



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : Technologie

DEPARTEMENT : Génie Electrique

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Nebair Hamza

Chabira Djamel Eddine

DOMAINE : Sciences et Techniques

FILIERE : Maintenance et Sécurité

OPTION : Risques Industriels et Maintenance

Thème

CALCULS MECANIKES DES LIGNES ELECTRIQUES

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Lahdeb Mohamed	M.C.B	Président
AMEUR Aissa	M.C.A	Examineur1
BENSEDIK Sid Ahmed	M.C.A	Examineur2
Djekidel Rabah	M.C.A	Rapporteur
Hadjaj Abdel Chafik	M.C.A	CO-Rapporteur

Promotion : 2016/2017

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement et profondément en Premier lieu mon Dieux «Allah » Qui nous donne la vie.

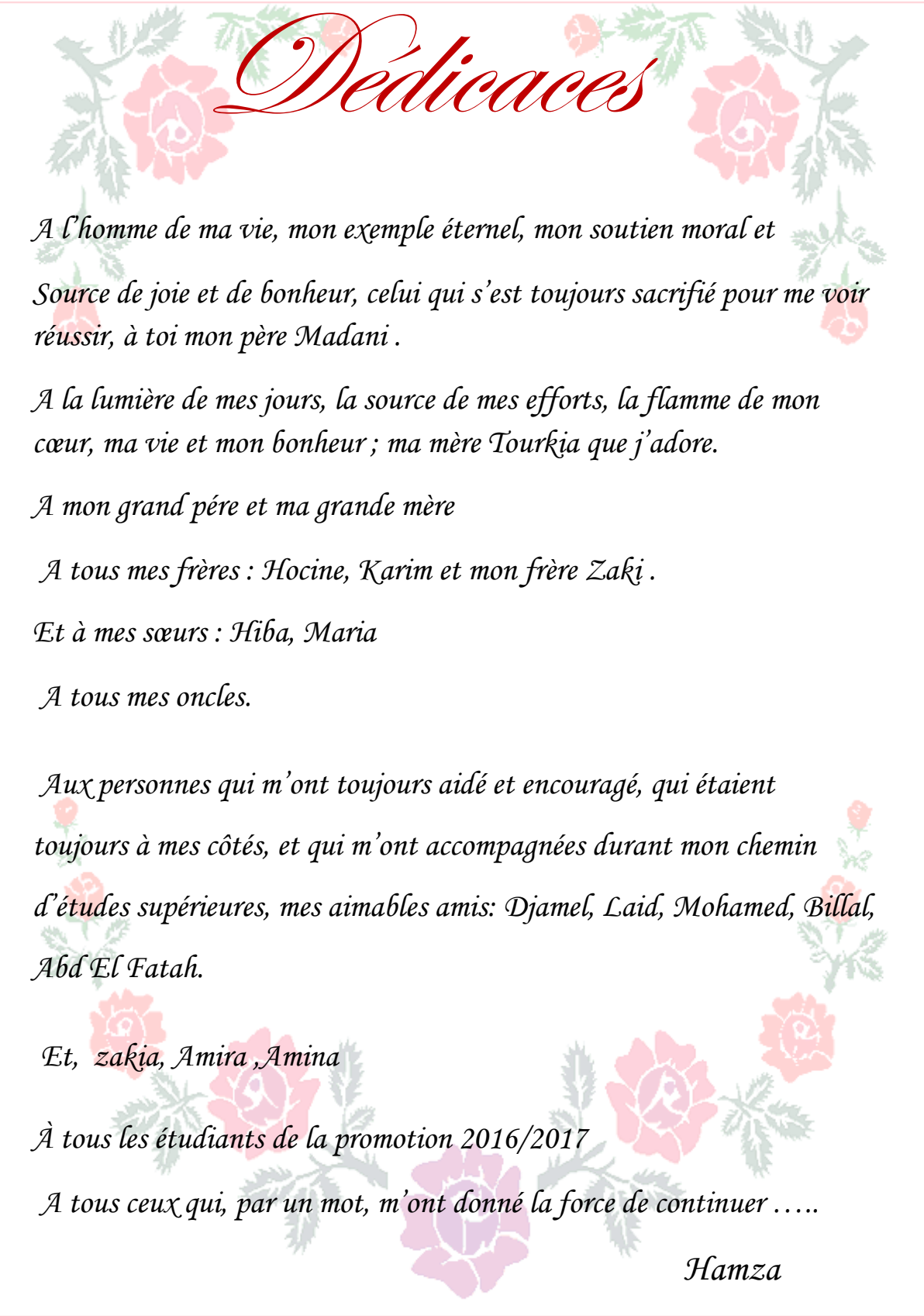
Je tiens en premier lieu à remercier Monsieur **Djekidel RabeH**, Docteur à l'Université Amar Thelidji Laghouat, qui a encadré cette mémoire, m'a accompagné au quotidien dans la préparation de ce travail avec la plus grande assiduité ainsi qu'avec des qualités humaines remarquables, et dont la présence au quotidien fut un atout majeur pour la réalisation de ce travail, tant d'un point de vue scientifique que moral.

Je remercie aussi **Hadjaj** Abdel Chafik doctorant à l'Université Amar Thelidji de Laghouat pour ses conseils et ses remarques. Je remercie également le président du jury **Mr. Lahdeb Mohamed Docteur** à l'université Amar thelidji Laghouat, Pour l'honneur qu'il nous fait par sa présence.

Je remercie les examinateurs du jury **Mrs. Ameer aissa et bessedik sid ahmed Docteurs** à l'université Amar thelidji Laghouat, Pour l'honneur qu'il nous faites par leurs présences et d'avoir accepté de juger ce modeste travail.

Nebair hamza

Chabira djamel eddine



Dedicaces

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et
Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir
réussir, à toi mon père Madani .*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon
cœur, ma vie et mon bonheur ; ma mère Tourkia que j'adore.*

A mon grand père et ma grande mère

A tous mes frères : Hocine, Karim et mon frère Zaki .

Et à mes sœurs : Hiba, Maria

A tous mes oncles.

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient
toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnées durant mon chemin
d'études supérieures, mes aimables amis: Djamel, Laid, Mohamed, Billal,
Abd El Fatah.*

Et, zakia, Amira ,Amina

A tous les étudiants de la promotion 2016/2017

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Hamza

Dédicaces

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et

Source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père .

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; ma mère que j'adore.

À ma grande mère: l'hadjja méchraoui zohra

À tous mes oncles.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnées durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis.

À tous les étudiants de la promotion 2017/2016

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Djamel eddine

ملخص

يعتبر نقل الطاقة الكهربائية من مراكز التوليد إلى المستهلك هو الهدف الأساسي من إنشاء خطوط نقل الطاقة الكهربائية ذات الجهد العالي. إنشاء خط كنقل كهربائي مجموعه من الحسابات الكهربائية والميكانيكية (الترخيم، قوة الشد على الموصل أفقيا، وزن الموصل، البحر). عند تركيب الموصلات على الأبراج يراعى أن تكون المسافة بين أقل نقطة للموصل وسطح الأرض لا تقل عن 6 متر ، وعالية يجب تحديد قوة الشد اللازمة للموصل بحيث لا تزيد عن إجهاد كسر الموصل للوصول الى الحد المسموح للترخيم حسب المسافة بين الأبراج ، مع الأخذ في الاعتبار درجات الحرارة و الإجهادات المناخية مثل قوة الرياح و تراكم الجليد على سطح الموصلات مما يؤدي إلى زيادة الترخيم.

Résumé

Le transport de l'énergie électrique à partir des stations de production aux consommateurs est l'objectif principal de la conception d'une ligne de transmission d'énergie électrique à haute tension. Cette conception est précédée à des calculs électriques et mécaniques (Fleche, tension mécanique, point unitaire, la portée longitudinale). Lors de l'installation des lignes électriques sur les pylônes, il fallait respecter la distance de sécurité au niveau de la flèche maximale entre la situation inférieure du conducteur et la surface du sol qui dépasse 6 mètres, afin de déterminer l'effort de la tension mécanique du conducteur nécessaire qui ne dépasse pas la tension de rupture et permis d'atteindre la flèche maximale permise entre les supports, avec la prise en compte la variation de la température et les contraintes climatiques telles que la force du vent et l'épaisseur

du givre du conducteur ce qui augmente considérablement la flèche.

Abstract

The transmission of electrical energy from production stations to consumers is the main objective of the design of a high-voltage power transmission line. This design is carried out with electrical and mechanical calculations (sage, mechanical tension, weight, longitudinal span). When installing the power lines on the pylons, the safety distance (clearance) at the maximum sag between the lower conductor situation and the ground surface, which it exceed 6 meters had to be respected in order to determine the stress of the tension mechanics of the conductor which does not exceed the breaking tension and permits to reach the maximum permissible sag between the supports, taking into account the variation of the temperature and the climatic constraints such as the wind force and the thickness of the glace, which dramatically increases the sag.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : <i>Rappels théoriques</i>	
I.1. Introduction	3
I.2. Rappel sur les lignes électriques	3
I.3. Les éléments des lignes électriques	5
I.3.1. Les conducteurs	6
I.3.2. Les isolateurs	8
I.3.3. Les parafoudres et interrupteurs aériens:	11
I.3.3.1. Les parafoudres	11
I.3.3.2. Interrupteurs aériens	11
I.3.4. Supports et armements	11
I.3.4.1. Supports	11

I.3.4.2. Armements	14
I.3.5. Les fondations	16
I.3.6. Fils de garde :	17
I.4. Les poste de transformations	17
I.5. les principales définitions géométriques et mécaniques de la ligne	18
I.5.1. La portée (a)	18
I.5.2. La flèche (f)	18
I.5.3. Poids spécifique ou linéique du conducteur (v)	19
I.5.4. Tension unitaire (t)	19
I.5.5. Le paramètre (a)	20
I.5.6. Angle d'orientation	20
I.5.7. Un canton	21
I.6. Conclusion	21
 CHAPITRE II : <i>Calcul mécanique d'une ligne aérienne</i>	
II.1. Introduction	22

II.2. Calcul mécanique d'une ligne aérienne HT	22
II.2.1. Représentation de la géométrie de la ligne électrique	23
II.2.2. La Courbe d'équilibre d'un conducteur	23
II.2.3. Coefficient de sécurité	25
II.2.4. Hypothèses règlementaires	25
II.2.4. 1. Hypothèses climatiques	26
II.2.4.2. Hypothèse relative aux vibrations	26
II.2.4.3. Hypothèse relative au givre	27
II.2.5. La flèche d'un conducteur	27
II.2.6. La longueur du câble	28
II.2.7. Tension mécanique en un point quelconque du câble	28
II.2.8. Tension maximale de conception	29
II.9. Ecartement minimal entre les conducteurs :	30
II.2.10. Portée maximale	31
II.2.11. Portée critique	31

II.3. Comparaison des formules pratiques et exactes	32
II.4. La flèche d'un conducteur dans le cas d'une portée dénivelée	33
II.5. Équation de changement d'état	35
II.5.1. L'effet du vent sur les lignes électriques aériennes	35
II.5.2. L'effet du givre sur les lignes électriques aériennes	37
II.5.3. L'effet de la Température sur les lignes électriques aériennes	40
II.6. Simplification de la géométrie longitudinale de la ligne électrique	43
II.7. Calcul mécanique des supports (pylône métallique)	46
II.7.1. Etude des charges présentes sur un support (pylône métallique)	46
II.7.2. Efforts concernant la structure métallique	47
II.7.3. Efforts des éléments extérieurs aux pylônes	47
II.7.3. 1. Efforts transversaux	47
II.7.3.2. Efforts verticaux	49
II.7.3.3. Efforts longitudinaux	49
II.8. Conclusion	49

CHAPITRE III : Analyse et interprétation des résultats

III.1. Introduction	51
III.2. Calcul mécanique d'une ligne aérienne	51
III.2.1. Tracé de la chaînette et de la parabole	51
III.2.2. Comparaison entre la parabole et la chaînette	52
III.2.2.1. Calcul de la flèche d'un conducteur	52
III.2.2.2. Variation de la flèche en fonction du paramètre	53
III.2.2.3. Calcul de la longueur réelle du conducteur	54
III.2.2.4. Calcul de la tension mécanique du conducteur aux appuis	55
III.2.2.5. Calcul de la tension maximale de conception et le coefficient de sécurité	56
III.2.2.6. Variation de la tension maximale de conception en fonction de la flèche	58
III.3. Calcul de la flèche et la longueur d'un conducteur dans le cas d'une portée dénivelée	59
III.4. Calcul de la flèche en fonction du vent et du givre	61
III.5. Calcul de la flèche en fonction de la variation de la température	64
III.6. Calcul de la portée équivalente	65

III.7. Conclusion	66
CONCLUSION GENERALE	67
BIBLIOGRAPHIE GENERALE	68

Liste des Figures

CHAPITRE I :

Figure I-1: Les éléments d'une ligne électrique

Figure I-2: Câble en cuivre nu, Conducteur en aluminium

Figure I-3: Chaîne de trois isolatrices hautes tensions

Figure I-4: une assiette d'isolateur en verre

Figure I-5: Pylônes double drapeau (à deux circuits)

Figure I-6: Pylône Beaubourg

Figure I-7: Pylône Auteuil

Figure I-8: Pylône Muguet

Figure I-9: armement nappe-voûte NV1

Figure I-10: armement nappe-voûte NV2 & NW

Figure I-11: armement alterné

Figure I-12: armement en drapeau

Figure I-13: Fondation à redans, fondation bétonnée contre paroi, fondation à coffrage

Figure I-14: la flèche et la portée d'un câble

Figure I-15: Le paramètre (a) d'un câble

Figure I-16: Angle de piquetage

CHAPITRE II :

Figure.II-1: Câble suspendu entre deux points fixes au même niveau

Figure II-2: la chaîne

Figure II.3 : Représentation de la parabole et de la chaîne

Figure II.4 : Efforts mécaniques appliqués sur le conducteur

Figure II.5 : Géométrie d'une portée dénivelée

Figure II.6 : l'effet du vent sur un conducteur

Figure II.7 : l'effet de la glace sur un conducteur

Figure II.8 : calcul du poids de la glace

Figure II.9 : Surcharge du vent et de glace sur un conducteur

Figure II.10 : flèche (f), portée (L), longueur d'arc (s)

Figure II.11: Les dimensions d'une ligne électrique aérienne

Figure II.12: calcul de la hauteur moyenne d'une ligne électrique aérienne

CHAPITRE III :

Figure III-1 : Difference entre la geometries de la chaînette et Celle de la parabole

Figure III-2 : Variation de la fleche maximal du conducteur en fonction de la portée longitudinale

Figure III-3 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction du paramètre

Figure III-4 : Calcul de la longueur du conducteur en fonction de la portée réelle

Figure III-5 : Calcul de la tension mécanique du conducteur au droit des appuis A et B (points de suspension)

Figure III-6 : Variation de la flèche maximale du conducteur ACSR avec la méthode chaînette

Figure III-7 : Calcul de la tension maximale de conception du conducteur ACSR avec la méthode chaînette

Figure III-8 : Coefficient de sécurité du conducteur ACSR avec la méthode chaînette

Figure III-9 : Variation de la tension mécanique du conducteur en fonction de la flèche maximale

Figure III-10 : Calcul des dimensions géométriques d'une portée

Dénivelée

Figure III-11 : effort de glace sur le conducteur

Figure III-12 : effort du vent sur le conducteur

Figure III-13 : force résultante des efforts exercés sur le conducteur

Figure III-14 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction des conditions climatiques

Figure III-15 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction de la temperature

Figure III-16 : Calcul de la portée équivalente moyenne du canton de pose

Tableau III.4 : Différentes portées d'un tronçon d'une ligne aérienne

Liste des Tableaux

CHAPITRE I:

Tableau I-1: differentness categories de tension

Tableau I-2: propriétés des matériaux conducteurs les plus utilisez

Tableau I-3: Choix du nombre d'assiette

Tableau I-4: Types de fondation en fonction des caractéristiques du sol

CHAPITRE II:

Tableau II.1 : Différentes hypothèses

Tableau II.2. Comparaison, pour une portée de niveau, entre formules pratiques et formules exactes pour le calcul de la flèche et de la longueur réelle de câble (le paramètre $a = 2\,200\text{ m}$)

Tableau II.3. Caractéristiques du conducteur (ASCR)

Tableau II.4. Différentes formules de calcul des charges transversales

CHAPITRE III

Tableau III.1 : Résultats de simulation obtenus de la flèche du conducteur

Tableau III.2 : Résultats de simulation obtenus de la longueur du conducteur

Tableau III.3 : Résultats de simulation obtenus de la tension mécanique du conducteur

Tableau III.4 : Différentes portées d'un tronçon d'une ligne aérienne

Introduction Générale

Introduction générale

La ligne aérienne de transport d'énergie est un vecteur qui permet de transporter à une tension électrique très élevée, une puissance électrique importante sur une courte ou une très longue distance. L'étude d'implantation d'une ligne de transport d'énergie électrique à haute tension ou à très haute tension est procédée par un calcul mécanique et électrique.

Dans l'établissement d'un projet de ligne électrique, le concepteur doit disposer des conditions climatiques à prendre en compte dans le calcul mécanique des paramètres des conducteurs des lignes aériennes (flèche, tension mécanique, paramètre de répartition,.....), les charges climatiques sont les températures, l'action du vent et les surcharges éventuelles de glace, de givre ou de neige. Ces charges vont nous permettre de calculer les charges transmises par les conducteurs aux pylônes, l'angle que font les conducteurs par rapport à la verticale suite à l'effet du vent, ainsi que le poids équivalent que devra supporter les chaînes d'isolateurs.

