156 \cdot 10^{-1}$				$7760 \cdot 10^{-1}$	9,26	6,925
250	$625 \cdot 10^2$	118	24,4				1210	18,06	6,95
300	$9 \cdot 10^4$	170	35,2				1745	28,86	7
			C	D			B	A	

Tableau N° 3 Résolution de l'équation de changement S. Etat d'après Hypothèse A.

ω	ω^2	$\frac{E \omega^2}{24}$	$\frac{E \omega^2}{24 ti^2}$	$E \alpha (\theta_f - \theta_i)$	mf	mf ²	$\frac{E \omega^2}{24}$	C+D -ti	tf
50	$25 \cdot 10^2$	$47,25 \cdot 10^{-1}$	$9,77 \cdot 10^{-1}$	-8,28	1,53	2,34	$111 \cdot 10^{-1}$	-9,503	9,622
100	10^4	$189 \cdot 10^{-1}$	$39,1 \cdot 10^{-1}$				$442,5 \cdot 10^{-1}$	-6,57	7,38
150	$225 \cdot 10^2$	$425 \cdot 10^{-1}$	$87,9 \cdot 10^{-1}$				$994 \cdot 10^{-1}$	-1,29	5,1
200	$4 \cdot 10^4$	$756 \cdot 10^{-1}$	$156 \cdot 10^{-1}$				$1770 \cdot 10^{-1}$	5,12	4,325
250	$625 \cdot 10^2$	118	24,4				276	13,92	3,93
300	$9 \cdot 10^4$	170	35,2				398	24,72	3,68
			C	D			B	A	

Tableau N° 4 Résolution de l'équation de changement d'état d'après hypothèse B.

a	a^2	$\frac{E}{24} \omega^2 a^2$	$\frac{E}{24} \frac{2}{ti^2}$	$E \propto (\theta_f - \theta_i)$	mf^2	$\frac{E}{24} mf^2 \omega^2 a^2$	$C + D - ti$	tf
50	$25 \cdot 10^2$	$47,25 \cdot 10^{-1}$	$9,77 \cdot 10^{-1}$	- 4,14	1	$47,25 \cdot 10^{-1}$	-5,363	5,518
100	10^4	$189 \cdot 10^{-1}$	$39,1 \cdot 10^{-1}$			$189 \cdot 10^{-1}$	-2,43	3,75
150	$225 \cdot 10^2$	$425 \cdot 10^{-1}$	$87,9 \cdot 10^{-1}$			$425 \cdot 10^{-1}$	2,45	2,825
200	$4 \cdot 10^4$	$756 \cdot 10^{-1}$	$156 \cdot 10^{-1}$			$756 \cdot 10^{-1}$	9,26	2,5
250	$625 \cdot 10^2$	118	24,4			118	18,06	2,37
300	$9 \cdot 10^4$	170	35,2			170	28,86	2,32
			C	D		B	A	

- 21 -

Tableau N° 5 Résolution de l'équation de changement d'état d'après la condition aux vibrations.

