



AUDIT ÉNERGÉTIQUE DE LA CENTRALE HYBRIDE PV/DIESEL DE OUELÉSSÉBOUGOU

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION D'UN MASTER SPÉCIALISÉ EN GÉNIE ÉLECTRIQUE, ÉNERGÉTIQUE ET ÉNERGIES RENOUVELABLES

OPTION : GÉNIE ÉLECTRIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [14 Décembre 2011] par

Alassane THIAM

Directeur de mémoire :

Mr. Ahmed Ousmane BAGRE

Enseignant, Chercheur

UTER : Génie Énergétique et Industriel

Maitre de stage :

Mr. Toumani SANGARE

Ingénieur Énergéticien

DT : Zénith Énergie Développement (ZED) SA

Jury d'évaluation du stage :

Président :

Pr Zacharie KOLAGA

Membres et correcteurs :

Dr Mariam PABYAM

Mr Enselme RUNDUGU

Promotion [2010/2011]

REMERCIEMENTS/ DEDICACES

A ma mère, mon défunt père, mes frères, sœurs, cousins et neveux;

Je dédie ce travail pour l'amour et le soutien indéfectible que vous m'avez toujours témoigné.

Puisse Dieu vous en ouvrir les portes d'une satisfaction méritée.

Je voudrais ici témoigner ma profonde gratitude à l'égard de tous ceux qui de près ou de loin m'ont apporté un soutien pour la bonne exécution de ce travail.

Mes pensées vont particulièrement à :

Tout le personnel de « ZED-SA », son directeur général et son directeur technique pour la confiance qu'ils ont placée en moi et l'appui financier durant cette formation.

Mes Encadreurs M. Toumani SANGARE de ZED-SA, M. Ahmed BAGRE et M. Yézouma COULIBALY du 2iE pour les conseils et orientations qu'ils m'ont donnés tout au long de ce travail.

Tout le personnel de la direction de la planification et des grands projets d'EDM-SA, son directeur général.

Le chef de la centrale hybride à Ouéléssébougou pour sa disponibilité lors de nos visites à la centrale hybride dans le cadre de ce mémoire.

Mes compatriotes, collègues et amis de la promotion de Masters Spécialisés MGEER 2010-2011 du 2iE ; merci pour l'amitié et le soutien que vous m'avez apporté durant cette année d'épreuves et de victoires passées ensemble.

A toute la Direction du 2iE et tout le corps des Enseignants, pour la formation de qualité reçue.

RÉSUMÉ

Ce document constitue le rapport de mon projet de fin d'études effectué au sein de l'entreprise ZED-SA dont l'objectif est l'optimisation des paramètres de fonctionnement actuels de la centrale hybride PV/Diesel de Ouélessébougou.

Primo, ce travail consiste en un diagnostic de l'existant c'est-à-dire une analyse du système de production de l'électricité dans la centrale hybride, et par conséquent la détermination : de l'énergie produite par les groupes électrogènes et le champ PV; de la consommation en combustible des groupes et du profil de charges de la ville.

Secundo, ce travail va se focaliser sur la détermination de la marche opératoire optimale de la centrale hybride qui utilise la technologie du groupe diesel associant trois groupes diesel (2 groupes de 220 kW chacun et 1 de 364 kW) à un champ solaire de 216 kWc. Elle permet ainsi une réduction des émissions des Gaz à Effet de Serre.

La centrale possède des groupes diesel dont le prix du carburant ne cesse de grimper sur le marché mondial, par conséquent leur temps de fonctionnement doit être réduit au minimum. La société Energie du Mali (EDM-SA), propriétaire de la centrale, a l'obligation d'assurer la continuité de service en électricité. Face au besoin croissant en électricité des populations de la localité, l'audit énergétique de cette centrale convient alors en vue de son fonctionnement optimal.

Vers la fin on va déterminer un optimum économique en fonction du régime de marche et de la production optimale de la centrale.

Mots Clés :

1 – Audit énergétique

2 – Centrale hybride

3 – Centrale thermique

4 – Photovoltaïque

5 – Électricité

ABSTRACT

This document is a report on my graduation project carried out within ZED Ltd and is aimed at optimizing the current operating parameters of the hybrid power station PV/Diesel at Ouélessébougou.

First it consists in diagnosing or analyzing the current electricity generation system by the hybrid power station; it is therefore aimed at determining the energy produced by the generators and the PV field and the fuel used by the generators, as well as the load profile for the town.

Second, this study will focus on determining the optimum operation of the hybrid power station which is using the diesel generator technology, coupling three diesel generators (2 units with 220 kW each and another with 364 kW) to a solar 216 kWc field. Thus it allows a reduction in greenhouse gas emissions.

The plant has diesel generators whose fuel prices continue to climb in the world market; hence their running time must be minimized. The utility Energie du Mali (EDM-SA) that owns the power station has to ensure continuity in power supply. Owing to the increasing demand by the local population, the energy audit is required for optimum operation.

Eventually, optimum economic measures will be determined on the basis of the mode of operation and the optimum production by the plant.

Key words:

-
- 1 – Energy audit
 - 2 – Hybrid power station
 - 3 – Thermal plant
 - 4 – Photovoltaic
 - 5 – Electricity
-

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AEP : Adduction d'Eau Potable

BATT : Batterie

BT : Basse Tension

CMDT : Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles

DDO : Distillat Diesel Oil

DT : Direction Technique

EDM-SA : Énergie Du Mali - Société Anonyme

GE : Groupe Électrogène

GIV : Groupe Électrogène Cummins IV

GV : Groupe Électrogène Cummins V

GVI : Groupe Électrogène Caterpillar VI

GPV : Générateur Photovoltaïque

HOMER: Hybrid Optimization Model for Electric Renewables

MT : Moyenne Tension

NASA : Administration Nationale de l'Aéronautique et de l'Espace des États-Unis d'Amérique

PV : Photovoltaïque

SOTELMA : Société des Télécommunications du Mali

ZED-SA : Zénith Énergie Développement - Société Anonyme

NRC 50 : Module de supervision numérique, puissant extensible, pour la gestion des systèmes d'alimentation continu, à interface numérique et analogique

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS/DÉDICACES.....	ii
RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	v
TABLE DES MATIERES.....	1
LISTE DES CARTES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	3
LISTE DES FIGURES.....	4
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
I. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET.....	5
II. PRÉSENTATION DE LA VILLE DE OUELESSEBOUGOU.....	6
III. OBJECTIF.....	9
III. 1 Objectif général.....	9
IV. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....	9
V. ÉTAT DES LIEUX DE L'EXISTANT.....	10
V.1 État initial ou phase thermique.....	10
V.2 Phase hybride.....	14
V.3 Phase de jonction du groupe Caterpillar.....	18
V.4 Problématique.....	19

VI. RÉSULTATS - DISCUSSIONS ET ANALYSES.....	20
VI.1 Caractérisation de la demande d'énergie.....	20
VI.2 Caractérisation de la production d'énergie.....	22
VII. MESURES D'OPTIMISATION IDENTIFIÉES.....	28
VII.1 Mesures d'économie d'énergie.....	28
VII.2 Automatisation des modèles d'exploitation.....	30
VII.2.1 Description du cahier des charges.....	30
VII.2.2 Le grafcet des diagrammes de fonctionnement.....	30
VII.2.3 Configuration matérielle de l'automatisation.....	33
VII.2.4 Réalisation.....	33
VII.2.4.1 Inventaires des matériels.....	33
VII.2.5 Offre financière.....	35
VII.3 La synchronisation du groupe Cummins par rapport à la localisation du groupe Caterpillar.....	35
VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	36
VIII.1 CONCLUSION.....	36
VIII.2 RECOMMANDATIONS.....	37
IX. BIBLIOGRAPHIE.....	39
XX. ANNEXES.....	40
Annexe I : Puissances horaires moyennes de Mai 2010 et 2011.....	41

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Carte de situation de Ouélessébougou.....9

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs d'insolation sur plan horizontal à Ouélessébougou (source logiciel HOMER).....8

Tableau 2 : Valeurs moyennes mensuelles d'humidité relative (%) (Source site météo de la NASA).....8

Tableau 3 : Valeurs moyennes mensuelles de température d'air à 10 m au dessus de la surface terrestre (Source site météo de la NASA).....8

Tableau 4 : Les caractéristiques techniques des groupes électrogènes (Sources plaque signalétique et documents du constructeur).....11

Tableau 5 : Relevés de consommation de Janvier à Aout 2007.....12

Tableau 6 : Constitution du champ solaire.....15

Tableau 7 : Equipements dans la salle pour onduleurs et commandes.....15

Tableau 8 : Les caractéristiques techniques du groupe électrogène (Sources plaque signalétique et documents du constructeur).....18

Tableau 9 : Les puissances de pointe mensuelles en kW en 2010 et 2011.....21

Tableau 10 : Ratio consommation en combustible sur énergie produite (litre/kWh).....21

Tableau 11 : Puissances des sources de production du 07/06/2011.....23

Tableau 12 : Puissances des sources de production du 04/05/2011.....25

Tableau 13 : Paramètres de fonctionnement des batteries.....27

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Configuration de la centrale thermique.....	13
Figure 2 : Schéma synoptique de la centrale hybride.....	14
Figure 3 : Profils de charge de la ville en mai 2010 et mai 2011.....	20
Figure 4 : Configuration matérielle de l'automatisation	33

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'énergie étant un vecteur de développement : Pour comprendre la situation de 'désert énergétique' dans les pays d'Afrique subsaharienne, il est nécessaire de souligner la corrélation entre l'énergie et les besoins socio-économiques des populations subsahariennes. Cette nécessité résulte du fait que l'énergie n'est jamais consommée pour elle-même, mais pour répondre, plus ou moins directement, à un besoin économique et/ou social, individuel et/ou collectif. Les pays d'Afrique subsaharienne utilisent en moyenne sept fois moins d'électricité que les personnes vivant dans les pays à revenu élevé. Les populations des milieux ruraux et périurbains sont les plus touchées par le faible taux d'accès à l'énergie.

Les énergies renouvelables (éolien, solaire, hydro, géothermie...) se développent rapidement et deviennent la deuxième plus grande source d'électricité. Face au risque d'épuisement et à l'augmentation sans cesse du coût des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel), l'utilisation des centrales hybrides diesel/photovoltaïque pour l'approvisionnement en énergie électrique des zones rurales et périurbains des pays d'Afrique subsaharienne disposant d'un ensoleillement très important de l'ordre d'environ 5 à 6 kWh/m²/jour semble être une des solutions.

C'est dans le but d'effectuer une appréciation de l'état actuel de la centrale hybride de Ouélessébougou et d'augmenter son efficacité énergétique, que cet audit est mené.

Pour mener cet audit, il sera nécessaire de :

- ✓ Faire des visites de terrain
- ✓ Faire des relevés ou mesures de paramètres
- ✓ Procéder aux calculs d'économie d'énergie

I. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET

Les contextes économiques et financiers des pays de la Communauté Économique des États d'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) et de l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) sont si marqués par la pauvreté qu'il est aujourd'hui clair que les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) ne pourront être atteints à l'horizon 2015 sans qu'au

moins la moitié des populations en zones rurales et périurbaines aient accès aux services énergétiques modernes.

Depuis les indépendances des États Africains en général, la majorité, si non toutes les sociétés d'électricité, ont focalisé leur choix sur les énergies fossiles : Pétrole (Gas-oil, DDO) pour l'alimentation des groupes électrogènes des centres isolés.

L'inconvénient majeur du pétrole est sa disparition à court terme selon les scénarios d'évaluation et d'utilisation des réserves mondiales. On exprime parfois cette vision presque apocalyptique future par l'image que le pic de consommation du pétrole vient d'être franchi et que nous en sommes dans la pente descendante. La moitié des réserves mondiales a été utilisée à ce jour. Nous entamons l'autre moitié avec un niveau de consommation qui ne cesse de croître.

