

6/79

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université d'Alger (E.N.P.A.)

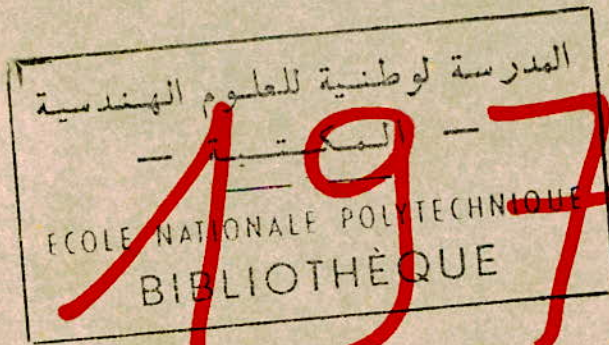
2ea

ELECTRICITE



PROJET de Fin d'études

ETUDE de la LIGNE DE TRANSPORT  
D'ENERGIE ELECTRIQUE . Tiarret - Saïda.



Rédigé par:

Suivi par:

L. DJEMILI

C. DUMITRIU

ETUDE DE LA LIGNE DE

TRANSPORT D'ENERGIE ELECTRIQUE

TIARET - SAIDA

A la mémoire

de mes chers parents.

A mes:

*professeurs,*

*amis et collègues.*

## Sommaire :

- But de l'étude : . . . . . 5.
  - Introduction et généralités : . . . . . 6.
  - Extraits du cahier des charges (Sonelgaz - 69) . . . . . 13.
  - Calcul électrique des câbles : . . . . . 19.
  - Hyp. d'état admises en Algérie pour le calcul  
mécanique des câbles : . . . . . 40.
  - Développement des formules pour le calcul des lignes : . 49.
  - Câbles de terre : . . . . . 67.
  - Vérification des tensions dans le câble aux  
points d'appui : . . . . . 71.
  - Calcul des traversées : . . . . . 76.
  - Vérification des pylônes : . . . . . 78.
  - Type de chaînes utilisé - Calcul des contre-poids : . 86.
  - Raccordement à la travée du poste de Saïda : . . . 97.
  - Conclusion : . . . . . 100.
-

Cette ligne de transport d'énergie électrique est prévue pour une tension nominale de 220 KV, une puissance de 100 MW résultant de 4 groupes générateurs de 25 MW chacun, installés à la centrale de Tiaret; le facteur de puissance étant de 0,85 inductif.

Elle est prévue pour être équipée de 3 conducteurs Alu-acier de  $411 \text{ mm}^2$  ou de  $288 \text{ mm}^2$  de section disposés en nappe horizontale.

L'étude consiste au calcul électro-mécanique de la ligne de transport d'énergie électrique, longue de 122,8 km environ, reliant la centrale de Tiaret au poste de Saïda. Le calcul électrique comprend principalement l'évaluation comparative des chutes de tension et du rendement de cette ligne dans les 2 cas où les câbles sont de section  $411 \text{ mm}^2$  et  $288 \text{ mm}^2$ .

Le calcul mécanique s'entend le calcul des tensions dans le câble à l'aide de l'équation de changement d'état, ainsi que la vérification des la tenue des supports sous les contraintes verticales et horizontales transmises par les conducteurs.

La répartition des pylônes sur le profil en long est effectuée seulement sur 3 tronçons au départ du poste de Saïda.

## Introduction et Généralités

La raison d'être d'un grand réseau assurant des fonctions de transport et d'interconnexion, l'impérative nécessité de son développement, permettant seul de faire face économiquement à l'accroissement de la consommation d'énergie électrique en assurant l'amélioration continue de la qualité du produit délivré, sont, après réflexion des éléments assez aisément admis pour tous ceux qui ne remettent pas fondamentalement en cause notre forme de civilisation.

Les lignes électriques ne jouissent pas aujourd'hui d'une grande faveur dans le public. Plus difficile est de le convaincre de l'impérissabilité technique de substituer aux ouvrages aériens ces si séduisantes liaisons souterraines, dont on admet qu'elles puissent être beaucoup plus onéreuses mais dont on ne comprend pas qu'elles ne permettent pas de transporter aussi loin d'aussi importantes puissances que les lignes aériennes.

Et pourtant si l'on construit encore aujourd'hui des grandes lignes aériennes, c'est bien parce qu'il n'y a pas d'alternative et la situation n'évoluera pas sensiblement dans un proche avenir, quels que soient les efforts de recherche actuellement engagés dans tous les pays industrialisés en vue de développer de nouvelles techniques de transport en souterrain.

L'apparente simplicité d'une ligne aérienne incite le non-spécialiste à sous-estimer les difficultés qu'en présentent l'étude et la réalisation.

Il a tendance à considérer, qu'après tout il s'agit seulement de suspendre des fils métalliques de section confortable à une hauteur suffisante au-dessus du sol en les accrochant à des supports également métalliques.

L'importance des éléments mis en cause et la sévérité des contraintes de toutes natures, électriques, thermiques, mécaniques, d'origine fonctionnelle et climatique auxquelles sont soumis les lignes aériennes impliquent, pour réussir, une parfaite connaissance des phénomènes physiques et la totale maîtrise d'une technologie très élaborée.



## Choix et définition du tracé.

### Etude topographique.

Quant il est question de faire choix d'un tracé de ligne, le responsable se trouve placé devant plusieurs voies, présentant toutes des avantages et des inconvénients :

- Le tracé direct, la ligne droite, représente la solution à laquelle on pense en premier lieu. Mais l'expérience montre que cette solution idéale ne peut généralement être retenue. Il existe toujours des raisons impérieuses, même dans les régions désertiques, et à plus forte raison dans les pays habités ; pour améliorer un tracé, sans d'ailleurs l'allonger considérablement, en l'éloignant des obstacles qui se trouvent sur le parcours direct.

Quels sont ces obstacles qui conditionnent le choix du tracé ?

#### 1. Etude préalable sur carte :

La meilleure façon, d'aborder le problème est de se procurer les cartes de la région traversée. Il s'agit des cartes :

au  $\frac{1}{50.000}$  ;  $\frac{1}{25.000}$  et  $\frac{1}{20.000}$  et au  $\frac{1}{10.000}$ ,

de certaines régions. Elles peuvent être complétées par des photographies aériennes.

Ces cartes permettent d'établir une ébauche très valable du tracé théorique. Cette étude préalable doit d'ailleurs servir de guide pour l'étude du tracé définitif, objet de notre préoccupation.

Ces cartes sont en effet suffisantes pour situer la plupart des obstacles qu'il y a lieu d'éviter.

## 2 - Étude topographique:

Pendant que se déroule l'enquête du tracé dont l'aboutissement demande généralement plusieurs mois, il est de règle de commencer l'étude topographique de la ligne, une fois obtenu de l'administration l'arrêté de pénétration dans les propriétés.

Cette étude topographique doit être faite par un géomètre, ayant une parfaite connaissance de la ligne à construire et de sujétions qu'entraîne son établissement. C'est pourquoi il est 'justifié' à cet égard d'utiliser les services des entreprises dont les géomètres spécialisés sont familiarisés avec ces problèmes de construction de lignes électriques, plutôt que de confier ces études à des cabinets de géomètres qui, sauf exception, sont sans références particulières dans la spécialité.

### 2.1. Balisage sommaire:

À la base de l'étude se place toujours l'exécution du balisage. Un premier balisage dit "balisage sommaire" est effectué par le géomètre en vue de matérialiser sur le terrain, le tracé de principe figurant sur la carte qui lui a été remise.

Ce premier balisage lui permet de s'assurer que le tracé satisfait bien aux prescriptions imposées; à savoir:

- Distances minimales de 150m par rapport aux agglomérations, de 40m par rapport aux habitations isolées (par exple).
- Choix et position convenable des angles du tracé.

## 2.2. Balisage définitif:

Quand l'accord a été donné au géomètre sur le balisage sommaire et sur les propositions de modifications qu'il a formulées, ce dernier peut passer au balisage définitif.

Il s'agit alors de la matérialisation sur le terrain du tracé définitif de la ligne, dont l'ébauche a été figurée au moment du balisage provisoire. L'attention du géomètre doit alors se porter sur l'observation de certaines règles prescrites par les règlements ou résultant plus simplement des règles de l'art.

### a) Traversées:

Ces règles concernent principalement les traversées, c'est-à-dire les croisements de la ligne à construire avec les obstacles linéaires rencontrés:

- routes et autoroutes, chemins divers;
- voies ferrées;
- voies fluviales et canaux de navigation;
- circuits téléphoniques;
- lignes électriques,
- téléphériques.

Pour les traversées ci-dessus, les règles administratives ont longtemps prescrit un angle minimal de croisement de  $15^\circ$ . Aucun angle minimum n'est maintenant prescrit pour les traversées de lignes électriques et de circuits téléphoniques.

Quoi qu'il en soit, pour éviter des longueurs de surplomb trop accentuées

qui créent des difficultés particulières pour l'implantation et exigent des précautions spéciales à l'occasion de la construction et de l'entretien des installations; il est recommandé de ne jamais atteindre ces limites extrêmes, qu'il s'agisse de traversées de routes, voies ferrées, fluviales, canaux de navigation, ou même des traversées des lignes électriques ou des circuits téléphoniques. Le choix d'angle de traversée aussi voisin que possible de l'angle droit est toujours préférable. Mais il faut bien entendu s'accommoder le plus souvent d'angles beaucoup moindres.

#### b) Parallélisme avec les lignes téléphoniques:

Un autre point de vue à examiner concerne les rapprochements avec les circuits téléphoniques aériens ou souterrains, rapprochements que l'on désigne sous le nom de "parallélisme".

En cas de court-circuit phase-terre sur la ligne apparaissent dans ces circuits des f.e.m induites qui peuvent devenir dangereuses pour les installations et même pour le personnel, lorsque certaines conditions se trouvent remplies simultanément:

- réseau dont le neutre est mis à la terre directement ou par une faible impédance;
- important courant de court-circuit monophasé à la terre;
- parallélisme prolongé à faible distance (des parallélismes peuvent être dangereux jusqu'à des rapprochements de 2000 à 3000 m s'ils s'étendent sur plusieurs km.);
- mauvaise conductivité du sol;

- croisements sous des angles faibles,

Il y a des abaques destinés à simplifier ces calculs; ils fournissent:

- soit le coefficient d'induction mutuelle en fonction des rapprochements, pour différentes valeurs de la conductivité du sol;
- soit directement les tensions longitudinales induites dans les circuits en parallélisme, par km. de parallélisme et pour une intensité de 1KA de courant de court-circuit, en fonction des mêmes paramètres.

Certains coefficients réducteurs peuvent intervenir par suite de l'effet d'écran produit par l'existence de conducteurs mis à la terre parallèlement à la ligne électrique ou aux circuits téléphoniques. Il s'agit :

- des câbles de terre de la ligne ou des lignes voisines;
- de l'enveloppe métallique de conducteurs isolés (câbles armés);
- de rails de chemin de fer dont la continuité électrique est assurée par éclissage électrique (rail-bond).

Compte tenu de ces coefficients, la valeur maximale de la tension induite ne doit pas dépasser 650V dans les circuits aériens en fils nus. Cette limite peut être réduite ou augmentée dans certains cas, lorsqu'il s'agit de câbles de télécommunications aériens ou souterrains à enveloppe métallique mise à la terre (60% de la tension de claquage du câble).

EXTRAITS DU CAHIER DE CHARGES  
(Sonelgaz - édition 1969).

Chapitre I:

- Indications générales et désignation des ouvrages:

article I: objet de l'entreprise:

Le présent cahier de charges a pour objet la construction des lignes à 225 kV, 150 kV, 90 kV, 63 kV en Algérie.

article II: Caractéristiques générales des lignes:

Les caractéristiques générales des lignes sont les suivantes:

- Tension de service entre phases: 225 kV, 150 kV, 90 kV, ...
- choix des conducteurs: déterminés par l'étude.

- Supports métalliques ou exceptionnellement en béton; ces supports seront des types suivants:

- Type A pour alignement.
- Type B pour angles  $\leq 20^\circ$
- Type C pour arrêt permanent ou accidentel\* et angles supérieurs à  $20^\circ$ .

- L'intervalle entre 2 supports du type C ne devra pas comprendre plus de 30 poutres.

- Le nombre d'isolateurs.

- Isolateurs de suspension en verre trempé CTV 254 ou équivalents - Norme de 10 tonnes pour dérogations spéciales.

\* L'arrêt accidentel est celui que réalise une chaîne spéciale de suspension lorsque le conducteur se rompt.

Le nombre d'isolateurs sera conforme au tableau suivant :

Tensions	Alignement	arrêt
63 KV	4	5
90 KV	6	7
150 KV	10	11
225 KV	14	15

Les câbles de terre seront placés à une distance verticale, au-dessus des conducteurs, suffisante pour que ceux-ci soient compris dans un dièdre ayant pour arête un des câbles de terre et pour angle au sommet  $60^\circ$  ou exceptionnellement  $90^\circ$  - Ceci étant déterminé dans une hypothèse sans vent ni givre sur les conducteurs.

- Distances minimales entre conducteurs de phase :

Les distances minimales entre conducteurs de phase sont déterminées dans le tableau ci-après :

63 KV.	3 m.
90 KV.	4 m.
150 KV.	5,5 m.
225 KV.	7 m.

Il sera en outre vérifié que l'écartement des conducteurs répond aux exigences de la formule suivante :

$$D \gg K \sqrt{f+l} + \frac{U}{150}$$

Dans laquelle:

-  $D$ : distance entre conducteurs en m.

-  $K$ : coefficient variant avec la nature du câble utilisé,  
on prend généralement:

$K = 0,8$  pour câbles Alu.-acier.

$K = 0,9$  pour câbles Almelec.

-  $f$ : flèche en m. déterminée par l'hypothèse la plus défavorable.

-  $l$ : longueur en m. de la chaîne d'isolateurs

-  $U$ : tension entre phases de la ligne en KV.

- Distances minimales entre conducteurs et la masse  
précisées dans le tableau ci-après:

	sans vent.	avec vent réduit de 30 Cps. (inclinaison 40° chaîne).
63 KV	0,6m	0,5m.
90KV.	0,9m	0,7m.
150 KV.	1,30m.	1,00m.
225KV.	1,65m.	1,30m.

## Chapitre II:

### Article 6: - Conducteurs et câbles de terre.

Les câbles fournis par Sonolgaz sont en principe en Alu.-acier et ont les caractéristiques suivantes:

Les caractéristiques des câbles en Almelec seront précisées suivant les cas.



	Section (mm <sup>2</sup> )	charge de rupture (kg)	Composition	
			Alu.	acier.
CONDUCTEURS	147,1	4.820.	30 x 2,25	7 x 2,25.
	228	7.360.	30 x 2,80.	7 x 2,8.
	288	9.220.	30 x 3,15.	7 x 3,15.
	411	16.500.	32 x 3,6.	19 x 2,4.
	617	21.800.	42 x 2,61.	19 x 2,65.
câbles de garde	68,6	3.700.	13 x 2.	7 x 2,25
	94	7.500.	15 x 2,1.	19 x 1,68.

Article 8 : chaînes d'isolateurs et matériels accessoires - constitution.

Les chaînes des conducteurs de phase seront du type suivant :

Type de support	Constitution des chaînes.	
Supports d'alignement ordinaire.	65 KV et 90 KV	150 KV et 225 KV.
	chaînes de suspension doubles corne en haut et en bas.	simple corne en haut, raquette en bas.
Supports d'angle et d'arrêt.	chaînes munies de cornes doubles ou simples en haut et en bas	Chaînes munies de cornes en haut et de raquettes en bas.
	- Les chaînes seront simples ou multiples suivant les efforts exercés et les isolateurs utilisés. - Les chaînes seront en suspension pour les angles inférieurs à 40° et les arrêts accidentels et en arrêt pour les arrêts permanents et les angles supérieurs à 40°.	
Support de transposition.	chaînes simples ou multiples suivant les efforts exercés et les isolateurs utilisés.	

### Chapitre III :

#### Article 15: Conducteurs et câbles de terre.

La hauteur des supports sera déterminée de telle sorte que le point le plus bas des conducteurs se trouve à une hauteur minima de 7m au-dessus du sol, et par une température de  $+50^{\circ}\text{C}$ , sans vent.

En aucun point, les isolateurs ne devront se trouver à une hauteur inférieure à 10m au-dessus du sol.

Lorsque la ligne surplombera des terrains plantés d'arbres fruitiers, et dans but de limiter les élagages, le point le plus bas des conducteurs devra être à une hauteur de 10m, au-dessus du sol, au lieu de 7m, prévus en terrain ordinaire; aux traversées de routes, la distance du sol au point bas du conducteur devra être de 9m.

Les calculs des conducteurs et des câbles de terre seront conduits de façon à respecter les coefficients de sécurité prévus dans la plus défavorable des hypothèses de l'arrêté ministériel.

#### - Cas normal :

Hyp. A et B de l'arrêté technique : coef. 3 sur la rupture  
La flèche du C.G. sera toujours  $\leq$  de 90% à celle des câbles de phase à  $50^{\circ}\text{C}$  sans vent.

#### - Cas exceptionnel de givre :

Le coef. de sécu. sera de 1,75 sur la rupture. La surcharge de givre est appliquée à une température de  $-5^{\circ}\text{C}$  et la pression du vent est de 72 Cp2 par câble nu.

- E.D.S. (Every day Stress):

A la t° moyenne de 30°C S.V., la tension ne devra pas dépasser les 20% de sa charge de rupture (Dans un proche avenir, elle ne devra pas dépasser les 16%).

Chapitre IV:

Article 23 - Construction de la Ligne:

alinéa: Mises à la terre des pylônes:

Elles seront constituées normalement de 2 cadres de cuivre de 48mm<sup>2</sup> de section ou de fer pur Armco de 70mm<sup>2</sup> de section, placés dans chaque fouille, l'un au fond, l'autre à mi-hauteur et reliés au pylône.

Après un délai d'au moins un mois, à compter de la fermeture de la fouille et suivant un programme arrêté par Sonelgaz, la résistance de terre de chaque pylône sera mesurée à l'ohmètre, lorsque la résistance trouvée est supérieure à 20Ω, il sera procédé à une mesure à l'onde de choc.

Si la résistance de terre, mesurée par le front de l'onde est alors supérieure à 10Ω, on installera 4 câbles enterrés, disposés en étoile à partir des 4 pieds du pylône et d'une longueur suffisante pour ramener la résistance au choc à 10Ω (10 à 12Ω en général).

Cette dernière disposition pourra être adoptée d'office par l'ordre de Sonelgaz. Dans ce cas, les pylônes seront remis directement à la terre par l'intermédiaire de 4 câbles de 8m de longueur, en cuivre recuit de 48mm<sup>2</sup> de section réunis au support.

Ces câbles seront disposés horizontalement en croix suivant 2 directions perpendiculaires. Ils seront enterrés à une profondeur de 0,8m. au minimum et recouverts de terre végétale sur une épaisseur d'au moins 15cm de tous côtés.

## Calcul électrique des câbles.

Le calcul électrique est effectué pour 2 types de câbles, de sections différentes afin de déterminer celui dont l'utilisation présente du point de vue économique et technique le meilleur rendement.

### Caractéristiques des 2 câbles.

	<u>câble 288 mm<sup>2</sup></u>	<u>câble 411 mm<sup>2</sup></u>
- <u>Nature</u> :	Alu-acier.	Alu-acier
- <u>Section</u> :	288 mm <sup>2</sup>	411 mm <sup>2</sup>
- <u>Composition</u> :	30 brins. $\phi$ : 3,15 Alu.	32 brins alu. : 3,6 mm.
	7 brins $\phi$ : 3,15 acier	19 brins acier : 2,4 mm.
- <u>Section acier</u> :	54,6 mm <sup>2</sup>	86 mm <sup>2</sup>
- <u>section Alu</u> :	234 mm <sup>2</sup>	325 mm <sup>2</sup>
- <u>diamètre extérieur</u> :	22,05 mm.	26,4 mm.
- <u>Poids linéaire</u> :	1,083 kg/m.	1,593 kg/m.
- <u>Poids spécifique</u> :	$3,76 \cdot 10^3$ kg/m/mm <sup>2</sup>	$3,88 \cdot 10^3$ kg/m/mm <sup>2</sup>
- <u>Résistance électrique à 20°C</u> :	0,124 $\Omega$ /km.	0,088 $\Omega$ /km.
- <u>Charge de rupture minimale</u> :	9220 kg.	16500 kg.
- <u>Coefficient de dilatation</u> :	$18 \cdot 10^{-6}$ °C <sup>-1</sup>	$17,6 \cdot 10^{-6}$ °C <sup>-1</sup>
- <u>Module d'Young E</u> :	8000 kg/mm <sup>2</sup>	8300 kg/mm <sup>2</sup>

Les calculs sont faits pour déterminer les pertes de tension, et les rendements de la ligne 220 kV reliant Saïda et Tiaret longue de 122,8 km, équipée de 3 conducteurs disposés en nappe horizontale. La puissance disponible au poste de Tiaret est de 100 MW avec un facteur de puissance de 0,85 ind.

### A1. Conducteurs 288 mm<sup>2</sup> - mauvais temps :

Le mauvais temps étant défini comme suit:  $\theta_e = 15^\circ\text{C}$  ( $t^\circ$  de l'environnement)

$$-\theta_c = 20^\circ\text{C} \text{ (} t^\circ \text{ du câble)}$$

- 75 cm de Hg (pression atm.)

- Résistance : La résistance linéique étant donnée par le fournisseur, soit:

$$r = 0,124 \text{ } \Omega / \text{km} \text{ à } 20^\circ\text{C} \rightarrow R_L = r \cdot l = 0,124 \cdot 122,8 = 15,227 \text{ } \Omega$$

$$R_L = 15,23 \text{ } \Omega \text{ par phase}$$

- Réactance : La réactance inductive de la ligne dépend de l'inductance, de la longueur de la ligne et de la fréquence du courant dans la ligne:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot L_L \text{ } [\Omega]$$

(pour des calculs approximatifs, on peut considérer que la réactance est de  $0,4 \text{ } \Omega / \text{km}$  et par phase pour des tensions de 60 à 220 kV).

- Calcul de  $L_L$ :

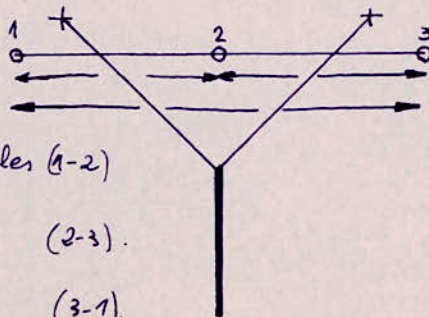
$$L_L = \left[ 4,6 \cdot \log \frac{d}{r} + \frac{\mu}{2} \right] \cdot 10^{-4} \text{ } [H / \text{km}]$$

où :  $d$ : distance moyenne géométrique entre phases en m.

$r$ : rayon du conducteur en m.

$\mu$ : perméabilité relative du conducteur supposé c<sup>sté</sup> et égale à 1 pour les matériaux amagnétiques (cas de l'al.).

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{31}} \text{ } [m]$$



$$d_{12} = d_{23} = \frac{d_{31}}{2} = 7 \text{ m.}$$

(cf. planche 1).

$d_{12}$ : distance entre les câbles (1-2)

$d_{23}$ : " " " (2-3).

$d_{31}$ : " " " (3-1).

$$\text{Soit : } d = \sqrt[3]{7 \cdot 7 \cdot 14} = \sqrt[3]{686} = 8,819 \text{ m.}$$

$$r = \frac{d_c}{2} = \frac{22,05}{2} = 11,025 \text{ mm.}$$

$$\Rightarrow L_L = \left[ 4,6 \cdot \log \frac{d}{r} + \frac{\mu}{2} \right] \cdot 10^{-4} = \left[ 4,6 \cdot \log 799,9 + 0,5 \right] \cdot 10^{-4} = 1,385 \cdot 10^{-3} \text{ H / km}$$

Par suite :  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot L_L$

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 122,8 \cdot 1,385 \cdot 10^{-3} = 53,43 \Omega$$

$$X_L = 53,43 \Omega \quad \text{par phase.}$$

- Susceptance :  $B_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot C_L$  [S].

où :  $f = 50 \text{ Hz}$ .

$l$  = longueur de la ligne en km.

$C_L$  = capacité linéique de la ligne en F/km et par phase.

• Calcul de la capacité linéique : Elle dépend du rayon du conducteur, de la hauteur moyenne du conducteur au-dessus du sol et des distances moyennes géométriques entre phases, soit :

$$C_L = \frac{10^5}{A_{11} - A_{12}} \quad [\text{F/km}] \text{ et par phase.}$$

avec :  $A_{11} = 4,6 \cdot \log\left(\frac{2h}{r}\right) \cdot 3 \cdot 10''$

$$A_{12} = 2,3 \cdot \log\left[\left(\frac{2h}{d}\right)^2 + 1\right] \cdot 3 \cdot 10''$$

et  $h = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} \longrightarrow h_1 = H_1 - \frac{2}{3} f_c$

$$h_2 = H_2 - \frac{2}{3} f_c$$

$$h_3 = H_3 - \frac{2}{3} f_c$$

$H_{1,2,3}$  : hauteur des points d'appui des conducteurs

$f_c$  : flèche des conducteurs à la t.<sup>o</sup> moyenne

$r$  : rayon du conducteur.

$d$  : distance moyenne géométrique entre phases.

(On peut faire un calcul approximatif et utiliser la relation suivante :

$$C_L = \frac{2,0241}{\log(d/r)} \cdot 10^{-6} \text{ en F/km.}$$

L'armement est en nappe horizontale, donc :  $H_1 = H_2 = H_3 = H$ .

$$\Rightarrow h_1 = h_2 = h_3 = h = H - \frac{2}{3} f_c$$

N.B.: La chaîne de suspension a une longueur de 2,30 m.

$$h = H - \frac{2}{3} f_c = (22,8 - 2,3) - \frac{2}{3} [(22,8 - 2,3) - 7]$$

$$h = 20,5 - \frac{2}{3} (13,5) = 11,5 \text{ m.}$$

Ce qui donne alors:

$$A_{11} = 4,6 \cdot \log\left(\frac{2h}{r}\right) \cdot 9 \cdot 10'' = 4,6 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot 11,5}{11,025 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot 9 \cdot 10''$$

$$= 4,6 \cdot 3,379 \cdot 9 \cdot 10'' = 137,42 \cdot 10''$$

$$\text{et } A_{12} = 2,3 \cdot \log\left[\left(\frac{2h}{d}\right)^2 + 1\right] \cdot 9 \cdot 10'' = 2,3 \cdot \log\left[\left(\frac{2 \cdot 11,5}{8,819}\right)^2 + 1\right] \cdot 9 \cdot 10''$$

$$= 2,3 \cdot 0,892 \cdot 9 \cdot 10'' = 18,47 \cdot 10''$$

$$\Rightarrow C_L = \frac{10^5}{A_{11} - A_{12}} = \frac{10^5}{10''(137,42 - 18,47)} = 8,41 \cdot 10^{-9} \text{ F/km.}$$

$$C_L = 8,41 \cdot 10^{-9} \text{ F/km} \quad \text{et par phase.}$$

Ce qui donne comme valeur de la susceptance:

$$B_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot C_L$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 122,8 \cdot 8,41 \cdot 10^{-9} = 0,324 \cdot 10^{-3} \text{ S.}$$

$$B_L = 0,324 \mu\text{S} \quad \text{par phase.}$$

Conductance: la conductance dépend du degré d'isolement et de l'effet couronne, elle peut être exprimée par la somme de deux termes, l'un dû à l'imperfection de l'isolement  $G_{iz}$ , l'autre dû à l'effet

Couronne  $G_c$ . Généralement:  $G_{iz} = 90002 \div 9002 \mu\text{S/km}$ : conditions normales.  
 $= 0,001 \div 0,01 \mu\text{S/km}$ : temps de pluie.

$$\text{et } G_c = P_c / U_n^2 \quad [\mu\text{S/km}]$$

où:  $P_c$ : pertes de puissance dues à l'effet couronne en kW/km et les 3 phases.