Tension en Kg/mm^2

Arrêt Technique $C_3=3$ $t=10,27$

Hypothèse A $+20^\circ\text{C}$ Vent 48 Cpz

Vibrations $C_5=5$ $t=6,16$

Hypothèse B -10°C Vent 48 Cpz

Vibrations $+20^\circ\text{C}$ Vent nul

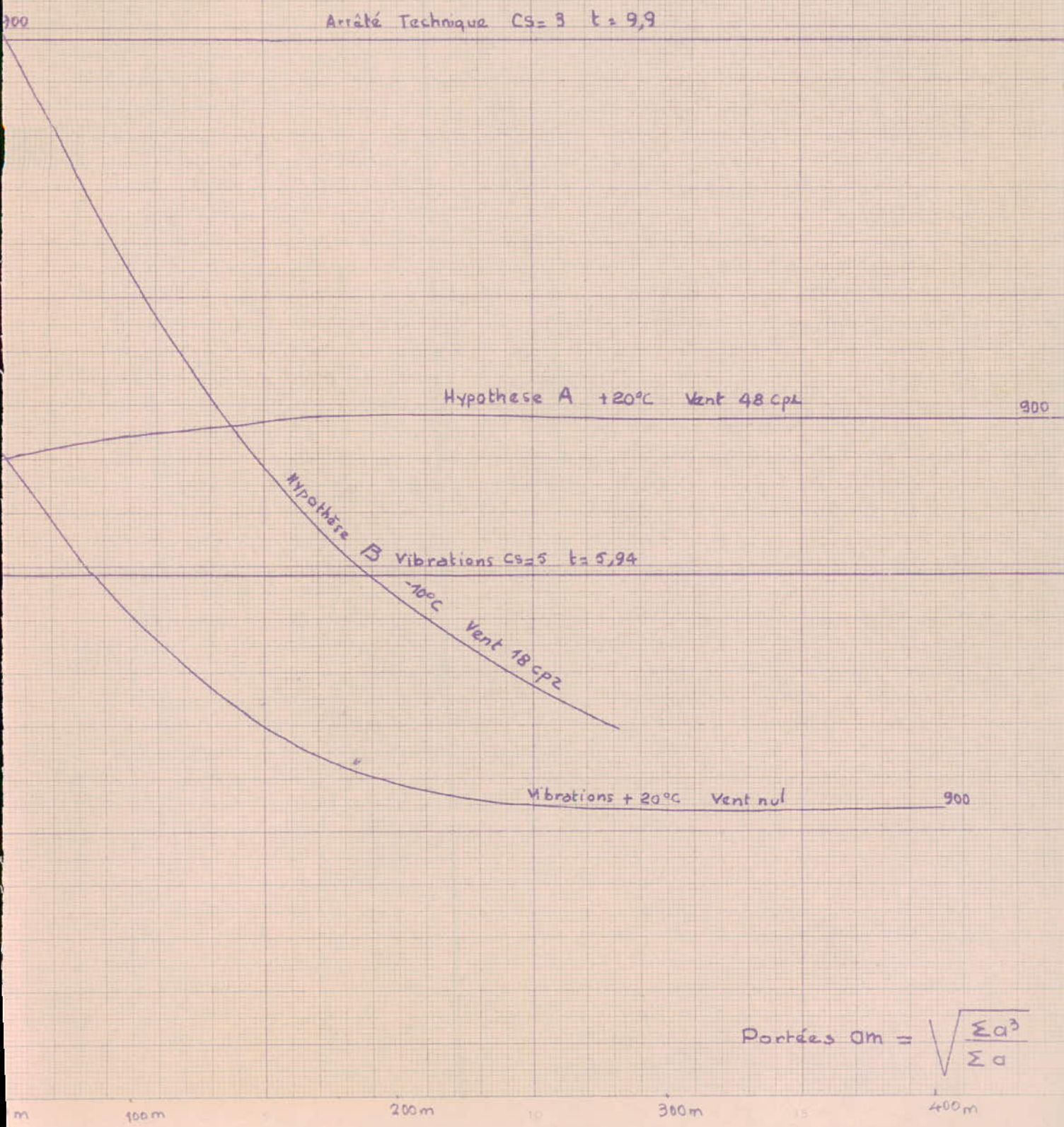
$$\text{Portées } aM = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}}$$

100m

200m

300m

Tension en Kg/mm²



Arrêté Technique CS=3 t=9,9

Hypothèse A +20°C Vent 48 cph

Hypothèse B Vibrations CS=5 t=5,94

-10°C Vent 18 cph

Vibrations +20°C Vent nul

$$Portées Om = \sqrt{\frac{\sum a^3}{\sum a}}$$

m 100m 200m 300m 400m

ETUDE du DEUXIEME Canton de pose

I - Détermination du Paramètre

$S = 93,3 \text{ mm}^2$ $\sigma = 0,00277$

N° Pylône	Portées	N° Pylône	Portées		3	m	P	t_i en kg/m^2
14	193	27	189					
15	303	28	316					
16	205	29	138					
17	240	30	353					
18	253	31	196					
19	167	32	190	5407	$2638 \cdot 10^5$	221	900	2.495
20	222	33	228					
21	198	34	207					
22	210	35	170					
23	243	36	202					
24	201	37	200					
25	178	38	231					
26	174							

2^{ème} canton
 (s = 93,3 mm²)
 (d = 12,5 m)

DETERMINATION des LONGUEURS soumises au vent

DETERMINATION de la Nature des Supports d'Alignement.