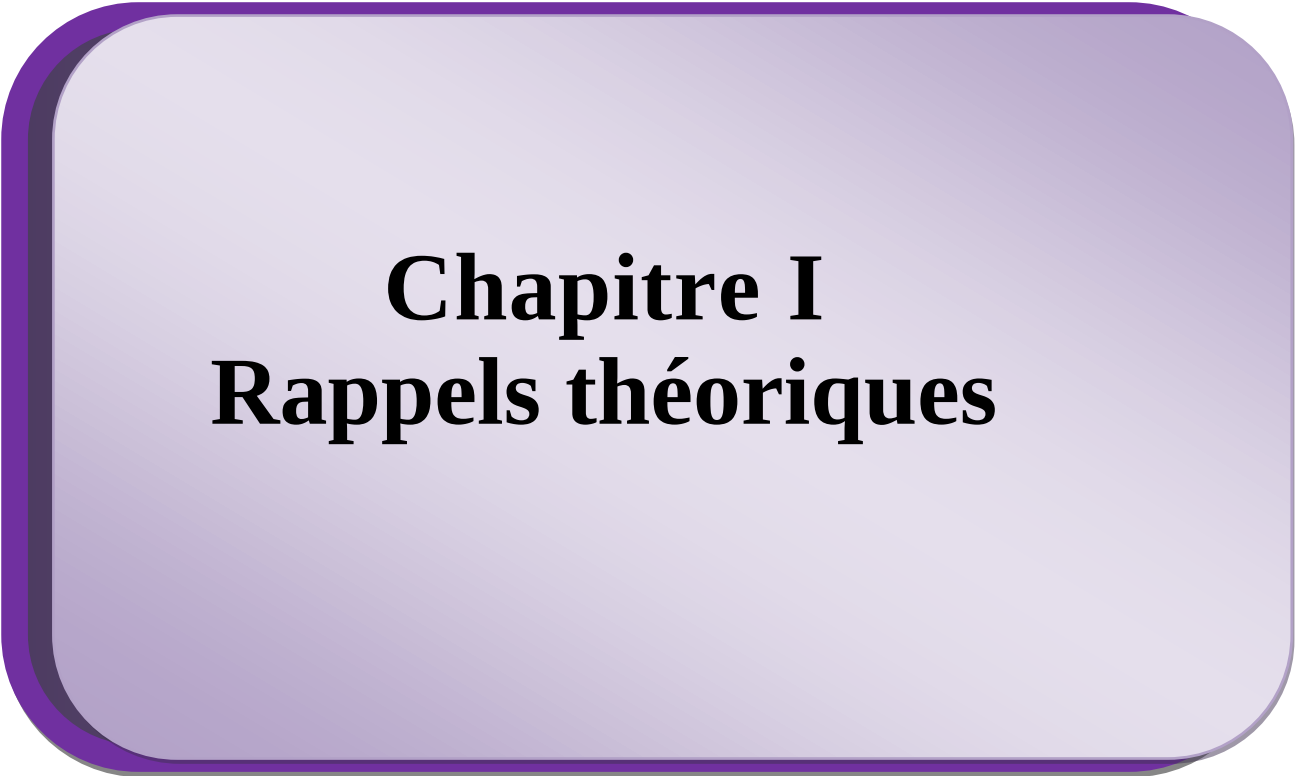
Les objectifs principaux de ce travail sont d'appliquer les principes de calcul mécanique d'une ligne HTA aérienne pour :

- ✓ la détermination des principales paramètres des conducteurs (calcul de la flèche et de la tension mécanique) en utilisant les deux méthodes chaînette et parabole ;
- ✓ le calcul des efforts exercés par les conditions climatiques de température, de vent et de surcharge de givre sur les paramètres des conducteurs.

Nous entamons le premier chapitre par une présentation d'un résumé sur l'ensemble des éléments d'un réseau de transport de l'électricité qui est constitué essentiellement des conducteurs, des armements, des dispositifs de protection, des supports, ainsi des définitions des éléments mécaniques lors d'une conception d'une ligne électrique, tel que la flèche maximale d'un conducteur, la portée équivalente et la tension mécanique des conducteurs suivant l'effort appliqué.

Le deuxième chapitre aborde un calcul théorique et les formules usuelles concernant le calcul mécanique des conducteurs des lignes aériennes avec la méthode de la chaînette et de la parabole, les charges linéiques portées par les conducteurs d'une ligne, également un calcul mécanique des efforts exercés sur les pylônes du réseau électrique. Les conducteurs doivent demeurer aux distances sûres des bâtiments, des objets, et des personnes ou véhicules passant sous la ligne à tout moment pour éliminer totalement la possibilité de dommages.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus des simulations, divers résultats ont été discutés et analysés en comparant les différents paramètres entre les méthodes de la chaîne et celle de la parabole.



Chapitre I

Rappels théoriques

I.1. Introduction

La ligne aérienne de transport d'énergie est un vecteur qui permet de transporter à une tension électrique très élevée, une puissance électrique importante sur une courte ou une très longue distance.

Dans l'étude électrique, le dimensionnement d'une ligne aérienne dans le cadre d'un régime permanent se fait en deux parties : choix de la section du conducteur et choix du gabarit des pylônes.

Le choix de la section du conducteur dépend de considérations électriques et économiques tandis que le choix du gabarit des pylônes fait intervenir plutôt les aspects mécaniques.

A partir d'un certain niveau de tension, nous devons aussi vérifier que l'effet couronne ne devient pas trop important. Nous aboutissons ainsi à une section techniquement optimale mais non normalisée.

Concernant l'étude mécanique d'une ligne aérienne et pour l'établissement d'un projet de ligne, le concepteur doit disposer des conditions climatiques à prendre en compte dans son calcul : les températures, l'action du vent et les surcharges éventuelles de glace, de givre ou de neige. Ces conditions sont nécessairement prises en considération lors de calcul des paramètres mécaniques (flèche, tension de conception, longueur d'arc,...) des conducteurs et supports d'une ligne électrique aérienne.

Ce chapitre donne une description des différents éléments constitutifs d'un réseau électrique, ainsi les différents paramètres mécaniques influant sur le dimensionnement d'une ligne électrique.

I.2. Rappel sur les lignes électriques

Les lignes assurent la continuité électrique entre deux nœuds du réseau et peuvent être classées selon les types suivants :

- lignes de grand transport : entre un centre de production et un centre de consommation ou un grand poste d'interconnexion ;
- lignes d'interconnexion : entre plusieurs régions ou plusieurs pays (secours mutuel) ;
- lignes de répartition : entre grands postes et petits postes ou gros clients nationaux de ;
- lignes de distribution : vers les consommateurs BT.

Les différentes classes de tension en courant alternatif sont définies, par le RGIE, de la manière décrite dans le tableau I.1 [1, 2, 3].

Très basse tension		$U < 50\text{V}$
Basse tension	1 ^{ère} catégorie (A)	$50\text{ V} < U < 500\text{ V}$
	2 ^{ème} catégorie (B)	$500\text{ V} < U < 1000\text{ V}$
Haute tension	1 ^{ère} catégorie (A)	$1000\text{ V} < U < 50000\text{ V}$
	2 ^{ème} catégorie (B)	$U > 50000\text{ V}$

Tableau I-1 : différentes catégories de tension [1]

Les principaux composants des lignes aériennes sont :

- Les conducteurs (Phases + câble(s) de garde) ;
- Les isolateurs ;
- Le pylône ;
- Les fondations ;
- Autres accessoires (pinces de suspension, jonctions de connecteurs, amortisseurs dynamiques,...).

Concernant les portées des lignes, étant donné la possible irrégularité des distances entre pylônes, nous définissons les longueurs suivantes :

- Portée basique ou normale : c'est la plus économique ;
- Portée moyenne : c'est la moyenne arithmétique des différentes portées ;
- Portée équivalente : Cette valeur se rapproche généralement de la portée moyenne lorsque le nombre de portées augmente. C'est sur cette valeur que se calcule la tension horizontale à appliquer au canton ;
- Portée « de vent » : La somme des deux demi portées adjacentes au pylône. Elle correspond à la portée à considérer pour le calcul des efforts en tête du pylône ;

- Portée « de poids » : La somme des distances entre le pylône et les points les plus bas des deux portées adjacentes. Cette valeur est utilisée pour déterminer le poids mort que représentent les conducteurs sur le support [1 , 3].

I.3. Les éléments des lignes électriques

Les lignes électriques aériennes sont constituées essentiellement des conducteurs, désarmements, des dispositifs de protection, des supports.

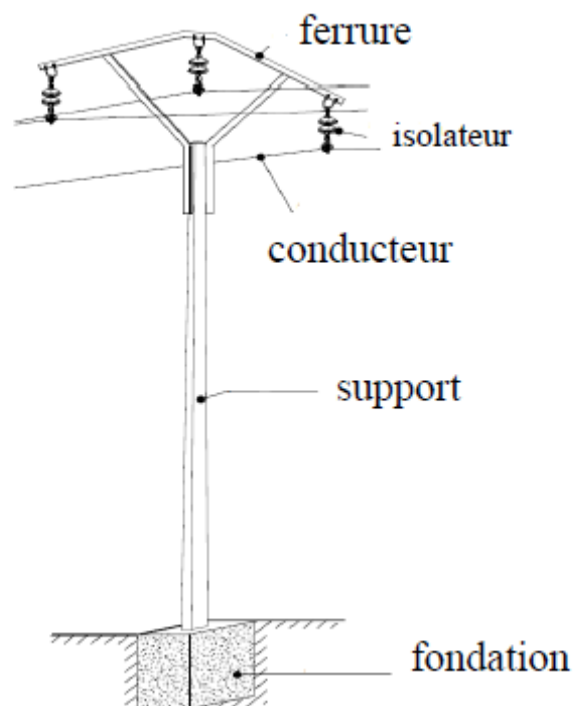


Figure I-1: Les éléments d'une ligne électrique [4]

Le courant électrique est transporté par des conducteurs qui sont généralement de deux sortes :

- les conducteurs nus
- les conducteurs isolés

Les conducteurs nus sont généralement utilisés en aériens sous forme triphasé pour le transport de la haute tension. Les conducteurs isolés sont utilisés en aérien ou souterrain pour

le transport de tout type de tension. En lignes aériennes, les conducteurs isolés sont en forme torsadée.

En plus d'une bonne conductibilité électrique nécessité par le moindre coût de revient en fonctionnement, les conducteurs utilisés pour les lignes aériennes doivent avoir [2]:

- des qualités mécaniques pour supporter les efforts auxquels ils sont soumis par la pression du vent, la température, ou encore le poids de surcharges
- des qualités chimiques pour résister aux agressions atmosphériques, pollution industrielle

Afin de satisfaire toutes ces exigences dans la construction des lignes électriques, on utilise généralement les conducteurs à base de l'aluminium. Il s'agit pour la majeure partie :

- aluminium-acier
- almélec (aluminium allié)
- almélec-acier

Dans notre projet nous avons utilisé le conducteur almélec, il est composé de 0,55 à 0,7% de magnésium, de 0,55% de silicium et avec moins de 0,3 à 0,35% de fer [3, 4].

I.3.1. Les conducteurs

Les conducteurs des lignes aériennes à haute tension sont toujours nus. On emploie presque exclusivement des câbles en cuivres et des câbles en aluminium avec âme en acier (ACSR «Aluminium câble Steele reinforced») ; ces derniers sont généralement les plus économiques.

Les joints entre conducteurs doivent posséder une résistance faible. Ces joints sont ordinairement faits par compression d'un manchon de jonction.

Tout comme les plaques d'un condensateur, les conducteurs d'une ligne de transport restent chargés après avoir été mis sous tension. C'est pourquoi, après avoir isolé du réseau une ligne à haute tension, on doit toujours prendre soin de relier solidement chacun de ses conducteurs à la terre afin de les décharges. Sinon, la charge qui reste prisonnière sur les conducteurs maintien des tensions dangereuses pour le personnel d'entretien.

Une autre raison de cette mise à la terre est de court-circuiter les tensions qui peuvent être induites dans une ligne en réparation lorsqu'elle longe une autre ligne qui, elle est alimentée. Le couplage inductif et capacitif entre les deux lignes peut induire une tension très élevée dans la ligne ouverte [1, 2].

propriétés	cuivre	aluminium	Almélec
Resistivite à 20°C (10^{-8} $\Omega.m$)	1,72	2,8	3,26
Masse volumique ($kg.m^{-3}$)	8890	2700	1970 à 5720
Contrainte de Rupture à la traction (Mpa)	380 à 450	150 à 190	315 à 325

Tableau I-2: propriétés des matériaux conducteurs les plus utilisés



Figure I-2: Câble en cuivre nu, Conducteur en aluminium

Le cuivre est le meilleur conducteur car il a une faible résistivité et il peut aussi tenir lors des chocs auxquels sont soumis les câbles ; Par contre il est difficilement manipulable. Aluminium devient ainsi le 2e meilleur matériau pour les câbles dans le domaine des lignes électriques mais sa contrainte de rupture reste trop faible. Afin d'augmenter sa dureté et sa résistance mécanique l'aluminium a été traité et associé à d'autres métaux et les matériaux qui en sont ressortis sont: l'aluminium écroui dur, Aluminium recuit et les alliages (Aluminium-Acier, Almélec). Les caractéristiques des matériaux sont présentées dans le tableau I-2.

L'almélec qui est un alliage d'aluminium de silicium et de cuivre présente des propriétés générales proches de celui du cuivre c'est pour cela qu'il est aujourd'hui le matériau le plus utilisé pour la construction des lignes. Dans le cadre de notre étude nous choisirons donc d'opter pour un câble en almélec et par la suite nous achèverons le dimensionnement du câble [2].

I.3.2. Les isolateurs

L'isolateur sert à retenir mécaniquement les conducteurs aux supports et à assurer l'isolement électrique entre ces deux éléments. Il est constitué de deux parties : une partie isolante et des pièces métalliques scellées sur cette partie isolante. Le scellement, généralement du mortier de ciment, assure la liaison mécanique des parties isolantes entre elles ou aux pièces métalliques.

On distingue deux principaux types d'isolateurs : les isolateurs rigides et les éléments de chaîne [3].

L'isolateur rigide est relié au support par une ferrure qui, très souvent, est une tige. Le conducteur est fixé directement à l'isolateur à l'aide d'un fil d'attache. Les isolateurs rigides à tige comportent une ou plusieurs cloches assemblées de façon permanente. Il existe également des isolateurs rigides à socle constitués d'une ou de plusieurs pièces en céramique ou en matériau synthétique, assemblées de façon permanente sur un socle métallique. Les isolateurs à tige sont utilisés, en position verticale, horizontale ou oblique, pour les lignes de distribution, de même que pour les lignes télégraphiques et téléphoniques. Ainsi, les poulies (que l'on nomme à tort isolateurs bobines) sont généralement montées en position horizontale [3, 5].

Tension en KV	Nombre d'assiette
15	1 à 2
90	5 à 6
120	6 à 7
150	7 à 8

Tableau I-3 : Choix du nombre d'assiette [3].



Figure I-3: Chaîne de trois isolatrices hautes tensions



Figure I-4: une assiette d'isolateur en verre

L'élément de chaîne est relié à d'autres éléments, à la pince de suspension du conducteur ou au support de façon flexible, par un assemblage à rotule et logement de rotule (Ball and socket) ou à chape et tenon. Il existe deux types principaux d'isolateurs suspendus : les isolateurs à capot et tige (figure I-3) et les isolateurs à long fût (figure I-4). Dans le cas des isolateurs à capot et tige, chaque élément est constitué d'un capot, d'une partie isolante en forme de jupe et d'une tige. L'isolateur à long fût est constitué d'un bâton cylindrique en céramique, muni d'ailettes, à chaque extrémité duquel est fixée une pièce métallique de liaison. Les isolateurs suspendus sont utilisés pour les lignes de transport [3,4].

Un ensemble de plusieurs éléments de chaîne forme une chaîne d'isolateurs. Les chaînes verticales ou obliques suspendent les conducteurs aux pylônes d'alignement ; on les appelle chaînes de suspension ou chaînes d'alignement. Une chaîne de suspension peut être simple (4.1), double (4.2), en A (4.3) ou en V (4.4). Les chaînes horizontales relient les conducteurs aux pylônes d'ancrage ; on les appelle chaînes d'ancrage (figure I-3). Une chaîne d'ancrage peut être simple ou double.

Les isolateurs sont munis de différents accessoires tels que les dispositifs de fixation des isolateurs aux pylônes, les pinces, les pièces de garde et contrepoids.

Examinons l'agencement d'une chaîne de suspension simple constituée d'isolateurs à capot et tige. On trouve d'abord les organes de liaison entre les isolateurs et la charpente du pylône. Ils comprennent deux éléments : l'étrier de fixation, qui peut être remplacé par une chape, et la rotule à œil qui, elle, fait la liaison entre l'étrier et le premier isolateur. À la suite du dernier isolateur, on trouve la pince de suspension ou pince d'alignement. Cette pièce, destinée à supporter un conducteur, comporte essentiellement une gouttière métallique plus ou moins évasée et s'accroche au moyen d'accessoires de fixation sous la chaîne d'isolateurs. On trouve enfin les pièces de garde qui ont pour rôle principal d'éloigner l'arc de contournement de la chaîne. Ces pièces de garde comprennent les cornes de garde et les anneaux de garde ou anneaux pare-effluve dont l'usage est plutôt limité aux lignes à très haute tension. Pour le choix des assiettes d'un isolateur voir tableau I-3.

Dans le cas des chaînes doubles, on place un palonnier entre les pylônes et les files d'isolateurs ou entre les files d'isolateurs et les conducteurs. Le palonnier est une pièce métallique, généralement de forme triangulaire, permettant d'attacher plusieurs files d'isolateurs ou plusieurs conducteurs en un seul point de fixation. La disposition des pièces de garde est la même que sur les chaînes simples.

Dans le cas des chaînes d'ancrage (simple ou double), on utilise une pince d'ancrage pour supporter le conducteur. Il s'agit d'un dispositif destiné à soutenir la tension mécanique du conducteur.

Un autre accessoire, le contrepoids, est une masse constituée d'un ou de plusieurs éléments ayant la forme de galettes et servant à diminuer le soulèvement de la chaîne de suspension et, par conséquent, à limiter l'amplitude du balancement [1, 2 , 5].

I.3.3. Les parafoudres et interrupteurs aériens

I.3.3.1. Les parafoudres

Les lignes électriques sont généralement exposées aux décharges électriques atmosphériques qui sont de l'ordre des milliers de kilovolts. Ces décharges créent des surtensions dans le réseau.

Le parafoudre est utilisé pour dévier vers la terre les surtensions apparaissant aux moments de décharges orageuses, afin de protéger la ligne et les autres appareils sur cette ligne.