$U_n$ : tension nominale entre phases de la ligne en kV.

$$\text{avec: } P_c = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_n - U_{cr})^2 \cdot 10^{-5} \quad [\text{kW/km}].$$

$$\delta: \text{densité relative de l'air} \rightarrow \delta = \frac{3,92 \cdot b}{273 + t}$$

$b$ : pression atm. en cm de colonne de mercure.

$t$ : température de l'air en °C.

$U_{cr}$ : tension critique d'apparition de l'effet couronne en KV entre phases (appelée également tension disruptive).

avec:  $U_{cr} = 84 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \log \frac{d}{r}$

$m_1$ : coefficient tenant compte de l'état de surface du conducteur, généralement:  $m_1 = 0,93 + 0,95$  pour conducteurs unifilaires

$$m_1 = 0,8 + 0,87 \text{ pour câbles.}$$

$m_2$ : coefficient tenant compte de l'état atmosphérique:

$$\rightarrow m_2 = 1 : \text{par beau temps.}$$

$$m_2 = 0,8 : \text{par mauvais temps (pluie, brouillard, ...).}$$

Remarque importante: Les pertes dues à l'effet couronne peuvent être négligées si  $U_{cr} > U_n$ .

Pour une disposition en nappe (comme dans notre cas), on considère que pour la phase médiane, la tension critique est diminuée de 4% et pour les phases extrêmes augmentée de 6% par rapport à la valeur calculée.

Il convient donc de faire le calcul pour les 3 phases séparément, soit:

$$U_p = U_n / \sqrt{3}$$

$$U_{p,1,3cr} = \frac{U_{1,3cr}}{\sqrt{3}} = \frac{1,06 \cdot U_{cr}}{\sqrt{3}}$$

$$U_{p,2,cr} = \frac{U_{2,cr}}{\sqrt{3}} = \frac{0,96 \cdot U_{cr}}{\sqrt{3}}$$

d'où les pertes par phase:

$$P_{c,1,3} = \frac{241}{8} \cdot (f+25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_p - U_{p,1,3cr})^2 \cdot 10^{-5}$$

$$P_{c,2} = \frac{241}{8} \cdot (f+25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_p - U_{p,2,cr})^2 \cdot 10^{-5}$$

Par suite, la puissance totale (pour les 3 phases) sera:

$$P_c = 2P_{c,1,3} + P_{c,2} \text{ [kw/km].}$$



d'où, alors :

$$b = 75 \text{ cm de Hg.}$$

$$t = 20^\circ\text{C.}$$

$$m_2 = 0,80.$$

$$m_1 = 0,8 \div 0,87$$

$$s = \frac{3,92 \cdot b}{273 + t} = \frac{3,92 \cdot 75}{273 + 20} = 1,0034 \approx 1.$$

$$U_{cr} = 84 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot s \cdot r \cdot \log \frac{d}{r}.$$

$$U_{cr} = 84 \cdot (0,8 \dots 0,87) \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,1025 \cdot \log \frac{8,819}{11,025 \cdot 10^{-3}}$$

$$U_{cr} = 172,1 \dots 187,1 \text{ [kV].}$$

→ valeur moyenne :  $U_{cr} = 180 \text{ kV.}$

$$\rightarrow U_{1,3 cr} = 1,06 \cdot U_{cr} = 191 \text{ kV} < U_n.$$

$$\rightarrow U_{2 cr} = 0,96 \cdot U_{cr} = 173 \text{ kV} < U_n.$$

$$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127,017 \text{ kV} \approx 127 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow U_{f,1,3 cr} = \frac{U_{1,3 cr}}{\sqrt{3}} = \frac{191}{\sqrt{3}} = 110 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow U_{f,2 cr} = \frac{U_{2 cr}}{\sqrt{3}} = \frac{173}{\sqrt{3}} = 100 \text{ kV.}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow P_{c,1,3} &= \frac{241}{8} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_f - U_{f,1,3 cr})^2 \cdot 10^{-5} \\ &= \frac{241}{1} \cdot (50 + 25) \cdot \sqrt{\frac{1,1025}{8,819 \cdot 10^{-2}}} \cdot (127 - 110)^2 \cdot 10^{-5} = 1,8 \text{ kW/km.} \end{aligned}$$

$$\rightarrow P_{c,2} = \frac{241}{1} \cdot (75) \cdot \sqrt{\frac{1,1025}{8,819 \cdot 10^{-2}}} \cdot (127 - 100)^2 \cdot 10^{-5} = 4,6 \text{ kW/km.}$$

$$\Rightarrow P_c = 2P_{c,1,3} + P_{c,2} = 8,2 \text{ kW/km et les 3 phases.}$$

$$\text{par suite : } G_c = \frac{P_c}{U_n^2} = \frac{8,2}{220^2} = 0,169 \cdot 10^{-9} \text{ S/km.}$$

$$\text{prenons } G_{iz} = 0,005 \mu\text{S/km}$$

$$\rightarrow G_L = (G_{iz} + G_c) \cdot l$$

$$G_L = (5 + 0,169) \cdot 10^{-9} \cdot 122,8 \approx 0,635 \mu\text{S par phase.}$$

$$\boxed{G_L = 0,635 \mu\text{S}} \text{ par phase}$$

Remarque: Évaluons les pertes Joule en ligne:

$$I = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 0,85} = 308 \text{ A.}$$

$$\rightarrow P_{J_{\text{tot}}} = 3RI^2 = 3 \cdot 15,23 \cdot (308)^2 = 4,35 \text{ MW}$$

Or, les pertes dues à l'effet couronne sont évaluées à:

$$P_{c_{\text{tot}}} = 8,2 \cdot 122,8 \approx 1 \text{ MW.}$$

$$\Rightarrow P_{c_{\text{tot}}} \approx 23\% P_{J_{\text{tot}}}. \text{ (ce qui est énorme).}$$

On peut donc dire d'ores et déjà que le conducteur  $288 \text{ mm}^2$  n'est pas économiquement exploitable dans cette ligne, vu les pertes dues à l'effet couronne qui ne devraient pas dépasser 10% des pertes Joule totale en ligne.

- Impédance:

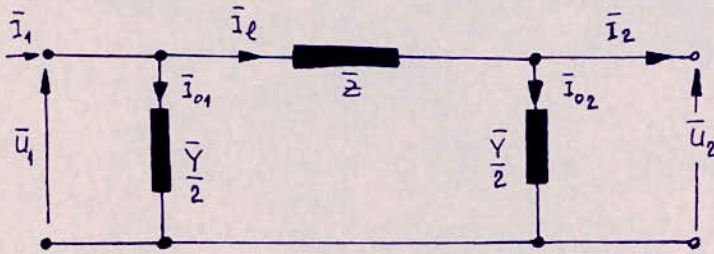
$$\bar{Z}_L = R_L + jX_L = (15,23 + j53,43) \Omega.$$

- Admittance:

$$\bar{Y}_L = G_L + jB_L = (0,635 + j324) \cdot 10^{-6} \approx j0,324 \cdot 10^{-3} \text{ S.}$$

Calcul des chutes de tension et rendement:

- schéma équivalent de la ligne (schéma en  $\pi$ ).

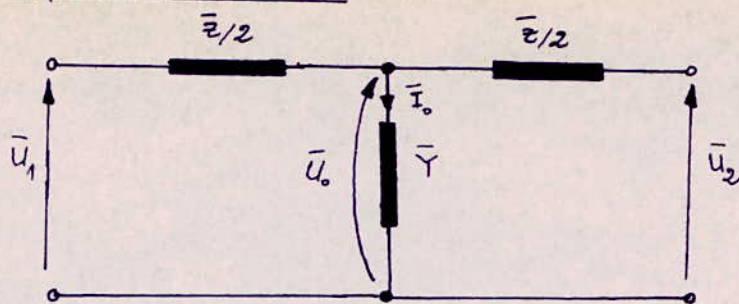


$$\begin{cases} \bar{U}_1 = \bar{U}_2 + \bar{Z} \cdot \bar{I}_e = \bar{U}_2 \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) + \bar{Z} \cdot \bar{I}_2 \\ \bar{I}_1 = \bar{I}_e + \bar{I}_{01} = \bar{I}_2 \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) + \bar{U}_2 \cdot \bar{Y} \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{4}\right) \end{cases}$$

ou bien:

$$\begin{cases} \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) - \bar{Z} \cdot \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) - \bar{U}_1 \cdot \bar{Y} \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{4}\right) \end{cases}$$

- schéma équivalent en "T":



$$\begin{cases} \bar{U}_1 = \bar{U}_2 \cdot \left(1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2}\right) + \bar{z}\bar{I}_2 \cdot \left(1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{4}\right) \\ \bar{I}_1 = \bar{I}_2 \cdot \left(1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2}\right) + \bar{U}_2 \cdot \bar{Y} \end{cases}$$

ou bien:

$$\begin{cases} \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left(1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2}\right) - \bar{I}_1 \cdot \bar{z} \left(1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{4}\right) \\ \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left(1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2}\right) - \bar{U}_1 \cdot \bar{Y} \end{cases}$$

- Connaissant les valeurs au départ de la ligne ( $U_1, P_1, \cos \varphi_1$ ).

$$U_1 = 220 \text{ kV} - P_1 = 100 \text{ MW} - \cos \varphi_1 = 0,85 \text{ (ind.)}$$

- Déterminons les valeurs à l'arrivée :  $U_2 ; P_2 ; \cos \varphi_2$  ?

$$\text{Soit : } \bar{U}_{1f} = U_{1r} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127,02 \text{ kV.}$$

$$I_f |\bar{I}_1| = \frac{P_1}{U_{1f} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 10^3 \cdot 0,85} = 308,7 \text{ A.}$$

$$I_{1r} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 308,7 \cdot 0,85 = 262,4 \text{ A.}$$

$$I_{1i} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 308,7 \cdot 0,53 = 162,6 \text{ A.}$$

$$\rightarrow \bar{I}_1 = I_{1r} - j I_{1i} = (262,4 - j 162,6) \text{ A. (Le déphasage étant inductif).}$$

- Calculs préliminaires:

$$\bar{z}\bar{Y} = [15,23 + j 53,43] \cdot [j 0,324] \cdot 10^3 = -9,0173 + j 0,0049.$$

- Utilisons le schéma équivalent en "π":

$$\rightarrow 1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2} = 1 + \frac{-9,0173 + j 0,0049}{2} = 0,99135 + j 0,00245 \approx 0,991.$$

$$\rightarrow 1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{4} = 1 + \frac{-9,0173 + j 0,0049}{4} = 0,9956 + j 0,0012 \approx 0,995.$$

$$\text{et de : } \begin{cases} \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left[1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2}\right] - \bar{z}\bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left[1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{2}\right] - \bar{U}_1 \cdot \bar{Y} \left[1 + \frac{\bar{z}\bar{Y}}{4}\right] \end{cases}$$

$$\rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left[ 1 + \frac{\bar{Z}_Y}{2} \right] - \bar{Z}_Y \bar{I}_1 = 127020 \cdot (0,991) - (15,23 + j53,43)(262,4 - j162,6)$$

$$\boxed{\bar{U}_2 = 113.187 - j11545} \quad [\text{V}].$$

$$\rightarrow \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left( 1 + \frac{\bar{Z}_Y}{2} \right) - \bar{U}_1 \bar{Y} \left( 1 + \frac{\bar{Z}_Y}{4} \right) = (262,4 - j162,6) \cdot 0,991 - 127020 (j0,324) \cdot 10^{-3} \cdot 0,995$$

$$\boxed{\bar{I}_2 = 260,1 - j202,1} \quad [\text{A}].$$

Par suite:  $|U_2| = \sqrt{U_{2r}^2 + U_{2i}^2} = \sqrt{113.187^2 + 11.545^2} = 113,774 \text{ kV}.$

$$\Delta U_f = |U_1| - |U_2| = 127020 - 113774 = 13.246 \text{ V}.$$

$$\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot \Delta U_f = \sqrt{3} \cdot (13.246) = 22940 \text{ V}.$$

$$\Delta U_L \% = \Delta U_f \% = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_1|} \cdot 100 = \frac{13.246 \cdot 100}{127020} = \underline{\underline{10,43 \%}}.$$

$$\rightarrow \bar{S}_2 = 3 \bar{U}_2 \cdot \bar{I}_2^* = 3 (113.187 - j11545) \cdot (260,1 + j202,1).$$

$$\bar{S}_2 = 95.282,130 + j19.862,072 \quad [\text{VA}].$$

$$\rightarrow \Delta P_L = P_1 - P_2 = 100 - 95,3 = 4,7 \text{ MW}.$$

$$\Delta P_L \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{4,7}{100} \cdot 100 = \underline{\underline{4,7 \%}}.$$

$$\rightarrow \eta \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{95,3}{100} \cdot 100 = 95,3 \% \quad \text{---} \rightarrow \underline{\underline{\eta \% = 95,3 \%}}.$$

## A2. Conducteurs 288 mm<sup>2</sup> - beau temps:

- Résistance:  $r_{20^\circ} = 0,124 \Omega/\text{km}$  à 20°C.

- Le mauvais temps étant de fin<sup>o</sup> comme suit:

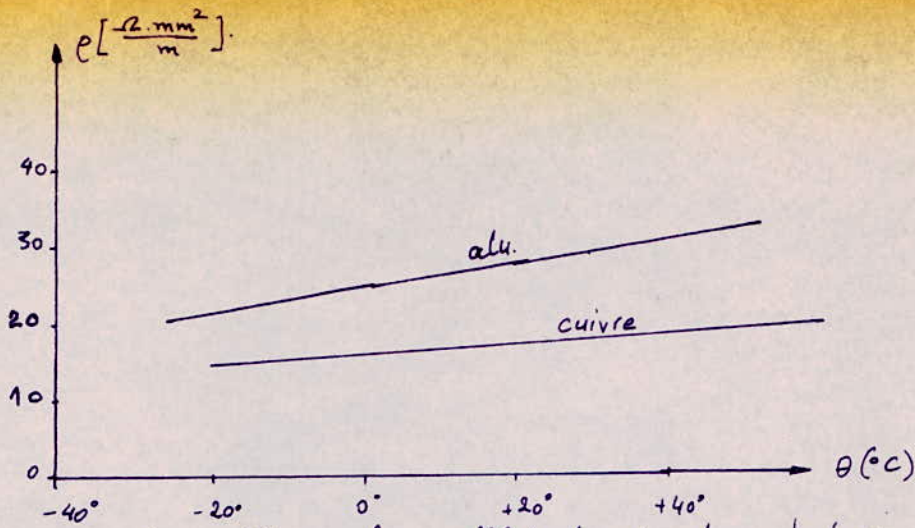
$$\begin{cases} \theta_e = 30^\circ \text{C} & (\text{température de l'environnement}) \\ \theta_c = 30^\circ \text{C} & (\text{température du câble}) \\ 76 \text{ cm de Hg} & (\text{pression atmosphérique}). \end{cases}$$

La température du câble étant 30°C, déterminons le coefficient de proportionnalité qui permet de passer de  $r_{20^\circ}$  à  $r_{30^\circ}$ ; soit, d'après le graphe  $\rho$  en fonction de  $\theta$  (voir feuille suivante):

$$\frac{\rho_{30^\circ}}{\rho_{20^\circ}} = \frac{29}{27,5} = 1,054.$$

d'où:  $r_{30^\circ} = 1,054 \cdot r_{20^\circ} = 1,054 \cdot 0,124 = 0,131 \Omega/\text{km}.$

$$\rightarrow R_L = r_{30^\circ} \cdot l = 0,131 \cdot 122,8 = 16 \Omega \quad \text{---} \rightarrow \boxed{R_L = 16 \Omega} \text{ par phase.}$$



ou bien, on peut utiliser le coefficient de température  $\alpha$  de l'alu., qui est égal à  $0,00403 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$   $\rightarrow R_{30^\circ} = R_{20^\circ} [1 + \alpha \Delta\theta] \approx 0,129 \Omega / \text{km}$ .

- Réactance: 
$$\begin{cases} r = \frac{dc}{2} = \frac{22,05}{2} = 11,025 \text{ mm.} \\ d = 8,819 \text{ m.} \end{cases}$$

$\rightarrow L_L$  sera la même, vue que les paramètres dont elle dépend sont restés invariables lorsque nous passons des conditions de mauvais temps aux conditions de beau temps, donc, on a toujours :

$$X_L = 53,43 \Omega \text{ par phase.}$$

- Susceptance: 
$$\begin{cases} h = 11,5 \text{ m.} \\ d = 8,819 \text{ m.} \end{cases}$$

$$\rightarrow A_{11} = 4,6 \cdot \log \frac{2h}{r} \cdot 9 \cdot 10'' = 4,6 \cdot \log \left( \frac{2 \cdot 11,5}{11,025 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 9 \cdot 10'' = 137,42 \cdot 10''$$

$$\rightarrow A_{12} = 2,3 \log \left[ \left( \frac{2h}{d} \right)^2 + 1 \right] \cdot 9 \cdot 10'' = 2,3 \cdot \log \left[ \left( \frac{2 \cdot 11,5}{8,819} \right)^2 + 1 \right] \cdot 9 \cdot 10'' = 18,47 \cdot 10''$$

$$\Rightarrow C_L = \frac{10^5}{A_{11} - A_{12}} = \frac{10^5}{10'' \cdot [137,42 - 18,47]} = 8,41 \cdot 10^{-9} \text{ F/km/phase.}$$

d'où :  $B_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot C_L$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 122,8 \cdot 8,41 \cdot 10^{-9} = 0,324 \cdot 10^3 \text{ S' par phase}$$

$$B_L = 0,324 \text{ mS' par phase}$$

- Conductance: 
$$\begin{cases} b = 76 \text{ cm de Hg (pression atm. par beau temps).} \\ t = 30^\circ\text{C.} \\ m_1 = 0,84. \\ m_2 = 1 \text{ (beau temps).} \end{cases}$$

$$\rightarrow S = \frac{3 \cdot 92 \cdot 76}{273 + 30} = 0,98$$

$$\rightarrow U_{cr} = 84 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot g \cdot r \cdot \log \frac{d}{r}$$

$$U_{cr} = 84 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 0,98 \cdot 1,1025 \cdot \log \frac{8,819}{11,025 \cdot 10^{-3}} = 221,32 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow U_{1,3cr} = 1,06 \cdot U_{cr} = 1,06 \cdot 221,32 = 234,5 \text{ kV} > U_n.$$

$$\rightarrow U_{2cr} = 0,96 \cdot U_{cr} = 0,96 \cdot 221,32 = 212,5 \text{ kV} < U_n.$$

Donc, nous calculons seulement les pertes dues à l'effet couronne sur la phase centrale dont la tension critique est inférieure à la tension nominale.

$$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{127,017 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \approx 127 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow U_{f2,cr} = \frac{U_{2cr}}{\sqrt{3}} = \frac{212,5}{\sqrt{3}} = 122,5 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow P_{c2} = \frac{241}{g} (f+25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_f - U_{f2,cr})^2 \cdot 10^{-5}$$

$$P_{c2} = \frac{241}{0,98} \cdot (75) \cdot \sqrt{\frac{11,025 \cdot 10^{-3}}{8,819}} \cdot (127 - 122,5)^2 \cdot 10^{-5}$$

$$\Rightarrow P_{c2} \approx 0,124 \text{ kW/km} = P_c.$$

Remarque:  $P_{ctot} = 0,124 \cdot 122,8 = 15,23 \text{ kW.}$

$$\rightarrow P_{ctot} = 0,35\% P_{Stot}.$$

Preons:  $G_{i2} = 0,0008 \mu\text{S/km.}$

$$\rightarrow G_c = \frac{P_c}{U_n^2} = \frac{0,124}{220^2} = 0,0026 \cdot 10^{-9} \mu\text{S/km.} \approx 0.$$

d'où:  $G_L = (G_{i2} + G_c) \cdot l = (0,0008) \cdot 122,8 = 0,098 \cdot 10^{-6} \text{ S/phase.}$

- Impédance:

$$\bar{Z}_L = R_L + jX_L = 16 + j53,43 \text{ } [\Omega]. \text{ par phase.}$$

- Admittance:

$$\bar{Y}_L = G_L + jB_L = 0,098 \cdot 10^{-6} + j0,324 \cdot 10^{-3} \approx j0,324 \cdot 10^{-3} \text{ S par phase.}$$

- Calcul des chutes de tension et rendement:

$$\bar{U}_{1f} = U_{1r} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127,02 \text{ kV.}$$

$$|I_1| = \frac{P_1}{U_1 \cdot \cos \phi_1 \cdot \sqrt{3}} = \frac{100 \cdot 10^3}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85} = 308,74 \text{ A.}$$

$$\rightarrow I_{1r} = |\bar{I}_1| \cdot \cos \varphi_1 = 308,74 \cdot 0,85 = 262,4 \text{ A.}$$

$$\rightarrow I_{1i} = |\bar{I}_1| \cdot \sin \varphi_1 = 308,74 \cdot 0,53 = 162,6 \text{ A.}$$

$$\Rightarrow \bar{I}_1 = I_{1r} - j I_{1i} = 262,4 - j 162,6 \quad (\text{déphasage inductif}).$$

- Calculs préliminaires:

$$\bar{E} \cdot \bar{Y} = (16 + j 53,43) \cdot j 0,324 \cdot 10^{-3} = -0,017 + j 0,005.$$

$$\rightarrow 1 + \frac{\bar{E} \cdot \bar{Y}}{2} = 1 + \frac{-0,017 + j 0,005}{2} = 0,992 + j 0,003 \approx 0,992.$$

$$\rightarrow 1 + \frac{\bar{E} \cdot \bar{Y}}{4} = 1 + \frac{-0,017 + j 0,005}{4} = 0,996 + j 0,0015 \approx 0,996.$$

$$\Rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left[ 1 + \frac{\bar{E} \cdot \bar{Y}}{2} \right] - \bar{E} \cdot \bar{I}_1 = 127000 (0,992) - (16 + j 53,43) (262,4 - j 162,6)$$

$$\cdot \bar{U}_2 = 113.157 - j 11399 \quad [\text{V}].$$

$$\Rightarrow \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left[ 1 + \frac{\bar{E} \cdot \bar{Y}}{2} \right] - \bar{U}_1 \cdot \bar{Y} \left[ 1 + \frac{\bar{E} \cdot \bar{Y}}{4} \right] = (262,4 - j 162,6) 0,992 - 127000 \cdot j 0,324 \cdot 10^{-3}$$

$$\cdot \bar{I}_2 = 260 - j 202 \quad [\text{A}].$$

$$\rightarrow |\bar{U}_2| = \sqrt{U_{2r}^2 + U_{2i}^2} = \sqrt{113,16^2 + 11,4^2} = 113730 \text{ V.}$$

$$\Delta U_f = |U_1| - |U_2| = 127017 - 113730 = 13.287 \text{ V.}$$

$$\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot \Delta U_f = 13.287 \times \sqrt{3} = 23000 \text{ V.}$$

$$\Delta U_L \% = \Delta U_f \% = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_1|} \cdot 100 = \frac{13287}{127017} \cdot 100 = \underline{\underline{10,5 \%}}.$$

$$\rightarrow \bar{S}_2 = 3 \bar{U}_2 \cdot \bar{I}_2^* = 3 (113.157 - j 11.400) (260 + j 202).$$

$$\bar{S}_2 = 95,2 + j 59,7 \quad [\text{MVA}].$$

$$\rightarrow \Delta P_L = P_1 - P_2 = 100 - 95,2 = 4,8 \text{ MW.}$$

$$\Delta P_L \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{4,8}{100} \cdot 100 = \underline{\underline{4,8 \%}}.$$

$$\rightarrow \eta \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{95,2}{100} \cdot 100 = 95,2 \% \quad \text{-----} \rightarrow \underline{\underline{\eta \% = 95,2 \%}}.$$

*p*

### B. 1. Conducteurs $411 \text{ mm}^2$ - beau temps:

- Résistance:  $R = 0,088 \Omega/\text{km}$  à  $20^\circ\text{C}$ .

