



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



AUDIT ENERGETIQUE ET DIMENSIONNEMENT D'UNE SOURCE DE SECOURS AU SIEGE DE LA SONAR

MEMOIRE POUR L'OBTENSION DU MASTER SPECIALISE EN GENIE *ELECTRIQUE*
ENERGETIQUE ET ENERGIES RENEUVELABLES

Présenté et soutenu publiquement en **2011** par
Jacques Marie ILBOUDO

Directeur de mémoire:

Ahmed .O BAGRE

Enseignant-chercheur au ZiE

Maître de stage :

Issaka. SAWADOGO

Ingénieur Electricien à S.E.E.E

Co-encadreur :

Zacharie KOALAGA

Maître de conférences

à l'Université de Ouagadougou

REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et le concours combien inestimable de plusieurs personnes, à qui nous tenons à exprimer très sincèrement toute notre reconnaissance :

A **M. Souleymane DIARRA**, chef d'agence de la S.E.E.E de Burkina Faso, mes remerciements pour m'avoir accueilli à l'agence de la S.E.E.E et pour tous ses précieux enseignements et conseils dont j'ai pu bénéficier.

A **M. Issaka SAWADOGO**, Ingénieur Electricien à S.E.E.E, mes remerciements pour avoir accepté de diriger mes travaux de stage en entreprise malgré ses multiples tâches.

Je remercie vivement **M. Ahmed BAGRE**, enseignant-chercheur au 2iE, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de superviser mes travaux de stage de fin d'étude.

Je remercie **M. Zacharie KOALAGA**, maître de conférences à l'Université de Ouagadougou, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de co-diriger et permettre la réalisation de ce travail.

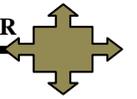
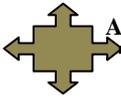
Mes remerciements à l'endroit de **M. Sessou**, ingénieur électricien à S.E.E.E, pour nous avoir prêté attention en répondant à nos préoccupations.

Mes remerciements à l'endroit du corps enseignant en **GENIE ENERGETIQUE** du 2iE.

Je n'oublie pas non plus de remercier l'ensemble des agents de la société S.E.E.E.

A toute ma famille et à mes amis qui m'ont soutenu par leurs encouragements pour la réalisation de ce travail, je les remercie du fond du cœur.





DEDICACES

Je dédie ce présent document :

- *A DIEU pour m'avoir donné la volonté et le courage de réaliser ce mémoire ;*

- *A mon père et ma mère, pour la vie qu'ils m'ont donné et pour tous les efforts qu'ils ont consenti pour mon éducation ;*

- *A mon frère, mes sœurs et mon beau-frère pour leur soutien ;*

- *A tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour me soutenir tout au long de mes études.*



Résumé

Dans ce document, nous avons mené une étude d'audit énergétique de l'immeuble siège de la SONAR. Cette recherche a permis de déterminer que le siège de la SONAR consomme une énergie électrique moyenne de 35000 kWh par mois. Le secteur de la climatisation détient 76 % de cette consommation. Les mesures d'économie d'énergie effectuées dans ce bâtiment ont montré qu'il existait une possibilité de réduire la consommation électrique mensuelle d'environ 8000 kWh.

Nous avons également effectué dans ce manuscrit une étude de dimensionnement d'une source de secours qui permettra à la SONAR de poursuivre ses activités en cas de coupure du réseau SONABEL. Les différents systèmes de secours proposés sont : un groupe électrogène et un système PV avec stockage. Après l'analyse de ces deux types de dispositifs de secours, nous avons conclu que le système PV était le plus bénéfique sur le plan économique et environnemental.

Mots clés :

- 1-Audit énergétique
- 2-Électrique
- 3-Consommation
- 4-Source de secours
- 5-Système PV

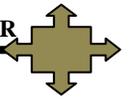
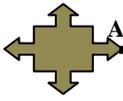
ABSTRACT

In this document, we conducted a study of energy audit of the building headquarters of SONAR. This research has allowed to determine that the seat of the SONAR consumes on average an electrical energy of 35000 kWh per month. The air conditioning sector holds 76 % of this consumption. The energy saving measures carried out in this building have shown that there existed a possibility of reduce electricity consumption of approximately 8000 kWh monthly.

We also carried out in this manuscript a study of design a backup source that will allow the SONAR of pursue its activities in case of cutoff of SONABEL network. The back-up systems proposed are: a generating set and a system PV with storage. After analysis of these two types of devices, we concluded that the system PV was the most beneficial from the economic and environmental point of view.

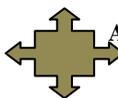
Key words:

- 1- Audit energy
- 2 -Electric
- 3-Consumption
- 4-Backup systems
- 5- System PV



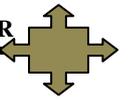
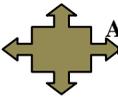
LISTE DES ABREVIATIONS

- SONAR:** Société Nationale d'Assurance et de Réassurance
- S.E.E.E :** Société d'Etudes et Entreprise d'Equipements
- SONABEL :** Société Nationale d'Electricité du Burkina
- TGBT :** Tableau général basse tension
- COP :** Coefficient d'efficacité
- PV :** Photovoltaïque
- DOD :** seuil de profondeur de décharge
- MPPT :** Maximum Power Point Tracking (Point de puissance maximale)
- VRV :** Volume de Réfrigérant Variable
- DRV :** Débit de Réfrigérant Variable
- MDP :** Mécanisme de Développement Propre



TABLES DES MATIERES

INTRODUCTION.....	5
I) Présentation de la S.E.E.E et de la SONAR	6
I.1) Présentation de la S.E.E.E.....	6
I.2.1) Histoire de la SONAR.....	7
I.2.2) Organisation de la SONAR	7
I.2.3) Situation géographique.....	8
II) Installations électriques du siège de la SONAR.....	9
III) Evaluation de la consommation électrique	11
III.1) Eclairage.....	11
III.2) Bureautique	12
III.3) Ascenseur	13
III.4) Climatisation	14
III.5) Autres équipements	16
III.6) Récapitulatif de la consommation électrique	16
IV) Analyse de la facture	17
V) Etude de la réduction de la consommation électrique du siège de la SONAR.....	20
V.1) Le secteur de l'éclairage.....	20
V.2) La bureautique	22
V.3) La climatisation	23
V.4) Impact environnemental.....	28
VI) Dimensionnement d'une source de secours.....	28
VI.1) Groupe électrogène	28
VI.2) Le système photovoltaïque.....	29
VI.2.1) Présentation et dimensionnement des modules PV et du système de stockage ...	30
a) Les modules PV	30
b) Le système de stockage (accumulateur d'énergie)	32
VI.2.2) Présentation des modèles du système PV.....	33
a) Le modèle 1 de système PV.....	33
b) Le modèle 2 de système PV	34
c) Le modèle 3 de système PV	35
VI.2.3) Présentation des autres composants du système PV	37
c) Les onduleurs	37
d) Le régulateur	39
e) Le câblage	39
f) La protection	41



VI.2.3) Etude économique et environnementale.....	42
VII.4) Etude comparatives.....	43
VII.5) Synthèse générale	46
CONCLUSION GENERALE.....	47
RECOMMANDATIONS.....	47
BIBLIOGRAPHIE	49
ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques techniques des luminaires	11
Tableau 2: Consommation électriques des luminaires	11
Tableau 3: Consommation électrique de la bureautique	13
Tableau 4: Résultats des calculs sur la performance des climatiseurs.....	15
Tableau 5: Consommation des climatiseurs	16
Tableau 6: Consommation des autres équipements.....	16
Tableau 7: Consommation de l'immeuble	16
Tableau 8: Evolution de la facture avec une puissance souscrite de 120 kW	19
Tableau 9: Evolution de la facture avec une puissance souscrite de 140 kW	20
Tableau 10: Caractéristiques des lampes.....	21
Tableau 11: Consommation électrique	21
Tableau 12: Puissances frigorifiques.....	24
Tableau 13: Caractéristiques des unités intérieures.....	25
Tableau 14: Sélection de l'unité extérieure	25
Tableau 15: Caractéristiques de l'unité extérieure	25
Tableau 16: Investissement du VRV	26
Tableau 17: Coût total de l'investissement de la climatisation	26
Tableau 18: Dimensionnement du groupe électrogène	29
Tableau 19: Rayonnement solaire	31
Tableau 20: Caractéristiques du module	31
Tableau 21: Sélection des sections des câbles DC	40
Tableau 22: Sélection des sections des câbles AC	41
Tableau 23: Coût de l'installation PV	42
Tableau 24 : Gain et retour sur investissement	43
Tableau 25: Comparaison du système PV et le groupe électrogène.....	44
Tableau 26: Comparaison des modèles du système PV	45
Tableau 27 : Résultats de l'étude économique.....	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Emplacement de l'agence de la S.E.E.E.....	6
Figure 2:Organigramme de la S.E.E.E Burkina	6
Figure 3: Organigramme de la SONAR.....	8
Figure 4:Situation géographique de l'immeuble siège de la SONAR [W1]	9
Figure 5:Installation électrique de la SONAR.....	10
Figure 6: Moteur de l'ascenseur.....	14
Figure 7: Split système	15
Figure 8:Climatiseur fenêtre.....	15
Figure 9:Répartition de la consommation	17
Figure 10: Evolution de la consommation.....	18
Figure 11:Bureau éclairé avec deux tubes fluorescences TL5	22
Figure 12:Bureau éclairé avec deux tubes fluorescences TL-D	22
Figure 13: Paumelle à ressort	23
Figure 14: Réseau du système VRV.....	27
Figure 15:Groupe électrogène GEH 275	29
Figure 16: Module PV SPR-315-WHT-D.....	31
Figure 17: La batterie OPZS SOLAR	33
Figure 18:Schémas synoptique du modèle1	34
Figure 19:Schéma synoptique du modèle 2.....	35
Figure 20: Schéma synoptique du modèle 3 du système PV.....	36
Figure 21:convertisseur EFFEKTA.....	37
Figure 22:Onduleur/chargeur	38
Figure 23:Onduleur réseau	38
Figure 24: Onduleur / réseau sunpower.....	39
Figure 25: Régulateur de charge et de décharge.....	39

INTRODUCTION

Aujourd'hui les activités industrielles, économiques et humaines reposent sur un modèle énergétique à base de ressources non renouvelables d'origine fossiles (pétrole, charbon et gaz) ou minérales (uranium). Depuis fort longtemps, le pétrole s'est imposé comme principale source énergétique. Ses sous-produits (Essence, Kérosène, Gasoil...) sont déterminants pour le développement socioéconomique de la population mondiale et en particulier ceux des pays en voie de développement. Mais de nos jours, l'augmentation de la demande et l'épuisement des réserves mondiales en énergie fossile, ont entraîné une hausse du prix du baril de pétrole. Ce qui suscite l'inquiétude dans les économies vulnérables, notamment celle du Burkina Faso. La production d'électricité dans ce pays est assurée en grande partie par des centrales thermiques qui fonctionnent au DDO. Mais la hausse du prix du baril de pétrole, accompagnée de l'augmentation des taxes sur la facture électrique, sont à l'origine du coût élevé du kWh que subissent les sociétés implantées au Burkina Faso et les particuliers depuis les années 90. Le développement des villes du Burkina Faso a entraîné une augmentation de la consommation d'électricité alors que le réseau électrique n'a pas subi une évolution considérable. Cela a entraîné des difficultés pour le réseau électrique à satisfaire la puissance demandée provoquant des délestages qui paralysent les activités socioéconomiques et industrielles du pays.

