



HAL
open science

Stratégies de gestion du flux énergétique du réseau électrique dans la ville de Nouakchott

Yacoub Cheine

► **To cite this version:**

Yacoub Cheine. Stratégies de gestion du flux énergétique du réseau électrique dans la ville de Nouakchott. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02865436

HAL Id: dumas-02865436

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02865436>

Submitted on 11 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**Rapport de stage pour l'obtention d'un diplôme de
Master 2 Systèmes Energétique Electriques**

**Organisme d'accueil :
Société Mauritanienne d'Electricité (SOMELEC)
Centre de gestion et commande Arafatt Nouakchott**

Stratégies de Gestion du Flux Énergétique du réseau électrique dans la ville de Nouakchott

Année universitaire : 2018/2019

Réalisé par : M. Yacoub CHEINE

Sous l'encadrement de :

M. Yacine AMARA Professeur d'université responsable Master 2 SEE

M. Mohamed YAHYA Ingénieur chef service exploitation

Avant-Propos

Ce travail représente un rapport de stage en vue de l'obtention d'un diplôme de Master 2 spécialité Systèmes énergétiques électriques à l'université du Havre. Il est consacré à l'étude des stratégies de gestion du flux énergétique du réseau électrique de la ville de Nouakchott. La gestion du flux énergétique de la ville de Nouakchott, a rencontré pendant longtemps, des sérieuses difficultés en termes du déficit en production et de l'équilibre de l'offre et la demande, ainsi que l'état de détérioration des réseaux de transport et distribution.

Depuis l'année 2009 le gouvernement Mauritanien s'engage dans un projet de grande envergure, pour résoudre les problèmes d'électricité de la ville de Nouakchott, en éliminant le déficit en production, par la construction des nouvelles centrales et la reconstruction du réseau électrique en introduisant des outils de réseau intelligent Smart Grid.

Ce rapport essaie de décrire les stratégies de transformation ainsi que les projet qui ont été mise en place pour changer la structure énergétique dans la ville et pouvoir surmonté ses difficultés, en passant du déficit au l'export, et de l'ancien réseau vers des postes et connections moderne qui essaie d'introduire la technologie de l'information dans le traitement des données du réseau électrique, ainsi que l'introduction de l'énergie renouvelable dans le mix énergétique en construisant des centrales solaires, éolienne et hydroélectrique.

Voyons que c'est une expérience riche et intéressante du point de vue transition énergétique et développement technologique, économique et sociale ce qui m'a insisté à l'étudier.

Je cite aussi le mode de fonctionnement et les instruments utilisés, au centre de gestion et commande du réseau électrique de la ville de Nouakchott, ainsi que les tâches qui m'ont été confié durant mon stage, et les missions fondamentale de ce centre.

La mise en œuvre de ce rapport est le fruits de quatre mois de travail à l'étranger précisément la Mauritanie au seine des différentes structures de production de la société mauritanienne d'électricité, afin de récolter le maximum des données et avoir l'accès au documentations nécessaire à l'élaboration de ce rapport, ainsi la présence régulière sur les sites et l'exécution des taches et responsabilité durant ma période du stage.

Entre 2009 et 2017, la Mauritanie a réussi à réaliser des transformations majeures en doublant la capacité de l'électricité sept fois en moins de sept ans et en renforçant les réseaux de distribution existants pour assurer une couverture plus complète des centres urbains de 147%, ce qui a permis de doubler le nombre d'abonnés à 260 mille abonnés après qu'ils étaient seulement autour de 107 000 en 2010.

Résumé :

Le sujet de gestion du flux énergétique de la ville de Nouakchott c'est un sujet très important, pour moi en tant que sujet de stage, du fait qu'il touche directement aux enseignements que j'ai reçus durant mes études de Master Systèmes énergétiques électriques.

C'est un sujet qui nécessite l'étude de plusieurs notamment, les différentes formes d'énergie électrique, les énergies des sources fossiles telles les centrales thermiques à diesel, et l'énergie alternative et renouvelable, solaire, éolienne et Hydroélectrique.

Le fait aussi de passer d'une production « traditionnelle » Centralisée, à une production multi-sources, avec l'intégration des sources renouvelables très fluctuantes, nécessite le développement d'un réseau électrique plus intelligent capable de transmettre et traiter l'information en temps réel.

Prendre le réseau électrique de la ville de Nouakchott, dans un pays comme la Mauritanie, pour l'étude de cette problématique, m'a offert une bonne occasion pour mieux étudier ce sujet.

Ce rapport de stage est divisé en quatre chapitres, plus une introduction et une conclusion générale.

Les chapitres sont cités comme les suivants :

CHAPITRE I : Structure de la Société Mauritanienne d'Electricité

CHAPITRE II : Système d'alimentation en énergie électrique à Nouakchott

CHAPITRE III : La gestion du système d'alimentation en énergie électrique de la ville de Nouakchott

CHAPITRE IV : Les constructions et les Projets en cours

Abstract :

The topic of energy flow management in the city of Nouakchott is a very important subject for me as a subject of internship, because it directly affects the lessons I received during my studies of Master Energy Systems electric.

It is a subject that requires the study of several in particular, the different forms of electrical energy, the energies of fossil sources such as diesel power plants, and alternative and renewable energy, solar, wind and hydroelectric.

The fact of moving from a "traditional" Centralized production to a multi-source production, with the integration of highly fluctuating renewable sources, requires the development of a smarter electricity network capable of transmitting and processing information in real time.

Taking the power grid of the city of Nouakchott, in countries like Mauritania, for the study of this problem, gave me a good opportunity to better study this subject.

This internship report is divided into four chapters, plus an introduction and a general conclusion.

Chapters are cited as the following:

CHAPTER I: Structure of the Mauritanian Electricity Company

CHAPTER II: Power Supply System in Nouakchott

CHAPTER III: Management of the Electricity Supply System of the City of Nouakchott

CHAPTER IV: Buildings and Projects in Progress

Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I : Structure de la Société Mauritanienne d'Electricité	
Introduction Sur La somelec	2
Historique	2
Hiérarchie Administrative de la Somelec	3
Structure organisationnelle	3
Conseil d'administration	4
Le directeur général	4
CHAPITRE II : Système d'alimentation en énergie électrique à Nouakchott	
Production de l'énergie électrique.....	5
Centrales Thermiques.....	5
Les Parcs Eoliens	5
Centrales Solaires Photovoltaïques.....	5
Exemple d'une consommation annuelle	6
Evolution de production d'énergie électrique à Nouakchott.....	7
Les Centrales Electriques à Nouakchott	8
Centrale Hydroélectrique de Manantali	9
Centrale éolienne 30 MW de Nouakchott	10
Centrale Solaire Photovoltaïque 15 MW Nouakchott	11
Centrale Solaire Photovoltaïque 50 MW Nouakchott (Toujounine).....	12
Centrale Electrique Wharf Nouakchott.....	13
Centrale Thermique Duale (Fioul, Gaz) 180 MW Nouakchott.....	15
Réseaux électriques de Nouakchott.....	16
Poste Transport de l'OMVS.....	17
Les postes de Répartition 33/15 kV.....	17
Les postes de distribution 15/0,4 kV.....	18
Synoptique générale du système d'alimentation en énergie électrique.....	19

CHAPITRE III : La gestion du système d'alimentation en énergie électrique de la ville de Nouakchott

Introduction sur les principes de gestion du flux énergétique	20
Centre de dispatching Arafat (Nouakchott)	21
Structure et Fonctionnement	22
Salle de Commande.....	22
Les taches exécutées durant le stage	24
Surveiller la tension, fréquence, et puissance de	24
Le prélèvement des paramètres	25
Système d'archivage de données	25
Situation à éviter	26
Salle de contrôle centrale Duale.....	26
Salle de contrôle centrale Wharf	27
Salle de contrôle centrale éolienne.....	28
Salle de contrôle centrale Solaire	29
Mesure préventive	30

CHAPITRE IV : Les constructions et les Projets en cours

Les constructions de la dernière décennie	31
Les Projets en Cours de Réalisation	31
Parc éolien 100 MW de Boulenouar	32
Centre National de conduite D'énergie Electrique	32
Contexte et objectifs du projet	32
Description du Projet	33
Effets attendus	33
Conclusion Générale	34

Introduction Générale

L'accès à l'énergie électrique représente aujourd'hui un enjeu majeur pour tous les pays du monde, bien que soit une nécessité quotidienne pour la vie de tous les jours (éclairage, ménage, et transport). L'énergie électrique constitue aussi un facteur essentiel pour la construction des infrastructures nécessaires à la création des conditions favorables au développement économique et industriel.

Dans un pays en voie de développement comme la Mauritanie, avoir l'autosuffisance en électricité et surmonté les problèmes de déficits, représente un objectif stratégique, pour développer l'économie du pays et changer sa situation dans le monde.

Un deuxième objectif rentra en compte dans cette stratégie de développement, c'est l'intégration d'énergie renouvelable et alternative dans le mix énergétique, cela offre à la Mauritanie deux avantages : la première c'est de profiter des fonds mondiaux destinés à la lutte contre le réchauffement climatique et favoriser la transition énergétique, du fossile vers le renouvelable (solaire, éolien et hydroélectrique).

La deuxième c'est pouvoir accéder à l'exploitation des importants gisements d'énergie renouvelable, qui possède le pays, du fait de sa position géographique, qui lui donne un facteur d'ensoleillement très élevé, et un vent fort.

La stratégie qui a été adoptée par le pays, a permis de réaliser deux centrales électrique photovoltaïques, et deux parcs éoliens dont un est en cours de construction et d'une puissance de production de 100 MW, soit le deuxième plus grande en Afrique. En ce qui concerne l'hydroélectrique le pays l'exploite depuis l'année 2001 après la construction du barrage de Manantali au fleuve du Sénégal, ce barrage alimente deux centrale électrique dont la production est reparti par quota entre la Mauritanie, le Sénégal et le Mali.

Avec l'utilisation de réseau électrique multi-sources, et notamment l'introduction des sources renouvelable fluctuantes, le développement d'un réseau plus en plus intelligent est devenu une obligation, pour mieux gérer le réseau et permettre de véhiculer l'information le plus rapidement possible, ce qui a conduit à la mise en place du centre de dispatching à Nouakchott, qui réalise les missions de contrôle, gestion et surveillance du réseau.

La meilleure gestion du flux énergétique constitue, aujourd'hui un autre défi de la société mauritanienne d'électricité, avec l'augmentation de la part renouvelable dans la production du pays, ce qui nécessite un bon réseau communicant, et à jour pour accompagner la transformation, énergétique qui a connu le pays, donc moderniser les équipements et former des équipes qualifiées pour la meilleure gestion du flux énergétique.

CHAPITRE I : Structure de la Société Mauritanienne d'Electricité

1.1 Introduction Sur La somelec :

En forme longue la Société Mauritanienne d'Électricité, est née en 2001 de la scission de la SONELEC (Société Nationale d'Eau et d'Électricité), qui a été créée en 1975.

La SOMELEC dont le capital est détenu à 100% par l'Etat Mauritanienne assure les fonctions de production, d'achat, de transport, de distribution et de commercialisation de l'électricité en milieu urbain et préurbaine sur la totalité du territoire national [1].

1.2 Historique :

1975 : Création de la Sonelec qui remplace la Maurelec

1985 : Plan de redressement de la Sonelec

1989 : mise en service de la centrale thermique Arafat

: Contrat programme entre la Sonelec et l'Etat

1994 : Lancement du projet Electrification des 13 villes qui sera achevé entre 1995

1998 : Orientation visant la libéralisation du secteur de l'énergie

2001 :

- création de la Somelec après la scission de la Sonelec en 2 entités.
- Promulgation d'un code de l'électricité qui libéralise le secteur
- Extension de la centrale Arafat I de 14 MW, avec l'ajout de deux groupes diésels.

2002 :

Interconnexion de la ville de Nouakchott au barrage hydroélectrique de MANANTALI.

2010 :

- mise en service de la centrale Arafat II de 10,5 MW
- mise en service des postes source Nord et Ouest de 33/15 kV
- projet d'extension des réseaux électriques à Nouakchott (PEREN) visant à généraliser l'accès à l'énergie électrique.

2011 : construction à Nouakchott de la Centrale Wharf de 36 MW

2012 : pose de la 1ère pierre de la centrale duale Nord 180 MW

2013 : mise en service de la centrale solaire photovoltaïque 15 MW à Nouakchott

2015 :

- mise en service de la Centrale Duale Nord de Nouakchott de 180 MW
- mise en service de la centrale éolienne de Nouakchott de 30 MW

2017 : mise en service de la centrale solaire photovoltaïque 50 MW à Nouakchott

2- Hiérarchie Administrative de la Somelec

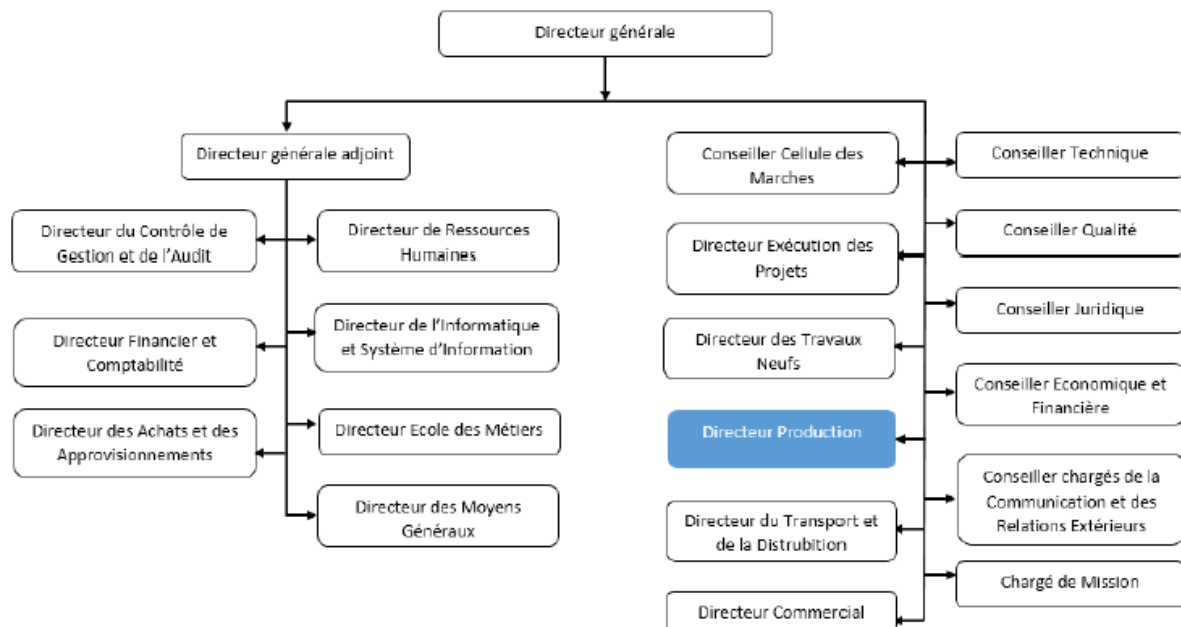


Figure 1 : Organigramme la structure administrative de la SOMELEC

2.1 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 de chargés de mission, une Ecole des métiers et des onze directions suivantes : (1) Direction d'Exécution des Projet, (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.

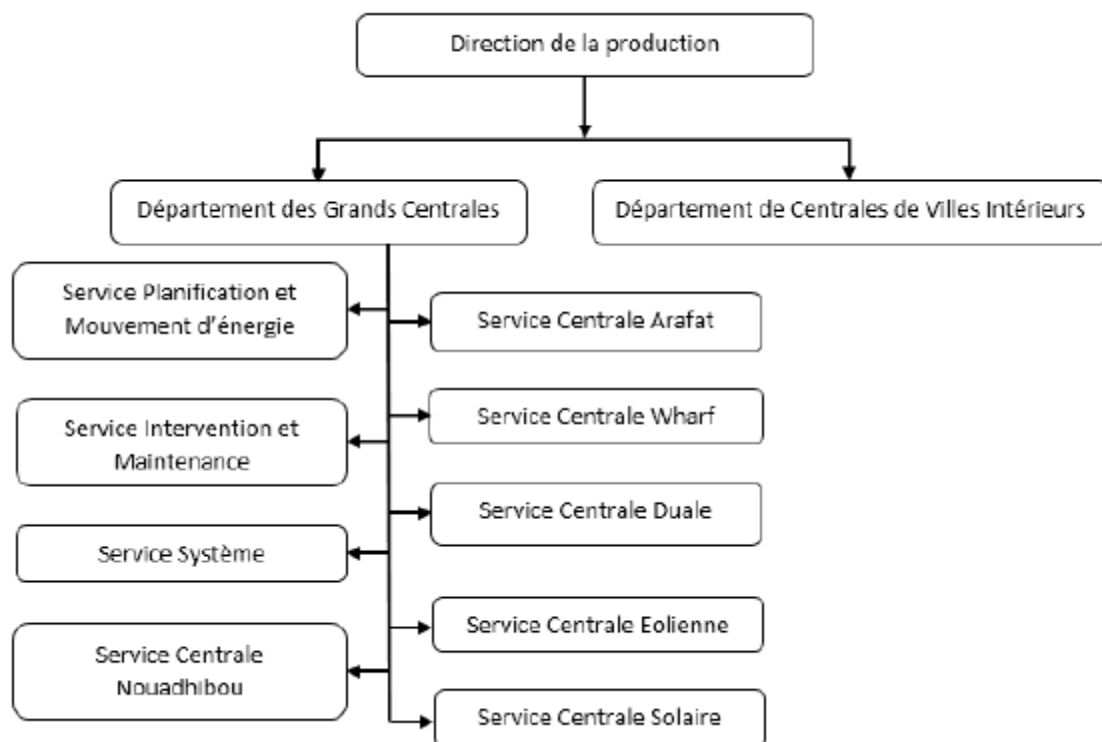


Figure2 : Organigramme de la direction de production

2.2 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'Énergie et des Mines, six membres représentant le Ministère des Affaires Économiques et du Développement, le Ministère de l'intérieur et le Ministère du Commerce, un membre représentant la Banque Centrale de Mauritanie et un représentant du Personnel. Le conseil se réunit au moins trois fois par an en session ordinaire, sur convocation du Président et en session extraordinaire, sur convocation du Président. 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.