N° Pylône	Type	Longueur soumise au vent	Pression vent	Effort total	Pylône Normalisé	Matière
14	126 bs	250	48 cpz	457,5	126 bs 77	A 37
15	146 bs	259		475	146 bs 77	
17	86 bs	251		460	86 bs 66	
18	116 bs	211		386	116 bs 66	
19	86 bs	204		373	86 bs 55	
20	106 bs	231		422,5	106 bs 66	
21	146 bs	229		428	146 bs 77	
22	146 bs	241		450	146 bs 77	
23	116 bs	225, 5		420	116 bs 66	
24	86 bs	202, 5		382	86 bs 55	
25	86 bs	203		380	86 bs 55	
26	126 bs	216		403	186 bs 77	
27	126 bs	179		334	126 bs 66	
28	116 bs	258		481	116 bs 77	
30	86 bs	312		582	2. 86 bs 55 (bipède)	
31	106 bs	236		440	106 bs 66	
32	126 bs	228	425	126 bs 77		
33	106 bs	262	490	106 bs 77		
34	116 bs	257	480	116 bs 77		
36	146 bs	214	400	146 bs 77		

DEUXIEME CANTON

CALCUL des ARMEMENTS

N° Pylône	L. chaîne	Flèche max.	D m	Type armement	Nbre Eléments	OBSER.
14	0,65m	5,3m	2,80	N V	3 éléments	C T V 175
15		13,2	2,80	N V	"	
16		5,7	2,30	Nappe	Ancrage	3 éléments
17		8	2,40	N V	3 éléments	suspendus
18		8,8	2,40	"	"	
19		4	2,00	"	"	
20		6,9	2,00	"	"	
21		6,1	2,00	"	"	
22		8,3	2,30	"	"	
23		8,3	2,30	"	"	
24		5,7	2,00	"	"	
25		4,9	1,70	"	"	
26		5,6	1,70	N V	3 éléments	C T V 175 susp.
27		14	2,80	"	"	
28		14	2,80	"	"	
29		17,2	3,20	Nappe	Ancrage	
30		17,2	3,20	N V	3 éléments	suspendus
31		5,3	1,70	"	"	
32		7,2	2,20	"	"	
33		7,4	2,20	"	"	
34		6	2,00	"	"	
35		5,8	2,00	Nappe	Ancrage	"
36		5,8	2,00	"	Eléments	suspendus
37		7,5	2,20	"	Ancrage	
38		7,5	2,20	nappe	Ancrage	

CANTON N° 2

Calcul des Pylônes d'Arrêt et des Pylône d'Angles

1) Calcul du Pylône d'Angle N° 16

Caractéristique : 106 bs

$$\alpha = 34,70 \text{ Gr} = 31,2^\circ$$

Tension des conducteurs: $16,95 \text{ kg} / \text{mm}^2$

a) Calcul de l'effort exercé par les trois conducteurs : en cas de surcharge accidentelle

$$F_1 = F_2 = 16,95 \times 93,3 \times 3 = 4740 \text{ kg}$$

b) Résultante

$$R_1 = 2F \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 4740 \times 0,276 = 2620 \text{ kg}$$

c) Effort dû au vent

$$10^{-3} \times 230 \times 48,96 \times 3 \times 12,5 \cos^2 \frac{\alpha}{2} = 230 \times 48,96 \times 3 \times 12,5 \times 0,924 \cdot 10^{-3}$$

$$F_v = 390 \text{ kg}$$

d) Résultante Générale

$$R^2 = F_v^2 + R_1^2 = 390^2 + 2620^2 = R = 2640 \text{ kg}$$

On choisira le pylône :

106 bs 99

2) Calcul du pylône d'angle N° 29

caractéristique 96 bs

coefficient de sécurité: 1,75

$$\alpha = 54 \text{ Gr}$$

.../...

.../...