Au vu de tous ces éléments, une réflexion des responsables des sociétés et des particuliers sur la réduction de leurs consommations électriques et le développement de l'énergie solaire ne seraient-ils pas des solutions que nous devons envisager dans le futur ?

Dans le but de diminuer la consommation électrique et d'assurer la continuité des activités, la SONAR (Société Nationale des Assurances du Burkina Faso) en partenariat avec la S.E.E.E a initié un projet d'étude sur la réduction des besoins énergétiques dans son immeuble siège.

Notre étude consistera donc à faire un audit énergétique et le dimensionnement d'une source de secours dans le siège de la SONAR. Nous déterminerons d'abord la consommation d'énergie électrique de l'immeuble ensuite nous effectuerons une analyse sur la réduction des besoins électriques du bâtiment. Enfin nous réaliserons le dimensionnement d'une source de secours.

I) Présentation de la S.E.E.E et de la SONAR

I.1) Présentation de la S.E.E.E

La S.E.E.E (Société d'Etudes et Entreprise d'Equipements) intervient dans les domaines de la climatisation, la plomberie, l'ascenseur, la réfrigération, l'électricité, l'hydraulique villageoise, l'énergie solaire ...etc. Elle est présente dans au moins 13 pays en Afrique.

Cette société est représentée au Burkina Faso par une filiale dirigée par un chef d'agence. Sur le terrain, les travaux sont coordonnés par des techniciens et exécutés par des agents dévoués à leurs taches.

Au Burkina Faso, l'agence de la S.E.E.E est située au secteur 8 de Ouagadougou. Elle est limitée par l'avenue du Kadiogo et l'avenue du Mogho. La figure 1 ci-dessous représente l'emplacement de l'agence.

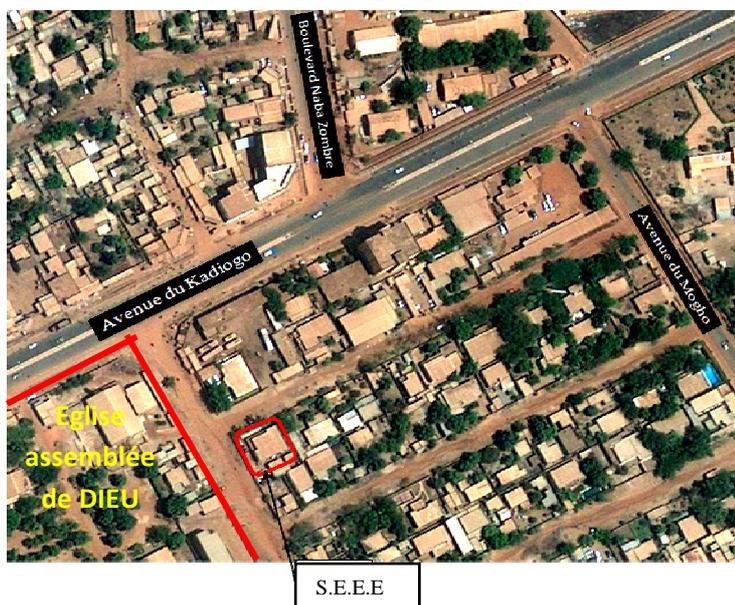


Figure 1:Emplacement de l'agence de la S.E.E.E [W1]

La société S.E.E.E est organisée selon le plan suivant :

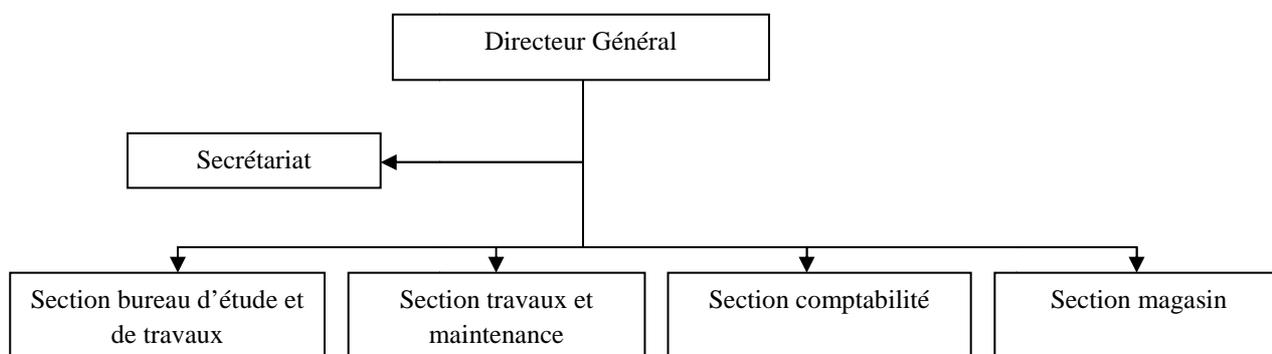


Figure 2:Organigramme de la S.E.E.E Burkina

I.2) Présentation de la SONAR

I.2.1) Histoire de la SONAR

La SONAR, Société Nationale d'Assurance et de Réassurance est née du transfert de portefeuille du Groupement Français d'Assurances (GFA) le 10 janvier 1974. Elle avait à sa création un capital de 80 000 000 de Francs CFA. A cette date, la société Nationale d'Assurances et de Réassurances était une société d'économie mixte avec une participation majoritaire de l'État.

En 1978, la SONAR a repris les portefeuilles des agences ci-après :

- Union des Assurances de Paris (UAP) ;
- Les Mutuelles du Mans ;
- Les AGF (Assurances Générales de France) ;
- Les MGF Accidents (Mutuelles Générales Françaises Accidents).

En 1994, dans le cadre d'un vaste programme de privatisation, l'Etat se désengage de la gestion et cède 26 % du capital prélevé sur ses parts au privé burkinabé et 3 % au personnel de la SONAR. Ainsi, la SONAR fit l'objet d'une privatisation partielle et devient depuis le 24 février 1994, une société commerciale anonyme d'assurance privée burkinabé avec un capital de 240.000.000 Francs CFA. Ce capital fut porté à 480.000.000 Francs CFA en 1996.

En 1999, pour se conformer aux dispositions de la Conférence Interafricaine des Marchés d'Assurances (CIMA) notamment en ses articles 326 et 328, la SONAR s'est scindé en deux sociétés.

- SONAR-IARD, spécialisée en assurances dommages avec un capital de 720.000.000 Francs CFA ;
- SONAR-VIE, spécialisée en assurance vie, avec un capital de 500.000.000 FCFA.

Le 9 juillet 2008, le capital des deux sociétés a été doublé ; pour se conformer au règlement N°001/CIMA/PCMA/CE/SG/2207 adopté par le Conseil des Ministres des Assurances (CMA) en date du 07 avril 2007. Ainsi nous avons :

- SONAR-IARD, capital 1.440.000.000 Francs CFA ;
- SONAR-VIE, capital 1.000.000 000 Francs CFA.

I.2.2) Organisation de la SONAR

Leader sur le marché des Assurances au Burkina Faso, le Groupe SONAR emploie aujourd'hui plus de 120 salariés exerçant de nombreux métiers dans la production des contrats d'assurances, la gestion des sinistres, le commercial, l'actuariat, la comptabilité et les finances, l'informatique, les ressources humaines, l'audit et le contrôle de gestion,... etc. Ils sont répartis sur différents sites que sont : le Siège, la Direction de l'Agence de Bobo-Dioulasso, le Bureau Direct à Ouagadougou et le Bureau Direct à Koudougou.