Nous avons installé trois jeux de trois parafoudres repartis sur la ligne à équidistance.

I.3.3.2. Interrupteurs aériens

En cas des défauts sur la ligne, cette ligne doit être mise hors tension afin de la protéger ou d'intervenir.

Nous avons installé un interrupteur aérien à creux de tension (IAC) au début de la ligne.

L'IAC installé à une intensité nominale de 200 A et un pouvoir de coupure de 200 A. Un interrupteur aérien à commande manuelle (IACM) est installé au bout de la ligne. Il a une intensité nominale de 200A et un pouvoir de coupure de 31,5 A [2 , 3 ,4].

I.3.4. Supports et armements

I.3.4.1. Supports

Les supports maintiennent les conducteurs à une hauteur convenable au-dessus du sol par l'intermédiaire de traverses ou bras.

Pour les lignes de moins de 70 KV, on peut employer comme supports de simples poteaux en bois ; pour des tensions supérieures, le bois n'est utilisé que sous forme de portiques (Figure I.5). Le bois est souvent injecté de créosote ou de certains sels métalliques pour le préserver contre la pourriture. Pour les lignes à très haute tension, on emploie toujours des pylônes métalliques. Ils sont constitués par des fers corniers boulonnés (Figure I.6).

La distance entre les fils conducteurs doit être suffisante pour empêcher leur contact, même sous l'action d'un vent violent. L'écartement entre les fils doit être d'autant plus grand que la distance entre les pylônes est plus grande et que la tension de la ligne est plus élevée. Par exemple, l'écartement entre les phases est habituellement de 12 m sur les lignes à 735 KV [3].



Figure I-5: Pylônes double drapeau (à deux circuits)

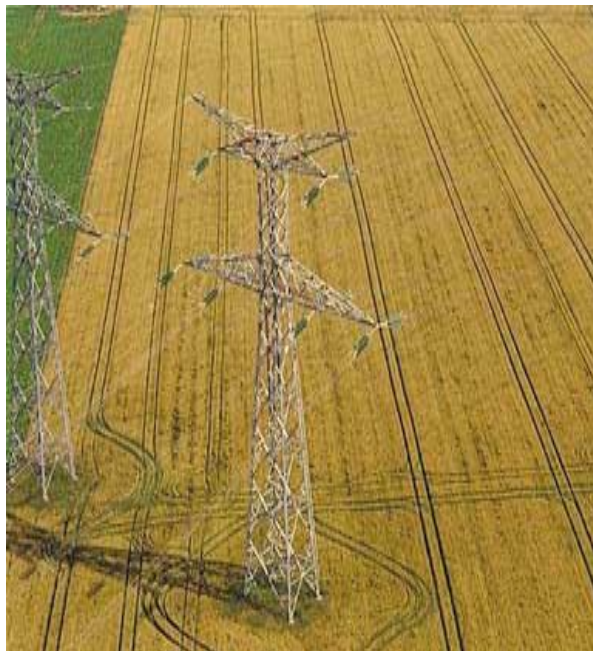


Figure I-6: Pylône Beaubourg



Figure I-7: Pylône Auteuil



Figure I-8: Pylône Muguet

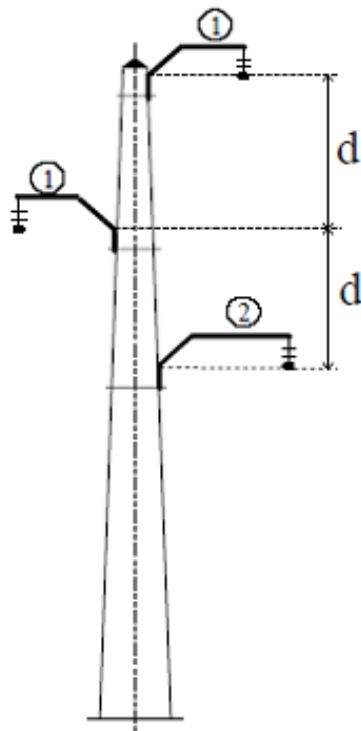


Figure I-11: armement alterné

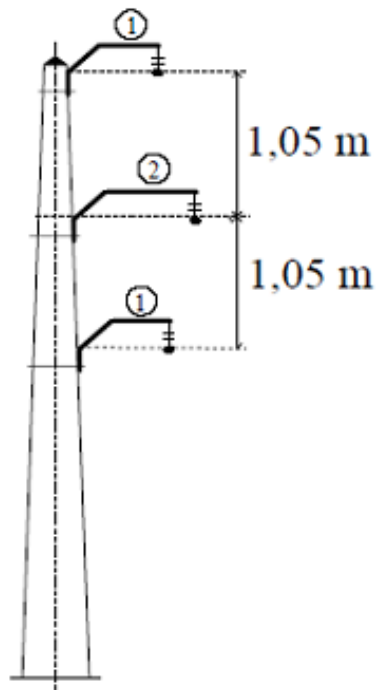


Figure I-12: armement en drapeau

I.3.5. Les fondations

Les fondations d'une ligne servent à transmettre les efforts provenant du pylône (poids propre de l'ensemble composant la structure, charges telles que les câbles, les isolateurs...) ainsi que les efforts induits par le pylône vers le sol. Les sols n'étant pas tous "résistants" de la même manière et les pylônes n'ayant pas tous les mêmes charges, les dimensions sont donc différentes pour chaque cas , (voir tableau I-4) [3, 5].

terrain	Nature géologique	Pression admissible (KN / m^2)	Angle de soulèvement des terres(°)	Type fondation
Terrain rocheux	Roches dures	1000		Pleine fouille
Bon terrain-sans eau	Roche tendre, latérite	400	30-37	U
Terrain intermédiaire-sans eau	Marne, argile	200	22-26	U
Mauvais terrain-sans eau	Argiles molles	100	nov-15	A
Terrain immergé	Argiles saturées	100	nov-15	S

Tableau I-4 : Types de fondation en fonction des caractéristiques du sol

Chaque type de fondation est associé non seulement à la nature du terrain qui le recevra mais aussi à la fonction du pylône qui sera implanté à cet endroit-là. Vous trouverez dans le schéma ci-dessous des croquis des différents types de fondations.

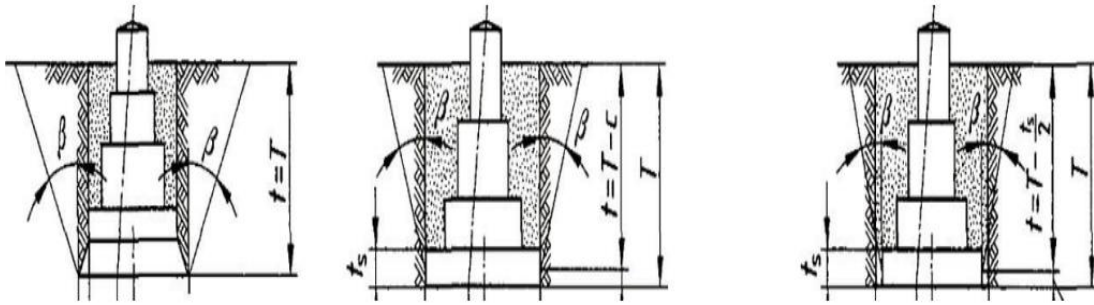


Figure I-13: Fondation à redans, fondation bétonnée contre paroi, fondation à coffrage

I.3.6. Fils de garde

Sur certains pylônes de la ligne il existe deux conducteurs non isolés disposés au sommet. Ces conducteurs, appelés fils de garde, servent à intercepter la foudre avant que la décharge n'atteigne les conducteurs sous tension de la ligne. Ils ne portent normalement aucun courant ;

Pour cette raison, ils sont ordinairement en acier. On les relie solidement à la terre à chaque pylône [6].

I.4. Les postes de transformation

Les postes de transformation HTA/BTA, représente la frontière physique entre le réseau de distribution HTA et le réseau de distribution BTA. Ils permettent d'abaisser la haute tension HTA en basse tension BTA.

En zone rurale, ces transformateurs sont raccordés directement au réseau HTA sans dispositif de protection. Ils sont protégés contre les courts-circuits BT et contre les surcharges par un disjoncteur équipé d'un déclencheur thermique.

Par contre, en zone urbaine, ces transformateurs sont raccordés au réseau HTA par l'intermédiaire de fusibles HTA et également protégés du côté BT par de fusibles BT.

La coordination de ces différentes protections est assurée au moyen d'un choix judicieux des calibres de ces fusibles afin de respecter une bonne sélectivité [5] .

Les postes peuvent revêtir divers aspects :

- ✓ Les postes de transformation en cabine basse
- ✓ Les postes de transformation en cabine maçonnée haute
- ✓ Les postes de transformation sur poteau

Les postes de transformation sur poteau sont ceux qui sont utilisés dans notre projet. On rencontre de puissance normalisée de 50 KVA, 100 KVA et 160 KVA [5 ,6].

I.5. les principales définitions géométriques et mécaniques de la ligne

I.5.1. La portée (a)

La portée (a) est une distance horizontale exprimée en mètre qui est comprise entre deux supports consécutifs. Elle est fonction du type de ligne (en agglomérations maximum 80m, en zones rurales maximum 180 m). Elle est une donnée du problème car les calculs mécaniques se conduisent pour chaque portée.

Les portées peuvent être souvent irrégulières dans un même canton. Dans notre projet, nous avons des portées irrégulières. Ces irrégularités sont dues aux obstacles rencontrés sur le terrain qu'il faut éviter qui sont soit des ravins, des gros arbres ou des concessions.

La portée moyenne est définie comme la moyenne arithmétique des différentes portées d'un canton [4, 5].

La portée équivalente est calculée à partir de la formule suivante :

$$L_{eq} = \sqrt{\sum_{i=1}^n l_i^3 / \sum_{i=1}^n l_i}$$

Avec :

l_i = une portée,

n : nombre de portée

I.5.2. La flèche (f)

La flèche est considérée comme la distance verticale maximale entre la droite joignant les deux attaches et les conducteurs. A l'origine, elle dépend de la tension de réglage de la ligne ; et varie ensuite sous l'influence de la température et des surcharges sur la ligne.

La flèche est choisie en fonction de la température maximale de conducteurs qui est généralement pris à 55 °C, c'est le cas considéré comme le plus défavorable. Elle est calculée en fonction du paramètre comme suit [5, 6] :

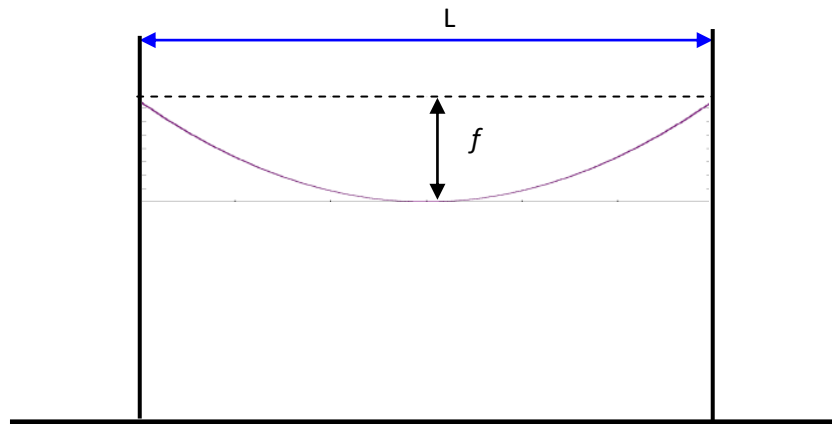


Figure I-14: la flèche et la portée d'un câble

Les principaux facteurs qui affectant la flèche

- le poids du conducteur - la flèche du conducteur est directement proportionnel à son poids. Le poids des conducteurs est augmenté en raison du chargement de la glace.
- la portée longitudinale - la flèche est directement proportionnel au carré de la longueur de la portée. Une portée plus longue donne plus de fléchissement.
- Tension - la flèche est inversement proportionnelle à la tension dans le conducteur. Une tension plus élevée augmente la contrainte (la tension) dans les isolateurs et les structures de support.
- Vent - Il augmente le fléchissement dans le sens incliné.
- Température - la flèche est réduite à basse température et augmente à des températures plus élevées.

I.5.3. Poids spécifique ou linéique du conducteur (γ)

C'est le rapport entre le poids de 1 m de conducteur et la section du conducteur. Il est différent selon la nature et la constitution du conducteur et est exprimé en daN/m.mm^2 [5].

I.5.4. Tension unitaire (t)

A l'origine, elle dépend du réglage de la ligne. La tension varie ensuite en fonction de la température et sous influence des surcharges. Elle est exprimée en daN/mm² [6].

I.5.5. Le paramètre (a)

Pour les lignes aériennes HTA et BT, la courbe formée par le conducteur peut être assimilée à une parabole. Sur le schéma ci-dessous, le paramètre P représente le rayon de courbure du cercle tangent au sommet de la parabole [5].

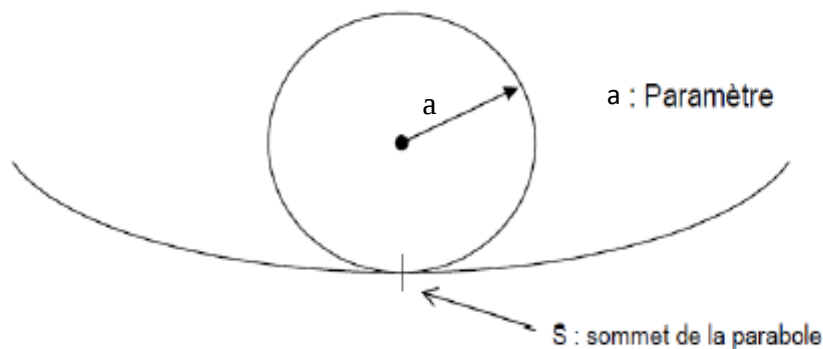


Figure I-15: Le paramètre (a) d'un câble

Le paramètre a est compris entre plusieurs centaines de mètres et deux à trois mille mètres.

I.5.6. Angle d'orientation

C'est l'angle Ω que fait l'axe de grande inertie du support (axe X) avec la bissectrice de l'angle de piquetage, en grades. En général, cet angle vaut 0 grade en arrêt, et 100 grades en alignement [5].

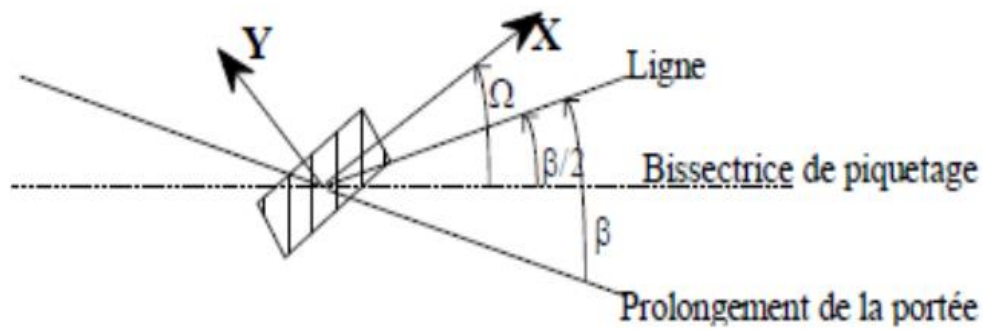


Figure I-16: Angle de piquetage

I.5.7. Un canton

Un canton est une succession des portées tant que les armements sont en alignement. Les fonctions Arrêt-Simple, Arrêt-Double et Semi-Arrêt représentent les limites des cantons. Une limite de canton permet d'éviter une rupture en cascade de toute la ligne en cas d'incident. Selon la norme NFC 11-201, un canton ne doit pas dépasser 15 portées [4].

I.6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce premier chapitre des notions générales sur les éléments des lignes électriques qui composent un réseau électrique, des lignes aériennes: isolateurs, pylônes support, fondation, également les principales définitions des paramètres géométriques et mécaniques de la ligne électrique.

Chapitre II

Calcul mécanique d'une ligne aérienne

II.1. Introduction

Les lignes aériennes de transport d'énergie électrique à haute tension, parcourent de longues distances et traversent en général des régions très différentes de par leur relief (topographie du terrain, altitude, etc.), leur climat (température, pression, vent, etc.), leur environnement (zones industrielles, régions côtières, etc.). De ce fait, les équipements de transport d'énergie électrique sont exposés à diverses formes et degrés de contraintes.

Le présent chapitre porte d'un rappel sur le calcul mécanique et l'influence des variations des conditions environnementales sur les valeurs de la tension mécanique des conducteurs et câbles de garde de la ligne aérienne à haute tension, ainsi ce chapitre consiste à citer les différents types de charges transmises au pylône.

II.2. Calcul mécanique d'une ligne aérienne HT

Les lignes de transport aériennes se constituent d'une série de portées continues où les câbles, soit conducteurs, soit de garde, restent suspendus au moyen de supports. Les conducteurs aériens de transmission sont en général flexibles, et de poids réparti uniformément le long de la longueur du câble. En raison de ces caractéristiques, ils prennent la forme d'une caténaire entre deux points fixes de soutien. Par conséquent, Le calcul mécanique est la détermination des contraintes mécaniques et des flèches de soutien des câbles. Ce calcul doit être en termes de module d'élasticité et coefficient de dilatation, correspondant à la proportion dans laquelle ils sont en aluminium ou en acier (ces valeurs sont fournies par le fabricant) [7,8].

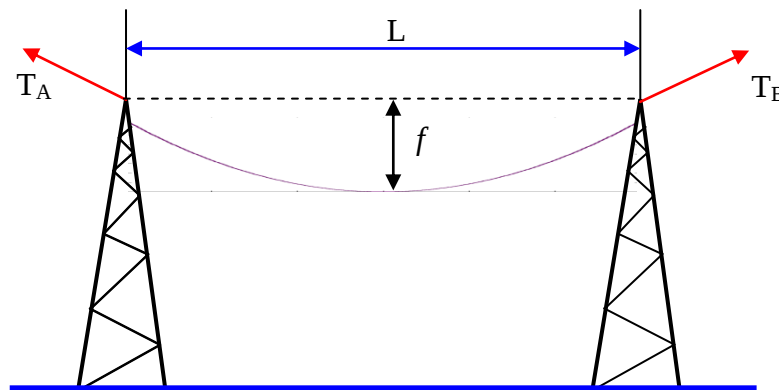


Figure.II-1: Câble suspendu entre deux points fixes au même niveau

Dans l'établissement d'un projet de ligne, il faut en premier lieu, définir les conditions climatiques suivantes :

- Les températures,
- L'action du vent,
- Les surcharges éventuelles de givre.

