

Raccordement en énergie électrique des stations de pompage de la station de dessalement de Souk Telata - Tlemcen-

K.Nassour, M.Brahmi, A.Benkoceir, H.Sayah

Laboratoire intelligent control and power electrical system, UDL Sidi Bel Abbes
Nass_ka@yahoo.fr

Abstract: The electric power produced in electric power station must then be conveyed towards users via the lines of transport and distribution.

This paper presents an application for the calculation of the air lines and various techniques with reference. Then to choose a more powerful installation, then that from the transport capacity or the cost of this installation, for that one, we must bring an answer to this question: how to transmit to lower cost a certain active power starting from a station of overage or high voltage to feed a load, located at certain distance with a certain power-factor?

Résumé : L'énergie électrique produite en centrale doit être ensuite acheminée vers des usages via des lignes de transport et de distribution.

Cet article présente une application de calcul des lignes aériennes pour raccorder les stations de pompage de la station de dessalement de Souk Telata et les diverses techniques qui s'y réfèrent.

Donc opter pour une installation plus performante que ça soit du point de vue capacité de transport ou du coût de revient, on doit apporter une réponse à la question: comment transmettre au moindre coût une certaine puissance active à partir d'un poste moyenne ou haute tension pour alimenter une charge, située à une certaine distance sous une certaine tension et un certain facteur de puissance.

Introduction :

Habituellement, le transport de l'énergie électrique ne suscite pas le même intérêt que sa production et son utilisation, de sorte qu'on a souvent négligé l'étude de ce sujet important. Pourtant, les investissements humains et matériels affectés au transport dépassent largement les investissements consacrés au secteur de la production.

Pour que l'énergie électrique soit utilisable, le réseau de transport et de distribution doit satisfaire les exigences suivantes :

- 1) Assurer au client la puissance dont il a besoin.
- 2) Fournir une tension stable dont les variations ne dépassent pas les 10% de la tension nominale.
- 3) Fournir une fréquence stable dont les variations n'excèdent pas les 0.1 Hz.
- 4) Fournir l'énergie à un prix acceptable.
- 5) Maintenir des normes de sécurités rigoureuses.
- 6) Veiller à la protection de l'environnement.

Calcul de la section des conducteurs

Il existe plusieurs types de conducteurs utilisés pour le transport de l'énergie électrique. La plupart de ces conducteurs sont constitués de plusieurs torons (conducteurs cylindriques tordus) enroulés les uns contre les autres, appelés conducteurs toronnés. De tels

conducteurs ne possèdent non seulement une plus grande flexibilité, mais aussi une grande résistance mécanique par rapport à un conducteur unique de même section.

Des aspects électriques et économiques sont à prendre en considération lors du choix de la section du conducteur. Pour choisir la section technique des conducteurs, on fait appel à trois facteurs :

- Critère du courant nominal
- Critère du courant de court circuit
- Critère de chute de tension

➤ Critère du courant nominal

Ce critère permet de vérifier que le conducteur supportera sans difficulté le courant nominal sur sa durée de vie.

On commence par la détermination de la puissance active circulant dans le câble après les T années d'utilisation selon la relation suivante :

$$P_t = P_{\text{départ}}(1+a)^T \quad (1)$$

Où : $P_{\text{départ}}$: puissance de départ.

a : Pourcentage d'augmentation annuelle de la puissance consommée.

Le courant en régime permanent qui circule dans chaque sous conducteurs est calculé en utilisant la formule suivante :

$$I_{N,T} = \frac{P_t}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} \quad (2)$$

Avec :

U : tension de service.

Cos (φ) : facteur de puissance.

n : le nombre de sous conducteurs dans le cas d'un conducteur en faisceau.

Une fois que le courant dû au régime permanent est déterminé, on déduit la section correspondante à ce courant après avoir choisi le type de matériaux de conducteur à partir des catalogues donnés par le constructeur.