2.3 Le directeur général

Il assure le fonctionnement des services de la SOMELEC et veille sur 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 jugements et fait procéder à toutes saisies.

Aux fins d'exécution de sa mission, le Directeur Général exerce l'autorité hiérarchique et le pouvoir disciplinaire sur l'ensemble du personnel ; il nomme et révoque le personnel, conformément à l'organigramme et dans les formes et aux 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.

CHAPITRE II : Système d'alimentation en énergie électrique à Nouakchott

2.1- Production de l'énergie électrique

La production d'énergie électrique du réseau de Nouakchott suit le mode décentralisé [1].

Constitué des plusieurs sources à base des matériaux fossiles et sources renouvelables : Les sources de production d'énergie électrique dans la ville de Nouakchott sont décrites comme le suivant [4] :

2.1.1 Centrales Thermiques

À base de combustibles fossiles, qui utilisent le principe de conversion, du pouvoir calorifique d'énergie fossile en une puissance électrique. L'efficacité d'un groupe est déterminée par le rapport des unités d'énergie par rapport aux unités de puissance, exprimée en pourcentage, (Annexe A).

Donc le rendement de ce type de centrale dépend de l'efficacité des groupes et de la qualité du combustible consommé. Ces centrales sont puissantes mais polluantes pour l'environnement avec un facteur d'émission de 0,25 kg de CO₂/kW/h et nécessitant un entretien régulier en plus du coût d'achat des matériaux combustible. (Annexe B).

2.1.2 Les Parcs Eoliens :

Une éolienne est une machine qui, par définition, transforme l'énergie cinétique du vent (source primaire d'énergie), qui dépend fortement de la vitesse du vent, en énergie électrique. Les éoliennes sont propres, sans émission du CO₂ ..., Sont considérés comme une réponse claire à la crise mondiale de l'énergie, de la sécurité et aux changements climatiques car elles produisent une énergie renouvelable d'une puissance importante mais en revanche se sont les plus perturbatrices du réseau électrique, (Annexe C).

2.1.3 Centrales Solaires Photovoltaïques :

Elle constitue une énergie renouvelable propre sans émission et donc sans impact sur l'environnement, de source primaire les rayonnements solaires. Le taux de rendement photovoltaïque indique le rapport entre la puissance produite et la puissance du rayonnement capté (puissance crête), peut varier en fonction de technologies utilisées, mais il est généralement compris entre 6 à 20 %, pour les panneaux immobiles. Le rendement photovoltaïque d'une installation de panneaux solaires dépend de plusieurs facteurs:

- le type de cellules : Les cellules amorphes ($\eta \leq 10\%$), les cellules poly-cristallines (η de 11% à 15) les cellules monocristallines (η de 12 à 20%).
- La densité des rayonnements solaires dans la zone géographique concernée.

- La surface des panneaux solaires photovoltaïque.
 - L'orientation et l'inclinaison des panneaux solaires
- Pour plus de détails voir l'Annexe D

La figure suivante montre la répartition d'énergies dans la production d'électricité à Nouakchott :

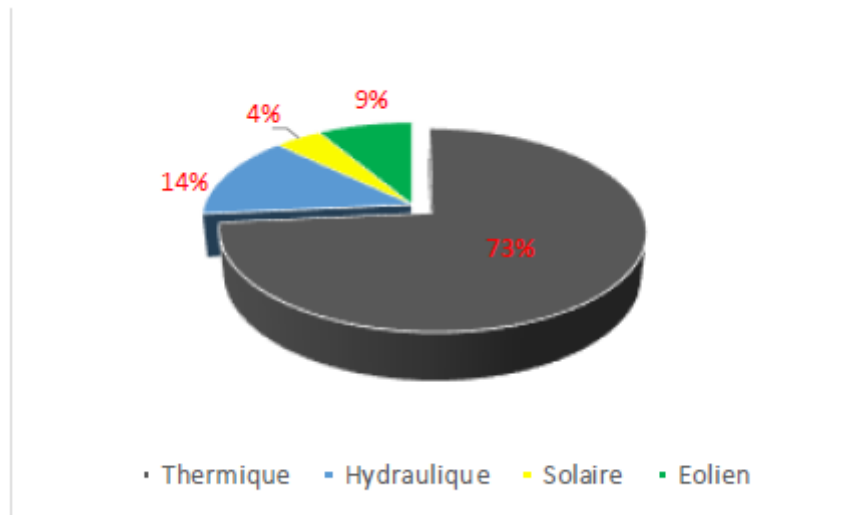


Figure3 : Anneau de répartition des énergies par origine naturelle 2017

2.2 Exemple d'une consommation annuelle

La courbe suivante (*figure 4*) représente la consommation durant l'année 2016 [2]. On constate que la consommation augmente durant les périodes de température élevée à cause de :

- ✓ Pertes Joules dans les conducteurs (la résistance d'un conducteur augmente avec la température).
- ✓ Le déplacement des citoyens vers Nouakchott pendant les saisons chaudes.

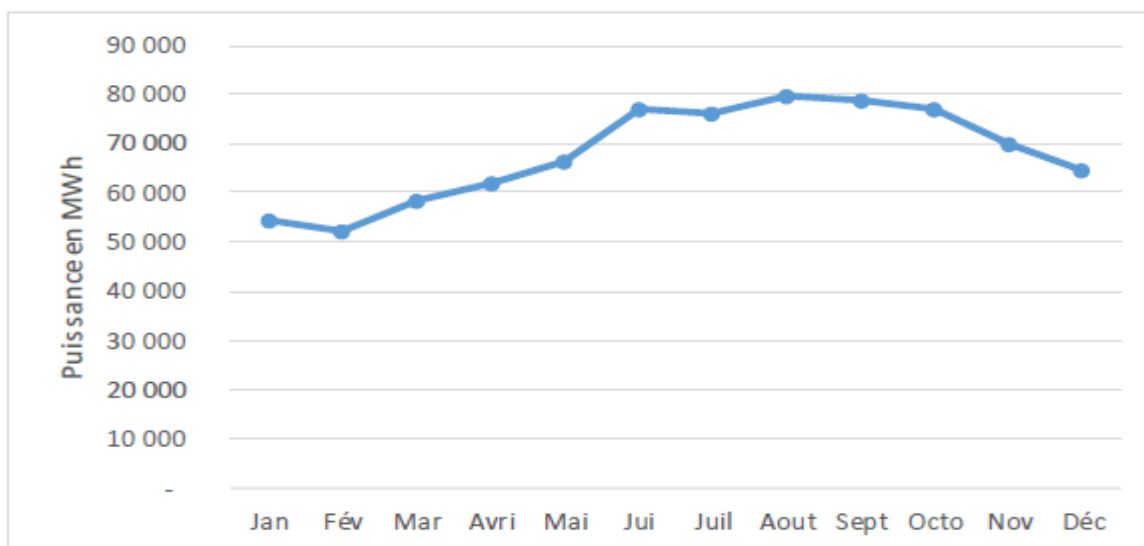


Figure 4 : Courbe de la demande en 2016

2.2.1 Evolution de production d'énergie électrique à Nouakchott

a) L'évolution de la puissance demandée

L'augmentation continue de la population, l'évolution du niveau de vie et l'évolution industrielle ont contribué à l'augmentation de la demande qui a impliqué une évolution considérable de la puissance installée (*figure 5*) et la puissance pointe (*figure 6*) pendant les dernières années.

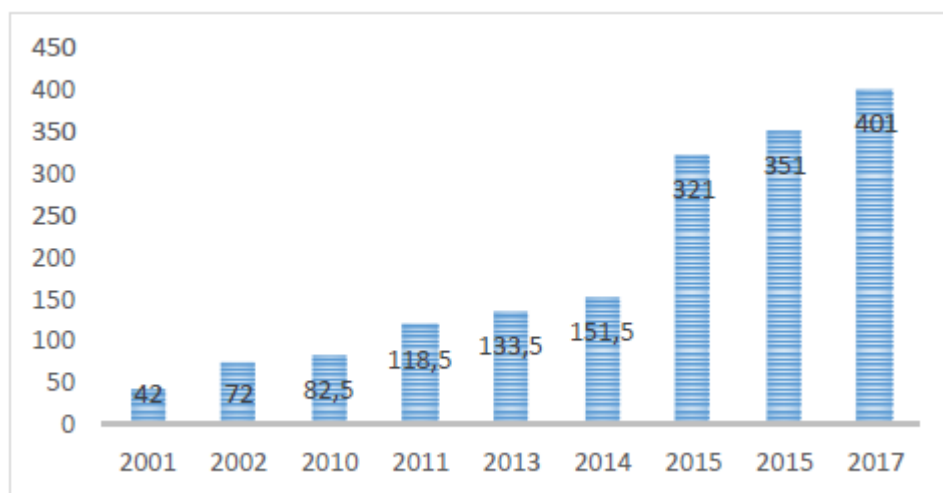


Figure5 : Histogramme d'évolution de la puissance installée à Nouakchott en MW

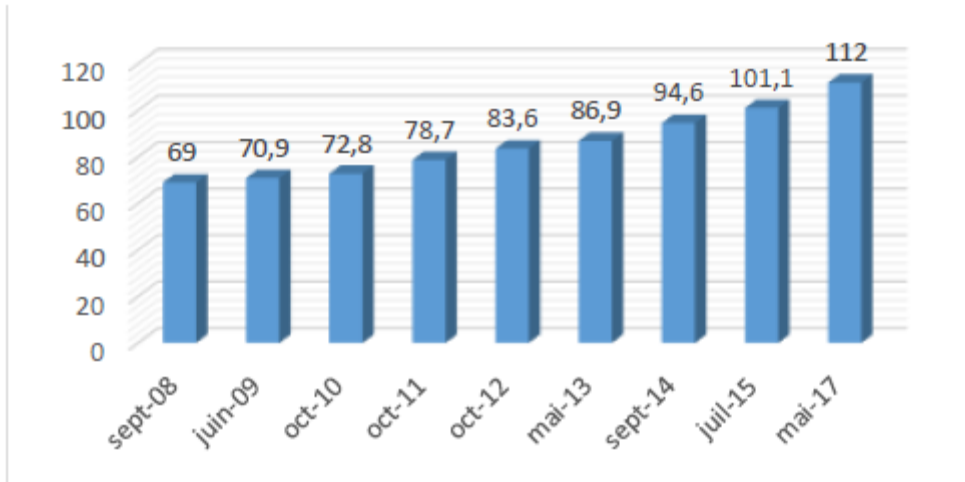


Figure 6 : Histogramme d'évolution de la pointe pour la ville de Nouakchott en MW

Le système d'alimentation est constitué d'un ensemble de centrales, de sous stations et de lignes électriques [3]. Les cinq blocs majeurs qui sont efficaces pour transporter l'énergie vers l'utilisateur finale, sont représenté par la figure suivant :

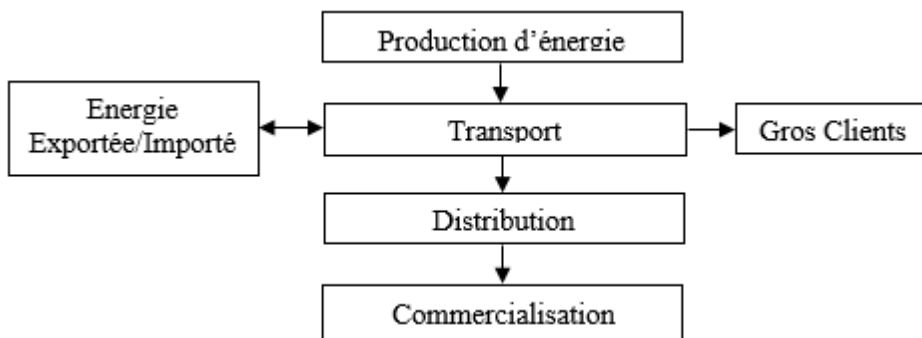


Figure 7 : Structure d'un système d'alimentation

On détaillera par la suite la structure des centrales électriques et les principaux postes de répartition d'énergie électrique en précisant leurs particularités. Pour avoir une structure uniforme et globale du réseau de Nouakchott.

2.3. Les Centrales Electriques à Nouakchott

Le graphe suivant montre la contribution de chaque centrale à la couverture de la demande [2]. On remarque à partir du graphe la diminution de production des centrales thermique en cas d'augmentation d'énergie produite par les centrales d'énergie renouvelable. Par exemple au mois de Novembre la production d'origine fossile est de seulement 15 GW/h tandis que nous avons importé 25 GW/h des centrales hydroélectriques Manantali.

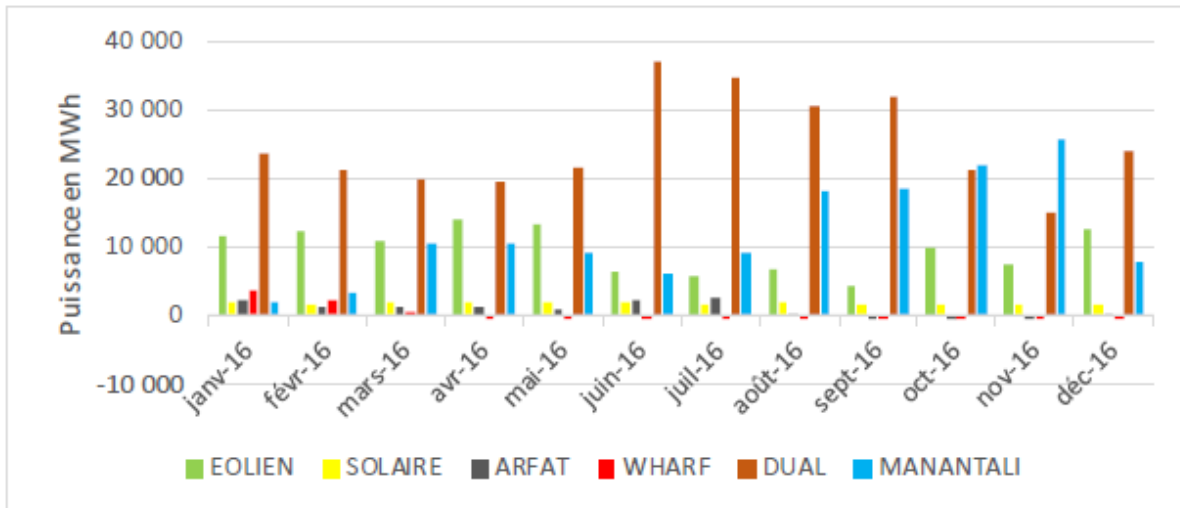


Figure 8 : Répartition de charge entre les centrales en 2016

2.3.1 Centrale Hydroélectrique de Manantali

La Mauritanie a fait son entrée relativement vite dans le domaine de l'hydroélectrique avec interconnexion en 2001 de la ville de Nouakchott au barrage hydroélectrique de Manantali.

Ce projet a consisté à la construction (entre 1997 et 2002) au pied du barrage (en service depuis 1988) d'une Centrale hydroélectrique de 200 MW avec un productible environ de 807 GWh en année moyenne d'hydraulicité. Le réseau de transport HT, long de plus de 1700 km comprend 12 postes de transformation HT/MT au Mali, en Mauritanie et au Sénégal, un Dispatching central à Manantali qui assure la coordination de l'exploitation du Réseau Interconnecté de Manantali (RIMA) avec ceux des Sociétés d'Electricité (SdE) des Etats-Membres de l'OMVS.

La centrale est équipée de cinq groupes Turbine Kaplan de 41MW chacun sous 46 m de chute d'eau.

Cinq alternateurs de 47MVA chacun et transformateurs associés, 1 Micro Turbine, Cinq transformateurs de puissance de 11/225kV, 1 Groupe Diesel secours, des équipements

auxiliaires et un Pont roulant [5].