La Société Énergie du Mali (EDM SA), exposée à l'instabilité des cours mondiaux du pétrole qui grève ses finances et menace d'hypothéquer sa mission de service public, est à la recherche des solutions alternatives durables. EDM SA étudie, ces dernières années, la possibilité d'introduire dans son système de production électrique des sources d'énergie propre comme l'énergie solaire.

C'est dans ce cadre, que le projet pilote de l'alimentation électrique hybride (groupe électrogène, générateur photovoltaïque) du site de production isolé de Ouélessébougou a été initié. La nouvelle centrale, au-delà de l'amélioration significative des capacités et des conditions de la fourniture d'énergie électrique à Ouélessébougou, se présente comme un projet hautement innovant dans la mise en œuvre de la politique énergétique nationale en particulier son axe stratégique de valorisation des ressources énergétiques nationales. Cette initiative faisant face aujourd'hui à une demande croissante d'énergie, a besoin pour son utilisation pérenne, de procéder à un audit énergétique afin de trouver des axes d'optimisation de cette centrale.

II. PRÉSENTATION DE LA VILLE DE OUELESSEBOUGOU

Géographie :

Située à 80 km au sud de Bamako sur la route national N°7 (RN-7), la commune rurale de Ouélessébougou couvre une superficie de 3.166 km² et compte 44 villages. Elle est limitée au Nord par la commune de Dialakoroba, au Sud par la commune de Kéléya, à l'Est par la commune de Sanankoro Djitoumou et à l'Ouest par la commune de Farada. Son relief est dominé par de petites élévations de faible altitude ne dépassant pas 100 m et des plateaux latéritiques. Les sols rencontrés dans l'arrondissement de Ouélessébougou sont à dominance ferrallitiques, plus ou moins argilo - latéritiques, argilo - lumineux dans les bas - fonds, gravillonneux aux environs des collines. Ces sols sont favorables à la culture du sorgho, mil, maïs, coton, arachide et fonio. Ses coordonnées géographiques sont de 12° 00' Nord en latitude et 7° 55' Ouest en longitude. L'altitude de Ouélessébougou est de 365 m.

Climat :

De type soudanien, il se divise en deux saisons : une saison pluvieuse et une saison sèche.

➤ La saison pluvieuse :

Elle dure de juin à octobre avec une pluviométrie variant de 700 à 900 mm par an, mais la grande quantité de pluie tombe en Août.

Le nombre de jour de pluie varie énormément d'une zone à une autre entre 45 et 54 jours de pluie avec une mauvaise répartition dans le temps et à l'intérieur d'une même zone.

➤ La saison sèche :

Elle se divise en deux périodes :

- une saison sèche et froide d'Octobre à Février.
- une saison sèche et chaude de Mars à Mai avec un vent sec et chaud : l'harmattan.

Tableau 1: Valeurs d'ensoleillement sur plan horizontal à Ouélessébougou (source logiciel HOMER).

Mois	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jui.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Ensoleillement (kWh/m ² /j)	5,486	6,043	6,155	6,242	5,786	5,586	5,174	5,01	5,384	5,645	5,646	5,585	5,645

Hygrométrie:

Tableau 2: Valeurs moyennes mensuelles d'humidité relative (%) (Source site météo de la NASA).

Lat 12 Lon -7.91	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jui.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne Annuelle
22-year Average	18.6	16.9	20.1	31.2	48.1	68	78.1	79.2	73.4	57	28.2	19.4	45

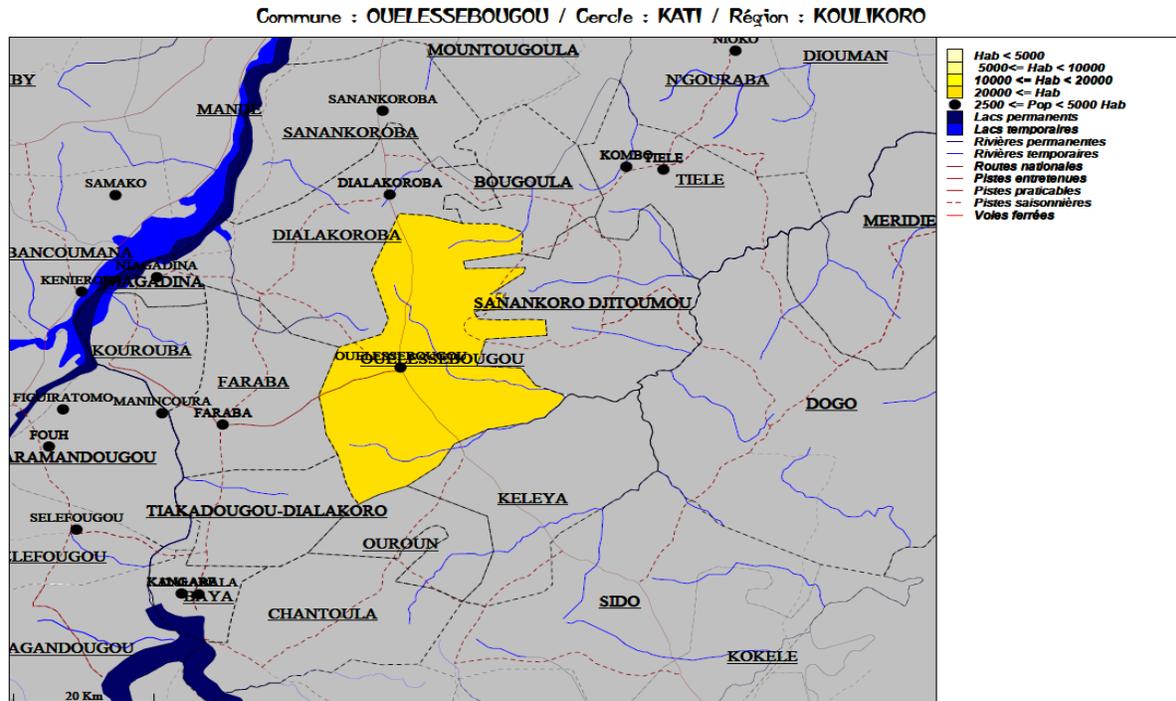
Température:

Tableau 3: Valeurs moyennes mensuelles de température d'air à 10 m au dessus de la surface terrestre (Source site météo de la NASA).

Lat 12 Lon -7.91	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Jui.	Aoû.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne Annuelle
22-year Average	25.9	28.4	31.1	32.4	30.8	27.3	25.2	24.9	25.7	27.5	28.7	26.5	27.8
Minimum	20	22.1	24.9	26.9	25.9	23.3	21.8	21.6	21.7	22.6	22.6	20.6	22.8
Maximum	31.6	34.3	36.7	37.4	35.3	31.4	28.8	28.8	30.4	32.9	34.7	32.3	32.8

Démographie :

Ouélessébougou est une commune du Mali dans le cercle de Kati et dans la région de Koulikoro. Il compte 50 056 habitants selon le dernier recensement général de la population (RGPH 2009), Le taux de croissance annuelle est de 3%. Son climat rythme les activités des populations : L'agriculture pendant l'hivernage, les activités créatrices de revenus pendant la saison sèche, l'élevage en toute saison.



Carte 1 : Carte de situation de Ouélessébougou

III. OBJECTIF

III.1 Objectif général

L'objectif général du présent projet est l'optimisation des paramètres de fonctionnement actuels de la centrale hybride (PV/Diesel) de la ville de Ouélessébougou.

IV. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

La méthodologie adoptée pour mener à bien cette étude repose essentiellement sur trois axes:

- phase préliminaire du projet

Cette phase repose sur :

- a. un entretien avec mon encadreur de ZED SA pour une précision du sujet à traiter à travers l'élaboration des termes de référence (TDR).
- b. la recherche documentaire et bibliographique.

- Phase de terrain

Elle consiste à faire :

- a. Le pré-diagnostic : il a consisté à collecter des données relativement :
 - à l'inventaire des équipements ou installations électriques au niveau de la centrale ;
 - au fonctionnement en temps réel des dits équipements ;
 - aux usagers des dits équipements.

- b. Le diagnostic : il s'agit de réaliser sur le terrain des mesures : de puissances actives des groupes et du champ PV, de consommations en combustible des groupes; et de températures des batteries en temps réel avec des équipements appropriés pour valider les problématiques identifiées. Pour cela il me faut déterminer :
 - la courbe de charge (ou de la demande) de la ville.
 - la courbe de production de la centrale hybride (PV+Diesel, ensemble et séparément pour une période spécifique);
 - relevés de température sur la même période

L'établissement de ces courbes se fera dans un jour de faible ensoleillement (cas défavorable).

➤ Phase d'analyse, de synthèse des documents et données

Cette phase se base sur l'analyse des données collectées en vue de décider :

- a. mesures d'optimisation :
- b- conclusion avec recommandations
- c- finaliser la rédaction du rapport

V. ÉTAT DES LIEUX DE L'EXISTANT

V.1 État initial ou phase thermique

De 2007 à 2010, la centrale thermique de Ouéléssébougou comprenait : une salle machine, une salle de quart, une salle moyenne tension, un bureau pour le chef de la centrale et un magasin. Elle était constituée de deux (02) groupes électrogènes identiques de type Cummins NT 855-G6 notés GIV et GV fonctionnant en alternance sur une période de 48 heures. Les groupes GIV et GV avaient été mis en service respectivement le 06/03/2007 et le 05/03/2007. Ces groupes sont donc à leur quatrième année de fonctionnement. Les groupes sont couplés en parallèle à un jeu de barres sur lequel est connecté le transformateur élévateur via un disjoncteur compact 630 A

comme indiqué sur la figure 1. Le tableau 4 donne les caractéristiques techniques des groupes électrogènes.

Tableau 4 : Les caractéristiques techniques des groupes électrogènes (Sources plaque signalétique et documents du constructeur).

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU GROUPE ELECTROGENE DE MARQUE CUMMINS POWER GENERATION	Puissance	
	En charge	A vide
Puissance (KW)	220	240
Puissance (KVA)	275	300
Facteur de puissance	0,8	
Tension (V)	400	
Fréquence (HZ)	50	
RP M (tr/mn)	1500	
Tension Batteries de démarrage	24	
Température ambiante souhaitée	27°C	
Réservoir de carburant	750 l	
Consommation fuel (l/h)	31 à 50% de charge	

Les groupes sont équipés d'Ampèremètre, de Voltmètre, de Fréquencemètre et d'Indicateur de niveau de charge. Il y a également deux (2) armoires de commande de groupes et des batteries de démarrage des groupes Cummins N120A12V. Le Poste de transformateur : (Départ de l'alimentation de la ville) comprend :

- ❖ un transformateur 400KVA/400V-AC/20KV
- ❖ deux Cellules HTA IM 24KV/125KVA

Consommation en carburant des groupes électrogènes

Les groupes consommaient en moyenne 600 litres de gasoil par jour pour un fonctionnement de 24 heures.

Charge journalière de la ville

L'utilisation de la centrale était en grande partie domestique, ce qui donne une répartition de la charge dans les 24 heures ainsi qu'il suit :

- 30 % de la puissance nominale produite Pn (220 kW) soit 66 kW de 00 H à 18 H 30 minutes soit 18 H 30 minutes.
- 50 % de la puissance nominale produite Pn (220 kW) soit 110 kW de 18 H 30 minutes à 00 H soit 5 H 30 minutes.