Pour la pose d'un conducteur, ces conditions sont nécessaires à prendre en compte pour déterminer les contraintes suivantes :

- La garde au sol et distance réglementaire
- la tension de rupture
- la portée maximale

Dans le but d'assurer que, les variations des flèches n'entraînent pas un rapprochement dangereux des conducteurs vers le sol ou vers tous les autres obstacles, la tension mécanique au cours des variations qu'elle subit ne dépasse pas le maximum admissible et la résistance de la rupture du conducteur n'est pas excédée) [7,8].

II.2.1. Représentation de la géométrie de la ligne électrique

On apprend, en mécanique rationnelle, que la courbe d'équilibre d'un fil pesant, homogène, inextensible, flexible, suspendu entre deux points fixes est une chaînette, autrement dit un cosinus hyperbolique.

Or, les conducteurs des lignes électriques sont extensibles du fait de l'élasticité des fils qui les composent, flexibles, quoique possèdent une certaine raideur, quelquefois homogène, mais le plus souvent hétérogène, c'est-à-dire qui sont formées par des groupes de conducteurs de différents matériaux (une combinaison de conducteurs aluminium et l'acier, le cuivre et l'acier, etc.). La courbe d'équilibre n'est donc pas une chaînette, Pour des questions de facilité, on suppose souvent que la courbe d'équilibre d'un conducteur est une parabole [7,8].

II.2.2. La Courbe d'équilibre d'un conducteur

L'équation de la chaînette rapportée à la géométrie de la ligne aux axes OX et OY peut être représentée par la formule suivante) [7,8].

:

$$y(x) = a \cdot \left[\cosh\left(\frac{x}{a}\right) - 1 \right] \quad (\text{II-1})$$

Où a est une quantité définie comme étant le rapport entre la projection horizontale de la Tension mécanique T et son poids linéique p_c . Elle est appelée "paramètre" du conducteur :

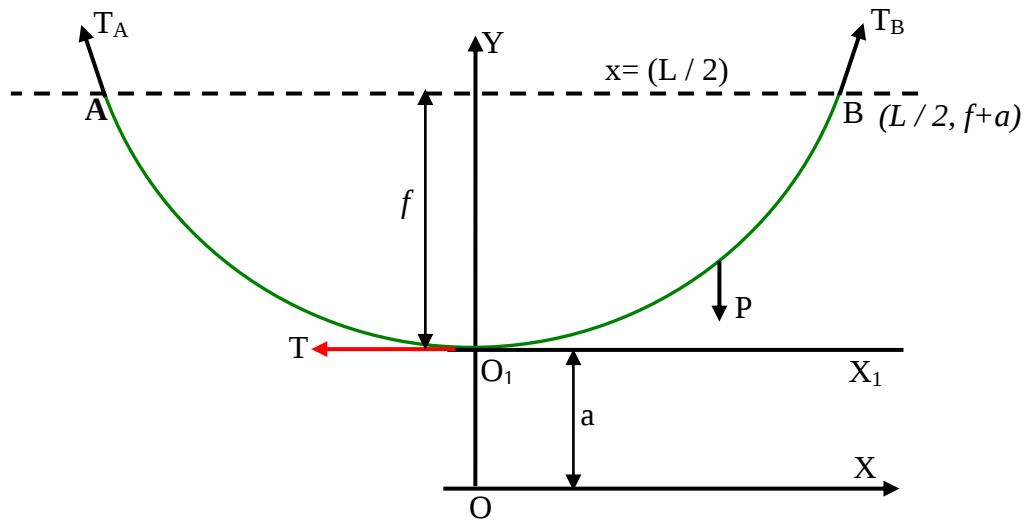


Figure II-2: la chaînette

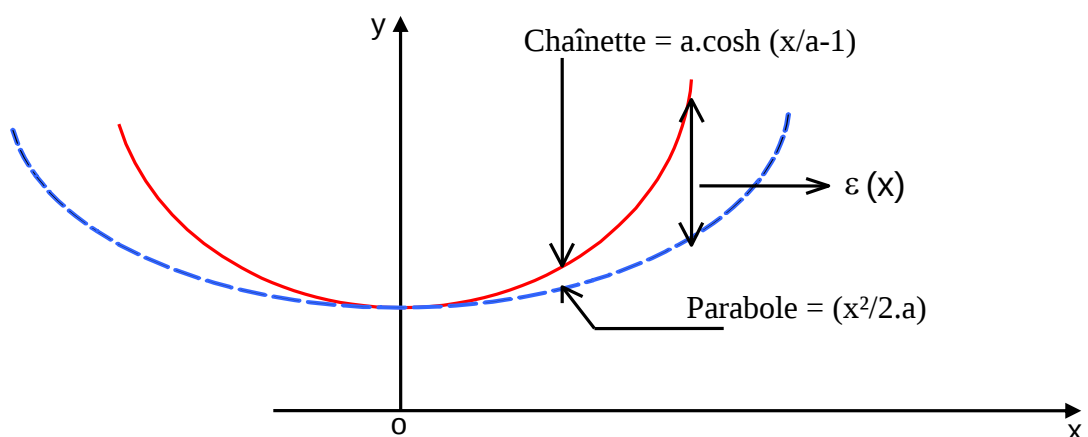


Figure II.3 : Représentation de la parabole et de la chaînette

$$a = \frac{T}{p_c} \quad (\text{II-2})$$

T : la projection horizontale de la tension du conducteur (kg);

p_c : poids linéique du conducteur sur une longueur de 1 mètre (kg/m);

a : le paramètre du conducteur (m).

Dans cette équation le paramètre a est représenté par la distance OO_1 entre l'origine des axes

De coordonnées O et le sommet de la courbe O_1 (fig. 12). Le paramètre a est compris entre plusieurs centaines de mètres et deux à trois mille mètres [7,8].

La chaînette est souvent assimilée à une parabole, ce qui simplifie les formules, et est valable pratiquement dans toutes les applications. L'équation d'équilibre de la parabole rapportée à son axe Oy et à sa tangente au sommet O_1x_1 est :

$$y(x) = \frac{x^2}{2.a} \quad (\text{II-3})$$

II.2.3. Coefficient de sécurité

Le coefficient de sécurité représente le rapport de la charge de rupture du conducteur par l'effort sur le conducteur au cas le plus défavorable donc le réglage des conducteurs est déterminé de manière que, dans la plus défavorable des deux hypothèses réglementaires [6,7,8].

$$C_s = \frac{\text{effort rupture du matériel}}{\text{effort appliqué au matériel dans l'hypothèse considéré}}$$

D'après la norme NF C 11-201, le coefficient de sécurité (CS) est pris égal à :

- $C_s = 3$ pour les pièces travaillant à la traction (conducteurs, chaînes d'isolateurs, accessoires, etc.).
- $C_s = 2.1$ pour les pièces travaillant à la flexion (supports métalliques, ferrures, etc.).

II.2.4. Hypothèses réglementaires

Ce sont les données des conditions climatiques extrêmes propres pour chaque région utilisées pour le calcul [6,7,8].

II.2.4. 1. Hypothèses climatiques

Les hypothèses climatiques nécessaires au calcul des tensions dans les conducteurs sont classées en trois catégories **A**, **B** et **G** ainsi que les coefficients de sécurité adoptés sont résumées dans le tableau suivant [6,7,8] :

Zones	HYP.R Temp.Max Vent Nul	HYP.A Temp.Max vent	HYP.B Temp.Min vent	HYP.G Temp.Giv vent	HYP.EDS Temp.Moy vent
Littoral	+ 45°C V=0 daN/m ²	+ 20°C 48 daN/m ²	- 5°C 18 daN/m ²		+ 20°C 0 daN/m ²
Hauts plateaux	+ 50°C V=0	+ 20°C 48 daN/m ²	- 10°C 18 daN/m ²	- 5°C +Giv 48 daN/m ²	+ 20°C 0 daN/m ²
Sahara	+ 55°C V=0	+ 25°C 48 daN/m ²	- 5°C 18 daN/m ²		+ 25°C 0 daN/m ²
Coefficient de sécurité		Cs=3 supt métalliques	Cs=3 supt métalliques	Cs=1.75 supt métalliques	Cs=5

Tableau II.1 : Différentes hypothèses

Dans les zones soumises à des températures particulièrement basses (moyenne des minimums inférieure à -15° C), on peut envisager pour l'hypothèse B, une température de - 20°C.

II.2.4.2. Hypothèse relative aux vibrations

Afin d'éviter l'effet néfaste des vibrations il y a lieu de vérifier que la force de traction dans les conducteurs, à +15 °C , sans vent , ne dépasse pas [6 ,7,8]:

- 25% de la charge de rupture, pour les conducteurs en cuivre.
- 18% de la charge de rupture, pour les conducteurs en alliage d'aluminium.
- 17% de la charge de rupture, pour les conducteurs en aluminium-acier.

Dans le cas d'utilisation de dispositifs antivibratoires, ces limites peuvent être portées à 24% pour l'alliage d'aluminium et 23% pour l'aluminium-acier.

II.2.4.3. Hypothèse relative au givre

Dans le cas de lignes soumises à des surcharges de givre, évaluées selon les régions, à 1 kg/m, 2kg/m ou 5 kg/m, il y a lieu de vérifier également que le facteur de sécurité des conducteurs est supérieur à :

- 1,5 pour les conducteurs en cuivre ou en alliage d'aluminium.
- 1,75 pour les conducteurs en aluminium-acier.

Ces facteurs de sécurités correspondent sensiblement aux limites d'élasticités des métaux.

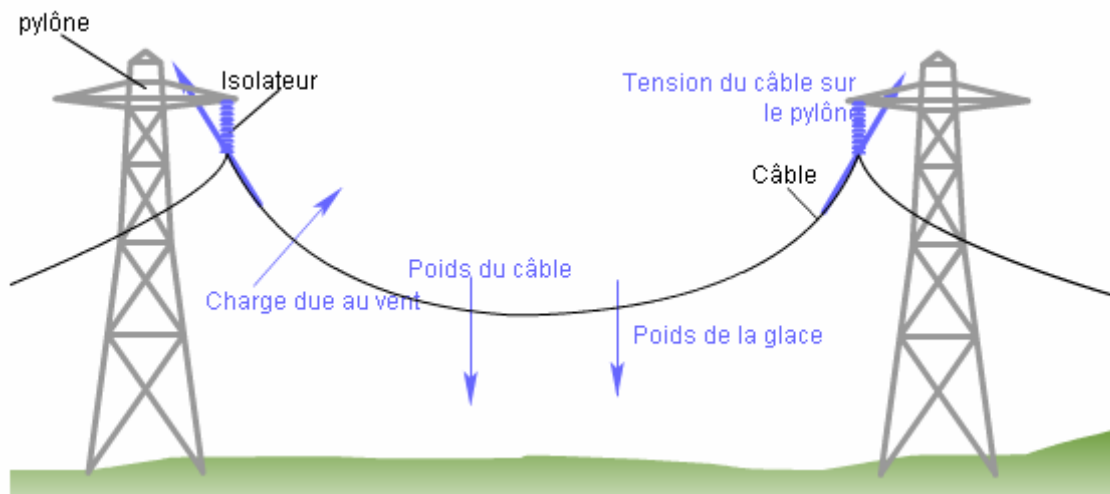


Figure II.4 : Efforts mécaniques appliqués sur le conducteur

II.2.5. La flèche d'un conducteur

La flèche des conducteurs joue un rôle très important dans la conception mécanique et l'entretien des lignes de transport d'électricité. Du côté pratique n'est pas souhaitable de prévoir un affaissement trop élevé ou trop faible [6 ,7,8].

La flèche f est la distance verticale qui sépare un point d'abscisse x de la droite joignant les points d'accrochage A et B (figure 3). Elle a un rôle important dans l'étude et la construction d'une ligne pour une portée de niveau, la flèche f de la parabole au milieu de la portée s'obtient en fonction de la portée x , en faisant dans l'équation (2) $x = \frac{L}{2}$, d'où

$$f = \frac{L^2}{8.a} \quad (\text{II-4})$$

Avec:

L : portée de la ligne (m)

f : flèche de la ligne (m)

Passons à la chaînette, on obtient la flèche en opérant comme ci-dessus et en soustrayant le paramètre $a = OO_1$

$$f = a \left[\cosh\left(\frac{L}{2.a}\right) \right] \quad (\text{II-5})$$

II.2.6. La longueur du câble

L'arc de chaînette AB (fig. 12) s'obtient en intégrant l'élément différentiel de longueur d'arc $d\ell$ [6,7,8] :

$$d\ell = \left(\sqrt{1 + y'^2} \right) dx \quad (\text{II-6})$$

y' : est la dérivée de la fonction $y(x) = a \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right)$ qui représente la chaînette.

$$y' = \sinh\left(\frac{x}{a}\right) \quad (\text{II-7})$$

Et l'élément différentiel devient

$$d\ell = \left(\sqrt{\cosh^2\left(\frac{x}{a}\right)} \right) dx \quad (\text{II-8})$$

Pour une portée de niveau, La longueur d'arc est ainsi :

$$\ell = 2 \cdot \int_0^{L/2} \cosh\left(\frac{x}{a}\right) dx = 2 \cdot a \cdot \sinh\left(\frac{L}{2 \cdot a}\right) \quad (\text{II-9})$$

L : la portée du conducteur entre les points A et B supposés de niveau (symétriques par rapport à Oy).

La longueur d'un arc de la parabole se déduit On retient, en fait, les deux premiers termes de du développement en série du sinus hyperbolique.

$$\ell = L + \frac{L^3}{24 \cdot a^2} \quad (\text{II-10})$$

II.2.7. Tension mécanique en un point quelconque du câble

La tension T_x dans le conducteur à une distance x du point bas de la chaînette est :

$$T_x = \frac{T_0}{\cos \theta} = T_0 \cdot \sqrt{(1 + y')^2}$$

D'où :

$$T_x = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right)$$

et, avec la relation (II.1) :

$$T_x = P_c \cdot a \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = P_c \cdot y$$

Cette dernière relation signifie que la tension tangentielle en un point A d'abscisse x_A a pour valeur soit le poids d'un câble identique dont la longueur est égale à l'ordonnée y_A du point A, soit la tension T_0 au point bas augmenté du poids d'un câble identique dont la longueur est égale à la différence des ordonnées du point A et du point bas de la chaînette.

La tension du câble au droit des appuis A et B (points de suspension) [6,7,8] :

Sachant que

$$T_x = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{x \cdot P_c}{T_0}\right)$$

En faisant dans l'équation (2) $x = \frac{a}{2}$, d'où

$$T_A = T_B = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot P_c}{2 \cdot T_0}\right)$$

La tension du câble au droit des appuis A et B pour un arc de la parabole s'écrit comme suit:

$$T_A = T_B = \sqrt{T_0^2 + \left(\frac{a \cdot P_c}{2}\right)^2}$$

II.2.8. Tension maximale de conception

La tension maximale appliquée au conducteur, doit être inférieure à son tension de claquage.

Les critères de conception de lignes de transmission considèrent généralement que la valeur de la tension maximale ne dépasse pas 50% de la tension de rupture du conducteur [6,7,8].

$$T_{\max} \leq \frac{T_{\text{rupture}}}{CS}$$

Avec :

T_{rupture} : tension de claquage du conducteur en kg.

CS : Facteur de sécurité

En partant de l'équation de la tension du câble aux appuis définie comme suit:

$$T_{\max} = T_0 \cdot \cosh\left(\frac{a \cdot P_c}{2 \cdot T_0}\right)$$

En utilisant la méthode de Newton Raphson, on peut déterminer la valeur de T_0 .

En utilisant l'équation de la parabole, nous pouvons en déduire l'équation ci-dessous :

$$T_0 = \frac{P_c}{2} \left[\frac{T_{\max}}{P_c} + \sqrt{\left(\frac{T_{\max}}{P_c}\right)^2 - \frac{a^2}{2}} \right]$$

Cette relation est considérée comme valable uniquement si:

$$T_{\max} \geq \frac{P_c \cdot a}{\sqrt{2}}$$

II.9. Ecartement minimal entre les conducteurs :

L'écartement minimal entre les phases pour une ligne HT est imposé par le type de pylône choisi. Cet écartement peut être calculé par la formule empirique suivante [6,7,8] :

$$e \geq k\sqrt{f+l} + U/150 \quad (\text{II.7})$$

Avec

e : écartement minimal entre conducteurs exprimé en mètre

k : coefficient dépendant de la nature du conducteur égal 1 pour les câbles almélec et 0.8 pour l'Aluminium-acier

f : flèche maximale déterminée à 50°C sans vent

l : longueur de la chaîne d'isolateur

U : tension de service en kV

II.2.10. Portée maximale :

C'est la portée qu'il ne faut pas dépasser lors de la répartition des pylônes et d'après la formule de l'écartement entre conducteurs on obtient [6,7,8] :

$$L_{\max} \leq \sqrt{8P \left(\frac{150.e - U}{150k} \right) - l} \quad (\text{II.8})$$

Où:

e : écartement exprimé en mètre

k : coefficient égal 1 pour les câbles almélec

l : longueur de la chaîne d'isolateur

U : tension de service en kV

II.2.11. Portée critique

On définit enfin la portée critique comme étant celle pour laquelle la contrainte observée en conditions hiver est égale à la contrainte observée en conditions été. En d'autres termes, elle correspond à l'égalité de tension du conducteur pour les 2 hypothèses d'été et d'hiver.

La portée critique est en fonction de la charge maximale [6,7,8] :

$$L_c = \frac{T_c}{p_c} \sqrt{\frac{24\alpha(\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

$$T_c = \frac{C_{\max}}{S.C_s}$$

C_s : Coefficient de sécurité.

$C_{\max}$: charge maximale.