45 Gr ce support sera calculé en l'assimilant à un pylône d'arrêt.

a) Effort dû aux conducteurs suite d'une surcharge accidentelle

$$F = 16,95 \times 93,3 \times 3 = 4750 \text{ kg}$$

b) Effort dû au vent = négligeable devant F

On choisira deux pylônes 96 bs 99 (bipôdes)

III -- Calcul du Pylône d'angle N° 35

caractéristiques 116 bs

$$= 39 \text{ Gr } 60 = 33,64^\circ$$

coef. de sécurité 1,75

a) Résultante dû à l'effort de traction exercé par les conducteurs

$$R = 2 \times 16,95 \times 93,3 \times 3 \times \sin \frac{33,64}{2} = 2780 \text{ kg}$$

b) Effort dû au vent

$$F_v = 48,96 \times 225 \times 3 \times 12,5 \times 0,956^2 = 378 \text{ kg}$$

c) Résultante

$$R_G^2 = R^2 + F_v^2 = 2780^2 + 378^2$$

$$R_G = 2810 \text{ kg}$$

on choisira le pylône 116 bs 1010

.../...

IV - Calcul du pylône d'arrêt N° 37

Caractéristique : 86 bs

$$\alpha = 31 \text{ Gr } 6 = 28,4^\circ$$

longueur soumise au vent = 218 m

a) force de traction due aux conducteurs

$$F_1 = F_2 = 16,95 \times 93,3 \times 3 = 4750 \text{ kg}$$

b) Résultante

$$R = 2F \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 4750 \sin \frac{28,4}{2}$$

$$= 2 \times 4750 \times 0,242 = 2300 \text{ kg}$$

c) face d0 au vent = 380 kg

d) résultante

$$R^2 = 380^2 + 2300^2$$

$$R = 2320 \text{ kg}$$

on prendra le pylône 86 bs 99

IV - Calcul du Pylône d'arrêt N° 38.

caractéristiques : 106 bs

coef de sécurité 1,75

a) Force d0e aux trois conducteurs

$$F = 16,95 \times 93,3 \times 3 = 4750$$

b) force d0e au vent

négligeable

c) Résultante : 4750 kg

on prendra deux supports (bipodes) 106 bs 99

POSE des CONDUCTEURS

Abaque des tensions de Pose

La pose des conducteurs s'effectuera dans les conditions suivantes :

vent : nul mf = 1

température > 0°

Il convient donc d'étudier la tension de pose à appliquer au câble pour les températures variant entre 0° et 50°.

ex : température possible à l'instant de la pose :

10,15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50.

Equation de changement d'état :

$$t_f^3 + t_f^2 \left[\frac{E}{24} \frac{2^2}{t_i^2} + E \alpha (\theta_f - \theta_i) - t_i \right] = \frac{E}{24} 2^2 \alpha^2$$

$$t_f^3 + t_f^2 \left[\frac{M}{t_i^2} - t_i + \alpha E (\theta_f - \theta_i) \right] = M$$

$$t_f^3 + t_f^2 \left[M' + \alpha E (\theta_f - \theta_i) \right] = M$$

$$t_f + M' + \alpha E (\theta_f - \theta_i) = \frac{M}{t_f^2}$$

$$t_f + H = \frac{M}{t_f^2}$$

avec $M = \frac{E}{24} 2^2 \alpha^2$

$$M' = \frac{E}{24} \frac{2^2 \alpha^2}{t_i^2} - t_i = \frac{M}{t_i^2} - t_i$$

$$H = M' + E \alpha (\theta_f - \theta_i)$$

On déduit aussi $t_f = f(\theta)$ soit de la pose des conducteurs, il faudra veiller à ce que le vent soit négligeable pour pouvoir utiliser sans crainte les abaques des tensions de pose.

α	M	M'	θ	$\alpha E(\theta_f - \theta_i)$	$M' + \alpha E(\theta_f - \theta_i)$	t_f
50	$47,25 \cdot 10^{-1}$	1,223	10°	- 5,52	- 6,743	6,85
100	$189 \cdot 10^{-1}$	1,71			- 3,81	4,64
150	$425 \cdot 10^{-1}$	6,59			1,07	3,18
200	$756 \cdot 10^{-1}$	13,4			7,88	2,68
250	118	22,2			16,68	2,47
300	170	33			27,48	2,39
					H	

Tableau N° 8 Résolution équation de changement d'état abaque
des tensions de pose.