Relevés de consommations

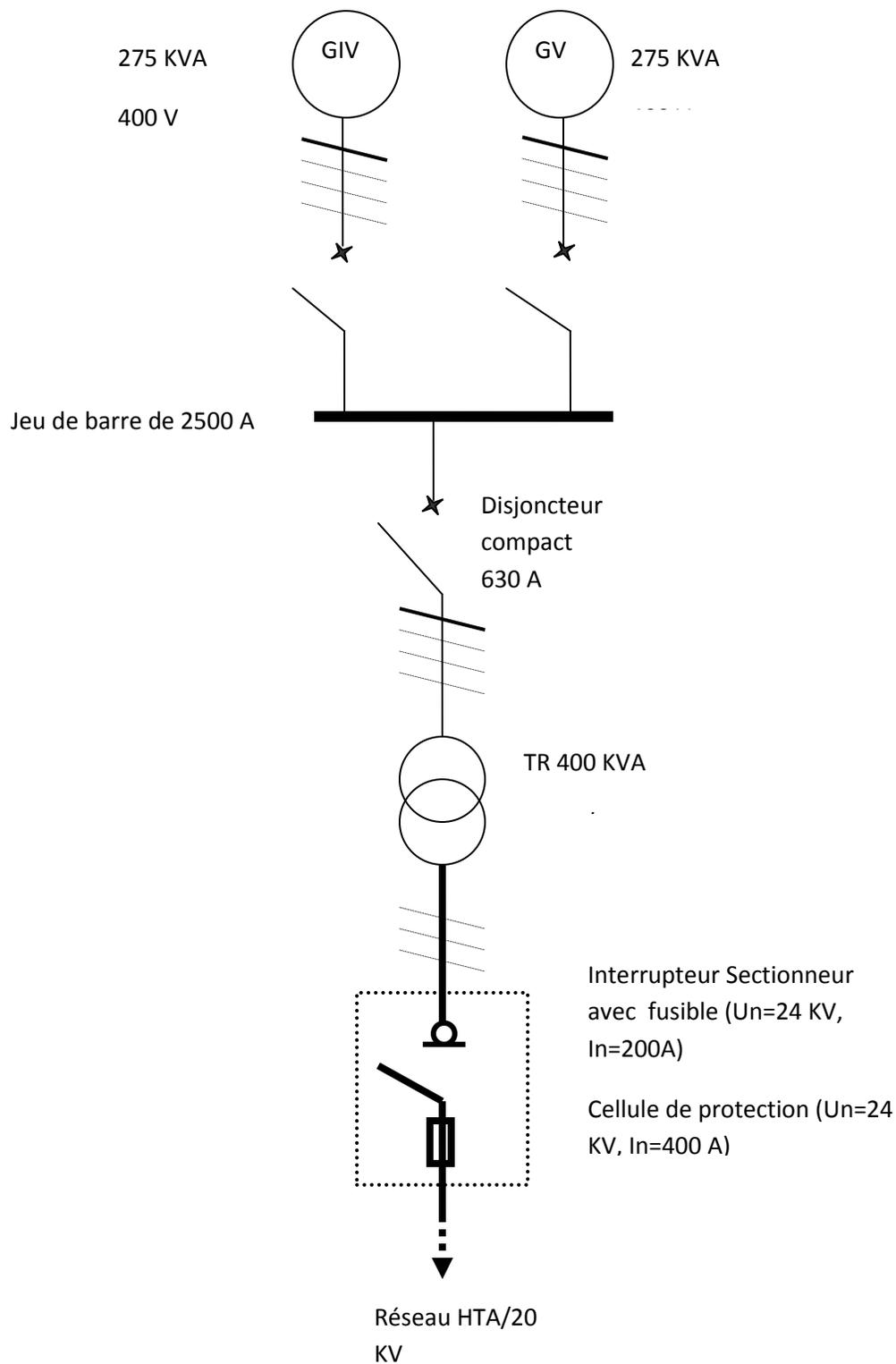
Tableau 5 : Relevés de consommation de Janvier à Aout 2007

Mois	Consommation mensuelle en kWh
Janvier 2007	51 023
Février 2007	48 403
Mars 2007	59 176
Avril 2007	63 933
Mai 2007	66 403
Juin 2007	60 744
Juillet 2007	52 458
Aout 2007	51 170

Le centre isolé de Ouéléssébougou a été choisi comme centre pilote pour devenir une centrale hybride à cause des particularités suivantes :

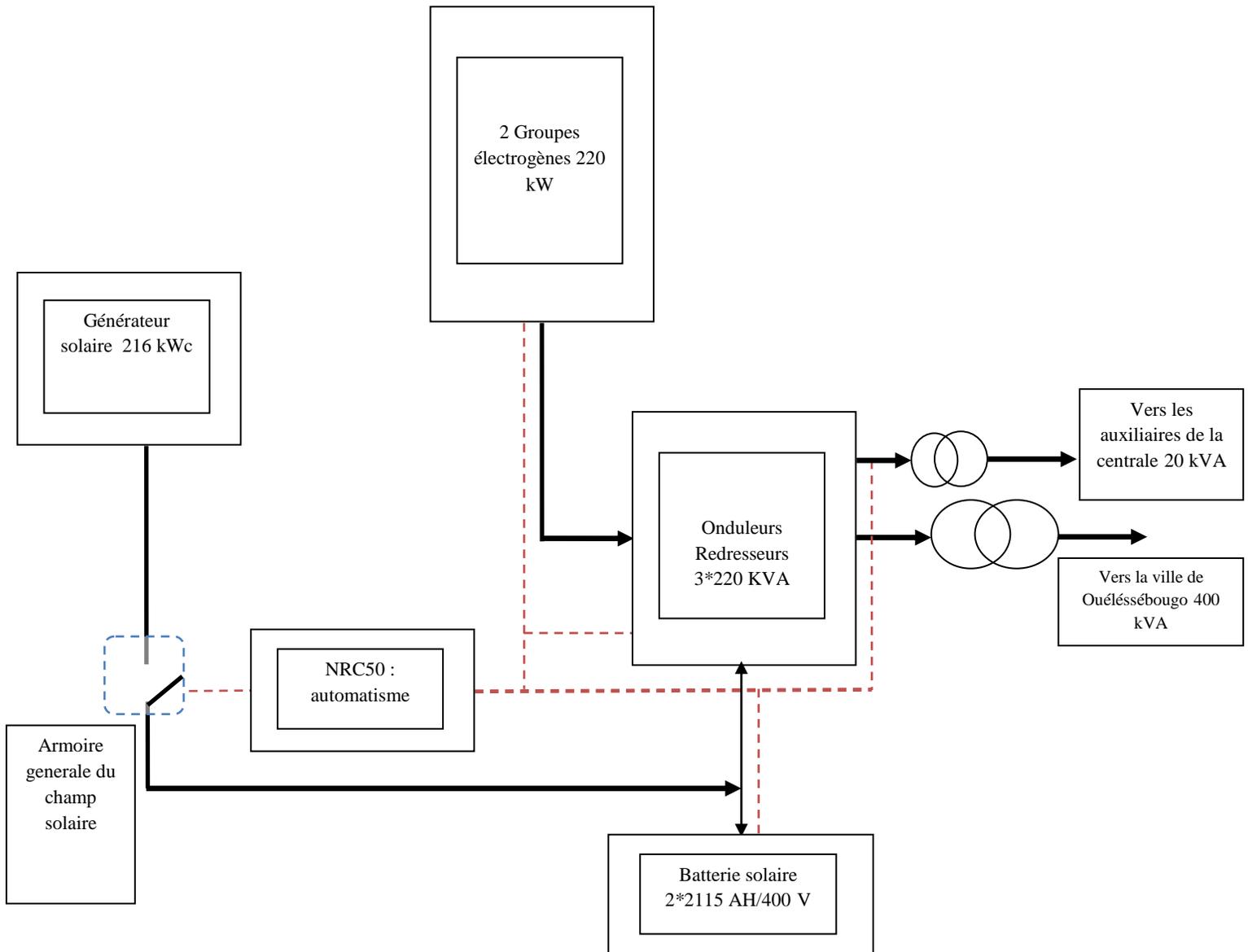
- d'après la charge de la ville, les groupes tournaient à vide toute la journée et pendant la nuit à partir de 00 H.
- son accès facile ainsi que son voisinage avec la ville de Bamako.

Figure 1 : Configuration de la Centrale thermique



V.2 Phase hybride

Figure 2 : Schéma synoptique de la centrale hybride



La centrale hybride a été mise en service le 29/01/2011. Elle est composée d'une part d'une sous centrale solaire avec un champ de panneaux solaires photovoltaïques fonctionnant au file du soleil et d'autre part d'une sous centrale thermique (voir phase thermique).

Sous centrale solaire :

Champ solaire PV:

Tableau 6 : Constitution du champ solaire

Puissance totale	216 kWc
Nombre de modules solaires photovoltaïques de 200 Wc	1080
Nombre de branches séries (string)	60
Nombre de modules solaires photovoltaïques par branche (string)	18
Nombre de rangée	12
Nombre de string par rangée	5
Nombre de coffrets par rangée	1
Nombre total de coffrets	12
Nombre de supports par rangée	30
Nombre total de supports	360
Un Système anti-intrusion avec renvoi d'alarme sur sirène et à distance par messagerie SMS	
Un Système d'éclairage muni d'un interrupteur crépusculaire	
Une clôture grillagée	

NB : Angle d'inclinaison des modules : 15° vers le sud.

Local technique solaire :

- Salle pour onduleurs et commandes

Tableau 7 : Equipements dans la salle pour onduleurs et commandes

Jeu d'onduleurs	3*220 kVA
Armoire générale de regroupement des coffrets de champ	12
Armoire de regroupement des circuits DC	1
Armoire de regroupement des circuits AC	1
Armoire de production d'énergie 48V-DC pour l'alimentation des auxiliaires	1
Système de gestion et de commande de la centrale hybride	1
Transformateur 20KVA/3*400V-AC/1*220V-AC pour l'alimentation des auxiliaires de la centrale	1

NB : Chaque onduleur fait 220 kVA. Le système de gestion et de commande de la centrale hybride est l'automate NRC50.

