



**Etude de l'impact de la centrale solaire  
Seikh ZAYED de 15 MW  
sur le système de production de la ville de  
Nouakchott.**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN GENIE  
ELECTRIQUE ENERGETIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES**

**OPTION : PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'ELECTRICITE  
OU  
MASTER SPECIALISE EN GENIE ELECTRIQUE**

Présenté par

**Moussa Abdoul KANE**

**Travaux dirigés par : Dr Amal Maouloud**

**Assistante technique à Direction d'Exécution de Projet**

**Promotion [2012/2013]**

## Dédicace

*En tout premier lieu, je tiens à dédicacer ce travail modeste et noble à mes très chers parents, qui sans leurs affections et leurs prodigieux conseils, je ne sais point si je pouvais arriver à ce stade ;*

*A ma très chère épouse pour son amour et son dévouement ;*

*A mes frères et mes sœurs ;*

*A Mon cher ami, Moussa Mamadou DIA pour son amour exprimé et son soutien sans faille*

*Ma pensée va également à ma défunte cousine Lélé Kane, qu'Allah l'accueille dans son saint paradis, Amin.*

*Pour couronner le tout, ce travail est dédié à toute ma grande famille et à tous mes amis.*

## Remerciements

*Je tiens tout d'abord à remercier le Directeur Général de La SOMELEC, Mohamed OULD BILAL de m'avoir accordé le stage et pour les conditions favorables offertes durant le stage.*

*Je remercie le Directeur de la cellule d'Etude et de planification de projets (CEP) Mr. TALL Ousmane, pour l'accueil chaleureux et très affectif qu'il m'a réservé durant notre séjour à la CEP.*

*Je remercie mon encadreur Mme Amal Maouloud et j'exprime toute ma reconnaissance pour les idées transmises, sa constante disponibilité et les efforts qui sont l'aboutissement de ce travail.*

*Mes remerciements vont également à tout le personnel de la CEP pour leur accueil très affectif.*

*Je remercie également toute l'équipe de direction et d'encadrement de 2iE pour avoir tout mis en œuvre afin d'assurer la réussite de ma formation sans oublier tous les enseignants du Département de Génie Electrique pour leur disponibilité.*

*J'implore la bénédiction d'Allah le Tout Puissant sur tous ceux qui d'une façon ou d'une autre ont apporté leur contribution à l'élaboration de ce projet.*

## Résumé :

Dans le contexte actuel d'instabilité du prix du pétrole et l'épuisement de leurs réserves, les énergies renouvelables offrent une alternative intéressante pour la production d'électricité.

La réalisation de la centrale solaire Seikh Zayed de 15 MW, s'inscrit dans ce contexte et surtout dans le cadre des objectifs fixés par le Gouvernement Mauritanien dans le domaine de l'énergie notamment la généralisation de l'accès des populations à l'électricité et l'amélioration de la qualité de la fourniture d'énergie électrique ainsi que l'intégration à grande échelle des Energies Renouvelables pour la réalisation d'un mix énergétique optimal.

Notre étude porte sur l'impact de cette centrale solaire dans le système de production d'énergie électrique de la ville de Nouakchott. Il s'agit de voir comment la centrale solaire Seikh Zayed permet à la Société Mauritanienne d'Electricité (SOMELEC), de réduire les coûts variables surtout en termes de combustible et d'améliorer son service énergétique. D'où son impact sur le système de production de la ville de Nouakchott

D'autre part, cette étude nous a permis d'analyser le parc thermique de production d'énergie électrique de la ville de Nouakchott ainsi que celle de la centrale solaire. Il ressort clairement de cette étude que la mise en service de cette centrale solaire entraîne un gain à la fois économique et environnemental :

- Sur le plan économique, la centrale entraîne une réduction de plus de 5 173 380 litres de fioul ,45 933 litre de gas-oil et de 72 779 litres d'huiles non brûlés par année. Ce qui constitue un gain de 4162517 dollars/an ;
- Sur le plan environnemental, l'intégration de l'énergie solaire aide à réduire la pression exercée sur nos ressources naturelles et servira de passerelle vers la sécurité énergétique et les opportunités de développement économique et durable.

Ce travail, nous a permis de montrer que l'impact de la centrale solaire 15 MW de Nouakchott sur le système de production de la ville de Nouakchott n'est pas négligeable. Elle couvre entre 7 et 10% des besoins en électricité de la capitale Nouakchott.

Parmi les retombées positives de cette centrale, en plus de la disponibilité d'une quantité appréciable d'énergie pour la capitale Nouakchott, la centrale permettra la réduction de la facture énergétique du pays et fournira une énergie propre respectueuse de l'environnement.

## **Sigles et abréviations utilisés**

- EnR : Energies renouvelables
- MWc : Mégawatt crête
- kWh : Kilowattheure
- \$ (US) : Dollars Américains
- UM : Ouguiya
- SOMELEC : Société Mauritanienne d'électricité
- CEP : Cellule Etudes et Planification des projets
- DEP : Direction d'Exécution des projets

-

## Tableau des matières

Dédicace .....	ii
Remerciements .....	iii
Résumé : .....	iv
Sigles et abréviations utilisés .....	v
Tableau des matières .....	vi
Liste des Tableaux .....	viii
Liste des figures .....	ix
Introduction : .....	10
CHAPITRE I : .....	12
PRESENTATION DE LA SOCIETE MAURITANIENNE D'ELECTRICITE (SOMELEC)	
I.1 Mission et Objectifs .....	12
I.2 Production .....	12
I.3 Distribution .....	12
I.4 Cadre organique .....	13
I.4.1 Conseil d'Administration : .....	13
I.4.2 Le Directeur Général : .....	13
I.4.3 Structure Organisationnelle: .....	13
CHAPITRE II : .....	16
PARC DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE DE LA VILLE DE NOUAKCHOTT	
2.1 Centrale Arafat 1 .....	16
2.2 Centrale Arafat 2 .....	17
2.3 Centrale Wharf .....	18
2.4 Centrale Hydroélectrique .....	18
2.5 Les projets en cours .....	19
CHAPITRE III : .....	21
LA CENTRALE SOLAIRE SHEIKH ZAYED DE 15MW .....	21
Source : Masdar-CEP .....	23
III.2 Les boites de la combinaison (Combiner Box) .....	23
III.3 Les onduleurs .....	23
CHAPITRE IV : .....	27
ANALYSE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE LA CENTRALE SOLAIRE .....	27
IV.1 Profil de l'énergie Solaire .....	27
IV.2 Profil de charge journalier de la ville de Nouakchott .....	28

IV.3 Evolution de la puissance photovoltaïque comparée à la courbe horaire de la demande de Nouakchott .....	29
CHAPITRE VI : .....	30
ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA CONSOMMATION MENSUELLE DES DIFFERENTES CENTRALES .....	30
VI.1 Production et consommation pour l'année 2012 .....	30
VI.2 Production et consommation pour l'année 2013 .....	31
CHAPITRE V : .....	35
ETUDE ECONOMIQUE ET FINANCIERE .....	35
V.1 Gain en combustible et en lubrifiant pour la SOMELEC .....	35
V.2. Coûts des équipements de la centrale Seikh Zayed. ....	37
V.3 Calcul du coût global actualisé de la centrale thermique d'Arafat 2 et de la centrale solaire .....	37
V.3.1 Coûts de fonctionnement de la centrale thermique d'Arafat 2 et de la centrale solaire.....	37
V.3. 2 Etude comparative du coût global actualisé de la centrale d'Afat2 et de la centrale solaire .....	38
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	42
ANNEXES .....	43

## Liste des Tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des modules photovoltaïques :.....	22
Tableau 2 : plaque signalétique d'un panneau .....	23
Tableau 3 : Production et consommation 2012 .....	30
Tableau 4 : Production et consommation 2013 .....	31
Tableau 5 : gain en combustible.....	36
Tableau 6 : Coût de fonctionnement de la centrale d'Arafat2 et de la solaire.....	38
Tableau 7 : Coût de production du kilowattheure.....	39
Tableau 8 : Coût de production du kilowattheure.....	40

## Liste des figures

Figure 1 : Organigramme de la des études et de la planification des projets (CEP) .....	15
Figure 2: Vue du bâtiment de la centrale Arafat 1 .....	16
Figure 3 : Vue des conteneurs de la centrale Arafat 2 .....	17
Figure 4 : Vue de la centrale du Wharf.....	18
Figure 5 : Vue du poste de livraison 225/33kV de l'OMVS .....	19
Figure 6 : Schéma synoptique d'une section de la centrale SEIKH ZAYED .....	21
Figure 7 : panneaux solaire.....	22
Figure 8 : Combiner Box .....	23
Figure 9 : Onduleur vue de l'intérieur.....	24
Figure 10 : Vue du transformateur .....	24
Figure 11 : Evolution de la puissance photovoltaïque pour une journée normale .....	28
Figure 12 : Profils journalier de Nouakchott.....	29
Figure 13 : Taux de couverture par centrale pour le premier trimestre 2013.....	32
Figure 14 : Taux de couverture par centrale pour le deuxième trimestre 2013.....	33
Figure 15: Taux de couverture par centrale pour le troisième trimestre 2013 .....	33
Figure 16 : Taux de couverture par centrale pour le quatrième trimestre 2013 .....	34

## **Introduction :**

La Mauritanie, à l'instar des pays en voie de développement, reste confronter de plus en plus à des sérieuses difficultés liées non seulement à l'environnement, mais aussi à l'approvisionnement énergétique. L'énergie en dépit de sa disponibilité, demeure couteuse et par conséquent inaccessible pour la plus part de la population Mauritanienne. Ceci justifie en partie l'absence d'initiative pouvant conduire au développement. Ainsi une politique énergétique appropriée est mise sur pieds pour améliorer d'une part les conditions de vie de la population et d'autre part de booster le processus de développement.

Ainsi, une politique de généralisation de l'accès à l'énergie électrique de qualité est favorisée par l'Etat Mauritanien, soucieux d'améliorer les conditions de vie de ses populations. Mieux, l'Etat cherche à orienter encore sa politique énergétique en intégrant dans son volet de généralisation, un programme ambitieux d'utilisation des énergies renouvelables (EnR) à grande échelle. Cette politique a pour objectif de réduire la dépendance de la Mauritanie vis-à-vis de l'extérieur.

Pour la réalisation de ce projet, la Mauritanie a obtenu un don des Emirats Arabes Unies pour la construction d'une centrale solaire de 15 MWc qui contribuera sans doute à la sécurisation et à l'amélioration de la qualité de la fourniture de l'énergie électrique ainsi que l'intégration des Energies Renouvelables (EnR) dans le système de production d'énergie électrique de la ville de Nouakchott.

Notre étude consiste à analyser l'impact de cette centrale solaire sur le système de production de la ville de Nouakchott. Il s'agit de voir quelles sont les économies réalisées par la SOMELEC avec la mise en service de cette centrale et de justifier l'augmentation du taux de pénétration de la production solaire dans le parc actuel de Nouakchott et à l'intérieur du pays.

Pour mieux mener cette étude, nous l'avons scindé en deux parties :

- La première partie est composée de trois chapitres. Après la présentation de la SOMELEC dans le chapitre premier, nous présenterons le parc de production d'énergie électrique de la ville de Nouakchott dans le deuxième. Le troisième chapitre portera sur la présentation des principales caractéristiques de la centrale solaire SEIKH ZAYED de Nouakchott.
- La deuxième partie est composée de quatre chapitres. Le chapitre 1, sera consacré à l'analyse du système de production de la centrale solaire Seikh Zayed. Dans le chapitre 2, nous présenterons la production mensuelle des différentes centrales ainsi que l'impact de la centrale solaire sur le système de production. Le troisième chapitre portera sur l'analyse économique et financière de la production avant et après la mise en service de la centrale solaire, et l'estimation du prix du kilowattheure.