Tableau N° 9 Tension de Pose.

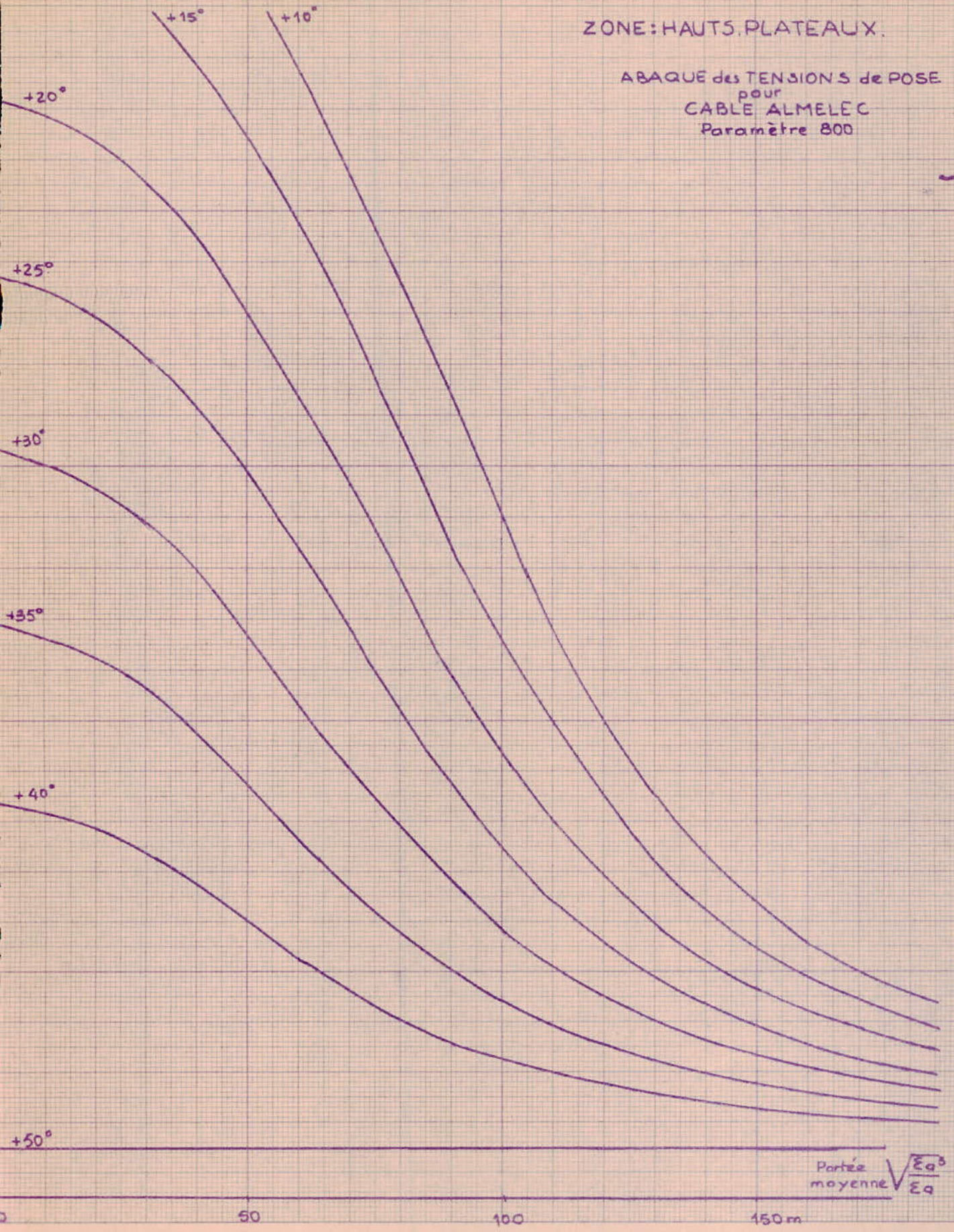
a	θ	$E\alpha(\theta_f - \theta_i)$	$H = M' + \alpha E(\theta_f - \theta_i)$	t_f
50	20'	- 4,14	- 5,363	5,51
100			- 243	3,675
150			2,45	2,82
200			9,26	2,54
250			18,06	2,4
300			28,86	2,34