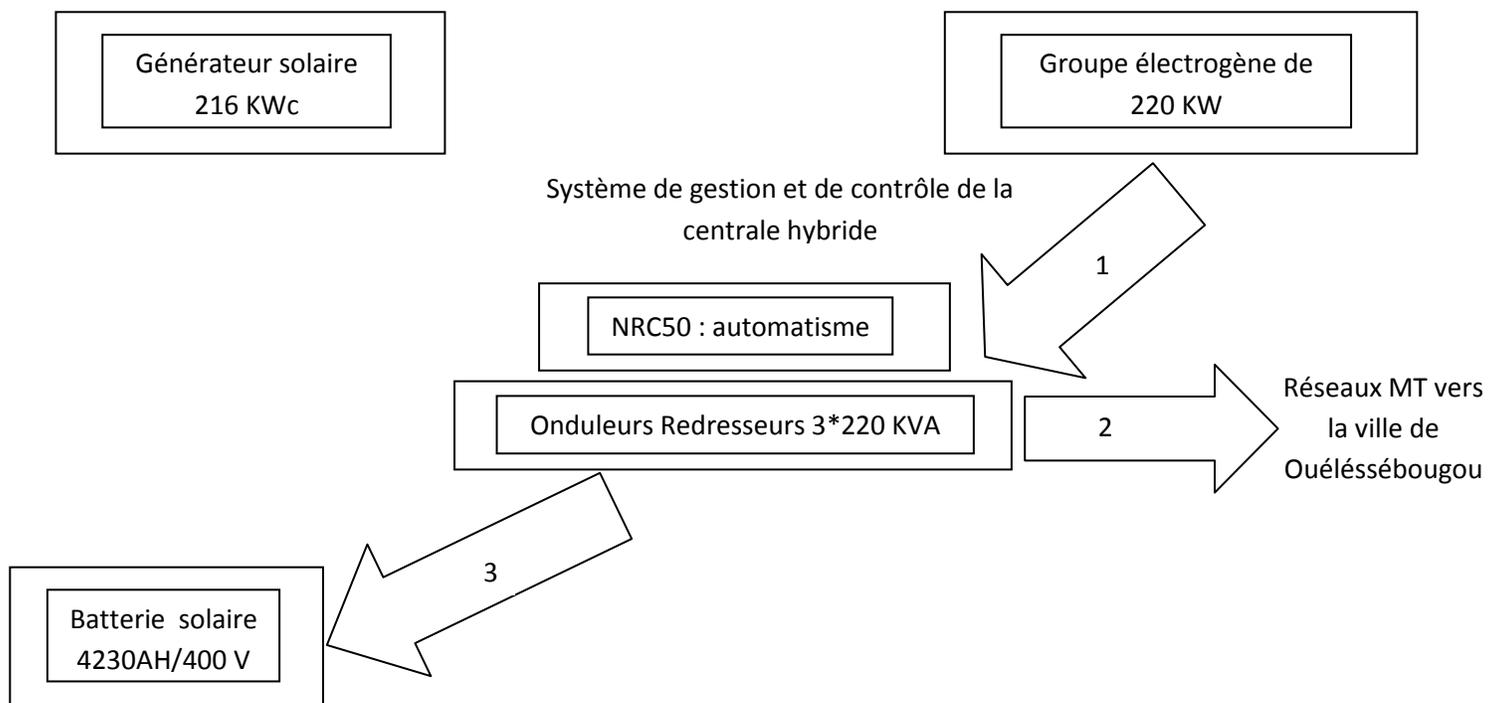
- Salle pour batteries

Le parc batteries est constitué de deux (2) strings (rangées) de 196 éléments en série, soit un total de 392 éléments de [2,23 -2,25 V] - 2*2115 Ah qui sont repartis en deux (2) Jeux de batteries 4230 AH/400 V-DC.

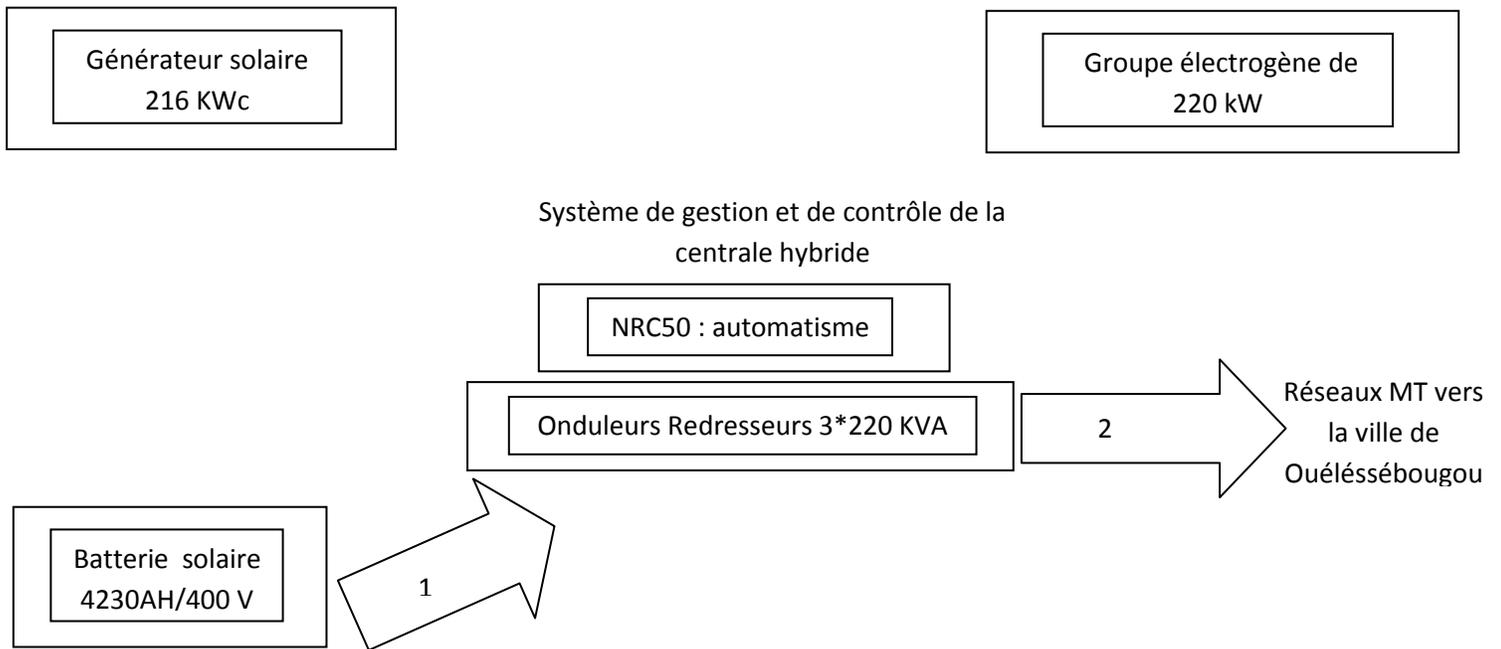
Dans la salle, ils existent : 2 sondes température batterie haute ; 2 sondes de température ambiante pour respectivement Batterie 1 et Batterie 2; 3 sondes de température ambiante pour la salle batteries.

Fonctionnement de la centrale hybride :

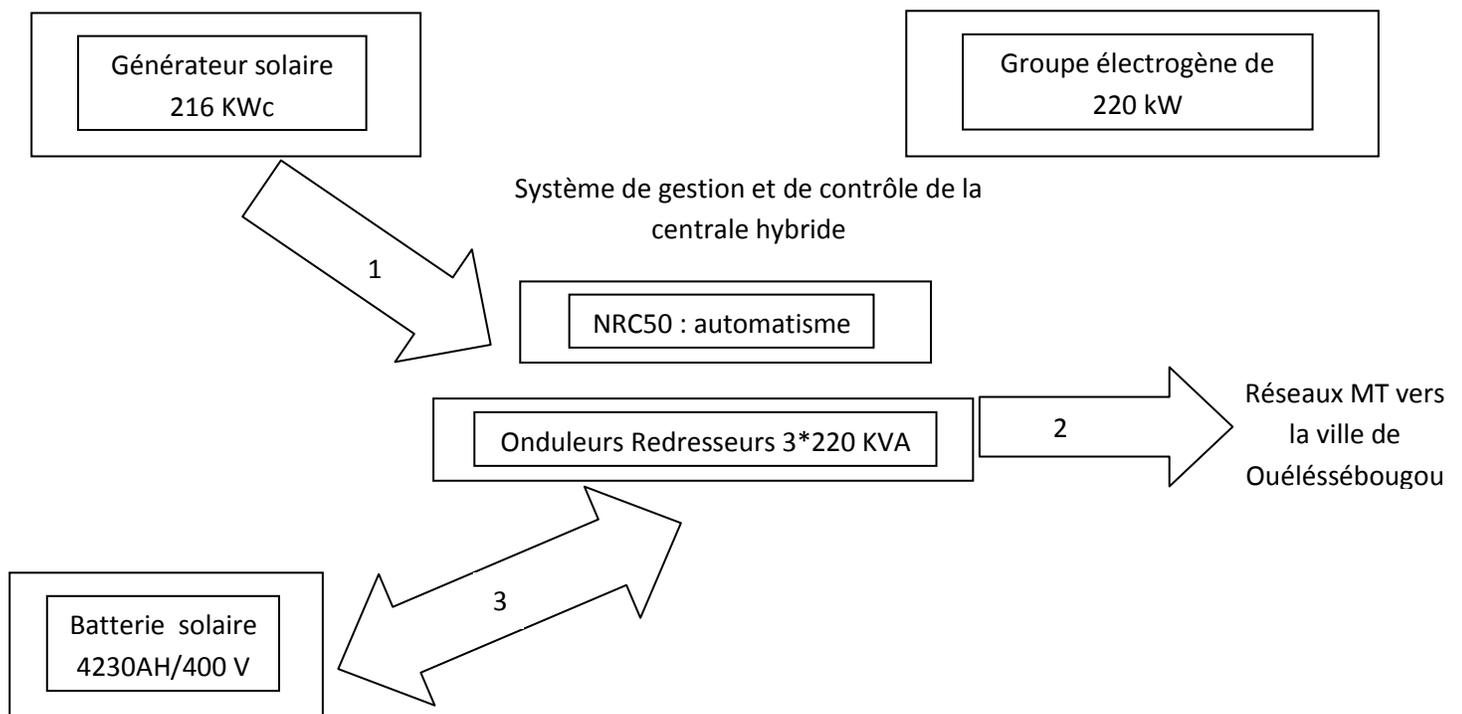
Fonctionnement de 18 H à 00 H



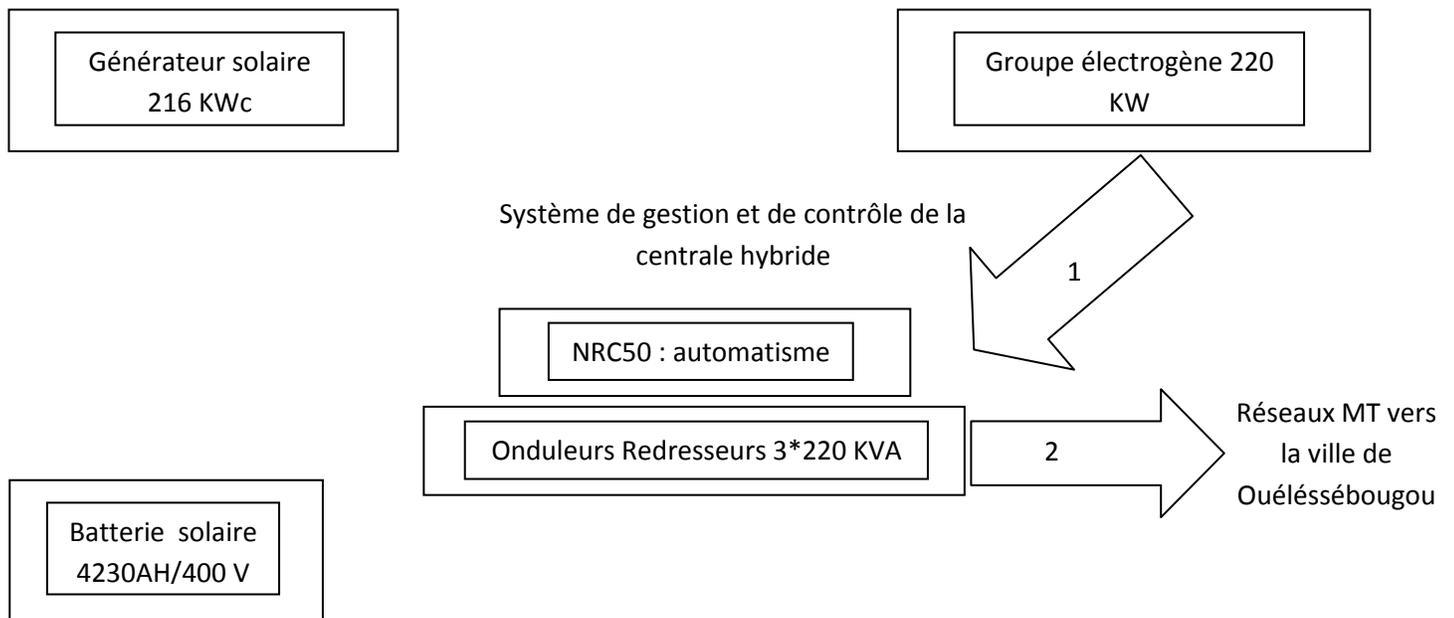
Fonctionnement de 00 H à 08 H



Fonctionnement de 08 H à 16 H



Fonctionnement de 16 H à 18 H



Vers fin Février il y a eu l'adjonction du groupe Caterpillar suite au dépassement de la charge nominale des groupes Cummins quand ils chargeaient les batteries en alimentant la ville.