Figure 9 : Image de deux centrales électriques alimentées par le barrage de Manantali

Une salle de commande et son large tableau de bord, couvert de boutons et d'appareils de mesure.

Toutes les consignes peuvent être modifiées à l'aide de boutons poussoirs. Le synoptique est relié directement à l'automate de commande.

Toutes les valeurs analogiques (tension, courant, puissance active, puissance réactive, consigne d'ouverture, vitesse etc.) nécessaires pour la conduite d'un groupe sont affichées sur des instruments de mesure.

Tous les cinq groupes possèdent un synoptique avec instruments de mesure permettant la conduite de la centrale.

La totalité des opérations est pilotée numériquement.

Dès qu'un paramètre change, tel le débit du fleuve, la régulation s'effectue numériquement par des commandes passées aux turbines dont les pales s'ajustent automatiquement à l'écoulement présent dans l'installation hydroélectrique.

Le Dispatching ou Centre de conduite assure la coordination de l'exploitation du réseau interconnecté de L'OMVS. Il Veille au maintien de la tension et de la fréquence et assure toutes les manœuvres sur le réseau interconnecté de Manantali.

Il renferme les interfaces des équipements de télécommunication, de rapatriement des données des Postes HT pour les télémessures, les télésignalisations et les télécommandes [5].

La production d'électricité constitue pour le Mali le principal enjeu. La production électrique est répartie entre le Sénégal (33 %), la Mauritanie (15 %) et le Mali (52 %).

2.3.2 Centrale Arafat I Nouakchott (en l'arrêt actuellement)

La centrale Arafat est une centrale thermique d'une puissance de 42 MW, elle a été mise en service en 1989. Elle est constituée de 6 groupes diésels (MAN), de puissance 7MW chacun. Située dans la partie Sud de la ville de Nouakchott.

Elle est située dans la partie Sud de la Ville. Au sein de la centrale se situent les postes 33 kV et 15 kV qui ont le rôle d'évacuer l'énergie produite par la centrale même et la centrale éolienne ainsi que la puissance importée de Manantali.

Tous les groupes de cette centrale génèrent leur puissance à une tension de 5,5kV. Quatre d'entre eux (G1 à G4) injectent leur énergie dans le poste 15 kV et les deux autres délivrent l'énergie qu'ils produisent vers le poste 33 kV, (Annexe A et B).

Les groupes sont à l'arrêt depuis Novembre 2016, à cause du vieillissement de ses équipements, ainsi que la mise en service de la nouvelle centrale thermique Duel (Gaz-Fioul) d'une puissance totale de 180 MW.

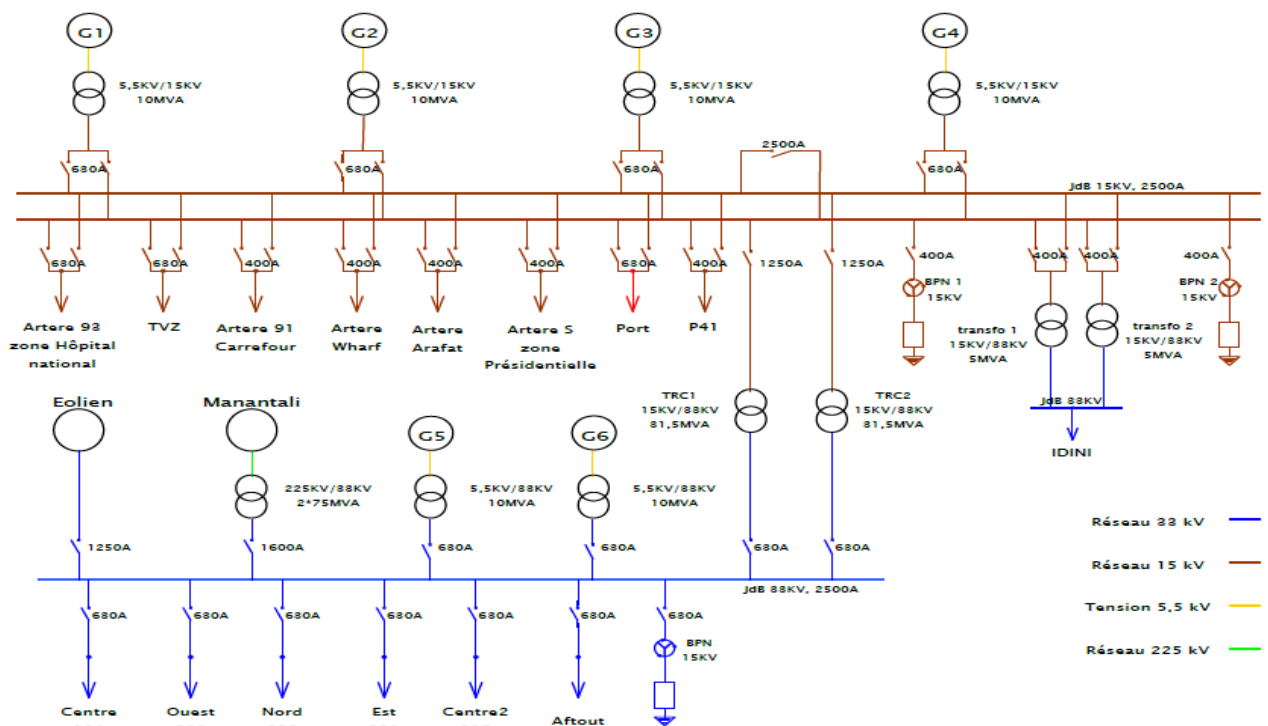


Figure 10 : Schéma unifilaire de la poste Arafatt 1

2.3.3 Centrale éolienne 30 MW de Nouakchott :

Pour exploiter l'important réservoir de vent existant en Mauritanie, surtout la zone littorale atlantique à l'ouest du pays, et pour soulager les centrales thermiques, saturées par la demande croissante en énergie électrique.

Et avoir un alternatif à l'énergie fossile, qui est condamné à la disparition dans un avenir moyen ou proche, et dans un contexte mondial de lutte contre les risques de la pollution, et le réchauffement climatique de la planète. Le gouvernement mauritanien avec l'aide financière de ces partenaires économiques, a décidé la construction et la mise en marche de ce parc éolien.

Ce projet s'inscrit dans une stratégie globale qui l'objectif d'augmenter la part d'énergie renouvelable dans le mix énergétique du pays.

Il s'agit de la première centrale éolienne du pays a été inaugurée le 11 Novembre 2015, constitué de 15 éoliennes de 2 MW chacune, réparties en trois lignes, et d'une puissance maximale de 30 MW. Elle est implantée dans le sud de la ville de Nouakchott, à quelques Kilomètres de la plage, (Annexe C).

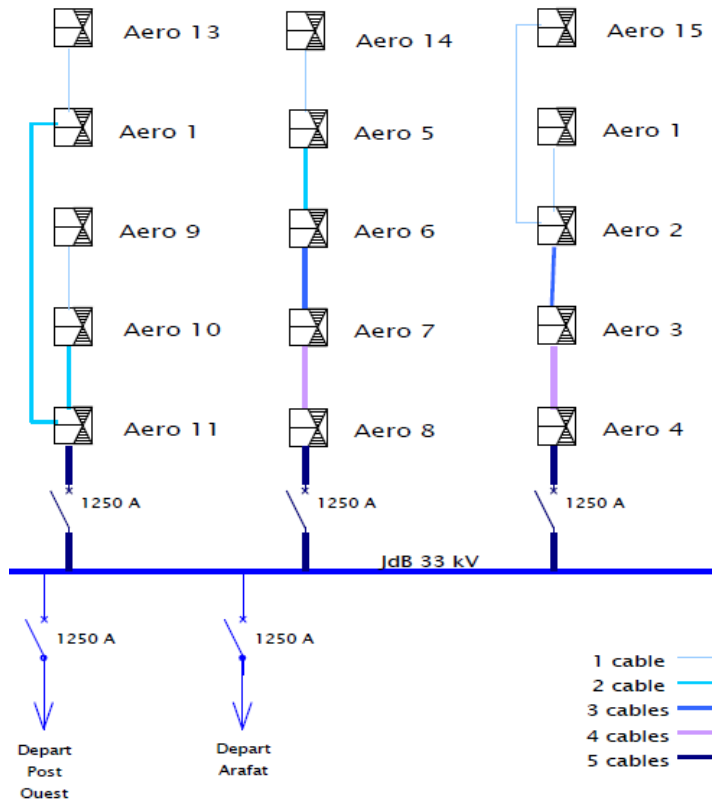


Figure 11 : Schéma unifilaire de la centrale Eolienne

L'infrastructure, d'un coût global de 43 millions d'euros fournis par l'Etat et le Fonds arabe pour le développement économique et social.

Elle comprend aussi des dispositifs de contrôle commande, des équipements électriques nécessaires au fonctionnement de l'installation et est reliée aux postes de desserte de Nouakchott en énergie électrique.

Selon le ministère mauritanien de l'énergie, avec cette réalisation et plusieurs autres projets mis en service, «les énergies nouvelles et renouvelables représentent aujourd'hui 25 % des capacités installées et leur production assure la couverture de 32 % de la demande globale» de la Mauritanie en électricité, [6].

2.3.4 Centrale Solaire Photovoltaïque 15 MW Nouakchott

Inauguré le jeudi 19 avril 2013, c'est une centrale solaire d'une capacité de 15 mégawatts. Financée en coopération avec les Émirats Arabes Unis.

La Mauritanie, qui possède une importante réserve d'énergie solaire, bénéficiant de sa position géographique dans le nord-ouest africain, elle possède désormais sa première centrale solaire.

La société émiratie Masdar a assuré la construction de la centrale financée à hauteur de 32 millions de dollars par les Émirats Arabes Unis. La réalisation du projet a nécessité, pendant quatre mois, la pose de 30 000 panneaux solaires et d'un générateur électrique. La durée de vie de la centrale solaire est d'au moins 20 ans, (Annexe D).

La centrale solaire dénommée « Centrale Cheikh Zayed » a la capacité de couvrir entre 7 à 10% des besoins en électricité de la capitale. Ce qui permettra de réduire la facture énergétique du pays mais aussi de fournir une énergie propre.

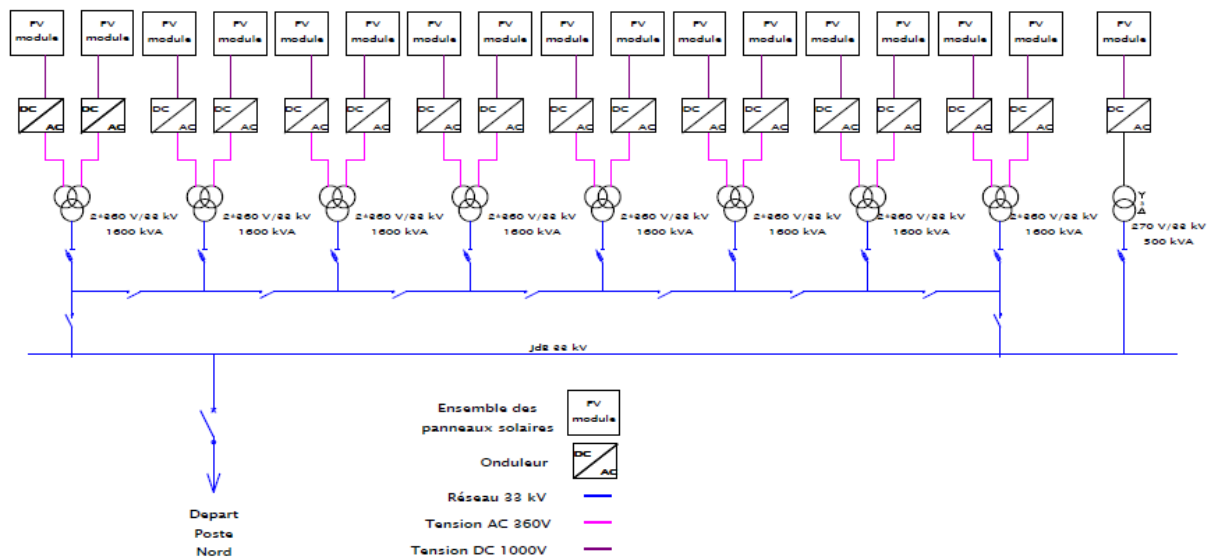


Figure 12 : Schéma unifilaire de la centrale Solaire 15 MW

Alors que la demande du pays de 4 millions d'habitants augmente annuellement d'environ 12%, cet apport en énergie solaire devrait contribuer à faire baisser ces pénuries et alimenter près de 10.000 ménages en électricité. La centrale comprend près de 30.000 panneaux solaires en couches minces. Elle a été construite en adoptant des pratiques novatrices et durables de construction. En effet, les ingénieurs chargés du projet ont conçu la structure de support pour les modules de façon à ce qu'elle soit implantée au sol au lieu d'utiliser une fondation en béton. [8]

2.3.5 Centrale Solaire Photovoltaïque 50 MW Nouakchott (Toujounine)

La deuxième plus grande centrale solaire de l'Afrique de l'Ouest d'une puissance totale de 50 MW, a été inaugurée jeudi le 23 novembre 2017, à Toujounine, Nouakchott nord, dans le cadre des festivités commémoratives du 57ème anniversaire de l'indépendance nationale.

Le coût total de cette centrale s'élève à 19 milliards d'ouguiyas, soit 45454545 € cofinancé par l'Etat mauritanien et le Fonds arabe pour le développement économique et social.

Le projet comprenait la construction d'une centrale solaire photovoltaïque de 50 MW avec les installations civiles nécessaires et le montage de 156 540 panneaux électriques d'une capacité totale de 50 MW, des accessoires électriques nécessaires, d'un système de contrôle et d'une station de transformation de 33 kVA.



Figure 13 : photo des installations de la centrale solaire 50 MW

Il aura fallu seulement 13 mois de travaux, pour monter les 156 540 panneaux photovoltaïques et installer les 19 postes de transformation de 33 KVA pour transformer le courant continu en courant alternatif afin de le distribuer sur le réseau national.

La réalisation de cette centrale s'inscrit dans le cadre des objectifs fixés par le gouvernement dans le domaine de l'énergie visant à » généraliser l'accès à l'énergie électrique de la population, à améliorer la qualité des services électriques et à intégrer des énergies renouvelables afin de diversifier le mix énergétique.

En 2015, la part de l'énergie renouvelable représentait déjà 35 %. L'objectif de l'Etat est d'arriver à 42% d'énergies renouvelables à l'horizon 2018. [9]

2.3.6 Centrale Electrique Wharf Nouakchott

La centrale Wharf est une centrale thermique de 36 MW (9x4MW), Elle a été une réponse rapide en 2011 à la crise de déficit en énergie électrique qu'elle frappait la ville de Nouakchott. Elle est située dans la zone Wharf (À L'Ouest de la ville). C'est une centrale modulaire transportable composée de 3 modules

Dont chacun est de 3 groupes électrogènes d'une puissance unitaire de 4 MW qui débitent sur le jeu de barre 11 kV. Au sein de celle-ci se trouve le poste Ouest qui a le rôle d'évacuer l'énergie produite par la centrale et celle produite par le parc éolien.

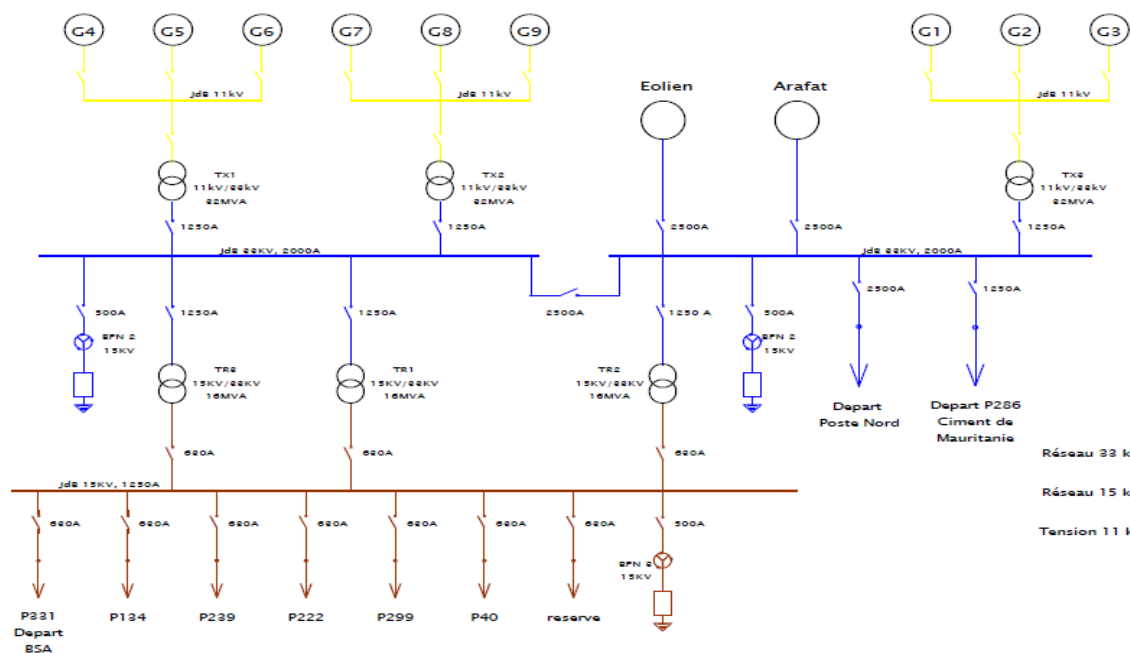


Figure 14 : Schéma unifilaire du post centrale Wharf

2.3.7 Centrale Thermique Duale (Fioul, Gaz) 180 MW Nouakchott

Dans sa phase initiale, cette centrale avait une capacité de 120 MW (8 groupes de 15 MW) pouvant fonctionner au fioul lourd, léger ou le gaz. Finalement la centrale fonctionne toujours avec le Fioul, du fait de l'abandon de l'exploitation du gisement d'offshore « Panda » pour des raisons de non rentabilité économique, mais la découverte du nouveau gisement de gaz dans les côtes mauritaniennes ouvert de nouveau la possibilité d'utiliser le gaz naturel comme combustible dans la centrale.