➤ Critère de courant de court-circuit :

Le courant de court circuit est calculé directement par la formule suivante :

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (3)$$

Où :

S_{cc} : est la puissance de court-circuit

n : le nombre de sous conducteurs dans le cas d'un conducteur en faisceau.

La section minimale qui permet de supporter ce courant durant le temps t_{cc} :

$$S = \frac{I_{cc} \sqrt{t_{cc}}}{a} \quad (4)$$

t_{cc} : Le temps de court-circuit

a : est un facteur dépendant du matériau constituant le câble.

➤ Critère de chute de tension :

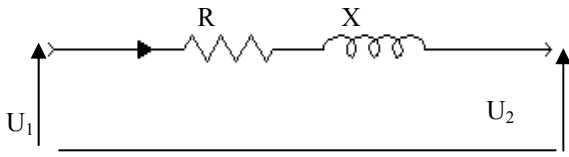


Figure 1 : Critère de chute de tension.

Un simple calcul nous donne la relation de la chute de tension :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{P.R + Q.X}{U^2 N} \quad (5)$$

$$\text{On a : } P = \sqrt{3}.I_N.U.\cos\phi \quad (6)$$

$$Q = \sqrt{3}.I_{<N} < U.\sin\phi \quad (7)$$

Où :

P : puissance active transmise par la ligne.

Q : puissance réactive transportée par la ligne

ϕ : déphasage entre le courant et la tension

U_N : tension de service en V.

R : résistance linéique de la ligne à 70°C

X : réactance inductive linéique de la ligne

Donc on trouve :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{\sqrt{3}.I_N}{U_N} (R_{70^\circ C} \cos\phi + X \sin\phi) \quad (8)$$

Ou Autrement dit la chute de tension peut s'exprimer comme suit :

$$\Delta U = |U_2| - |U_1| \approx |U_2 - U_1| \quad (9)$$

De la formule (8) on détermine la résistance R à 70°C puis on la transforme à 20°C qui donne la chute de tension donnée dans le cahier de charge. En utilisant des abaques on se fixe sur la section correspondante à cette résistance.

➤ Critères économiques :

On calcule le coût total d'investissement pour les conducteurs pour une ligne aérienne en fonction de la section à l'aide de la formule suivante :

$$C_t = A + BS + C/S \quad (10)$$

Avec C_t : coût total sur les n années.

A : frais fixes (pose du câble.....)

C : coût des pertes.

B : coût des conducteurs.

S : section du câble (mm²).

Le terme C se calcule par la formule suivante :

$$C = 3.\rho.l.N.p.f.I^2/n \quad (11)$$

ρ : résistivité du conducteur

l : longueur de la liaison

I : courant parcourant le câble en début de vie

• **Remarque :** Dans le cas des conducteurs en faisceaux on doit diviser ce courant par le nombre de sous conducteurs.

N : nombre d'heures d'utilisation à pleine charge du point de vue perte

P : prix du kWh de pertes

Le facteur (f), est le facteur d'actualisation, prend en compte l'érosion de la valeur de l'argent au cours des années ; il est comme suit :

$$f = \frac{Q}{1 + i/100} \quad (12)$$

$$\text{où } Q = \frac{1 - r^t}{1 - r} \quad (13)$$

$$\text{et } r = \frac{(1+a/200)^2 (1+b/100)}{(1+i/100)} \quad (14)$$

Avec i : taux d'intérêt

a : augmentation annuelle de la puissance

b : pourcentage d'accroissement du prix du kWh

La section optimale du point de vue économique est donc celle pour laquelle la dérivée de la fonction coût est nulle.

$$S_{ECON} = \sqrt{\frac{B}{C}} \quad (15)$$

Après avoir calculé la section technique et économique on doit choisir la plus grande.

Calcul de la chaîne d'isolation

Le rôle des isolateurs des lignes aériennes est de retenir mécaniquement les conducteurs aux structures qui les supportent et d'assurer l'isolement électrique entre ces deux éléments.