V.3 Phase de jonction du groupe Caterpillar

Tableau 8 : Les caractéristiques techniques du groupe électrogène (Sources plaque signalétique et documents du constructeur).

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU GROUPE ELECTROGENE DE MARQUE CATERPILLAR		
Puissance (KW)		364
Puissance (KVA)		455
Facteur de puissance		0,8
Tension (V)		400
Fréquence (HZ)		50
RP M (tr/mn)		1500
Consommation Fuel (l/h)	100% de charge avec ventilation	97.0
	75% de charge avec ventilation	74.9
	50% de charge avec ventilation	53.5

GVI : date de mise en service 29/03/2011.

Le combustible utilisé par les groupes est du gas-oil.

L'alimentation en combustible des groupes est assurée par une cuve journalière de 1000 litres, elle-même remplie quotidiennement à partir de deux cuves de stockage respectivement de 50 000 et 25 000 litres à travers une pompe électrique de transfert.

Réseaux électriques de transport et de distribution d'énergie :

Le réseau est composé d'un réseau MT (HTA) 20 kV avec une longueur de 14,5 km et celui du BT avec 11 km. Un transformateur élévateur 420 V/20 kV de 400 kVA alimente le réseau MT. Ils existent au total six (6) postes de transformation : 3 postes publics et 3 postes privés (AEP, Sotelma, CMDT) qui sont raccordés sur le réseau MT pour abaisser la tension 20 kV en 400 V afin d'alimenter les utilisateurs. Chaque poste a une puissance de 160 kVA.

V.4 Problématique

A Ouélessébougou, situé dans le cercle de Kati en troisième région administrative Koulikoro au Mali, se trouve la centrale hybride PV/Diesel de Ouélessébougou. Cette centrale hybride, lancée en janvier 2011, fonctionnait avec deux groupes Cummins de 275 kVA + champ PV jusqu'en fin février. A cette date, les groupes Cummins ne parvenaient plus à en même temps alimenter la ville et charger les batteries solaires via les redresseurs durant certaines périodes conformément au fonctionnement de la centrale hybride (voir Etat des lieux). En fin mars, il y a eu l'adjonction d'un groupe électrogène Caterpillar de 455 kVA, installé sans son armoire de couplage. Ce groupe caterpillar ne pouvant se coupler aux groupes Cummins n'a pas résolu la problématique ci-dessus. La centrale est confrontée également à un second problème lié au manque de ressources en eau. En effet, la centrale est raccordée sur un réseau de distribution d'eau d'un opérateur privé. Compte tenu du débit d'eau faible, la centrale n'est approvisionnée en eau que pendant la nuit et aux environs de 02 heures du matin. Face à cette situation, les modules du champ ne sont pas nettoyés régulièrement. Cet état des modules joue actuellement sur le rendement du champ PV.

VI. RESULTATS – DISCUSSION ET ANALYSES

VI.1 Caractérisation de la demande d'énergie

La demande en énergie électrique des populations ne cessent d'augmenter. Les nombres d'abonnés actuels en MT et BT sont respectivement de 03 et 548.

La figure 3 donne les profils de charges des mois de mai 2010 et de mai 2011. Elles sont obtenues en utilisant les puissances horaires moyennes mensuelles (annexe I).

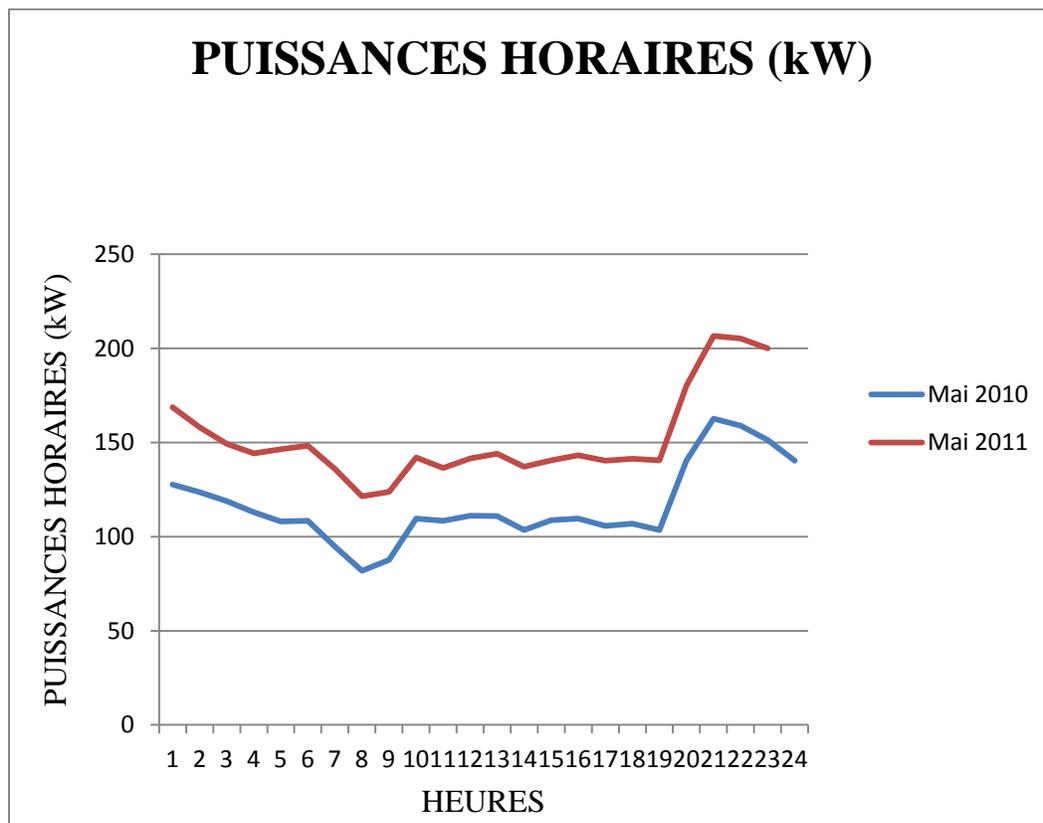


Figure 3 : Profils de charge de la ville en Mai 2010 et Mai 2011

Pour Mai 2010 : On constate sur cette courbe que la consommation subit une diminution entre 00 heure et 08 heures de 120 kW à 80 kW. Elle se met alors à augmenter en se maintenant autour de 105 kW entre 10 heures et 19 heures. Elle augmente à nouveau à partir de 20 heures et atteint sa pointe (162 kW) à 21 heures.

La courbe de Mai 2011 à la même allure que celle de Mai 2010. Ceci démontre que les habitudes des consommateurs n'ont pas changé. Cependant, les puissances des différentes périodes d'utilisation ont augmentées.

Tableau 9: Les puissances de pointe mensuelles en kW en 2010 et 2011.

Année	2010	2011	Le pourcentage d'accroissement de puissance (%)	Taux d'accroissement moyen (%)
Février	193	288	33	31,4
Mars	205	292	30	
Avril	185	298	38	
Mai	190	274	31	
Juin	185	248	25	

Ce tableau 9 confirme la forte augmentation des pointes dont le point culminant est passé de 205 kW pour la période [février à juin] en 2010 à 298 kW pour la même période en 2011. Par ailleurs, ces pointes sont obtenues dans la nuit, donc des moments sans ensoleillement.

✓ **Analyse de la consommation en combustible**

Ratio consommation en combustible sur l'énergie produite (l/kWh)

Tableau 10 : Ratio consommation en combustible sur énergie produite (litre/kWh).

Année	2010	2011
Mai	0,32	0,25
Juin	0,32	0,27
Juillet	0,33	0,29
Aôut	0,34	0,27
Septembre	0,34	0,24
Octobre	0,34	0,25

Ce tableau 10 montre la diminution de ce ratio, ce qui montre que les groupes fonctionnent de plus en plus près de leur point de fonctionnement optimal avec l'augmentation des charges.

VI.2 Caractérisation de la production d'énergie

Utilisation-type et horaires des sources de production de la centrale hybride :

Tableau 11 : Puissances des sources de production du 07/06/2011

Heures	GIV (kW)	GV (kW)	GVI (kW)	Total	Charge ville	GPV (kWc)	Ensoleil. (kW/m ²)	T° exter. (température des cellules PV) (A)	Batterie				PV	BATT	GE
									I (A)	U (V)	C(% (AH)	C (AH)			
0	0	0	177	177	162								0	0	1
1	0	0	157	157	149								0	0	1
2	0	0	155	155	141								0	0	1
3	0	0	152	152	147								0	0	1
4	0	0	165	165	156								0	0	1
5	0	0	162	162	154								0	0	1
6	0	0	142	142	137								0	0	1
7	0	0	132	132	125								0	0	1
8	0	0	139	139	129								0	0	1
9	0	0	155	155	150	62,13	0,504	42,2	130	448	24	951	0	0	1
10	0	0	156	156	149	32,09	0,579	48,1	68,5	445	25	990	0	0	1
11	0	0	0	0	154,4	155,8	0,673	54,7	-50	417	24	977	1	1	0
12	0	0	0	0	140,4	160	0,674	56,1	-56	417	24	953	1	1	0
13	0	0	0	0	144,4	162,5	0,674	60,4	-18	417	23	920	1	1	0
14	0	0	0	0	148,7	132,4	0,679	57,3	-59	413	21	850	1	1	0
15	0	0	0	0	152,5	129,6	0,575	56,9	-120	408	19	775	1	1	0
16	0	0	157	157	143								0	0	1
17	0	0	155	155	144								0	0	1
18	0	0	152	152	141								0	0	1
19	0	0	199	199	180								0	0	1
20	0	0	219	219	213								0	0	1
21	0	0	218	218	213								0	0	1
22	0	0	207	207	191								0	0	1
23	0	0	197	197	194								0	0	1

Ce tableau 11 résume le fonctionnement actuel de la centrale pendant des jours où l'ensoleillement permet le basculement de la charge ville sur le champ PV. Pendant que la ville est alimentée par le générateur solaire, en fonction de l'ensoleillement :

- quand la demande est inférieure à la puissance délivrée par le générateur solaire, le surplus d'énergie du générateur solaire charge les batteries solaires (courant batteries avec signe +)
- quand la charge de la ville est supérieure à la puissance délivrée par le champ PV, les batteries solaires viennent en appoint (courant batteries avec le signe -).

Tableau 12 : Puissances des sources de production du 04/05/2011

Heures	GIV (kW)	GV (kW)	GVI (kW)	Total	Charge Ville	GPV (kWc)	Ensoleil. (kW/m ²)	T° exter. (A)	Batterie				PV	BATT	GE
									I (A)	U (V)	C(% (AH)	C (AH)			
0	0	0	206	206	169								0	0	1
1	0	0	194	194	161								0	0	1
2	0	0	184	184	153								0	0	1
3	0	0	173	173	148								0	0	1
4	0	0	169	169	144								0	0	1
5	0	0	200	200	163								0	0	1
6	0	0	206	206	170								0	0	1
7	0	0	176	176	141								0	0	1
8	0	0	147	147	121								0	0	1
9	0	0	184	184	161								0	0	1
10	0	0	168	168	138								0	0	1
11	0	0	158	158	131	12.62	0,682	60	27,1	444	45	1783	1	0	1
12	0	0	177	177	157	25.48	0,681	62,1	-22,8	429	45	1785	1	0	1
13	0	0	164	164	140	25.02	0,682	64,8	-22,8	428	45	1789	1	0	1
14	0	0	172	172	136	10.75	0,667	62	22,3	441	45	1795	1	0	1
15	0	0	158	158	132								0	0	1
16	0	0	172	172	147								0	0	1
17	0	0	183	183	155								0	0	1
18	0	0	214	214	180								0	0	1
19	0	0	200	200	168								0	0	1
20	0	0	260	260	210								0	0	1
21	0	0	250	250	204								0	0	1
22	0	0	239	239	200								0	0	1
23	0	0	215	215	180								0	0	1

Ce tableau 12 reflète les jours de faible ensoleillement. En fonction des seuils d'ensoleillement, l'automate NRC50 connecte ou déconnecte les douze (12) rangées de champ PV pour charger les batteries solaires quand les trois (3) onduleurs UPS sont allumés. Ces onduleurs allumés, constituent des charges pour l'automate qui :

- connecte les rangées de champ PV (PV1, PV2,..., PV12) quand l'irradiation le permet et ainsi le champ PV charge les batteries solaires ;
- déconnecte les rangées de champ PV (PV1, PV2,..., PV12) quand l'irradiation devient faible et ainsi les onduleurs puissent dans les batteries. Les onduleurs sont alors arrêtés pour ne pas trop décharger les batteries.