En opérant de la même façon que pour le conducteur  $288 \text{ mm}^2$ , on arrive évidemment au même coefficient de proportionnalité, soit j'alors

$$R_{30^\circ} = R_{20^\circ} \times 1,054 = 0,088 \times 1,054 = 0,093 \Omega/\text{km}.$$

$$\rightarrow R_L = R_{30^\circ} \cdot l = 0,093 \cdot 122,8 = \underline{11,38 \Omega} \text{ / par phase.}$$

- Réactance: 
$$\begin{cases} r = \frac{dc}{2} = \frac{26,4}{2} = 13,2 \cdot 10^{-3} \text{ m.} \\ d = 8,819 \text{ m.} \end{cases}$$

$$\rightarrow L_L = \left[ 4,6 \cdot \log \frac{d}{r} + \frac{1}{2} \right] \cdot 10^{-4} = \left( 4,6 \cdot \log \frac{8,819}{13,2 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \right) \cdot 10^{-4} = 1,349 \text{ mH / km.}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot L_L.$$

$$= 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 122,8 \cdot 1,349 \cdot 10^{-3} = 52,04 \Omega.$$

$$\boxed{X_L = 52,04 \Omega} \text{ par phase.}$$

- Susceptance: 
$$\begin{cases} h = 11,5 \text{ m.} \\ d = 8,819 \text{ m.} \end{cases}$$

$$\rightarrow A_{11} = 4,6 \cdot \log \frac{2h}{r} \cdot 9 \cdot 10'' = 4,6 \cdot \log \left( \frac{2 \cdot 11,5}{13,2 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 9 \cdot 10'' = 134,18 \cdot 10''.$$

$$\rightarrow A_{12} = 2,3 \cdot \log \left[ \left( \frac{2h}{d} \right)^2 + 1 \right] \cdot 9 \cdot 10'' = 2,3 \cdot \log \left[ \left( \frac{2 \cdot 11,5}{8,819} \right)^2 + 1 \right] \cdot 9 \cdot 10'' = 18,47 \cdot 10''.$$

$$\Rightarrow C_L = \frac{10^5}{A_{11} - A_{12}} = \frac{10^5}{10''(134,18 - 18,47)} = 8,6 \cdot 10^{-9} \text{ F / km et par phase.}$$

Par suite:

$$B_L = 2\pi \cdot f \cdot l \cdot C_L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 122,8 \cdot 10^{-9} \cdot 8,6 = 0,33 \text{ mS.}$$

$$\boxed{B_L = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ S}} \text{ par phase.}$$

- Conductance:

$$\left\{ \begin{array}{l} b = 76 \text{ cm de Hg.} \\ t = 30^\circ\text{C.} \\ m_1 = 0,84 \text{ (le m que pour } 288 \text{ mm}^2) \\ m_2 = 1 \text{ (beau temps).} \end{array} \right. \Rightarrow S = \frac{3,92 \cdot 76}{273 + 30} = 0,98.$$



$$\rightarrow U_{cr} = 84 \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot \delta \cdot r \cdot \log \frac{d}{r} = 84 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 1,32 \cdot \log \frac{8819}{13,2 \cdot 10^3} = 257,8 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow U_{1,3 cr} = 1,06 \cdot U_{cr} = 1,06 \cdot 257,8 = 273 \text{ kV} > U_n.$$

$$\rightarrow U_{2 cr} = 0,96 \cdot U_{cr} = 0,96 \cdot 257,8 = 247,5 \text{ kV} > U_n.$$

On peut donc dire que les pertes dues à l'effet couronne sont négligeables, puisque les tensions disruptives sont supérieures à la tension nominale; la conductance due à l'imperfection de l'isolement peut être négligée également car les valeurs qu'elle peut prendre dans les conditions de beau temps sont très faibles.

$$\rightarrow \underline{G_L \approx 0.}$$

- Impédance:

$$\bar{Z}_L = R_L + jX_L = 11,38 + j52,04 \quad (\Omega) \text{ par phase.}$$

- Admittance:

$$\bar{Y}_L = jB_L = j0,33 \cdot 10^{-3} \text{ S par phase.}$$

- Calcul des chutes de tension et du rendement:

$$\bar{U}_{1f} = U_{1r} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127,017 \text{ kV.}$$

$$|\bar{I}_1| = \frac{P_1}{U_1 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85} = 308,7 \text{ A.}$$

$$\rightarrow I_{1r} = |\bar{I}_1| \cdot \cos \varphi_1 = 308,7 \cdot 0,85 = 262,4 \text{ A.}$$

$$\rightarrow I_{1i} = |\bar{I}_1| \cdot \sin \varphi_1 = 308,7 \cdot 0,53 = 162,6 \text{ A.}$$

$$\rightarrow \bar{I}_1 = I_{1r} - jI_{1i} = 262,4 - j162,6 \quad (\text{A}).$$

- Calculs préliminaires:

$$\bar{Z} \cdot \bar{Y} = (11,38 + j52,04)(j0,33 \cdot 10^{-3}) = -0,0172 + j0,0037.$$

$$1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2} = 1 + \frac{-0,0172 + j0,0037}{2} = 0,991 + j0,0021 \approx 0,991.$$

$$1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{4} = 1 + \frac{-0,0172 + j0,0037}{4} = 0,996 + j0,00105 \approx 0,996.$$

$$\rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left(1 + \frac{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) - \bar{Z} \cdot \bar{I}_1 = \underline{114,428 - j11,805} \quad (\text{V}).$$

$$\rightarrow \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left(1 + \frac{\bar{Z}_1 \bar{Y}}{2}\right) - \bar{U}_1 \bar{Y} \left(1 + \frac{\bar{Z}_1 \bar{Y}}{4}\right) = \frac{260,04 - j202,8}{4} \text{ [A]}.$$

$$|\bar{U}_2| = \sqrt{U_{2r}^2 + U_{2i}^2} = \sqrt{114,428^2 + 11,805^2} = 115,035 \text{ [V]}.$$

$$\Delta U_f = |U_1| - |U_2| = 127,017 - 115,035 = 11,982 \text{ [V]}.$$

$$\Delta U_f = \sqrt{3} \cdot \Delta U_f = \sqrt{3} \times 11,982 = 20,752 \text{ [V]}.$$

$$\Delta U_L \% = \Delta U_f \% = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_1|} \cdot 100 = \frac{11,982}{127,017} \cdot 100 = \underline{\underline{9,4\%}}.$$

$$\rightarrow \bar{S}_2 = 3 \bar{U}_2 \cdot \bar{I}_2^* = 3 (114,428 - j11,805) (260,04 + j202,8)$$

$$\bar{S}_2 = 3 (29.755,857 + j23.205,908 - j3.069,772 + 2.394,054)$$

$$\bar{S}_2 = 96,45 + j60,41 \text{ [MVA]}.$$

$$\rightarrow \Delta P_L = P_1 - P_2 = 100 - 96,45 = 3,55 \text{ MW}.$$

$$\Delta P_L \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{3,55}{100} \cdot 100 = \underline{\underline{3,55\%}}.$$

$$\rightarrow \eta \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{96,45}{100} \cdot 100 = 96,45\% \quad \text{---} \rightarrow \eta \% = \underline{\underline{96,45\%}}$$

## B2. Conducteurs 411 mm<sup>2</sup> - mauvais temps:

- Résistance:  $R = 0,088 \Omega / \text{km}$  à 20°C.

$$\rightarrow R_L = R \times l = 0,088 \cdot 122,8 = \underline{10,9 \Omega} \text{ / par phase}.$$

- Réactance:  $d$  et  $r$  étant constants et ne dépendent pas des conditions atmosphériques, la réactance est également constante;

$$\boxed{X_L = 52,04 \Omega} \text{ par phase}.$$

- Susceptance: Nous avons trouvés précédemment (cf - conducteurs 411 mm<sup>2</sup> par beau temps)  $\rightarrow B_L = 0,33 \cdot 10^3 \text{ S} / \text{par phase}.$

- Conductance:  $\left\{ \begin{array}{l} b = 75 \text{ cm de Hg.} \\ t = 20^\circ \text{C.} \\ m_1 = 0,84 \\ m_2 = 0,80. \end{array} \right.$

$$\Rightarrow S = \frac{3,9275}{273 + 20} = 1,0034 \approx 1.$$

$$\begin{aligned} \rightarrow U_{cr} &= 84. m_1. m_2. \delta. r. \log \frac{d}{r} \\ &= 84. 0,84. 0,8. 1. 1,32. \log \frac{8,819}{13,2. 10^{-3}} = 211 \text{ kV.} \end{aligned}$$

$$\rightarrow U_{1,3cr} = 1,06. U_{cr} = 223,8 \text{ kV} > U_n.$$

$$\rightarrow U_{2cr} = 0,96. U_{cr} = 202,7 \text{ kV} < U_n.$$

De la même manière, nous ne calculerons que les pertes par effet couronne dans la phase centrale, car pour les deux autres phases extrêmes, la tension critique disruptive est supérieure à la tension nominale, soit :

$$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \approx 127 \text{ kV.}$$

$$U_{f2cr} = \frac{U_{2cr}}{\sqrt{3}} = \frac{202,7}{\sqrt{3}} = 117 \text{ kV.}$$

$$\rightarrow P_{c2} = \frac{241}{8} \cdot (75) \cdot \sqrt{\frac{13,2 \cdot 10^{-3}}{8,819}} \cdot (127 - 117)^2 \cdot 10^{-5} \approx 0,7 \text{ kW/km.}$$

d'où :  $P_c = 0,7 \text{ kW/km}$  pour les 3 phases.

$$\text{de là : } G_c = \frac{P_c}{U_n^2} = \frac{0,7}{220^2} = 0,014 \cdot 10^{-9} \text{ S/km et par phase.}$$

prenons toujours :  $G_{iz} = 0,005 \mu\text{S/km, phase.}$

$$\Rightarrow G_L = (G_{iz} + G_c) \cdot l = (5 + 0,014) \cdot 10^{-9} \cdot 122,8 = \underline{0,616 \mu\text{S/phase.}}$$

- Impédance:

$$\bar{Z}_L = R_L + jX_L = 10,8 + j52,04 \text{ } [\Omega]. \text{ par phase.}$$

- Admittance:

$$\bar{Y}_L = G_L + jB_L = (0,616 + j330) \cdot 10^{-6} \approx j0,33 \cdot 10^{-3} \text{ S par phase.}$$

- Calcul des chutes de tension et du rendement:

$$\bar{U}_{1f} = U_{1r} = 127077 \text{ [V].}$$

$$|\bar{I}_1| = \frac{P_1}{U_1 \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{100 \cdot 10^3}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85} = 308,7 \text{ A.}$$

$$I_{1r} = \bar{I}_1 \cdot \cos \varphi_1 = 308,7 \cdot 0,85 = 262,4 \text{ A.}$$

$$I_{1i} = \bar{I}_1 \cdot \sin \varphi_1 = 308,7 \cdot 0,53 = 162,6 \text{ A.}$$

- Calculs préliminaires:

$$\bar{z} \cdot \bar{Y} = (10,8 + j52,04)(j0,33 \cdot 10^{-3}) = -0,017 + j0,003$$

$$1 + \frac{\bar{z} \cdot \bar{Y}}{2} = 1 + \frac{-0,017 + j0,003}{2} = 0,9915 + j0,0015 \approx 0,991$$

$$1 + \frac{\bar{z} \cdot \bar{Y}}{4} = 1 + \frac{-0,017 + j0,003}{4} = 0,996 + j0,00075 \approx 0,996$$

$$\rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_1 \left(1 + \frac{\bar{z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) - \bar{z} \cdot \bar{I}_1$$

$$\bar{U}_2 = 127017(0,991) - (10,8 + j52,04)(262 - j163)$$

$$\boxed{\bar{U}_2 = 114578 - j11900} \text{ (V)}$$

$$\rightarrow \bar{I}_2 = \bar{I}_1 \left(1 + \frac{\bar{z} \cdot \bar{Y}}{2}\right) - \bar{U}_1 \cdot \bar{Y} \left(1 + \frac{\bar{z} \cdot \bar{Y}}{4}\right)$$

$$\bar{I}_2 = [262 - j163]0,991 - 127017 \cdot j0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 0,996$$

$$\boxed{\bar{I}_2 = 260 - j202} \text{ [A]}$$

$$\rightarrow |\bar{U}_2| = \sqrt{U_{2r}^2 + U_{2i}^2} = \sqrt{114578^2 + 11900^2} = 115194 \text{ [V]}$$

$$\Delta U_f = |U_1| - |U_2| = 127017 - 115194 = 11823 \text{ [V]}$$

$$\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot \Delta U_f = \sqrt{3} \cdot 11823 = 20477 \text{ [V]}$$

$$\Delta U_L \% = \Delta U_f \% = \frac{|U_1| - |U_2|}{|U_1|} \cdot 100 = \frac{11823}{127017} \cdot 100 = \underline{\underline{9,3\%}}$$

$$\rightarrow \bar{S}_2 = 3 \bar{U}_2 \cdot \bar{I}_2^* = 3(114578 - j11900)(260 + j202)$$

$$\bar{S}_2 = 3(29790280 + j23144756 - j3094000 + 2403800)$$

$$\bar{S}_2 = 96,58 + j60,15 \text{ [MVA]}$$

$$\rightarrow \Delta P_L = P_1 - P_2 = 100 - 96,58 = 3,42 \text{ MW}$$

$$\Delta P_L \% = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{3,42}{100} \cdot 100 = \underline{\underline{3,42\%}}$$

$$\rightarrow \rho \% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{96,58}{100} \cdot 100 = 96,58 \text{ --- --- --- } \rightarrow \underline{\underline{\rho \% = 96,58\%}}$$

- Tableau récapitulatif :

conducteurs $411 \text{ mm}^2$		conducteurs $288 \text{ mm}^2$	
$\Delta U_f (\%)$	$\eta (\%)$	$\Delta U_f (\%)$	$\eta (\%)$
9,3	96,58	10,43	95,3
9,4	96,45	10,5	95,2

← mauvais temps.

← beau temps.

En observant ces résultats, nous remarquons que les pertes de tension sont supérieures dans le cas du conducteur  $288 \text{ mm}^2$ , d'autre part l'utilisation du conducteur  $288 \text{ mm}^2$  nous donne un rendement inférieur à celui du conducteur  $411 \text{ mm}^2$ ; les performances des câbles  $411 \text{ mm}^2$  sont donc favorables du point de vue économie d'énergie. Ces résultats comparatifs nous suggèrent donc l'emploi de câbles  $411 \text{ mm}^2$  comme conducteurs de phase.

- D'autant plus que les pylônes à utiliser sont conçus pour être équipés de conducteurs  $411 \text{ mm}^2$ . Les calculs technico-économiques faits pour d'autres lignes dans la zone des hauts plateaux montrent que les frais supplémentaires dus à l'utilisation des câbles  $411 \text{ mm}^2$  sont largement compensés d'un côté par le tonnage supplémentaire d'acier des pylônes et de l'autre par l'économie d'énergie due aux pertes réduites.

A. base ±0

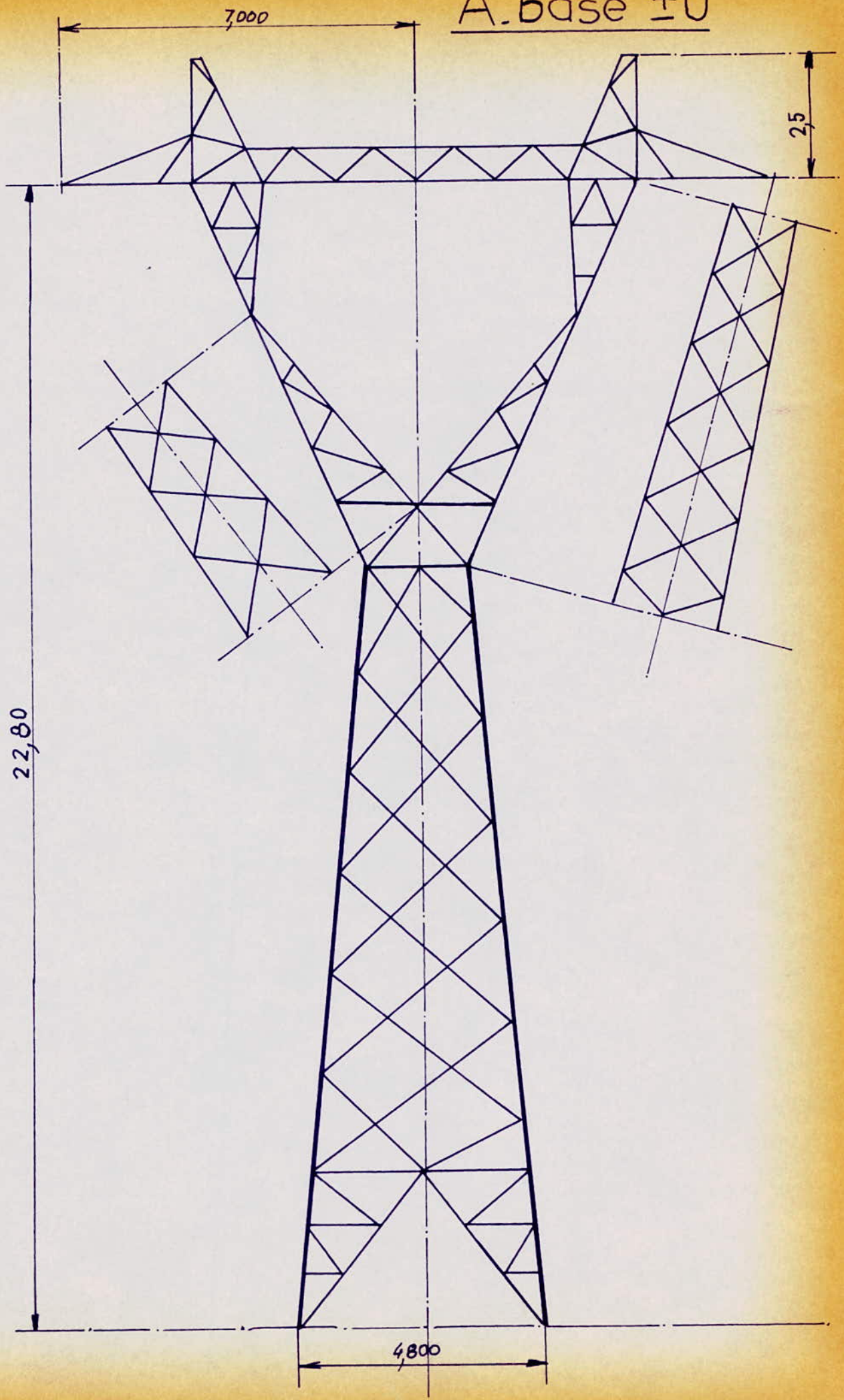
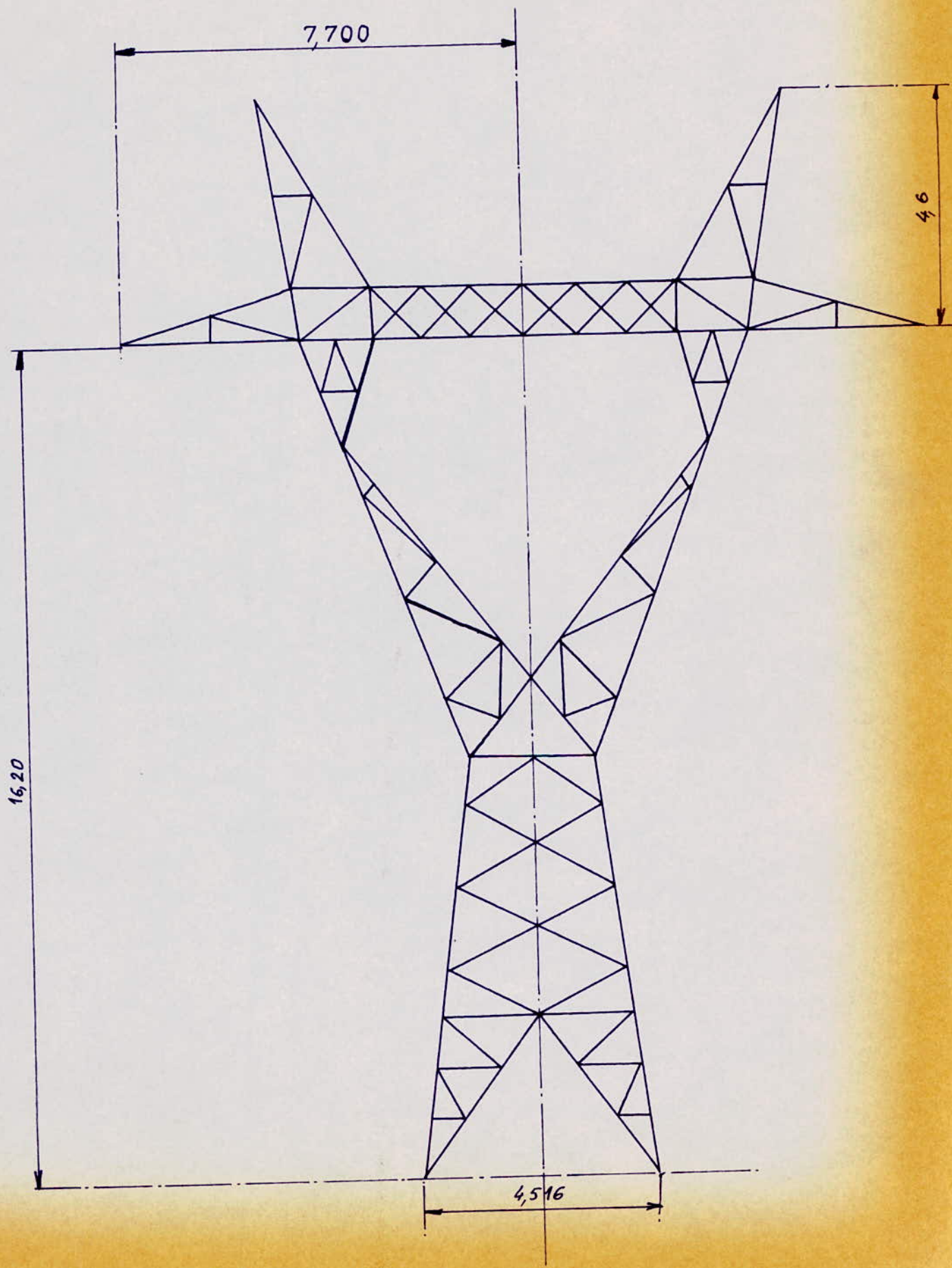
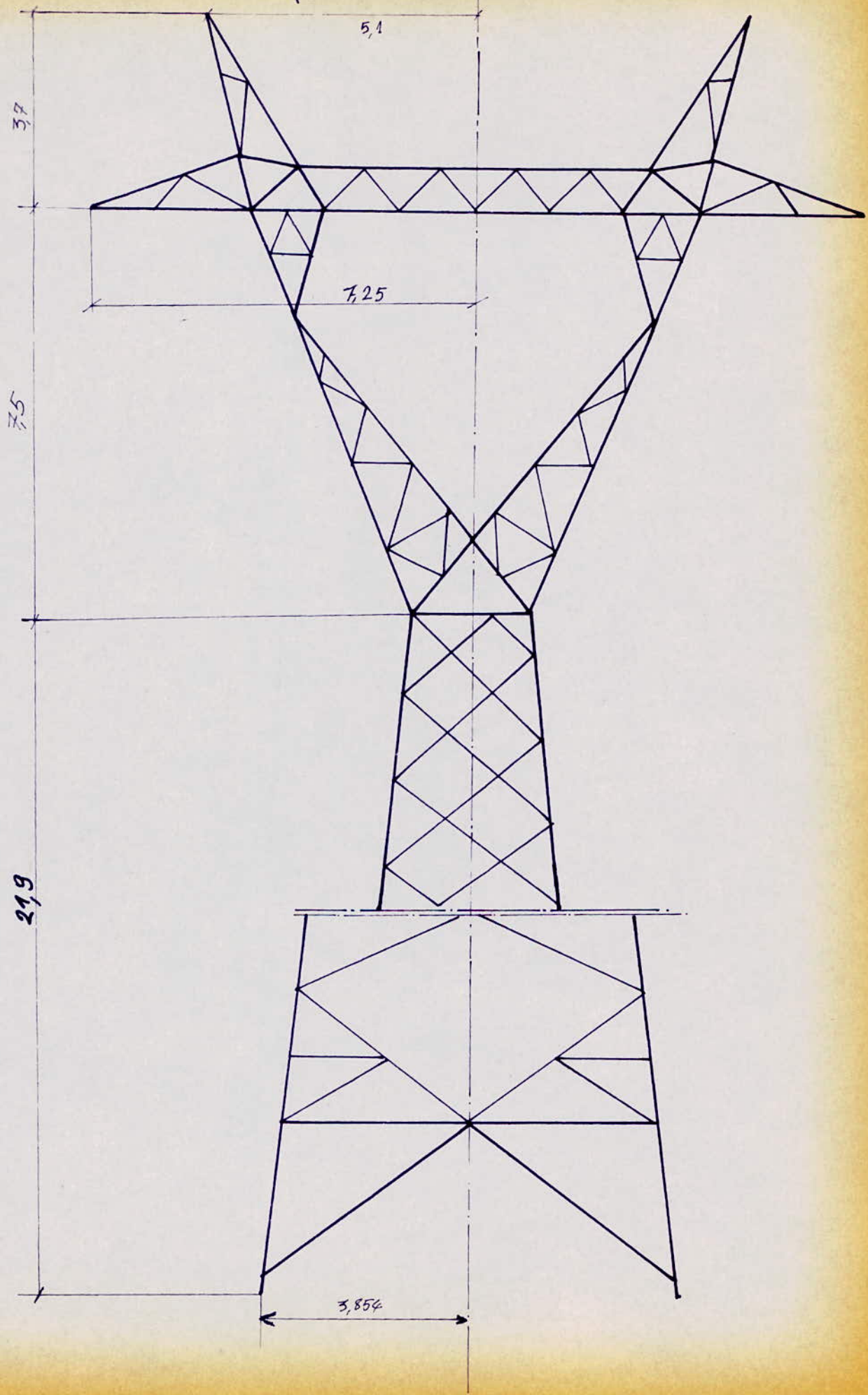


PLANCHE 2 (côtes en m.)

C\_base - 4



- pylône B. base + 8





Hypothèses d'état admises en Algérie pour le calcul  
mécanique des câbles.

A - Hypothèses normales : - d'été :  $\theta = +30^{\circ}\text{C}$  - vent  $\rightarrow 48 \text{ Cpz}$  ( $= 48 \text{ daN/m}^2$ ).  
- d'hiver :  $\theta = -5^{\circ}\text{C}$  - vent  $\rightarrow 18 \text{ Cpz}$  ( $= 18 \text{ daN/m}^2$ ).

B - Every day stress (E.D.S.) :  $\theta = +30^{\circ}\text{C}$  - sans vent.

C - Hypothèses exceptionnelles : (seulement pour l'hiver).

$\theta = -5^{\circ}\text{C}$  - vent  $\rightarrow 72 \text{ Cpz}$  sur conducteur nu.

avec dépôt de glace : -  $2 \text{ kg/m}$ .  
-  $4 \text{ kg/m}$ .  
-  $6 \text{ kg/m}$  } sur conducteurs  
de phase.

et  $1, 2 \text{ kg/m}$  : sur câble de terre.

Cahier de charges :

Le cahier de charges définit trois (3) hypothèses climatiques :

- Été :  $\theta_{\text{max}} = 50^{\circ}\text{C}$ .
- Régime moyen :  $+30^{\circ}\text{C}$ .
- hiver :  $\theta_{\text{min}} = -5^{\circ}\text{C}$ .

En outre, afin d'assurer une sécurité suffisante, malgré les conditions climatiques variées des régions traversées ; il est défini une zone givrée, dans laquelle la surcharge de glace varie de 2 à 6 kg/m sur les conducteurs de phase.

Le calcul des conducteurs sera conduit de manière à respecter les coefficients de sécurité suivants :

- hypothèse A :  $+30^{\circ}\text{C}$  ;  $48 \text{ Cpz}$
  - hypothèse B :  $-5^{\circ}\text{C}$  ;  $18 \text{ Cpz}$
- } coefficient de sécu. = 3

- Cas exceptionnel de givre : la surcharge de givre est appliquée à une température de  $(-5^{\circ}\text{C})$  et la pression dynamique du vent de  $72 \text{ Cpz}$  ( $72 \text{ daN/m}^2$ ) sur un conducteur nu. Le coefficient de sécurité est 1,75.

- E.D.S. : à la température moyenne de  $+30^{\circ}\text{C}$ , sans vent ; la tension du conducteur ne devra pas dépasser les 20% de sa charge de rupture minimale  $\rightarrow$  coefficient de sécurité = 5 (périmée).

Actuellement, à la Sonelgaz, en attendant la rectification de l'arrêté technique ministériel, les calculs sont faits en tenant compte d'un coefficient de sécurité égal à 6,25  $\rightarrow$  la tension du conducteur ne devra pas dépasser les 16% de sa charge de rupture minimale.