Le dimensionnement des isolateurs nécessite de connaître les contraintes électriques et mécaniques que devraient les subir pour permettre d'apprécier la sécurité souhaitée.

Une fois la section des conducteurs déterminée on déduit à partir des tables l'effort maximal de rupture puis on calcule l'effort de traction par la formule suivante :

$$T_{Max} = C_r/3 \quad (16)$$

➤ Calcul du nombre d'assiettes

On détermine d'abord le degré de salinité, ensuite la tension de tenue aux chocs de foudre BIL et finalement la longueur de fuite L_f qui devra être respectée par la chaîne de façon à protéger la ligne d'une manière correcte.

En fonction de la zone de pollution retenue, nous allons pouvoir fixer la tension de contournement β . Le BIL (basic insulation level) est proportionnel à la tension de service. La ligne de fuite est proportionnelle à la tension et au degré de salinité, elle se calcule en utilisant la formule suivante :

$$L_f = 1.1 U_m \beta \quad (17)$$

Le nombre d'assiettes est calculé par la formule suivante :

$$N = \frac{L_f}{\text{longueur de fuite d'une assiette}} \quad (18)$$

► Calcul de la longueur et la masse de la chaîne d'isolation

Finalement on obtient les caractéristiques de la chaîne d'isolation c'est à dire la masse et la longueur totale de la chaîne en utilisant les équations suivantes :

Longueur : $S_L = N * \text{longueur d'une assiette}$

Masse : $M = N * \text{masse d'une assiette}$

Etude des supports

Les pylônes sont les supports métalliques en éléments assemblés destinés à la plupart des lignes de transport de l'énergie électrique à haute tension (3^{ème} catégorie).

on distingue deux grandes classes des supports, l'une dans laquelle les conducteurs sont disposés en étage : pylône triangle, drapeau, double drapeau, double triangle, et l'autre dans lequel les conducteurs sont disposés au même niveau pylône nappe et nappe voûte.

Dans l'établissement d'une ligne aérienne, il faut tenir compte des conditions climatiques. Ces derniers jouent un rôle très important dans le dimensionnement des conducteurs et des supports, ces conditions concernent en particulier :

- les températures ;
- l'action du vent ;
- l'action du givre ;

■ Calcul de la portée hypothétique été

La portée dans les conditions d'été est donnée par la formule suivante :

$$X_{été} = \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{T_{\max} - T_{\text{canicule}}}{E \cdot S} - \alpha(\theta_{\text{canicule}} - \theta_{été})}{\left(\frac{P_{été}}{T_{\max}}\right)^2 - \left(\frac{P_{\text{canicule}}}{T_{\text{canicule}}}\right)^2}} \quad (19)$$

Où : α est le coefficient de dilatation linéaire ;

E est le module d'élasticité du câble ;

S est la section du conducteur ;

T_{\max} est la tension maximale que doit supporter le câble ;

T_{canicule} est la tension mécanique en temps canicule

θ est la température correspondante;

P est le poids équivalent des conducteurs.

■ Calcul de la portée hypothétique hiver :

$$X_{hiver} = \sqrt{24 \cdot \frac{\frac{T_{\max} - T_{\text{canicule}}}{E \cdot S} - \alpha(\theta_{\text{canicule}} - \theta_{hiver})}{\left(\frac{P_{hiver}}{T_{\max}}\right)^2 - \left(\frac{P_{\text{canicule}}}{T_{\text{canicule}}}\right)^2}} \quad (20)$$

■ Calcul de la portée critique : On définit la portée critique $X_{critique}$ comme étant celle pour laquelle

l'état été est équivalent à celui de l'hiver ou autrement

$$\text{dit } \begin{cases} T_{été} = T_{hiver} = T_{\max} \\ X_{critique} = X_{été} = X_{hiver} \end{cases}$$