L'organigramme du groupe SONAR se présente comme suit :

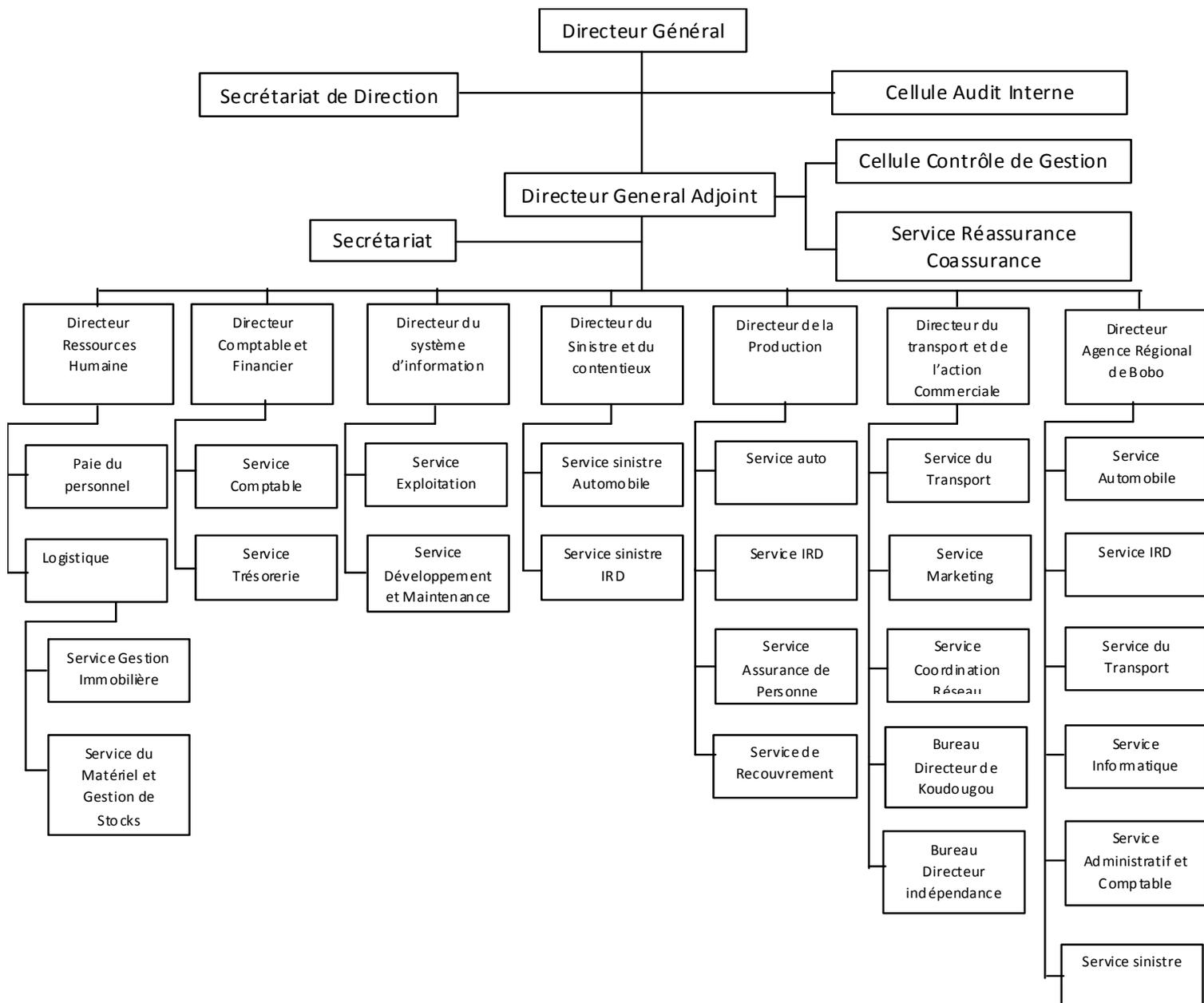


Figure 3: Organigramme de la SONAR

I.2.3) Situation géographique

L'immeuble siège de la SONAR est un bâtiment du type R+4, situé à environ 600 mètres du côté Ouest du commissariat central de police de Ouagadougou. Ces grandes façades sont orientées de l'Est et de l'Ouest.

Il est délimité par un ensemble d'avenues:

- A l'Est par l'avenue de Loudun,
- A l'Ouest par l'avenue de Yennenga,
- Au Nord par l'avenue du Liptako Gourma.

La figure 4 ci-dessous donne une situation géographique de l'immeuble



Figure 4: Situation géographique de l'immeuble siège de la SONAR [W1]

II) Installations électriques du siège de la SONAR

Le siège de la SONAR est alimenté en électricité par le réseau électrique de la SONABEL à travers un transformateur MT/BT de 200 kVA. Un groupe électrogène de secours de 77 kVA est installé et prend en charge 33 % de la consommation électrique de l'immeuble en cas de coupure du réseau SONABEL. Les départs du transformateur et du groupe électrogène sont connectés au TGBT. Ce dernier alimente à chaque niveau du bâtiment des tableaux divisionnaires (TD) qui desservent les circuits terminaux de l'éclairage, les prises de courant et les climatiseurs. Notons que cette installation doit être revue car dans certains bureaux l'éclairage n'est pas pris en charge par le groupe électrogène alors que des climatiseurs le sont. Dans les normes, l'éclairage est d'abord secouru en première position ensuite les autres, suivant les priorités. Un équipement de comptage double tarif est placé entre le transformateur et le TGBT.

Le schéma de principe électrique de cette installation est présenté par la figure 5 ci-dessous.

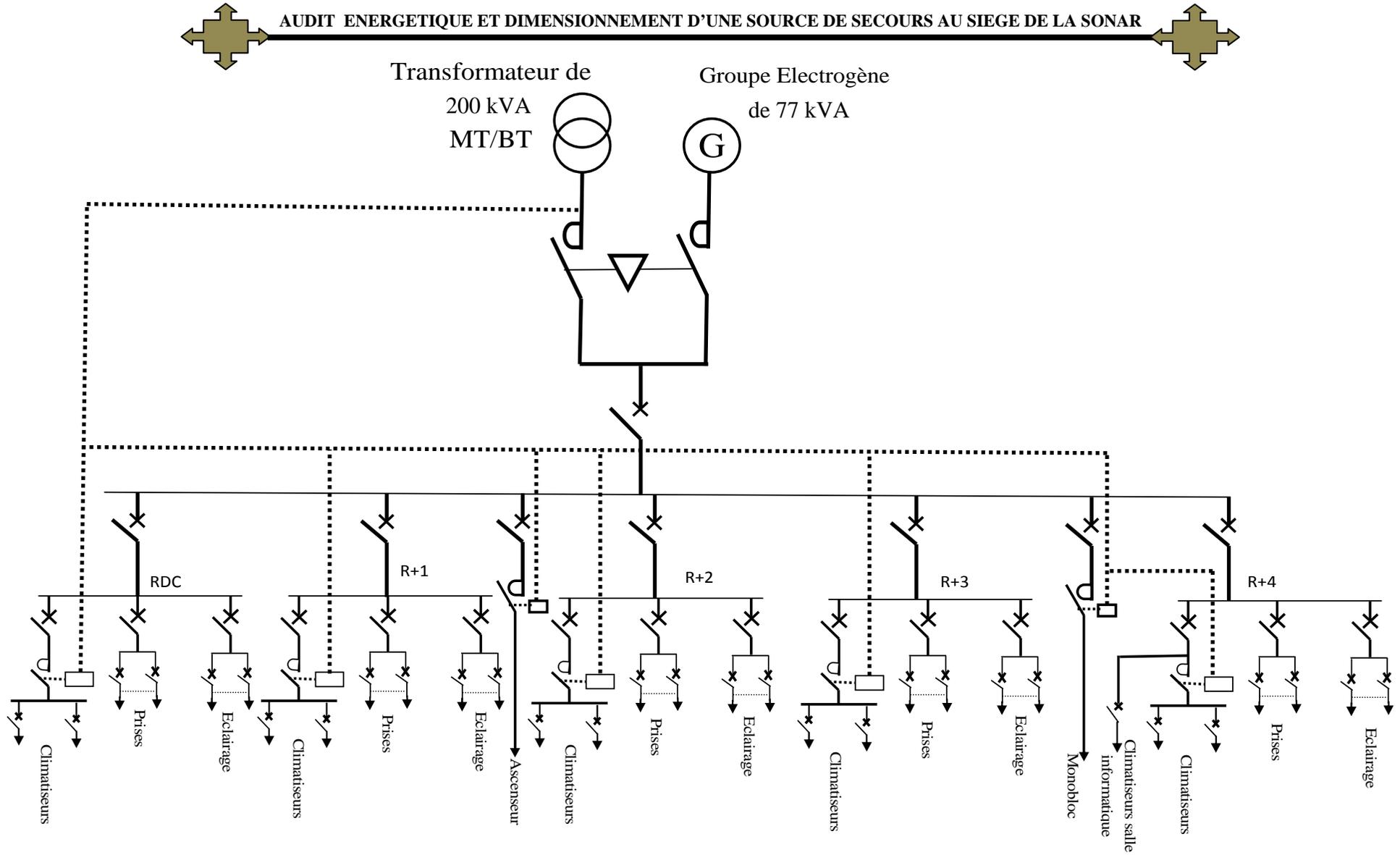
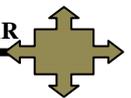
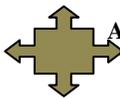


Figure 5: Installation électrique de la SONAR



III) Evaluation de la consommation électrique

Le calcul des consommations énergétiques journalières se fera avec la formule suivante :

$$E = \sum P_i \times t_i \tag{1}$$

E est l'énergie totale consommée. Elle est la somme des énergies absorbées par chaque appareil. P_i est la puissance de l'appareil et t_i représente le temps de fonctionnement de l'appareil en heure par jour.

III.1) Eclairage

L'immeuble siège de la SONAR est équipé en éclairage par quatre types de lampes :

- des réglottes fluorescentes de 36 W utilisées dans les bureaux et les toilettes ;
- des réglottes fluorescentes de 18 W éclairant les couloirs ;
- des hublots de 15 W à lampes fluo compactes utilisés dans l'éclairage des escaliers ;
- des hublots de 60 W à lampes à incandescence utilisés dans les toilettes et le hall.

Les tableaux 1 et 2 ci-dessous donnent les caractéristiques techniques et la consommation de ces lampes.

Tableau 1: Caractéristiques techniques des luminaires

Modèle	Référence	Puissance (w)	Flux lumineux (lumens)	Durée de vie (heure)
TL-D Standard	36W/54-765	36	2500	20000
TL-D Standard	18W/54-765	18	1050	20000
Incandescence Standard Sphérique Claire	Standard 60W B22 230V P45 CL	60	640	10000
MASTER PL-Electronic Automatic	15W/827 E27 230-240V	15	900	15000

Tableau 2: Consommation électriques des luminaires

Puissance (W)	Nombre	Durée (heure)	Consommation moyenne (kWh/jour)	Consommation moyenne (kWh/mois)	Montant (francs CFA/jour)	Montant (francs CFA/mois)
36	203	8	70	1434	10274	219114
	6	4	1,05	21		
	8	12	4,2	108		
18	7	24	3,6	94		
	36	15	11,7	285		
15	7	8	0,8	17		
	14	15	3	75		
60	11	8	5,1	106		

En se référant au tableau 2, l'éclairage consomme environ 2146 kWh par mois.