### Notations :

- $\alpha$  : coefficient de dilatation calorifique du câble [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]
  - $E$  : module d'élasticité du câble (ou module d'Young) [ $\text{kg/mm}^2$ ].
  - $w$  : poids spécifique du câble en  $\text{kg/m/mm}^2$ .
  - $\theta$  : température en  $^{\circ}\text{C}$ .
  - $t$  : tension horizontale au milieu de la portée [ $\text{kg/mm}^2$ ].
  - $m$  : coefficient de surcharge.
- La valeur du paramètre définissant géométriquement l'équilibre d'un câble est :

$$e = t/w.$$

### • Equation de changement d'état pour petites portées.

$$t^3 + t^2 \left[ \frac{a^2 \cdot w^2 \cdot E \cdot m^2}{24t^2} + \alpha E \cdot (\theta' - \theta) - t \right] = \frac{a^2 \cdot w^2 \cdot E \cdot m^2}{24}$$

En utilisant cette équation, nous allons trouver les valeurs que peut prendre la portée "a" lorsque le paramètre de réglage "e" varie, tout en respectant les tensions unitaires dans le câble selon les différentes hypothèses d'état (on prendra 95% de  $t_{\text{max}}$  pour tenir compte de l'éventuelle augmentation des tractions dans le conducteur pour les portées dénivelées, au et d'après le plus haut.)

Mettons d'abord l'équation précédente sous une forme appropriée, soit :

$$t'^2 + \frac{t'^2}{24t^2} \cdot a^2 \cdot w^2 \cdot E \cdot m^2 + t'^2 \alpha \cdot E (\theta' - \theta) - t t'^2 = \frac{a^2 \cdot w^2 \cdot E}{24} m'^2$$

$$\rightarrow a^2 \cdot w^2 \cdot E (t'^2 m^2 - t^2 m'^2) = 24 t t'^2 \cdot t^2 [t - \alpha E (\theta' - \theta) - t']$$

$$\text{or: } \rho = \frac{t}{w} \Rightarrow t = \rho w$$

Et en remplaçant  $t$  par  $\rho w$  et en simplifiant, il vient :

$$a^2 \cdot E \cdot w^2 \{ t'^2 m^2 - \rho^2 w^2 m'^2 \} = 24 t t'^2 \rho^2 w^2 \{ \rho w - \alpha E (\theta' - \theta) - t' \}$$

$$\Rightarrow a^2 = 24 t t'^2 \rho^2 \frac{\rho w - \alpha E (\theta' - \theta) - t'}{E (t'^2 m^2 - \rho^2 m'^2 w^2)}$$

$$\Rightarrow a = \rho t' \sqrt{\frac{24}{E}} \cdot \sqrt{\frac{\rho w - \alpha E (\theta' - \theta) - t'}{m^2 t'^2 - m'^2 \rho^2 w^2}}$$

Ensuite, en posant :

$$\begin{cases} A = \rho t' \sqrt{\frac{24}{E}} \\ B = \rho w - \alpha E (\theta' - \theta) - t' \\ C = m^2 t'^2 - m'^2 \rho^2 w^2 \end{cases} \Rightarrow a = A \sqrt{\frac{B}{C}}$$

N.B. : Les calculs ont été effectués en supposant un flage de l'ala nul, c'est-à-dire en négligeant le report de charge de l'ala sur l'acier.

1. E.D.S. 20% : coefficient de sécurité = 5. ( $\theta = 30^\circ\text{C}$ ; sans vent; sans glace).

$$\begin{cases} \theta = 50^\circ\text{C} & \dots & \dots & \theta' = 30^\circ\text{C} \\ m = 1 & \dots & \dots & m' = 1 \\ t = \rho w & \dots & \dots & \begin{cases} t'_{\max} = \frac{16500 \times 0,2}{411} = 8,03 \text{ kg/mm}^2 \\ t' = 0,95 t'_{\max} = 7,63 \text{ kg/mm}^2 \end{cases} \end{cases}$$

$$a = 0 : \rightarrow B = 0 = \rho w - \alpha E (\theta' - \theta) - t' = 0$$

$$\Rightarrow \rho_0 = \frac{-2,92 + 7,63}{3,88 \cdot 10^{-3}} = 1214 \text{ m}$$

$$a \approx \infty : \rightarrow C = 0 = t'^2 - \rho^2 w^2 = 0$$

$$\Rightarrow \rho_\infty \approx 1966,5 \text{ m}$$

Donc pour cette hypothèse E.D.S 20%,  $\rho$  varie de 1214 m à 1966,5 m  $\rightarrow$  voir tableau (1) feuille suivante.

Tableau 1: (E.D.S. 20%).

e (m)	A	B	C	a (m)
1300	533	0,33	33	53,5
1400	574	0,42	29	91
1500	615	1,11	24,4	131,4
1600	656	1,49	19,7	180,6
1700	697,5	1,88	14,7	249,3
1800	738,5	2,27	9,4	362,1
1900	780	2,66	3,8	646.

2. E.D.S. 16%: coefficient de sécurité = 6,25.

$\theta' = 30^\circ C$  ; sans vent.

$$t'_{max} = \frac{16500 \times 0,16}{411} = 6,42 \text{ kg/mm}^2.$$

$$t' = 0,95 t'_{max} = 0,95 \cdot 6,42 = 6,1 \text{ kg/mm}^2.$$

$$\begin{cases} \theta = 50^\circ C & \dots \dots \dots \theta' = 30^\circ C \\ m = 1 & \dots \dots \dots m' = 1. \\ t = \rho w & \dots \dots \dots t' = 6,1 \text{ kg/mm}^2. \end{cases}$$

$a = 0 \rightarrow B = 0 \rightarrow e_0 = 793,8 \text{ m}.$

$a \rightarrow \infty \rightarrow C = 0 \rightarrow e_\infty = 1546,3 \text{ m}.$

Tableau 2. (E.D.S. 16%).

e (m)	A	B	C	a (m)
1100	355	1,16	17,78	90,3
1200	387	1,55	14,32	127,3
1300	420	1,94	10,56	180
1400	452	2,33	6,49	270,7
1450	468	2,52	4,35	356,3
1500	484	2,72	2,13	547,2
1520	491	2,80	1,22	744,3

3. hypothèse normale d'été : coefficient de sécurité = 3.

$$\theta' = 30^\circ\text{C} \quad - \text{vent} : 48 \text{ Cp}_z$$

tension unitaire max. :  $t'_{\max} = \frac{16500}{3 \cdot 411} = 13,38 \text{ kg/mm}^2$

coefficient de surcharge:

a) pression du vent par mètre linéaire de câble :

$$48 \text{ Cp}_z \rightarrow 48 \cdot 1,02 \cdot 0,0264 = 1,292 \text{ kg/m.}$$

$$b) m' = \frac{\sqrt{1,593^2 + 1,292^2}}{1,593} = 1,287.$$

$$\begin{cases} \theta = 50^\circ\text{C} & \dots & \dots & \theta' = 30^\circ\text{C}. \\ m = 1 & \dots & \dots & m' = 1,287. \\ t = e_w & \dots & \dots & t'_{\max} = 13,38 \text{ kg/mm}^2. \\ & & & t' = 0,95 t'_{\max} = 12,71 \text{ kg/mm}^2. \end{cases}$$

$$a = 0 \rightarrow B = 0 \rightarrow e_0 = 2523 \text{ m.}$$

$$a \rightarrow \infty \rightarrow c = 0 \rightarrow e_\infty = 2545 \text{ m.}$$

Tableau 3. (hyp. normale d'été).

e (m)	A	B	C	a (m)
2523	~	0	~	0
2530	1729	0,0264	1,89	204,4
2540	1736	0,0652	0,625	560,6
2545	~	~	0	$\infty$

4. hypothèse normale d'hiver : coefficient de sécurité = 3.

$$\theta' = -5^\circ\text{C} \quad - \text{vent} : 18 \text{ Cp}_z.$$

tension unitaire max. :  $t'_{\max} = \frac{16.500}{3 \cdot 411} = 13,38 \text{ kg/mm}^2$

coefficient de surcharge:

a) pression du vent par mètre linéaire de câble :

$$18 \text{ Cp}_z \rightarrow 18 \cdot 1,02 \cdot 0,0264 = 0,484 \text{ kg/m.}$$

$$b) m' = \frac{\sqrt{1,593^2 + 0,484^2}}{1,593} \approx 1,044.$$

$$\begin{cases} \theta = 50^\circ\text{C} & \dots & \dots & \theta' = -5^\circ\text{C}. \\ m = 1 & \dots & \dots & m' = 1,044. \\ t = e_w & \dots & \dots & t' = 0,95 t'_{\max} = 12,71 \text{ kg/mm}^2. \end{cases}$$

$$a=0 \rightarrow B=0 \Rightarrow e_0 = 1206 \text{ m.}$$

$$a \rightarrow \infty \rightarrow C=0 \Rightarrow e_\infty = 3137 \text{ m.}$$

Tableau 4 (hyp. normale d'hiver).

e (m)	A	B	C	a (m)
1206	~	0	~	0
1300	888,5	0,36	133,8	46,1
1400	956,8	0,75	129,3	72,8
1500	1025	1,14	124,6	98,1
1600	1093,5	1,53	119,5	123,7
1700	1161,8	1,92	114	150,7
1800	1230	2,30	108,3	179,2
1900	1298,6	2,69	102,3	210,6
2000	1367	3,08	95,8	245
2100	1436	3,47	88,8	283,7
2200	1504	3,86	82	326
2300	1572,7	4,24	74,7	374,8
2400	1641	4,63	66,9	431,5
2500	1709	5,02	58,9	498,8

5. hypothèse exceptionnelle de givre: coefficient de sécurité = 1,75.

$\theta' = -5^\circ\text{C}$  - vent:  $72 \text{ Cp}_z$  sur câble nu -  $2 \text{ kg/m}$  de givre.

tension unitaire max.:  $t'_{\text{max}} = \frac{16500}{1,75 \cdot 411} = 22,94 \text{ kg/mm}^2$ .

coefficient de surcharge:

a) pression du vent par mètre linéaire de câble.

$$72 \text{ Cp}_z \rightarrow 72 \times 1,02 \times 0,0264 = 1,938 \text{ kg/m.}$$

$$b) m' = \frac{\sqrt{[1,593 + 2]^2 + 1,938^2}}{1,593} = 2,562.$$

$$\begin{cases} \theta = 50^\circ\text{C} & \dots\dots\dots \theta' = -5^\circ\text{C} \\ m = 1 & \dots\dots\dots m' = 2,562 \\ t = \rho w & \dots\dots\dots t' = 0,95 t'_{\max} = 21,79 \text{ kg/mm}^2 \end{cases}$$

$a = 0 \rightarrow B = 0 \rightarrow \rho_0 = 3546 \text{ m.}$

$a \approx \infty \rightarrow C = 0 \rightarrow \rho_\infty = 2192 \text{ m.}$

Tableau 5 (hyp. excep. de givre).

$\rho$ (m)	A	B	C	a (m)
2192	~	~	0	$\infty$
2200	2579	-5,23	-3,26	3263
2300	2696,2	-4,84	-47,73	858,2
2400	2813,5	-4,45	-94,17	611,4
2500	2930,5	-4,06	-142,6	494,5
2600	3048	-3,67	-192,98	420,4

6- hypothèse exceptionnelle de givre: coefficient de sécu. = 1,75.

$\theta' = -5^\circ\text{C}$  — vent:  $f_2 C_{p2}$  sur câble nu.  
— givre: 4 kg/m.

tension unitaire max.:  $t'_{\max} = \frac{16.500}{1,75 \cdot 411} = 22,94 \text{ kg/mm}^2$ .

coefficient de surcharge:

a) pression du vent par mètre linéaire de câble.

$f_2 C_{p2} \rightarrow f_2 \times 1,02 \times 0,0264 = 1,938 \text{ kg/m.}$

b)  $m' = \frac{\sqrt{(1,593 + 4)^2 + 1,938^2}}{1,593} \approx 3,715$ .

$$\begin{cases} \theta = 50^\circ\text{C} & \dots\dots\dots \theta' = -5^\circ\text{C} \\ m = 1 & \dots\dots\dots m' = 3,715 \\ t = \rho w & \dots\dots\dots t' = 0,95 t'_{\max} = 21,79 \text{ kg/mm}^2 \end{cases}$$

$a = 0 \rightarrow B = 0 \rightarrow \rho_0 \approx 3546 \text{ m}$

$a \approx \infty \rightarrow C = 0 \rightarrow \rho_\infty \approx 1511 \text{ m.}$

Tableau 6 - (hyp. excep. de  $g: 4 \text{ kg/m}$ )

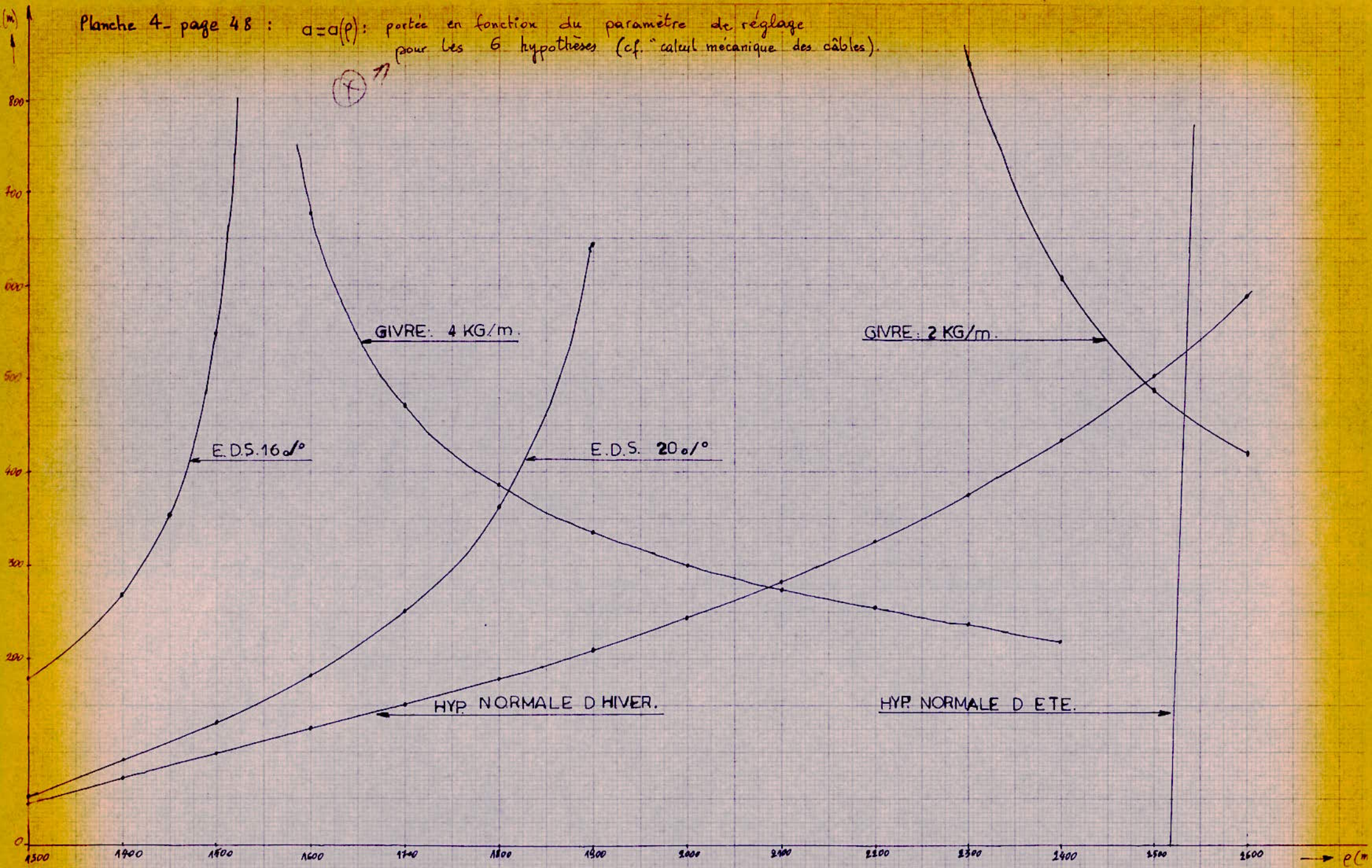
$e$ en [m.]	A	B	C	$a$ en [m.]
1511	$\sim$	$\sim$	0	$\infty$
1550	1816,2	-7,76	-24,16	1029,2
1600	1874,75	-7,55	-56,89	682,9
1700	1992	-7,16	-125,4	475,9
1800	2109	-6,77	-198,2	390
1900	2226,3	-6,38	-275	339,1
2000	2343,4	-6,0	-290	307,2
2100	2462	-5,61	-441,3	277,6
2200	2579	-5,23	-530,6	256
2300	2696,3	-4,84	-624	237,3
2400	2813,5	-4,45	-721,75	221

Les 6 courbes sont tracées sur le graphique en page suivante (conf. planche 4 - page 48)



Planche 4 - page 48 :  $a=a(p)$ : portée en fonction du paramètre de réglage pour les 6 hypothèses (cf. "calcul mécanique des câbles").

(7) ↗



\* Limites de l'utilisation du conducteur  $411 \text{ mm}^2$  pour les hyp. arrêtées par le cahier de charges.

# - Développement des formules pour Le calcul des Lignes:

1) Théorie fondamentale: Dans les lignes aériennes, la charge est constituée avant tout par le poids propre des conducteurs; lorsque la section est  $e^2$ , le poids est réparti régulièrement sur toute la longueur de l'arc. Pour simplifier les calculs, on admet que même les surcharges sont également réparties d'une façon régulière le long des conducteurs. Soit:

$mp = g$  la charge linéaire totale.

$H$ : composante horizontale de la tension  $T$  dans le conducteur,

ou a:

$$V = (mp) \cdot l = g \cdot l \quad (1)$$

$$\text{tg } \tau = \frac{V}{H} = \frac{g \cdot l}{H} \quad (2)$$

D'après (2), on constate que la forme de la

courbe ne se modifie pas lorsque l'on fait varier ensemble proportionnellement

$l$  et  $H$  (respec.  $g$  et  $H$ ). On peut donc poser:  $H = e \cdot g$ . (3)

- Le facteur de proportionnalité " $e$ " est le paramètre de la courbe. De (2), on

tire:  $\text{tg } \tau = l/e$  (4)

la tangente de l'angle de la courbe par rapport à l'axe des " $x$ " est donc proportionnelle à l'arc. Par dérivation de (4), il vient:

$$\frac{d(\text{tg } \tau)}{dx} = \frac{1}{e} \cdot \frac{dl}{dx} \quad \text{or: } \text{tg } \tau = \frac{dy}{dx} \rightarrow \frac{d}{dx} (\text{tg } \tau) = \frac{d^2 y}{dx^2}$$

et  $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ .

$$\text{donc: } dl = dx \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \rightarrow \frac{dl}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

On obtient ainsi l'équation différentielle:

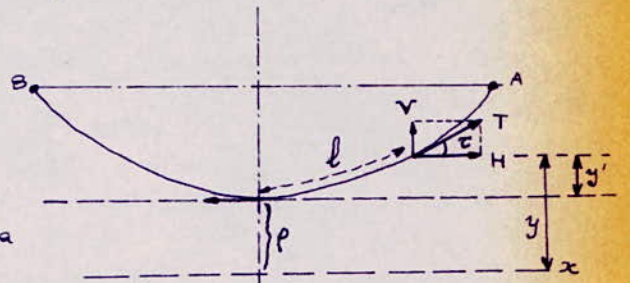
$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{1}{e} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$$

dont la solution est la chaînette:  $y = \frac{e}{2} \cdot (e^{x/e} + e^{-x/e}) = e \cdot \text{ch} \left(\frac{x}{e}\right)$ . (5)

L'axe des " $x$ " se trouvant à une distance égale au paramètre " $e$ " de la tangente au point le plus bas et parallèle à celle-ci.

Développement de (5) en séries:  $y = e + \frac{x^2}{2e} + \frac{x^4}{24e^3} + \dots \rightarrow y = e + \frac{x^2}{2e}$ .

En faisant un changement de variables, on obtient:  $y = y - c \rightarrow y = \frac{x^2}{2e}$  (6)



- La parabole représente la courbe des conducteurs dans le cas où la charge est répartie régulièrement sur la projection horizontale de la courbe, car dans ce cas, on a:

$$V = g \cdot x \text{ et } H = g \cdot c$$

$$\frac{dy}{dz} = \operatorname{tg} \tau = \frac{V}{H} = \frac{x}{c}$$

Et par intégration:  $y = \frac{x^2}{2c}$ , (identique à la formule (6)).

2°) Equation des conditions d'une ligne pour portées au même niveau:

$$\left. \begin{array}{l} \text{- allongement thermique: } (\theta - \theta_0) \alpha \cdot l_0 \\ \text{- allongement élastique: } (t - t_0) \frac{l_0}{E} \end{array} \right\} \Rightarrow l - l_0 = (\theta - \theta_0) \alpha l_0 + (t - t_0) \frac{l_0}{E} \quad (7)$$

Or, pour la demi-portée, lorsque les 2 appuis sont de niveau, on a; d'une part

$$l = c \cdot \operatorname{tg} \tau = c \cdot \frac{dy}{dx} \Rightarrow l = \frac{c}{2} (e^{x/c} - e^{-x/c}) = c \cdot \operatorname{sh} \left( \frac{x}{c} \right)$$

$$\text{or: } l = x + \frac{1}{6} \cdot \frac{x^3}{c^2} + \dots \quad \text{et} \quad \operatorname{ch}^2 \left( \frac{x}{c} \right) - \operatorname{sh}^2 \left( \frac{x}{c} \right) = 1$$

$$\Rightarrow l^2 = y^2 + c^2$$

d'autre part:  $c = t/w$

$$\text{On a donc pour les conditions de pose: } \frac{l_0}{2} = \frac{a}{2} + \frac{a^3}{48} \cdot \frac{w_0^2}{t_0^2} + \dots = \frac{a}{2} \left( 1 + \frac{a^2}{24} \cdot \frac{w_0^2}{t_0^2} \right)$$

$$\text{et les nouvelles conditions: } \frac{l}{2} = \frac{a}{2} \left( 1 + \frac{a^2}{24} \cdot \frac{w^2}{t^2} \right)$$

De ces 2 dernières équations, et de la (7), on tire:

$$\frac{a^2}{24} \left( \frac{w^2}{t^2} - \frac{w_0^2}{t_0^2} \right) = (\theta - \theta_0) \alpha \frac{l_0}{a} + (t - t_0) \cdot \frac{l_0}{a} \cdot \frac{1}{E}$$

$$\text{Si } \frac{l_0}{a} \approx 1 \Rightarrow \frac{a^2}{24} \left( \frac{w^2}{t^2} - \frac{w_0^2}{t_0^2} \right) = (\theta - \theta_0) \alpha + (t - t_0) \cdot \frac{1}{E}$$

Et l'on obtient par transformation, l'éq. des conditions d'une ligne:

$$t^3 + t^2 \left\{ \frac{w_0^2 \cdot a^2 \cdot E}{24 t_0^2} + (\theta - \theta_0) \alpha \cdot E - t_0 \right\} = \frac{w^2 \cdot a^2 \cdot E}{24} \quad (8)$$

3°) Equation des conditions pour portées dénivelées:

$$\text{formes: } \bar{t} = t + \frac{t h^2}{2 a^2} + \frac{w^2 \cdot a^2}{24 t}$$

$$l = a + \frac{h^2}{2 a} + \frac{w^2 \cdot a^3}{24 t^2}$$

$$\Rightarrow l - l_0 = a \cdot \frac{a^2}{24} \left( \frac{w^2}{t^2} - \frac{w_0^2}{t_0^2} \right) = (\theta - \theta_0) \alpha \cdot l_0 + (\bar{t} - \bar{t}_0) \cdot \frac{1}{E} \cdot l_0$$

$$= b \cdot \cos \psi \cdot \frac{a^2}{24} \left( \frac{w^2}{t^2} - \frac{w_0^2}{t_0^2} \right) = (\theta - \theta_0) \alpha \cdot l_0 + (\bar{t} - \bar{t}_0) \cdot \frac{1}{E} \cdot l_0$$

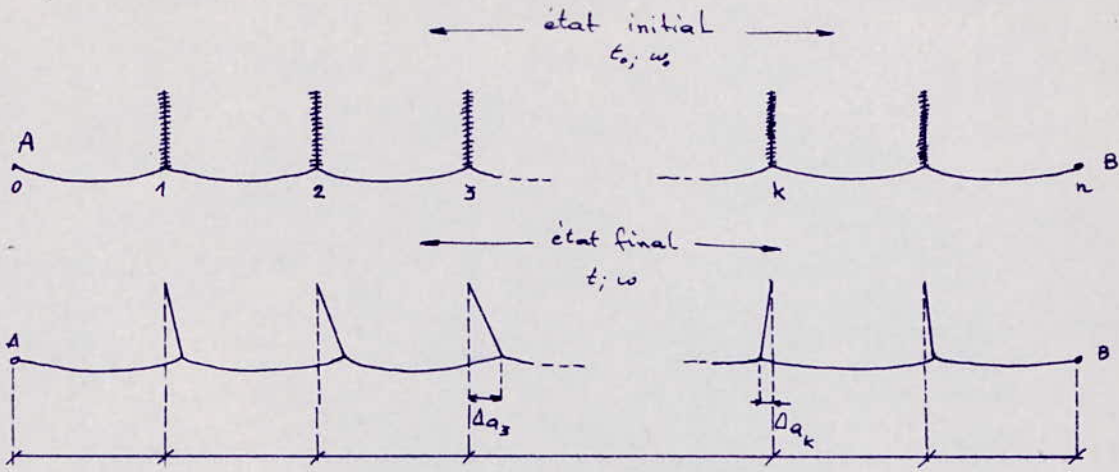
$$\text{Si } \frac{l_0}{b} \approx 1, \text{ on a: } \cos \psi \cdot \frac{a^2}{24} \left( \frac{w^2}{t^2} - \frac{w_0^2}{t_0^2} \right) = (\theta - \theta_0) \alpha + (\bar{t} - \bar{t}_0) \cdot \frac{1}{E}$$

Généralement:  $\frac{w_0^2 \cdot a^2}{24 t_0} \approx \frac{w^2 \cdot a^2}{24 t} \approx 0$ , il vient alors:

$$\boxed{t^3 \left( 1 + \frac{h^2}{2 a} \right) + t^2 \left[ \frac{w_0^2 \cdot a^2 \cdot E \cdot \cos \psi}{24 t_0^2} + (\theta - \theta_0) \alpha \cdot E - t_0 \left( 1 + \frac{h^2}{2 a} \right) \right]} = \frac{w^2 \cdot a^2 \cdot E \cdot \cos \psi}{24} \quad (10)$$

4) Equation des conditions pour lignes aériennes à isolateurs de suspension:

Dans les lignes à isolateurs de suspension; les tensions qui diffèrent, dans certaines portées du fait des variations des conditions, sont compensées par la déviation des chaînes d'isolateurs de sorte que les tensions horizontales dans toutes les portées peuvent être finalement toutes considérées comme identiques.