Dans une seconde phase, la centrale a été l'objet d'un projet d'extension pour augmenter sa puissance à 180 MW par l'addition de 4 groupes de 15 MW chacun.

La Centrale est composée de 12 groupes électrogènes fonctionnant au fioul lourd ou le gaz naturel, d'une puissance totale de 180 MW et des dispositifs de contrôle et de commande et des auxiliaires électromécaniques et électriques nécessaires au fonctionnement de l'installation.

La structure comporte aussi deux postes d'évacuation de l'énergie de capacités 11/33 KV et 33/225 KV et un parc de combustibles d'une capacité totale de stockage de 12000 mètre cube.

La sortie des alternateurs est de 11 kV. L'énergie produite par cette centrale est injectée dans le réseau de distribution de Nouakchott au niveau des postes Duale 33 kV et vers la poste HT 225 kV qui se trouvent avec la centrale Duale.

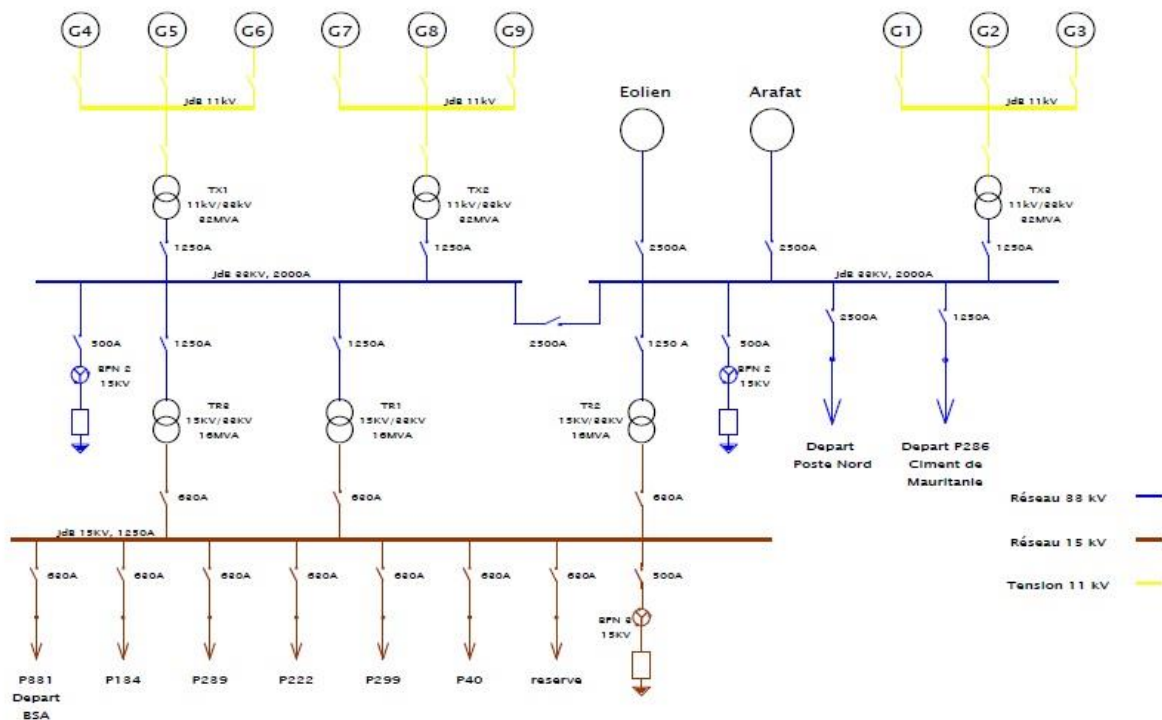


Figure 15 : Schéma unifilaire des postes Duale

Le coût global de la centrale, cofinancée par l'Etat Mauritanien, et le FADES et la BID, est de l'ordre de 72 milliards d'Ouguiyas, soit 72 millions de dollars.

2.4 Réseaux électriques de Nouakchott

Le réseau public d'électricité est l'infrastructure qui permet d'acheminer l'énergie depuis les installations de production jusqu'aux installations de consommation.

On distingue trois niveaux de réseaux :

- Le réseau du transport et d'interconnexion qui achemine (en 225 kV) des grandes quantités d'énergie sur de longues distances avec un faible niveau de perte (« autoroutes de l'énergie »).
- Les réseaux régionaux de répartition qui répartissent l'énergie au niveau des régions et alimentent les réseaux de distribution publics ainsi que les gros consommateurs industriels en 33 kV et 15 kV, (clientèle industrielle).
- Les réseaux de distribution à 400 V, qui desservent les consommateurs finaux en basse tension (clientèle domestique, éclairage public, ...).

Un système électrique est composé de machines de production d'énergie électrique, de consommateurs et d'un maillage de transport de cette énergie entre les producteurs et les consommateurs. Les centrales doivent à tout instant produire la quantité d'électricité nécessaire à l'alimentation des consommateurs. Pour répondre à cet impératif, les centrales de Nouakchott sont interconnectées grâce au maillage du réseau, et peuvent se secourir mutuellement en cas de panne. Pour que le réseau interconnecté fonctionne, il existe une obligation commune à toutes les centrales : leurs alternateurs doivent tourner à la même

vitesse électrique, afin de produire une tension et une fréquence uniforme dans tout le réseau de Nouakchott. C'est ce qu'on appelle le synchronisme, des alternateurs. Pour un tel alternateur alimentant notre réseau, deux modes de fonctionnement sont possibles chacun correspond à l'une des configurations réseau, qui sont soit interconnecté avec le réseau étendu via la liaison Manantali ou soit isolé, et d'autre part la source sur laquelle tous les autres seront synchronisés dépend aussi obligatoirement de la configuration du réseau.

1.3.2.1 Poste Transport de l'OMVS

Le poste de livraison 225/33 kV de l'OMVS est situé au Sud de la ville de Nouakchott, à côté de la centrale Arafat. Ce poste injecte l'énergie en provenance de la centrale hydroélectrique de Manantali au poste de répartition 33/15 kV d'Arafat. A travers la ligne Manantali on exporte aussi de l'énergie de surplus. Une autre interconnexion entre ce poste à celui de Duale aura lieu bientôt.

2.4.1 Les postes de Répartition 33/15 kV

Le poste Centre

Jouit d'une situation géographique relativement centrale dans la ville de Nouakchott. Il joue le rôle du transit entre la centrale Duale et celle d'Arafat et permet aussi l'alimentation des départs 15 kV qui alimentent les quartiers du centre de la ville.

Le poste Nord permet d'alimenter les départs 15 kV du réseau de distribution dans les parties Nord et Nord-Ouest de la ville. Ce poste aura un rôle important dans la collecte des données des autres postes de répartition et des centrales électriques, car le lieu du centre de dispatching sera à côté de ce poste.

Le poste Nord-Est va jouer un rôle très important pour garantir la demande qui augmente de plus en plus dans sa zone, et permettra aussi le transit de la puissance produite par Duale vers le poste Est.

Le poste Est assure l'alimentation de la partie Est de la ville. Celui-ci est alimenté aussi à travers le poste d'Arafat et sera la source principale d'alimentation d'Idini dans la future proche.

Il n'y a pas d'opérateur assigné à ces postes. Ils sont exploités par les agents du département de transport et distribution qui se déplacent pour effectuer les manœuvres.

- Le réseau unifilaire de ses postes est le suivant :

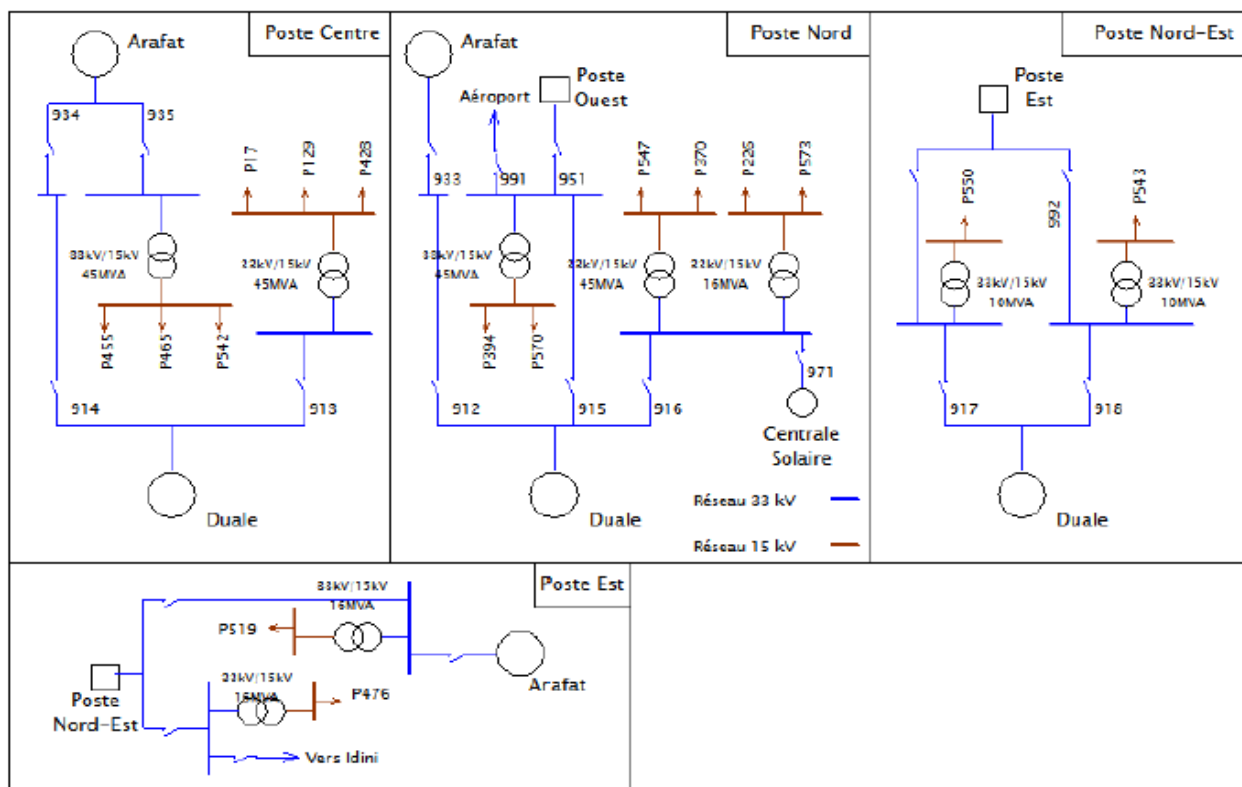


Figure 16 : Schéma unifilaire des postes MT 33/15 kV

2.4.2 Les postes de distribution 15/0,4 kV

Le réseau de Nouakchott est un réseau semi-bouclé. Tous les postes sont Connectés mais la boucle du réseau n'est pas encore fermée. Les postes 15/0,4 kV se divisent principalement en trois catégories :

Poste Nœud : Ce poste est connecté aux postes de répartition 33/15 kV. Et alimente plusieurs postes *en Boucle* et peut alimenter aussi une charge via des Transformateurs 15/0,4 kV.

Poste en Boucle : Ce poste injecte la puissance dans les postes de même type ou ceux qui sont *en Antenne*. Ces postes se trouvent généralement dans les zones trop chargées.

Poste en Antenne : c'est un poste qui se trouve généralement dans les extrémités de la ville. Il représente le terminal du réseau.

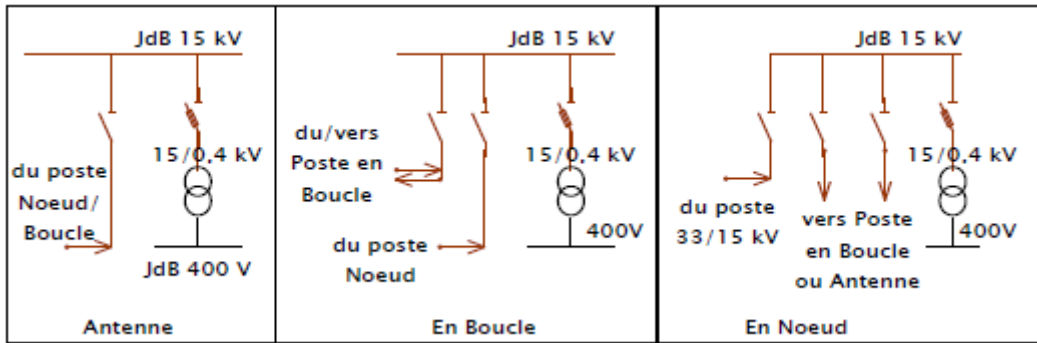


Figure 15 : Structure des postes de distribution 15/0,4 kV

2.4.3 Synoptique générale du système d'alimentation en énergie électrique

Les centrales de Nouakchott sont interconnectées grâce au maillage du réseau, et peuvent se secourir mutuellement en cas de panne pour la continuité du service.

Le schéma suivant présente la structure globale du réseau de Nouakchott tel que les centrales, les postes de répartition 33/15 kV et les postes de transport 33/225 kV ainsi que les principaux départs de ces postes.

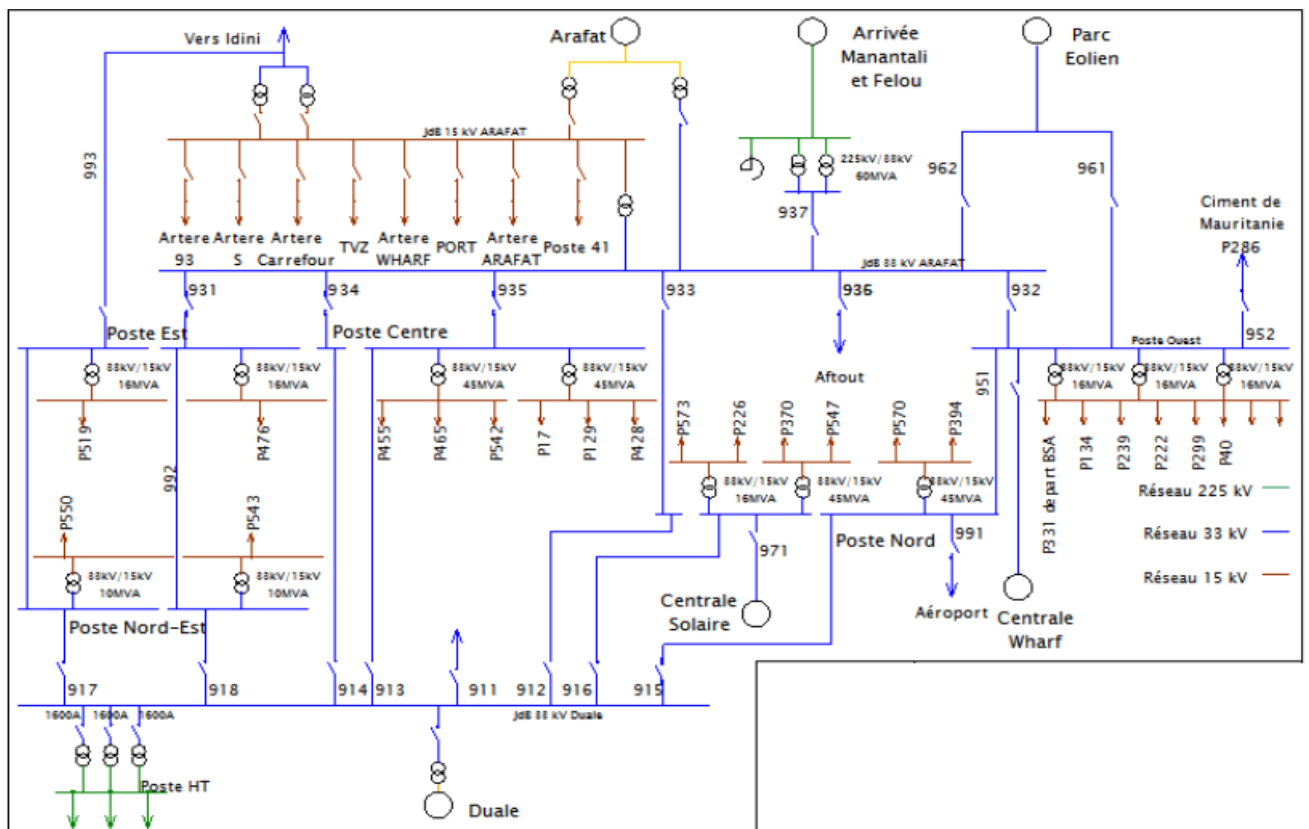


Figure 17 : Schéma unifilaire des du réseau de Nouakchott

La structure du système d'alimentation, décrite dans ce qui précède, est constituée d'un parc de production présentant une diversité de sources d'énergies, relié à un réseau comportant plusieurs postes de transformation de niveau de tension différent (225 kV, 33 kV, 15 kV et 400 V). En outre on peut citer l'ancienneté de quelques centrales thermiques combinée avec des centrales d'énergie variante et de disponibilité inopinée.