Le flux lumineux mesuré avec le luxmètre dans les bureaux varie de 36 lux à 540 lux avec une moyenne de 201 lux. Au niveau des couloirs, nous avons mesuré en moyenne 140 lux en dessous de chaque lampe et 50 lux entre deux points lumineux.

L'éclairage requis pour un bon éclairage donné par les documents spécialisés recommande 500 lux dans les bureaux et 150 lux dans les couloirs. Un flux lumineux de 220 lux est conseillé dans les bureaux muni d'ordinateurs.

Les résultats des mesures comparés avec les valeurs recommandées dans les documents spécialisés montrent que 80 % des bureaux sont moyennement éclairés et 20 % faiblement éclairés. Au niveau des couloirs, l'éclairage est acceptable. En conclusion, la SONAR doit revoir le niveau d'éclairage dans certains bureaux qui est en dessous de la valeur recommandée.

III.2) Bureautique

La SONAR est équipé en matériel d'informatique tel que des ordinateurs, des imprimantes, des photocopieuses, des scanners et des fax. La durée d'utilisation de ces appareils par jour a été obtenue auprès des travailleurs. Ainsi pour les ordinateurs nous avons considéré un coefficient d'utilisation et de simultanéité de 0,7. La durée du travail est de 8 heures par jour du lundi au vendredi et de 5 heures le samedi. En considérant le coefficient d'utilisation, de simultanéité et la durée du travail par jour, le temps de fonctionnement maximum d'un ordinateur est de 4 heures par jour. La durée de l'utilisation des imprimantes et des photocopieuses par jour a été calculée en fonction du nombre de rame de papier utilisé. Ainsi pour les imprimantes, le temps de fonctionnement est 2,24 heures par jour et 3 heures pour les photocopieuses. Nous avons utilisé un coefficient de simultanéité et d'utilisation de 0,8 pour le fax. La consommation de ces appareils de bureautique est indiquée dans le tableau 3 ci-dessous.

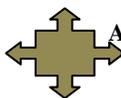


Tableau 3: Consommation électrique de la bureautique

Appareil	Puissance (W)	Nombre	Durée (heure)	Consommation moyenne (kWh/jour)	Consommation moyenne (kWh/mois)	Montant (francs CFA/jour)	Montant (francs CFA/mois)
Ordinateur	300	57	4	112,9616	2415,976	9182,183231	238736,764
	450	7	4				
	40	9	4				
Imprimante	48	18	2,24	26	572	2562,5	58938
	36	7	2,24				
	75	1	2,24				
	445	1	2,24				
	170	1	2,24				
	50	1	2,24				
	30	1	2,24				
	22	1	2,24				
	350	1	2,24				
	285	1	2,24				
	214	1	2,24				
	861	3	2,24				
	53	1	2,24				
	959	3	2,24				
	715	2	2,24				
	185	1	2,24				
	53	1	2,24				
	70	1	2,24				
52	1	2,24					
52	1	2,24					
189	1	2,24					
Photocopieuse	1550	2	3	19	449,4	2025	46623
	1000	1	3				
	1200	2	3				
scanneur	21	3	8	0,504	11,088	53,5185	1177,407
Fax	250	3	5,12	3,84	84,48	407,76	8970,72

III.3) Ascenseur

Le bâtiment du siège de la SONAR dispose d'un ascenseur de marque Otis. Il est composé d'une cabine supportant 630 kg et d'un moteur asynchrone d'une puissance de 15 kW. La figure 6 ci-dessous présente un aperçu de ce moteur.



Figure 6: Moteur de l'ascenseur

Le temps de fonctionnement de l'ascenseur est estimé à 4 heures par jour. Il a une consommation journalière de 60 kWh.

III.4) Climatisation

Le secteur de la climatisation de la SONAR est composé de 50 climatiseurs individuels et d'un monobloc de 35 kW. Le ratio de la climatisation de la SONAR est en moyenne 170 W/m². Les mesures effectuées sur les climatiseurs individuels avec l'anémomètre, l'hygromètre et le thermomètre ont permis de vérifier leurs performances à l'aide de la formule 2 donnée ci-dessous. Comme nous ne pouvons pas présenter tous les résultats de l'étude de performance des climatiseurs dans le document, nous avons choisi de présenter un échantillon dans le tableau 4. Mais l'ensemble des résultats obtenus donne des COP compris entre 1,8 à 2,1 pour les climatiseurs fenêtres et 2,5 à 2,7 pour les split systèmes. Les schémas 6 et 7 ci-dessous donnent une représentation d'un split système et un climatiseur fenêtre recensés dans l'immeuble.

$$P_f = \rho \times V \times S \times \nabla h \quad (2)$$

avec :

P_f : La puissance frigorifique en kW

ρ : La masse volumique de l'air égale à 1,2 kg/m³

V : La vitesse du soufflage du climatiseur en m/s mesuré avec l'anémomètre

S : La section du soufflage en m²

$\Delta H = h_1 - h_2$, est la variation d'enthalpie entre l'air ambiant et l'air soufflé par les climatiseurs
 h_1 et h_2 sont évaluées à l'aide du logiciel « psychometrics ». Ce logiciel présente le diagramme d'air humide.

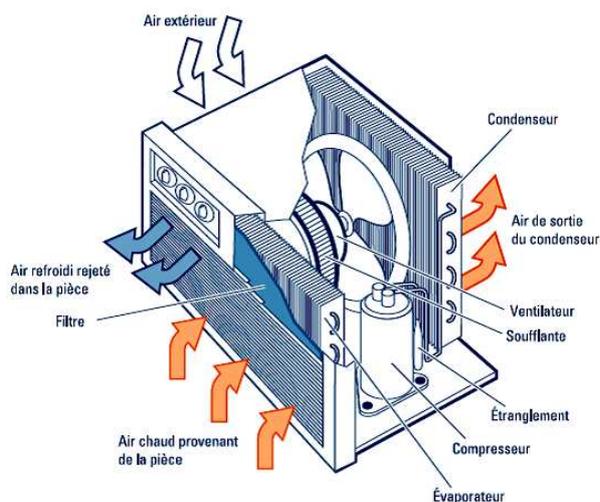


Figure 8: Climatiseur fenêtre [21]

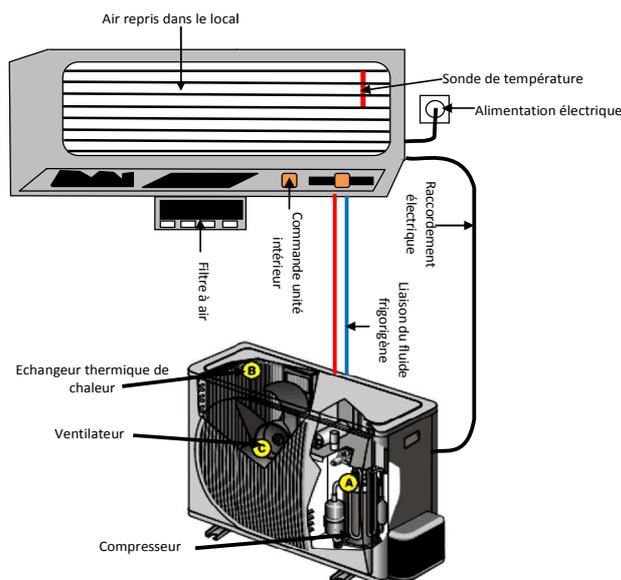


Figure 7: Split système [21]

Tableau 4: Résultats des calculs sur la performance des climatiseurs

Climatiseur paramètres	Split système		Window					
	Sharp		Sharp		National		Sunsumg	
	Local	Soufflage	Local	Soufflage	Local	Soufflage	Local	Soufflage
Température (°C)	23,5	19,9	23,8	20	22,1	19,6	23,1	18,4
Humidité relative (%)	71,1	57	65,1	69,6	80	76,6	59,5	60,1
Enthalpie (kJ/kg)	56,22	40,74	54,3	45,68	55,91	47,2	49,72	38,37
Variation enthalpie (kJ/kg)	15,48		8,62		8,71		11,35	
Vitesse de soufflage (m/s)	4,2		5,9		4,9		4,11	
Débit de soufflage (m ³ /s)	0,29		0,41		0,39		0,28	
Puissance frigorifique(kW)	5,46		4,27		4,09		3,91	
Puissance absorbée(kW)	2		2		2		2	
COP calculé	2,7		2,1		2,04		1,95	
COP théorique	2,9		2,4		2,3		2,3	

Les split système recensés dans l'immeuble ont des COP théoriques variant autour de 2,9. Les Windows sont moins performants que les split système, leurs COP théoriques varient entre 2,3 à 2,5.

Les résultats des mesures montrent que les COP des climatiseurs obtenus par des calculs sont inférieurs aux COP théoriques. Cela est dû au fait que les climatiseurs ont subi pendant les nombreuses années d'utilisation des amortissements qui ont affecté leurs performances. Ces climatiseurs seront plus gourmands en énergie électrique.

L'étude effectuée sur l'évaluation de la consommation de ces climatiseurs a permis de dresser le tableau 5 suivant :

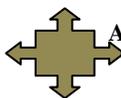


Tableau 5: Consommation des climatiseurs

Appareils	Puissance (W)	Nombre	Durée (heure)	consommation (kWh/jour)	consommation (kWh/mois)	Montant (franc CFA/jour)	Montant (franc CFA/mois)
Climatiseurs	2000	47	8	1183,2	26730,4	122569,8	2772835,6
	2000	3	24				
	35000	1	8				

Dans ce tableau, nous relevons une consommation mensuelle des climatiseurs de 26730 kWh.

III.5) Autres équipements

En plus du secteur de la climatisation, l'éclairage et la bureautique, la SONAR dispose d'autres appareils électriques qui participent à la consommation électrique de l'immeuble. Le tableau ci-dessous présente ces appareils et leurs consommations.