- Soit un conducteur monté entre 2 pts d'arrêts A et B en n portées aux conditions  $t_0, w_0, \theta_0$  avec chaînes d'isolateurs verticales. Si les conditions deviennent  $w, \theta$ , la tension horizontale équilibrée du conducteur est  $t$ . Pour une telle modification de conditions, les chaînes d'isolateurs dévient de certaines valeurs  $\Delta a$ .

En désignant par:

$t_0$ : effort horizontal du conducteur en  $kg/mm^2$  aux conditions de pose avec chaînes d'isolateurs verticales,

$t$ : tension équilibrée du conducteur aux conditions  $w, \theta$ .

En procédant de la même manière que ci-dessus, il vient:

$$\frac{\sum a^3}{\sum a} \cdot \left( \frac{w_0^2}{24t_0^2} - \frac{w^2}{24t^2} \right) + (\theta - \theta_0) \alpha + (t - t_0) \cdot \frac{1}{E} = 0$$

$$\text{posons: } \frac{\sum a^3}{\sum a} = a_m^2 \Rightarrow t^3 + t^2 \left\{ \frac{w_0^2 \cdot a_m^2 \cdot E}{24t_0^2} + (\theta - \theta_0) \alpha - t_0 \right\} = \frac{w^2 \cdot a_m^2 \cdot E}{24}$$

Les portées "a" sont donc remplacées par les portées "am". Pour les lignes à isolateurs de suspension, les tensions des conducteurs pour des sections comprises entre 2 points d'arrêts ne doivent plus se calculer portée par portée, mais en considérant une portée moyenne "am", dont la grandeur est donnée par la relation ci-dessus.

Pour les lignes dont les appuis sont à des niveaux différents, l'équation des conditions se déduit d'une façon analogue, soit :

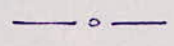
$$\frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} \left[ \frac{w_0^2}{24t_0^2} - \frac{w^2}{24t^2} \right] + (\theta - \theta_0) \alpha + (t - t_0) \cdot \frac{1}{E} \cdot \frac{\sum a \left( 1 + \frac{h^2}{2a^2} \right)}{\sum a} = 0$$

Et en posant :  $\frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = a_m^2$  et  $\frac{\sum a \left( 1 + \frac{h^2}{2a^2} \right)}{\sum a} = u$ .

On désigne par "a<sub>m</sub>" la portée moyenne et par "u" le facteur d'inclinaison moyen. En ordonnant l'équation ci-dessus selon les puissances de t, on obtient finalement :

$$u t^3 + t^2 \left[ \frac{w_0^2 \cdot a_m^2 \cdot E}{24t_0^2} + (\theta - \theta_0) \alpha \cdot E - u t_0 \right] = \frac{w^2 \cdot a_m^2 \cdot E}{24}$$

L'équation ci-dessus peut être considérée comme l'équation générale des conditions des lignes à isolateurs de suspension.



D'après les courbes a = a(p) tracées pour différentes hypothèses d'état et figurant sur la planche 4., nous remarquons que c'est l'hypothèse E.D.S. 16% qui impose les contraintes les plus sévères aux câbles. Il suffira donc, pour respecter tous les coefficients de sécurité des diverses hypothèses de situer le couple de points (a, p) sur la partie gauche, située entre l'axe des "a" et la courbe a = a(p) pour E.D.S. 16%. C'est cette région qui nous permet de fixer le paramètre optimal pour une portée pratique donnée.

Le pylône d'alignement (ou de suspension) étant le type de pylône le moins sollicité, nous choisissons un pylône de suspension du type "A" (fabriqué en séries par S.N. métal) calculé pour une portée de 540m. Il est d'usage de prendre comme valeur de la portée pratique 80 à 85% de la portée de calcul du pylône d'alignement, soit : 432 à 459m. Nous prenons donc 450m ce qui correspond au paramètre 1475m; ne disposant pas de câblon 1475m, nous utilisons un câblon 1450m et fixons donc cette valeur comme paramètre de réglage optimal.

La ligne aérienne de transport d'énergie électrique, longue de 122,8 km environ, relie le poste de Saïda à la centrale électrique de Tiaret. Construite à l'aide de 3 conducteurs de phase Alu-acier  $411 \text{ mm}^2$  disposés en nappe horizontale ; 2 câbles de garde en Alu-acier de section  $116,2 \text{ mm}^2$  sont prévus sur 2 km environ à chaque extrémité, au départ et à l'arrivée de la ligne.

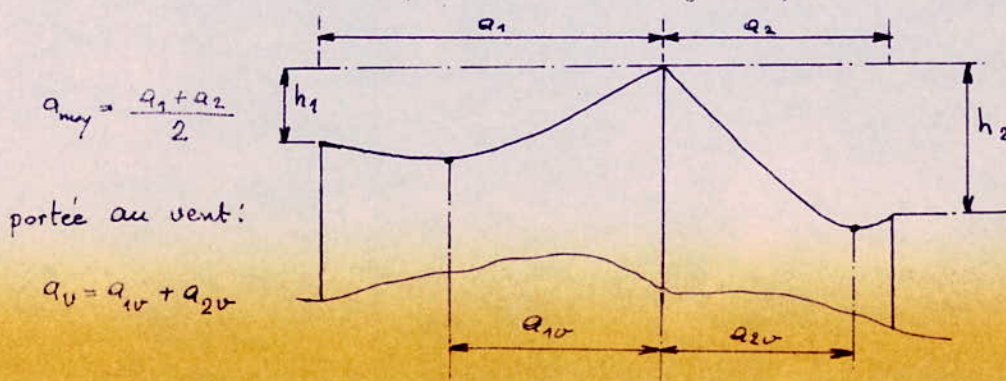
Nous faisons donc la répartition des pylônes sur le profil en long de la ligne, nous aurons :

- TRONÇON N° 1 : constitué de 3 cantons de longueur :
  - canton n° 1 : 1416,8 m.
  - canton n° 2 : 1789 m.
  - canton n° 3 : 8528,4 m.
- TRONÇON N° 2 : constitué d'un seul canton de longueur
  - canton n° 4 : 9848,8 m.
- TRONÇON N° 3 : constitué de 2 cantons de longueur :
  - canton n° 5 : 8832 m.
  - canton n° 6 : 9116,5 m.

Sur le tronçon n° 1, qui constitue l'arrivée de la ligne à Saïda, il est donc prévu à la fin du 2<sup>e</sup> canton, au lieu d'un pylône d'angle souple ( $\alpha \leq 15^\circ \text{C}$ ) du type "B", un pylône d'arrêt du type "C", ceci afin de permettre l'ancrage des 2 C.d.T. à fin de ce 2<sup>e</sup> canton.

La répartition est réalisée de façon à réduire :

- le nombre de pylônes
- le poids de chaque pylône
- le relief du terrain (ne pas l'accentuer).



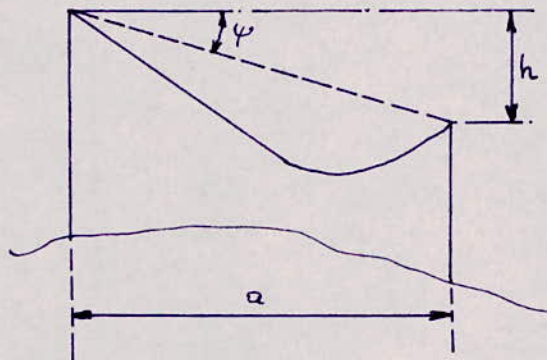
N.B.: - La répartition des pylônes est faite sur les profils en long des 3 tronçons ci-joints (cf. TRONÇON 1, 2, 3).

- On doit éviter l'utilisation des pylônes du type "C" surélevés à cause du poids supplémentaire qui intervient en cas de surélévation.

- Essayer d'utiliser le même type de pylône "A" pour faciliter le transport et surtout le montage.

- Le tronçon n° 3 est divisé en 2 cantons sensiblement égaux, séparés par un pylône  $C_0$  (pylône n° 73) de façon à respecter le nombre maximum de portées d'un canton (limité à 30 portées).

En définitive, on obtient donc 6 cantons sur les 3 tronçons étudiés. Nous passons ensuite au calcul de la portée moyenne de chaque canton, en tenant compte de la dénivellation entre 2 pylônes successifs, ce qui revient à faire intervenir l'angle formé par cette dénivellation.



$$\arctg \frac{h}{a} = \psi \Rightarrow \psi = ? \Rightarrow \cos \psi = ?$$

- Ce qui donne les résultats ci-après (cf. pages suivantes).

Ligne: Tiaret - Saïda

TRONÇON N° 1.

CALCUL DES PORTEES MOYENNESCANTON N° 1

Pylône N°	Portée 'a' [m]	Déniv. 'h' [m]	cos ψ	a <sup>3</sup> (x 10 <sup>-6</sup> )	a <sup>3</sup> . cos ψ (x 10 <sup>-6</sup> )
1					
2	314,0	3,0	0,999	30,959.	30,928.
3	322,0	11,0	"	33,303.	33,353.
4	399,0	16,0	"	63,521.	63,457.
5	381,8	7,25	"	55,655.	55,599.

$$\rightarrow a_m^3 = \frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = 12,94 \cdot 10^4 \Rightarrow a_m = 359,7 \text{ m}$$

CANTON N° 2.

Pylône N°	Portée 'a' [m]	Déniv. 'h' [m]	cos ψ	a <sup>3</sup> (x 10 <sup>-6</sup> )	a <sup>3</sup> . cos ψ (x 10 <sup>-6</sup> )
5					
6	435	11,0	0,999	82,313.	82,230.
7	345	6,5	"	41,064	41,023
8	324	0	1	34,012	34,012
9	360	20,5	"	46,656	46,562
10	325	14,5	"	34,328	34,294.

$$\rightarrow a_m^3 = \frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = 13,31 \cdot 10^4 \Rightarrow a_m = 364,8 \text{ m}$$



Ligne: Tiaret - Saïda.

TRONÇON N° 1

CALCUL DES PORTEES MOYENNESCANTON N° 3

Pylône N°	Portée "a" [m]	Déniv. "h" [m]	cosψ	a <sup>3</sup> (x 10 <sup>-6</sup> )	a <sup>3</sup> .cosψ (x 10 <sup>-6</sup> )
10	475	18,5	0,99	107,172	107,086
11	417	23,5	"	72,512	72,396
12	407	17,0	"	67,419	67,358
13	519	3,5	"	139,798	139,784
14	439	13,5	"	84,604	84,562
15	447	35	"	89,315	89,038
16	463	1,5	"	99,253	99,243
17	330	27	"	35,937	35,818
18	345	5	"	41,064	41,055
19	484	5	"	113,379	113,368
20	364	19,5	"	48,228	48,146
21	399	23	"	63,521	63,413
22	433	40	"	81,183	80,833
23	375	46	"	52,734	52,338
24	373	14	"	51,895	51,858
25	367	17,5	"	49,431	49,371
26	376	19,5	"	53,157	53,082
27	373	3,0	"	51,895	51,889
28	363	6,0	"	47,832	47,827
29	364	10,5	"	48,228	48,209
30	415,4	41,0	"	71,680	71,336
31					

$$\rightarrow a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = 17,213 \cdot 10^4 \Rightarrow a_m = 414,8 \text{ m}$$

Ligne: Tiaret - Saïda.

TRONÇON N° 2

CALCUL DES PORTEES MOYENNESCANTON N° 4

Pylône N°	Portée "a" [m]	Déniv. "h" [m]	cos $\psi$	$a^3 (\times 10^6)$	$a^3 \cdot \cos \psi (\times 10^6)$
31					
32	329	28,5	0,99	35,611	35,479
33	460	8,25	"	97,336	97,316
34	459	4,0	"	96,702	96,693
35	453	2,0	"	92,959	92,950
36	471	9,5	"	104,487	104,466
37	461	6,0	"	97,972	97,962
38	441	10,5	"	85,766	85,740
39	422	2,25	"	75,151	75,144
40	453	1,25	"	92,959	92,950
41	431	4,0	"	80,063	80,055
42	424	5,0	"	76,225	76,217
43	435	2,25	"	82,313	82,304
44	432	3,0	"	80,621	80,613
45	387	0,5	"	57,960	57,955
46	467	1,0	"	101,847	101,837
47	483	4,5	"	112,678	112,667
48	401	4,25	"	64,481	64,475
49	515	2,5	"	136,590	136,577
50	427	9,0	"	77,854	77,831
51	438	18,0	"	84,027	83,960
52	334	16,0	"	37,259	37,218
53	394	4,0	"	61,163	61,156
54	331,8	6,5	"	36,528	36,521
			"		

$$\rightarrow a_m = \frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = 18,967 \cdot 10^4 \Rightarrow$$

$$a_m = 435,5 \text{ m.}$$

Ligne: Tiaret - Saïda.

TRONÇON N° 3

CALCUL DES PORTEES MOYENNES

CANTON N° 5

Pylône N°	Portée a [m]	Déniv. h [m]	cos ψ	a³ (x 10⁶)	a³ cos ψ (x 10⁶)
54	353	74,20	0,97	43,987	43,019
55	490	9,0	0,99	117,650	117,530
56	440	0,5	"	85,180	85,090
57	447	1,0	"	89,31	89,22
58	450	75,25	0,98	91,125	89,85
59	763	37,5	0,99	444,19	443,30
60	735	6,0	"	397,06	396,67
61	356	10,5	"	45,12	45,07
62	391	16,5	"	59,77	59,72
63	465	2,0	"	100,54	100,44
64	416	11,25	"	71,99	71,92
65	486	32,0	"	114,79	114,45
66	558	10,25	"	173,74	173,56
67	327	4,0	"	34,96	34,93
68	434	7,5	"	81,75	81,66
69	448	3,0	"	89,91	89,82
70	440	0,25	"	85,18	85,09
71	497	0,75	"	122,76	122,64
72	336	2,50	"	37,93	37,90
73					

→  $a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = 25,836 \cdot 10^4 \Rightarrow a_m = 508,3 m.$

Ligne: Tiaret-Saïda.

TRONÇON N° 3

CALCUL DES PORTEES MOYENNES

CANTON N° 6.

Pylône N°	Portée a (m)	Déniv. h. (m)	cos ψ	a³(x10⁶)	a³.cos ψ(x10⁶)
73					
74	387	5,5	0,99	57,96	57,90
75	486	2,5	"	114,79	114,67.
76	417	5,5	"	72,51	72,44.
77	422	5,5	"	75,15	75,07.
78	485	5,5	"	114,08	113,97
79	406	2,25	"	66,92	66,86
80	513	14,5	"	135,0	134,87.
81	388	14,0	"	58,41	58,35
82	518	8,5	"	138,99	138,85
83	380	3,5	"	54,87	54,82.
84	461	20,75	"	97,97	97,77.
85	489	19,5	"	116,93	116,81.
86	388	1,0	"	58,41	58,35
87	441	23,5	"	85,76	85,59
88	487	34,0	"	115,50	115,15.
89	454	18,0	"	93,57	93,48.
90	320	0,25	"	32,77	32,73.
91	422	13,0	"	75,15	75,07
92	438	2,0	"	84,03	83,94
93	388	13,5	"	58,41	58,35
94	426,5	1,5	"	77,58	77,50.

$$\rightarrow a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cdot \cos \psi}{\sum a} = 19,553 \cdot 10^4 \Rightarrow a_m = 442,2 \text{ m.}$$

Ayant obtenu ces différentes portées moyennes (ou portées de Blondel), chacune se rapportant à un canton, soit :

- canton n° 1 : . . . . .  $a_m = 359,7 \text{ m.}$
- canton n° 2 : . . . . .  $a_m = 364,8 \text{ m.}$
- canton n° 3 : . . . . .  $a_m = 414,8 \text{ m.}$
- canton n° 4 : . . . . .  $a_m = 435,5 \text{ m.}$
- canton n° 5 : . . . . .  $a_m = 508,3 \text{ m.}$
- canton n° 6 : . . . . .  $a_m = 442,2 \text{ m.}$

Nous procédons à la vérification des tensions dans les câbles pour les 4 hypothèses principales; en l'occurrence :

$$\left\{ \begin{array}{l} + 30^\circ - \text{vent } 48 \text{ cps.} \\ + 30^\circ - \text{E.D.S. (16\%)} - \text{sans vent.} \\ - 5^\circ - \text{vent } 18 \text{ cps.} \\ - 5^\circ - \text{vent } 72 \text{ cps} - 4 \text{ kg/m de givre.} \end{array} \right.$$

Les résultats sont rassemblés dans les 6 pages suivantes.

---

LIGNE Tiaret - Saïda. -(220KV)

Canton N° 1

Câble 411 mm<sup>2</sup> Alu-acier

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2'}_A - t \right) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1450     $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 5,626$      $t^2 = 31,652$      $\theta' - \theta = -20,55$

$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = 19,94 \cdot 10^4$      $u = \frac{\sum a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)}{\sum a} = 1,0004 \approx 1$      $C_1' = \frac{100 \omega^2 E}{24} = 52$

$\alpha E = 0,146$      $J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,642$      $J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u}$      $J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$

$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right)$      $f_{max} = 13,74m$   
 $h = 16m$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S (16%)	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz. 4 kgq
$a_m$	359,7 m.			
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	12,94.			
$m'$	1,287	1,0	1,044	3,715
$m'^2$	1,656	1,0	1,09	13,80.
$J_3'$	86,112	52	56,680	717,601.
A	$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	21,25	21,25	21,25
	$J_2'$	-2,92	-2,92	-8,03
	-t	-5,626	-5,626	-5,626
	A	12,704	12,704	7,594
B	$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	1114,3	672,9	733,4
	$t'$	7,438	5,999	7,073
	$t_1'$	7,554	6,089	7,168
Tens. unit. max.	12,713	6,102	12,713	21,794.

LIGNE : Tiaret - Saïda. - (220kV)

Canton N° 2

Câble: 4w-acier: 411 mm<sup>2</sup>

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J'_1 + J'_2}_{A} - t \right) = \underbrace{a_m^2 J'_3}_{B}$$

paramètre  $\rho$ : 1450     $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 5,626$      $t^2 = 31,652$      $\theta' - \theta = -20,55$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = 13,31 \cdot 10^4 \quad u = \frac{\sum a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)}{\sum a} = 1,006 \approx 1 \quad C'_1 = \frac{100 \omega^2 E}{24} = 52,0$$

$$\alpha E = 0,146 \quad J'_1 = \frac{C'_1}{ut^2} = 1,642 \quad J'_2 = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J'_3 = \frac{C'_1 m'^2}{u}$$

$$t'_1 = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right) \quad f_{max} = 16,33m \quad h = 20,5m$$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S (16%)	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz.	kgg
$a_m$	364,8 m				
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	13,31				
$m'$	1,287	1,0	1,044	3,715	
$m'^2$	1,656	1,0	1,090	13,80	
$J'_3$	86,112	52,0	56,680	717,601	
A	$a_m^2 J'_1 \cdot 10^{-4}$	21,85	21,85	21,85	21,85
	$J'_2$	-2,92	-2,92	-8,03	-8,03
	$-t$	-5,626	-5,626	-5,626	-5,626
	A	13,304	13,304	8,194	8,194
B	$a_m^2 J'_3 \cdot 10^{-9}$	1146,2	692,1	754,4	9551,3
	$t'$	7,435	5,989	7,036	18,808
	$t'_1$	7,54	6,08	7,15	18,93
	Tens unit. max	12,713	6,102	12,713	21,794

LIGNE : Tiaret - Saïda - (220 kv)

Canton N° 3

Câble 411 mm<sup>2</sup> Alu-air

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2' - t}_A \right) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1450     $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 5,626$      $t^2 = 31,652$      $\theta' - \theta = -20,55$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = \frac{17,21 \cdot 10^4}{\dots} \quad u = \frac{\sum a (1 + \frac{h^2}{2a^2})}{\sum a} = 1,0016 \approx 1 \quad C_1' = \frac{100 \omega^2 E}{24} = 52,0$$

$$\alpha E = 0,146 \quad J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,642 \quad J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$$

$$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right) \quad \begin{matrix} f_{max} = 23,24m. \\ h = 46m. \end{matrix}$$

HYPOTHESE		+30° vent 48 cpz.	+30° E D S (16%)	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz. kgg
$a_m$		414,8m.			
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$		17,21.			
$m'$		1,287	1,0	1,044	5,715
$m'^2$		1,656	1,0	1,090	13,80
$J_3'$		86,112	52,0	56,680	717,601
A	$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	28,264	28,264	28,264	28,264
	$J_2'$	-2,92	-2,92	-8,03	-8,03
	$-t$	-5,626	-5,626	-5,626	-5,626
	A	19,718	19,718	14,608	14,608
B	$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	1482	895	975,5	12.350
$t'$		7,394	5,910	6,756	19,132
$t_1'$		7,58	6,08	6,94	19,33
Tens. unit. max.		12,713	6,102	12,713	21,794



LIGNE : Tiaret - Saïda - (220KV)

Canton N° 4

Câble 411 mm<sup>2</sup> Alu-Acier.

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2'}_A - t \right) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1450     $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 5,626$      $t^2 = 31,652$      $\theta' - \theta = -20,55$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = 18,97 \cdot 10^{-4} \quad u = \frac{\sum a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)}{\sum a} = 1,0003 \approx 1 \quad C_1' = \frac{100^2 \omega^2 E}{24} = 52,0$$

$$\alpha E = 0,146 \quad J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,642 \quad J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$$

$$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right) \quad \begin{matrix} f_{max} = 22,8m \\ h = 28,5m \end{matrix}$$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S (16%)	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz. - kgg
$a_m$	435,5 m.			
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	18,97			
$m'$	1,287	1,0	1,044	3,715
$m'^2$	1,656	1,0	1,090	13,80
$J_3'$	86,112	52,0	56,680	717,601
A	$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	31,144	31,144	31,144
	$J_2'$	-2,92	-2,92	-8,03
	$-t$	-5,626	-5,626	-5,626
	A	22,598	22,598	17,488
B	$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	1633,2	986,2	1075
	$t'$	7,381	5,884	6,671
	$t_1'$	7,53	6,03	6,82
Tens. unit. max.	12,713	6,102	12,713	21,794

LIGNE : Tiaret - Saïda - (220 kV)

Canton N° 5.

Câble 417 mm<sup>2</sup> Alu. Acier

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2' - t}_A \right) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1450     $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 5,626$      $t^2 = 31,652$      $\theta' - \theta = -20; -55^\circ$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = 25,84 \cdot 10^4 \quad u = \frac{\sum a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)}{\sum a} = 1,002 \quad C_1' = \frac{100^2 \omega^2 E}{24} = 52,0$$

$$\alpha E = 0,146 \quad J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,639 \quad J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$$

$$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right) \quad \begin{matrix} f_{max} = 29 \text{ m.} \\ h = 75,25 \text{ m.} \end{matrix}$$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S (16%)	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz. kgg	
$a_m$	508,3 m.				
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	25,84				
$m'$	1,287	1,0	1,044	3,715.	
$m'^2$	1,656	1,0	1,09	13,80.	
$J_3'$	85,940	51,896	56,567	716,167.	
A	$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	42,345	42,345	42,345.	
	$J_2'$	-2,914	-2,914	-8,014.	
	-t	-5,626	-5,626	-5,626.	
	A	33,809	33,809	28,705	28,705.
B	$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	2220,34	1340,785	1461,465	18502,9.
	$t'$	7,345	5,817	6,448	19,576.
	$t_1'$	7,74	6,16	6,82	20,25
Tens. unit. max.	12,713.	6,102	12,713	21,794.	

LIGNE : Tiaret - Saïda. - (220 kV)

Canton N° 6

Câble : 411 mm<sup>2</sup> Alu-acier

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 (t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2' - t}_A) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1450     $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 5,626$      $t^2 = 31,652$      $\theta' - \theta = -20, -55$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = 19,55 \cdot 10^4 \quad u = \frac{\sum a (1 + \frac{h^2}{2a^2})}{\sum a} = 1,0005 \approx 1 \quad C_1' = \frac{100^2 \omega^2 E}{24} = 52,0$$

$$\alpha E = 0,146 \quad J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,642 \quad J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$$

$$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega (f_{max} + \frac{h}{2}) \quad \begin{matrix} f_{max} = 16 \text{ m.} \\ h = 34 \text{ m.} \end{matrix}$$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S (16%)	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz. kgg.
$a_m$	442,2 m.			
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	19,55.			
$m'$	1,287	1,0	1,044	3,715
$m'^2$	1,656	1,0	1,09	13,80
$J_3'$	86,07	52,0	56,68	717,60.
A	$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	32,106	32,106	32,106
	$J_2'$	-2,92	-2,92	-8,03
	-t	-5,626	-5,626	-5,626
	A	23,556	23,556	18,446
B	$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	1678,95	1014,25	1105,30
	$t'$	7,368	5,871	6,638
	$t_1'$	7,70	6,04	6,79
Tens. unit. max.	12,713	6,102	12,713	21,794.

CABLES DE TERRE.

Nous avons dit précédemment que la ligne sera équipée de 2 câbles de garde de 116,2 mm<sup>2</sup> de section, sur une longueur approximative de 2 km aux 2 extrémités de la ligne. Nous allons donc procéder à la vérification du câble de garde sur les deux premiers cantons; le calcul se fait toujours à partir de l'équation de changement d'état pour grandes portées, (exactement la même équation que pour les câbles de phase) et pour les 4 hypothèses indiquées sur la feuille de calcul.

CARACTERISTIQUES DU CABLE DE GARDE.

- Section : - - - - - 116,2 mm<sup>2</sup>.
- composition: - - - - - Alu. : 18 x 2 mm.  
Acier: 19 x 2 mm.
- section Alu.: - - - - - 56,5 mm<sup>2</sup>
- section Acier: - - - - - 59,7 mm<sup>2</sup>.
- diamètre extérieur: - - - - - 14 mm.
- Poids linéaire: - - - - - 0,634 kg/m.
- Poids spécifique: - - - - - 5,45 . 10<sup>-3</sup> kg/m.mm<sup>2</sup>.
- Charge de rupture minimale: - - - - - 7300 kgf.
- Module d'élasticité (Young): - - - - - 12.200 kg/mm<sup>2</sup>
- coefficient d'élasticité: - - - - - 14 . 10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>.
- Résistance électrique à 20°C: - - - - - 0,512 Ω/km.