S: section du conducteur

Θ_2 température en été ; Θ_1 température en hiver, et m facteur de surcharge

Si la portée réelle est supérieure à la portée critique, le régime d'été sera le plus sévère, sinon c'est celui d'hiver.

II.3. Comparaison des formules pratiques et exactes

Dans l'étude d'une ligne, il est nécessaire de connaître jusqu'à quelle longueur de portée il est possible d'utiliser les formules pratiques.

Exemple : il montrera mieux les différences que l'on peut obtenir. Pour les lignes usuelles en 225 kV ou en 400 kV, un paramètre de 2 200 m est fréquent ; le tableau II.2 compare, pour une portée de niveau, la flèche et la longueur réelle du câble [8].

	Porte horizontale	300 m	500 m	800 m	1000 m	1500 m
Fleche (m)	$f = \frac{L^2}{8.a}$	5.11	14.20	36.36	56.82	127.84
	$f = a \left[\cosh\left(\frac{L}{2.a}\right) - 1 \right]$	5.11	14.21	36.46	57.06	129.08
Longueur du câble (m)	$\ell = L + \frac{L^3}{24.a^2}$	300.23	501.07	804.41	1008.61	1529.06
	$\ell = 2.a.\sinh\left(\frac{L}{2.a}\right)$	300.23	501.07	804.41	1008.66	1529.35

Tableau II.2. Comparaison, pour une portée de niveau, entre formules pratiques et formules exactes pour le calcul de la flèche et de la longueur réelle de câble (le paramètre $a = 2\,200$ m). [8]

Les valeurs de ce tableau montrent que :

— pour la flèche :

- Pour les portées voisines de 500 m, la formule approchée donne une précision suffisante ;
- Pour les grandes portées, il est nécessaire d'utiliser la formule exacte ;

— pour la longueur réelle du câble, la formule approchée est suffisamment précise, même pour les grandes portées [8].

II.4. La flèche d'un conducteur dans le cas d'une portée dénivelée

Considérons tout d'abord une portée inclinée (Figure II.5). Pour obtenir une bonne approximation de la courbe d'équilibre de la portée inclinée, on peut simplement considérer une chaînette dont le point le plus bas coïncide avec le point le plus bas de la portée [6,7,8].

On suppose, pour plus de commodité, que le câble est soumis uniquement au champ de la pesanteur. Si x_a et x_b sont respectivement les abscisses des extrémités A et B de la portée et x_m celle de son point milieu M, on a :

$x_b - x_a = L = \text{portée}$

x_a, y_a : coordonnées du point A : extrémité aval de la portée

x_b, y_b : coordonnées du point B : extrémité amont de la portée

$h = y_b - y_a$: dénivelée de la portée.

Pour une portée dénivelée, d'après la figure 5 on a la relation :

$$x_m = \frac{x_a + x_b}{2}$$

La flèche au point d'abscisse x_m est :

$$f = NM = y_N - y_M = \frac{y_a + y_b}{2} - y_M$$

On substitue l'équation de la chaînette dans la relation précédente, on a alors :

$$f = \frac{a}{2} \left[\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) + \cosh\left(\frac{x_b}{a}\right) \right] - a \cdot \cosh\left(\frac{x_M}{a}\right)$$

La flèche en fonction de x_M sera:

$$f = a \cdot \cosh\left(\frac{x_M}{a}\right) \cdot \left[\cosh\left(\frac{L}{2a}\right) - 1 \right]$$

La flèche en fonction de x_a sera:

$$f = a \cdot \left[\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) - \cosh\left(\frac{L/2 - x_a}{a}\right) \right] + \frac{h}{2}$$

La formule approchée de la flèche (parabole), en portée dénivelée, devient :

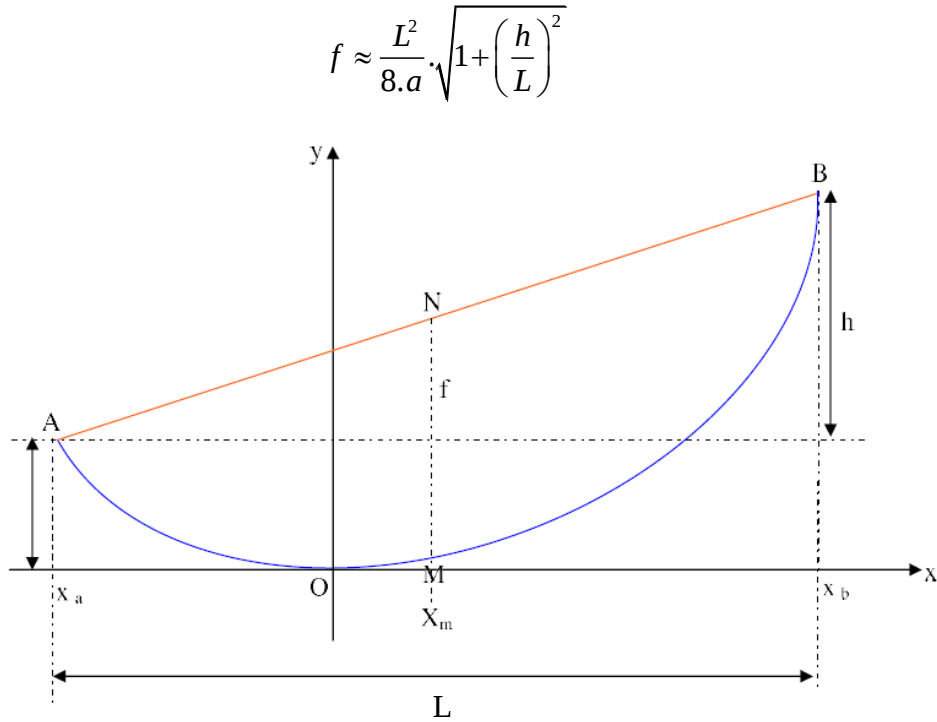


Figure II.5 : Géométrie d'une portée dénivelée

La longueur d'un arc de chaînette se déduit aisément de la relation :

$$d\ell = \left(\sqrt{1 + y'^2}\right).dx = \cosh\left(\frac{x}{a}\right).dx$$

Soit :

$$l_{AB} = \left[a.\sinh\left(\frac{x}{a}\right) \right]_{x_a}^{x_b} = 2.a.\sinh\left(\frac{L}{2.a}\right). \cosh\left(\frac{x_M}{a}\right)$$

Pour la formule approximative de la parabole, la longueur est calculée suivant la formule donnée ci-dessous :

$$l_{AB} \approx \frac{L}{\cos\psi} + \frac{8 \times f^2 \times \cos^3\psi}{3 \times L}$$

Avec:

$$\cos\psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{L}\right)^2}}$$

Les coordonnées cartésiennes des extrémités, peuvent être déterminées comme suit:

Pour la chaînette :

$$x_a = -a \cdot \left[\sinh^{-1} \left(\frac{h/d}{\left[\sinh\left(\frac{L}{a}\right) \right]^2 - \left[\cosh\left(\frac{L}{a}\right) - 1 \right]^2} \right) - \operatorname{tgh}^{-1} \left(\frac{\cosh\left(\frac{L}{a}\right) - 1}{\sinh\left(\frac{L}{a}\right)} \right) \right]$$

Pour la parabole :

$$x_a = \frac{L}{2} - \frac{a \cdot h}{L}$$

$$x_b = L - x_a$$

II.5. Équation de changement d'état

Les expressions de la flèche et de longueur d'arc établies au paragraphe précédent ont été établies pour un conducteur à l'équilibre, avec une portée de niveau, soumis uniquement à l'action de son poids propre. Dans la réalité, Toutes les modifications à prévoir dans le fonctionnement mécanique des lignes se reflètent dans une relation appelée (équation du changement d'état). Pour effectuer le calcul mécanique d'un conducteur est nécessaire de connaître les forces agissant sur elle. Le premier fait à considérer est le propre poids du câble, mais aussi en raison de surcharges importantes existent des intempéries (givre et / ou du vent). De plus, le vent, la neige ou le givre, quand ils agissent uniformément sur toute la portée, changent le poids linéique du câble, le poids de la neige ou du givre s'ajoutant arithmétiquement au poids propre du câble et l'effet du vent s'ajoutant géométriquement [6,7,8].

II.5.1. L'effet du vent sur les lignes électriques aériennes

Le vent influe sur les lignes électriques aériennes en exerçant une pression sur les conducteurs, qui est proportionnelle au carré de la vitesse du vent et la surface exposée, pour un vent horizontal de vitesse v constante, agissant perpendiculairement à la portée, et pose donc une force par unité de longueur, chaque mètre de conducteur est soumis à une poussée $\overrightarrow{p_s}$ de direction horizontale. Il est soumis d'autre part au poids $\overrightarrow{p_0}$ de direction verticale, la figure 14 montre l'effet du vent sur un conducteur [6,7,8].

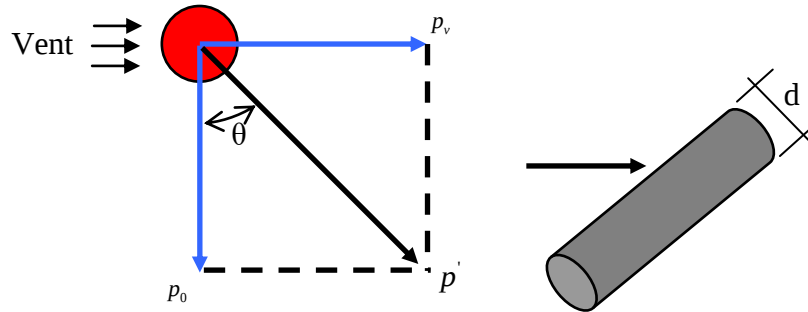


Figure II.6 : l'effet du vent sur un conducteur

D'après le triangle formé à la figure 14, ces deux forces se composent en une résultante (p_c) de module :

$$p_c = \sqrt{p_0^2 + p_v^2} \quad (\text{II-11})$$

Faisant avec la verticale un angle (θ) défini par :

$$\text{tg}(\theta) = \frac{p_v}{p_0} \quad (\text{II-12})$$

P_c est appelé poids apparent du câble par unité de longueur (kg / m).

La force (p_v) par unité de longueur en Kg / m , peut être calculée par la suivante expression :

$$p_v = P.d = 0.007.K.V^2.d. \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \quad (\text{II-13})$$

Où:

P : Pression du vent

V : la vitesse relative du vent par rapport au conducteur (km / h)

d : le diamètre du conducteur (m).

K : Facteur de correction.

Par exemple, pour une surface plane, la constante K est égal à 1. Si la surface exposée au vent a une certaine forme aérodynamique, tels que pour un conducteur électrique de forme cylindrique

$K = 0,6$ pour les câbles d'un diamètre égal ou inférieur à 16 mm

$K = 0,5$ pour les câbles dont le diamètre dépasse 16 mm

La relation entre le poids (p_c) apparent et le poids du conducteur (p_0) est appelée Coefficient de surcharge (m)

$$m = \frac{p_c}{p_0} \quad (\text{II-14})$$

Le conducteur est encore soumis à un champ de forces uniforme et prend la forme d'une chaînette dans le plan P défini par les deux points d'accrochage A et B et par la direction de $\vec{p}$ pour une portée de niveau le paramètre de la chaînette est alors :

$$a' = \frac{T'}{P_c} \quad (\text{II-15})$$

T' : étant la tension (de valeur minimale) au point du conducteur où la tangente est perpendiculaire à $\vec{P}$. Cette tangente n'est horizontale que pour les portées de niveau et correspond alors au milieu M du conducteur.

II.5.2. L'effet du givre sur les lignes électriques aériennes

On désigne sous le nom givre l'une quelconque des formes de l'eau, neige collante, verglas, La glace peut se former autour du conducteur augmente sensiblement le même poids, donc la tension monte et peut atteindre d'endommager les câbles. , cette condition s'applique à des zones géographiques basse température [6,7,8].

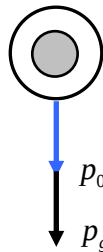


Figure II.7 : l'effet de la glace sur un conducteur

Avec:

p_g = Poids de la glace (kg / m)

La glace agit verticalement comme le poids propre du câble, afin que les deux forces doivent être additionnées.

$$p_c = p_0 + p_g \quad (\text{II-16})$$

p_c : Le poids apparent du câble.

Le poids de la glace peut être calculé en utilisant le critère de l'épaisseur de la glace

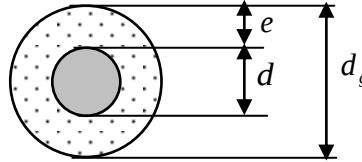


Figure II.8 : calcul du poids de la glace

$$p_g = \rho_g \cdot \frac{\pi}{4} (d_g^2 - d^2) = \rho_g \cdot \frac{\pi}{4} ((d + 2.e)^2 - d^2)$$

$$p_g = \rho_g \cdot \pi \cdot e \cdot (d + e) \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] \quad (\text{II-17})$$

Où :

ρ_g = Poids spécifique de la glace (kg / m^3)

e = épaisseur de la gaine de glace (m)

d = Diamètre du câble (m)

Également, si le câble simultanément est soumis à l'action des surcharges du vent et de la neige (glace), ce qui augmente le poids apparent.

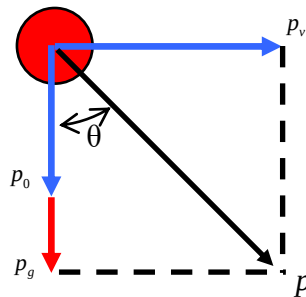


Figure II.9 : Surcharge du vent et de glace sur un conducteur

La force résultante est la somme vectorielle de toutes les forces que subit le câble, elle se calcule comme suit:

$$p_c = \sqrt{(p_0 + p_g)^2 + p_v^2} \quad (\text{II-18})$$

Avec :

$$p_v = P.(d + 2.e) \quad (\text{II-19})$$

Exemple: Une ligne de transmission à un conducteur ACSR (ASCR.Aluminum Conductor Steel-Reinforced), avec une portée moyenne de 210 m. Calculer la flèche pour les conditions de tension maximale. (Coefficient de sécurité $C_s = 2.5$, facteur de sécurité de 40%), la vitesse du vent est 75 km / h et un dépôt de glace de 5 mm d'épaisseur[6,7,8]..

Le tableau II.3 monté ci-dessous illustre les caractéristiques du conducteur (ASCR).

Câble ACSR	les caractéristiques
Diamètre extérieur	14,31 mm
poids	0,4325 kg/m
Tension de rupture	3820 kg
Section total	125,1 mm ²

Tableau II.3. Caractéristiques du conducteur (ASCR)

La densité volumique de la glace est 920.8 kg/m³, le facteur de correction K=0.6.

Le poids de la glace :

$$p_g = \rho_g . \pi . e . (d + e) = 920,8 . \pi . 0,005 (0,01431 + 0,005) = 0,2793 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \quad (\text{II-20})$$

La force du vent:

$$p_v = 0,007 . 0,6 . V^2 . (d + 2.e) = 0,007 . 0,6 . (75)^2 . (0,01431 + 2.0,005) = 0,5743 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) \quad (\text{II-21})$$

Le poids apparent:

$$p_c = \sqrt{(p_0 + p_g)^2 + p_v^2} = \sqrt{(0,4325 + 0,2793)^2 + (0,5743)^2} = 0,9146 \left(\frac{Kg}{m} \right) \quad (II-22)$$

Le poids spécifique:

$$p_s = \frac{p_0}{s_t} = \frac{0,4325}{125,1} = 0,003457 \left(\frac{Kg}{m.mm^2} \right) \quad (II-23)$$

La tension de fonctionnement:

$$T = \frac{T_r}{C_s} = \frac{3820}{2,5} = 1528 \quad (Kg) \quad (II-24)$$

La tension de fonctionnement spécifique :

$$T_s = \frac{T}{s_t} = \frac{1528}{125,1} = 12,21 \left(\frac{Kg}{mm^2} \right) \quad (II-25)$$

Le coefficient de la surcharge :

$$m = \frac{p_c}{p_0} = \frac{0,9146}{0,4325} = 2,115 \quad (II-26)$$

Calcul de la flèche:

$$f = \frac{L^2}{8.a} = \frac{p_c.L^2}{8.T} = \frac{0,9146.(210)^2}{8.1528} = 3,30 \quad (m) \quad (II-27)$$

II.5.3. L'effet de la Température sur les lignes électriques aériennes

L'accroissement de la température va provoquer un allongement du conducteur et donc une Détente de sa tension, pour une portée de niveau, dont les appuis sont rigoureusement fixes, Pour ce faire, nous allons supposer que le conducteur est homogène, c'est-à-dire que le module d'élasticité E (module de Young) et le coefficient de dilatation linéaire sont constants. Nous connaissons la température du conducteur, le poids apparent du conducteur et la tension du conducteur dans un état initial qui correspond respectivement à **[1,8,9]**.

Soit un conducteur homogène passant de l'état 1 à un autre l'état 2.

L'État initial

θ_1 : Température du conducteur du première état

T_1 : tension du conducteur du premier état

a_1 : paramètre du conducteur du premier état

On veut déterminer quelle sera la tension dans le conducteur dans un autre état final caractérisé par :

L'état final

θ_2 : Température du conducteur du deuxième état

T_2 : tension du conducteur du deuxième état

a_2 : paramètre du conducteur du deuxième état

On sait que la longueur d'arc d'une portée de niveau (sous l'hypothèse d'un arc de forme parabolique) qui correspondent aux deux états sont données respectivement:

$$s_{1AB} = L + \frac{L^3}{24.a_1^2} \quad (\text{II-28})$$

$$s_{2AB} = L + \frac{L^3}{24.a_2^2} \quad (\text{II-29})$$

Où :

L: est la longueur de la portée ;

a: le rapport de la tension du conducteur sur son poids apparent.