Tableau 6: Consommation des autres équipements

Appareil	Puissance (W)	Nombre	Durée (heure)	Consommation moyenne (kWh/jour)	Consommation moyenne (kWh/mois)	Montant (franc CFA/jour)	Montant (franc CFA/mois)
Calculatrice	7	18	8	62,09	1365,98	5283,64	116239,97
réfrigérateurs	450	3	24				
Roteur+modem	700	1	24				
Ventilateurs	60	2	1				
Distributeur d'eau	500	4	2				

La consommation totale de tous ces appareils présentée dans le tableau 6 ci-dessus s'élève en moyenne 1365,98 kWh par mois.

III.6) Récapitulatif de la consommation électrique

Le résumé de la consommation de chaque secteur est donné dans le tableau 7

Tableau 7: Consommation de l'immeuble

Appareil	Puissance (W)	Consommation (kWh/jour)	Consommation (kWh/mois)	Montant (francs CFA/jour)	Montant (francs CFA/mois)
Eclairage	9561	99,4	2146	10274	219114
Bureautique	38224	161,9	3478	14231	354446
Autres équipements	4296	62,1	1366	5284	116240
Climatisation	137000	1183,2	26730	122570	2772836
Ascenseur	15000	60	1560	6090	158340
Total	204081	1567	35280	158449	3620976

Ces résultats montrent que le secteur de la climatisation est énergivore avec 76 % de la consommation de l'immeuble. La figure 8 ci-dessous donne une représentation de la répartition en pourcentage de la consommation de l'immeuble.

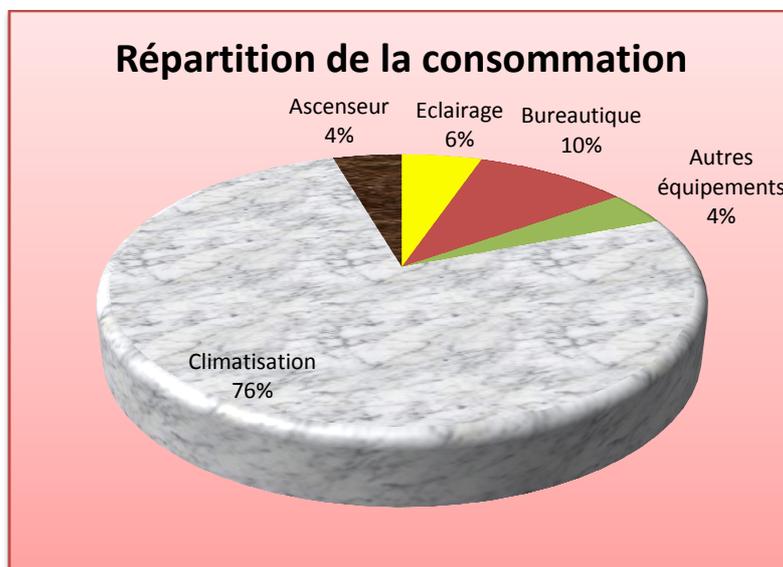


Figure 9: Répartition de la consommation

IV) Analyse de la facture

Il a été mis à notre disposition 14 mois de facture d'électricité de la période de janvier 2010 à février 2011. L'analyse de ces factures nous révèle que l'immeuble siège de la SONAR dispose d'un transformateur de 200 kVA avec une puissance souscrite de 120 kW. Des batteries condensateur de 15 kvar y sont installées et ont permis d'améliorer le cosφ à 0,99. Cela a permis à la SONAR de faire une économie d'environ 3 200 000 francs CFA sur les 14 mois de facture. La figure 9 ci-dessous donne une représentation de l'évolution de la consommation électrique de l'immeuble.

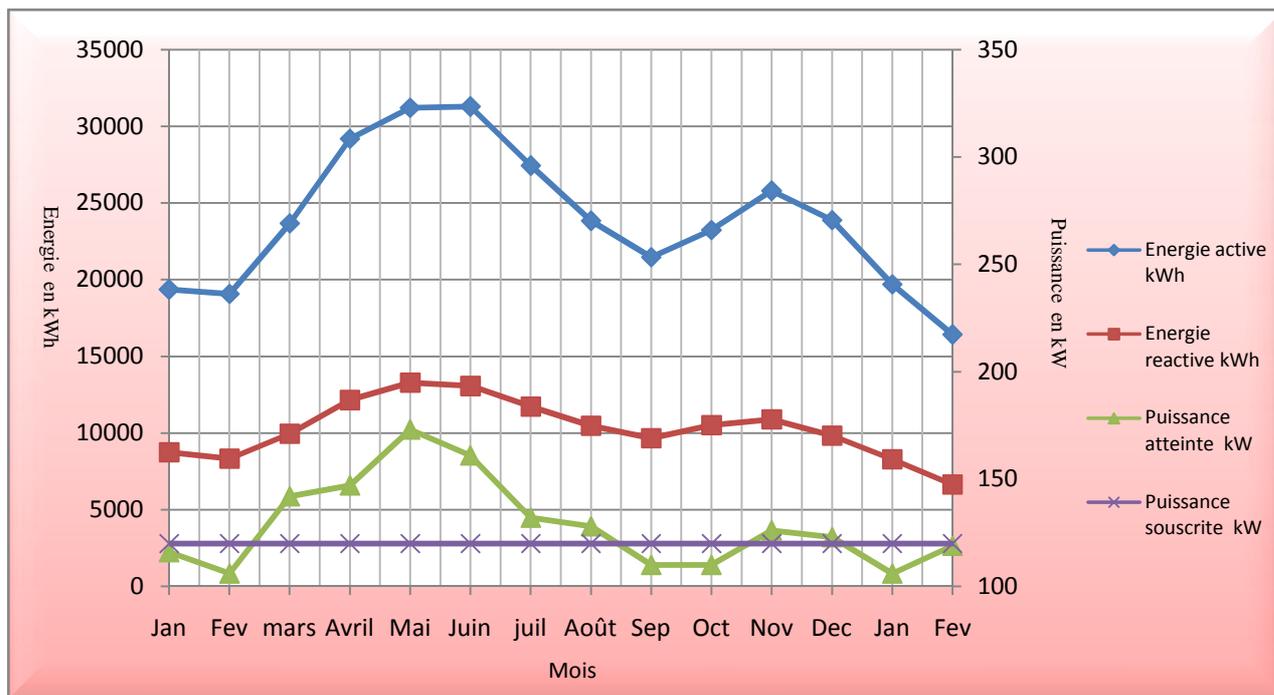


Figure 10: Evolution de la consommation

L'analyse de la figure 9 montre que la consommation de l'immeuble siège de la SONAR est élevée pendant les mois d'avril à juin à cause de la hausse de la température ambiante qui entraîne une augmentation de l'utilisation des climatiseurs. Par-contre durant les mois de décembre à février et de juillet à septembre, nous observons une diminution de la consommation. Cette diminution de la consommation peut être dû à la réduction de l'usage des appareils électrique avec la prise de congé de certain travailleurs et également à la baisse de la température ambiante qui amoindri l'utilisation des climatiseurs. Cette figure nous renseigne également que le siège de la SONAR a effectué 8 dépassements de puissance sur les 14 mois de facture avec une pénalité totale de 717 240 francs CFA. La puissance maximale atteinte est 173 kW.

Les valeurs indiquées dans les tableaux 8 et 9 ci-dessous relèvent de la simulation sur la variation de la puissance souscrite. Cela a pour objet de mettre en évidence l'influence de la puissance souscrite sur le montant total de la facture électrique. Ces résultats montrent qu'une augmentation de la puissance souscrite de 140 kW ne peut entrainer une baisse du montant de la facture énergétique (électrique) mais plutôt une augmentation de 1 293 801 francs CFA sur les 14 mois de facture. Par conséquent, résoudre le problème du dépassement de puissance du siège de la SONAR par une augmentation de la puissance souscrite n'est pas bénéfique pour cette société. Nous pensons que pour solutionner le problème du dépassement de puissance, la SONAR devrait s'investir sur la réduction de la consommation de son immeuble siège en remplaçant les appareils énergivores par ceux qui consomment moins.

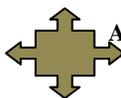


Tableau 8: Evolution de la facture avec une puissance souscrite de 120 kW

Mois	Prime fixe	Pénalité	Consommation (kWh) Active	Consommation Réactive (kWh)	Puissance atteinte (kW)	Puissance souscrite (kW)	Montant (francs CFA)
Janvier	651 599	0	19359	8748	116	120	3 069 528
Février	665 764	0	19079	8341	106	120	3007494
mars	667 889	91740	23684	9958	142	120	3720975
Avril	667 181	112590	29193	12159	147	120	4395802
Mai	677 805	221010	31214	13294	173	120	4786341
Juin	674 972	170970	31284	13075	161	120	4712714
juillet	667 889	50040	27433	11726	132	120	4079489
Août	665 764	33360	23835	10477	128	120	3622904
Sep	663 640	0	21476	9676	110	120	3275096
Octobre	667 889	0	23236	10524	110	120	3509286
Novembre	667 889	25020	25794	10901	126	120	3817231
Décembres	658 682	12510	23885	9834	123	120	3570466
Janvier	651 599	0	19707	8296	106	120	3054933
Février	657 265	0	16426	6646	119	120	2647443
Montant total (francs CFA)							51269702

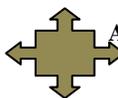


Tableau 9: Evolution de la facture avec une puissance souscrite de 140 kW

Mois	Prime fixe	Pénalité	Consommation (kWh) Active	Consommation Réactive (kWh)	Puissance atteinte (kW)	Puissance souscrite (kW)	Montant (francs CFA)
Janvier	760 199	0	19359	8748	116	140	3 197 676
Février	776 725	0	19079	8341	106	140	3138428
mars	779 204	8340	23684	9958	142	140	3753915
Avril	778 378	29190	29193	12159	147	140	4428602
Mai	790 772	137610	31214	13294	173	140	4821230
Juin	787 467	87570	31284	13075	161	140	4747046
juillet	779 204	0	27433	11726	132	140	4151793
Août	776 725	0	23835	10477	128	140	3714474
Sep	774 246	0	21476	9676	110	140	3405611
Octobre	779 204	0	23236	10524	110	140	3640638
Novembre	779 204	0	25794	10901	126	140	3919059
Décembres	768 462	0	23885	9834	123	140	3685245
Janvier	760 199	0	19707	8296	106	140	3183081
Février	766 809	0	16426	6646	119	140	2776705
Montant total (francs CFA)							52 563 503

V) Etude de la réduction de la consommation électrique du siège de la SONAR

Un audit énergétique est une opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein d'un établissement. Il s'effectue à travers la réalisation de recherche, d'étude et de contrôle visant à évaluer le niveau de performance énergétique d'une installation électrique et à analyser les causes des insuffisances permettant de prendre des actions correctives. L'analyse effectuée sur la consommation énergétique du siège de la SONAR a permis de détecter les secteurs qui peuvent faire l'objet d'une étude d'économie d'énergie.