- Calcul des tensions unitaires maximales:

- hyp. d'été et d'hiver: coefficient de sécurité = 3:

$$t_{max} = \frac{7300}{3 \cdot 116,2} = 20,94 \text{ kg/mm}^2.$$

- E. D. S. (16%): coefficient de sécurité = 3:

$$t_{max} = \frac{7300 \cdot 0,16}{116,2} = 10,05 \text{ kg/mm}^2.$$

- typ. excep. de glace: coefficient de sécurité: 1,75.

$$t_{\max} = \frac{7300}{1,75 \cdot 116,2} = 35,89 \text{ kg/mm}^2.$$

- Surcharge due au vent:

$$-18 \text{ Cpz}: 18 \times 1,02 \times 14 \times 10^{-3} = 0,257 \text{ kg/m.}$$

$$-48 \text{ Cpz}: 48 \times 1,02 \times 14 \times 10^{-3} = 0,685 \text{ "}$$

$$-72 \text{ Cpz}: 72 \times 1,02 \times 14 \times 10^{-3} = 1,028 \text{ "}$$

- Calcul des coefficients de surcharge:

$$+30^\circ - 48 \text{ Cpz}: \rightarrow m'_1 = \frac{\sqrt{(0,634)^2 + 0,685^2}}{0,634} = 1,472.$$

$$+30^\circ - \text{ss vent}: \rightarrow m'_2 = 1.$$

$$-5^\circ - 18 \text{ Cpz}: \rightarrow m'_3 = \frac{\sqrt{0,634^2 + 0,257^2}}{0,634} = 1,079.$$

$$-5^\circ - 72 \text{ Cpz} - 1,2 \text{ kg/m g.}: \rightarrow m'_4 = \frac{\sqrt{(0,634 + 1,2)^2 + 1,028^2}}{0,634} = 3,316.$$

En tenant compte du fait que la flèche d'un câble est d'autant plus grande que la section est plus petite pour une même surcharge; pour éviter un amorçage accidentel entre C.d.T. et une phase; on pose toujours le C.d.T. tendu à un paramètre supérieure de manière que la flèche soit réduite de 10% par rapport à celle du conducteur de câble (cf. extraits du C.C. p. 13)

$$\text{donc: } f_{c.g.} = 0,90 f_{c.ph.}$$

$$\text{de là: } \frac{a^2}{8 \rho_{c.g.}} = 0,90 \cdot \frac{a^2}{8 \rho_{c.ph.}} \Rightarrow \rho_{c.g.} = \frac{\rho_{c.ph.}}{0,90}$$

$$\text{C'est-à-dire: } \rho_{c.g.} = \frac{1450}{0,90} \approx \underline{\underline{1610 \text{ m.}}}$$

- Les résultats sont rassemblés sur les deux feuilles suivantes.  
(voir. p. 69 et 70).

LIGNE (220KV) - Tiaret-Saïda.

Canton n° 1

Câble de terre: 116,2mm<sup>2</sup>

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2' - t}_A \right) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1610m  $\omega = 5,46 \cdot 10^{-3}$   $t = \omega \rho = 8,79$   $t^2 = 77,27$   $\theta' - \theta = -20; -55$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = \frac{12,94 \cdot 10^{+4}}{\sum a} \quad u = \frac{\sum a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)}{\sum a} \approx 1 \quad C_1' = \frac{100 \omega^2 E}{24} = 151,5$$

$$\alpha E = 0,1 E_1 \quad J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,96 \quad J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$$

$$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right) \quad f_{max} = 10,1m - \omega \psi = 0,999$$

$$h_{max} = 16m.$$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72 cpz.	kgg
$a_m$	359,7m.				
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	12,94				
$m'$	1,472	1,0	1,079	3,316	
$m'^2$	2,17	1,0	1,16	11	
$J_3'$	328,75	151,5	175,74	1666,5	
A	$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	25,36	25,36	25,36	25,36.
	$J_2'$	-3,42	-3,42	-9,41	-9,41
	$-t$	-8,79	-8,79	-8,79	-8,79.
	A	13,15	13,15	7,16	7,16
B	$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	4254,03	1960,41	2274,08	21564,51
	$t'$	12,80	9,34	11,11	25,64
	$t_1'$	12,92	9,42	11,19	25,89
Tens. unit. max.	20,94	10,05	20,94	35,89	

LIGNE (220kv) - Tiaret - Saïda

Canton n° 2

Câble de terre: 116,2mm<sup>2</sup>

Equation de changement d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a_m^2 J_1' + J_2' - t}_A \right) = \underbrace{a_m^2 J_3'}_B$$

paramètre  $\rho$ : 1610     $\omega = 5,46 \cdot 10^{-3}$      $t = \omega \rho = 8,79$      $t^2 = 77,27$      $\theta' - \theta = -20,55$

$$a_m^2 = \frac{\sum a^3 \cos \psi}{\sum a} = 13,31 \cdot 10^{-4} \quad u = \frac{\sum a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right)}{\sum a} \approx 1 \quad C_1' = \frac{100^2 \omega^2 E}{24} = 151,5$$

$$\alpha E = 0,171 \quad J_1' = \frac{C_1'}{ut^2} = 1,96 \quad J_2' = \frac{\alpha E (\theta' - \theta)}{u} \quad J_3' = \frac{C_1' m'^2}{u}$$

$$t_1' = \frac{t'}{\cos \psi} + \omega \left( f_{max} + \frac{h}{2} \right) \quad f_{max} = 10,34m - \cos \psi = 0,999$$

$$h_{max} = 20,5m.$$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz.	+30° E D S	-5° vent 18 cpz.	-5° vent 72cpz. kgg
$a_m$	364,8m			
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	13,31			
$m'$	1,472	1,0	1,079	3,316
$m'^2$	2,17	1,0	1,16	11
$J_3'$	328,75	151,5	175,74	1666,5
$a_m^2 J_1' \cdot 10^{-4}$	26,09	26,09	26,09	26,09
$J_2'$	-3,42	-3,42	-9,41	-9,41
$-t$	-8,79	-8,79	-8,79	-8,79
A	13,88	13,88	7,89	7,89
$a_m^2 J_3' \cdot 10^{-4}$	4375,66	2016,46	2339,10	22.181,12
$t'$	12,81	9,32	11,12	25,70
$t_1'$	12,94	9,41	11,22	25,99
Tens. unit. max.	20,94	10,05	20,94	35,89

## Vérification des tensions dans le câble aux points d'appui.

Nous procédons à la vérification des tensions dans le câble de phase aux points de suspension, pour cela nous prenons dans chaque canton, les portées qui présentent la plus grande dénivellation et la plus grande longueur. Une fois ces portées déterminées, nous faisons le calcul à l'aide de la relation :

- tension au point d'appui A (le plus haut) :

$$t'_A = \frac{t'}{\cos \psi} + m' w_0 \left( f + \frac{h}{2} \right)$$

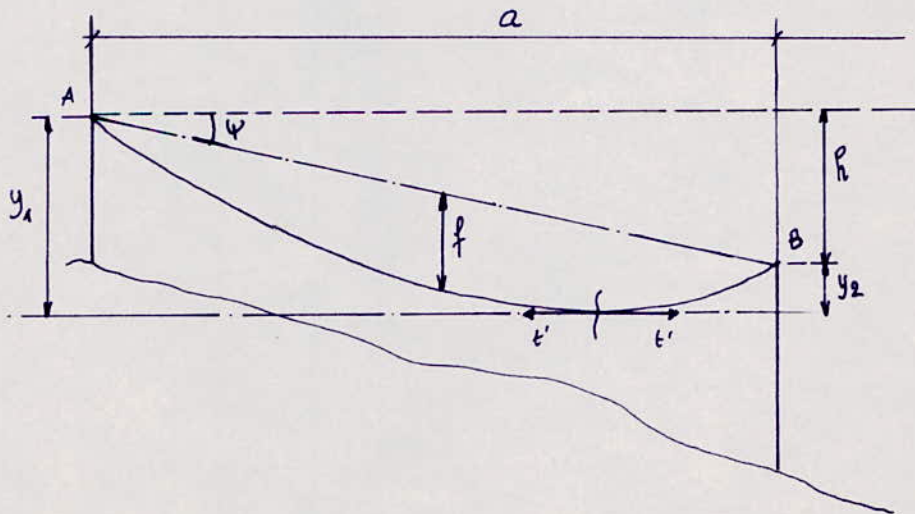
- tension au point d'appui B (le plus bas) :

$$t'_B = \frac{t'}{\cos \psi} + m' w_0 \left( f - \frac{h}{2} \right)$$

où :  $t'$  est la tension horizontale dans le câble.

$w_0$  : le poids unitaire spécifique du câble ( $3,88 \cdot 10^3 \dots$ )

$m'$  : coefficient de surcharge relatif à l'hyg. envisagée.



$$\psi = \arctg \frac{h}{a}$$

$h$  : dénivellation des 2 points d'appui

$a$  : portée horizontale.

(Les résultats sont rassemblés dans les 4 feuilles suivantes).



LIGNE : ...Tiaret-Saida (220KV)

Hypothèse : E.D.O.S (16%) - m=1

-F2-

VERIFICATION DES TENSIONS DANS LE CONDUCTEUR

AUX POINTS D'APPUI :

CANTON	N° du pylône	Portée a (m)	Dénivell. h (m)	COSψ	Param. $\rho = \frac{t'}{m \cdot u}$ (m)	Tension unitaire horizont t (kg/mm <sup>2</sup> )	Poids unitaire spécifique w (kg/mm <sup>2</sup> )	$\frac{t'}{\cos \psi}$	$\frac{a^2}{8 \rho \cos \psi}$	$\frac{a^2}{8 \rho \cos \psi} \pm \frac{h}{2}$		$\frac{t'}{\cos \psi} + w \left( \frac{a^2}{8 \rho \cos \psi} \pm \frac{h}{2} \right)$													
										+ h/2	- h/2	+ h/2	- h/2												
1	3	399	16,0	0,999	1546	5,999	3,88.10 <sup>-3</sup>	6,00	12,8	20,8	4,8	6,08	6,02												
	4																								
2	8	360	20,5	0,998	1544	5,989	3,88.10 <sup>-3</sup>	6,00	10,5	20,75	0,25	6,08	6,00												
	9																								
3	22	433	40	0,996	1523	5,910	3,88.10 <sup>-3</sup>	5,93	15,4	35,4	-4,6	6,07	5,91												
	23																								
	24													375	46	0,993	1523	5,910	"	5,95	11,6	34,6	-11,4	6,08	5,91
4	31	329	28,5	0,996	1516,5	5,884	"	5,91	8,9	23,15	-5,35	5,99	5,89												
	32																								
	50																								
	51													438	18,0	0,999	1516	5,884	"	5,89	15,8	24,8	6,8	5,97	5,92
5	54	353	74,2	0,978	1499	5,817	"	5,95	10,6	47,7	-26,5	6,135	5,85												
	55																								
	58													450	75,25	0,986	1499	5,817	"	5,89	17,1	54,7	-20,5	6,10	5,81
	59													763	37,5	0,998	1499	5,817	"	5,83	48,6	67,25	29,85	6,09	5,95
	60																								
6	87	487	34	0,997	1513	5,871	"	5,89	19,6	36,6	2,6	6,03	5,90												
	88																								

tension unitaire maximale:  $t_{max} = 6,42 \text{ kg/mm}^2$

LIGNE: Tiaret-Saida (220KV)

Hyp.: -5°C - f2 Cp2 - 4 kg/m.g. - m = 3,715

VERIFICATION DES TENSIONS DANS LE CONDUCTEUR

AUX POINTS D'APPUI :

CANTON	N° du pylône	Portée a (m.)	Dénivell. h (m)	Cosψ	Param. $\rho = \frac{t'}{m \cdot g}$ (m)	Tension unitaire horizont. t'(kg/mm <sup>2</sup> )	Poids unitaire spécifique w <sub>0</sub> (kg/m.mm <sup>2</sup> )	$\frac{t'}{\cos\psi}$	$\frac{a^2}{8\rho \cos\psi}$	$\frac{a^2}{8\rho \cos\psi} \pm \frac{h}{2}$		$\frac{t'}{\cos\psi} + w \left( \frac{a^2}{8\rho \cos\psi} \pm \frac{h}{2} \right)$	
										+h/2	-h/2	+h/2	-h/2
1	3												
	4	399	16,0	0,999	1302	18,768	3,88.10 <sup>-3</sup>	18,78	15,3	23,3	7,3	19,72	18,88
2	8												
	9	360	20,5	0,998	1305	18,808	"	18,84	12,4	22,6	2,15	19,16	18,87
3	22												
	23	433	40	0,996	1327	19,139	"	19,21	17,7	37,7	-2,3	19,74	19,18
	24	375	46	0,993	1327	19,139	"	19,27	13,3	36,3	-9,7	19,78	19,13
4	31												
	32	329	28,5	0,996	1335	19,248	"	19,33	10,2	24,5	-4,1	19,67	19,27
	50												
	51	438	18,0	0,999	1335	19,248	"	19,26	17,9	26,9	8,9	19,64	19,38
5	54												
	55	353	74,2	0,978	1358	19,576	"	20,02	11,7	48,8	-25,4	20,7	19,66
	58												
	59	450	75,25	0,986	1358	19,576	"	19,85	18,9	56,5	-18,7	20,64	19,59
	60	763	37,5	0,998	1358	19,576	"	19,61	53,7	72,5	34,9	20,63	20,09
6	87												
	88	487	34	0,997	1336	19,264	"	19,32	22,2	39,2	5,2	19,87	19,39

- tension unitaire maximale :  $t_{max} = 22,94 \text{ kg/mm}^2$

LIGNE: Tiaret-Saida (220kV)

Hyp. :  $-5^{\circ} - 18 \text{ Cp2} - m = 1,044$ .

VERIFICATION DES TENSIONS DANS LE CONDUCTEUR

AUX POINTS D'APPUI:

CANTON	N° du pylône	Portée a (m.)	Dénivell h (m.)	COSψ	Daram. $p = \frac{t'}{m \cdot u_2}$ (m)	Tension unitaire horizont. $t'(\text{kg/mm}^2)$	Poids unitaire spécifique $w_2$ (kg/m. mm <sup>2</sup> )	$\frac{t'}{\cos\psi}$	$\frac{a^2}{8\rho \cos\psi}$	$\frac{a^2}{8\rho \cos\psi} \pm \frac{h}{2}$		$\frac{t'}{\cos\psi} + w_2 \left( \frac{a^2}{8\rho \cos\psi} \pm \frac{h}{2} \right)$	
										+h/2	-h/2	+h/2	-h/2
1	3												
	4	399	16,0	0,999	1908	7,073	3,88.10 <sup>3</sup>	7,08	10,4	18,4	2,4	7,15	7,08
2	8												
	9	360	20,5	0,998	1737	7,026	"	7,05	9,3	19,5	-9,5	7,13	7,04
3	22												
	23	433	40	0,996	1668	6,756	"	6,78	14,1	34,1	5,9	6,92	6,75
	24	375	46	0,993	1668	6,756	"	6,804	10,6	33,6	-12,4	6,94	6,75
4	31												
	32	329	28,5	0,996	1646	6,671	"	6,69	8,3	22,5	-5,9	6,78	6,67
	50												
	51	438	18,0	0,999	1646	6,671	"	6,677	14,6	23,6	5,6	6,77	6,69
5	54												
	55	353	74,2	0,978	1592	6,448	"	6,590	10,0	47,1	-27,1	6,78	6,48
	58												
	59	450	75,25	0,986	1592	6,448	"	6,54	16,1	53,7	-21,5	6,75	6,45
	60	763	37,5	0,998	1592	6,448	"	6,46	45,8	64,5	27,1	6,72	6,57
6	87												
	88	487	34	0,997	1638	6,638	"	6,66	18,2	35,2	1,2	6,80	6,66

- tension unitaire maximale :  $t_{\max} = 13,38 \text{ kg/mm}^2$

VERIFICATION DES TENSIONS DANS LE CONDUCTEUR  
AUX POINTS D'APPUI

CANTON	N° de pylône	Portée a (m)	Dénivell. h (m)	cos $\psi$	Param. $p = \frac{t'}{m \omega_0}$ (m)	Tension unitaire horizont. $t' (kg/mm^2)$	Poids unitaire spécifique $\omega_0$ (kg/m.mm <sup>2</sup> )	$\frac{t'}{\cos \psi}$	$\frac{a^2}{8\rho \cos \psi}$	$\frac{a^2}{8\rho \cos \psi} \pm \frac{h}{2}$		$\frac{t'}{\cos \psi} + \omega_0 \left( \frac{a^2}{8\rho \cos \psi} \pm \frac{h}{2} \right)$	
										+ h/2	- h/2	+ h/2	- h/2
1	3	399	16,0	0,999	1489	7,438	3,88.10 <sup>-3</sup>	7,44	13,4	21,4	5,4	7,547	7,467
	4												
2	8	360	20,5	0,998	1489	7,435	3,88.10 <sup>-3</sup>	7,45	10,90	21,0	0,65	7,555	7,450
	9												
3	22	433	40	0,996	1480	7,394	3,88.10 <sup>-3</sup>	7,42	15,80	35,8	-4,2	7,599	7,399
	23												
	24												
4	31	329	28,5	0,996	1478	7,381	3,88.10 <sup>-3</sup>	7,41	9,20	23,45	-5,05	7,527	7,385
	32												
	50												
	51												
5	54	353	74,2	0,978	1471	7,345	3,88.10 <sup>-3</sup>	7,51	10,8	47,9	-26,3	7,749	7,378
	55												
	58												
	59												
	60												
6	87	487	34	0,997	1475	7,368	3,88.10 <sup>-3</sup>	7,39	20,2	37,2	3,2	7,575	7,406
	88												

- tension unitaire maximale :  $t_{max} = 13,38 \text{ kg/mm}^2$

## Calcul des traversées.

Le calcul des traversées consiste à vérifier les distances horizontale et verticale entre le pylône le plus proche et l'ouvrage traversé d'une part, le point bas du conducteur et l'ouvrage traversé d'autre part. Les ouvrages dont on doit tenir compte sont :

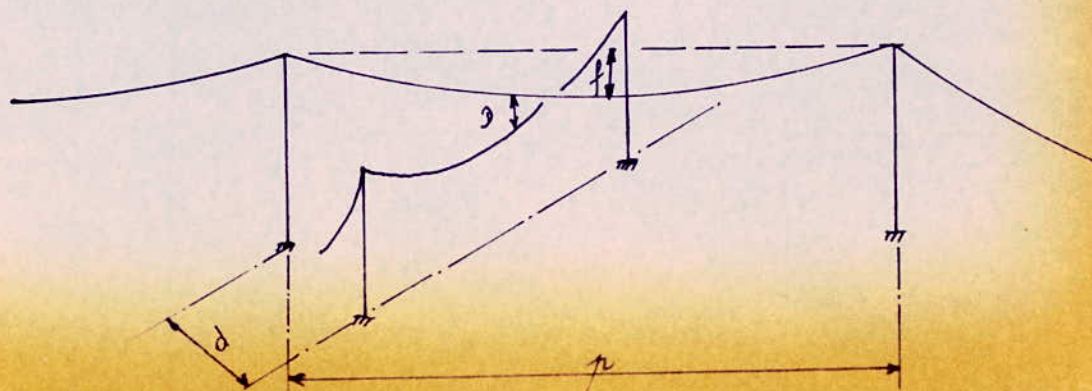
- les chemins de fer. (S.N.C.F.A ou SNCF)
- les routes nationales (R.N.)
- les chemins de wilaya (C.W.)
- les lignes de transport d'énergie.
- les lignes P.T.T.

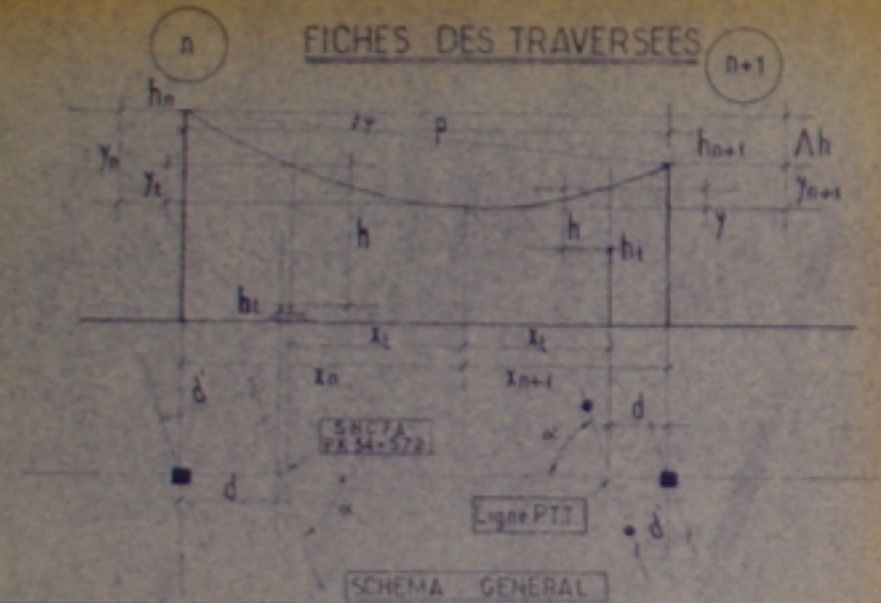
Pour les ouvrages électriques (P.T.T., 30KV, ...) on dispose du tableau suivant donnant la distance  $t_3$  qui intervient dans la relation suivante :

$$D = b + t_3 \quad \text{où : } b = 1 + \frac{d}{r} (\sqrt{f} - 1)$$

( $f$  étant la flèche à 50°C)

$U_1 \backslash U_2$	63	90	150	225	400	750	P.T.T.
63	0,6	-	-	-	-	-	0,5
90	0,9	0,9	-	-	-	-	0,7
150	1,3	1,4	1,4	-	-	-	1,1
225	1,9	2,0	2,1	2,1	-	-	1,7
400	3,2	3,3	3,5	3,7	3,8	-	3,0
750	5,7	5,7	5,9	6,7	6,7	6,8	5,5





FICHES DES TRAVERSEES

CONDITIONS

LA METHODE DE CALCUL

POUR LIGNES  $h \geq D$   $D = 1 + \frac{2d}{p} (0,5\sqrt{V} - 1) + 1,5$

POUR SNCF  $h \geq 10m$ ; R.R. et C.W.  $\geq 9m$   
 $d \geq H$

H - HAUTEUR DU PYLONE LE PLUS PROCHE

$d' = d \cdot \sin \alpha$

$h_n, h_{n+1}$  - représentent la cote du terrain plus la hauteur sous la chaîne des isolateurs

$x_1, x_{n+1} = \frac{p}{2} \pm \frac{S \Delta h \cos \gamma}{2g}$

$y_n, y_{n+1} = \frac{x_{n+1}^2}{2g \cos \gamma}$

$x_2 = x_{n+1} - d$

$\gamma = \frac{x_2}{2g \cos \gamma}$

$h = h_{n+1} - h_n - (y_{n+1} - y_n)$

p - portée (m)

g - paramètre (m)

$\Delta h = h_n - h_{n+1}$  - dénivellation (m)

$\gamma$  - angle de dénivellation

LA TRAVERSEE N°	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	7c
OUVRAGE TRAVERSE	R.N.C. (6 100 + 300 m)	M.T. 30 KV	P.T.T. 2 fils	C.W. 23	P.T.T. 4 fils	C.W. 48	C.W. 48	P.T.T. 4 fils	C.W. 48	P.T.T. 4 fils	P.T.T. 4 fils	P.T.T. 4 fils	C.W. 48	P.T.T. 4 fils	M.T. 30 KV
ENTRE PYLONE N° TYPE, CHAINES	9 A <sub>30</sub> 3Sd	9 A <sub>30</sub> 3Sd	29 A <sub>30</sub> 3Sd	29 A <sub>30</sub> 3Sd	44 A <sub>30</sub> 3Sd	44 A <sub>30</sub> 3Sd	56 A <sub>30</sub> 3Sd	56 A <sub>30</sub> 3Sd	68 A <sub>30</sub> 3Sd	68 A <sub>30</sub> 3Sd	79 A <sub>30</sub> 3Sd	79 A <sub>30</sub> 3Sd	81 A <sub>30</sub> 3Sd	81 A <sub>30</sub> 3Sd	81 A <sub>30</sub> 3Sd
ET PYLONE N° TYPE, CHAINES	10 C <sub>0</sub> 6Ad	10 C <sub>0</sub> 6Ad	30 A <sub>30</sub> 3Sd	30 A <sub>30</sub> 3Sd	45 A <sub>30</sub> 3Sd	45 A <sub>30</sub> 3Sd	56 A <sub>30</sub> 3Sd	56 A <sub>30</sub> 3Sd	69 A <sub>30</sub> 3Sd	69 A <sub>30</sub> 3Sd	80 A <sub>30</sub> 3Sd	80 A <sub>30</sub> 3Sd	82 A <sub>30</sub> 3Sd	82 A <sub>30</sub> 3Sd	82 A <sub>30</sub> 3Sd
PORTEE p(m)	32,5	32,5	364	364	387	387	490	490	434	434	513	513	511	511	511
FLECHE f, 50°	9,42	9,42	11,43	11,43	12,92	12,92	20,72	20,72	16,25	16,25	22,71	22,71	23,15	23,15	23,15
LA COTE DU POINT D'APPUI DU PYLONE A GAUCHE h <sub>n</sub> (m)	735,85	733,83	1006,5	1006,5	1026,0	1026,0	992,39	992,39	1034,3	1034,3	1046,59	1046,59	1075,20	1075,20	1075,20
" " " " A DROITE h <sub>n+1</sub> (m)	748,63	748,69	1017,2	1017,2	1026,25	1026,23	983,5	983,5	1042,3	1042,3	1061,10	1061,10	1065,7	1065,7	1065,7
LA COTE DE L'OUVRAGE TRAVERSE h <sub>t</sub> (m)	717,50	719,05	994,5	994,9	1005,45	1002,77	960,69	965,73	1012,90	1015,23	1029,45	1029,72	1043,78	1045,90	1045,90
LA DISTANCE ENTRE PHASE ET L'OUVRAGE TRAVERSE	14,58	5,13	5,42	10,95	16,51	16,51	20,43	14,61	10,11	4,4	4,74	4,4	9,79	5,14	5,83
LA DISTANCE MINIMALE d(m)	9,0	3,69	3,48	9,0	2,94	9,0	9,0	3,46	9,0	4,10	4,12	4,1	9,0	4,01	3,75
LA DISTANCE HORIZONTALE ENTRE L'OUVRAGE TRAVERSE ET LE PYLONE LE PLUS PROCHE d <sub>1}, d<sub>2}(m)</sub></sub>	149,0   147,6	127,9   117,3	12,0   70,7	12,6   74,2	3,6   16,9	36,5   40,7	95,5   87,6	105   96,3	114,5   133,4	200,9   450,9	184   183,3	189,5   176,1	171,5   171,0	171   173,5	116   55,4
HAUTEUR DU PYLONE LE PLUS PROCHE H(m)	29,3	27,1	25,5	25,3	29,5	29,3	33,3	33,3	29,3	29,3	29,5	29,1	29,3	29,3	29,3
ANGLE DECROISEMENT α(°)	74° 10'	74° 10'	40° 02'	40° 02'	31° 25'	31° 25'	73° 42'	73° 42'	59° 10'	54° 40'	84° 50'	84° 50'	95° 52'	95° 52'	31° 40'

Après le calcul de traversées ou exactement la vérification des distances horizontale et verticale entre les pylônes et l'ouvrage traversé d'une part,

le point bas du conducteur et le point haut de l'ouvrage traversé d'autre part; nous procédons dans ce qui suit à la vérification de tous les pylônes des 3 tronçons étudiés, c'est-à-dire le calcul, non pas des charges supportées par chaque pylône mais les portées fictives correspondantes, à savoir :

\* portée au vent (ou portée moyenne): qui s'exprime par la relation

$$a_m = \frac{a_1 + a_2}{2} \text{ et représente en réalité une charge horizontale transversale}$$

dûe au vent sur les câbles; il suffit pour s'en apercevoir de la multiplier par la surcharge linéaire due au vent, par exemple pour un vent de 48 cps, on aura:

$$\gamma_v = 48 \cdot 1,02 \cdot 26,4 \cdot 10^{-3} = 1,292 \text{ kg/m.}$$

$$\text{d'où: } \ell_p = \gamma_v \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (\text{kg}).$$

\* Portée fictive verticale:

Ces portées représentent la charge verticale transmise par les éléments accrochés au support (câbles, chaînes de suspension, contre poids éventuels), en ce qui concerne des pylônes d'alignement (A) et les pylônes d'angles simples (B), on a:

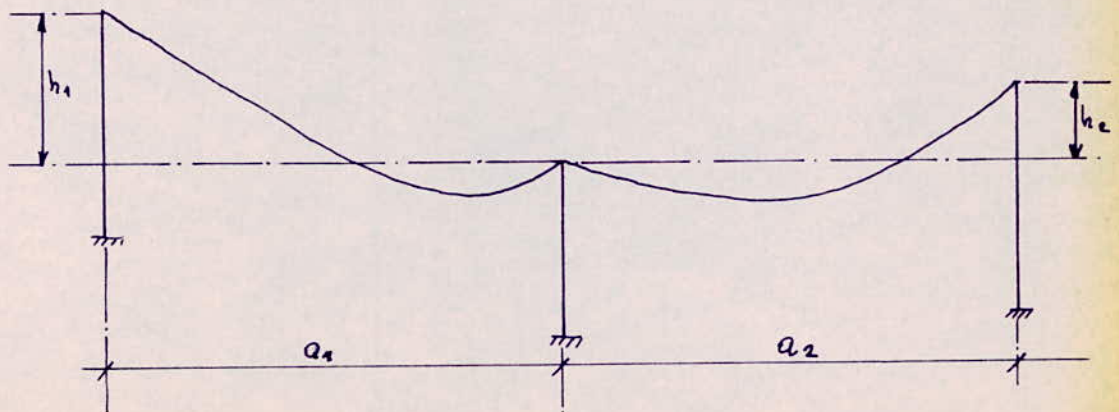


fig. 1.