Niveau de température requis :

Tableau 13 : Paramètres de fonctionnement des batteries

07/07/2011					08/07/2011				
Heures	I (A)	U (V)	C (%) (AH)	T° ambiante	Heures	I (A)	U (V)	C (%) (AH)	T° ambiante
0					0				
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
6					6				
7					7				
8					8				
9					9				
10	44	414	22	26	10	97	412	20	28
11	20	416	21	27	11	83	410	18	29
12	-9,6	420	21	28	12	105	408	16	30
13	139	404	21	28,5	13				
14	-6,8	427	21	29,5	14	19	412	11	31
15	12	415	18	29,5	15	79	407	9	31,5
16	139	406	16	30,5	16	-188	441	14	31,5
17	-102	440	18	30,5	17	-96	439	17	32
18					18				
19					19				
20					20				
21					21				
22					22				
23					23				

Ce tableau 13 contient les relevés de température ambiante aux niveaux des batteries solaires de type 16 OPzV 2000 dans leur fonctionnement journalier. Ces températures sont supérieures à 25 °C or que la température ambiante idéale pour les batteries OPzV est égale à 20°C +/-5°C. Le fonctionnement de ces batteries étanches à recombinaison de gaz à des températures supérieures à 20°C entraîne une réduction de sa durée de vie, une augmentation de la température de 10°C diminue la durée de vie par 2 (la loi d'Arrhenius). Il ya lieu de corriger ces températures ambiantes ci-dessus dans le tableau 13 car elles ont une incidence sur la capacité des batteries. En effet, la capacité d'une batterie décroît avec la température ambiante. A partir de 25°C, la décroissance est d'environ 1 % par °C. Ces batteries sont actuellement dans un local dont les volets (s'ils sont ouverts) sont exposés au soleil à certains moments de la journée (09H-11H et 15H-17H). D'après le constructeur des batteries, elles ne doivent pas être stockées dans un endroit chaud ou derrière une fenêtre exposée au soleil.

VII. MESURES D'OPTIMISATION IDENTIFIÉES

VII.1 Mesures d'économie d'énergie

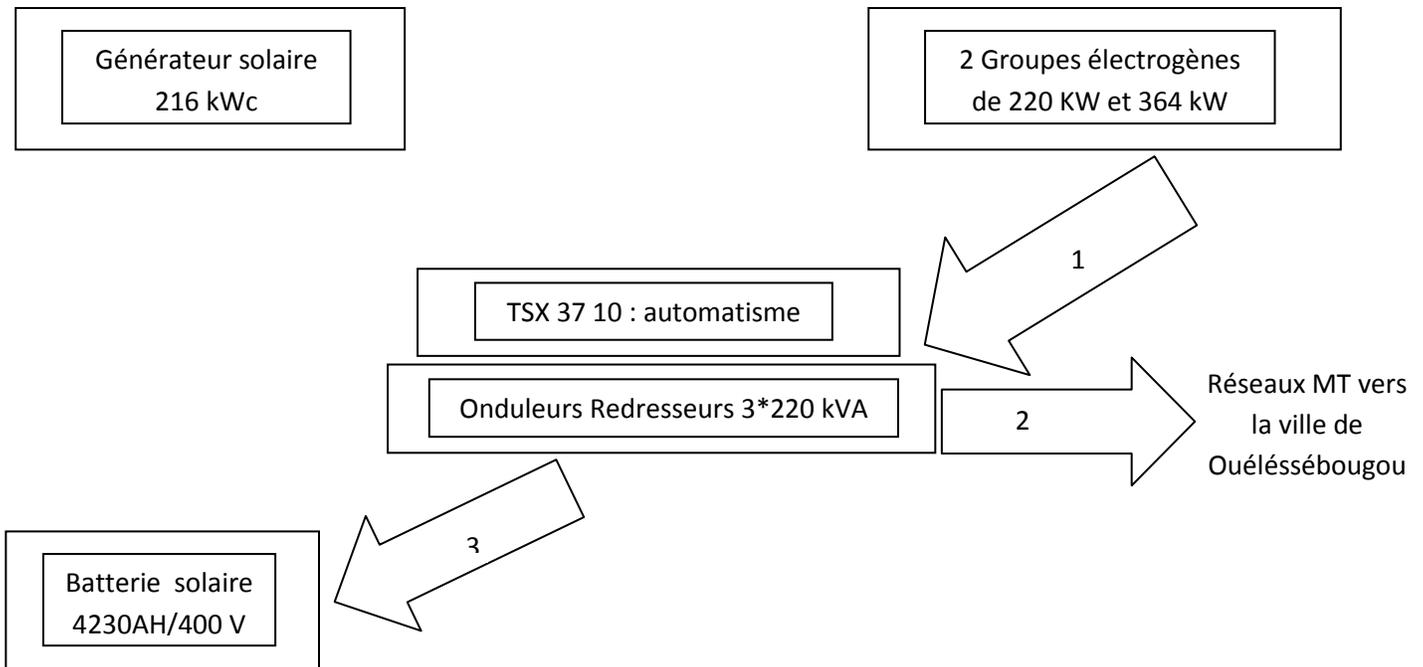
Le calcul des économies d'énergie est effectué à partir des profils d'utilisation du système hybride. Les économies découlent directement de la réduction de la puissance utilisée et des heures d'opération pendant certaines périodes. L'énergie la plus facile à économiser est celle qui n'est pas consommée.

D'après la courbe de charge de la ville, l'heure de pointe se trouve dans la période de 18 H – 00 H. A cette période, les moteurs atteignent leur efficacité maximale (l'efficacité est maximale pour une utilisation de 75 à 100 % de la charge) en opérant à leur capacité nominale. L'efficacité est particulièrement réduite si les moteurs opèrent à faible charge, et la consommation d'énergie résultante est alors plus élevée que requise. La gestion de l'exploitation de ce système hybride doit assurer trois grandes fonctions :

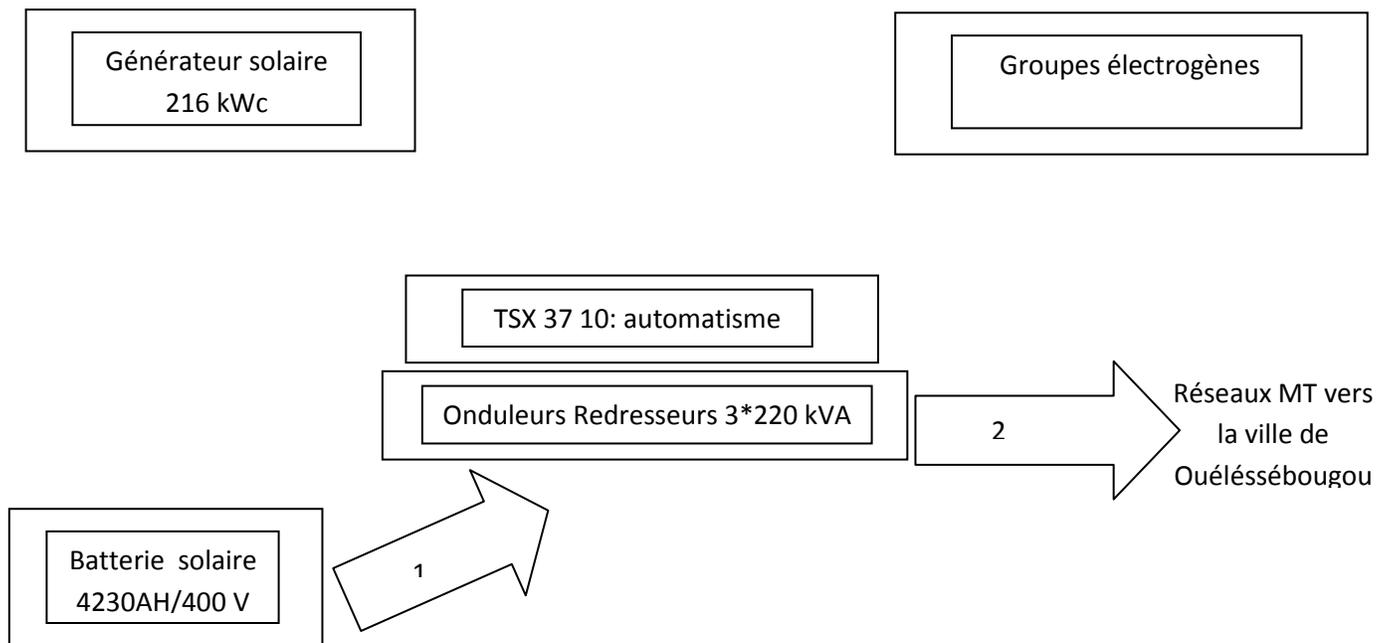
- Préserver en permanence la sécurité de fonctionnement du système, afin d'assurer une alimentation électrique fiable des consommateurs ;
- Réduire au minimum les frais de combustible et d'entretien ;
- Optimiser la durée de vie des batteries et des générateurs diesel.

Pour atteindre ces fonctions ci-dessus citées, nous proposons ces modèles d'exploitation :

Fonctionnement de la centrale hybride : de 18 H à 00 H



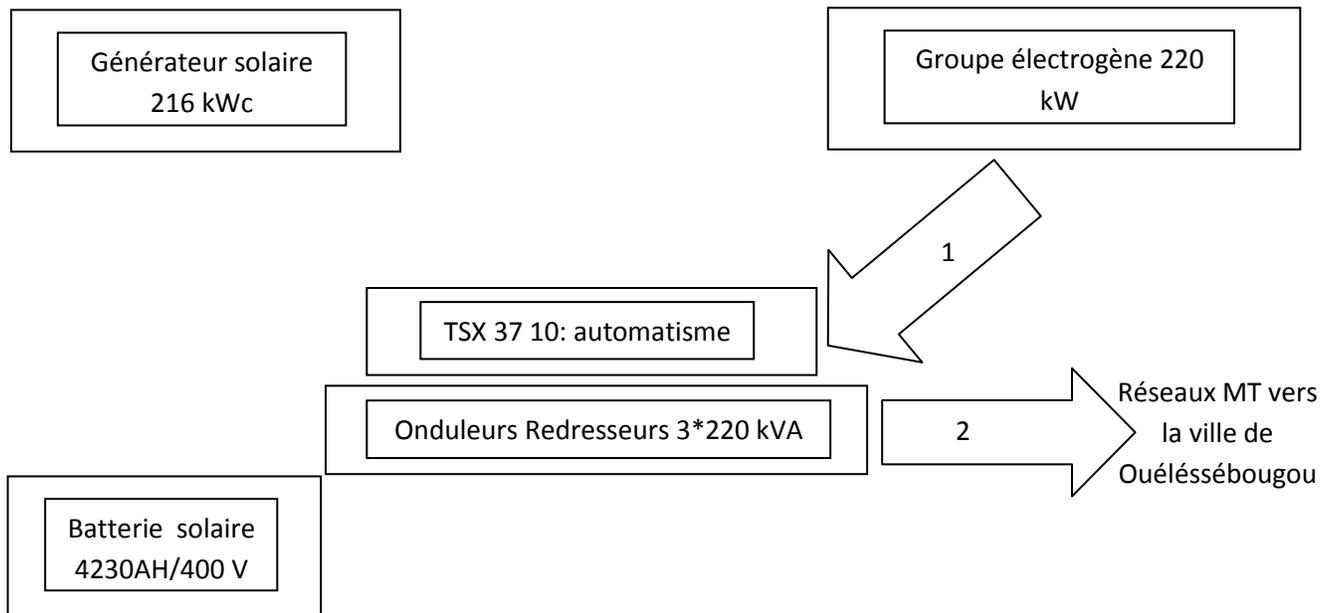
Fonctionnement de la centrale hybride : de 00 H à 16 H



N.B : Dans ce modèle de fonctionnement est inclus la période [08 H – 16 H] où fonctionne le générateur photovoltaïque. Le fonctionnement du générateur photovoltaïque et le rechargement

des batteries solaires par celui-ci sont gérés par un automatisme indépendant (automate NRC 50) de celui de l'automate TSX 37 10.