Nous utiliserons la formule 3 ci-dessous pour recalculer la consommation des appareils après les modifications.

$$E' = \sum P_i' \times t_i \tag{3}$$

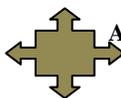
P_i' est la puissance des appareils après les mesures d'économie d'énergie, t_i est le temps de fonctionnement et E' représente l'énergie consommée.

Le gain d'énergie est obtenu avec la formule 4 ci-dessous :

$$\Delta E = E' - E \tag{4}$$

V.1) Le secteur de l'éclairage

L'éclairage détient 6 % de la consommation énergétique. Une étude sur la réduction de la consommation et l'amélioration du confort visuel effectuée dans cette partie recommande :



- ✓ Le remplacement des lampes fluorescentes de type TL-D à ballast ferromagnétique par des lampes fluorescentes de type TL5 munie de ballasts électronique et également les lampes incandescences par des lampes économiques et une augmentation de 25 lampes de type TL5.

Les caractéristiques techniques et la consommation des ampoules proposées sont indiquées dans les tableaux 10 et 11 ci-dessous

Tableau 10:Caractéristiques des lampes

Modèle	Référence	Puissance (w)	Flux lumineux (lumens)	Durée de vie (heure)
MASTER TL5 HE G5	28W/827	28	2600	24000
MASTER TL5 HE G5	14W/827	14	1200	24000
MASTER PL-Electronic Automatic	15W/827 E27 230-240V	15	900	15000

Tableau 11:Consommation électrique

Appareil	Puissance (W)	Nombre	Durée (heure)	consommation (kWh/jour)	consommation (kWh/mois)	Montant (francs CFA/jour)	Montant (franc CFA/Mois)
Eclairage	28	238	8	64	1304	8791,4	186713,4
		6	4	0,81	16		
		8	12	3,2	84		
	14	7	24	2,82	73,4		
		36	15	9,1	221,4		
	15	7	8	0,84	16,8		
		14	15	3,15	74,88		
	15	11	8	1,32	26,4		

- ✓ La suppression ou le remplacement des luminaires actuels qui absorbent presque 20 % du flux lumineux, permettra d'améliorer le confort visuel qui est relativement faible ;
- ✓ Une réorientation des réglettes vers les bureaux permet de concentrer le flux lumineux sur les lieux de travail;
- ✓ L'utilisation de la lumière naturelle le matin dans les bureaux dont les fenêtres sont orientées à l'Est et à l'Ouest ;
- ✓ L'installation d'un dispositif (une horloge) de coupure et d'allumage automatique des lampes résoudra le problème d'oubli sur l'extinction des lampes.

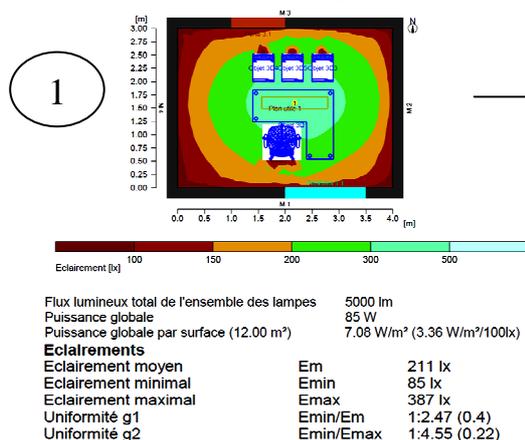
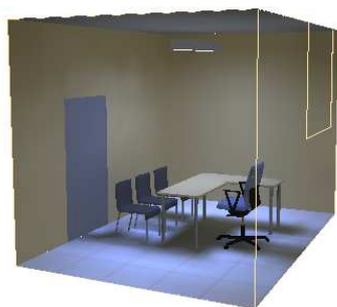


Figure 12: Bureau éclairé avec deux tubes fluorescences TL-D

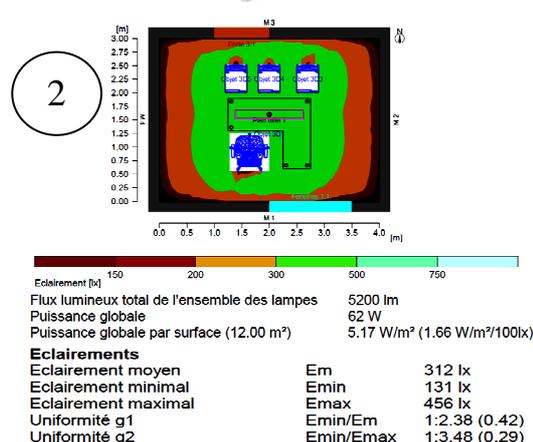


Figure 11: Bureau éclairé avec deux tubes fluorescences TL5

Les deux figures 11 et 12 ci-dessus représentent les résultats de la simulation de l'éclairage d'un bureau de 12 m² de l'immeuble siège de la SONAR avec le logiciel Reluxpro. L'observation de ces deux figures montre que le remplacement des lampes TL-D par des lampes TL5 permet non seulement d'améliorer le confort visuel mais aussi de diminuer la consommation électrique.

En appliquant ces suggestions données ci-dessus, la consommation de l'immeuble siège de la SONAR, peut être réduite mensuellement d'environ 323 kWh soit un gain dans le mois de 40400 francs CFA. Sur l'année nous évaluons un bénéfice de 485 800 francs CFA. Outre le bénéfice financier réalisé, une amélioration des confort visuels de 40 % est également effectuée. Le remplacement des lampes actuelles par des lampes économiques coûtera une somme de 1 726 000 CFA. La SONAR récupérera son investissement au bout de 3,5 ans.

V.2) La bureautique

Le secteur de la bureautique possède 10 % de la consommation de l'immeuble. Une investigation d'économie d'énergie dans ce domaine conseille :

- ✓ Le remplacement des 7 écrans cathodiques par des écrans plasma de 14 puces. Un écran plasma de 14 puce coûte environ 75 000 francs CFA. Les 7 écrans plasma coûteront 525 000 francs CFA ;
- ✓ L'utilisation des multiprises ou une horloge de coupure automatique pour déconnecter définitivement les ordinateurs, les imprimantes, les fax, les

photocopieuses du réseau électrique. Un ordinateur éteint et non débranché consomme entre 5 à 10 Watts. Le prix d'une multiprise vaut : 3000 francs CFA.

La somme totale qu'il faut investir pour l'achat de toutes les multiprises vaut : 180 000 francs CFA.

- ✓ Les impressions et les photocopies de masse sont à effectuer de 8 heures à 10 heures et de 15 heures à 16 heures. De 10 heures à 14 heures et de 16 heures à 18 heures la SONAR paie 138 francs par kilowattheure et 64 francs par kilowattheure les autres heures.

Le respect de toutes ces mesures permettra à la société de diminuer la facture énergétique de 29 600 francs par mois soit 355 206 francs CFA sur l'année. Toutes ces recommandations coûteront à la SONAR une somme de 705 000 francs CFA. La société récupérera son investissement au bout de 2 ans.

V.3) La climatisation

La climatisation consomme 76 % des besoins énergétique de l'immeuble. Une expertise sur la réduction énergétique dans ce secteur propose :

- ✓ La fermeture des portes des bureaux lorsque les climatiseurs sont mis en marche. Un climatiseur en marche dans un bureau non fermé, consomme au moins 150 Wh par heure de plus que dans un bureau fermé. Pour remédier à cela, nous proposons de remplacer les paumelles ordinaires fixées sur les portes par des paumelles à ressort. Cela permettra une fermeture automatique des portes. La figure 13 ci-dessous illustre un exemple de paumelle à ressort.



Figure 13: Paumelle à ressort [22]

Sur le marché, une paumelle à ressort coûte environ 12 000 francs CFA. Le montant total pour équiper tous les bureaux de ce type de paumelle s'élève à 792 000 francs CFA y compris les frais de main d'œuvre ;

- ✓ Le réglage de la température du climatiseur à 25°C.
Un climatiseur réglé à 18°C consommerait au moins 218 Wh de plus qu'un climatiseur réglé à 25°C. Il est prouvé scientifiquement que les personnes se sentent à l'aise à 25°C ;
- ✓ Le remplacement des 38 climatiseurs « fenêtre » d'une puissance de 2000 W chacun. Le remplacement de ces climatiseurs s'explique par leurs faibles performances. Egalement nous avons remarqué par calcul du bilan thermique,

dans certain bureau que 3,6 kW de puissance frigorifique suffirait pour apporter le confort thermique. Ces bureaux disposent à l'origine des climatiseurs de 5,2 kW de puissance frigorifique. Le choix du système de climatisation pour remplacer les 38 climatiseurs s'est porté sur le système VRV.