En introduisant les données de ces deux états dans l'équation de BLONDEL, on trouve :

$$X_{critique} = T_{\max} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha (\theta_{été} - \theta_{hiver})}{P_{été}^2 - P_{hiver}^2}} \quad (21)$$

■ Choix de la portée moyenne :

A partir de la connaissance des portées hypothétiques hiver, été, critique, nous pouvons déterminer la portée moyenne comme suit :

□ Si $X_{critique} > X_{hiver} \Rightarrow X_{moyenne} = X_{hiver}$

□ Si $X_{critique} < X_{été} \Rightarrow X_{moyenne} = X_{été}$

□ Si aucune de ces conditions n'est satisfaite, c'est que nous nous trouvons dans un état (T, S) non admissible.

□ Si les deux conditions sont satisfaites simultanément on calcule le coût de la ligne pour les deux valeurs de la portée et choisit la moins coûteuse.

On peut limiter l'intervalle des portées pour ne pas se trouver dans un cas de portées trop petites ou très grandes. Cet intervalle a pour valeur inférieure $\frac{u + 100}{2}$ et pour valeur supérieure $(u + 100)2$ avec u

la tension de la ligne exprimée en kV.

■ Calcul de la flèche maximale :

$$f_{\max} = \frac{P_{\text{canicule}} \cdot P_{\text{moyenne}}^2}{8 \cdot T_{\text{canicule}}} \quad (22)$$

■ Calcul des dispositions communes à tous les supports :

a. Distances entre phases : la distance entre phases dépend de deux paramètres : l'un est proportionnel à la tension entre phases, constant pour une même tension nominale et l'autre dépend des hypothèses de rapprochement des phases entre elles.

Ces deux points nous conduisent à la formule suivante :

$$E_{\rho\rho} = \frac{U_n}{150} + K \sqrt{f_{\max} + S_l} \quad (23)$$

Où : U_n est la tension de service exprimée en volt.

f_{\max} est la flèche maximale exprimée en m.

S_l est la longueur de la chaîne d'isolation en m.

K est un coefficient qui dépend de la nature du conducteur :

b. Distance entre phase / neutre : la distance entre phase et neutre est donnée par la formule suivante :

$$E_{\rho N} = \frac{U_n}{150} \quad (24)$$

■ Calcul des efforts en tête

Le pylône subit trois moments :

- M_1 : moment dû au poids propre de l'ensemble, formé par les conducteurs, les chaînes d'isolateurs et la surcharge du givre.

$$M_1 = 3 \left(L_1 + \frac{a}{2} \right) (n \cdot m_{\text{conducteur}} \cdot P_{\text{moy}} \cdot 9.81 / 1000 + P_{\text{isolateur}}) \quad (25)$$

Où :

L_1 : est la longueur de la chaîne d'isolation.

a : est l'écartement entre les sous conducteurs exprimé en cm.

n : nombre de sous conducteurs par faisceau.

$m_{\text{conducteur}}$: masse linéique des conducteurs exprimés en g/m.

P_{moy} : portée moyenne exprimée en m.

S_L : la longueur de la chaîne d'isolation en m.

$P_{\text{isolateur}}$: est la masse de la chaîne d'isolation exprimée en N.

- M_2 : moment dû à la force aérodynamique du vent qui s'exerce sur les conducteurs y compris le câble de garde.

$$M_2 = C_x \cdot Q_{\text{pression}} \cdot A \quad (26)$$

Où :

C_x est le coefficient aérodynamique d'ensemble dans la direction de vent ;

Q_{pression} est la pression dynamique exprimée en pascal.

A est la surface en m^2 que l'élément présente au vent perpendiculairement à la direction dans laquelle il souffle. Pour les conducteurs elle est calculée comme suit : $A = d \cdot P_{\text{moy}} / 1000$ (27)

- M_3 : moment dû à la force du vent appliquée de façon uniforme sur le pylône.