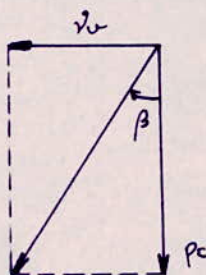
$$a_{hv} = \left\{ a_m - \frac{S_c \cdot t_1}{m \cdot p_c} \left( \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right) \right\} \cdot \cos \beta.$$

dans laquelle:

- $h_1$ : dénivellation entre le pylône considéré et celui se trouvant à gauche;
- $h_2$ : dénivellation entre le même pylône et celui se trouvant à droite;
- $S_c$ : section du câble ( $411 \text{ mm}^2$ ).
- $m$ : coefficient de surcharge dans l'hyp. considérée à l'air (hyp. d'été:  $m' = 1,287$ ; hyp. de glace:  $m'' = 3,715$ )
- $p_c$ : poids linéaire du câble soit  $1,593 \text{ kg/m}$ .
- $a_1, a_2$ : portées réelles à gauche et à droite respectivement.

Calcul de  $\cos \beta$ : 1) hypothèse d'été:  $+30^\circ\text{C}$  - vent:  $48 \text{ Cpz}$ .

Le plan formé par la courbe d'équilibre du conducteur prendra donc une inclinaison par rapport à la verticale, en supposant que cette nouvelle courbe d'équilibre se trouve dans un plan; il vient:



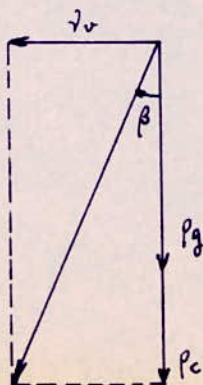
D'après la figure ci-contre:

$$\cos \beta = \frac{p_c}{\sqrt{p_c^2 + r_u^2}} = \frac{1}{m'}$$

où  $m' = \frac{\sqrt{p_c^2 + r_u^2}}{p_c}$ : coef. de surcharge (hyp. d'été).

2) hypothèse de glace:  $72 \text{ Cpz}$  -  $4 \text{ kg/m de g.}$  -  $-5^\circ\text{C}$ .

On aura, en procédant de la même manière:



$$\Rightarrow \cos \beta = \frac{p_c + p_g}{\sqrt{(p_c + p_g)^2 + r_u^2}} = \frac{1 + p_g/p_c}{m''}$$

où  $m''$  représente le coefficient de surcharge correspondant à cette hypothèse, c'est-à-dire:

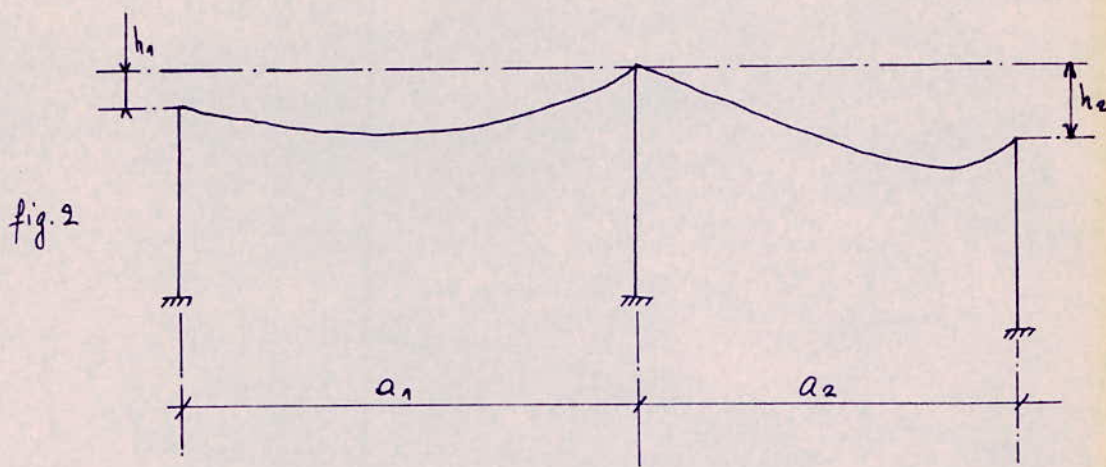
$$m'' = \frac{\sqrt{(p_c + p_g)^2 + r_u^2}}{p_c} = 3,715.$$



On aura pour le même cas de la fig. 1 et pour l'hyp. de givre, l'expression suivante :

$$\alpha_{hv} = \left\{ a_m - \frac{S_c \cdot t'_2}{m'' \cdot p_c} \left( \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right) \right\} \cdot \frac{1 + \rho g / p_c}{m''}$$

- Dans un autre cas de figure telle que celui de la fig. 2 ci-dessous :



On aura pour les mêmes hypothèses :

$$1) \text{ hyp. d'été : } \alpha_{hv} = \frac{1}{m'} \cdot \left\{ a_m + \frac{S_c \cdot t'_1}{m' \cdot p_c} \left( \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right) \right\}$$

$$2) \text{ hyp. de givre : } \alpha_{hv} = \frac{1 + \rho g / p_c}{m''} \cdot \left\{ a_m + \frac{S_c \cdot t'_2}{m'' \cdot p_c} \left( \frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2} \right) \right\}$$

Pour le cas des pylônes d'arrêt et d'angles forts :

- on aura la même expression pour la portée au vent ( $a_m$ ).

- portée fictive verticale :

Étant donné que la tension du câble est différente selon qu'on se trouve à droite ou à gauche de ce type de pylône, on fera donc le calcul séparément pour chaque côté, soit :

$$\alpha_{hv} = \left\{ \left( \frac{a_1}{2} \pm \frac{S_c \cdot t_g}{m' \cdot p_c} \cdot \frac{h_1}{a_1} \right) + \left( \frac{a_2}{2} \pm \frac{S_c \cdot t_d}{m' \cdot p_c} \cdot \frac{h_2}{a_2} \right) \right\} \cdot \frac{1}{m'}$$

$$\text{et} \quad \alpha_{hv} = \left\{ \left( \frac{a_1}{2} \pm \frac{S_c \cdot t_g}{m'' \cdot p_c} \cdot \frac{h_1}{a_1} \right) + \left( \frac{a_2}{2} \pm \frac{S_c \cdot t_d}{m'' \cdot p_c} \cdot \frac{h_2}{a_2} \right) \right\} \cdot \frac{1 + \rho g / p_c}{m''}$$

pour les hypothèses d'été et de givre respectivement.

(Les résultats sont rassemblés sur les feuilles suivantes)

Ligne: Tiaret - Saïda

Vérification des pylônes.

Pylône		Dénivell.		Portées		Portée au vent		Portée fictive verticale			observations.
N°	type	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>m</sub>	de calc.	été	exc. hiv.	de calc.	
2	AR <sub>4</sub>	-3	+11	314	322	318	540	275,6	330,8	600	
3	A <sub>0</sub>	-11	+16	322	399	360,5	"	286,9	347,9	"	
4	A <sub>0</sub>	-16	+7,25	399	381,8	390,4	"	278,8	342,9	"	
6	AS <sub>4</sub>	+11	-6,5	435	345	390	"	310,5	376,5	"	
7	AR <sub>4</sub>	+6,5	0	345	324	332,5	"	280,2	337,5	"	
8	AR <sub>4</sub>	0	-20,5	324	360	342	"	199,8	253	"	
9	AS <sub>4</sub>	+20,5	-14,5	360	325	342,5	"	280,4	338,8	"	
11	AS <sub>4</sub>	+18,5	-23,5	475	417	446	"	326,5	421,3	"	
12	AS <sub>12</sub>	+23,5	-17	417	407	412	"	337	407,6	"	
13	AS <sub>8</sub>	+17	-3,5	407	519	463	"	400,1	481,5	"	
14	AS <sub>8</sub>	+3,5	-13,5	519	439	479	"	344,5	422,5	"	
15	A <sub>0</sub>	+13,5	+35	439	447	443	"	469,7	555,6	"	
16	AS <sub>8</sub>	-35	+1,5	447	463	455	"	267,1	335,7	"	
17	A <sub>0</sub>	-1,5	-27	463	330	396,5	"	210,2	267,9	"	
18	A <sub>0</sub>	+27	-5	330	345	337,5	"	339,7	403,5	"	
19	AR <sub>4</sub>	+5	-5	345	484	414,5	"	326,8	397,0	"	
20	A <sub>0</sub>	+5	-19,5	484	364	424	"	279,7	346,4	"	
21	A <sub>0</sub>	+19,5	-23	364	399	381,5	"	291,7	355,4	"	
22	AS <sub>4</sub>	+23	-40	399	433	416	"	283,2	349,5	"	
23	AR <sub>4</sub>	+40	-46	433	375	404	"	279	363,7	"	
24	AS <sub>4</sub>	+46	-14	375	373	374	"	388,6	460,3	"	
25	AS <sub>4</sub>	+14	-17,5	373	367	370	"	275,8	336,9	"	
26	A <sub>0</sub>	+17,5	-19,5	367	376	371,5	"	283,8	345,8	"	
27	A <sub>0</sub>	+19,5	-3	376	373	374,5	"	341,4	408,9	"	

Ligne: Tiaret - SaïdaVérification des pylônes.

Pylône		Dénivel.		Portées		Portée au vent		Portée fictive verticale			observations
N°	type	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>m</sub>	de calc.	été	excep. hiv.	de calc.	
28	A <sub>0</sub>	+3	-5	373	363	368	540	279,3	349,6	600	
29	A <sub>0</sub>	+5	-10,5	363	364	363,5	"	265,1	324,6	"	
30	A <sub>54</sub>	+10,5	-41	364	415,4	389,7	"	222,4	280,6	"	
32	A <sub>R4</sub>	-28,5	+8,3	329	460	394,5	"	227,6	286	"	
33	A <sub>54</sub>	-8,3	-4	460	459	459,5	"	326,4	400,5	"	
34	A <sub>54</sub>	+4	+2	459	453	456	"	369,4	447,5	"	
35	A <sub>54</sub>	-2	-9,5	453	471	462	"	330,7	405,5	"	
36	A <sub>R8</sub>	+9,5	+6	471	461	466	"	400,2	482,3	"	
37	A <sub>54</sub>	-6	-10,5	461	441	451	"	308,1	401,7	"	
38	A <sub>54</sub>	+10,5	-2,3	441	422	431,5	"	356,5	431,1	"	
39	A <sub>54</sub>	+2,3	-1,3	422	453	437,5	"	342,9	416,7	"	
40	A <sub>54</sub>	+1,3	-4	453	431	442	"	335,9	409,5	"	
41	A <sub>54</sub>	+4	+5	431	424	427,5	"	356,4	430,6	"	
42	A <sub>54</sub>	-5	+2,3	424	435	429,5	"	326,1	420,6	"	
43	A <sub>54</sub>	-2,3	+3	435	432	433,5	"	338,9	412	"	
44	A <sub>54</sub>	-3	-0,5	432	387	409,5	"	308,7	394,1	"	
45	A <sub>54</sub>	+0,5	-1	387	467	427	"	330,8	402,4	"	
46	A <sub>58</sub>	+1	-4,5	467	483	475	"	360,8	439,8	"	
47	A <sub>54</sub>	+4,5	-4,3	483	401	442	"	341,9	416,1	"	
48	A <sub>54</sub>	+4,3	-2,5	401	515	458	"	363	440,7	"	
49	A <sub>54</sub>	+2,5	+9	515	427	471	"	395,8	477,8	"	
50	A <sub>54</sub>	-9	-18	427	438	432,5	"	264,6	330,2	"	
51	A <sub>R4</sub>	+18	-16	438	334	386	"	292,1	356,2	"	
52	A <sub>R4</sub>	+16	+4	334	394	364	"	349,5	417,3	"	

Ligne: Tiaret - Saïda.

Vérification des pylônes

Pylône	Dénivell.		Portées		Portée au vent		Portée fictive verticale			observations	
	N° type	$h_1$	$h_2$	$a_1$	$a_2$	$a_m$	de calc.	été	excep. hiv.		de calc.
53	A <sub>88</sub>	-4	-6,5	394	331,8	363	540	247,8	305,5	600	
55	A <sub>58</sub>	-14,2	+9	353	490	421,5	"	108,2	152	"	Doit être muni de contre-poids (à vérifier)
56	A <sub>54</sub>	-9	+0,5	290	440	465	"	341,6	417	"	
57	A <sub>54</sub>	-0,5	+1	440	447	443,5	"	345,8	420,5	"	
58	A <sub>54</sub>	-1	-15,3	447	450	448,5	"	154,7	206	"	Doit être muni de contre-poids (à vérifier)
59	B <sub>84</sub>	+15,3	-37,5	450	763	606,5	600	606,2	725	800	
60	B <sub>54</sub>	+37,5	-6	763	735	749	600	628,8	760	800	
61	B <sub>54</sub>	+6	-10,5	735	356	545,5	600	467	564	800	On pourrait remplacer le B <sub>54</sub> (61) par un A <sub>54</sub> , mais on se rapprocherait trop de la limite admissible pour la portée fictive verticale et des distances entre phases.
62	A <sub>54</sub>	-10,5	+16,5	356	391	373,5	540	304,7	369	600	
63	A <sub>54</sub>	-16,5	+2	391	465	428	"	289,2	356	"	
64	A <sub>54</sub>	-2	+11,3	465	416	440,5	"	368,3	446	"	
65	A <sub>54</sub>	-11,3	+32	416	486	451	"	394,8	476	"	
66	A <sub>54</sub>	-32	-10,3	486	558	522	"	309,3	385	"	
67	A <sub>84</sub>	+10,3	+4	558	327	442,5	"	379	457	"	
68	A <sub>54</sub>	-4	-7,5	327	434	380,5	"	262	379	"	
69	A <sub>54</sub>	+7,5	+3	434	448	441	"	370	447	"	
70	A <sub>54</sub>	-3	+0,3	448	440	444	"	338	412	"	
71	A <sub>54</sub>	-0,3	-0,8	440	497	468,5	"	362	440	"	
72	A <sub>0</sub>	+0,8	-2,5	497	336	416	"	318	387	"	
74	A <sub>54</sub>	+5,5	-2,5	387	486	436	"	350	424	"	
75	A <sub>54</sub>	+2,5	-5,5	486	417	452	"	342	417	"	
76	A <sub>54</sub>	+5,5	+5,5	417	422	420	"	356	430	"	
77	A <sub>54</sub>	-5,5	+5,5	422	485	454	"	350	426	"	
78	A <sub>54</sub>	-5,5	+2,3	485	406	446	"	340	414	"	



Pylône		Dénivelé		Portées		Portée au vent		tension unit. horiz.				Portée fictive verticale			observation
N°	Type	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	A <sub>m</sub>	de calc.	t <sub>g</sub>	t <sub>D</sub> *	t <sub>g</sub>	t <sub>D</sub>	été	excep. d'hiver.	de calcul	
1	C <sub>0</sub>		+3	103,2	314	208,6	600	/	7,44	/	18,77			800	Tous les angles des pylônes "C" utilisés sont inférieurs à l'angle de calcul qui est de 40°c.
5	C <sub>0</sub>	-7,3	-11	381,8	435	408	"	7,44	7,43	18,77	18,81	266	228	"	
10	C <sub>0</sub>	+14,5	-18,5	325	475	400	"	7,43	7,33	18,81	19,13	317	385	"	
31	C <sub>R4</sub>	+41	+28,5	415,5	329	372	"	7,39	7,35	19,13	19,25	502	585	"	
54	C <sub>R8</sub>	+6,5	+74,2	331,8	353	342	"	7,35	7,34	19,25	19,57	528	586	"	
73	C <sub>0</sub>	+2,5	-5,5	336	387	362	"	7,34	7,37	19,57	19,26	273	333	"	
90	C <sub>0</sub>	+1,5		426,5	0	213,3	"	7,37		19,26		170	206	"	

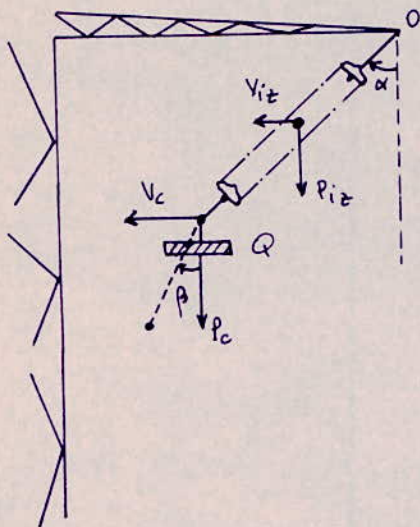
\* . t<sub>g</sub>: tension unitaire horizontale à gauche.

. t<sub>D</sub>: " " " " à droite.

- Type de chaînes utilisé.

- Calcul des contre-poids.

Rappel du cahier de charge: La distance à la masse est de 1,70m sous 2 et un vent réduit de 30Cpz; sans que l'inclinaison de la chaîne ne dépasse 40°C (dans le cas d'absence de contre-poids). La relation générale reliant les forces agissant sur la chaîne est (voir fig. ci-dessous):



$$\alpha = \arctan \frac{V_c + V_{lz}/2}{P_c + Q + P_{lz}/2}$$

dans laquelle:

$V_c$ : charge due au vent sur le conducteur

$V_{lz}$ : charge due au vent sur la chaîne

$P_c$ : charge verticale du conducteur.

$P_{lz}$ : poids de la chaîne.

$Q$ : charge supplémentaire due au contre-poids

La relation ci-dessus est obtenue en faisant la somme des moments par rapport au point O; soit:

$$P_{lz} \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin \alpha + (P_c + Q) \cdot l \cdot \sin \alpha = V_{lz} \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos \alpha + V_c \cdot l \cdot \cos \alpha$$

$$\rightarrow P_{lz} \cdot \frac{\sin \alpha}{2} + (P_c + Q) \cdot \sin \alpha = V_{lz} \cdot \frac{\cos \alpha}{2} + V_c \cdot \cos \alpha$$

Et en divisant à gauche et à droite par  $\cos \alpha$ , il vient:

$$\frac{P_{lz}}{2} \tan \alpha + (P_c + Q) \cdot \tan \alpha = \frac{V_{lz}}{2} + V_c$$

$$\rightarrow \tan \alpha \left( \frac{P_{lz}}{2} + (P_c + Q) \right) = \frac{V_{lz}}{2} + V_c$$

$$\text{donc: } \tan \alpha = \frac{V_{lz}/2 + V}{\frac{P_{lz}}{2} + P_c + Q} \quad (\text{identique à la relation ci-dessus})$$

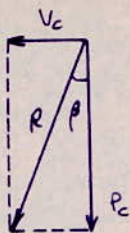
En considérant une déviation du conducteur sous l'effet du vent transverse comme indiqué sur la figure ci-dessus et formant un angle  $\beta$  avec la verticale.

la charge appliquée à la chaîne suivant cette direction (approximativement)

$$R = m p_c \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} + T \left( \pm \frac{h_1}{a_1} \pm \frac{h_2}{a_2} \right) \quad (T = s_c \cdot t)$$

Cette ayant pour composante verticale :  $P_c = R \cdot \cos \beta$  où :

$$\cos \beta = \frac{1}{m} \quad , \quad \text{car :}$$



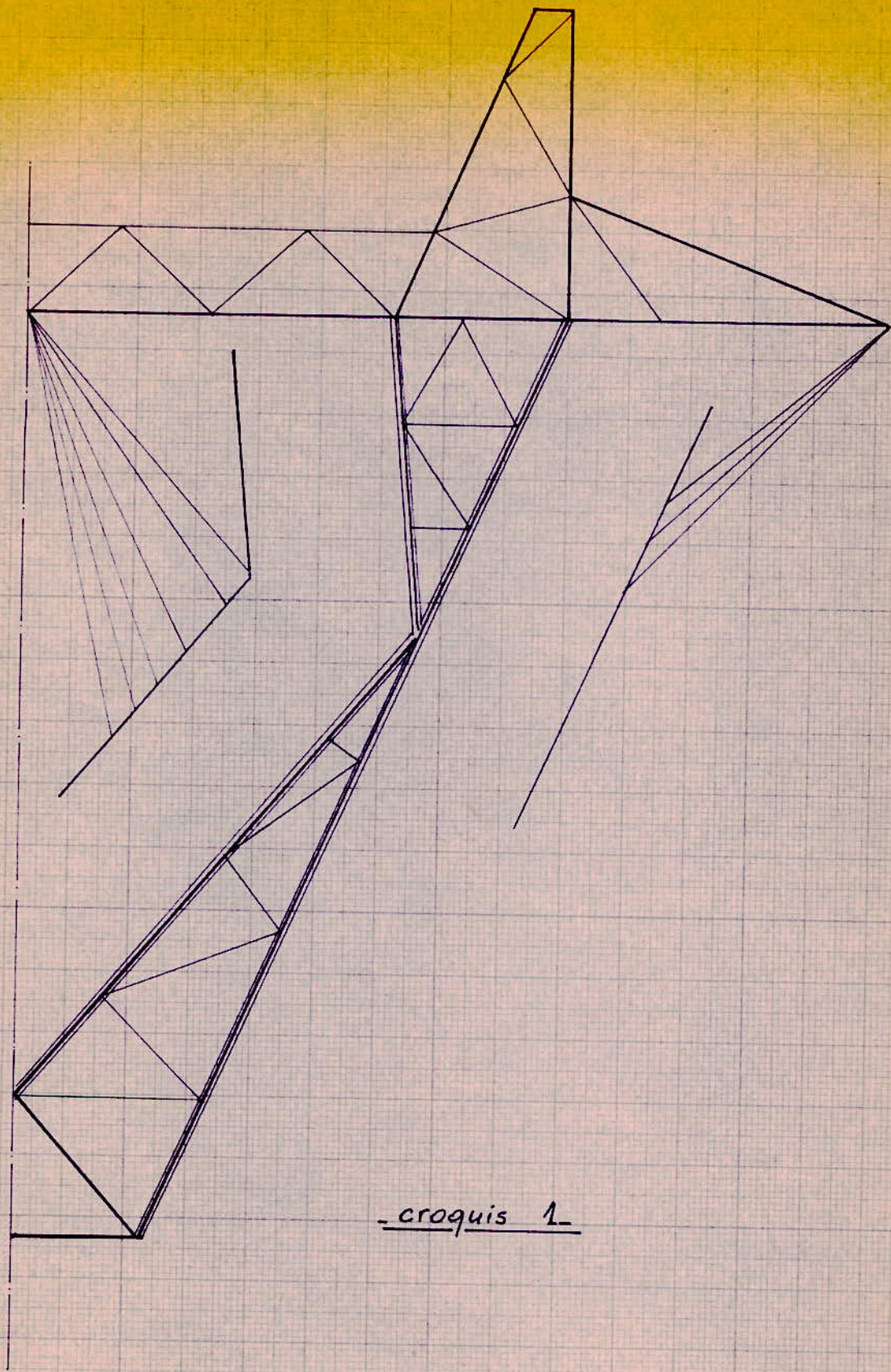
$$\cos \beta = \frac{P_c}{\sqrt{V_c^2 + P_c^2}} = \frac{1}{m}$$

D'autre part, en tenant compte du profil du pylône utilisé, et en particulier du profil intérieur du pylône, issu de la phase médiane, et pour que la distance minimale de 1,30 m soit respectée; on impose un angle de déviation à la chaîne, cet angle varie selon la longueur de la chaîne, et avec l'absence ou la présence de contre-poids. Les valeurs déterminées graphiquement (cf. croquis 1 p. 88) sont rassemblées dans le tableau ci-dessous :

Chaîne	longueur (m)	Poids de la chaîne (kg) *		Surcharge due au vent (kg)		Inclinaison: phases extrêmes		Inclinaison: phase médiane	
		Simple	double	Simple	double	avec C.p. 40-200kg	sans C.p.	C.p. 40-200kg	ss C.p.
14-145	2,62	72,8	135,2	21,25	42,5	40°	40°	26°30'	40°
15-145	2,76	77,1	143,8	22,50	46,0	"	"	20°40'	40°
16-145	2,91	81,3	152,4	23,75	47,5	"	"	16°	31°
17-145	3,05	85,7	161,0	25,5	51,0	"	"	12°10'	24°10'
14-130	2,41	72,8	135,2	21,25	42,5	"	"	40°	40°
15-130	2,54	77,1	143,8	22,50	46,0	"	"	30°20'	"
16-130	2,67	81,3	152,4	23,75	47,5	"	"	25°	"
17-130	2,80	85,7	161,0	25,5	51,0	"	"	18°30'	38°20'
18-130	2,95	90,0	169,6	26,25	52,5	"	"	15°30'	30°50'
19-130	3,05	94,3	178,2	25,5	51,0	"	"	12°10'	24°10'

\* calculé pour 4,3 kg par élément.





- croquis 1 -

Nous constatons que la connaissance de la tension dans le conducteur sous l'hypothèse envisagée :  $+20^{\circ}\text{C}$  - vent  $30\text{Cp}$  est nécessaire au calcul du poids du câble ; pour cela nous utilisons comme d'habitude l'équation de changement d'état pour grandes portées.