# **Première partie :**

## **Présentation de la structure d'accueil**

## CHAPITRE I :

### PRESENTATION DE LA SOCIETE MAURITANIENNE D'ELECTRICITE (SOMELEC)

La SOMELEC a été créée, à partir de la scission de l'ex-SONELEC (décret N° 2001-88 du 27 juillet 2001 modifié par décret 2003-008 du 17 février 2003). Régie par un contrat-programme avec l'Etat, la SOMELEC assure la production, le transport, la distribution, l'achat et la vente de l'électricité en milieu urbain. Elle gère actuellement 44 centres.

#### I.1 Mission et Objectifs

- La SOMELEC est chargée :
- de la production, du transport, de la distribution et de la commercialisation de l'électricité en milieu urbain et périurbain sur la totalité du territoire national.
- de satisfaire le besoin en énergie électrique tant au niveau domestique qu'industriel avec un service de qualité.

#### I.2 Production

La production est essentiellement d'origine thermique pour une puissance totale installée en 2013 de 163 MW. Pour cette même année le cumul de l'énergie nette produite dans tout le pays, en fin décembre 2013, est de **642 567** MWh et le cumul de l'énergie nette livrée est de **641 560** MWh.

La répartition du cumul de production réalisée en fin décembre, entre les diverses sources de production, se présente comme suit :

- ✓ 27,10 % par l'apport hydroélectrique de Manantali ;
- ✓ 0,10 % par l'apport de la SNIM à Nouadhibou ;
- ✓ 69,59 % par le parc thermique de la SOMELEC ;
- ✓ 3,21 % par apport de la centrale solaire SOMELEC de Nouakchott.

#### I.3 Distribution

Le réseau de distribution de la **SOMELEC** compte environ 2700 km de lignes de différents niveaux de tension (HTA en 33 et 15 KV et BT en 400V). Le réseau d'interconnexion OMVS se compose de 933 km et 187 km de lignes respectivement de niveaux 225 kV 90 kV.

Les sites de production ne sont pas interconnectés à cause de l'étendue du territoire, de la distance relative entre les villes électrifiées qui n'est pas faible et de leur faible demande en énergie.

Cependant, quatre villes (Nouakchott, Rosso, Boghé, Kaédi et bientôt Sélilaby) sont interconnectées au réseau de l'OMVS.

## **I.4 Cadre organique**

### **I.4.1 Conseil d'Administration :**

LA SOMELEC est gérée par un Conseil d'Administration composé de dix membres. Le Conseil est présidé par un président nommé par un décret du Conseil des Ministres.

Sur les dix membres du conseil, deux membres sont des représentants du Ministère du Pétrole de l'Energie et des Mines, six membres représentent le Ministère des Affaires Economiques et du Développement, le Ministère de l'intérieur et le Ministère du Commerce, un membre représente la Banque Centrale de Mauritanie et un membre représente le Personnel.

Le conseil est convoqué par son président. Au moins trois réunions sont organisées en session ordinaire par an alors qu'une session extraordinaire est convoquée en cas de force majeure. Il désigne en son sein un comité de gestion pour le contrôle et le suivi de ses délibérations.

Le Conseil d'Administration élabore les programmes d'activité et d'investissement, et prépare l'état des prévisions des recettes et des dépenses, le compte d'exploitation et le bilan de fin d'exercice.

Le mandat du conseil et de son président est de trois ans.

### **I.4.2 Le Directeur Général :**

Il assure le fonctionnement des services de la SOMELEC et veille à l'exécution des décisions du Conseil d'Administration auquel il rend compte de sa gestion.

Le Directeur Général représente la SOMELEC vis-à-vis des tiers et signe, en son nom, toutes conventions relatives à son objet ; il représente la SOMELEC en justice, poursuit l'exécution de tous les jugements et fait procéder aux saisies en cas de besoin.

Afin d'exécuter de sa mission, le Directeur Général exerce l'autorité hiérarchique et le pouvoir disciplinaire sur l'ensemble du personnel ; il peut nommer et révoquer le personnel, conformément à l'organigramme et selon les conditions prévues par le statut du personnel. Il peut déléguer au personnel placé sous son autorité le pouvoir de signer tous ou certains actes d'ordre administratif.

### **I.4.3 Structure Organisationnelle:**

L'organigramme en vigueur actuellement à la société est composé d'un Conseil d'Administration, un Directeur Général, un Directeur Général Adjoint, un ensemble de conseillers et des chargés de mission,

une Ecole des métiers et des onze directions suivantes : (1) Direction d'Exécution des Projets, (2) Direction des travaux neufs, (3) Direction Production, (4) Direction Transport et Distribution, (5) Direction Commerciale, (6) Direction du Contrôle de Gestion, (7) Direction des Ressources Humaines (8) Direction Financière et Comptable, (9) Direction de l'Informatique et du Système d'information, (10) Direction des Achats et Approvisionnements , (11) Direction des Moyens Généraux.

Ce stage a été réalisé dans la Cellule d'Etudes et Planification (CEP) actuellement dénommé Direction d'Exécution des projets (DEP) dont les principales missions sont :

➤ **Etudes**

- Toute étude statistique ou prospective à caractère économique ;
- Toute étude, travaux, contrôles relatifs aux moyens techniques de production, transport, distribution d'électricité et en particulier ceux entrepris totalement ou partiellement dans le cadre d'un financement extérieur ;
- Définir la normalisation des matériels et équipements ;
- Tenir à jour la cartographie des ouvrages.

➤ **Suivi et planification**

- Préparer et assurer le suivi des dossiers de recherche de financement pour les études et les projets en relation avec les autres structures concernées ;
- Participer au processus de passation des contrats y afférents (lancement DAO, évaluation des offres, négociations) ;
- Assurer le suivi des conventions de financement en relation avec les autres structures concernées ;
- Assurer le suivi d'exécution des marchés en relation avec les autres structures concernées ;
- Assurer la coordination avec les autres structures concernées par les projets et travaux ;
- Assurer les relations avec les Administrations et les bailleurs de fonds ;
- Veiller à la qualité du transfert des équipements aux unités d'exploitation.

La figure 1 donne l'organigramme de la cellule Etude et planification des projets,

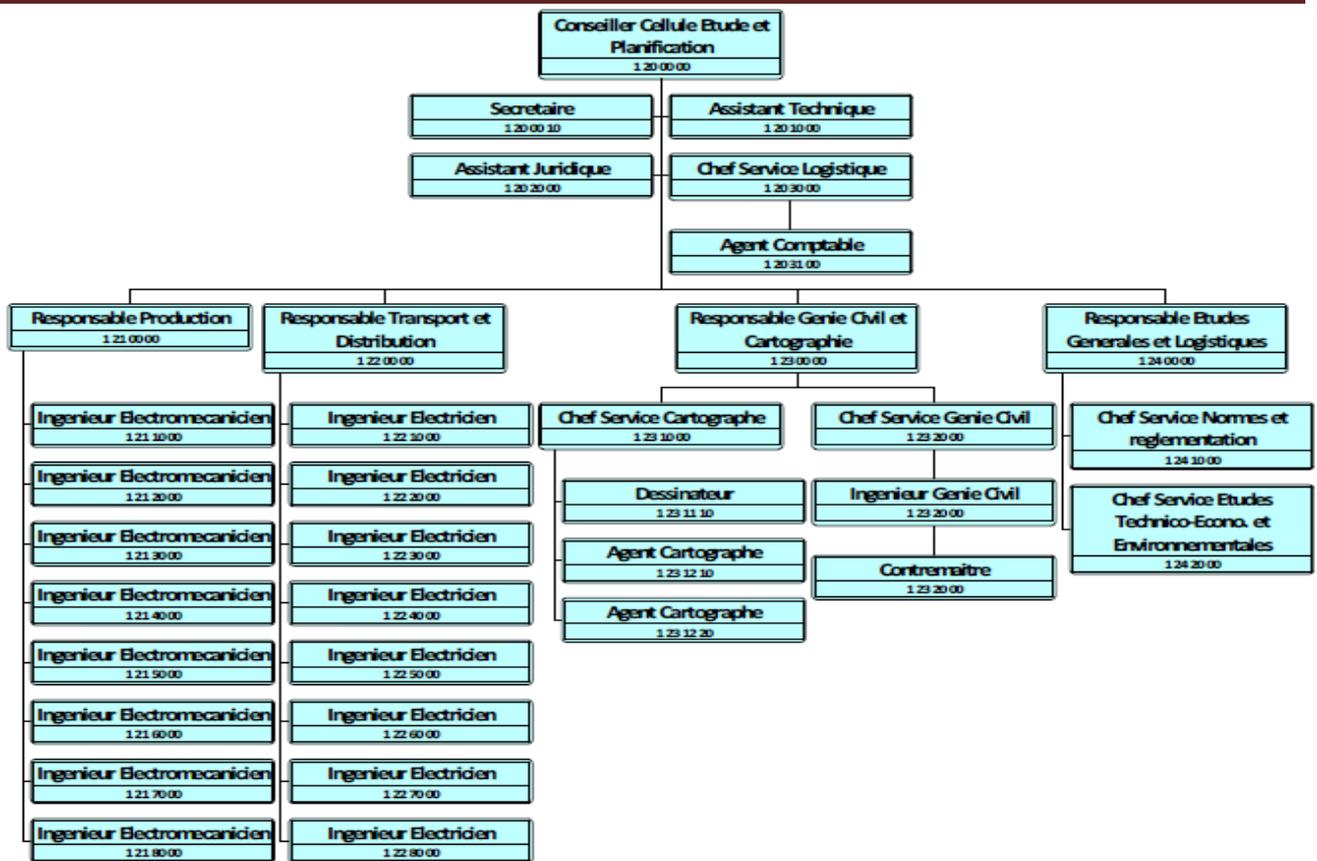


Figure 1 : Organigramme de la des études et de la planification des projets (CEP)

Source : CEP

## CHAPITRE II :

### PARC DE PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE DE LA VILLE DE NOUAKCHOTT

Le présent chapitre a pour objectif de décrire les infrastructures existantes d'alimentation en énergie électrique de la ville de Nouakchott. Ces infrastructures comprennent les centres de production installés dans la ville de Nouakchott ou à proximité et le poste de livraison d'énergie en provenance de l'OMVS.

La ville de Nouakchott est actuellement alimentée en énergie par un parc de production constitué de 4 centrales thermiques du type diesel, les centrales Arafat 1 et 2, la centrale du Wharf, la centrale Solaire de 15 MW et le poste source de l'OMVS à partir de la centrale de Manantali via une ligne 225kV. Ces installations sont décrites plus en détail à l'Annexe 1 avec un tableau résumant leurs caractéristiques principales.

#### 2.1 Centrale Arafat 1

La centrale Arafat 1 est la plus grosse des centrales installées à Nouakchott. Elle est située dans la partie sud de la ville, à la limite entre les quartiers Arafat et El Mina, au bord de la route menant à Rosso. Elle est du type thermique. Le bâtiment abrite 6 groupes Diesel fonctionnant au HFO d'une puissance nominale installée de 7MW chacun.