Nous devons obtenir le moment par calcul intégral :

$$F_{\text{pyl}} = C_{\text{pyl}} \cdot Q_{\text{pyl}} \cdot A_{\text{pyl}} \quad (28)$$

A_{pyl} est la surface du pylône soumise au vent, elle se calcule comme suit :

$$A_{\text{pyl}} = V \cdot HHr_{\text{sol}} \quad (29)$$

Avec V l'épaisseur du pylône exprimée en m.

Donc la force répartie sur la hauteur du pylône s'écrit comme suit :

$$F_{\text{pyl}} = C_{\text{pyl}} \cdot Q_{\text{pyl}} \cdot V \cdot HHr_{\text{sol}} \quad (30)$$

Le moment à l'extrémité du pylône s'obtient en intégrant la force le long de la longueur du pylône suivant la formule :

$$M_3 = \int_0^{HHr_{\text{sol}}} F_{\text{pyl}} \cdot z \cdot dz = F_{\text{pyl}} \cdot \frac{HHr_{\text{sol}}^2}{2} \quad (31)$$

L'effort en tête E s'obtient en faisant la somme des trois moments et en divisant par la hauteur hors sol :

$$E = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{HHr_{\text{sol}}} \quad (32)$$

Dimensionnement d'une ligne pour le raccordement des stations de pompage

Nous avons réalisé un programme de calcul sous DELPHI 6 qui nous permet de modifier les données afin de trouver une solution optimale et moins coûteuse.

Situation géographique des trois stations :

Ces stations sont localisées de la manière suivante :

- La station SP1 se trouve à 8 km de la station dessalement et à 20 km du poste THT situé à

Ghazaouet avec un relief accidenté.

- La station SP2 se trouve à 10 km de la station SP1, à 23 km du poste THT Ghazaouet avec un relief accidenté et à 30 km du poste Maghnia.

- La station SP3 se trouve à 15 km de la ville Maghnia, à 8 km du poste Zbair.

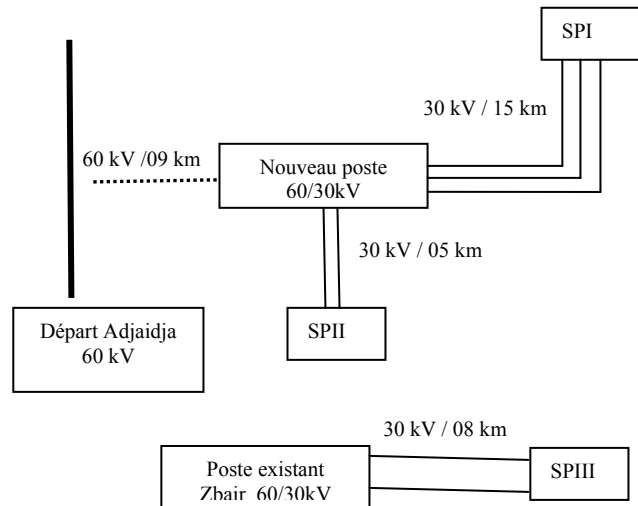


Figure 2 : plan de situation pour les trois stations de pompage.

Station de pompage I, II, III – lignes 30 kV-

Tableau 1 : Ligne MT en nappe voûte sans câble de garde :

Données électriques du réseau	
Puissance apparente (MVA)	2*04 – 5 - 2
Tension nominale (kV)	30
Facteur de puissance	0.85
Longueur (km) (I1-I2-I3)	15- 05- 08
Puissance de court- circuit (MVA)	700
Temps de court-circuit (s)	0.2
Chute de tension maximale (%)	7
Utilisation à pleine charge (heures)	2000
Données économiques du réseau	
Taux d'actualisation (%)	8.5
Augmentation annuelle de la puissance (%)	3
Augmentation annuelle du prix du kWh (%)	2
Nombre d'années d'utilisation (an)	20
Données géographiques	
Pourcentage des pylônes d'alignement	80
Pourcentage des pylônes d'arrêt	10
Pourcentage des pylônes d'angle	10
Angle des pylônes d'angle en degré	30
Données climatiques	
Hypothèse été	Température : 35°C Vent : de force normale.
Hypothèse hiver	Température : -5°C Vent : de force réduite.
Hypothèse canicule	Température : 50°C Vent : sans vent.