### Calcul préliminaire :

\* Surcharge linéaire due au vent (sur câble):

$$30\text{Cp} : 30 \times 1,02 \times 26,4 \times 10^{-3} = 0,808 \text{ kg/m.}$$

\*\* Coefficient de surcharge:

$$m' = \frac{\sqrt{1,593^2 + 0,808^2}}{1,593} = 1,786$$

Ayant obtenu ces tensions pour différentes portées (une à chaque canton), nous pouvons alors évaluer le poids du câble en calculant :

$$R = m \cdot p \cdot \frac{a_1 + a_2}{2} + S_c \cdot t'_{\text{moy}} \cdot \left( \pm \frac{h_1}{a_1} \pm \frac{h_2}{a_2} \right).$$

$$R = 1,786 \cdot 1,593 \cdot a_m \pm 411 \cdot 10,04 \text{ (}\Sigma h/a\text{)}.$$

$$\rightarrow R = 2,845 \cdot a_m \pm 4126,44 \text{ (}\Sigma h/a\text{)}.$$

D'après le tableau (p. 90) les tensions ne sont pas très différentes lorsqu'on passe d'une portée à l'autre, nous prenons donc une valeur égale fixée à  $t'_{\text{moy}} = 10,04 \text{ kg/mm}^2$ .

Nous calculerons donc l'angle d'inclinaison d'une chaîne d'isolateurs comportant 14 éléments de 130 mm de pas ; les valeurs de  $V_{12}$  et  $P_{12}$  ont déjà été données dans le tableau de la p. 87 ; soit :

$$\begin{cases} V_{12} = 21,95 \text{ kg} \\ P_{12} = 72,8 \text{ kg} \end{cases} \quad \text{chaîne simple de 14-130.}$$

En partant de la relation donnant l'angle d'inclinaison  $\alpha$  et en faisant d'abord le calcul pour  $Q=0$ , si l'angle ainsi déterminé est  $\gg 40^{\circ}$ , on ajoute un contre-poids, sinon la chaîne n'a pas besoin de contre-poids pour sa stabilité (cf. page 91).

Eq de ch<sup>est</sup> d'état pour grandes portées

$$ut'^3 + t'^2 \left[ \frac{a_m^2 \cdot w^3 \cdot E}{24t^2} \cdot m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - ut \right] = \frac{a_m^2 \cdot w^3 \cdot E}{24} \cdot m^2$$

Hypothèse: +20°C - 30Cpt.paramètre:  $p = 1450$ ;  $w = 3,88 \cdot 10^3$ ;  $t = pw = 5,626$ ;  $t^2 = 31,652$ ;  $\theta' - \theta = 20 - 50 = -30$ 

$$m' = 1,786$$
;  $m'^2 = 3,189$ ;  $C_1 = \frac{100^2 \cdot w^3 \cdot E}{24} = 52,06$ ;  $\alpha E = 0,146$

$$J_1 = \frac{C_1}{t^2} = 1,645$$
;  $J_2 = \alpha E (\theta' - \theta) = -4,38$

$$J_3 = C_1 \cdot m'^2 = 52,06 \times 3,189 = 166,02$$

$$t'^2 \left( t' + \frac{a_m^2 J_1 + J_2 - t}{A} \right) = \frac{a_m^2 J_3}{B}$$

$a_m(m)$	359,7	364,8	414,8	435,5	442,2	508,3
$a_m^2 \cdot 10^{-4}$	12,94	13,31	17,21	18,97	19,55	25,84
$a_m^2 \cdot J_1 \cdot 10^{-4}$	21,286	21,894	28,310	31,406	32,159	42,507
$J_2$	-4,38	-4,38	-4,38	-4,38	-4,38	-4,38
$-t$	-5,626	-5,626	-5,626	-5,626	-5,626	-5,626
A	11,28	11,89	18,30	21,20	22,15	32,50
$B = a_m^2 \cdot J_3 \cdot 10^{-4}$	2148,3	2209,7	2857,2	3149,4	3245,7	4289,9
$t'$	10,038	10,039	10,041	10,041	10,041	10,042

- tension moyenne retenue:  $t_{moy} = 10,04 \text{ kg/mm}^2$

Ligne : Tiaret - Saïda.

Calcul des contre-poids

N°	$a_m$	$V_c$	$\Sigma(\frac{P_u}{a})$	R	$P_c = \frac{R}{m}$	$\alpha$	Contre-poids Q	$\alpha$ final	Observation
17	396,5	320,4	-0,085	777	435	35°			
50	432,5	349,5	-0,062	975	546	37°			
53	363	293,3	-0,029	913	511	34°			
55	421,5	340,6	-0,192	407	228	53°	160 kg	39° 36'	* chaîne simple de 14 éléments de pas 130 mm. (l = 2,41 m)
58	448,5	362,4	-0,169	578	324	51°	120 kg	37°	
66	522	421,7	-0,085	1134	635	38°			
68	380,5	307,4	-0,029	963	539	34°			
79	459,5	371,3	-0,034	1168	654	34°			
90	371	299,7	-0,032	923	517	34° 36'			
55							440 kg	26° 24'	* chaîne simple de 14 éléments de pas 145 (l = 2,62 m)
58							400 kg	26° 6'	

- Dans ce tableau n'ont été reporté que les pylônes nécessitant éventuellement un contre-poids, pour tous les autres l'angle est inférieur à 24°

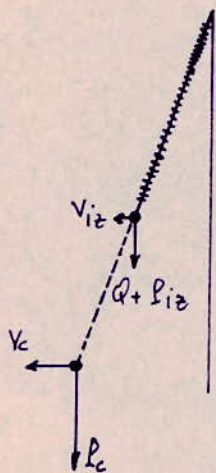
Les chaînes d'isolateurs les plus utilisées ont une charge de rupture de 10 t. environ. Les chaînes simples supportent donc des charges admissibles de :

$$\frac{10000}{3} \approx 3330 \text{ kg.}, \quad (\text{coeff. } 3 : \text{hyp. normales})$$

les chaînes doubles supportant le double de cette charge admissible pour les mêmes hypothèses.

Un calcul rapide permet de constater que cette charge est rarement dépassée, car d'après la figure ci-dessous :

- chaîne de suspension simple :



- les pylônes "A" d'alignement ont été calculés pour  $a_v = 540 \text{ m}$  et  $a_h = 600 \text{ m}$ , respectivement pour la portée au vent et la portée fictive verticale.

Ce qui donne, (en négligeant la surcharge due au vent sur isolateurs :  $V_{12}$ ) :

avec :

.. hyp. d'été :  $- 48 \text{ Cp} : 48 \cdot 1,02 \cdot 26,4 \cdot 10^{-3} = 1,292 \text{ kg/m}$   
 $- p = 1,593 \text{ kg/m}$

.. hyp. de glace :  $- 72 \text{ Cp} : 72 \cdot 1,02 \cdot 26,4 \cdot 10^{-3} = 1,938 \text{ kg/m}$   
 $- p = 5,593 \text{ kg/m}$  (4 kg/m de glace).

La charge appliquée sur la chaîne (suivant l'axe de la chaîne) est :

$$\sqrt{(540 \cdot 1,292)^2 + (600 \cdot 1,593)^2} + (80 + 160) = 1183 + 240 = 1423 \text{ kg} < 3330 \text{ kg}$$

pour l'hyp. normale d'été.

$$\sqrt{(540 \cdot 1,938)^2 + (600 \cdot 5,593)^2} + (80 + 160) = 3515 + 240 = 3755 \text{ kg} < 5000 \text{ kg}$$

pour l'hyp. exceptionnelle de glace :  $\frac{10000}{2} = 5000 \text{ kg}$   
 (coef. de sécu. 1,75 ± 2)

Ceci nous donnera donc pour les différents pylônes :

a) pylône "A" : équipés de 3 chaînes de suspension simple (3S<sub>s</sub>) en terrain ordinaire et portées inférieures à 500m; pour les autres on met en plus des bretelles de doublement.

- Sur les traversées de routes et de chemins de fer, ils seront équipés de 3 chaînes de suspension doubles (3S<sub>d</sub>) avec bretelles de doublement pour amortir les vibrations du conducteur.

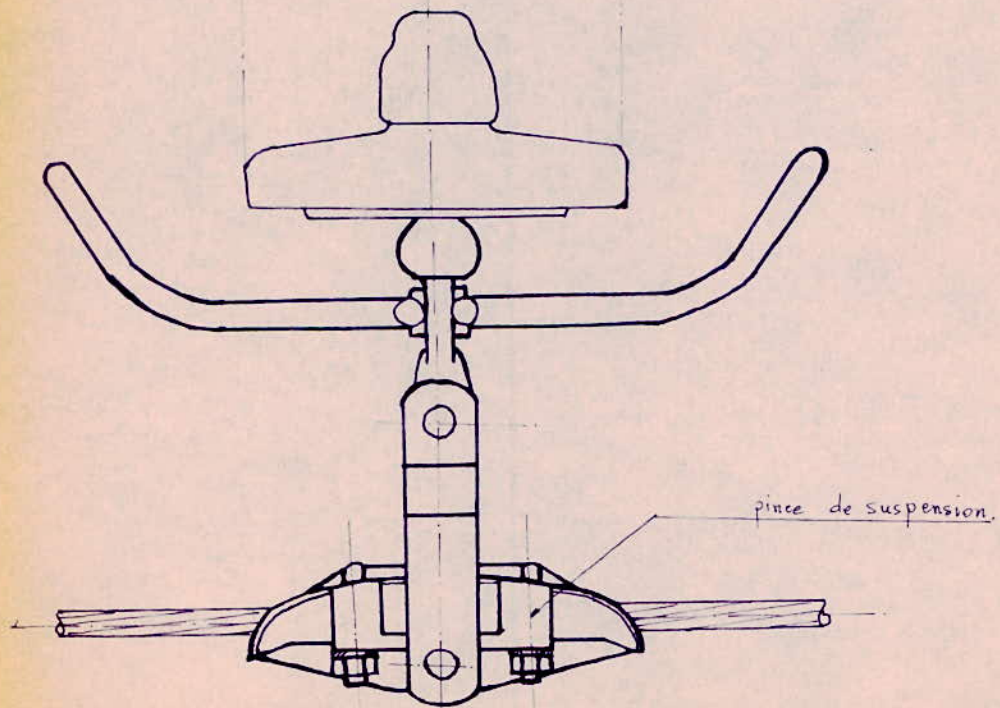
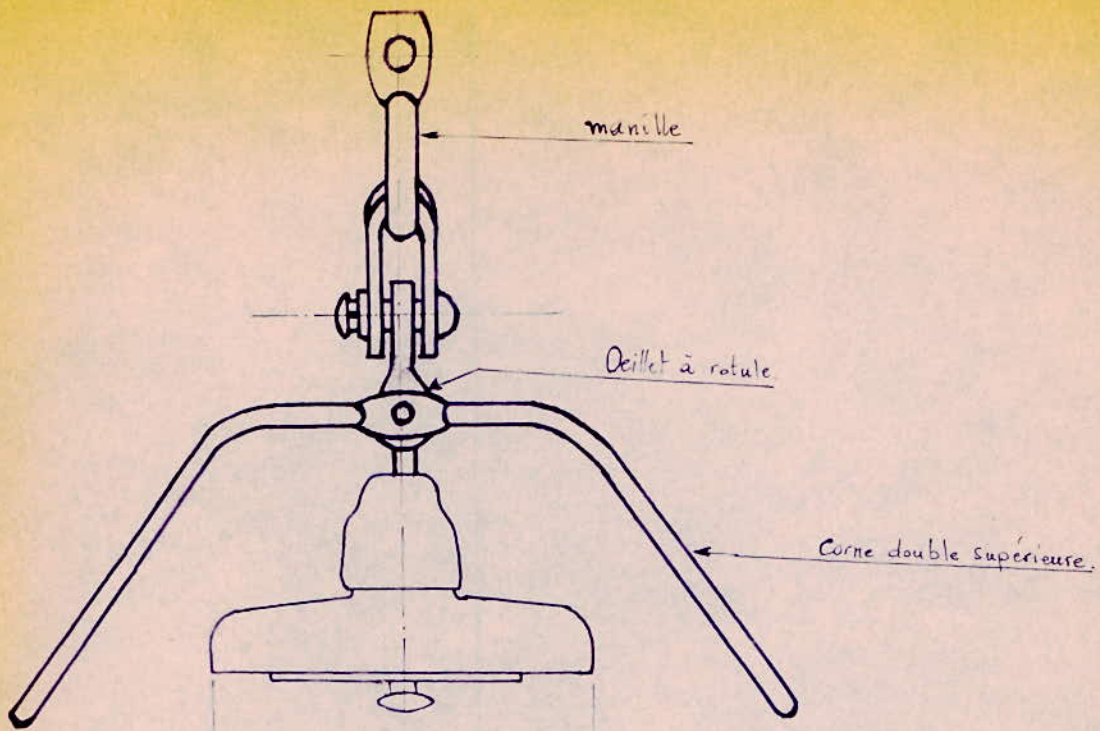
b) pylône "B" : La distance à la masse dans la phase médiane, exige une chaîne double en "V" pour limiter les oscillations. De plus les portées sont assez grandes, on dispose donc également des chaînes doubles sur les 2 phases extrêmes.

c) pylône "C" : Seront tous munis de chaînes d'ancrage doubles en égard aux tractions axiales exercées par les conducteurs

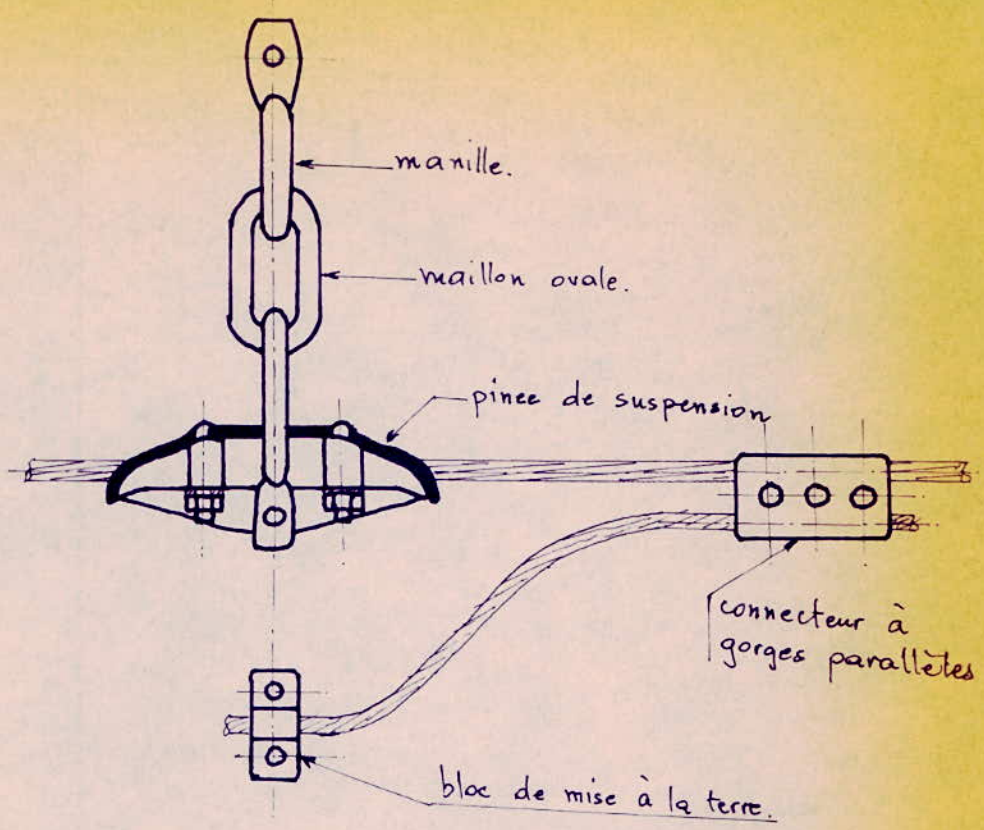
\* Le 1<sup>er</sup> pylône C<sub>0</sub> sera muni de 3 A<sub>d</sub> et 3 A<sub>s</sub> du côté de la travée de raccordement au pote.

Abréviation :

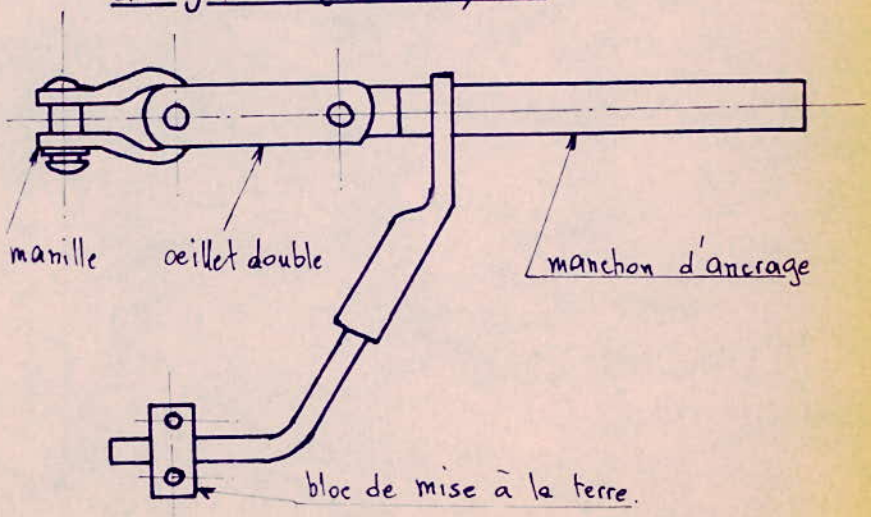
S <sub>s</sub> :	chaîne de suspension simple
S <sub>d</sub> :	" " double.
A <sub>s</sub> :	chaîne d'ancrage simple.
A <sub>d</sub> :	" " double.
A <sub>dV</sub> :	" " " en "V".



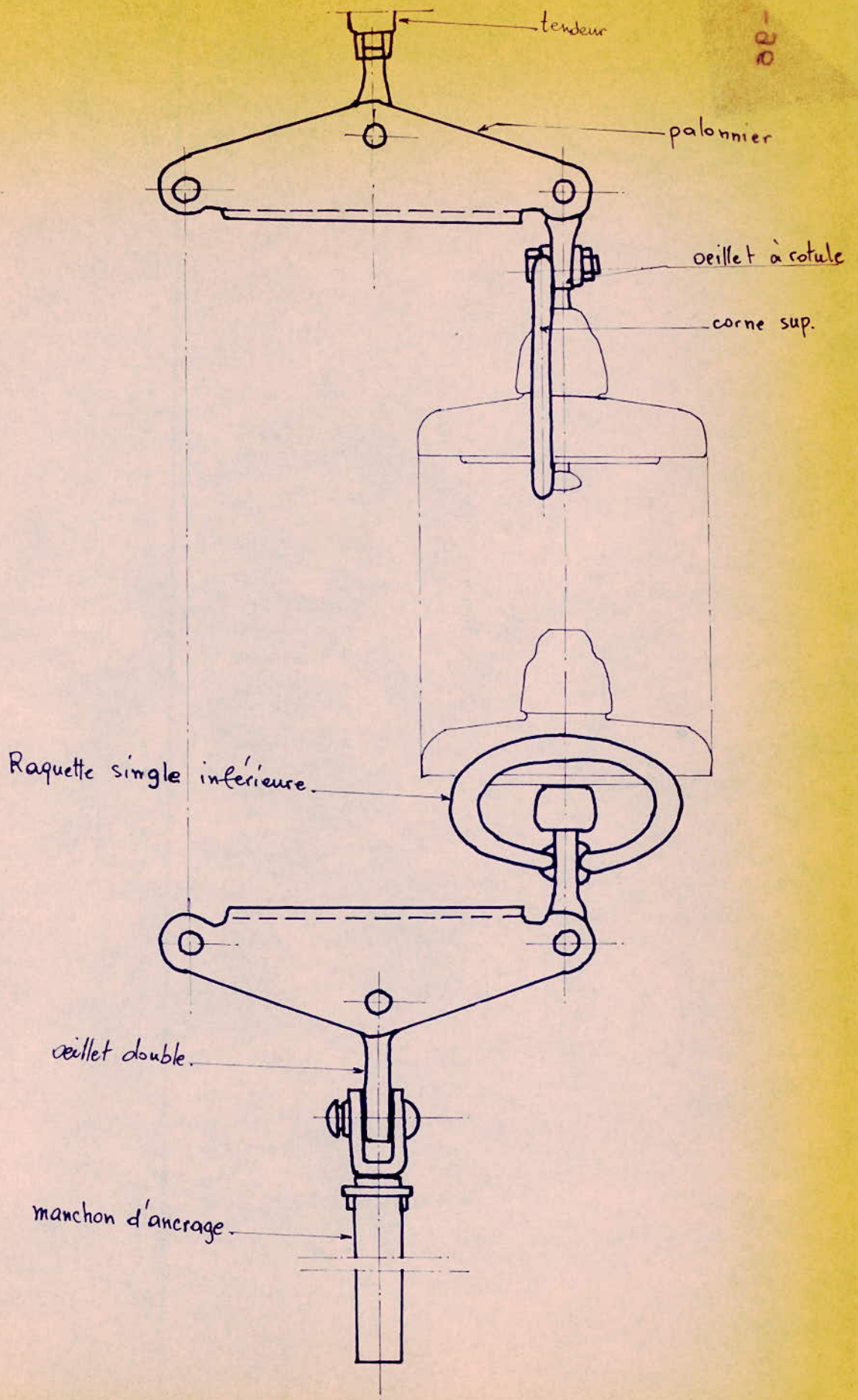
Equipement pour suspension  
du cable de garde (220KV)



Equipement pour ancrage du cable  
de garde (220KV) :







Equipement pour chaîne d'ancrage  
double (220 KV).

## Raccordement à la travée du poste de Saïda.

La tension du câble sur la portée morte ne doit pas dépasser 1000 kg pour le câble de phase et 500 kg pour le C.d.T.; de plus on doit disposer d'une flèche assez grande ( $\approx 3$  m) pour pouvoir régler le câble sur cette petite portée (103,2 m), reste donc à déterminer le paramètre de réglage correspondant pour le câble de phase et en déduire celui du C.d.T.

$$\text{On a donc: } p = \frac{a^2}{8f} = \frac{103,2^2}{8 \cdot 4} = 332,8 \approx 350 \text{ m.}$$

350 m est donc la valeur du paramètre préliminaire, mais un calcul rapide nous montre que les tensions sont trop éloignées de la tension maximale; on peut donc opter pour un paramètre supérieur et égal à 400 m, ce qui donne une flèche à 50°C de:

$$f_{50^\circ} = \frac{103,2^2}{8 \cdot 400} \approx 3,3 \text{ m.}$$

Nous savons également que le câble de garde doit toujours être plus tendu que le câble de phase dans la même portée, de façon à limiter la flèche, nous prenons donc  $p = 450$  m pour le C.d.T. ce qui donne une flèche de:

$$f_{\text{C.d.T.}} = \frac{a^2}{8p} = \frac{103,2^2}{8 \cdot 450} \approx 2,9 \text{ m}$$

\* Le calcul des tensions correspondant aux deux hypothèses normales (seulement) et établi pour les feuilles suivantes (cf. 98., 99).

LIGNE Tiaret-Saida (220kv)

CANTON "0"

Câble de terre (116,2 mm<sup>2</sup>)

Equation de changement d'état

$$t'^3 + t'^2 \left[ \frac{a^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - t \right] = \frac{a^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 \left( t' + \underbrace{a^2 J_1 + J_2}_{A} - t \right) = \underbrace{a^2 J_3}_{B}$$

parametre p. 450m       $\omega = 5,46 \cdot 10^{-3}$        $t = \omega p = 2,46$        $t^2 = 6,04$

$J_1 = \frac{C_1}{J_2} = 25,08$        $C_1 = \frac{100 \omega^2 E}{24} = 151,5$        $\alpha E = 0,171$

YPOTHESE	+30° vent 48 cpz	+30° E.D.S.	-5° vent 18 cpz	-5° vent 72 cpz	kg.g
a		103,2			
a <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup>		1,065			
m'	1,472		1,079		
m <sup>2</sup>	2,17		1,16		
J <sub>3</sub>	328,75		175,74		
a <sup>2</sup> J <sub>1</sub>	26,71		26,71		
J <sub>2</sub>	-3,42		-9,41		
-t	-2,46		-2,46		
A	20,83		14,84		
a <sup>2</sup> J <sub>3</sub>	350,12		187,16		
t	3,77		3,22		
ens un t max.	4,30		4,30		

LIGNE Tiaret-Saida (220KV)

CANTON "0"

Câble de phase 411mm<sup>2</sup>

Equation de changement d'état.

$$t'^3 + t'^2 \left[ \frac{a^2 \omega^2 E}{24 t^2} \times m^2 + \alpha E (\theta' - \theta) - t \right] = \frac{a^2 \omega^2 E}{24} \times m'^2$$

$$t'^2 (t' + \underbrace{a^2 J_1 + J_2}_{A} - t) = \underbrace{a^2 J_3}_{B}$$

parametre p: 400m       $\omega = 3,88 \cdot 10^{-3}$        $t = \omega p = 1,55$        $t^2 = 2,41$

$\alpha = \frac{C_1}{f^2} = 21,60$        $C_1 = \frac{100^2 \omega^2 E}{24} = 52,06$        $\alpha E = 0,146$

HYPOTHESE	+30° vent 48 cpz	+30° E.D.S.	-5° vent 18 cpz	-5° vent 72 cpz	kg.g
a	103,2m				
a <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup>	1,065				
m'	1,287		1,044		
m' <sup>2</sup>	1,656		1,09		
J <sub>3</sub>	86,21		56,74		
a <sup>2</sup> J <sub>1</sub>	23		23		
J <sub>2</sub>	-2,92		-8,03		
-t	-1,55		-1,55		
A	18,53		13,42		
a <sup>2</sup> J <sub>3</sub>	91,82		60,43		
t'	2,11		2,00		
ns. unit max.	2,43		2,43		

## Conclusion.

Des recherches ont été effectuées sur la capacité propre d'amortissement d'un câble et sa relation avec la composition et la traction du câble.

On a établi que des câbles ayant le même diamètre et la même composition géométrique, mais de matériau différent, c'est-à-dire:

- (1). Alu,

- (2). Alu.-acier,

- (3). alliage d'alu.-acier (almelec, ...)

ont à peu près la même capacité propre d'amortissement et la même relation entre la diminution de cette capacité et l'augmentation de la charge de traction appliquée.

Si les 3 câbles susdits sont soumis au même pourcentage de leur charge de rupture, le (3) résultera plus tiré que le (2), et le (2) plus tiré que le (1); le câble (3) aura donc une tendance à vibrer plus élevée que le (2) et le (2) plus que le (1).

Dans une région semi-désertique, comme celle de Saïda, une poussière contenant une certaine quantité de sables est transportée par le vent et se dépose à la surface des isolateurs. De grandes variations de température entre le jour et la nuit conduisent à un fréquent mouillage des isolateurs pendant les premières heures de la matinée.

Les conditions sont particulièrement pévères lorsque la vitesse du vent est relativement faible ( $< 3,6$  m/s). La durée de la rosée paraît exercer une influence considérable sur la probabilité d'amorçage et il semble qu'une durée minimale d'environ 2 h. soit nécessaire pour qu'un amorçage se produise.