Le VRV ou système à Volume de Réfrigérant Variable ou à Débit de Réfrigérant Variable (DRV) est l'une des innovations les plus importantes réalisée en matière de climatisation dans ces dernières années. Il est constitué d'une unité extérieure raccordée à plusieurs unités intérieures. Le principe de fonctionnement du VRV est basé sur la variation du débit de fluide frigorigène en fonction de la température ambiante. Un détendeur électronique placé sur chaque unité intérieure ajuste en permanence le flux frigorigène. Ce détendeur permet de maintenir une température à un niveau virtuellement constant et confortable, sans les fluctuations caractéristiques des systèmes de régulation marche-arrêt (les climatiseurs fenêtres). Le dimensionnement du système VRV est effectué en fonction de la puissance frigorifique des bureaux concernés par l'étude. L'unité intérieure est choisie de telle manière à ce qu'elle puisse fournir la puissance frigorifique du local. Chaque unité intérieure est caractérisée par un indice de puissance. La somme des indices de puissance d'un ensemble d'unité intérieure permet de faire le choix de l'unité extérieure adaptée dans le tableau 14. Ainsi en considérant les résultats des tableaux 12, 13 et 14, le système VRV sera composé des éléments suivants :

- 38 unités intérieures dont 7 unités de FXAQ50P et 31 unités de FXAQ32P ;
- Deux unités extérieures : le RXYQ32PA et le RXYQ12P.

Les fiches techniques de ces unités intérieures et extérieures sont représentées dans les tableaux 13 et 15 ci-dessous.

Tableau 12: Puissances frigorifiques

R+4										
N° bureau	48	56	54 et 53	62	Info	Rect	59			
Puissance frigo (kW)	3,6	3,6	7,2	3,6	3,6	5,6	5,6			
R+3										
N° bureau	44	43	45	41	46	50 (SDGA)	DGA	49	47	42
Puissance frigo (kW)	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,6	3,6	3,6	3,6
R+2										
N° bureau	302	31	33	32	34	38	35	37	DG sinistre + Contentieux	
Puissance frigo (kW)	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,6	3,6	5,6	
R+1										
N° bureau	15	103	17	26	23 + 22	DG de 23	1 25	2 25	14	
Puissance frigo (kW)	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	5,6	3,6	3,6	3,6	
RDC										
N° bureau	1	6	4							
Puissance frigo (kW)	3,6	3,6	3,6							

Tableau 13:Caractéristiques des unités intérieures

Unité intérieur	FXAQ50P	FXAQ32P
Puissance frigorifique (kW)	5,6	3,6
Puissance absorbée (W)	33	30

Tableau 14: Sélection de l'unité extérieure

VRV*III réversible	VRV*III froid seul	Nbre d'unités extérieures*	Nbre de compresseurs*	Nbre maximum d'unités intérieures connectables	Indice de puissance minimum - 50 %	Indice de puissance maximum ** - 130%	Paliers de puissance
RXYQ5P	RXQ5P	1	1	8	62,5	162,5	18
RXYQ8P	RXQ8P	1	1	13	100	260	24
RXYQ10P	RXQ10P	1	2	16	125	325	37
RXYQ12P	RXQ12P	1	2	19	150	390	37
RXYQ14PA	RXQ14PA	1	3	23	175	455	51
RXYQ16PA	RXQ16PA	1	3	26	200	520	51
RXYQ18PA	RXQ18PA	1	3	29	225	585	55
RXYQ20P	-	2	3	32	250	650	35
RXYQ22P	-	2	4	35	275	715	36
RXYQ24P	-	2	4	39	300	780	40
RXYQ26PA	-	2	4	42	325	845	40
RXYQ28PA	-	2	5	45	350	910	45
RXYQ30PA	-	2	5	49	375	975	45
RXYQ32PA	-	2	6	52	400	1.040	46
RXYQ34PA	-	2	6	55	425	1.105	50
RXYQ36PA	-	2	6	58	450	1.170	50
RXYQ38PA	-	3	6	61	475	1.235	41
RXYQ40PA	-	3	7	64	500	1.300	46
RXYQ42PA	-	3	7	64	525	1.365	46
RXYQ44PA	-	3	7	64	550	1.430	46
RXYQ46PA	-	3	8	64	575	1.495	66
RXYQ48PA	-	3	8	64	600	1.560	66
RXYQ50PA	-	3	9	64	625	1.625	56
RXYQ52PA	-	3	9	64	650	1.690	56
RXYQ54PA	-	3	9	64	675	1.755	56

Tableau 15: Caractéristiques de l'unité extérieure

Unité extérieures	RXYQ32PA	RXYQ12P
Puissance frigorifique (kW)	89	33,5
Puissance absorbée (kW)	22,31	8,61
Efficacité énergétique (EER)	3,99	3,89

Les 38 climatiseurs absorbent 76 kW avec une consommation mensuelle de 13376 kWh. Le système VRV choisi pour le remplacement de ces climatiseurs absorbe 32,081 kW et consomme 5646,3 kWh par mois. Ce remplacement va permettre à la SONAR d'économiser 7729,7 kWh par mois avec un gain mensuel de plus de 900 000 francs CFA. Sur l'année, la SONAR fera un bénéfice d'environ 11 000 000 francs CFA. Outre le gain financier, ce système de climatisation permettra de résoudre le problème du dépassement de puissance et d'améliorer l'esthétique de l'immeuble.

Le coût des composants de ce système de climatisation est affiché dans le tableau 16 ci-dessous.

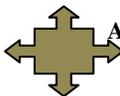


Tableau 16: Investissement du VRV

Matériels	Coût des pièces (CFA)
Unités extérieures	28 522 929
Unités intérieures	8 617 681
Conduits de fluide	3 850 890
Protections et câbles électriques	618 835
Support de fixation	272 979
Main d'œuvre	1 675 332
Total	43 558 647

La somme totale pour réaliser ce système de climatisation s'élève à 43 558 647 francs CFA.

Le tableau 17 ci-dessous affiche la somme totale que la société doit investir pour réaliser les travaux qui permettront de diminuer la consommation du secteur de la climatisation.

Tableau 17: Coût total de l'investissement de la climatisation

Matériels	Prix (CFA)
VRV	43 558 647
Paumelle	792 000
Total	44 350 647
Retour sur investissement	4 ans

Le schéma ci-dessous 14 présente le câblage du réseau du système VRV.

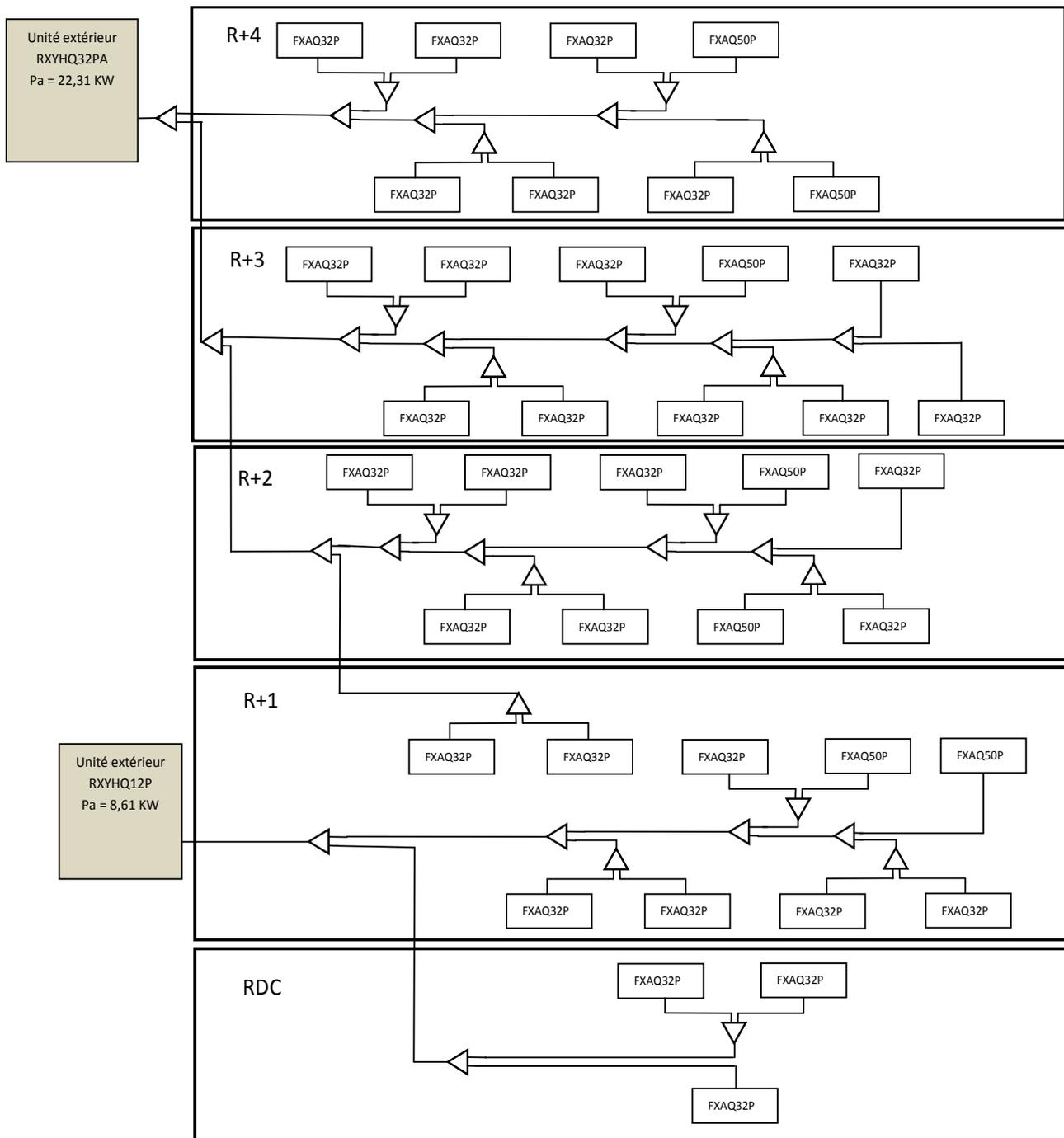
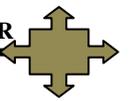
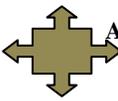


Figure 14: Réseau du système VRV

V.4) Impact environnemental

L'étude de l'impact environnemental concerne la quantité de CO₂ évitée avec la réduction de la consommation de l'immeuble. En adoptant le système de climatisation VRV et en procédant au remplacement des lampes existantes par des lampes économiques, la SONAR peut éviter une consommation annuelle de 96 140 kWh soit 1 922 804 kWh sur 20 ans. L'utilisation de la formule 5 ci-dessous donne la quantité de CO₂ évitée qui est de 1538 tCO₂.

$$\text{téqCO}_2 = \frac{0,8\text{téqCO}_2}{\text{MWh}} \times \text{Quantité d'énergie produite sur 20 ans} \quad (5)$$

VI) Dimensionnement d'une source de secours

La SONAR possède un groupe électrogène de 77 kVA qui prend 33 % de la consommation de l'immeuble en cas de coupure du réseau de la SONABEL. L'augmentation de la capacité du système de secours de la SONAR est nécessaire et permettra à la société de faire fonctionner tous ces appareils pendant les périodes de délestages et de réduire sa consommation électrique. Ainsi les activités de la SONAR ne seront pas interrompues.