Ce système qui représente le secteur vital du pays exige une bonne gestion dont l'objectif est d'assurer une alimentation optimale de qualité pour tous les consommateurs et diminuer le coût du kWh.

CHAPITRE III : La gestion du système d'alimentation en énergie électrique de la ville de Nouakchott

3.1 Introduction sur les principes de gestion du flux énergétique

L'objectif primordial pour les équipes de gestion d'énergie est d'éviter toute sorte de rupture d'équilibre, entre la production et la consommation par manque de production (perte ou insuffisance) ou manque de capacité de transport (surcharge sur les câbles), avec des problèmes de synchronisme (entre les centrales électriques) ou problème d'écroulements de fréquence ou de tension, ceux qui peut causer un **Blackout**. Pour l'éviter, le comportement du système d'alimentation doit être maîtrisé.

Pour un système stable un contrôle doit être établi à ces paramètres qui définissent son comportement :

- ✓ La fréquence doit être maintenue autour de la valeur nominale de 50 Hz.
- ✓ La tension doit être maintenue autour de la valeur nominale pour chaque niveau du réseau.
- ✓ Le courant circulant dans le réseau doit être maintenu en dessous de la capacité maximale des câbles.

(les Annexes E et F) .

La stratégie de gestion d'énergie est principalement basée sur un provisionnement de la courbe de la charge en respectant les contraintes économiques et surtout celles de la stabilité du réseau.

Exemple d'évolution de la charge pour une journée [2] :

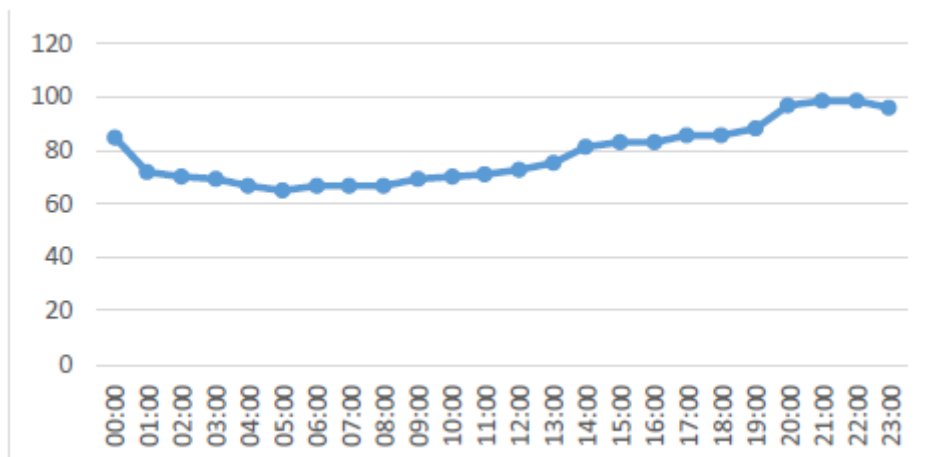


Figure 21 : Courbe de la demande de Nouakchott pour une journée

3. Centre de dispatching Arafat (Nouakchott)

À partir du mois de Janvier 2017, une grande partie de la structure de l'ancienne centrale thermique Arafat1, complétée par des nouveaux bâtiments, équipés des appareils de réception et traitement de l'informations, a été transformée à un centre de gestion et de commandement du réseau électrique de la ville de Nouakchott, appelé centre de dispatching de Arafat, au sein de ce centre j'ai passé la majeure partie de mon stage.

Parmi les annexes de ce centre les postes 33 kV et 15 kV qui ont le rôle d'évacuer l'énergie produite par la centrale éolienne ainsi que la puissance importée de Manantali.

Le centre de dispatching d'Arafat recueille les données, surveille les paramètres tout en assurant une meilleure coordination avec les entités suivantes :

- ✓ Le responsable réseau, s'il existe un problème au niveau du réseau.
- ✓ La centrale Duale pour démarrer (ou arrêter) un groupe, augmenter (ou diminuer) la puissance d'un groupe ou en cas de problème.
- ✓ La centrale Eolienne pour déconnecter cette unité ou seulement diminuer sa production (dans le cas où le réseau est isolé), ou en cas de problème visualisée au niveau de cette unité.
- ✓ La centrale Wharf pour démarrer (ou arrêter) un groupe, augmenter (ou diminuer) la puissance d'un groupe.
- ✓ La station du poste OMVS en cas de problème sur la ligne Manantali.
- ✓ Le centre de dispatching de l'OMVS pour avoir le planning hebdomadaire de la puissance qui sera importée ou en cas de problème par exemple perturbation dans leur réseau, ou un dépassement du quota énergétique, (Annexe I).

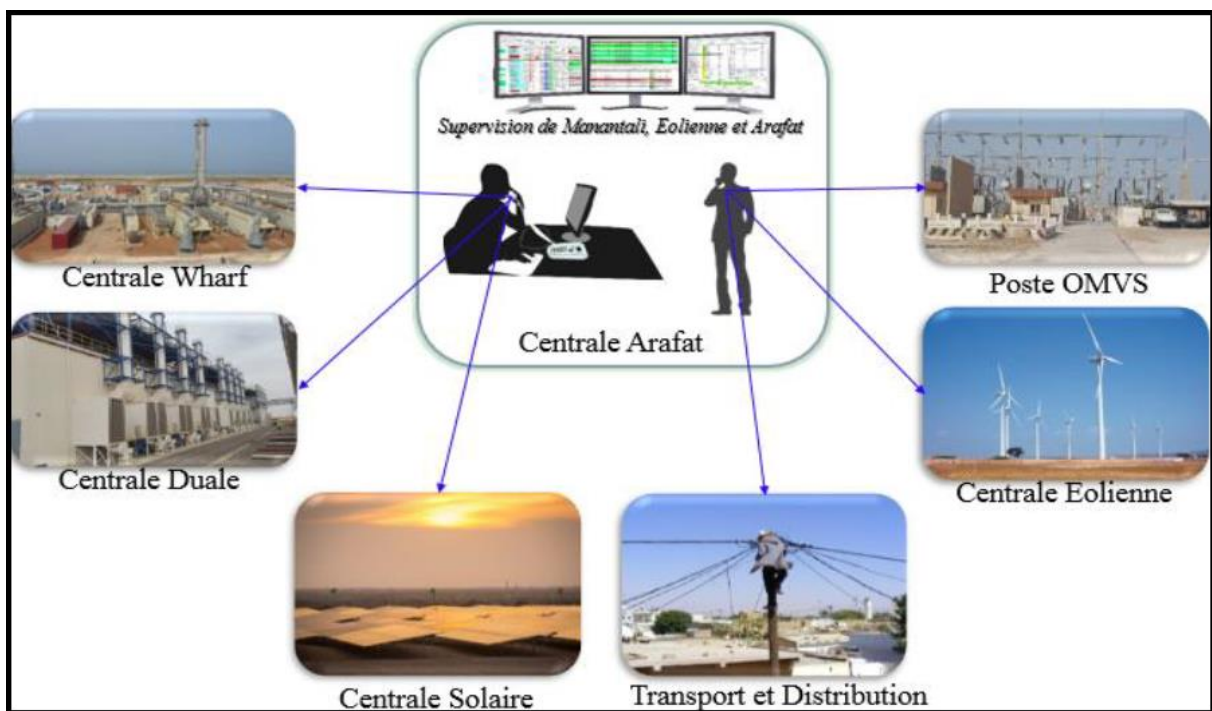


Figure 19 : Illustration de la gestion actuelle au niveau d'Arafat

3.2.1 Structure et Fonctionnement

Le centre de dispatching Arafat constitue le centre névralgique et l'unité principale de gestion du flux énergétique de la ville de Nouakchott, il a pour missions principales :

- L'adaptation et le maintien de l'équilibre dans le rapport demande et production.
- Garder nécessaire l'harmonisation entre les sources thermiques et renouvelables, qui alimente le réseau électrique de la ville de Nouakchott.
- Veiller au respect du quota mauritanien dans la production du barrage de Manantali.
- Détecter dans le meilleur délai tout incident qui peut affecter le fonctionnement du réseau et l'alimentation de la ville et ses banlieues en énergie électrique.

La structure hiérarchique du centre :

- Chef du Centre.
- Chef service exploitations
- Chef Service des automates
- Chef Service mécanique
- Les chefs des équipes de quart
- Agents des équipes de quart

Le centre travaille avec le modèle 3x8, 40 heures par semaine, avec la possibilité d'effectuer des heures supplémentaires à la demande de l'entreprise.

Donc pour chaque 24h il y a trois équipes qui effectue la permanence dans la salle de commandes et les auxiliaires, l'équipe appelé « un quart » est constituée de deux personnes, une chef de quart et un agent ou adjoint.

Pour toutes les 24h, il y a trois équipes en service et deux équipes en repos de quatre jours, avec deux jours de décalage entre le départ au repos de deux équipes.

3.2.2 Salle de Commande :

Cette salle de commande, permet le contrôle et la surveillance de la centrale et le poste d'Arafat, ainsi que la supervision des informations venant de la centrale Eolienne et celui de l'arrivée Manantali.

Le Contrôle et la supervision en temps réel de la centrale et le poste de répartition sont faits à l'aide des automates CGE Alstom T20 pour interfacier les informations des groupes G1 à G4 et le poste 15 kV, et les automates Alstom ALSPA C80-35 pour interfacier les informations des groupes G5 et G6 et le poste 33 kV. Les données de Manantali sont supervisées à l'aide d'un automate ALSPA C80-35 qui prend les informations à partir de la cellule arrivée Manantali. La Supervision en temps réel des données du parc éolien se fait à travers un ordinateur (dans lequel le système de GAMESA est intégré) similaire à celui de la salle de

contrôle du parc Eolien. Le système SCADA utilisé au niveau de la salle de contrôle Arafat est le CSS-F.



Figure 20 : Image de la salle de commande centre dispatching

Les équipes de permanence assure la surveillance, et le contrôle dans la salle de commande, ainsi que dans le reste du centre de dispatching.

Dans la salle de commande nous avons l'accès aux valeurs numérique nécessaire à la surveillance de comportement de différentes composantes du réseau.

Les paramètres du réseau (tension, fréquence, et puissance), sont affichés dans la salle de commande sur les écrans et tables de signalisation électronique, ainsi que les paramètres de :

- La centrale hydroélectrique de Manantali
- La Centrale éolienne de Nouakchott PK 13
- Les départs 15 KV Nouakchott : Poste 41, TVZ, Wharf, Arafatt, Carrefour, Artre S,
- Départs 33 KV Nouakchott : Centre 1, Centre 2, Post Nord, Post Ouest, Est.

3.2.3 Les tâches exécutées durant le stage :

Dans le cadre de ce stage j'ai intégré le centre de dispatching d'Arafatt, au niveau de la salle de commande où j'ai effectué la grande partie de mon stage. Les différentes missions que nous avons exécutées sont les suivantes :

3.2.3.1 Surveiller la tension, fréquence, et puissance de :

- Centrale hydroélectrique de Manantali, et éventuellement surveiller le quota mauritanien d'énergie électrique délivré par cette centrale, le quota d'énergie varie en fonction du temps, donc pour chaque jour et chaque heure il y a une valeur précise d'où l'équipe dans la salle de commande à la mission de veiller au respect de ces valeurs.

Les valeurs des quotas d'énergie électrique sont données chaque lundi, pour une durée d'une semaine, sous forme d'un tableau. La puissance électrique en fonction de la date et de l'heure de consommation, comme il est illustré sur le tableau suivant :

7 14

Plan de production (MW) Semaine N° 032 pour import Manantali- Félou et export EDM du 05 au 11 Aout 2019

Heure	LUNDI		MARDI		MERCREDI		JEUDI		VENDREDI		SAMEDI		DIMANCHE	
	Import Mar	Export EDM	Import Mar	Export EDM	Import Mar	Export EDM	Import Mar	Export EDM	Import Mar	Export EDM	Import Mar	Export EDM	Import Mar	Export EDM
00-01	5,7	10,00	5,7	10,00	5,7	10,00	5,7	10,00	5,7	10,00	5,7	10,00	5,7	10,00
01-02	6,2	10,00	6,2	10,00	6,2	10,00	6,2	10,00	6,2	10,00	6,2	10,00	6,2	10,00
02-03	6,3	10,00	6,3	10,00	6,3	10,00	6,3	10,00	6,3	10,00	6,3	10,00	6,3	10,00
03-04	6,8	10,00	6,8	10,00	6,8	10,00	6,8	10,00	6,8	10,00	6,8	10,00	6,8	10,00
04-05	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00
05-06	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00	7,2	10,00
06-07	8,2	10,00	8,2	10,00	8,2	10,00	8,2	10,00	8,2	10,00	8,2	10,00	8,2	10,00
07-08	7,4	10,00	7,4	10,00	7,4	10,00	7,4	10,00	7,4	10,00	7,4	10,00	7,4	10,00
08-09	9,6	10,00	9,6	10,00	9,6	10,00	9,6	10,00	9,6	10,00	9,6	10,00	9,6	10,00
09-10	6,0	10,00	6,0	10,00	6,0	10,00	6,0	10,00	6,0	10,00	6,0	10,00	6,0	10,00
10-11	5,0	10,00	5,0	10,00	5,0	10,00	5,0	10,00	5,0	10,00	5,0	10,00	5,0	10,00
11-12	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00
12-13	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00	4,5	10,00
13-14	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00
14-15	4,7	10,00	4,7	10,00	4,7	10,00	4,7	10,00	4,7	10,00	4,7	10,00	4,7	10,00
15-16	5,2	10,00	5,2	10,00	5,2	10,00	5,2	10,00	5,2	10,00	5,2	10,00	5,2	10,00
16-17	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00	4,4	10,00
17-18	4,3	10,00	4,3	10,00	4,3	10,00	4,3	10,00	4,3	10,00	4,3	10,00	4,3	10,00
18-19	5,1	10,00	5,1	10,00	5,1	10,00	5,1	10,00	5,1	10,00	5,1	10,00	5,1	10,00
19-20	4,0	15,00	4,0	15,00	4,0	15,00	4,0	15,00	4,0	15,00	4,0	15,00	4,0	15,00
20-21	3,3	15,00	3,3	15,00	3,3	15,00	3,3	15,00	3,3	15,00	3,3	15,00	3,3	15,00
21-22	3,0	15,00	3,0	15,00	3,0	15,00	3,0	15,00	3,0	15,00	3,0	15,00	3,0	15,00
22-23	3,9	15,00	3,9	15,00	3,9	15,00	3,9	15,00	3,9	15,00	3,9	15,00	3,9	15,00
23-24	4,3	15,00	4,3	15,00	4,3	15,00	4,3	15,00	4,3	15,00	4,3	15,00	4,3	15,00

Figure 21 : Planning du quota mauritanien de la production Manantali en fonction du temps

NB : une marge de tolérance de quelques méga watts est tolérée, par les services de gestion de la centrale hydroélectrique de Manantali, en attendant une régularisation définitive après l'établissement des bilans annuels la fin d'année.

Le responsable du réseau	Intervient avec son équipe de maintenance en cas de problème détecté dans le réseau.
L'agent de la centrale Duale	Transfert les données essentielles (état des groupes ou les départs du poste Duale) vers le dispatcheur par des appels téléphoniques. Exécute les ordres de celui-ci par exemple pour le démarrage d'un groupe en précisant son mode de fonctionnement.
L'agent de la centrale Wharf	Transfert les données essentielles, via des appels téléphoniques (état des groupes ou des départs du poste Ouest) vers le dispatcheur par des appels téléphoniques. La centrale actuellement est arrêtée pour des raisons systématiques.
L'agent de la centrale Eolienne	Transfert les données essentielles, via des appels téléphoniques, en cas de problème et exécute les ordres cités auparavant.
L'agent de la centrale Solaire	Communique avec le dispatcheur en cas de problème au niveau de cette centrale ou pour remplir les données de puissance.
L'agent du dispatching Manantali	Communique avec le dispatcheur en cas de transfert des perturbations brutales entre les réseaux, ou pour le remplacement du tableau, contenant le pourcentage de la production horaire qui constitue la part de la Mauritanie.