Figure 2: Vue du bâtiment de la centrale Arafat 1

Source : CEP

La puissance disponible de ces groupes est toutefois limitée à 5,5 MW, ce qui confère à la centrale une puissance disponible de 38,5 MW. Les groupes G1 à G4 sont de la marque MAN et sont de type 9L52/55B. Ils ont été mis en service en 1989 et devraient être déclassés en 2013. Les groupes G5 et G6 sont également de la marque MAN et sont du type 9L48/60B. Ils ont été mis en service en 2001 et seront déclassés en 2021.

Tous les groupes de cette centrale fonctionnent sous une tension de 5,5 kV. Quatre d'entre eux (G1 à G4) injectent leur énergie sur le jeu de barres 15 kV du poste de répartition Arafat au travers de leur transformateur bloc de caractéristiques 5,5/15 kV. Les deux autres groupes délivrent l'énergie qu'ils produisent sur le jeu de barres 33 kV du poste de répartition, au travers de leur transformateur bloc de caractéristiques 5,5/33 kV.

## 2.2 Centrale Arafat 2

Cette centrale est constituée d'un ensemble de 7 groupes diesel en conteneur. Ces groupes fonctionnent au fuel lourd (HFO) et ont une puissance nominale unitaire de 1,5 MW. La puissance disponible des groupes étant également de 1,5MW, la puissance totale disponible de la centrale Arafat 2 est donc de 10,5 MW.



Figure 3 : Vue des conteneurs de la centrale Arafat 2

Source : CEP

Tous les groupes de cette centrale ont été mis en service en 2010. Chaque groupe génère son énergie à une tension de 11kV. La tension des groupes est ensuite élevée par un transformateur bloc 11/15 kV

Etude de l'impact de la centrale solaire de 15 MW de Nouakchott sur le système de production de la ville de Nouakchott.  
d'une puissance unitaire apparente de 2 MVA. Les secondaires de ces transformateurs sont rassemblés sur un jeu de barre 15 kV. L'énergie produite par la centrale Arafat 2 est ensuite injectée sur le jeu de barres 33 kV du poste de répartition 33/15 kV Arafat au travers de deux transformateurs 15/33 kV d'une puissance unitaire de 14,5 MVA et dont le couplage est YNd11 et la tension de court-circuit est de 9%.

### 2.3 Centrale Wharf

La centrale du Wharf est la plus récente du parc de production actuel puisqu'elle a été mise en service en 2011. Comme son nom l'indique, elle est située dans la zone du Wharf (A l'Ouest de la ville). Elle est du type thermique. Elle a une puissance installée totale de 36 MW et est composée de 3 modules abritant chacun 3 groupes Diesel fonctionnant au fuel lourd (HFO) d'une puissance de 4 MW. Les groupes débitent sur un jeu de barre de 11 kV.

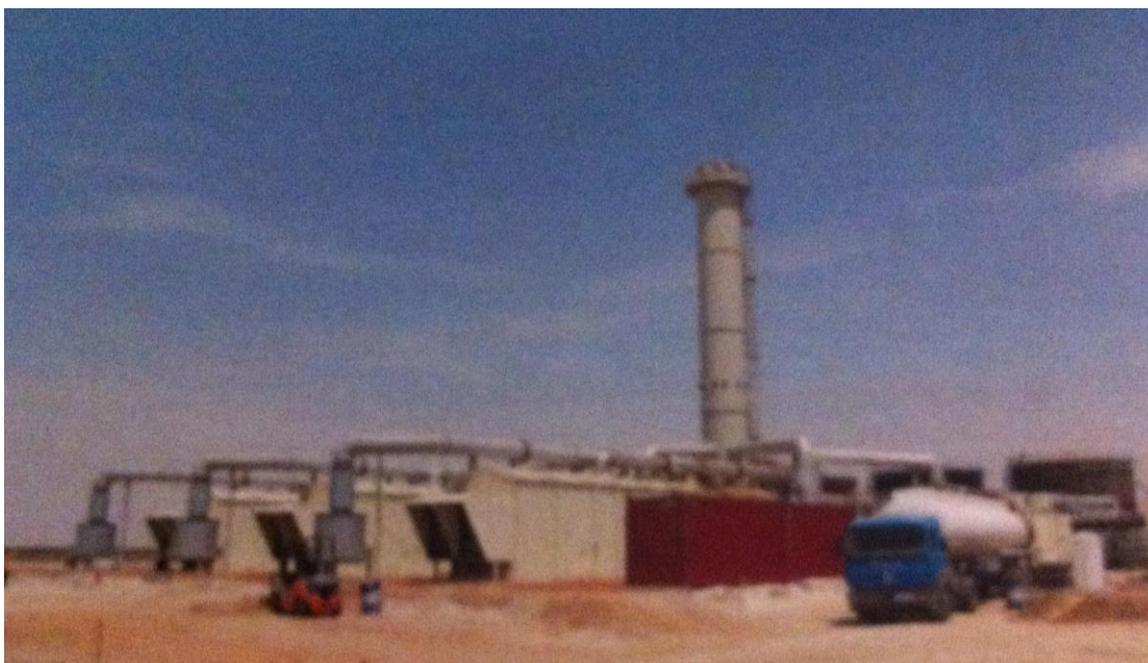


Figure 4 : Vue de la centrale du Wharf

Source : CEP

L'énergie produite par cette centrale est injectée au réseau de distribution de Nouakchott au niveau du poste Ouest de répartition 33/15 kV qui est situé directement à côté de la centrale au travers de deux transformateurs élévateurs 11/33 kV d'une puissance de 32 MVA.

### 2.4 Centrale Hydroélectrique

Cette centrale située au Mali délivre son énergie à travers le poste de livraison 225/33 kV de l'OMVS. Elle est située au sud de la ville de Nouakchott, à côté des centrales Arafat 1 et 2. Ce poste est constitué des équipements suivants :

- Une travée d'arrivée qui accueille la ligne 225 kV en provenance du poste de Rosso ;
  - Deux travées 225 kV transformateurs ;
  - Une travée réactance ;
  - Deux transformateurs 225/33 kV de 75 MVA ;
  - Une réactance de 20 MVA<sub>r</sub> ;
  - Un bâtiment de contrôle commande abritant également le poste 33 kV.

Ce poste injecte l'énergie en provenance de la centrale Hydroélectrique de Manantali au poste de répartition 33/15 kV Arafat de la SOMELEC.



Figure 5 : Vue du poste de livraison 225/33kV de l'OMVS

Source : CEP

L'énergie issue de cet ouvrage intercommunautaire couvre près du tiers des besoins en électricité de la ville de Nouakchott qui est raccordée à cette centrale à travers le réseau interconnecté de l'OMVS. Ce réseau alimente également des villes mauritaniennes situées sur la vallée du fleuve Sénégal. Il s'agit de Rosso, Kaédi, Boghé et bientôt Sélibaby.

## 2.5 Les projets en cours

Pour améliorer le taux d'électrification qui est un paramètre clé pour la satisfaction de la demande d'électricité, la SOMELEC a développé plusieurs projets que sont :

- Le Programme de développement du Système Production, Transport et Distribution de l'Electricité pour la ville de Nouakchott.
- Le Projet de construction d'une extension de 60 MW de la centrale duale de 120 MW
- Le Programme de Développement du Système National de Transport de l'électricité.
- Le Projet de construction de la ligne HTA 225 kV Nouakchott – Nouadhibou et des postes associés
  - Construction des lignes aériennes 225 Kv entre Nouakchott et Nouadhibou
  - Construction des sous stations électriques associées
- Le Projet de construction de ligne HTA 225 kV Nouakchott (Mauritanie) – Tobène (Sénégal) et des postes associés
- Le Programme National de Développement des Interconnexions Electriques.

Ce programme vise à optimiser l'utilisation de l'énergie de Manantali à travers la connexion de centres actuellement isolés, au réseau interconnecté de l'OMVS, à réduire les coûts de production par la mise en stand by de centrales thermiques onéreuses et au développement de l'accès à l'électricité.

Ce programme comporte actuellement deux projets :

- Le Projet de réalisation de lignes 90 et 33 kV et des postes associés ;
- Le Projet de développement des systèmes électriques de la zone Est ;
- Programme National de Développement du Mix Energétique National.

Ce programme entre dans le cadre de la diversification du mix énergétique national. Il devra concourir à la réduction des coûts de production par l'addition des capacités solaires dans 25 localités du périmètre actuel de la SOMELEC.

Ce programme comprend les projets suivants :

- Programme d'hybridation solaire des centrales de l'intérieur du pays.
- Projet de construction d'une centrale hybride thermique - photovoltaïque au sol associée au stockage d'énergie et connectée au réseau électrique de la SOMELEC à Kiffa.
- Projet de construction, à Nouakchott, d'une centrale éolienne d'une puissance de 30 MW.

La première tranche de 120 MW de la nouvelle centrale duale sera mise en service en octobre 2014 ce qui permettra à la SOMELEC d'arrêter tous les autres centrales thermiques, lesquelles constitueront une réserve froide.

## CHAPITRE III :

### LA CENTRALE SOLAIRE SHEIKH ZAYED DE 15MW

La centrale solaire SHEIKH ZAYED, inaugurée le 14 Avril 2013, est située au Nord-Est de la ville de Nouakchott et couvre une superficie de 30ha avec une puissance installée de 15 MW. Elle est opérationnelle depuis le 14 Mars 2013. La puissance délivrée actuelle varie entre 3 et 11 MW par jours, soit une production annuelle de 21 333 MWh et cette centrale couvre 6% de la demande de Nouakchott. L'énergie produite par cette centrale est injectée au réseau de distribution de Nouakchott au niveau du poste Nord de répartition 33/15 Kv situé à proximité de la centrale au travers de 9 transformateurs élévateurs 400V/33 Kv d'une puissance de 1,6 MVA chacun.

La centrale Solaire SHEIKH ZAYED est composée huit (8) blocs d'alimentation, appelé station et désignés comme chambre numéroté de A à H. Toutes les stations sont typiques avec deux onduleurs à l'exception de la chambre H, qui a trois onduleurs.

Les stations comprennent, les équipements nécessaires pour convertir le courant continu produit par le générateur photovoltaïque en courant alternatif, intensifié à un niveau de tension moyenne 33 kV pour l'interconnexion au réseau.

Le schéma synoptique d'une station est présenté ci-dessous :

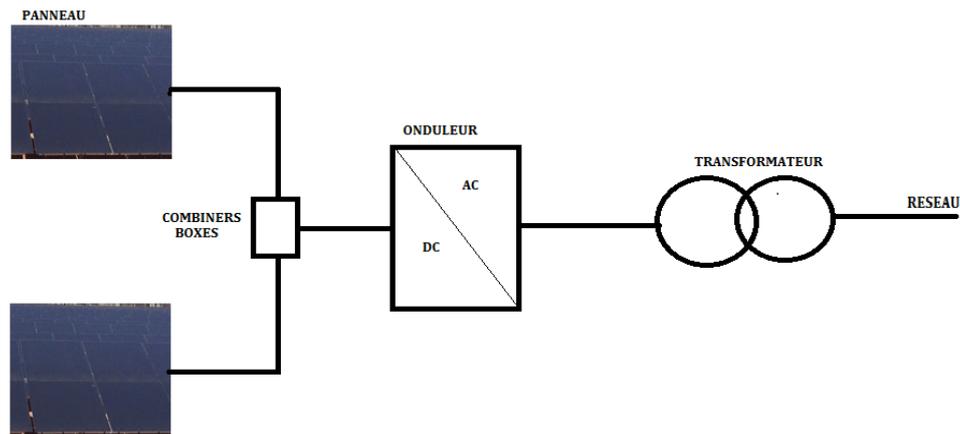


Figure 6 : Schéma synoptique d'une station de la centrale SEIKH ZAYED

Chaque station comprend les composants principaux suivants:

#### III.1 Les modules solaires :

Les Modules photovoltaïques convertissent la lumière solaire en énergie électrique à courant continu. Les modules utilisés dans la centrale solaire SEIKH ZAYED sont en couches minces destinés à produire à haut rendement énergétique à travers un large éventail de conditions climatiques avec une excellente réponse en basse lumière et à température élevée.