Tableau N° 10 Tension de Pose.

a	θ	$\alpha E(\theta_f - \theta_i)$	$H = M' + \alpha E(\theta_f - \theta_i)$	t_f
50	30	- 2,76	- 3,923	4,19
100			- 1,05	3,05
150			3,83	2,78
200			10,64	2,41
250			19,44	2,32
300			30,24	2,28

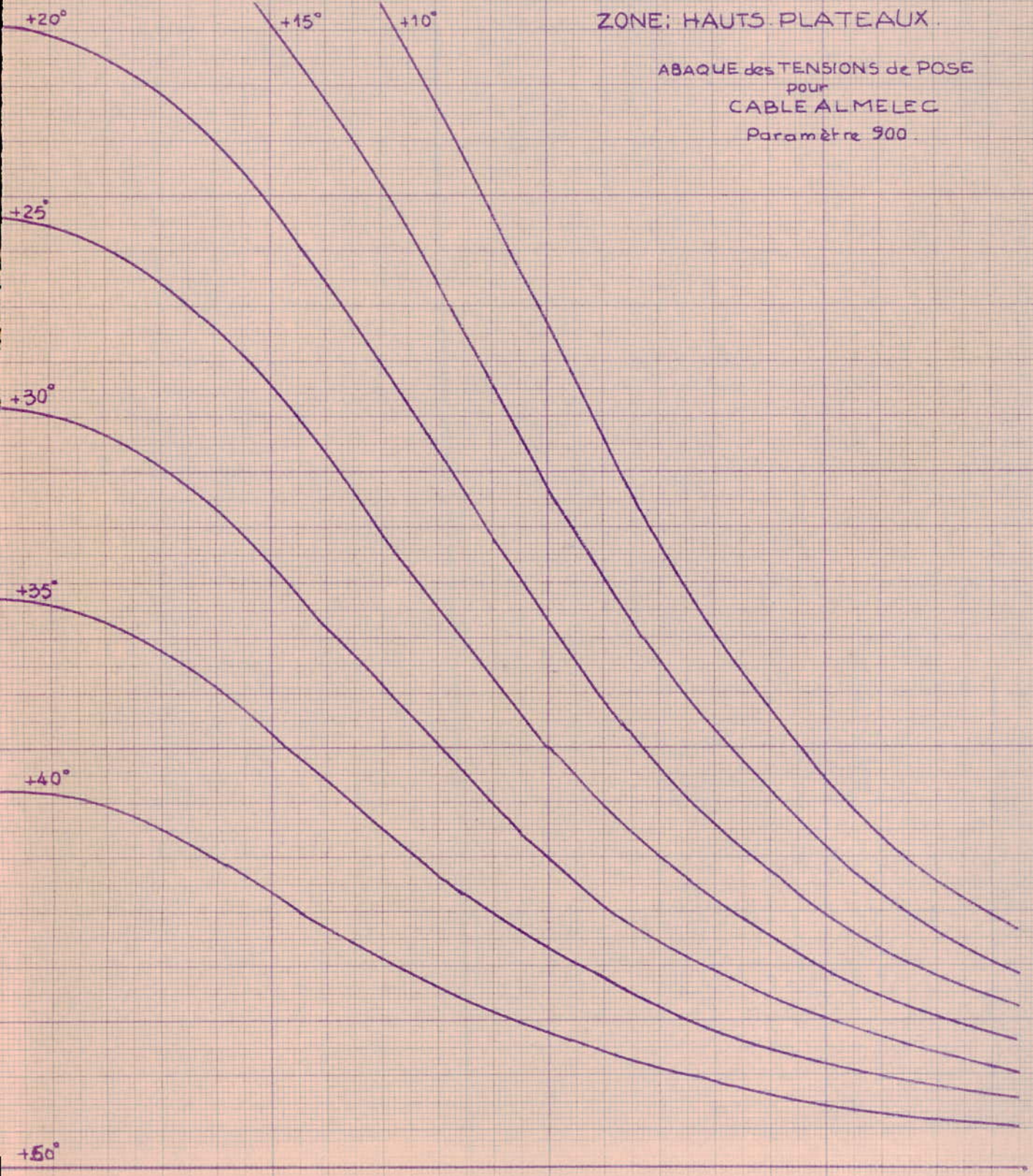
ZONE: HAUTS PLATEAUX.