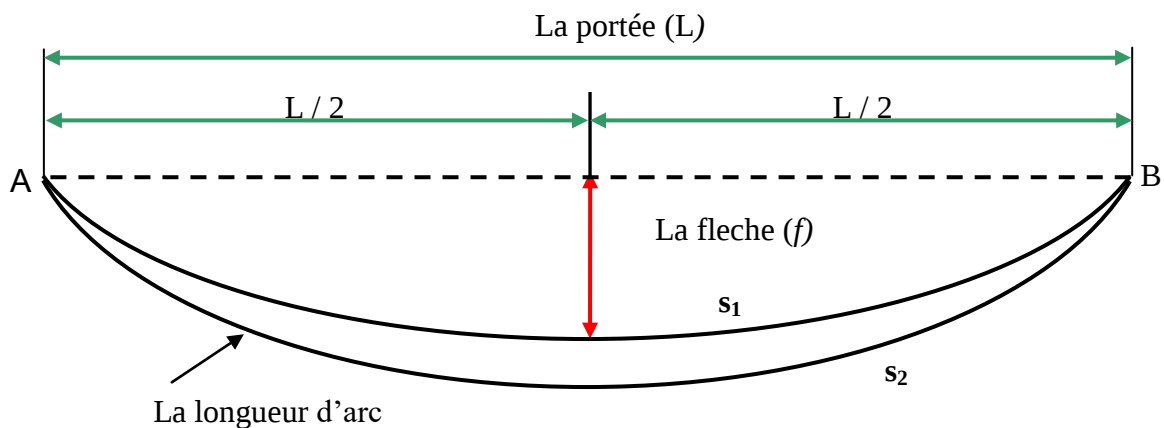


Figure II.10 : flèche (f), portée (L), longueur d'arc (s)

Pour obtenir l'expression de l'équation d'état, il suffit de remarquer la différence de longueur d'arc entre l'état final et l'état initial, notée Δs_{AB} peut se déterminer aussi bien par la somme algébrique de (calcul):

$$\Delta s_{AB} = s_{2AB} - s_{1AB} = \frac{L^3}{24} \left(\frac{1}{a_2^2} - \frac{1}{a_1^2} \right) \quad (\text{II-30})$$

La différence de longueur est la somme de l'allongement élastique et de l'allongement thermique De l'allongement élastique

$$s_{1AB} \cdot \frac{T_2 - T_1}{E \cdot S} \quad (\text{II-31})$$

Et de l'allongement thermique.

$$s_{1AB} \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (\text{II-32})$$

Où :

E est le module de Young du conducteur (N/m²) ;

α : le coefficient de dilatation linéaire du conducteur (1/m.Kelvin) ;

S : la section du conducteur.

Tandis que géométriquement, par définition de la parabole et de la longueur d'une courbe Il vient:

$$\frac{L^3}{24} \left(\frac{m_2^2 \cdot p_c^2}{T_2^2} - \frac{m_1^2 \cdot p_c^2}{T_1^2} \right) = s_{AB} \cdot \frac{(T_2 - T_1)}{E \cdot S} + s_{AB} \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (\text{II-33})$$

Où:

m_1 : L'état de charge du conducteur défini par le coefficient de surcharge;

m_2 : Le nouvel état de charge du conducteur défini par le coefficient de surcharge;

p_c : Poids linéique du conducteur sur une longueur de 1 mètre.

En divisant les deux membres de l'équation par L, et en faisant l'hypothèse que $s_{AB} \approx L$ on obtient l'équation d'état:

$$\frac{L^2}{24} \left(\frac{m_2^2 \cdot p_c^2}{T_2^2} - \frac{m_1^2 \cdot p_c^2}{T_1^2} \right) = \frac{(T_2 - T_1)}{E \cdot S} + \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (\text{II-34})$$

Cette équation est souvent écrite sous la forme suivante:

$$\left[\frac{m_2^2 \cdot p_c^2 \cdot L^2}{24 \cdot T_2^2} - \frac{T_2}{E \cdot S} - \alpha \cdot \theta_2 \right] = \left[\frac{m_1^2 \cdot p_c^2 \cdot L^2}{24 \cdot T_1^2} - \frac{T_1}{E \cdot S} - \alpha \cdot \theta_1 \right] \quad (\text{II-35})$$

(II-35) est l'équation de M. Blondel [1,8,9]..

II.6. Simplification de la géométrie longitudinale de la ligne électrique

La chaînette est souvent assimilée à une parabole, ce qui simplifie les formules, et est valable dans pratiquement toutes les applications. La forme géométrique la plus juste d'un conducteur suspendu entre deux pylônes peut être décrite en sachant les paramètres tels que la distance entre les deux points de suspension, la flèche f , la hauteur minimale $h_{\min}$ (à la mi-portée) et la Hauteur maximale $h_{\max}$. Ces paramètres peuvent être utilisés pour différentes combinaisons [5]. Le centre de gravité se trouve à mi- portée entre les pylônes, comme elle représente la figure (II.11). [10].

Ce calcul prend en considération les effets caténaux de la ligne, L'effet caténaire (du latin *catena*, chaînette) fait courber les conducteurs sous l'action de leur propre poids, la symétrie se trouve à mi-distance entre les pylônes, la courbe dessinée par la ligne est supposée de forme parabolique, soit, du type : $y = a - b \cdot z^2$.

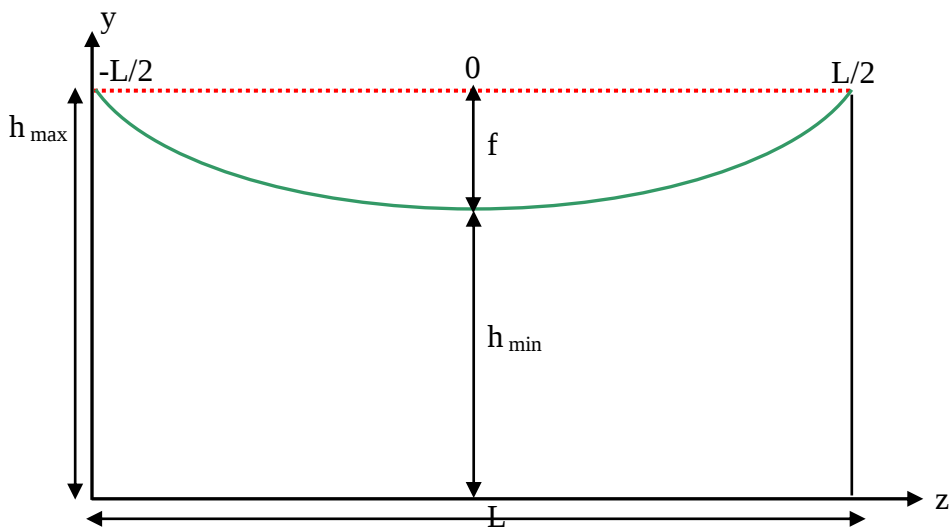


Figure II.11: Les dimensions d'une ligne électrique aérienne

En $z = \pm \frac{L}{2}, y = h_{\max}$ (II .36)

En $z=0, y = h_{\min}$

Nous obtenons : $a = h_{\min}, b = -f \cdot \left(\frac{2}{L}\right)^2$ (II .37)

L'équation de cette parabole est :

$$y = h_{\min} + f \left(\frac{2z}{L}\right)^2 \quad (\text{II .38})$$

Où:

f : la flèche de la ligne.

L : la longueur de la ligne.

Certains calculs considèrent les conducteurs de la ligne de transport comme droit, parallèle

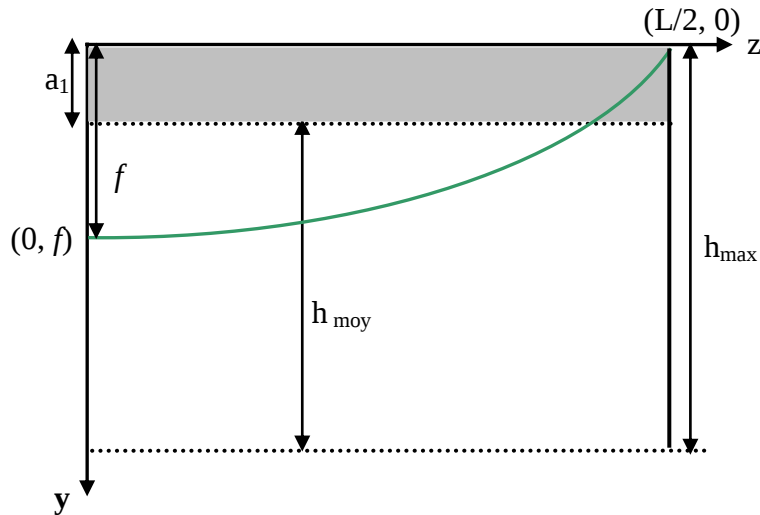


Figure II.12: calcul de la hauteur moyenne d'une ligne électrique aérienne

Aux autres et parallèle à un sol plat, en annulant l'effet de chaînette, le fléchissement dû au poids de la ligne est négligé. Dans ce cas On introduit la notion de la hauteur moyenne entre

la hauteur maximale et la hauteur minimale de la ligne, la position verticale moyenne du conducteur peut être calculée en utilisant l'approche de la parabole **[10]** :

Moyennant les conventions de la figure II.12 :

$$\text{En } z = 0 \text{ m, } y = f \text{ (flèche maximale)} \quad (\text{II .39})$$

$$\text{En } z = \frac{L}{2}, y = 0 \quad (\text{II .40})$$

Nous obtenons:

$$a = f, b = f \cdot \left(\frac{2}{L}\right)^2. \quad (\text{II .41})$$

L'équation de cette parabole est :

$$y = f \cdot \left[1 - \left(\frac{z}{(L/2)} \right)^2 \right] \quad (\text{II .42})$$

La position moyenne est estimée en égalant les aires sous-tendues par la parabole équivalente et la droite horizontale constituant notre ligne conformément à la figure précédente.

Nous calculons alors l'intégrale:

$$\int_0^{L/2} y(z).dz \quad (\text{II .43})$$

Cette intégrale doit être égale à la surface du rectangle, d'où :

$$\left(\frac{L}{2}\right) \cdot a_1 = \int_0^{L/2} f \cdot \left[1 - \left(\frac{z}{(L/2)} \right)^2 \right] \cdot dz \quad (\text{II .44})$$

$$\text{Ce qui donne : } a_1 = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot f \quad (\text{II .45})$$

Afin de simplifier la géométrie de la ligne électrique, la hauteur moyenne (H_{moy}) d'un conducteur est la distance maximale du conducteur à la terre (H_{max}) moins $(2 / 3)$ de la flexion maximale, comme le montre l'équation ci-dessous

$$h_{moy} = h_{max} - \left(\frac{2}{3}\right) \cdot f \quad (\text{II .46})$$

h_{max} : La hauteur maximale

f : La flèche de la ligne

II.7. Calcul mécanique des supports (pylône métallique)

Les pylônes sont destinés à maintenir les conducteurs à une hauteur suffisante du sol, en tenant compte de la flèche maximum et à résister aux charges qui leur sont appliquées dans toutes les hypothèses administratives définies à partir des conditions climatiques prises en considération [6, 11, 12, 13] .

Les supports sont définis en fonction des contraintes mécaniques principalement créées par les conducteurs et les câbles de garde qu'ils supportent et en fonction des contraintes d'isolement électrique .

II.7.1. Etude des charges présentes sur un support (pylône métallique)

Afin de bien dimensionner notre pylône il est nécessaire de recenser et de charges qu'il devra supporter pendant sa durée de vie : du poids et des différends, chaine d'isolateurs, du conducteur, du câble de garde en fonction climatiques « hypothèses ».

Les supports sont soumis :

- ✓ à l'effort du vent sur le support lui-même
- ✓ aux efforts transmis par les conducteurs Par :

- l'action du vent sur les conducteurs

- Par leur tension mécanique

En distribution on ne tient pas compte des efforts transmis par les ferrures et les isolateurs.

La valeur des efforts à prendre en compte pour le calcul des supports est celle résultant de la plus défavorable des hypothèses envisagées réglementaires [6, 13, 14, 15].

.

a-Hypothèse A

Température moyenne de la région (+ 15° C en général) avec vent horizontal exerçant une pression de :

- 1 200 Pa sur les surfaces planes (10 pascals = 1 daN/m²)

- 720 Pa sur les sections longitudinales des pièces à (section circulaire sauf :
.Les conducteurs pour lesquels la pression sera de 480 Pa
.Les supports ou éléments de supports à section circulaire de [grand diamètre
Pour lesquels la pression sera; soit de 480 Pa avec minimum de 10 daN par mètre de longueur,
soit de 720 Pa si ce cas est plus favorable [6, 13, 14, 15].

b-Hypothèse B

Température minimum de la région (-10° C en général) avec vent horizontal exerçant une pression de :

- ✓ 300 Pa sur les surfaces planes
- ✓ 180 Pa sur les sections longitudinales des pièces à section circulaire.

Des directives locales peuvent modifier ces minimas.

Dans les régions où peuvent se produire des dépôts de givre sur les conducteurs, il y a lieu d'en tenir compte dans les calculs justificatifs.

L'effort nominal des supports est l'effort disponible, au coefficient de sécurité élémentaire 3, à 0,25 m sous la tête du support. Toutes les forces sont à ramener à ce point.

Le calcul des efforts qui s'appliquent sur un pylône peut être décomposé en 2 par [6, 13, 14, 15]:

II.7.2. Efforts concernant la structure métallique

Ces efforts sont particulièrement le poids propre du pylône même et l'effort du vent soufflant transversalement ligne sur le pylône [6, 13, 14, 15].

II.7.3. Efforts des éléments extérieurs aux pylônes

II.7.3. 1. Efforts transversaux

Ils tiennent particulièrement compte de l'action du vent sur les différents éléments sur le pylône. et peuvent être décomposés comme suit :

- ✓ Force exercée par le vent sur le conducteur
- ✓ Force exercée par le vent sur la chaîne d'isolateurs
- ✓ Composante d'angle suivant la fonction du pylône

Vous trouverez dans le tableau II.4 ci-dessous les différentes formules de calcul des charges transversales [6, 13, 14, 15].

Eléments concernés	Formule des différents efforts
Conducteurs et cable de garde	$f_c = d \times p_v \times pv_A_cond \times Ct_c \times C_s$
Isolateurs	$f_i = pv_A_iso \times S \times Ct_i \times C_s$
Composante d'angle	$f_\alpha = 2 \times T_A_cond \times \sin\left(\frac{\theta_{\max}(\theta_{\min})}{2}\right) \times C_s$
Avec	d:daimètre en mm p_v :porée vent en m pv_A_cond :pression du vent sur les conducteurs $\text{En}(\text{N}/\text{m}^2)$ C_s :coef f icient de sécurité Ct_c ou Ct_i :coefficient de trainée pv_A_iso : pression du vent sur les isolateur $\text{En}(\text{N}/\text{m}^2)$ T_A_cond : tension selon hypothèse A en da N $(\theta_{\min})$:angel de déviation maximale ou minimale en garde

Tableau II.4. Différentes formules de calcul des charges transversales

Nous constatons que dans ces formules il existe des variables à savoir la pression et la tension Qui changent en fonction des différentes hypothèses. Les différentes valeurs de tension ont été calculées au paragraphe précédent, il faudrait qu'on calcule les valeurs de pression. La pression se calcule suivant la formule suivante [6, 13, 14, 15]:

$$p_v = p \times \frac{vh^2}{2}$$

Ou :

vh: Vitesse à la hauteur h en m/s

p : Masse volumique en (Kg/m³)

II.7.3.2. Efforts verticaux

Ils sont dus aux poids des différents éléments sur le pylône [6, 13, 14, 15].

- Poids de la chaîne d'isolateurs et des autres accessoires : donné par le constructeur :
- Poids du conducteur et du câble de garde :

$$f_{ver} = \text{Poids propre du conducteur} \times p_p$$

Avec ;

p_p : Portée poids est la distance entre 2 points les plus bas de 2 portée consécutives en mètres.

- Poids du givre sur le conducteur:

II.7.3.3. Efforts longitudinaux

Ces efforts ne concernent que les câbles ; ils sont appliqués au niveau du conducteur et du câble de garde et dépendent à majeure partie de la tension au niveau du câble. Ils se calculent suivant ces formules :

$$Fl_{cond} = 50 \frac{0}{0} T_{A_{cond}} \text{ et } fl_{gard} = T_{B_{cdg}}$$

Nous pouvons constater que les efforts augmentent qu'on passe d'un pylône de suspension à un pylône d'angle et qu'ils croient encore plus avec la valeur de l'angle [6, 13, 14,15].

II.8. Conclusion

Nous avons exposé brièvement dans ce chapitre le calcul des paramètres mécaniques de la ligne aérienne tout en prenant en considération les effets caténaux de la géométrie réelle de la ligne électrique. Les conducteurs aériens sont influencés par des facteurs extérieurs dus aux modifications météo logiques (température, vent, givre,...etc.) et par la charge transitaire dans la ligne qui engendre des variations de la tension mécanique. Les conducteurs exercent sur les supports des efforts variés provenant soit de leurs propre poids et de leur tension initiale, soit des charges accidentelles de vent, de neige ou de givre. Ces charges transmises par les conducteurs et les câbles de garde aux supports peuvent être décomposées suivant trois directions rectangulaires choisies de manière à simplifier les calculs des pylônes (charge verticales, charges transversales et charges longitudinales).

Chapitre III

Analyse et interprétation des résultats

III.1. Introduction

Dans la conception d'une ligne aérienne du réseau électrique, il est important de bien mener le calcul mécanique aussi bien au niveau des conducteurs, des supports que des armements. Les conducteurs aériens sont influencés par des facteurs extérieurs dus aux modifications météorologiques (température, vent, givre,...etc.) et par la charge transitaire dans la ligne qui engendre des variations de la tension mécanique.

Le problème principal qui se pose est de vérifier :

- Que la tension mécanique au cours des variations qu'elle subit ne dépasse pas le maximum admissible.
- Que les variations des flèches n'entraînent pas un rapprochement dangereux des conducteurs vers le sol ou vers tous les autres obstacles.

Dans cette section, seront discutés le calcul mécanique des conducteurs par les deux méthodes, la chaînette et la parabole, les différents paramètres liés aux conducteurs tels que, la variation de la tension mécanique et de la flèche en fonction du paramètre du conducteur et de la portée longitudinale, ainsi les contraintes liées au vent, givre et température.