Résultats

Après l'exécution du programme nous obtenons les résultats suivants :

Caractéristique des conducteurs de la ligne :

Nombre de conducteurs par faisceau	1
Ecartement entre deux conducteurs voisins	0 cm
Section d'un sous-conducteur = max. (s. technique, s. économique)	1x93.3 mm ²
Diamètre du sous-conducteur	2.5 mm
Nombre de fils d'acier d'un seul conducteur	0
Nombre de fils d'un sous-conducteur	19
Masse d'un sous conducteur par km :	257 kg/km
Masse de graisse par km d'un sous - conducteur	7 kg/km
Résistance linéique à 20°C à 50Hz	0.286 Ω / Km
Tension de rupture	37650 N
Module élasticité	56000 N/mm ²
Coefficient de dilatation linéique	2.3 .10 ⁻⁵ k ⁻¹

Caractéristiques de la chaîne d'isolateur :

Type d'assiette	CTV 254
Nombre d'assiette	4
Longueur totale de la chaîne d'isolation	900.9 mm

Caractéristiques des pylônes :

Phase 1	(x,y) = (1.5, 8) m
Phase 2	(x,y) = (0.00 ,8.5) m
Phase 3	(x,y) = (-1.5 ,8) m
Câble de garde	Pas de câble de garde
Hauteur du pylône H	12.00 m
Hauteur hors sol du pylône HHrsol	9.6 m
Prix du pylône	0.03 MDA
Prix de la ferrure	0.01 MDA
Profondeur d'enfouissement du pylône:	1.7 m

Caractéristique de la jonction :

Matériau utilisé	Almélec
pylônes d'alignement	96 bs 66
pylônes d'arrêt	96 bs 77
pylônes d'angle	96 bs 99
Traversées	106 bs 88
Portée moyenne	130 m
Caractéristique du câble de garde	pas de câble de garde

Evaluation des coûts :

Coût de tirage	7.71 MDA
Coût de conducteur	32.32 MDA
Coût des pertes	22.52 MDA
Coût total des conducteurs	62.55 MDA
Coût des pylônes d'alignement	6.49 MDA
Coût des pylônes d'arrêt	5.8 MDA
Coût des pylônes d'angle	2.78 MDA
Coût total des supports	15.06 MDA
Coût total des conducteurs	62.55 MDA
Coût total des accessoires	14.71 MDA
Coût total de l'indemnisation (terrain)	3.53 MDA

Coût de l'ensemble sur 20 ans

95.86 MDA

Ligne 60 kV en triangle avec câble de garde

Les données de la ligne sont illustrées par le tableau suivant :

Tableau 2 : Ligne 60 kV en triangle avec câble de garde :

Données électriques du réseau	
Puissance apparente	20M VA
Tension nominale	60 kV
Facteur de puissance	0.85
Longueur	09 Km
Puissance de court- circuit	2500 MVA
Temps de court-circuit	0.7 s
Chute de tension maximale	9 %
Utilisation à pleine charge	2000 heures
Taux d'actualisation	8.5 %
Augmentation annuelle de la puissance (%)	3 %
Augmentation annuelle du prix du kWh (%)	2 %
Nombre d'année d'utilisation	20 ans

Résultats

Dans les lignes aériennes à haute tension,

Caractéristique des conducteurs de la ligne :