Tableau 1 : Procédures de gestion actuelle de d'énergie

3.2.4 Situation à éviter :

L'écoulement de la fréquence est une baisse de fréquence qui peut se produire. En dessous d'un certain seuil de fréquence, les groupes de production se séparent du réseau pour éviter d'être endommagés. La fréquence chute alors un peu plus, et de nouveaux groupes se séparent du réseau, accélérant le déséquilibre entre production et consommation, donc la chute de fréquence : c'est l'écroulement de fréquence. Ce phénomène est très rapide : on constate une baisse de plusieurs Hertz par seconde. L'ensemble du réseau interconnecté se trouve alors dans une situation très critique peut conduire à un blackout.

Les défaillances en cascade constituent une menace majeure pour les systèmes distribués et interconnectés des réseaux électriques. Les types de défaillances sont habituellement déclenchés lorsqu'un composant fortement chargé du système échoue et sa charge est redistribuée a d'autres composants, la redistribution peut entrainer une surcharge de la charge d'autre composants. Pour limiter le phénomène de déclanchement en cascade le critère de N-1 doit être intégré dans le système d'alimentation (Annexe G)

3.3 Salle de contrôle centrale Duale

La salle de contrôle de la centrale Duale assure le contrôle et la supervision centralisée de cette centrale et de son poste. Elle contient les principaux panneaux de commande et stations de travail informatisées. Le panneau de commande est utilisé pour contrôler les états des disjoncteurs dans le poste Duale et pour la synchronisation.

Manuelle des alternateurs. L'armoire de commande contient des API Siemens de type SIMATIC S7 300 qui sont le cœur du système de commande et assure également le

démarrage et l'arrêt des moteur, le contrôle du régime et de sa charge, le contrôle de puissance du générateur, la synchronisation, la commande des systèmes auxiliaires...

Le système d'interface utilisateur WOIS de Wärtsilä (Wärtsilä Operator's Interface System) constitue une interface utilisateur au système de contrôle de Duale.



Figure 23 : Images de vues de système WOIS de Duale

3.4 Salle de contrôle centrale Wharf

La centrale Wharf est équipé d'un CCN SEMATIC qui permet d'afficher les informations venant du poste Ouest et un autre CCN EUROPA PCVU pour piloter la centrale via des stations de travail. Il y a des switches Ethernet au niveau de l'automate MELSEC de MITSUBISHI utilisés par le CCN. Il est possible de connecter une passerelle (Gateway) pour sélectionner les informations qui seront envoyées au centre de dispatching via le protocole CEI 60870-5-101/104

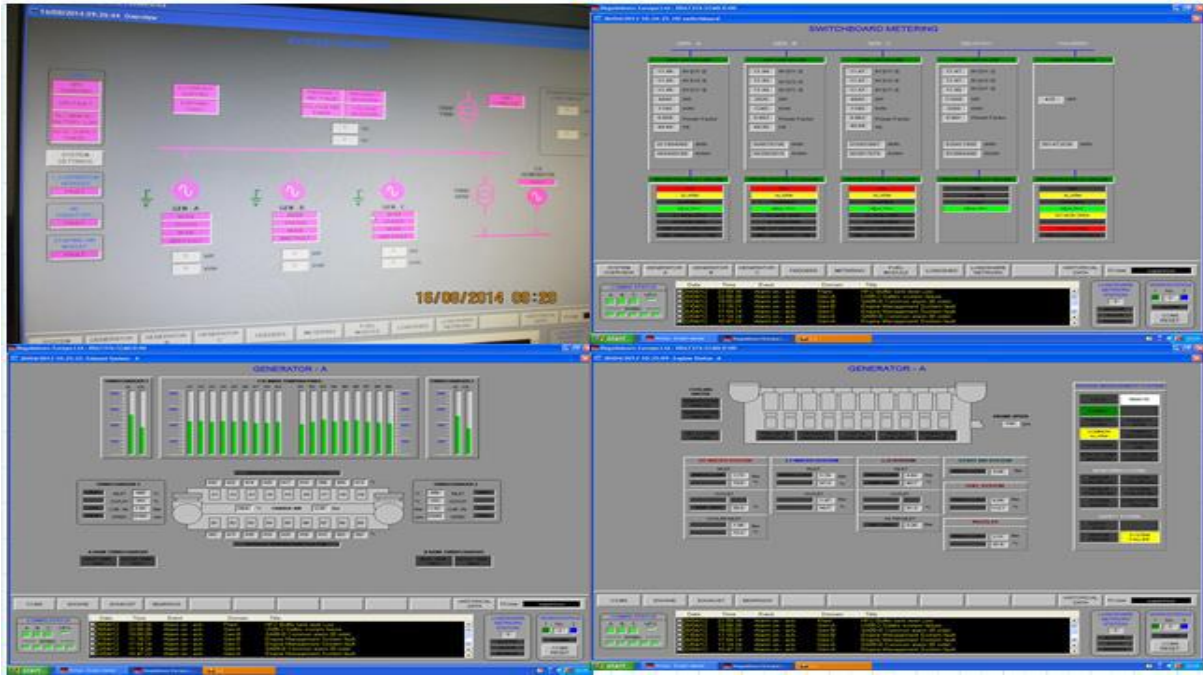


Figure 24 : Images de vues de système PCVU de Wharf

3.5 Salle de contrôle centrale éolienne

Le système UCS (Unit Control System) est un système qui est l'intermédiaire entre le poste de livraison et le système SCADA. Son rôle principal est la collecte des données issues de toutes les cellules et les envoient au système SCADA. La collecte concerne les différents paramètres qui sont utiles pour le bon fonctionnement de la centrale. La salle de contrôle joue un rôle important pour contrôler l'état des éoliennes. Elle permet aussi de transmettre les données à l'interface optique pour être exploitable au niveau de la salle de contrôle Arafat. Les données sont récupérées au niveau de l'entreprise GAMESA en Espagne à travers une liaison satellite.

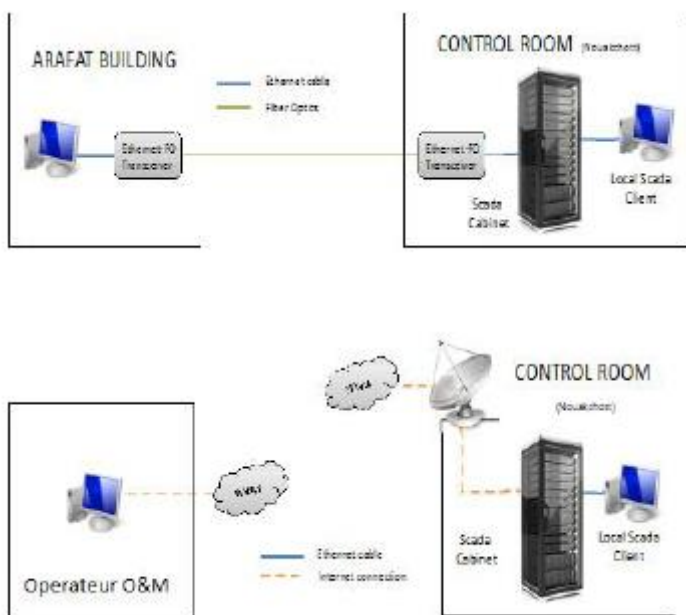


Figure 25 : Illustration de communication entre la centrale Eolienne-Arafat et Eolienne-GAMESA

Le système affiche l'énergie produite et la durée d'exploitation. Les paramètres qui font l'objectif de supervision sont les puissances, la vitesse du vent, la température, l'orientation des éoliennes, orientation de la nacelle, la production.

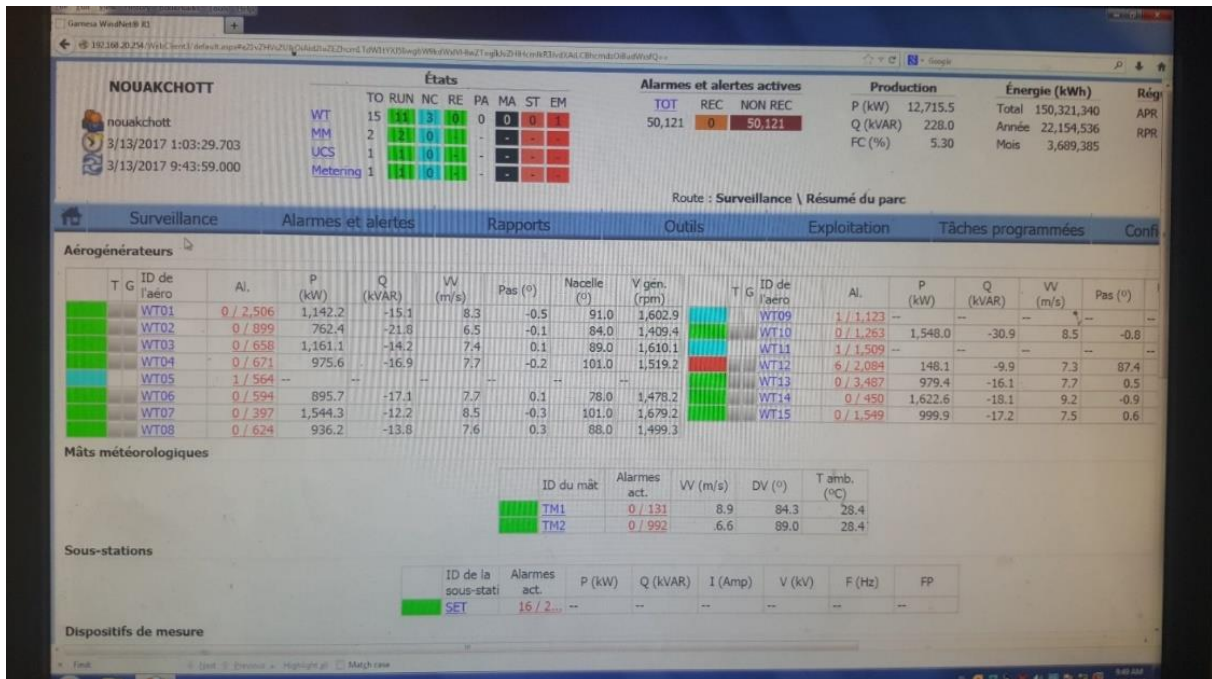


Figure 26 : Vue du SCADA de la centrale Eolienne

3.7 Salle de contrôle centrale Solaire

La supervision de la centrale solaire est assurée par un ordinateur et un smartphone portable connectés respectivement au réseau de communication Ethernet locale et un protocole IP Internet. Le SC-COM (module électronique de contrôle commande) est muni d'un convertisseur de signaux qui convertie le signale Ethernet en un signal optique et en protocole IP, donc les données sont acquises sur le réseau Internet par protocole IP et localement par Ethernet ou à distance au niveau du centre de dispatching par fibre optique. Sur ceux-ci on peut visualiser tous les paramètres qu'on veut à travers SC-COM qui sont responsable du contrôle commande des capteurs issus du terrain.

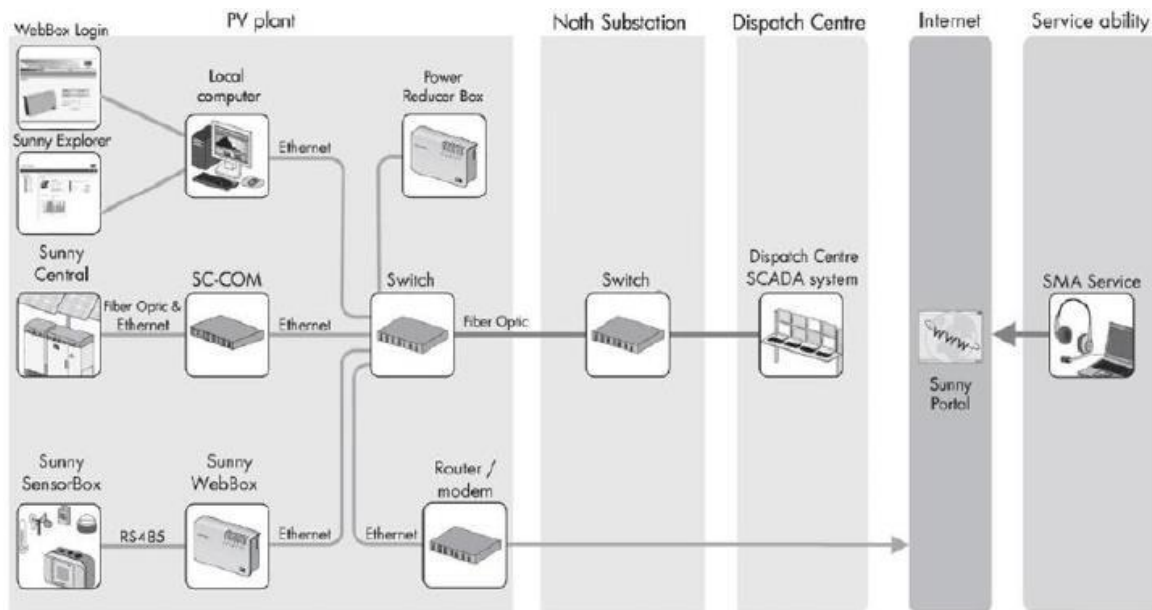


Figure 27 : Illustration de communication entre la centrale Solaire

3.8 Mesure préventive :

Les mesures préventives proposées pour un comportement correct stable du système d'alimentation mises en oeuvre par les compagnies d'électricité les plus avancées du monde pour éviter les pannes de courants majeures sont [7] :

- ✓ Enfouissement des lignes électrique pour diminuer la sensibilité du réseau aux perturbations atmosphériques (foudre, verglas, ...).
- ✓ Mise en oeuvre du **critère de N-1** (*Annexe G*).
- ✓ Redondance des lignes électriques pour que la défaillance d'une simple ligne ne conduit pas à un évènement indésirable

- ✓ Maintien d'une **réserve de puissance** (*Annexe H*) dans les centrales électriques
- ✓ Interconnexion avec les pays voisins pour augmenter la stabilité du réseau. Systèmes spécifiques d'amélioration de la stabilité du réseau (Un système de transmission flexible en courant alternatif, équipement d'électronique de puissance).
- ✓ Nécessité que les exigences en matière de stabilité des installations de production lors de la survenue de variations de la fréquence du réseau interconnecté synchrone soient plus contraignantes, c'est-à-dire n'agréer les éoliennes que si elles continuent à fonctionner quand la fréquence du réseau chute et qu'il faut absolument soutenir le réseau au lieu de se déconnecter.
- ✓ L'interconnexion avec les pays voisins soit à travers les lignes **HVDC** (High Voltage Direct Current). L'étude de ce type de projet est réalisée pour que la Mauritanie soit capable d'être interconnectée électriquement avec tous les pays voisins, les détails et la rentabilité de cette solution sont à *l'annexe I*.

CHAPITRE IV : Les constructions et les Projets en cours

4.1 Les constructions de la dernière décennie

Malgré quelques problèmes qui persistent encore nous sommes dans l'obligation, de présenter les évolutions majeures qui a connu le réseau électrique au niveau la ville de Nouakchott, à partir de l'année 2010 en citant les projets qui ont été réalisés dans l'ordre suivant :

2010 :

- mise en service de la centrale Arafat II de 10,5 MW
- mise en service des postes source Nord et Ouest de 33/15 kV
- projet d'extension des réseaux électriques à Nouakchott (PEREN) visant à généraliser l'accès à l'énergie électrique.

2011 : construction à Nouakchott de la Centrale Wharf de 36 MW

2012 : pose de la 1ère pierre de la centrale duale Nord 180 MW

2013 : mise en service de la centrale solaire photovoltaïque 15 MW à Nouakchott

2015 :

- mise en service de la Centrale Duale Nord de Nouakchott de 180 MW
- mise en service de la centrale éolienne de Nouakchott de 30 MW

2017 : mise en service de la centrale solaire photovoltaïque 50 MW à Nouakchott

Toujours dans cet aspect nous soulignons, le grand pas qui a été franchi avec l'introduction de l'énergie renouvelable dans la mixte énergétique de la ville de Nouakchott, notamment la mise en service de deux centrales solaires photovoltaïques de 65 MW et la mise en service du parc d'éoliens avec une capacité maximale de production de 30 MW.

4.2 Les Projets en Cours de Réalisation

Présentons ci-dessous les grands projets qui sont sous le suivi de SOMELEC [1]

- ✓ Projet mise en place d'un Centre National de Conduite (CNC) pour gérer à distance les outils de production et de distribution d'électricité (en construction).
- ✓ Construction d'une ligne d'interconnexion HT 225 kV de 460 km entre Nouakchott et Nouadhibou.
- ✓ Projet de Construction de la ligne 225 kV entre Centrale Duale et poste OMVS Nouakchott et sous stations électriques associées.
- ✓ Une centrale Eolienne de 100 MW à Boulenoir (en phase avancée).