Fonctionnement de la centrale hybride : de 16 H à 18 H



VII.2 Automatisation des modèles d'exploitation

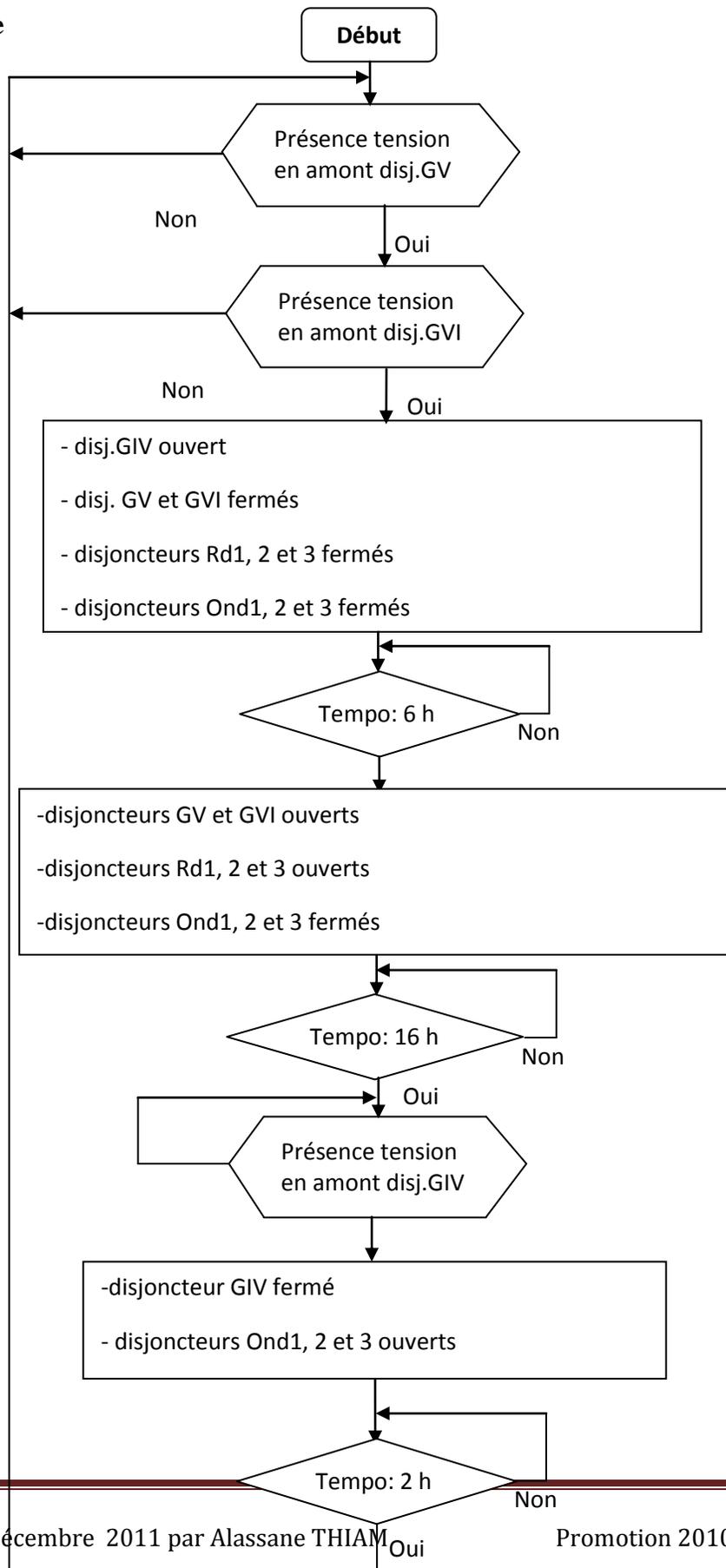
VII.2.1 Description du cahier des charges

Le système actuel connaissant une insuffisance dans son fonctionnement : le non rechargement des batteries solaires par les groupes électrogènes, nous proposons l'automatisation des modèles d'exploitation pour permettre d'une part de résoudre ce problème, et d'autre part de faire des économies d'énergie à partir des profils d'utilisation de la centrale hybride :

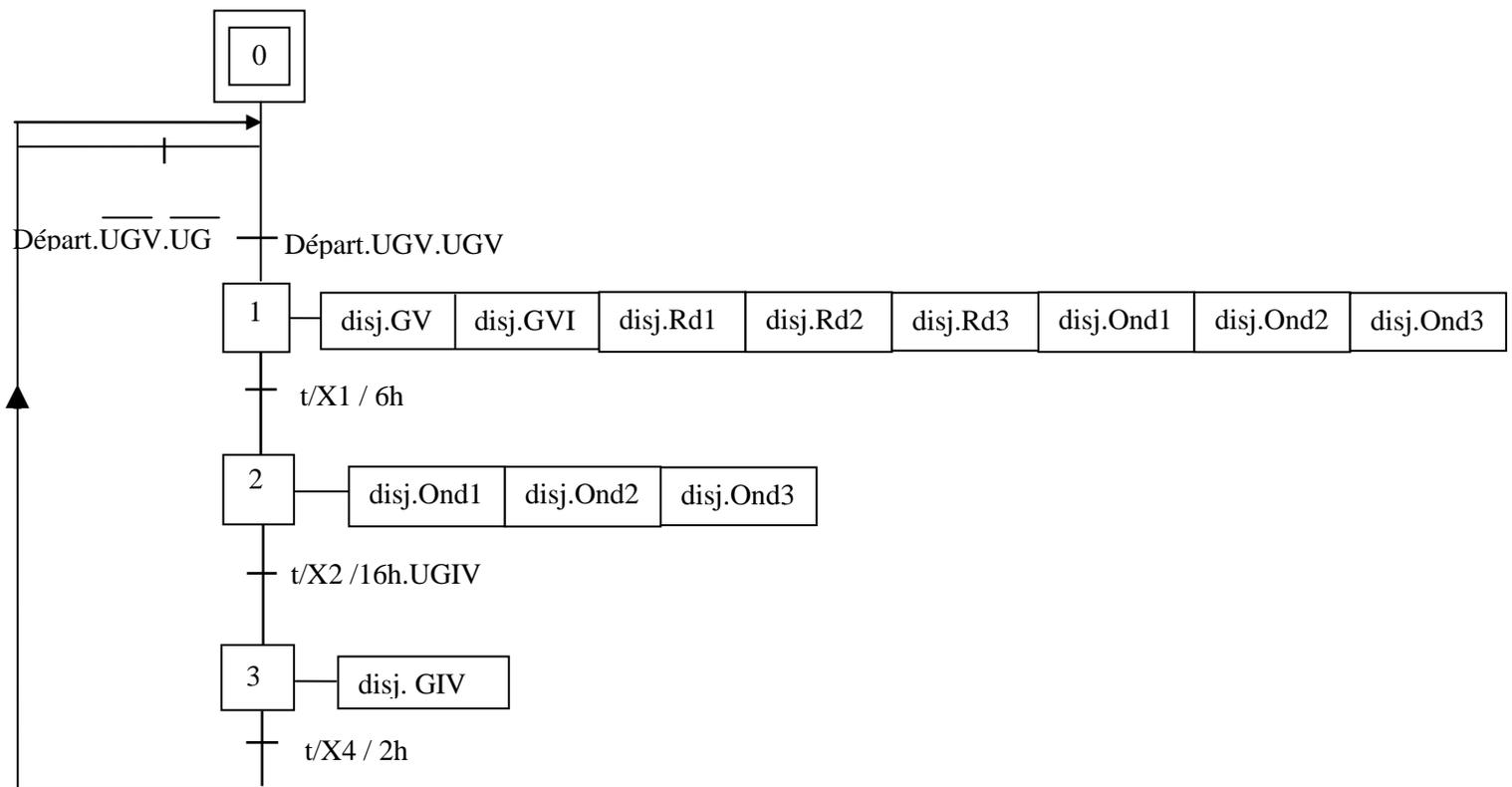
- de 18 H à 00 H : un des groupes électrogènes de 220 kW et celui de 364 kW fonctionnent ensemble pour alimenter la ville et charger en même temps les batteries solaires ;
- de 00 H à 16 H : les batteries solaires alimentent la ville;
- de 16 H à 18 H : un groupe électrogène de 220 kW alimente la ville.