Le nombre total des modules photovoltaïques Masdar utilisés (figure 7) est de 29.826 d'une surface

unitaire de 5,72 m<sup>2</sup> par module.

Deux technologies de couches minces différentes ont été utilisées, à savoir, le silicium amorphe (a-Si) et micromorphes (a-Si /  $\mu\text{c-Si}$ ). La puissance installée totale est de 15003000 Wc soit 15 MWc, composées de :

- 4986 modules amorphes de 1000 V chacun dont 1296 ont une puissance unitaire égale à 410W et 3690 modules de puissance unitaire égale à 420W.
- et de 24840 modules de puissance variant entre 470W et 560W ayant chacun une tension de sortie de 1000 V



Figure 7 : panneaux solaire

Le tableau 1 ci-dessous récapitule les principales caractéristiques des modules PV installés :

Modules (a-Si) Wc	Quantité	Puissance (kWc)	I <sub>MPP</sub> (A) (Courant au point de puissance maximale)	I <sub>CC</sub> (A) (Courant de court-circuit)	V <sub>OC</sub> (V) (Tension de circuit ouvert)	V <sub>MPP</sub> (V) (Tension au point de la puissance maximale)
410	1296	531,36	2,57	3,25	197	160
420	3690	1549,8	2,61	3,3	198	161
470	72	33,84	2,17	2,64	283,4	217
480	198	95,04	2,2	2,67	284,3	218
490	936	458,64	2,22	2,71	285,2	220
500	2754	1377	2,23	2,61	290	225,3
510	6678	3405,78	2,24	2,64	292	227,7
520	5670	2948,4	2,37	2,81	283,5	219,8
530	2916	1545,48	2,39	2,83	285,2	221,8
540	3384	1827,36	2,41	2,84	287	223,8
550	1962	1079,1	2,43	2,85	288,7	225,7
560	270	151,2	2,46	2,87	290,4	227,7
Total	29826	15003				

Tableau 1 : Caractéristiques des modules photovoltaïques :  
Source : Photovoltaic System Operations & Maintenance, MASDAR

Pour plus de détails sur les modules utilisés, voici les informations de la plaque signalétique en anglais tirées du document de la centrale.

The following table summarizes the general specifications of all Masdar PV modules used at the site

Maximum system voltage (Vmax)	V	1000
Maximum reverse current (IR)	A	5
Bypass diode current (IB)	A	10
Length	mm	2600
Width	mm	2200
Area	m <sup>2</sup>	5.72
Thickness of module (incl. backrails)	mm	7 (34)
Weight	kg	112
Operating temperature range	°C	-40 to +85

Tableau 2 : plaque signalétique d'un panneau  
Source : Masdar-CEP

### III.2 Les boîtes de la combinaison (Combiner Box)

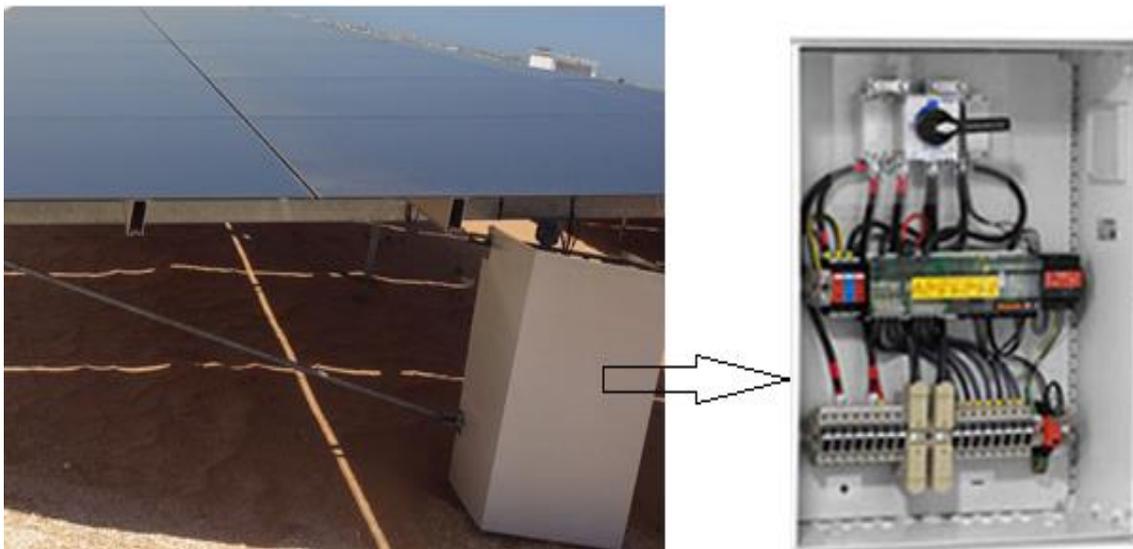


Figure 8 : Combiner Box

Ce sont des boîtiers de connexions (figure 8). Ces boîtiers sont utilisés pour combiner les groupes de modules (strings) photovoltaïques dans une sortie commune et offrir une protection aux strings en cas de défaut. Ils sont utilisés pour simplifier le câblage des panneaux photovoltaïques de la centrale et offrent une bonne protection contre les surtensions et les surintensités. Il existe 117 boîtes de la combinaison installées dans la centrale.

### III.3 Les onduleurs

L'onduleur photovoltaïque (figure 9) joue le rôle d'interface entre le champ photovoltaïque et le réseau électrique. Il fonctionne uniquement en journée pendant les heures d'ensoleillement en convertissant le courant continu du champ photovoltaïque en courant alternatif. La tension de sortie des onduleurs est couplée en triphasée puis élevée par un transformateur qui injecte directement l'énergie produite sur le réseau de distribution



Figure 9 : Onduleur vue de l'intérieur

Un total dix-sept (17) onduleurs DC / AC de type SMA Solar Technology sont installés dans la centrale. Deux tailles différentes d'onduleurs sont utilisées, 16 onduleurs de 760 kW et un onduleur de 500 kW.

#### **III-4 : les transformateurs.**

Le transformateur est un appareil qui convertit de l'énergie électrique en énergie électrique de même fréquence mais de tension différente. Chaque station est composée d'un transformateur permettant d'intensifier la sortie basse tension des onduleurs à une tension moyenne de 33kV.

Il existe dans la centrale 11 transformateurs de puissance 1600kVA (figure 10). Neufs des transformateurs injectent leurs énergies directement dans le réseau et les deux autres sont utilisés pour l'alimentation des auxiliaires de la centrale.



Figure 10 : Vue du transformateur

# Deuxième partie :

## Le rapport d'activité

Cette partie, consiste à l'analyse des données des productions des différentes centrales, ainsi que l'impact de la centrale solaire dans le système de production. Nous analyserons en premier, le système de production de la centrale solaire. Ensuite, la production mensuelle des différentes centrales attirera notre attention. Enfin, nous aborderons une étude économique et comparative des deux systèmes de production (centrale thermique d'Arafat 2 et centrale solaire), ainsi que le calcul du coût du kilowattheure produit.

Le choix de la centrale thermique d'Arafat 2 dans l'étude économique est dû à sa similitude avec la centrale solaire en termes de couverture mensuelle de la demande.

### ➤ **Les actions à mener**

Notre étude consiste à étudier l'impact de ladite centrale sur le système de production de la ville de Nouakchott. Les actions se déclinent comme suit :

- Analyser le système de production de la centrale solaire ;
- Analyser les autres centrales de production ;
- Faire une étude économique et financière des coûts de production avant et après la mise en service de la centrale solaire

### ➤ **Méthodologie**

Notre étude a commencé par la consultation des documents techniques de la centrale solaire afin de comprendre ses principales caractéristiques et son mode de fonctionnement. Pour se familiariser avec le système de supervision de la centrale (interface avec les données sur la production en fonction des conditions climatiques), nous avons effectué un séjour de deux semaines à la centrale solaire. Ensuite, nous avons effectué des visites au niveau des différentes centrales pour comprendre leur principe de fonctionnement et recueillir des données nécessaires pour mener notre étude et de rencontrer des personnes ressources pouvant nous éclairer sur le fonctionnement du système de production.

### ➤ **Les objectifs :**

L'objectif de notre travail est de ressortir, l'impact de la centrale solaire sur la couverture de la demande et spécifiquement son impact sur le coût du kilowattheure (kWh).

## **CHAPITRE IV :**

### **ANALYSE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE LA CENTRALE SOLAIRE**

Les énergies renouvelables, particulièrement le solaire photovoltaïque, répondent à une stratégie énergétique à long terme basée sur le principe du développement durable et sont une solution au problème de l'épuisement à moyen terme des gisements des énergies fossiles.

Une centrale solaire photovoltaïque est un ensemble destiné à la production d'électricité. Elle est constituée de modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs et des transformateurs pour être raccordée au réseau.

Cependant, la production électrique de la centrale solaire est influencée par la nature. Elle est donc intermittente et ne peut pas être traitée de la même manière que les centrales classiques (thermiques et hydroélectriques) dont les productions peuvent être contrôlées en continu. Avant l'introduction de cette centrale au réseau, la SOMELEC, le gestionnaire du réseau, devait s'assurer que la production des unités de génération corresponde exactement et continuellement à la demande, qui varie en fonction des besoins des consommateurs. Avec la centrale solaire, il doit continuer à ajuster la production du parc des machines, mais non plus par rapport à la demande uniquement, mais par rapport à la demande diminuée de la production de la centrale solaire.

Pour analyser la production de cette centrale, nous allons faire une étude de l'offre et de la demande, par la méthode des profils.

#### **IV.1 Profil de l'énergie Solaire**

Les productions de la centrale solaires ont été collectées. Ces puissances horaires sont traitées et ont permis de tracer la figure 11. Elle représente la courbe journalière optimale de la production solaire du mois du mois d'Avril.

On y voit clairement qu'il n'y a plus de soleil après 20h, et par conséquent il n'y a aucune production solaire pendant les heures de pointe nocturne qui se situe généralement entre 21H et 23H. Mais elle participe à la couverture de la pointe journalière qui se situe entre 13h et 15h. L'énergie solaire permet donc de réduire l'énergie que les centrales classiques doivent produire pour satisfaire la demande dans la journée, mais ne permet pas de diminuer la puissance installée du système de génération.

D'autre part, la production de la centrale solaire ne présente pas toujours le même profil, elle est variable et intermittente. Cela implique donc une grande flexibilité des moyens de production, car toute modification de la consommation ou de la production de la centrale solaire doit être automatiquement et instantanément répercutée sur tout le système électrique. Actuellement, c'est le

poste de l'OMVS qui régule la production. Mais il est prévu de réguler la production par la centrale duale précitée dès sa mise en service.