III.2. Calcul mécanique d'une ligne aérienne

III.2.1. Tracé de la chaînette et de la parabole

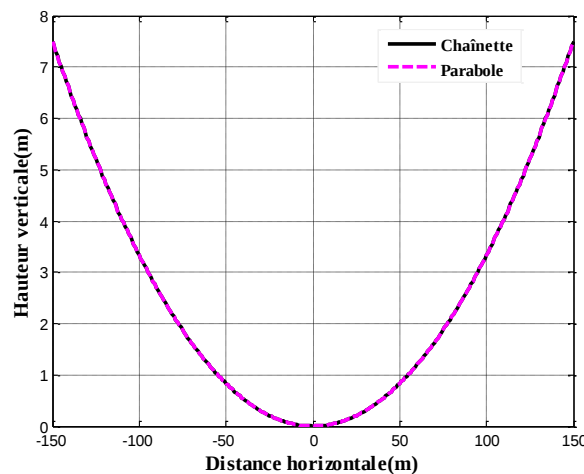


Figure III-1 : Différence entre la géométrie de la chaînette et celle de la parabole

Une chaînette est la forme que prend librement une chaîne suspendue entre deux points. Cette courbe, mathématiquement, est le graphe d'un cosinus hyperbolique. Si on compare le tracé d'une chaînette avec le tracé d'une parabole, comme montrée à la figure III-1 pour une portée $L=300$ m et un paramètre du conducteur $a=1500$ m, on remarque que la chaînette se confond avec une parabole, la différence entre chaînette et parabole est minime. Par conséquent, la parabole est une courbe dont les propriétés sont similaires à la chaînette.

Pour analyser la précision de ces deux méthodes, nous pouvons faire un calcul d'erreur absolue en différenciant les relations de la chaînette et de la parabole.

III.2.2. Comparaison entre la parabole et la chaînette

Afin de comparer les deux tracés avec les mêmes caractéristiques, l'exemple d'un conducteur d'un poids linéique de $1,302$ kg/m et une tension unitaire égale à 2.000 kg.

Diamètre: $25,15$ mm ;

Section: $374,7$ mm².

III.2.2.1. Calcul de la flèche d'un conducteur

Le résultat de calcul de la flèche du conducteur en fonction de longueur de la portée est illustré à la figure III-2. On remarque que les valeurs de la flèche augmentent considérablement lorsque l'on augmente la portée longitudinale de la ligne, cette augmentation est presque proportionnelle.

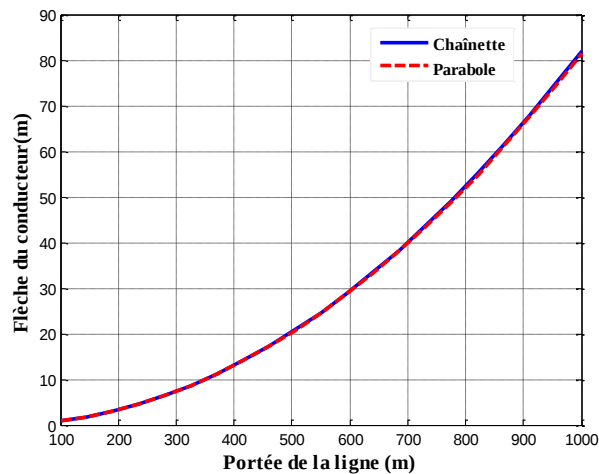


Figure III-2 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction de la portée longitudinale

Les résultats de simulation obtenus sont résumés dans le Tableau III.1 .

Portée longitudinale (m)	flèche parabole (m)	flèche chaînette (m)	Erreur absolue
100	0.81	0.81	0
200	3.26	3.26	0
300	7.32	7.33	0.01
400	13.02	13.04	0.02
500	20.34	20.39	0.05
600	29.3	29.39	0.09
700	39.87	40.05	0.18
800	52.08	52.37	0.29
900	65.91	66.39	0.48
1000	81.34	82.1	0.76

Tableau III.1 : Résultats de simulation obtenus de la flèche du conducteur

D'après ce tableau, on constate que l'erreur absolue commence à augmenter très légèrement à partir d'une portée longitudinale de 300 m avec une erreur maximale qui peut être considéré comme négligeable, en conséquence on peut assimiler la courbe d'une chaînette à la forme d'une parabole, ce qui permet d'économiser le calcul mathématique complexe, avec l'obtention d'un degré de précision suffisant.

III.2.2.2. Variation de la flèche en fonction du paramètre

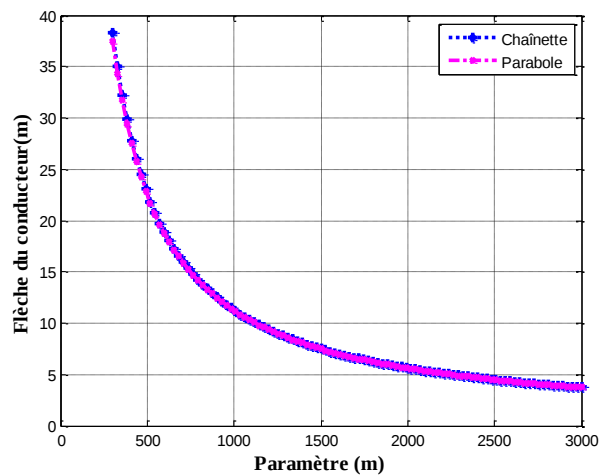


Figure III-3 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction du paramètre

On maintient la portée longitudinale du conducteur pour une valeur de $L=300$ m et on varie la valeur du paramètre du minimum au maximum, le résultat est montré à la figure III-3. D'après le graphe de cette figure, on remarque si la valeur du paramètre augmente, la valeur de la flèche diminue, par conséquent la flèche est inversement proportionnelle au paramètre.

Connaissant la hauteur hors sol du support (pylône), on peut calculer facilement la garde au sol par la relation $G = h - f$, la valeur de G doit être supérieure ou égale à 6m en terrain normal et de 8m en traversée de voie publique, dans le cas contraire on doit augmenter le paramètre, donc la flèche diminue pour que la condition soit vérifiée.

III.2.2.3. Calcul de la longueur réelle du conducteur

La comparaison des résultats de simulation pour la longueur réelle du conducteur pour les méthodes de la chaîne (caténaire) et la parabole est illustrée par la figure III-4. On remarque que les deux formules donnent des valeurs approchées de plus en plus précises pour toutes les portées. Ces deux courbes se confondent presque parfaitement. Le résultat obtenu nous permet de voir une relation linéaire significative entre la longueur du conducteur et la portée réelle.

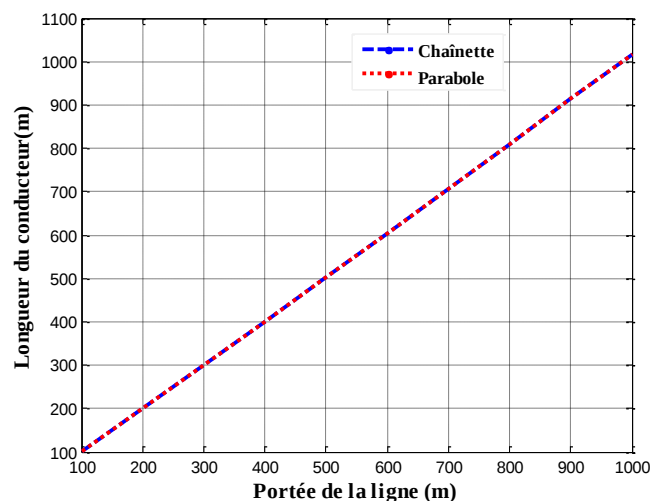


Figure III-4 : Calcul de la longueur du conducteur en fonction de la portée réelle

Le Tableau III.2 résumant les résultats de ces calculs simulés par les deux méthodes.

Portée longitudinale (m)	longueur parabole (m)	longueur chaînette (m)	Erreur absolue
100	100.01	100.01	0
200	200.14	200.14	0
300	300.48	300.48	0
400	401.13	401.13	0
500	502.21	502.21	0
600	603.81	603.82	0.01
700	706.06	706.07	0.01
800	809.04	809.08	0.04
900	912.87	912.93	0.06
1000	1017.66	1017.75	0.09

Tableau III.2 : Résultats de simulation obtenus de la longueur du conducteur

D'après le tableau, on aperçoit que l'erreur absolue commise entre les deux formules est assez négligée. Le calcul est exactement identique, la courbe décrite par la chaînette peut être remplacée par une parabole.

III.2.2.4. Calcul de la tension mécanique du conducteur aux appuis

La figure III-5 décrit la variation du profil de la tension mécanique du conducteur aux points de suspension en fonction de la portée longitudinale.

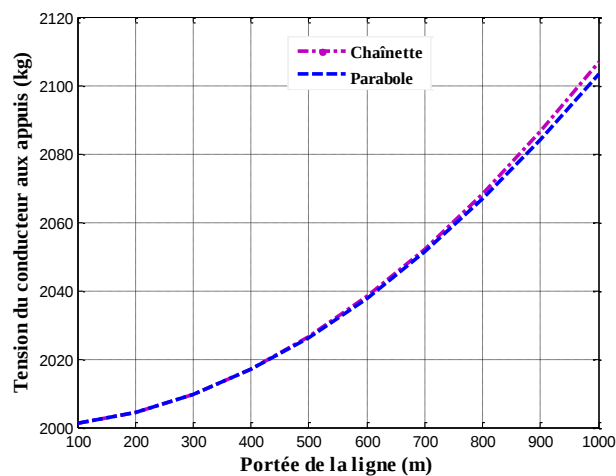


Figure III-5 : Calcul de la tension mécanique du conducteur au droit des appuis A et B (points de suspension)

On remarque d'après cette figure que la tension mécanique augmente plus fortement de manière continue avec l'augmentation de la portée longitudinale. Les courbes obtenues par les deux méthodes sont semblables.

Nous présentons dans le tableau III.3 les résultats comparatifs de la tension mécanique calculée avec les différentes méthodes utilisées :

Portée longitudinale (m)	Tension parabole (Kg)	Tension chaîne (Kg)	Erreur absolue
100	2001.06	2001.06	0
200	2004.23	2004.24	0.01
300	2009.51	2009.54	0.03
400	2016.88	2016.98	0.1
500	2026.31	2026.55	0.24
600	2037.76	2038.27	0.51
700	2051.29	2052.14	0.85
800	2066.7	2068.19	1.49
900	2084.05	2086.43	2.38
1000	2103.28	2106.89	0.61

Tableau III.3 : Résultats de simulation obtenus de la tension mécanique du conducteur

On remarque également que l'erreur absolue reste négligeable jusqu'à une portée de 400 m où elle commence de s'élargir très légèrement.

III.2.2.5. Calcul de la tension maximale de conception et le coefficient de sécurité

Un conducteur ACSR (conducteur en aluminium renforcé d'acier) dont les principales caractéristiques sont les suivantes.

Diamètre : 21,79 mm

Section : 281,0 mm²

Coefficient de dilatation thermique : 0.00001931 °C⁻¹

Poids unitaire: 0,977 kg / m

Tension de rupture : 8880 kg

Module d'élasticité : 7000 kg / mm²

Si la tension de conception est de 18% de la tension de rupture, pour des portées comprises entre 100 m et 1000 m, le travail demandé est de calculer:

- a) Flèche du conducteur
- b) Tension maximale
- c) Facteur de sécurité dans de telles conditions

La tension de conception sera égale:

$$T_0 = \frac{18.T_{rupture}}{100} = 0.18 \times 8880 = 1598.4 (Kg)$$

La Figure III-6, représente les résultats obtenus de la variation de la flèche maximale du conducteur ACSR en fonction de la portée longitudinale avec la méthode chaînette. On remarque que les valeurs maximums de la flèche augmentent avec l'ordre croissant de la portée du conducteur, cette augmentation est approximativement proportionnelle.

La Figure III-7 montre la courbe de variation de la tension maximale de conception du conducteur ACSR en fonction de la portée longitudinale avec la méthode chaînette, lorsque la portée de la ligne augmente, la tension maximale augmente de manière presque proportionnelle.

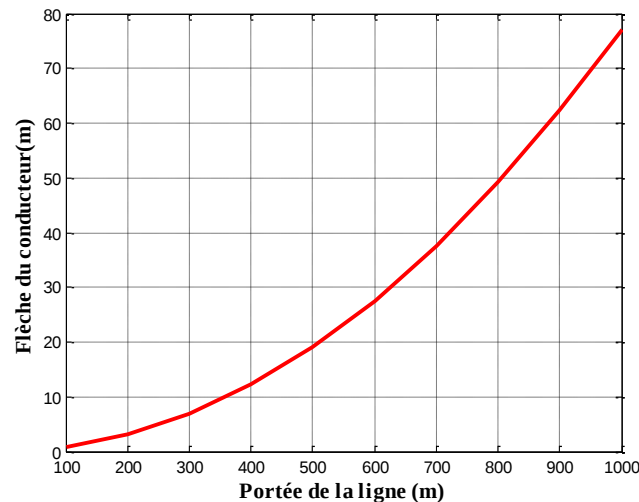


Figure III-6 : Variation de la flèche maximale du conducteur ACSR avec la méthode chaînette

La figure III-8 illustre les résultats de simulation de la variation du coefficient de sécurité du conducteur ACSR avec la méthode chaînette en fonction de la portée longitudinale. Comme le montre le graphe de cette figure, la portée de la ligne augmente, et par conséquent le coefficient de sécurité diminue légèrement, la relation de cette variation est inversement proportionnelle.

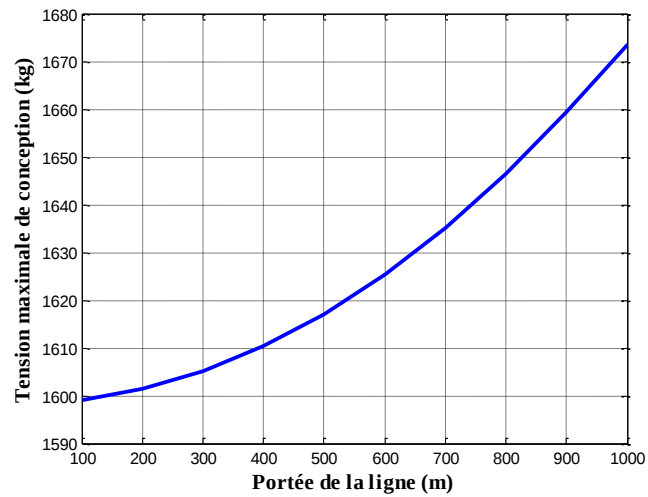


Figure III-7 : Calcul de la tension maximale de conception du conducteur ACSR avec la méthode chainette

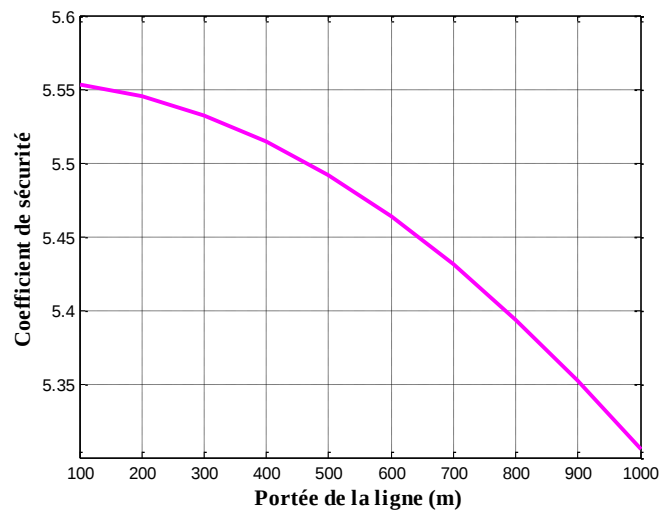


Figure III-8 : Coefficient de sécurité du conducteur ACSR avec la méthode chainette

III.2.2.6. Variation de la tension maximale de conception en fonction de la flèche

Un conducteur ACSR (conducteur en aluminium renforcé d'acier) d'une portée de 250 m dont les principales caractéristiques sont les suivantes.

Diamètre : 21,79 mm, Section : 281,0 mm² ;

Poids unitaire: 0,9 kg / m.

La flèche varie entre 0.25 et 5 m, on veut tracer l'allure de la variation de la tension mécanique du conducteur.

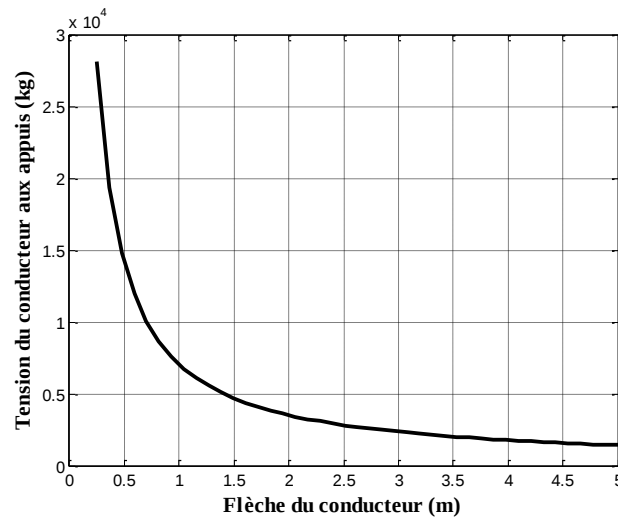


Figure III-9 : Variation de la tension mécanique du conducteur en fonction de la flèche maximale

Le résultat de simulation est montré dans la figure III-9. On constate clairement que la tension mécanique est inversement proportionnelle à la flèche maximale.

III.3. Calcul de la flèche et la longueur d'un conducteur dans le cas d'une portée dénivelée

Un conducteur suspendu entre deux pylônes placés à des niveaux différents, la longueur dénivelée (Figure III-10) de la ligne et de 400 m, avec une hauteur de 35 m. Les caractéristiques du conducteur de phase sont les suivantes :

Diamètre: 31,98 mm

Poids unitaire: 1868 kg / m

Tension de claquage: 14016 kg.

La contrainte de conception doit être considérée égale à 27% de la tension de rupture (claquage).