VII.2.2 Le grafcet des diagrammes de fonctionnement

Algorithme



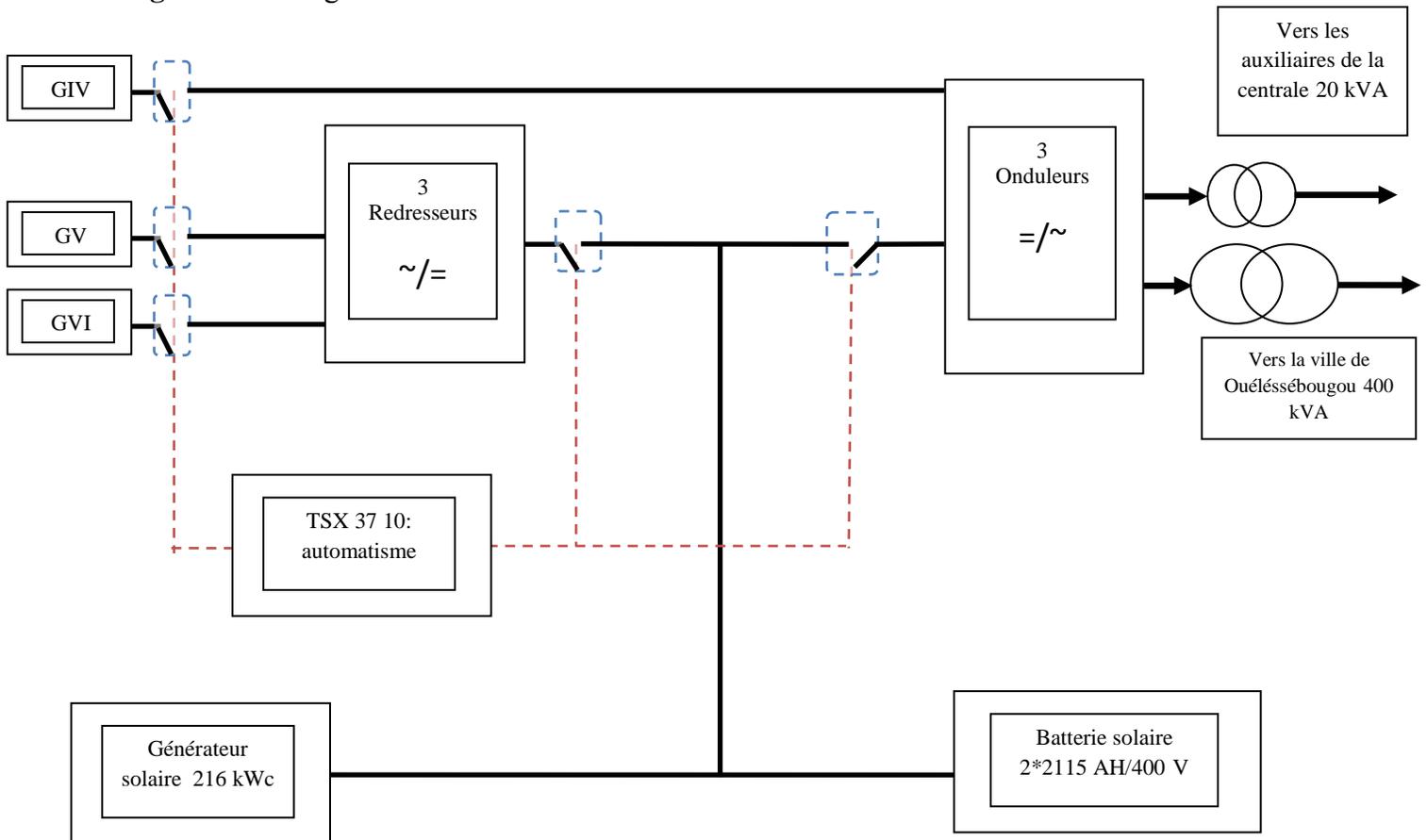
Grafcet



disj.GIV = disjoncteur GIV; disj.GV = disjoncteur GV ; disj.GVI = disjoncteur GVI ; disj.GPV = disjoncteur générateur photovoltaïque; disj.Ond1 = disjoncteur Onduleur 1; disj.Ond2 = disjoncteur Onduleur 2; disj.Ond3 = disjoncteur Onduleur 3; disj.Rd1 = disjoncteur redresseur 1; disj.Rd2 = disjoncteur redresseur 2 et disj.Rd3 = disjoncteur redresseur 3. UGIV = présence de tension en amont du disjoncteur du groupe GIV; UGV = présence de tension en amont du disjoncteur du groupe GV; UGVI = présence de tension en amont du disjoncteur du groupe GVI; \overline{UGV} = absence de tension en amont du disjoncteur du groupe GV; \overline{UGVI} = absence de tension en amont du disjoncteur du groupe GVI.

VII.2.3 Configuration matérielle de l'automatisation

Figure 4 : Configuration matérielle de l'automatisation



VII.2.4 Réalisation

Pour la réalisation pratique de l'automatisation, nous allons procéder au choix des différents éléments.

VII.2.4.1- Inventaire des matériels

Pour une automatisation des nouveaux modes d'exploitation, notre choix se porte sur l'automate TSX 37-10 de Télémécanique.

Présentation de l'automate

Les automates TSX 37-10 compactes et modulaires se différencient par leur tension d'alimentation et le type de module d'entrées/sorties "Tout ou Rien" implante de base le premier emplacement.

Chaque configuration TSX 37-10 comprend un bac intégrant une alimentation (continu 24 V ou alternatif 100/240 V), un processeur incluant une mémoire RAM de 14 K mots (programme, données et constantes) une mémoire de sauvegarde Flash EPROM, un module d'entrées/sorties "Tout ou Rien" (28 ou 64 E/S) et un emplacement disponible.

Un mini bac d'extension TSX RKZ 02 permet d'augmenter le nombre d'emplacements de 2.

Chaque emplacement disponible peut recevoir :

- 1 module d'entrées/sorties TOR au format standard.
- 2 modules demi-format de type entrées/sorties TOR, entrées/sorties analogiques et comptage.

Choix des bases automates 37-10

Alimentation	Module d'E/S TOR intégré dans le 1 ^{er} emplacement				Raccordement		Référence
	Nombre d'entrées		Nombre de sorties		Connecteur	Bornier	
	continu 24 V	alternatif 110/120 V	Statiques Continu 24 V/ 0,5 A	Relais			
~ 110/240 V	16			12		oui	TSX 37 10 028DR1

Les capteurs (ou détecteurs) et actionnaires utilisés dans le processus

Lorsque la bobine du relais 220 V est excitée (absence de tension), elle ferme son contact normalement ouvert qui est relié à l'entrée de l'automate.

Les actionnaires sont actionnés à l'aide des relais 110 V. Lorsqu'une sortie de l'automate excite la bobine d'un relais 110 V, celui-ci ferme son contact normalement ouvert relié à la bobine d'enclenchement 110 V DC du disjoncteur. L'excitation de cette bobine d'enclenchement assure la fermeture du disjoncteur et son ouverture lorsqu'elle est désexcitée.

Les capteurs	Les actionneurs
Bouton poussoir marche/arrêt	Disjoncteur principal GIV
Relais de présence de tension en amont du disjoncteur principal du GIV	Disjoncteur principal GV
Relais de présence de tension en amont du disjoncteur principal du GV	Disjoncteur principal GVI
Relais de présence de tension en amont du disjoncteur principal du GVI	Disjoncteur principal Redresseur 1
	Disjoncteur principal Redresseur 2
	Disjoncteur principal Redresseur 3
	Disjoncteur principal Onduleur 1
	Disjoncteur principal Onduleur 2
	Disjoncteur principal Onduleur 3

VII.2.5 Offre financière

Cadre du devis quantitatif et estimatif

N° Prix	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire(FCFA)	Montant(FCFA)
1	Automate TSX 37 10 028DR1	u	1	94357	94357
2	Relais de présence de tension 220 V	u	3	20000	60000
3	Relais 110 V DC	u	9	17500	157500
4	Cables 2,5mm ²	Ens	1	848000	848000
5	Main d'œuvre électricien	Ens	1	35000	35000
	Total		9	1014857	1194857

Cette automatisation avec l'automate TSX 37 10 vient en complément à celle du NRC 50 qui gère le fonctionnement du champ PV et le rechargement des batteries solaires par celui-ci.

VII.3 La synchronisation du groupe Cummins par rapport à la location du groupe Caterpillar

Pour permettre la bonne exécution de l'automatisation avec le TSX 37 10, il y a lieu de synchroniser le GV avec le GVI.

Le couplage du groupe GV (220 kW) avec le groupe GVI (364 kW) convient car leurs puissances ne sont pas dans un rapport supérieur à 2.

Le groupe GVI Caterpillar est en version compacte, tous ces éléments sont précâblés. Ses coffrets de commande et de protection sont intégrés à son bâti. Pour pouvoir le synchroniser au groupe GV, il y a lieu d'installer une armoire électrique équipée des appareillages spéciaux, en particulier pour visualiser la synchronisation des vitesses :

- lampes de phase
- synchronoscope
- voltmètre différentiel
- coupleur contrôlant fréquence et tension avant couplage

Pour le raccordement de l'armoire de couplage du GVI avec le groupe GVI puis à l'armoire du GV, seront utilisés :

1. des câbles de puissance de 30 m longueur, de 240 mm² de section
2. des câbles 2 paires de section 2,5 mm² pour la communication du groupe avec l'armoire
3. des câbles 8 paires de section 2,5 mm² pour la régulation de tension

VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

VIII.1 CONCLUSION

Dans notre audit, nous nous sommes intéressés d'abord au fonctionnement de la centrale hybride qui alimente actuellement la ville en électricité. Nous avons examiné le profil de charge mensuel (mai 2010 et 2011), l'énergie produite et la consommation en combustible des groupes (de mai à

octobre 2010 et 2011). L'analyse des données en notre disposition nous a permis de comprendre que la centrale hybride fait face à une demande d'énergie croissante de la ville. La charge de la ville est importante entre 18 H et 00 H. Nous avons calculé le ratio de consommation en combustible sur énergie produite des groupes pour la période de mai à octobre 2010 et 2011. Les valeurs obtenues en 2011 sont inférieures par rapport à celles de 2010. Celles ci démontrent qu'avec l'augmentation de la charge de la ville, les groupes fonctionnent de plus en plus près de leur point de fonctionnement optimal.

Le système actuel connaissant une insuffisance dans son fonctionnement : le non rechargement des batteries solaires par les groupes électrogènes, nous proposons l'automatisation de ces modèles d'exploitation pour permettre d'une part de résoudre ce problème, et d'autre part de faire des économies d'énergie à partir des profils d'utilisation de la centrale hybride.

- De 18 H à 00 H : un des groupes électrogènes de 220 kW et celui de 364 kW fonctionnent ensemble pour alimenter la ville et charger en même temps les batteries solaires ;
- De 00 H à 08 H : les batteries solaires alimentent la ville ;
- De 08 H à 16 H : le générateur solaire de 216 kWc alimente la ville ;
- De 16 H à 18 H : un groupe électrogène de 220 kW alimente la ville.

Ce document ne peut nullement prétendre avoir déterminé de façon exhaustive la liste de toutes les mesures qui pourraient permettre l'optimisation des paramètres de fonctionnement actuels de la centrale hybride. Nous estimerons avoir atteint l'objectif fixé par cet audit et espérons avoir donné notre modeste contribution pour une gestion optimale de la centrale hybride (PV/Diesel).

VIII.2 RECOMMANDATIONS

La prise en compte urgente des différentes recommandations devrait permettre de réaliser les mesures d'économies d'énergies identifiées et par la même d'assurer une meilleure sécurité des personnes et des équipements :

- Une mesure très importante serait la dotation du groupe Caterpillar GVI de son armoire de couplage pour permettre sa synchronisation avec les groupes cummins GIV et GV.

- La réalisation d'un forage au sein de la centrale hybride (PV/Diesel) pour permettre le nettoyage des modules du champ PV à tout moment de la journée.
- Pour une meilleure économie d'énergie de la tranche 16 H – 18 H, au-delà de la marche proposée par diesel, une augmentation du champ PV permettrait de charger les batteries solaires qui couvriraient cette tranche.

IX. BIBLIOGRAPHIE

- 1- Cours d'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE DANS LE BATIMENT ET DANS L'INDUSTRIE/Pr. Yézouma COULIBALY, décembre 2010 – 2iE - Ouagadougou
- 2- Cours d'Automatisme/Dr. Mariama SIDO/PABYAM, 2iE - Ouagadougou
- 3- L'Audit technique informatique/Henry Ly – Paris : Lavoisier: Hermès science, 2005
- 4- Cours d'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE/Arona COULIBALY, novembre 2003 – ENI - Bamako
- 5- ZED-SA (Janvier 2008), Etude pour une alimentation électrique hybride (Groupe électrogène – Générateur photovoltaïque) du site de production isolé EDM-sa de Ouélessébougou

Sites internet

- 5- www.google.com
- 6- www.CAT-ElectricPower.com
- 7- www.cumminspower.com
- 8- www.eosweb.larc.nasa.gov

XX. ANNEXES

Sommaires des annexes

Annexe I : Puissances horaires moyennes mensuelles de Mai 2010 et 2011

Annexe I : Puissances horaires moyennes de Mai 2010 et 2011

Années	2010	2011
Heures	Mai	Mai
0	128	169
1	124	158
2	119	149
3	113	144
4	108	146
5	108	148
6	95	136
7	82	121
8	88	124
9	110	142
10	108	136
11	111	142
12	111	144
13	103	137
14	109	140
15	110	143
16	106	140
17	107	141
18	103	141
19	141	180
20	163	207
21	159	205
22	151	200
23	140	184