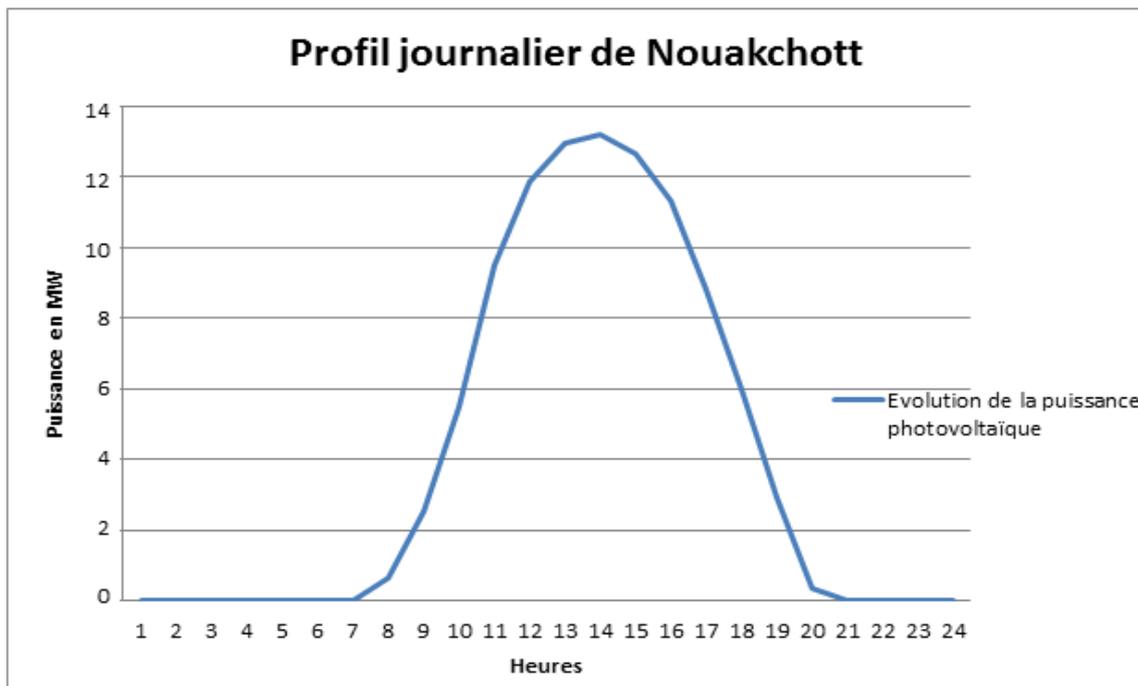


Figure 11 : Evolution de la puissance photovoltaïque pour une journée normale

#### IV.2 Profil de charge journalier de la ville de Nouakchott

Pour étudier le profil de charge journalier de la ville de Nouakchott, nous distinguons des jours ouvrables (dimanche au jeudi) et des jours fériés (vendredi et samedi).

La figure 12 donne les profils journaliers moyens des jours ouvrables et des jours fériés de toute l'année 2013. Ces profils correspondent assez fidèlement au mode de vie de la population, ce qui comprend les activités personnelles et familiales, administratives, commerciales et industrielles.

On peut y constater que :

- Tous les deux profils ont la même forme ;
- Creux de charge le matin de 3 à 8h ;
- Petite pointe à mi-journée de (11 à 15h) ;
- Pointe de 20 à 23h ;

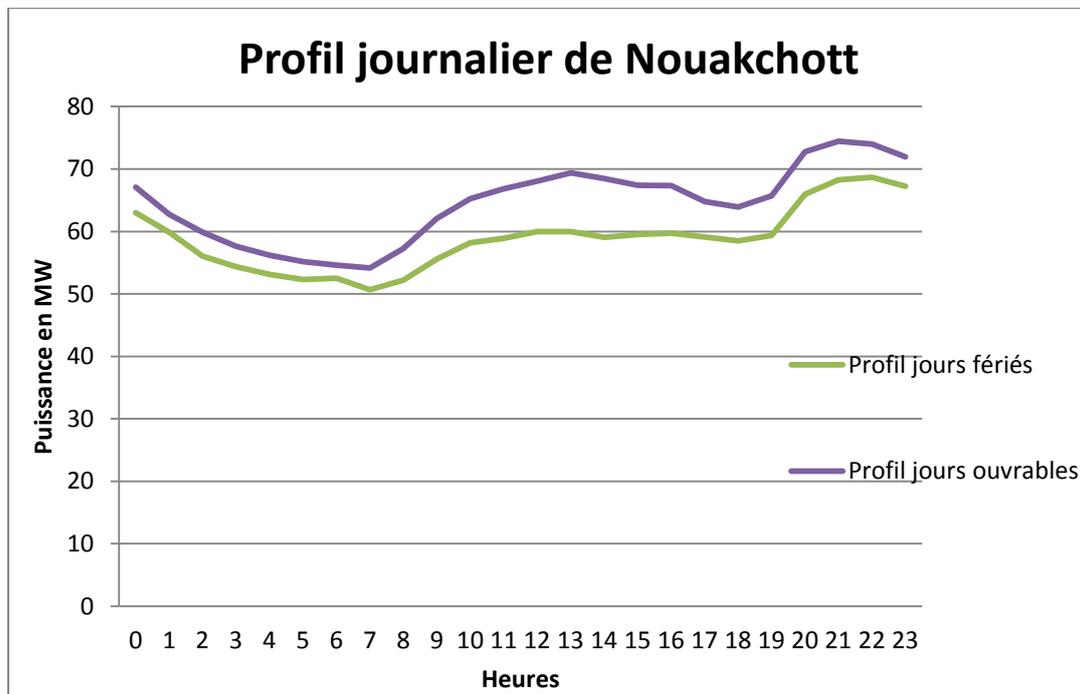


Figure 12 : Profils journalier de Nouakchott

On observe sur ce profil moyen, une petite pointe de mi-journée entre 11h et 15h qui est nettement moins importante pour les jours fériés (le vendredi et le samedi). Cette différence entre jours ouvrables et jours fériés s'explique par les activités importantes durant les jours ouvrables tels que : Les activités administratives qui nécessitent la climatisation, le fonctionnement des industries et d'autres activités économiques.

Les jours fériés (les week-ends), sont marqués par peu d'activités économiques le week-end donc une consommation énergétique moins importante.

#### IV.3 Evolution de la puissance photovoltaïque comparée à la courbe horaire de la demande de Nouakchott

La puissance maximale journalière de la centrale solaire est obtenue, comme prévu, au zénith du soleil, qui se produit à Nouakchott entre 13 et 14 heures. Mais la pointe de charge a lieu entre 21 et 23 heures, donc la production photovoltaïque ne sert pas à satisfaire ou réduire la pointe de charge le soir.

Il est donc indispensable d'encourager les industriels dans le développement économique futur à travailler plus le jour pour déplacer la charge de pointe vers le milieu de la journée. Ainsi la production d'énergie photovoltaïque pourrait alors également servir à couvrir les besoins aux heures de pointe.

Pour encourager les industriels à travailler plus le jour, il faut deux systèmes tarifaires, un tarif pour le jour et un tarif plus cher à partir de 18h.

**CHAPITRE VI :****ANALYSE DE LA PRODUCTION ET DE LA CONSOMMATION  
MENSUELLE DES DIFFERENTES CENTRALES**

Nous analyserons dans ce chapitre, les productions d'énergie et les consommations mensuelles du combustible et des lubrifiants des différentes centrales pour l'année 2012 (avant la mise en service de la centrale solaire) et pour l'année 2013 (première année de mise en service de la centrale solaire). Nous avons aussi estimé le taux de couverture de la centrale solaire ainsi que le gain en combustible et en lubrifiant engendré la mise en service de la centrale solaire.

**VI.1 Production et consommation pour l'année 2012**

Le tableau qui suit donne la production totale d'énergie électrique ainsi que les consommations en combustible des différentes centrales thermiques pour l'année 2012.

MOIS	PRODUCTION EN kWh			CONSOMMATIONS (en litres)		
	ENERGIE PRODUITE	Auto consommation	ENERGIE NETTE	Gas-oil	Fioul	Huile
<b>Janvier</b>	28 178 541	946 512	27 232 029	298 300	6 383 650	55 700
<b>Février</b>	26 072 759	885 925	25 186 834	346 600	5 789 841	48 700
<b>Mars</b>	28 624 597	991 834	27 632 763	428 500	6 296 049	59 400
<b>Avril</b>	25 173 604	968 726	24 204 878	253 400	5 524 629	22 900
<b>Mai</b>	31 140 746	1 086 187	30 054 559	283 720	7 027 871	44 900
<b>Juin</b>	30 132 746	999 834	29 132 912	248 780	6 801 440	36 300
<b>Juillet</b>	32 318 621	1 018 181	31 300 440	381 200	7 332 940	63 600
<b>Août</b>	29 766 028	1 065 324	28 700 704	187 180	8 205 060	54 700
<b>Septembre</b>	33 026 608	1 090 858	31 935 750	154 100	7 744 230	47 800
<b>Octobre</b>	28 533 396	1 026 494	27 506 902	161 350	6 642 450	35 800
<b>Novembre</b>	24 191 088	943 198	23 247 890	154 220	5 521 356	32 300
<b>Décembre</b>	18 214 283	788 839	17 425 444	168 110	4 403 510	53 200
<b>Totale</b>	<b>335 373 017</b>	<b>11 811 912</b>	<b>323 561 105</b>	<b>3 065 460</b>	<b>77 673 026</b>	<b>555 300</b>

Tableau 3 : Production et consommation 2012

Source : SOMELEC, Direction Technique

On remarque sur ce tableau que la production totale d'énergie électrique de l'année 2012 est de 335 373 017 kWh pour des consommations totales de 3 065 460 litres de gas-oil, 77 673 026 litres de fioul et 555 300 litres d'huile.

## VI.2 Production et consommation pour l'année 2013

Nous donnerons ici dans le tableau 3, les productions et consommations des différentes centrales (thermique et solaire) afin de ressortir la couverture de la centrale solaire au niveau de la demande de la ville de Nouakchott.

Ces données ont été collectées, au niveau du centre de regroupement de la SOMELEC (centrale Arafat1) puis, elles ont été traitées et regroupées dans le tableau 3. Les valeurs mensuelles des énergies sont obtenues en faisant le cumul des énergies journalières des différentes centrales thermique et solaire.

MOIS	Production des centrales thermique en MWh			Consommation en combustible (en litres)			Production de la centrale solaire en MWh
	ENERGIE PRODUITE	Auto consommation	ENERGIE NETTE	Gas-oil	Fioul	Huile	
<b>Janvier</b>	26 996	978	26 017	229 190	6 108 540	34 400	0
<b>Février</b>	25 098	921	24 176	78 660	5 790 600	43 700	0
<b>Mars</b>	28 006	987	27 019	136 709	6 420 681	46 500	1 625
<b>Avril</b>	25 329	932	24 397	179 147	5 738 596	65 600	2 393
<b>Mai</b>	29 340	1 089	28 251	234 010	6 728 737	39 700	2 250
<b>Juin</b>	30 359	1 133	29 226	253 540	6 884 946	35 900	2 550
<b>Juillet</b>	32 552	1 220	31 333	187 410	7 495 715	43 900	2 213
<b>Août</b>	27 735	1 073	26 662	177 190	6 386 700	32 700	2 219
<b>Septembre</b>	22 004	910	21 094	101 373	5 071 787	33 000	1 797
<b>Octobre</b>	26 664	991	25 673	143 109	6 135 431	40 500	2 548
<b>Novembre</b>	23 730	905	22 825	163 840	5 479 900	37 200	1 899
<b>Décembre</b>	19 524	836	18 688	215 840	4 346 659	33 000	1 839
<b>Totale</b>	<b>317 337</b>	<b>11 977</b>	<b>305 361</b>	<b>2 100 018</b>	<b>72 588 292</b>	<b>486 100</b>	<b>21 333</b>

Tableau 4 : Production et consommation 2013

Source : SOMELEC

Ce tableau montre que la production des centrales thermiques totale pour l'année 2013 est de 317 337 100 kWh pour une consommation de 2 100 018 litres de gas-oil, 72 588 292 litres de fioul et 486 100 litres d'huile.