La tension de conception sera égale:

$$T_0 = \frac{27.T_{rupture}}{100} = 0,27 \times 14016 = 3784.32 \text{ (Kg)}$$

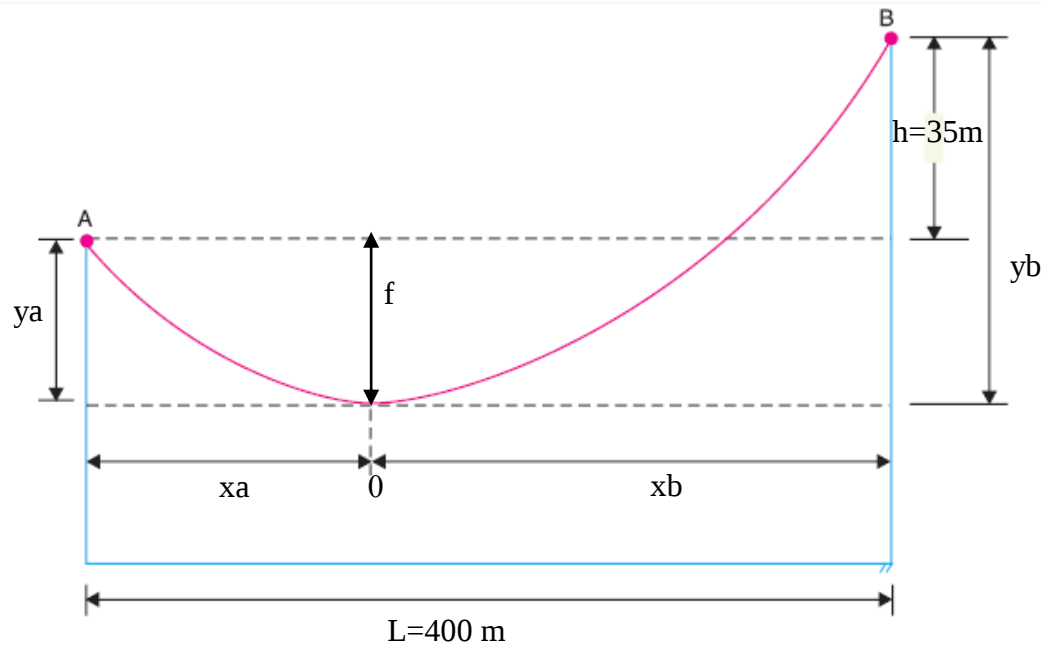


Figure III-10 : Calcul des dimensions géométriques d'une portée dénivelée

On peut remplacer la chaînette par une parabole, la valeur de l'abscisse x_a est donnée par :

$$x_a = \frac{L}{2} - \frac{T_0 \cdot h}{p_c \cdot L} = \frac{400}{2} - \frac{3784.32 \times 35}{1,868 \times 400} = 22.74(m)$$

Puis, on déduit l'abscisse x_b , il vient :

$$x_b = L - x_a = 400 - 22.74 = 377.26(m)$$

On calcule de nouveau les ordonnées y_a et y_b par leurs formules.

$$y_a = \frac{x_a^2 \cdot p_c}{2 \cdot T_0} = \frac{(22.74)^2 \times 1.868}{2 \times 3784.32} = 0.128(m)$$

$$y_b = \frac{x_b^2 \cdot p_c}{2 \cdot T_0} = \frac{(377.26)^2 \times 1.868}{2 \times 3784.32} = 35.13(m)$$

La flèche du conducteur sera calculée comme suit:

$$f \approx \frac{L^2 \times p_c}{8 \times T_0} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L}\right)^2} = \frac{(400)^2 \times 1.868}{8 \times 3784.32} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{35}{400}\right)^2} = 9.91 (m)$$

La Longueur du conducteur est:

$$\cos \psi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{35}{400}\right)^2}} = 0.996 (m)$$

$$l_{AB} \approx \frac{L}{\cos \psi} + \frac{8 \times f^2 \times \cos^3 \psi}{3 \times L} = \frac{400}{0.996} + \frac{8 \times (9.91)^2 \times (0.996)^3}{3 \times 400} = 402.25 (m)$$

III.4. Calcul de la flèche en fonction du vent et du givre

Un conducteur aluminium en acier-renforcé (ACSR) supporté et tendu entre deux pylônes au même niveau avec une portée longitudinale de 450 m. Les caractéristiques du conducteur sont les suivantes:

Diamètre: 25,16 mm

Poids unitaire: 1035 kg / m

Tension de rupture (claquage): 11068 kg

Déterminer la flèche aux conditions de la contrainte (tension) maximale, avec une vitesse du vent 90 km / h et une couche de glace d'épaisseur de 1 cm.

La tension de fonctionnement maximale est considérée égale à 50% de la tension de rupture.

- la force exercée en raison du poids de la glace :

La densité volumique de la glace est 920.8 kg/m³

$$p_g = \rho_g \cdot \pi \cdot e \cdot (d + e) = 920.8 \times 3.14 \times 10 \times 10^{-3} (25,16 \times 10^{-3} + 10 \times 10^{-3})$$

$$= 1.02 (kg/m)$$

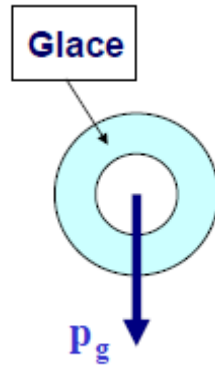


Figure III-11 : effort de glace sur le conducteur

- la force exercée par le vent

La pression du vent

$$\begin{aligned}
 p_r &= 0,00471 \times V^2 = 0.00471 \times (90)^2 \\
 &= 38.151 \text{ (kg/m}^2\text{)} \\
 p_v &= p_r \cdot (d + 2.e) = 38.151 \times (25,16 \times 10^{-3} + 2 \times 10 \times 10^{-3}) = \\
 &= 1,722 \text{ (kg/m)}
 \end{aligned}$$

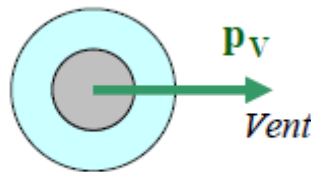


Figure III-12 : effort du vent sur le conducteur

La force résultante suite aux efforts effectués par le givre et le vent est calculée comme suit :

$$\begin{aligned}
 p_c &= \sqrt{(p_0 + p_g)^2 + p_v^2} = \sqrt{(1,035 + 1,02)^2 + (1,722)^2} \\
 &= 2.681 \text{ (kg/m)}
 \end{aligned}$$

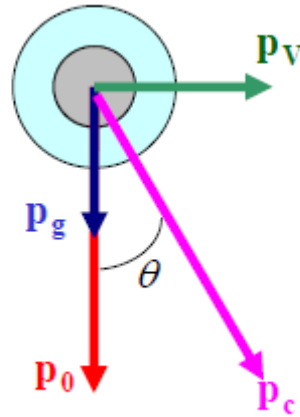


Figure III-13 : force résultante des efforts exercés sur le conducteur

Comme illustré sur la figure III-13, l'angle existant entre les deux vecteurs représentant les forces exercées sur le conducteur est ;

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1,722}{1,035 + 1.02}$$

$$\theta = 40^\circ$$

La tension de conception sera égale:

$$T_0 = \frac{50 \cdot T_{\text{rupture}}}{100} = 0,27 \times 11068 = 5534 \text{ (Kg)}$$

La flèche du conducteur est donnée par :

$$f = \frac{L^2 \times p_c}{8 \times T_0} = \frac{(450)^2 \times 2.681}{8 \times 5534} = 12.26 \text{ (m)} \rightarrow \text{avec glace et vent}$$

$$f = \frac{L^2 \times p_c}{8 \times T_0} = \frac{(450)^2 \times 2.055}{8 \times 5534} = 9.4 \text{ (m)} \rightarrow \text{juste la glace}$$

$$f = \frac{L^2 \times p_c}{8 \times T_0} = \frac{(450)^2 \times 2.009}{8 \times 5534} = 9.18 \text{ (m)} \rightarrow \text{juste le vent}$$

$$f = \frac{L^2 \times p_c}{8 \times T_0} = \frac{(450)^2 \times 1.035}{8 \times 5534} = 4.73 \text{ (m)} \rightarrow \text{sans glace et vent}$$

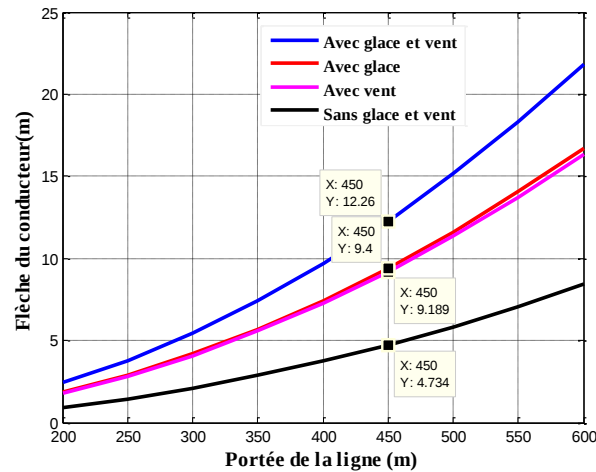


Figure III-14 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction des conditions climatiques

Il paraît clair à partir de ces résultats que la flèche d'un conducteur est fortement affectée par les charges imposées par la glace et le vent. La flèche varie significativement en fonction du poids de la glace et du vent.

En variant la portée de la ligne entre 200 et 600 m, on veut tracer l'allure de la flèche pour différentes contraintes climatiques, le résultat est montré par la figure III-14. On constate que la flèche d'un conducteur augmente fortement avec la croissance des efforts de la glace et du vent.

III.5. Calcul de la flèche en fonction de la variation de la température

Un conducteur homogène suspendu entre deux pylônes au même niveau avec une portée longitudinale de 300 m. Les caractéristiques du conducteur sont les suivantes:

Poids unitaire: 1.302 kg / m ;

Tension de conception varie entre 3000 et 1000 kg ;

Température du conducteur varie entre 0 et 60 (°C) ;

Coefficient de dilatation thermique = 19.1×10^{-6} (°C⁻¹).

La Figure III-15 présente l'évolution de la flèche en fonction de la température du conducteur. On remarque que les valeurs maximums de la flèche augmentent avec l'augmentation de la température, en effet la température dilate ou contracte l'acier du conducteur.

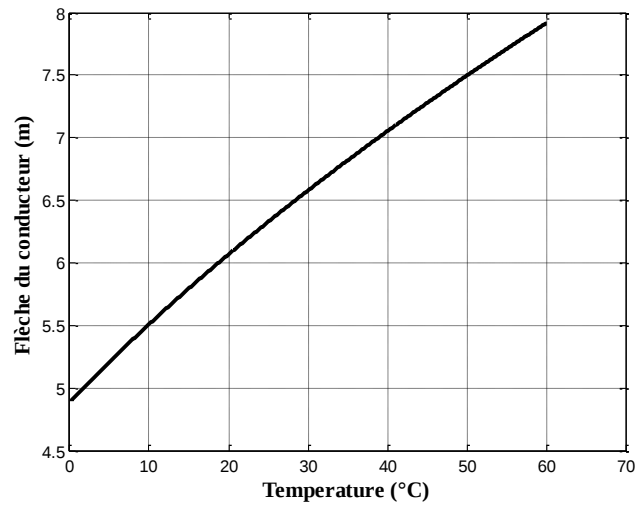


Figure III-15 : Variation de la flèche maximale du conducteur en fonction de la température

III.6. Calcul de la portée équivalente

Les portées peuvent être souvent irrégulières dans un même canton, comme est montré sur la figure III-16.

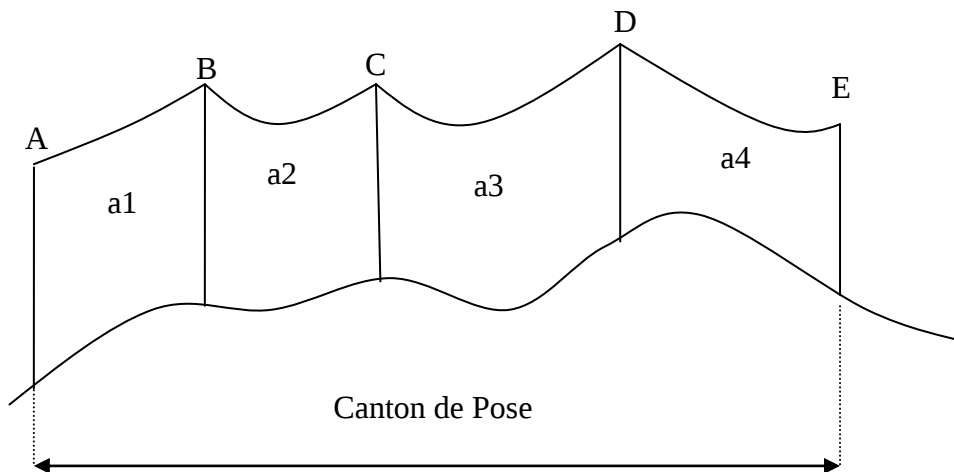


Figure III-16 : Calcul de la portée équivalente moyenne du canton de pose

Un canton de ligne composé de 09 portées irrégulières, ces portées a_i sont mentionnées sur le tableau III.4 :

Portées en (m)	
a_1	340
a_2	410
a_3	400
a_4	370
a_5	380
a_6	483,2
a_7	460
a_8	489
a_9	375,6

Tableau III.4 : Différentes portées d'un tronçon d'une ligne aérienne

La portée équivalente du canton est calculée à partir de la formule suivante :

$$l_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n l_i^3}{\sum_{i=1}^n l_i}} = \sqrt{\frac{657822692,6}{3707,8}} = 412.2 \text{ (m)}$$

III.7. Conclusion

Ce chapitre présente une série d'analyses appliquée à l'évaluation de la flèche et la tension mécanique de conception, ainsi le paramètre de répartition et de la portée avec les différentes méthodes (chainette et parabole). Il est supposé que l'équation de la chainette décrit exactement la flèche d'un conducteur. Le calcul des paramètres géométriques d'une portée dénivelée a été également discuté. La flèche dépend principalement des caractéristiques constructives de la ligne, des conditions d'exploitation et des conditions climatiques (température ambiante, vitesse du vent, surcharge de givre ou de neige).

conclusion Générale

Conclusion générale

Partant de l'hypothèse que les câbles et les fils conducteurs peuvent être assimilés à des câbles pesants, homogènes et parfaitement flexibles, leur courbe d'équilibre est une chaînette. Afin de simplifier les développements analytiques qui vont suivre, nous substituons à la chaînette l'équation de la parabole.

Plusieurs facteurs, notamment atmosphériques, les surcharges de givres, de neige ou de verglas, l'effort du vent sont prises en compte dans le calcul des éléments constitutifs de la ligne. Ces facteurs imposent des variations des conditions de tension mécanique aux conducteurs de lignes aériennes. C'est ainsi que par exemple un accroissement de la température va provoquer un allongement du conducteur et donc une détente de sa tension.

Pour pouvoir calculer les portées hypothétiques, nous devons introduire l'équation d'état, dite de Blondel. Elle permet de calculer un état inconnu de à partir d'un état connu, aussi pour déterminer la tension mécanique ou la flèche en fonction des différentes hypothèses. Le calcul est exécuté avec l'application de deux méthodes, la chaînette (formule pratique) et la parabole (formule approximative), il est trouvé que l'erreur absolue obtenue entre ces deux méthodes est très négligée. Le degré de sévérité des conditions climatiques (zone de vent, surcharge de givre...) affectent fortement le calcul du dimensionnement mécanique des lignes aériennes.

En fin, ce travail effectué nous a permis d'apprendre à différencier entre la chaînette et la parabole, de connaître mieux tous les éléments qui constituent un réseau électrique et les différentes contraintes à prendre en considération dans le calcul mécanique des lignes aériennes.

Ce travail pourra être élargi à d'autres calculs comme les pylônes et les armements, une étude complète d'une construction d'une ligne aérienne à haute tension.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Transport et Distribution de l'Énergie Electrique – Manuel de travaux pratiques [Cours].
- [2] Rapport de stage Abdoulaye ZONGO, Diagnostic technique du réseau électrique de Koudougou
- [3] Document technique CAMELIA: Calcul Mécanique des Lignes Aériennes Version 4.3. Manuel D'utilisateur. Electricité Réseau de distribution France.
- [4] GRAFF Jean Jacques. Transport et Distribution : Structure des réseaux de distribution [Cours]. Ouagadougou : Institut International Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2010. – Vol. 34.
- [5] GRAFF Jean Jacques. Transport et Distribution : Calcul mécanique des lignes aériennes [Cours]. Ouagadougou : Institut International Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2010. – Vol. 78.
- [6] KHENCHA Boulerbah, FERHAT Lotfi Mabrouk calculs mecaniques des lignes aerienues MT tensions (a, b , g) et efforts, memoir de master , université de laghouat, sep 2015.
- [7] Charles Avril, " Construction des lignes aériennes à haute tension", Technique française d'études et de réalisation, édition Eyrolles ,1974.
- [8] André CHANAL, Lignes aériennes, Présentation et calcul des lignes, base documentaire scientifique et technique - Techniques de l'Ingénieur, D4420
- [9] Saïd BELALI, CALCUL MECANIQUE DES LIGNES AERIENNES, DIRECTION RESSOURCES HUMAINES, FORMATIONS DE DEVELOPPEMENT, office national de l'électricité, Maroc, Octobre 2008.
- [10] DJEKIDEL.R. Application de la méthode des charges fictives sur l'équipement haute tension pour calcul de champ électrique, Thèse de Magister, université des Sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2010.
- [11] Contribution au dimensionnement de pylône de transport d'énergie électrique

(Haute Tension HT) selon la norme Eurocode: Cas d'un pylône d'angle
memoire pour l'obtention du master en ingenierie de l'eau et de
l'environnement option : genie civil et infrastructures Promotion 2010/2012

- [12] Calcul mécanique et électrique , Ennachid Abdel baste 13/02/2007
- [13] Lignes aériennes : matériels Supports Jean-François DIDIERLAURENT
Ingénieur de l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz Division Pylônes de
RTE
- [14] André CHANAL, Lignes aériennes, dimensionnement, base documentaire
scientifique et technique - Techniques de l'Ingénieur, D4421
- [15] Idrissa Zoubga «Etude et dimensionnement de la liaison électrique
interurbaine Pa-dedougou:tronçon 33kv» (Mémoire de master–le 14/03/2013