Par souci du volume de rapport, nous détaillerons dans le suivant les deux grands projets :

Centrale éolienne 100 MW de Boulenoir, et le Centre National de Conduite.

4.2.1 Parc éolien 100 MW de Boulenouar :

L'énergéticien espagnol Elecnor a obtenu le contrat de développement de la deuxième centrale éolienne de Mauritanie. D'une capacité de 100 MW, la centrale éolienne de Boulenouar sera implantée à Dakhlet Nouadhibou. Son coût de mise en place a été évalué à 122 millions € et elle est financée par le Fond Arabe pour le Développement Economique et Social (FADES).

La construction du parc éolien sera assurée par un consortium réunissant Siemens et Gamesa Renewable Energy qui fournira, entre autres, les turbines éoliennes. Elecnor se chargera, quant à elle, des travaux d'ingénierie, de construction, et de mise en service de la centrale. Un contrat d'exploitation et de maintenance, d'une durée de 11 ans, est prévu pour être signé ultérieurement. Les travaux de construction sont prévus pour s'achever, d'ici le dernier trimestre de l'année 2019 [7].

4.2.2 Centre National de conduite D'énergie Electrique

La Société Mauritanienne d'Electricité (SOMELEC) a connu un développement significatif au cours des dernières années, et a commencé à connaître une diversité croissante des sources d'énergie et compte tenu du développement continu du réseau, ces aspects ont conduit à la difficulté de la gestion du secteur électrique. Cela a entraîné la nécessité d'un centre de conduite national, ce qui éliminera un bon nombre des problèmes comme les coupures fréquentes de l'électricité.

Ce projet vise la réalisation d'une gestion centralisée du système électrique de Nouakchott. Notre objectif est de travailler sur l'étude du projet et d'en tirer une manière optimale pour sa réalisation.

Pour parvenir à cette exigence, en l'absence de termes de références précis, et compte tenu que notre projet a été le premier de son genre dans la société, nous avons réalisé une étude approfondie des centrales électriques à partir desquelles nous avons tiré le schéma unifilaire du réseau électrique d'alimentation de la ville de Nouakchott.

En plus il était essentiel d'étudier la gestion actuelle de l'énergie et de dégager les manquements principaux afin d'en proposer une solution en concevant une application qui offre une gestion centralisée des sources de production d'énergie électrique dans le but d'éliminer tout retards d'intervention en cas de problème.

En fin de compte, comme la société a abouti au Centre National de Conduite d'énergie électrique comme une solution idéale pour les problèmes gestion d'énergie, nous avons proposé une conception conforme aux normes internationales pour le projet.

4.2.2.1 Contexte et objectifs du projet

La gestion du réseau électrique de Nouakchott assurée actuellement de manière essentiellement manuelle conduit à des temps de réaction parfois longs, notamment lors des manœuvres de rétablissement des conditions normales d'exploitation suite à des incidents majeurs.

Le projet de Centre National de Conduite « CNC » vise ainsi à utiliser les moyens modernes de supervision et de conduite à distance de réseau afin d'optimiser et de sécuriser la gestion du système électrique de la SOMELEC en tenant compte de ses évolutions futures.

4.2.2.2 Description du Projet

Le projet englobe les éléments suivants :

- le génie civil des bâtiments destinés notamment à abriter les bureaux et les salles de commande du Centre National de Conduite ainsi que les bureaux de la Direction Transport et Distribution ;
- les équipements du système d'acquisition et de traitement des données (SCADA) fournis avec leurs logiciels pour la supervision et la conduite des installations à distance en temps réels ;
- les équipements de conduite distants nécessaires à installer dans les centrales et les postes de transformation électriques et les travaux d'adaptation y afférents ;
- le réseau de télécommunication nécessaire ;
- la formation des équipes d'exploitation et de maintenance du futur système ;
- la fourniture et l'installation des équipements nécessaires au CNC de repli (secours).
- l'assistance technique pour une période de deux ans après la mise en service.

4.2.2.3 Effets attendus :

- Assurer une conduite du réseau à distance de manière fiable et efficace.
- Disposer de moyens de communication adéquats afin de mieux gérer les évolutions du système électrique (Production – Transport – Distribution) à court, moyen et long termes.
- Garantir la performance (temps de réponse) de l'outil de conduite en toute circonstance dans le but d'améliorer la stabilité du réseau et de respecter les engagements avec les tiers et notamment ceux relatifs à l'exportation d'énergie.
- Echanger avec les autres Centres de Contrôle des pays limitrophes reliés au réseau interconnecté.

Conclusion Générale :

La Mauritanie, a réussi à donner un coup de fouet au secteur de l'énergie en parvenant non seulement à assurer l'autosuffisance énergétique mais à exporter le surplus de la production vers le Sénégal et le Mali.

Rappelons que en 2008, le pays faisait face à une grave crise énergétique caractérisée par des délestages chroniques à Nouakchott la capitale du pays où vivent près du tiers des mauritaniens.

La production n'excédait guère quelques dizaines de mégawatts dont une partie fournit par l'OMVS depuis le barrage hydroélectrique de Manantali au Mali.

Mais grâce à d'importants investissements avec une priorité donnée aux énergies renouvelables, le solaire notamment, des résultats probants ont été enregistrés, faisant de la Mauritanie un exemple à suivre.

Dans le domaine du Transport et de la Distribution, des programmes d'extension et de renforcement de réseaux ont été réalisés à Nouakchott, Nouadhibou, ainsi que dans les principales villes du pays. De plus, des projets de développement des réseaux de répartition et de distribution ont été mis en œuvre à l'intérieur du pays (lignes moyenne tension Aleg-Boghé, Boghé-Kaédi, Echram-Kamour, Guerrou-Kiffa, Timbedra-Néma-NbeiketLahwache, Néma-Adel Bagrou) ainsi qu'à Nouakchott, avec la densification du réseau, le renforcement du système d'évacuation par cinq nouveaux postes sources et de 12 nouvelles liaisons 33 KV entre lesdits postes sources pour une longueur totale de près de 120 km.

Le Centre National de Conduite, en cours d'essai, permettra d'offrir une gestion moderne, optimale et efficace du système électrique et d'améliorer significativement la qualité du service public. Par ailleurs, la part des énergies renouvelables dans la production de la SOMELEC (Société Mauritanienne d'électricité) est estimée à environ 50% en 2018, ce qui fait de notre pays un des leaders en Afrique en matière de pénétration des énergies propres. »

D'autres progrès sont à signaler dans le cadre de la production du réseau interconnecté, avec les travaux de construction du parc éolien de Boulanouar de 100 MW et de la centrale hydroélectrique de Gouina de 144 MW (quote-part 48 MW) qui sont en cours de réalisation.

Bibliographie

[2] : Documents du Service Planification et Mouvement d'Energie

[3] : Article : 2010 International Journal of Computer Applications (0975-8887) Volume 1 – No. 7

[4] : Panorama des solutions – Energie Electrique (document Schneider Electric)

Webographie

[1] : www.somelec.mr, date de consultation août 2019

[5] : <http://www.sogem-omvs.org/mantali.html>

[6] : site tdg.ch d'après l'AFP

[7] : <https://www.agencececofin.com/eolien/1807-58714-mauritanie-la-deuxieme-centrale-eolienne-de-100-mw-de-capacite-sera-implantee-par-elecnor>

[8] : https://www.strom.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente_Bilder_neu/010_Downloads/Basiswissen-Dokumente/29_Blackout_electrique_fr.pdf

[9] : terraafrica.info

[10] : https://www.strom.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente_Bilder_neu/010_Downloads/Basiswissen-Dokumente/29_Blackout_electrique_fr.pdf

ANNEXES

Annexe A :

Moteur diésel

Groupe électrogène : Un groupe électrogène est principalement constitué :

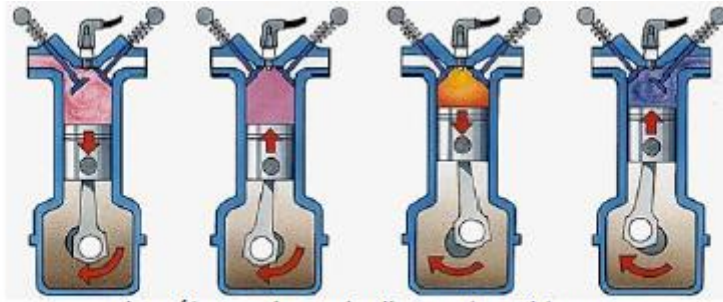
- ✓ D'un moteur diesel de forte puissance,
- ✓ D'un alternateur entraîné par le moteur par le biais d'un accouplement élastique.

Moteur diésel Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage est spontané lors de l'injection du carburant, par phénomène d'auto-inflammation lié aux températures élevées dans la chambre de combustion. Celles-ci sont atteintes grâce à un fort taux de compression permettant d'obtenir une température de 700 à 900 °C. Le moteur peut être à deux temps ou à quatre temps. Les moteurs fonctionnant au fioul sont généralement à 4 temps tandis que les moteurs à essence sont à 2 temps. Le bloc moteur contient les cylindres et reçoit l'ensemble des organes assurant le fonctionnement du moteur.

Fonctionnement

C'est un moteur diesel à quatre temps. Dans cette section, nous rappelons le principe de fonctionnement du moteur diesel avec une approche tout d'abord mécanique puis thermodynamicienne.

Le cycle se décompose en 4 étapes : Admission, Compression, Détente / Explosion et Echappement



*Les étapes du cycle d'un moteur 4 temps
(La soupape d'admission est à droite et la soupape d'échappement à gauche).*

Etape 1 : Admission

Durant l'admission, la soupape d'échappement est fermée et la soupape d'admission est ouverte. Le piston descend donc en créant une dépression permettant d'aspirer le mélange air / gasoil venant du carburateur.

Etape 2 : La compression

A cette étape, les deux soupapes sont fermées rendant la culasse hermétique, c'est-à-dire lui rendre parfaitement fermée. Le piston remonte et comprime le mélange air / gasoil. Cette simple compression va élever le mélange carburé à une température de 300°C environ. Si la température s'élève encore de 100°C supplémentaire, le mélange risque de s'enflammer spontanément. C'est ce qu'on appelle l'auto-allumage.

Etape 3 : la détente (ou explosion)

Le piston arrive à son point le plus haut, une étincelle jaillit entre les électrodes de la bougie provoquant l'inflammation des gaz. Il en résulte une élévation de la pression et de la température poussant alors le piston qui redescend alors vers son point le plus bas. Lorsque le piston arrive à ce point, les deux soupapes sont encore fermées.

Etape 4 : L'échappement

La soupape d'échappement s'ouvre et le piston en remontant va pousser devant lui les gaz brûlés qui s'échappent par cette seule sortie.

Références : <http://www.toutsurlamoto.com/le-moteur-4-temps.html>https://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Diesel

Annexe B : Les caractéristiques des groupes et transformateurs des centrales thermiques

	Centrale Arafat		Centrale Wharf	Centrale Duale
	G1 a G4	G5 et G6		
Fournisseur Alternateur	ALSTOM	LEROY SOMER	HYUNDAI	ABB
Type alternateur	Machine Synchrone Excitation: à diodes tournantes	Machine Synchrone Excitation: PMG	Machine Synchrone : Excitation : self-exciting brushless	Machine Synchrone Excitation: AVR
S _n	10000 kVA	1263 kVA	5076.0 kVA	20798 kVA
P _n	8208 kW ?	8208 kW	4230 kW	17100 kW
U _n	5500 V	5500 V	11000 V	11000 V
I _n	1050 A	1077 A	266.4 A	1092 A
f _n	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
F.P.	0,8	0,8	0,8	0,8
Connexion	Y	Y	Y	Y
N _n	500 rpm	500 rpm	750 rpm	500 rpm
Nombre de cylindres	9 cylindres	9 cylindres	18 cylindres	18 cylindres
Cycle Moteur	A quatre temps	A quatre temps	A quatre temps	A quatre temps
Fournisseur Moteur	MAN	MAN	MAN	WARTSILA
Type Moteur	9L48	9L60	18V2832S	18V50DF

Caractéristiques des groupes électrogènes

	Centrale Arafat			Centrale Wharf		Centrale Duale	
	Transfo des Groupes 1 à 4	Transfo des Groupes 5 et 6	Transfo de Couplages	Transfo de Module	Transfo de Couplage	Transfo des Groupes	Transfo de Couplage
U ₁ /U ₂	5,5kV/15kV	5,6kV/33kV	15kV/33kV	11kV/33kV	33kV/15kV	33kV/11kV	33kV/225kV
I ₁ /I ₂	1050A/400A	1050A/175A	1200A/630 A	530A/1679 A	279A/615A	367A/1102A	153A/1049A
S _n	10MVA	10MVA	31,5MVA	32MVA	16MVA	21MVA	60MVA
fréquence	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz
Couplage	Δ/Y	Y/Δ	Y/Y?	Y/Δ	Y/Y	Y/Δ	Y/Y
Symbole de couplage	Y _n 0 d11	Y _N d11	Y _N y _n 0	Y _N d11	Y _N y _n 0	Y _N d11	Y _N y _n 0
Refroidissement	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN	ONAN
Fournisseur	ALSTHOM	ABB	ABB	AREVA	WINDER Elelectrical	SIEMENS	SIEMENS

Caractéristiques des transformateurs

Référence : Documents techniques des centrales

Annexe C : Parc éolien Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent. Sa force actionne les pales d'une hélice, qui met en mouvement un alternateur. **La rotation des pales** : Sous l'effet du vent, l'hélice, appelée aussi rotor, se met en marche. Ses pales tournent. Le rotor est situé au bout d'un mât car les vents soufflent plus fort en hauteur. Suivant le type d'éoliennes. Le rotor comporte généralement 3 pales.

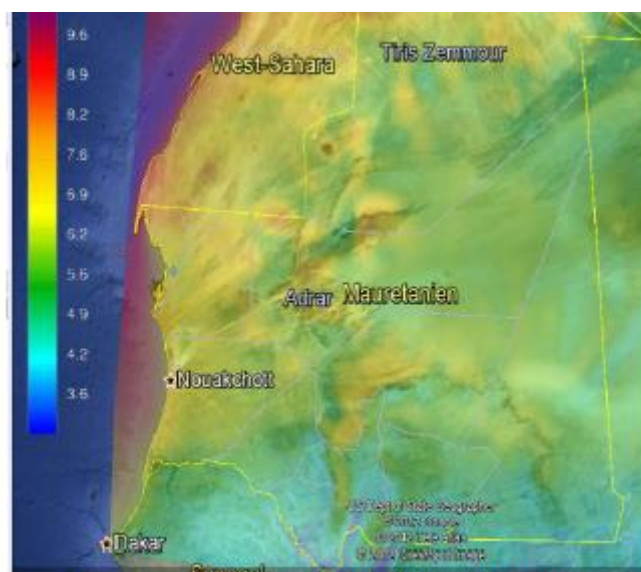
La production d'électricité : L'hélice entraîne un axe dans la nacelle, appelé arbre, relié à un alternateur à travers une boîte de vitesses pour augmenter la vitesse de l'arbre de la turbine. Une augmentation de vitesse est nécessaire parce que les rotors des turbines se tournent à un niveau beaucoup plus bas Vitesse que la plupart des générateurs électriques exigent. Grâce à l'énergie fournie par la rotation de l'axe, l'alternateur produit un courant électrique alternatif.

L'adaptation à la tension : Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau. Pour pouvoir démarrer, une éolienne nécessite une vitesse de vent minimale d'environ 4m/s. Pour des questions de sécurité, l'éolienne s'arrête

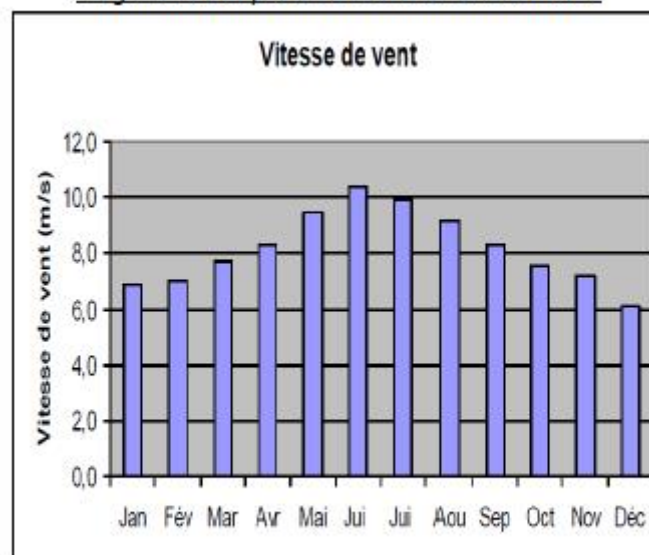
automatiquement de fonctionner lorsque le vent dépasse 25 m/s. La vitesse optimale est de 20 m/s.