### IV-2.1 Taux de couverture de la demande par centrale pour l'année 2013

Nous donnons dans cette partie, le taux de couverture des différentes centrales par trimestre, pour mieux voir la contribution de la centrale solaire.

Nous distinguons quatre trimestres :

- Trimestre 1 : janvier, février et mars ;

- Trimestre 2 ; avril, mai et juin ;
- Trimestre 3 : juillet, août et septembre
- Trimestre 4 : octobre, novembre et décembre

#### IV-2.1.1 Taux de couverture de la demande pour le trimestre 1 :

Pour le trimestre janvier, février, mars 2013, la centrale solaire était en construction, elle n'a commencée à produire qu'en fin du mois de mars. L'énergie produite par la centrale solaire pour ce mois de Mars correspond à la phase de test des équipements de la centrale.. Pour 15 jours de fonctionnement (essai) seulement, la centrale solaire couvre 2% de la demande de la ville de Nouakchott comme illustré sur la figure ci-dessous.

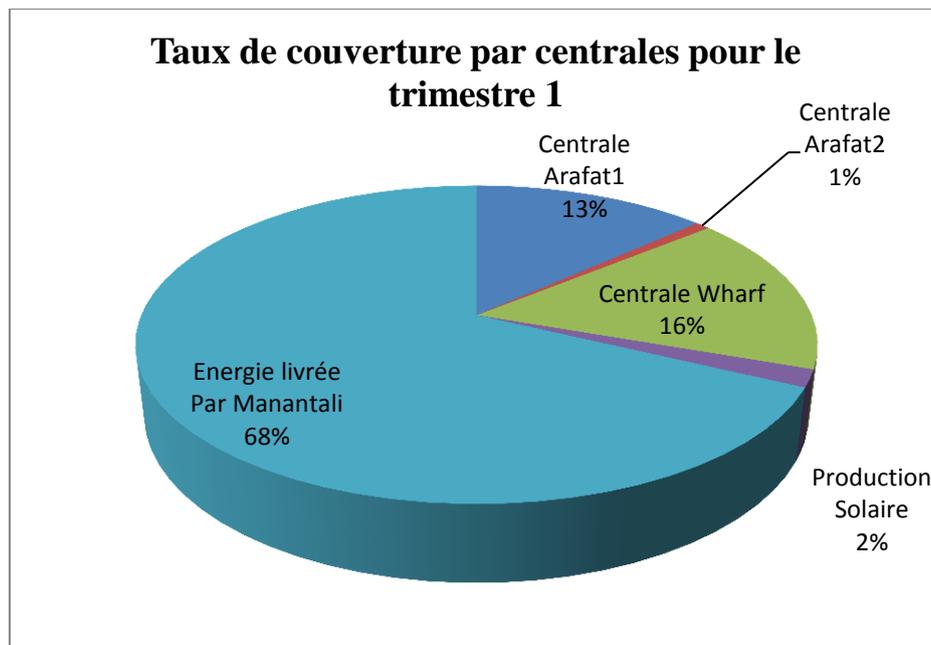


Figure 13 : Taux de couverture par centrale pour le premier trimestre 2013

Le taux de couverture par la centrale solaire est faible puisque nous sommes en phase de test et la totalité des 15 MWc de la centrale ne sont pas tous disponibles. Nous constatons aussi que la centrale hydroélectrique est beaucoup sollicitée pour ce trimestre, elle couvre 68% de la demande.

#### IV2.1.2 Taux de couverture de la demande pour le trimestre 2 :

Le taux de couverture solaire pour ce trimestre est de 6% avec une production solaire optimale atteignant les 12MWh pour quelques heures de la journée. Ce qui peut être expliqué par la nouveauté des équipements et un ciel dégagé (pas de nuage), pas de nuage et la température moins élevée.

Ce taux de couverture de la centrale solaire est le plus important puisque sa production est maximale et que la demande est réduite par rapport aux autres trimestres.

On remarque aussi que la centrale de Wharf, est la plus sollicitée pour ce trimestre, elle couvre 40% de la demande.

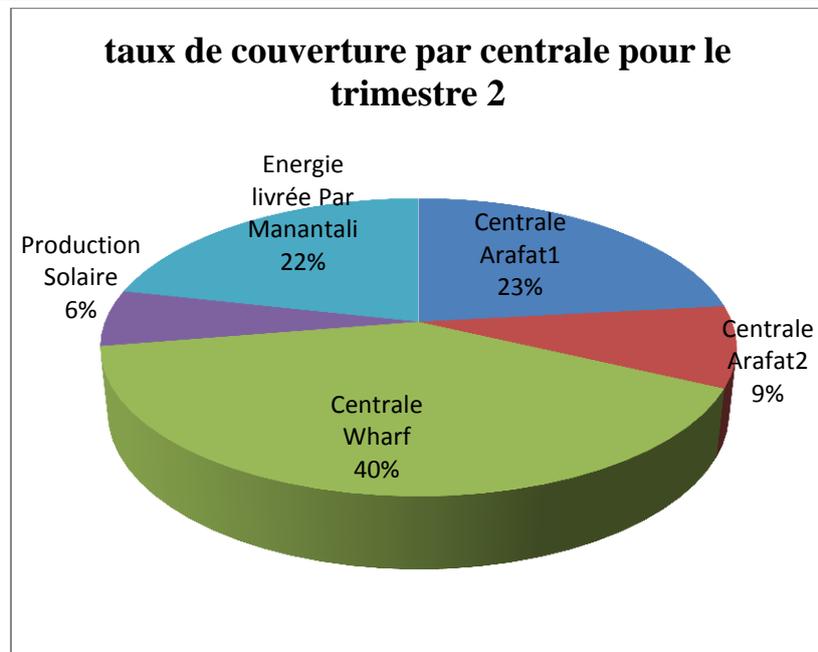


Figure 14 : Taux de couverture par centrale pour le deuxième trimestre 2013

#### IV2.1.3 Taux de couverture de la demande pour le trimestre 3 :

Le taux de couverture de la centrale solaire a baissé pour ce trimestre à cause des pluies, le ciel est souvent couvert de nuages et il peut arriver aussi des jours sans soleil.

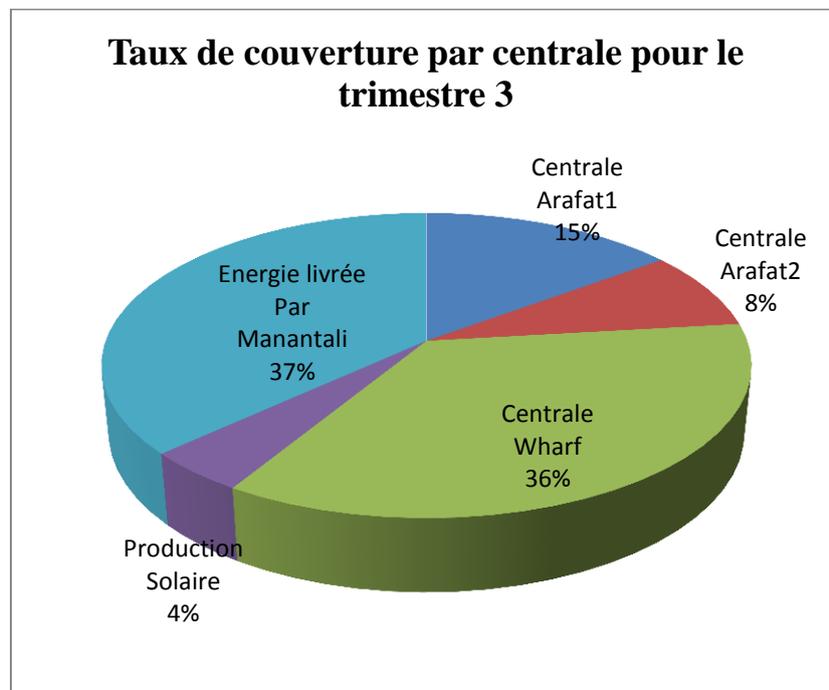


Figure 15: Taux de couverture par centrale pour le troisième trimestre 2013

Pour satisfaire la demande, la SOMELEC est obligé d'utiliser la réserve tournante de son parc thermique. Nous constatons aussi que la centrale de Wharf est la plus sollicitée, elle couvre 36% de la demande pour ce trimestre.

#### IV2.1.4 Taux de couverture de la demande pour le trimestre 4 :

Pour ce trimestre, le taux de couverture a baissé puisque les températures étaient élevées et la demande plus importante. Pour satisfaire et réguler la demande, les centrales thermiques sont de plus en plus sollicitées. On remarque que la centrale thermique de Wharf couvre 35% de la demande

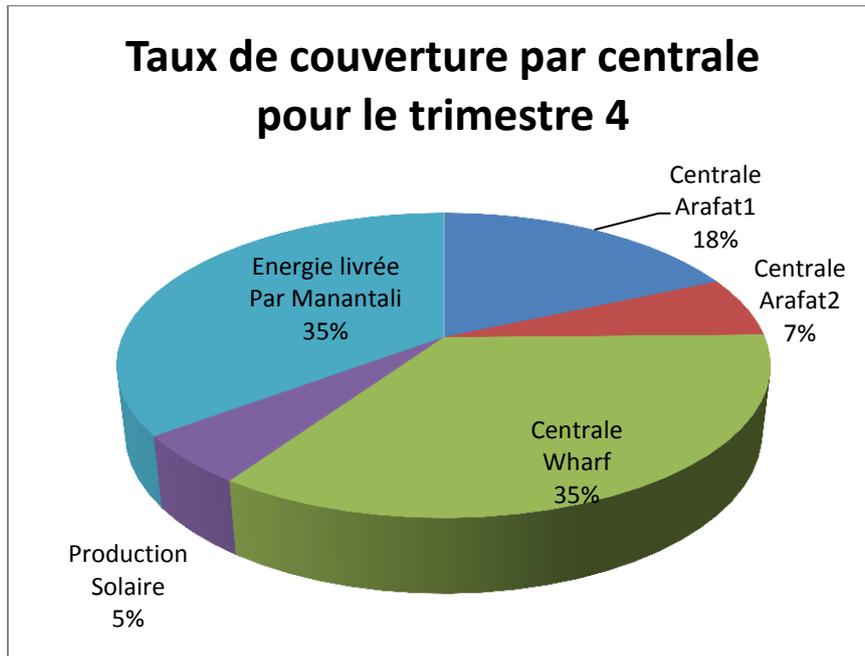


Figure 16 : Taux de couverture par centrale pour le quatrième trimestre 2013

#### Conclusion

L'analyse de la production d'énergie électrique de la ville de Nouakchott en 2012 et en 2013 montre que la production d'énergie des centrales thermiques a diminué pour l'année 2013. Elle est passée de 324 MWh en 2012 (Annexe 2) à 306 MWh produit en 2013. Etant donné que la demande en 2013 (pointe maximale de puissance 86 MW) est beaucoup plus élevée que celle de 2012 (pointe maximale de puissance 83 MW). Cette différence s'explique d'une part par l'apport de la centrale solaire qui participe de manière significative à la couverture de la demande et surtout de la pointe journalière, mais aussi et surtout de l'apport de la centrale hydroélectrique.