Nombre de conducteurs par faisceau	1
Ecartement entre deux conducteurs voisins	0 cm
Section d'un sous-conducteur = max. (S. technique, S économique)	366.2 mm ²
Section du câble de garde	94 mm ²
Diamètre du sous-conducteur	3.55 mm
Nombre de fils d'acier d'un seul conducteur	0
Nombre de fils d'un sous-conducteur	37
Masse d'un sous conducteur par km :	1009 kg/km
Masse de graisse par km d'un sous - conducteur	28 kg/km
Résistance linéique à 20°C à 50Hz	0.0913 Ω / Km
Tension de rupture	117950 N
Module élasticité	56000 n/mm ²
Coefficient de dilatation linéique	2.3 .10 ⁻⁵ k ⁻¹

Caractéristiques de la chaîne d'isolateur :

Type d'assiette	CTV 254
Nombre d'assiette	6
Longueur totale de la chaîne d'isolation	1650.9 mm

Caractéristiques des pylônes :

Phase 1	(x, y) = (2.5, 10.35) m
Phase 2	(x, y) = (-2.5, 11.5) m
Phase 3	(x, y) = (2.5, 12.57) m
Câble de garde	(x, y) = (0.00, 15.5) m

Hauteur du pylône H	19 m
Hauteur hors sol du pylône HHrsol	15.5 m

Caractéristique de la jonction :

Matériau utilisé	Almélec
pylônes d'alignement	N
pylônes d'arrêt	S4000

pylônes d'angle	A 4000
Traversées	Sx 4000
Portée moyenne	250 m

Conclusion

Notre programme permet à l'utilisateur de récupérer des résultats pour différents cahiers de charge concernant le dimensionnement des lignes aériennes.

Il présente tout d'abord les caractéristiques du conducteur idéal : son nom, sa section, son diamètre, son module de Young, etc. ...

Il propose ensuite les caractéristiques des différents isolateurs (de suspension, d'arrêt et d'angle) : type d'assiette, nombre d'assiette et le poids de la chaîne d'isolation. Ensuite ce programme permet de calculer les différents pylônes de suspension d'angle et d'arrêt en plusieurs modèle de lignes (nappe, nappe-voûte, triangle, drapeau).

Finalement il présente les différents coûts de l'installation. L'utilisateur a la possibilité de modifier les données pour comparer plusieurs modèles.

Le programme sous DELPHI 6 que nous avons réalisé permet à l'utilisateur de changer les paramètres et de comparer plusieurs solutions afin de choisir la meilleure du point de vue technique et économique

Références

- [1] J.L.LILIEN, TRANSPORT et distribution de l'énergie électrique, Centrale des cours de l'A.E.E.S, Université de liège 1997.
 - [2] C.AVRIL, Construction des lignes aérienne à haute tension, Editions Eyrolles 1984.
 - [3] P.PIROTTE, Qualité de l'énergie électrique, Notes de cours, université de liège 1998.
 - [4] O.HOUE, dimensionnement d'une jonction triphasé, Travail de fin d'étude, université de liège 1998.
 - [5] Ecole nationale de métiers électricité de France de la palière.
 - o Calculs mécaniques des conducteurs.
 - o Calculs mécaniques des supports.
 - o Calculs des armements.
- Editions d'électricité de France 1970.
- [6] M.BRAHAMI, transport et distribution de l'énergie électrique, Notes de cours, UDL Sidi Bel Abbes 2002.
 - [7] Y.PORCHERON, transport de l'énergie électrique, Technique de l'ingénieur, D41 1984.
 - [8] WILDI, Electrotechnique, Transport et distribution de l'énergie électrique 1999.
 - [9] P.LAGONOTTE, les installations électriques, les lignes et les câbles électriques, 1990.
 - [10] A.FOUILLE, électrotechnique à l'usage des ingénieurs, Tome1 : édition. Dunod 1969.
 - [11] M.PELLETIER, Le tout en proche, BORLAND DELPHI 6 2001.