Puissance nominale	2 MW
Classe l'éolienne	Gamesa G97 IIIA
Type Génératrice	Doubly-fed Generator (MADA)
Fréquence	50 Hz
Tension alternative	690 V
Facteur de puissance	0,95
Plage de vitesse de fonctionnement	3 m/s à 25 m/s
Coefficient du multiplicateur de vitesse	1/106,5
Diamètre Rotor	97 m
Longueur du Mât	90 m
Emission de Bruit	104,5 dB

Caractéristiques des éoliennes du parc éolien de Nouakchott



Le gisement du potentielle éolien en Mauritanie

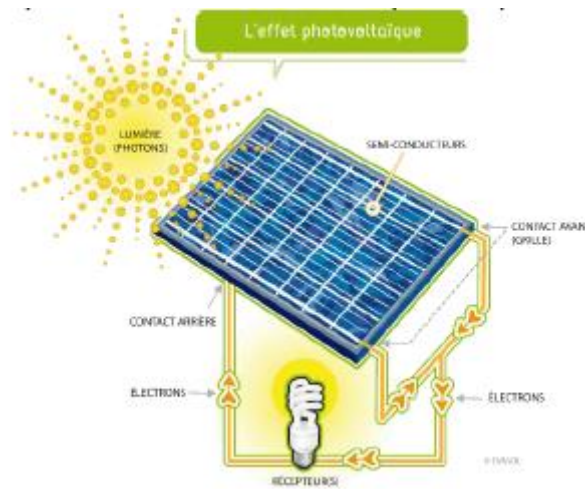


La vitesse du vent durant l'année

Annexe D : Centrale Photovoltaïque

Une centrale solaire photovoltaïque est un dispositif technique de production d'électricité par des modules solaires photovoltaïques (PV) reliés entre eux (série et parallèle) et utilise des onduleurs

pour être raccordée au réseau. Les panneaux solaires photovoltaïques contiennent des cellules de silicium qui ont la propriété de produire du courant électrique lorsqu'elles sont exposées à la lumière.

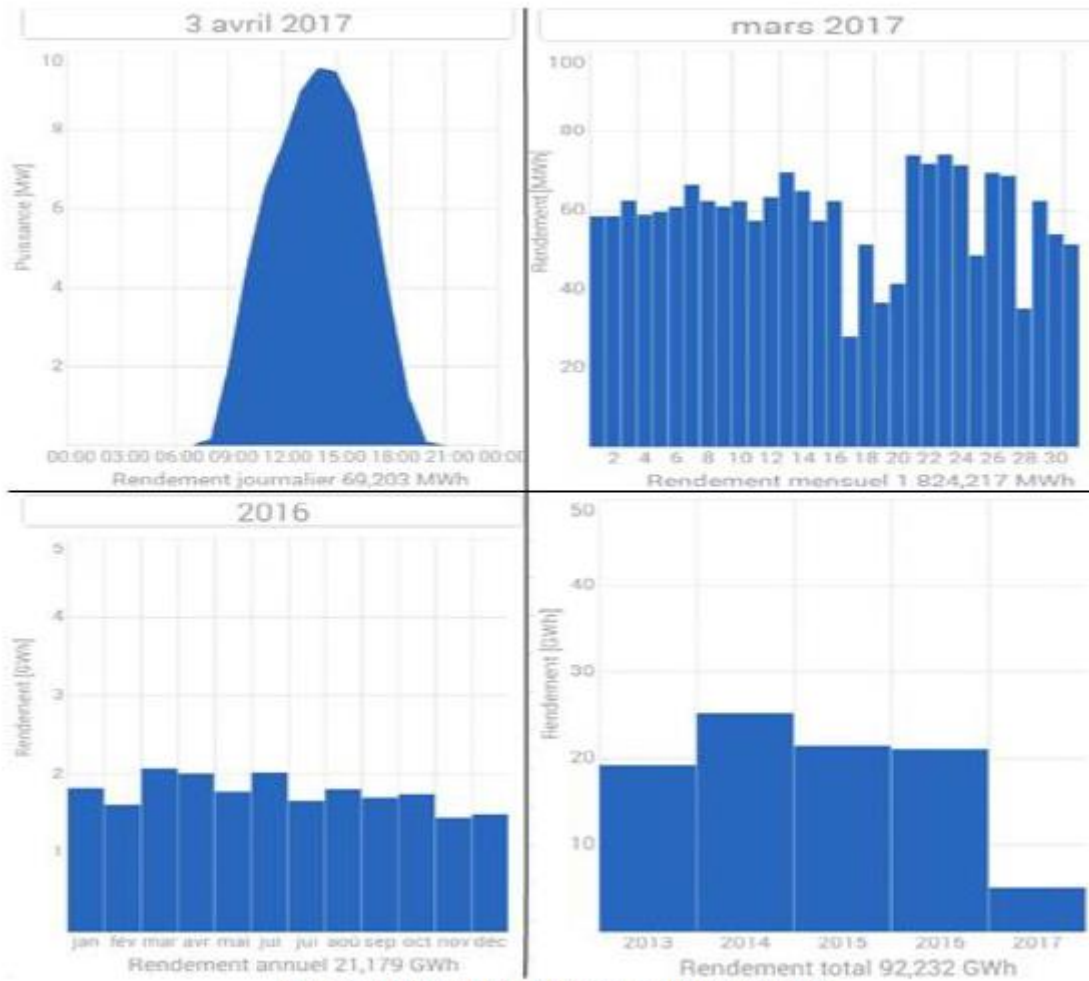


Le terme “*photovoltaïque*” provient du mot grec ancien « photos » signifiant la lumière, la clarté.

L’effet

photovoltaïque est la transformation de la lumière en électricité. Ce phénomène physique est propre à certains matériaux dont **le silicium, matière première des panneaux photovoltaïques**. En effet, la lumière produite par le soleil est composée de photons. Ces photons vont heurter la surface du panneau solaire et les électrons présents vont alors se mettre en mouvement dans une direction

particulière permettant de **créer un courant électrique continu**. Ce courant va ensuite être recueilli par des fils métalliques appelés « strings » qui vont transporter le courant de cellule en cellule. Le courant va ainsi s’additionner lors de son passage entre chaque cellule. Ce courant sera ensuite recueilli vers la **centrale photovoltaïque**.



Courbes de production de la centrale Solaire

Mauritania MPV Module List						
FS (A-Si)	Quantity	Power (Wp)	I_{MPP}	I_{SC}	V_{OC}	V_{MPP}
410	1,296	531,360	2.57	3.25	197.0	160.0
420	3,719	1,561,980	2.61	3.30	198.0	161.0
430	13	5,590	2.61	3.30	198.0	161.0
FS (u-Si)	Quantity	Power (Wp)	I_{MPP}	I_{SC}	V_{OC}	V_{MPP}
470	72	33,840	2.17	2.64	283.4	217.0
480	198	95,040	2.20	2.67	284.3	218.0
490	945	463,050	2.22	2.71	285.2	220.0
500	2,760	1,380,000	2.23	2.61	290.0	225.3
510	6,549	3,339,990	2.24	2.64	292.0	227.7
520	5,675	2,951,000	2.37	2.81	283.5	219.8
530	2,946	1,561,380	2.39	2.83	285.2	221.8
540	3,410	1,841,400	2.41	2.84	287.0	223.8
550	1,966	1,081,300	2.43	2.85	288.7	225.7
560	277	155,120	2.46	2.87	290.4	227.7
Total	29,826	15,001,050				

Liste des modules solaires et leurs puissances

Annexe E :

La fréquence

La fréquence correspond au nombre de cycle que fait le courant alternatif à une seconde. Pour un alternateur, elle correspond au nombre de tours que fait l'arbre de la turbine à une seconde, multiplié par le nombre d'électroaimants placés dans le rotor

Elle est homogène dans tout le réseau dès lors que la production et la consommation sont en équilibre.

On distingue les différents types de variations de fréquence :

- ✓ Les petites variations globales et aléatoires autour de 50 Hz dues aux évolutions continues de la consommation, les systèmes de régulation des centrales corrigent ces variations de fréquence.
- ✓ Les variations globales de fréquence, qui peuvent être provoquées par des variations brutales de production (arrêt inopiné d'une centrale ou avarie sur la ligne de raccordement d'un groupe) ou de la consommation (un départ qui se déclenche à cause de surcharge). Ces variations de fréquence sont maîtrisées dans un cas comme dans l'autre et ne portent pas à conséquence, et peuvent être corrigées par une puissance de réserve prête à l'exploitation ou une diminution rapide de la consommation en ayant recours à du **délestage** : c'est-à-dire la coupure maîtrisée d'une partie de la consommation, sauf dans des cas de déséquilibre production ou consommation exceptionnel. On peut alors assister à un **écroulement de fréquence** du réseau électrique.
- ✓ Les fortes variations locales de fréquence qui surviennent lors d'incidents de type court-circuit. La fréquence des centrales proches du court-circuit est fortement perturbée. Dans certains cas, cela peut conduire à une rupture de synchronisme.

Annexe F :

La tension

La tension est un paramètre local qui a une valeur normalisée pour chaque niveau du réseau autour duquel elle doit être maintenue. Pour notre système d'alimentation le niveau HT correspond à 225 kV, le niveau MT correspond aux 33 kV et 15 kV et le niveau BT correspond à 400 V et 220 V. Comme la tension dépend du courant qui circule dans les lignes au voisinage du point considéré, une perturbation du courant circulant dans l'un des niveaux supérieurs du réseau peut engendrer un écroulement de la tension et par suite un incident de type court-circuit qui survient, ce qui peut engendrer une haute perturbation du réseau. Une régulation de tension doit être faite pour chaque station et sous-station du système d'alimentation.

- ✓ Au niveau des alternateurs, la régulation est la suivante : la référence de la tension est prise sur les bornes de sortie de l'alternateur, quelle que soit la charge, le régulateur de tension délivre donc un courant d'excitation adapté à cette charge, suivant l'évolution de la référence tension.
- ✓ Au niveau des postes, des appareils de protections intelligents (SEPAM, Micom, Synchrocoupleur, etc.) sont installés sur chaque cellule pour vérifier les conditions de synchronisme ou pour déclencher les protections en cas de défaut ou en cas d'exécution du plan de délestage.

Annexe G : Le Critère du N-1

Le critère du N-1 stipule que tout système de production-transport d'électricité doit pouvoir à tout moment faire face à la perte d'un élément du système sans que cela ait un impact sur le consommateur final. Nous pouvons caractériser ce critère différemment pour le réseau et pour le parc de production. Pour le parc de production : le critère du N-1 appliqué au producteur d'électricité consiste à exiger de lui que son parc de production puisse répondre à tout instant à la perte de sa plus grosse unité de production. Ainsi, le producteur est légalement tenu de mettre en place des mécanismes de réserve de production rapidement activable, appelée « réserve tournante », la somme des réserves de chaque centrale couvrant la puissance perdue.

Pour le système de transmission : la règle du N-1 consiste à prévoir qu'une ligne, un poste transformateur (ou n'importe quel autre élément du système de transmission) peut à tout moment se trouver hors tension et que le système électrique doit être en mesure de poursuivre son fonctionnement sans engendrer de situation non maîtrisée pouvant conduire à un incident de grande ampleur, voire à un blackout. Les flux électriques traversant la ligne soudainement mise hors tension (par fonctionnement de protections automatiques, par exemple) doivent pouvoir être repris et supportés par le réseau électrique environnant. Il s'agit d'une des règles de conduite essentielle des réseaux électriques.

Référence : <http://electric-sience.blogspot.com/2011/11/le-critere-du-n-1.html>

Annexe H : La réserve de puissance

Dans un réseau électrique, la **réserve de puissance** ou réserve d'exploitation est la capacité de production disponible pour le gestionnaire du réseau dans un intervalle de temps limité afin de satisfaire la demande en cas d'arrêt d'une unité de production ou d'une rupture dans la fourniture d'électricité, ou d'un pic de la demande. La plupart des systèmes électriques sont conçus pour que dans des conditions normales d'exploitation, la réserve de puissance soit toujours au moins égale à la capacité du plus grand générateur plus une fraction de la pointe de charge. La réserve de puissance est constituée d'une réserve synchronisée (tournante) ainsi que d'une réserve arrêtée (non-tournante) ou supplémentaire :

- ✓ La réserve synchronisée est la capacité supplémentaire qui est disponible afin d'augmenter la puissance fournie par les générateurs qui sont déjà connectés au réseau. Pour la plupart des générateurs, cette augmentation de puissance fournie est réalisée par l'augmentation du couple appliqué au rotor.
- ✓ La réserve arrêtée ou supplémentaire est la capacité supplémentaire qui n'est pas connectée au réseau mais qui peut l'être dans un délai déterminé. Dans un réseau isolé, cela équivaut à la puissance disponible à partir des générateurs à démarrage rapide. Cependant dans les réseaux interconnectés, cela peut inclure la puissance disponible dans un délai déterminé par importation de puissance de réseaux extérieurs ou l'arrêt de l'exportation vers des réseaux extérieurs.

Annexe I : Logigramme de la stratégie de gestion d'énergie au niveau du centre de commande.

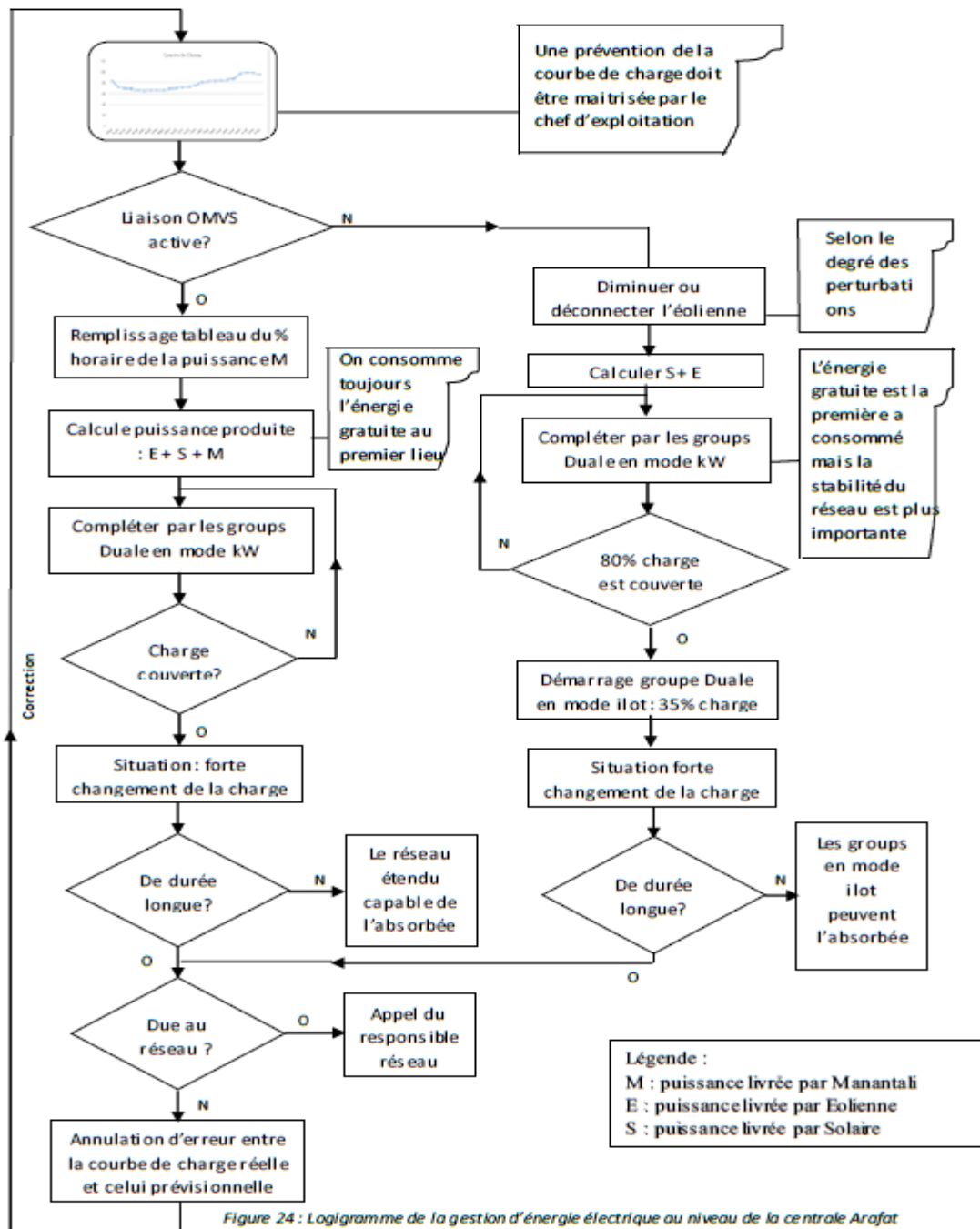


Figure 24 : Logigramme de la gestion d'énergie électrique au niveau de la centrale Arafat