D'autre part nous constatons, que la couverture annuelle de la demande par la centrale solaire pour l'année 2013 est faible (4%), ceci est due par l'absence de production solaire au premier trimestre. Ce taux de couverture va donc s'améliorer les années prochaines et la centrale pourra couvrir environ 6 à 7% de la demande.

## CHAPITRE V :

### ETUDE ECONOMIQUE ET FINANCIERE

La centrale solaire de Nouakchott, bien qu'étant un don des Emirats à un coût, l'étude de sa rentabilité s'avère nécessaire car un investissement dans une centrale solaire électrique entraîne un certain nombre de dépenses, réparties sur toute la durée de vie de la centrale et procure aussi des revenus distribués sur la même durée de vie. Les dépenses incluent des coûts fixes (le coût de l'investissement, des coûts d'assurance, les taxes autres que les taxes sur les bénéfices, etc.) et des coûts variables (frais de fonctionnement et de maintenance).

D'un point de vue économique, une centrale Solaire électrique diffère d'une centrale thermique conventionnelle par un coût d'investissement initial (par kWh) plus élevé, alors que les coûts de fonctionnement sont extrêmement bas, puisqu'il n'y a pas de consommation de combustibles.

L'analyse économique réalisée en utilisant les principes de l'actualisation, sont plus pertinentes du point de vue économique parce qu'elles se réfèrent à un même horizon dans le temps, ce qui signifie qu'elles sont présentées dans une monnaie ayant un pouvoir d'achat constant.

Pour l'évaluation économique de la centrale solaire Seikh Zayed, nous estimerons le gain en combustible et en lubrifiant engendré par cette centrale, puis nous comparerons le fonctionnement de la dite centrale avec celui de la centrale thermique d'Arafat 2 dont les taux de couverture de la demande sont similaires. Enfin nous analyserons aussi les coûts de production avant et après la mise en service de la centrale solaire ainsi que le coût du kilowattheure produit.

#### V.1 Gain en combustible et en lubrifiant pour la SOMELEC

Pour estimer le gain, nous avons fait l'hypothèse que l'énergie produite par la centrale solaire devait être produite par une centrale thermique du type Arafat 2. La centrale Arafat 2 a été retenue pour sa similitude avec la centrale solaire en termes de couverture de la demande comme illustré dans le chapitre IV ci-dessus. Ainsi pour estimer ce gain, nous avons calculé la consommation du combustible et en lubrifiant de la centrale d'Arafat 2 permettant de fournir la même quantité d'énergie.

Le gain est donc calculé comme suit :

$$\text{Gain} = \frac{\text{Consommation}}{\text{Energie produite par la centrale Arafat2}} \times \text{Energie produite par la centrale solaire}$$

Le tableau qui suit donne le gain mensuel en litres de gasoil, fioul et lubrifiant.

MOIS	Centrale Arafat 2				Centrale Solaire			
	PRODUCTION EN kWh	CONSOMMATIONS (en litres)			PRODUCTION EN kWh	Gain (en litres)		
	ENERGIE PRODUITE	Gas-oil	Fioul	Huile	ENERGIE PRODUITE	Gas-oil	Fioul	Huile
Janvier	808 031	3 290	202 101	600				
Février	21 360	421	5 138	0				
Mars	740 243	14 801	177 523	1 800	1 624 800	32 488	389 655	3 951
Avril	2 189 518	6 421	517 865	35 800	2 393 000	7 018	565 993	39 127
Mai	3 586 064	624	871 242	4 000	2 249 700	391	546 569	2 509
Juin	4 569 910	4 640	1 112 232	4 000	2 549 500	2 589	620 501	2 232
Juillet	4 962 970	0	1 208 468	9 000	2 213 000	0	538 859	4 013
Août	4 211 950	820	1 029 440	6 800	2 219 000	432	542 344	3 582
Septembre	2 497 634	0	612 793	8 000	1 797 300	0	440 966	5 757
Octobre	3 668 007	0	898 389	8 000	2 548 036	0	624 079	5 557
Novembre	2 385 052	2 350	571 939	1 600	1 899 141	1 871	455 417	1 274
Décembre	1 540 199	958	375 996	4 000	1 839 228	1 144	448 995	4 777
<b>Totale</b>						45 933	5 173 380	72 779

Tableau 5 : gain en combustible

Source ; SOMELEC, Direction Technique

Dans ce tableau 5, on remarque que la centrale solaire permet de réduire plus de 5 173 380 litres de fioul ,45 933 litres de gas-oil et 72 779 litres d'huile non brûlées par année.

Le coût est estimé par la formule qui suit :

$$\text{coût} = \text{gain en consommation} \times \text{prix unitaire du litre}$$

- Le Coût en gas-oil est égal à gain en gas-oil  $\times$  prix unitaire du litre soit  $45933 \times 284,71 = 13077584$  UM (ouguiyas) soit 43592 dollars par année.
- Les coûts du fioul et de l'huile sont estimés respectivement à 3942115 dollars et 176732 dollars par année.
- Le prix unitaire du litre de gas-oil est 284,71 UM soit 0,95 dollar US, celui du litre de fioul est de 228,6 UM (0,762 dollar US) et celui de l'huile est de 728,5 UM (2,43 dollars US). Ces valeurs sont tirées de la documentation de la direction financière de la SOMELEC.

Le coût global du combustible est estimé à 4162439 dollars US/an.

## V.2. Coûts des équipements de la centrale Seikh Zayed.

Les coûts d'investissement initial de la centrale solaire Seikh Zayed est de **30 993 079 \$ (US)**

### Calcul du coût du kilowatt (kW) installé :

- Capacité installée : **15 MWc**
- Production moyenne par jour : 80 MWh/jour
- Production mensuelle : 2400 MWh/mois
- Production annuelle estimée : **28 800MWh/an**
- Le coût d'investissement du MW installée est égale à  $30\,993\,079 / 15 = 2\,066\,205 \text{ \$/MWc}$  soit **2066,205\\$/kWh**

## V.3 Calcul du coût global actualisé de la centrale thermique d'Arafat 2 et de la centrale solaire

Le calcul du coût global actualisé ainsi que le coût du kilowattheure est fait sur la base des hypothèses suivantes.

- Tous les prix sont donnés en Dollars (\$) ;
- Les facteurs d'actualisation sont calculés pour un taux de 10%.
- Durée de vie de la centrale solaire est de 20 ans correspondant à la durée de vie des panneaux solaires ;
- Les coûts de fonctionnement de la centrale thermique sont calculés sur la base des coûts de fonctionnement de 2012 avec un taux d'inflation de 2%.
- Les coûts de fonctionnement fixe de la centrale solaire sont les même que celle de la centrale d'Arafat 2
- Le coût de la centrale thermique d'Arafat 2 est estimé à 1700.000 dollars par MW installé soit 17850000 dollars pour les 10,5 MW installés.

### V.3.1 Coûts de fonctionnement de la centrale thermique d'Arafat 2 et de la centrale solaire

Le tableau qui suit donne les coûts de fonctionnements (variables et fixes) de la centrale thermique d'Arafat 2 et ceux de la centrale solaire pour l'année 2013 calculé sur la base des hypothèses ci-dessus.

Nous avons supposé que les coûts de fonctionnements fixes des deux centrales sont identiques et que les coûts variables de la centrale solaire sont nuls comme indiqués dans le tableau 5 suivant :

RUBRIQUES	Centrale thermique d'ARAFAT 2		Centrale Solaire
	Coût en Milliers d'ouguiyas	Coût en dollars	Coût en dollars
<b>Combustibles et lubrifiants</b>			
Fuel	1733533	5778442	0
Gas-oil	9773	32577	0
Huiles et lubrifiants	60906	203019	0
Achat d'énergie		0	0
<b>Autres achats</b>			
Matières & Matériels	11351	37837	37837
Pièces de Rechanges	157884	526279	526279
<b>Travaux &amp; Services Externes</b>			
Entr. & Réparations installations pro.	8657	28856	28856
Assurances	0	0	0
Charges locatives	0	0	0
Autres	0	0	0
<b>Frais de Personnel</b>	38633	128777	128777
<b>Impôts et taxes</b>	0	0	0
<b>Amortissements &amp; Provisions</b>	6	19	19
<b>TOTAL</b>			721768

Tableau 6 : Coût de fonctionnement de la centrale d'Arafat2 et de la centrale solaire.

Source ; SOMELEC, Direction Technique :

### V.3. 2 Etude comparative du coût global actualisé de la centrale d'Arafat2 et de la centrale solaire

La comparaison de ces deux systèmes de production d'énergie électrique est faite sur la base du calcul des coûts actualisés des deux centrales donné en Annexe 3 et Annexe 4.

On remarque que l'investissement initial de la centrale solaire (30993079 dollars US) est deux fois plus important que celui de la centrale thermique d'Arafat 2 (estimé à 17850000 dollars US). Cependant après l'inventaire de toutes les dépenses nécessaires pour le fonctionnement de chaque centrale sur une durée de 20 ans, le coût global actualisé de la centrale thermique est de 73734118 dollars US alors que celui de la centrale solaire est de 29828163 dollars US. Cette comparaison financière montre que la centrale solaire bien que son investissement initial soit deux fois plus grand, est le système le plus économique pour la SOMELEC. Il est donc important de favoriser leur taux de pénétration dans le parc de production national pour limiter la dépendance énergétique du pays de l'extérieur.

### V.3.2.1 Coût de production du kWh de la centrale d'Arafat 2 et de la centrale solaire

Les coûts utilisés pour le calcul du kWh produit par chaque centrale sont tirés des coûts de production de 2012 (Annexe 2) avec un taux d'inflation de 2%.

Les valeurs données dans ce tableau sont en ouguiya (UM). 1 dollars = 300 UM.

Le coût évalué ici n'inclut pas l'investissement, seuls les coûts de fonctionnement fixe et variable sont tenus en compte. En effet ces coûts ne sont pas des couts réels de productions du kWh, ils sont données pour ressortir le cout faible de fonctionnement de la centrale solaire.

Le tableau 6 ci-dessous donne les coûts de fonctionnements de la centrale d'Arafat 2 et de la centrale solaire ainsi que le coût de production du kWh par centrale. Le coût du kWh est calculé par la formule suivante :

$$\text{Coût du kWh} = \frac{\text{Coût direct}}{\text{Production nette}}$$

RUBRIQUES	ARAFAT 2	Solaire
<b>Combustibles et lubrifiants</b>	<b>1 804 211</b>	
Fuel	1 733 533	
Gas-oil	9 773	
Huiles et lubrifiants	60 906	
Achat d'énergie		
<b>Autres achats</b>	<b>169 235</b>	<b>169 235</b>
Matières & Matériels	11 351	11 351
Pièces de Rechanges	157 884	157 884
<b>Travaux &amp; Services Externes</b>	<b>8 657</b>	<b>92979</b>
Entr. & Réparations installations pro.	8 657	92979
Assurances	0	
Charges locatives	0	
Autres	0	
<b>Frais de Personnel</b>	<b>38 633</b>	<b>38 633</b>
<b>Impôts et taxes</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Amortissements &amp; Provisions</b>	<b>6</b>	<b>92979</b>
<b>COÛT DIRECT CENTRALE</b>	<b>2 020 741</b>	<b>216 530</b>
<b>Production Nette ( MWh ) 2013</b>	<b>29 539</b>	<b>20 831</b>
<b>COÛT DE PRODUCTION DU KWh THERMIQUE (en UM)</b>	<b>68,41</b>	<b>18,91</b>

Tableau 7 : Coût de production du kilowattheure

Source : SOMELEC, Direction Technique

Nous remarquons que dans ce tableau 7, le coût du kilowattheure solaire est faible. Cependant, il faut comprendre que ce coût n'inclut pas l'investissement et l'amortissement de la centrale solaire. Ce

coût du kWh n'est pas donc le coût réel du kWh solaire. C'est un coût comparatif entre le fonctionnement de la centrale d'Arafat 2 et de la centrale solaire.