ABaque des TENSIONS de POSE
pour
CABLE ALMELEC
Paramètre 800



ZONE: HAUTS PLATEAUX.

ABaque des TENSIONS de POSE
pour
CABLE ALMELEC
Paramètre 900.



Portée moyenne $\sqrt{\frac{Ea^3}{\xi a}}$

CALCUL DES MASSIFS DE FONDATION

-0-0-0-0-0-0-0-0-

Il ne sera fait à titre d'exemple que le calcul relatif au massif de fondation N° 1 .

1/ - MOMENT DE STABILITE : formule "d'André NORSA"

$$M_s = \frac{Pa}{2} - \frac{2}{3} \frac{P^2}{bq} + \frac{b^2 q^2 h^3}{82 P} \text{ en mKg}$$

a = côté du massif parallèle à l'effort en tête
b = côté du massif perpendiculaire à l'effort en tête
q = pression maximum en fonds de fouille = 30.000 Kg/m²
h = hauteur du massif

$$\frac{Pa}{2} = \text{moment de stabilité propre du massif}$$

$$\frac{2}{3} \frac{P^2}{bq} = \text{moment de stabilité négatif dû à la réaction du fonds de la fouille}$$

$$\frac{b^2 q^2 h^3}{82 P} = \text{moment de stabilité dû à la réaction des terres des parois verticales}$$

2/ - MOMENT DE RENVERSEMENT :

$$M_r = F.H + M_{rv} + (F+t)h \text{ en mKg}$$

F = effort en tête

H = hauteur hors sol

t = effort tranchant

M_{rv} = moment de renversement dû au vent

3/ - COEFFICIENT DE STABILITE :

$$S = \frac{M_s}{M_r}$$

o) MASSIF N° 4 96 bs 1070

Il faut à priori dimensionner approximativement le massif.
Le Coefficient S est fixé à 1,5 au moins pour un type d'arrêt.

c) Poids du support avec armatures

$$757 \text{ Kg} + 50 \text{ Kg} = 810 \text{ Kg}$$

b) Dimensionnel:

On adopte un massif à Section Carrée $a=b=2,5 \text{ m}$ $h=3 \text{ m}$

e) Moment de renversement au niveau du sol dû à l'effort en tête

$$M_{\text{Li}} = 3700 \times 9,6 = 34.000 \text{ mKg}$$

d) Moment de renversement dû au vent.

$$M_{\text{TV}} = 1723 \text{ mKg} \text{ (voir catalogue du constructeur)}$$

e) Moment de renversement dû à l'effort tranchant. $t = 382 \text{ Kg}$

$$(F+t)h = (3540 + 382)3 = 11.800 \text{ mKg}$$

f) Moment de renversement total;

$$11.800 + 1.723 + 34.000 = 47.523 \text{ mKg}$$

g) Moment de Stabilité propre

$$P \cdot \frac{a}{2} = 41.100 \times \frac{2,5}{2} = 51.500 \text{ mKg}$$

i) Moment de Stabilité négatif dû à la réaction du fonds de la fouille

$$-\frac{2}{3} \frac{P^2}{bq} = -\frac{2}{3} \frac{41.100^2}{2,5 \times 30.000} = -15.200 \text{ mKg}$$

j) Moment de Stabilité total

$$51.500 + 44.700 - 15.200 = 81.000 \text{ mKg}$$

k) Coefficient de Stabilité

$$S = \frac{M_s}{M_r} = \frac{81.000}{48.000} = 1,68 \quad S \quad 1,5$$

Les dimensions choisies aboutissent à un coefficient de stabilité plus grand que 1,5. Si S = 1,5 ; il faudrait alors fixer d'autres dimensions du massif et refaire les calculs jusqu'à l'obtention de S convenable.