### V.3.2.1 Calcul du coût de production du kWh réel de la centrale solaire

Le coût du kWh évalué ici inclut l'investissement, les coûts de fonctionnement fixe et variable ainsi que les coûts d'amortissement.

Le tableau ci-dessous donne le coût de fonctionnement de la centrale ainsi que le coût de production du kWh réel de la centrale solaire.

Le coût du kWh est calculé par la formule suivante :

$$\text{Coût du kWh} = \frac{\text{Coût direct}}{\text{Production nette}}$$

RUBRIQUES	Solaire	
	En Dollars \$ (US)	En Ouguiyas (UM)
<b>COUTS</b>		
<b>Investissement initial de la centrale solaire</b>	<b>30993079</b>	<b>9297923700</b>
Investissement	30993079	9297923700
<b>Autres achats</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Matières & Matériels	0	0
Pièces de Rechanges	0	0
<b>Travaux &amp; Services Externes</b>	<b>309 931</b>	<b>92 979 237</b>
Entr. & Réparations installations pro.	309 931	92 979 237
Assurances		
Charges locatives		
Autres		
<b>Frais de Personnel</b>	<b>128 777</b>	<b>38 633 000</b>
<b>Impôts et taxes</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Amortissements &amp; Provisions</b>	<b>309930,79</b>	<b>92979237</b>
<b>COÛT DIRECT CENTRALE</b>	<b>31 741 717</b>	<b>9 522 515 174</b>
<b>Production Nette ( MWh ) 2013</b>	<b>20 831</b>	<b>20 831</b>
<b>COÛT DE PRODUCTION DU KWh THERMIQUE</b>	<b>1,5</b>	<b>457</b>

Tableau 8 : Coût de production du kilowattheure

Dans ce tableau 8, les coûts d'Amortissements et d'entretien sont estimés chacun à 1 % de l'investissement initial. On y remarque que le coût de revient du kWh réel est de 1,5 \$ soit 457 UM. Ce prix de revient du kWh est très élevé pour les consommateurs. C'est l'inconvénient de cette centrale solaire. Mais en calculant le coût du kWh sans l'investissement initial, le coût de fonctionnement direct de la centrale solaire, on trouve qu'il est très avantageux par rapport aux autres centrales et particulièrement par rapport à la centrale d'Arafat 2.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'exploitation de la centrale solaire SEIKH ZAYED de 15 MW est un atout très important à l'heure où la crise économique a généré beaucoup de problèmes liés à la dépendance énergétique. La centrale solaire Seikh Zayed, permettra de réduire la dépendance énergétique de l'Etat Mauritanien et à limiter les émissions de gaz à effet de serre. Il ressort de notre étude que les 15 MW installés devraient ainsi permettre à la SOMELEC d'économiser jusqu'à 5 173 380 litres de fioul ,45 933 litre de gas-oil et de 72 779 litres d'huiles non brûlées par année. Le coût de ce combustible est estimée à 1 248 755 265 U M/an soit 4162517 dollars/an..

L'analyse financière des coûts de production montre que le fonctionnement de la centrale solaire est beaucoup plus faible que celle de la centrale thermique. Mieux, il ressort de cette analyse des avantages économiques directs surtout sur la réduction du coût de kilowattheure produit, qui est passé de 62,29 UM (0.207 dollars) avant la mise en service de la centrale à 59.42 UM (0,19 dollars US)

Notre étude a permis de mettre en avant les économies réalisées par la SOMELEC avec la mise en service de cette centrale. Il peut constituer un appui conséquent, sinon une référence pour la SOMELEC afin de justifier l'augmentation du taux de pénétration de la production solaire dans le parc actuel.

L'importance de cette centrale solaire n'est plus à démontrer. En effet, il doit servir de référence pour d'autres projets du genre. C'est pourquoi, nous recommandons un suivi rigoureux de son fonctionnement réel. Pour cela, l'exploitation de cette expérience pilote doit être confiée à un personnel qualifié, compétent et formé.

Nous recommandons le suivi et surtout l'évaluation correcte et précise de certains paramètres liés au fonctionnement de la centrale.

Nous recommandons aussi à la SOMELEC, d'investir d'avantage sur les projets de ce genre afin d'accentuer le taux de pénétration des énergies renouvelables dans le système de production national. Nous recommandons aussi à la SOMELEC d'accélérer la construction de son centre de dispatching (centre national de contrôle) pour mieux gérer la pénétration des énergies renouvelables dans son parc de production.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Masdar (March 25<sup>th</sup>, 2013). *Photovoltaic System Operations & Maintenance: Mauritania 15MW Solar Power Project* : Nouakchott, 2013, 83p.
- [2] INTEC. *Programme prioritaire d'investissement du système d'évacuation d'énergie du parc de production* : Nouakchott : 2012, 300p.
- [3] SOMELEC. *Rapport d'activités 2012 et 2013*
- [4]<<http://www.les-energies-renouvelables.eu/8-cout-et-rentabilite-dune-installation-de-panneaux-solaires-photovoltaiques.html>>. Consulté le 20 Avril 2014

## ANNEXES

### Annexe 1 : Parc thermique de production alimentant Nouakchott

Dénomination de la centrale	Groupe	Puissance nominale MW	Puissance disponible MW	Engins		Type unité	Combustible	Date de mise en service	Date de déclassement	Etat
				Manufacturer	model					
ARAFAT 1	G1	7	5	MAN	9L52/55B-PTG	Diesel	HFO	1989	2013	En service
	G2	7	5	MAN	9L52/55B-PTG	Diesel	HFO	1989	2013	En service
	G3	7	5	MAN	9L52/55B-PTG	Diesel	HFO	1989	2013	En service
	G4	7	5	MAN	9L52/55B-PTG	Diesel	HFO	1989	2013	En service
	G5	7	5.5	MAN	9L48/60	Diesel	HFO	2001	2021	En service
	G6	7	5.5	MAN	9L48/61	Diesel	HFO	2001	2021	En service
ARAFAT 2	G1	1.5	1.2	Wartsila	W9L20	Diesel	HFO	2010	-	En service
	G2	1.5	1.2	Wartsila	W9L21	Diesel	HFO	2010	-	En service
	G3	1.5	1.2	Wartsila	W9L22	Diesel	HFO	2010	-	En service
	G4	1.5	1.2	Wartsila	W9L23	Diesel	HFO	2010	-	En service
	G5	1.5	1.2	Wartsila	W9L24	Diesel	HFO	2010	-	En service
	G6	1.5	1.2	Wartsila	W9L25	Diesel	HFO	2010	-	En service
	G7	1.5	1.2	Wartsila	W9L26	Diesel	HFO	2010	-	En service
WHARF	G1	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G2	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G3	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G4	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	--	En service
	G5	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G6	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G7	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G8	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
	G9	4	3.7	MAN	18V28/32	Diesel	HFO	2011	-	En service
<b>Puissance totale</b>		<b>98.5</b>	<b>82.9</b>							

**Annexe 2 : Production et consommation total en 2012**

MOIS	PRODUCTION EN kWh			CONSOMMATIONS (en litres)		
	ENERGIE PRODUITE	AUXILIAIRES	ENERGIE NETTE	Gas-oil	Fioul	Huile
<b>Janvier</b>	28 178 541	946 512	27 232 029	298 300	6 383 650	55 700
<b>Février</b>	26 072 759	885 925	25 186 834	346 600	5 789 841	48 700
<b>Mars</b>	28 624 597	991 834	27 632 763	428 500	6 296 049	59 400
<b>Avril</b>	25 173 604	968 726	24 204 878	253 400	5 524 629	22 900
<b>Mai</b>	31 140 746	1 086 187	30 054 559	283 720	7 027 871	44 900
<b>Juin</b>	30 132 746	999 834	29 132 912	248 780	6 801 440	36 300
<b>Juillet</b>	32 318 621	1 018 181	31 300 440	381 200	7 332 940	63 600
<b>Août</b>	29 766 028	1 065 324	28 700 704	187 180	8 205 060	54 700
<b>Septembre</b>	33 026 608	1 090 858	31 935 750	154 100	7 744 230	47 800
<b>Octobre</b>	28 533 396	1 026 494	27 506 902	161 350	6 642 450	35 800
<b>Novembre</b>	24 191 088	943 198	23 247 890	154 220	5 521 356	32 300
<b>Décembre</b>	18 214 283	788 839	17 425 444	168 110	4 403 510	53 200
<b>Totale</b>	335 373 017	11 811 912	323 561 105	3 065 460	77 673 026	555 300

**Annexe 3 : Calcul du coût global actualisé de la centrale thermique d'Arafat 2**

Années	Investissement	Combustibles et lubrifiant	Autres Achat	Travaux et services externes	Amortissements et Aprovisions	Frais du personnel	Montant total	Facteur d'actualisation	Montant total actualisé
1	17850000	6014037	564116	28856	18947	128777	24604733	0,91	22367939
2		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,83	5582424
3		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,75	5074931
4		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,68	4613573
5		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,62	4194157
6		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,56	3812870
7		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,51	3466246
8		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,47	3151133
9		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,42	2864666
10		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,39	2604242
11		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,35	2367493
12		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,32	2152266
13		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,29	1956605
14		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,26	1778732
15		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,24	1617029
16		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,22	1470027
17		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,20	1336388
18		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,18	1214898
19		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,16	1104453
20		6014037	564116	28856	18947	128777	6754733	0,15	1004048
<b>Coût total actualisé</b>									<b>73734118</b>

**Annexe 4 : Calcul du coût global actualisé de la centrale solaire**

Années	Investissement	Autres Achat	Travaux et services externes	Amortissements et Aprovisions	Frais du personnel	Montant total	Facteur d'actualisation	Montant total actualisé
1	30 993 079	564116	28856	18947	128777	31733774	0,91	28848886
2		564116	28856	18947	128777	740695	0,83	106427
3		564116	28856	18947	128777	740695	0,75	96752
4		564116	28856	18947	128777	740695	0,68	87956
5		564116	28856	18947	128777	740695	0,62	79960
6		564116	28856	18947	128777	740695	0,56	72691
7		564116	28856	18947	128777	740695	0,51	66083
8		564116	28856	18947	128777	740695	0,47	60075
9		564116	28856	18947	128777	740695	0,42	54614
10		564116	28856	18947	128777	740695	0,39	49649
11		564116	28856	18947	128777	740695	0,35	45135
12		564116	28856	18947	128777	740695	0,32	41032
13		564116	28856	18947	128777	740695	0,29	37302
14		564116	28856	18947	128777	740695	0,26	33911
15		564116	28856	18947	128777	740695	0,24	30828
16		564116	28856	18947	128777	740695	0,22	28026
17		564116	28856	18947	128777	740695	0,20	25478
18		564116	28856	18947	128777	740695	0,18	23162
19		564116	28856	18947	128777	740695	0,16	21056
20		564116	28856	18947	128777	740695	0,15	19142
<b>Coût total actualisé</b>								<b>29828163</b>