VI.1) Groupe électrogène

Un groupe électrogène de secours est un dispositif composé essentiellement :

- ✓ d'un moteur thermique ;
- ✓ d'un alternateur ;
- ✓ d'une armoire d'appareillage électrique et de commande ;
- ✓ d'un châssis.

Il fonctionne généralement avec du gasoil. Cette technologie permet d'alimenter une installation électrique en cas de coupure du réseau électrique. Le choix d'un groupe électrogène dépend de la puissance apparente des équipements et de la température des lieux. En se référant à la puissance des appareils électriques (tableau 18) et en utilisant le logiciel Electric Power SpecSizer (le logiciel de dimensionnement de groupe électrogène de la marque Caterpillar), notre choix s'est porté sur le groupe électrogène GEH 275 de la marque Caterpillar. Ce groupe électrogène présente une puissance apparente de 275 kVA avec une puissance active de 220 kW et consommation 46,1 litre/heure au 3/4 de sa charge. Il coûte 25 370 800 francs CFA. La figure 15 ci-dessous donne un aperçu de ce groupe électrogène.



Figure 15: Groupe électrogène GEH 275 [W2]

Tableau 18: Dimensionnement du groupe électrogène

Appareil	Puissance active (kW)	COSφ	Puissance apparente (kVA)
Eclairage	9,561	0,6	15,9
Bureautique	38,224	0,89	42,9
Autre	4,296	0,8	5,4
Climatiseurs	137	0,8	171,2
Ascenseur	15	0,8	18,7
Total	204,081		254,5
		COSφ	0,82

VI.2) Le système photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque provient de la transformation de l'énergie solaire en électricité. Le dispositif qui sert à transformer cette énergie solaire est appelé système photovoltaïque. Un système photovoltaïque est un ensemble composé :

- ✓ des modules PV ;
- ✓ des batteries solaires ;
- ✓ des régulateurs ;
- ✓ des onduleurs ;
- ✓ des systèmes de protections ;
- ✓ des câbles de connexion.

L'installation des différents modèles de système PV présentés dans ce document sera en conformité avec les normes européennes ci-après :

- ✓ UTE C 57-300 (mai 1987) : Paramètres descriptifs d'un système photovoltaïque ;
- ✓ NF EN 61173 (Février 1995) : Protection contre les surtensions des systèmes photovoltaïques (PV) ;
- ✓ NF EN 61727 (septembre 1996) : Systèmes photovoltaïques (PV) caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau ;
- ✓ IEC 61723 : Guide de sécurité pour les systèmes PV raccordés au réseau montés sur les bâtiments ;

- ✓ UTE C 15-712 (Février 2008) : Installations électriques à basse tension – Guide pratique des installations photovoltaïques ;
- ✓ CEI 61215 (NF EN 61215) : Modules photovoltaïques au silicium cristallin ;
- ✓ CEI6 1730-1-2 (NF EN 61730-1-2) : Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques ;
- ✓ CEI 55014 (NF EN 55014) : Compatibilité Electromagnétique des onduleurs ;
- ✓ NF EN 50178 : Equipement électronique utilisé dans les installations de puissance ;
- ✓ CEI 61000-3-2 (Edition 2.2 de 2004) : Limites pour les émissions de courant harmonique ;
- ✓ NF C 15-100 (décembre 2002) : Installations électriques à basse tension, règles et guides d'application ;
- ✓ UTE C 15-105 : Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection - Méthodes pratiques ;
- ✓ NF C 17-102 (Juillet 1995) : Protection contre la foudre
- ✓ UTE C 18 510 (novembre 1988, mise à jour 1991) : recueil d'instructions générales de sécurité d'ordre électrique.

VI.2.1) Présentation et dimensionnement des modules PV et du système de stockage

a) Les modules PV

Un module PV est un regroupement en parallèle ou en série de plusieurs cellules PV. Ces cellules PV sont des dispositifs capables de générer de l'électricité lorsqu'elles sont soumises au rayonnement solaire. Le dimensionnement d'un champ PV est un exercice permettant de déterminer la surface totale des modules PV. On peut l'effectuer en tenant compte soit :

- de la consommation de l'installation et du rayonnement solaire du site ;
- de la surface disponible dans le local.

La consommation de l'immeuble siège de la SONAR, étant trop élevée pour être prise en charge par un champ PV, nous effectuerons le dimensionnement en prenant en compte, la surface disponible et le rendement des modules PV. Nous utiliserons la formule 6 ci-dessous pour réaliser ce dimensionnement.

$$P_c = \frac{S_d}{S_m} \times P_m \quad (6)$$

Dans cette formule : P_c désigne la puissance crête totale en kilowatt crête (kWc), S_d est la surface disponible dans le local en mètre carré (m^2), S_m est la surface d'un module PV en mètre carré (m^2) et P_m est la puissance crête d'un module PV en kilowatt crête (kWc).

La détermination de la production annuelle du champ PV se fera avec les données du rayonnement solaire présentées dans le tableau 19 ci-dessous.

Tableau 19: Rayonnement solaire

Mois	Rayonnement solaire (kWh/m ² /j)
Janvier	5,47
Février	6,36
Mars	6,44
Avril	6,39
Mai	6,28
Juin	6,11
Juillet	5,72
Août	5,36
Septembre	5,78
Octobre	5,89
Novembre	5,69
Décembre	5,36
Annuel	5,90

Lors de notre visite au siège de la SONAR, nous avons mesuré une surface de 250 m² disponible sur la toiture de l'immeuble. Cette visite nous a permis aussi de calculer une surface de 80 m² que nous devons laisser pour les rangées des modules, la maintenance et les ombres portées par les obstacles naturels. La surface disponible réellement pour l'installation du champ PV est de 170 m².

La recherche fait sur la sélection du module PV, nous a permis de choisir le module monocristallin de marque sunpower et de référence SPR-315E-WHT-D. En effet nous avons opté, pour ce module en vue d'installer la plus grande puissance crête sur la surface disponible et de réduire au maximum la consommation d'électricité du réseau électrique. La figure 16 ci-contre donne une image de ce module.



Figure 16: Module PV SPR-315-WHT-D

Le SPR-315E-WHT-D offre une performance et un rendement élevé. Il est composé de 96 cellules photovoltaïques à contact arrière. Le faible coefficient de température, le verre anti-reflets et les performances remarquables même à faible luminosité du module, permettent de produire une quantité d'énergie exceptionnelle par Watt crête. Le tableau 20 ci-dessous présente les caractéristiques techniques de ce module.

Tableau 20: Caractéristiques du module

Puissance crête (Wc)	Rendement (%)	Poids (kg)	Surface (m ²)	courant max (A)	tension max (V)	Courant Isc (A)	Tension Vco (V)
315	19,32	18,6	1,63	5,76	54,7	6,1	64,6

La puissance totale du champ PV déterminée à l'aide de la formule 6 est de 30 kWc. Ce champ est constitué de 96 modules SPR-315E-WHT-D et occupe une surface de 157 m².

Les modules PV seront inclinés de 15° par rapport à l'horizontale de la toiture et orientés du Nord vers le sud.

Le raccordement des différentes branches du champ PV se fera par des boites de jonction équipées de diode anti-retour.

b) Le système de stockage (accumulateur d'énergie)

Un accumulateur d'énergie est un système composé d'un ou plusieurs batteries connectées soit en parallèle pour augmenter la capacité ou en série pour disposer de la tension de la charge. Il permet de stocker de l'énergie électrique du réseau SONABEL ou des modules photovoltaïques et de restituer cette énergie pendant les périodes défavorables. La capacité d'une batterie est déterminée à l'aide de la formule 7 suivante :

$$C_b = \frac{E_{b,\Delta t} \cdot n_{\Delta t}}{U_b \cdot \eta_b \cdot DOD} \quad (7)$$

où : $n_{\Delta t}$ est la durée d'autonomie (h) ;

DOD est le seuil de profondeur de décharge maximale autorisée. Il est de l'ordre 70% ;

$E_{b,\Delta t}$, est l'énergie fournie par le système de stockage pendant la période Δt (Wh);

U_b est la tension aux bornes du système de stockage.

La capacité du système de stockage, des différents modèles du système PV, proposés dans ce document, sera calculée de façon à ce que le système de stockage, puisse assurer le fonctionnement de l'éclairage, et les appareils branchés sur les prises pendant une durée de quatre heures. Ainsi en considérant la tension aux bornes de l'accumulateur à 48 V, le rendement des batteries à 85 %, la profondeur de décharge autorisée à 70 %, 116 kWh d'énergie que ce système devra restituer à la charge et la formule 7, la capacité de l'accumulateur calculée est 4055 Ah.

Les diverses recherches faites sur les batteries ont permis de choisir la batterie OPZS SOLAR pour réaliser le système de stockage. Cette batterie à une durée de vie de 10 ans et présente 4000 cycles de charge et de décharge. Sa capacité de stockage est de 4600 Ah. Elle est robuste et nécessite un faible entretien. La tension aux bornes de chaque batterie étant de 2 V, nous devons associer en série 24 batteries OPZS SOLAR pour constituer ce système de stockage de 48 V. La figure 17 ci-dessous représente la batterie OPZS SOLAR.



Figure 17: La batterie OPZS SOLAR [16]

Le choix de la tension de 48 V du système de stockage est fait pour réduire si possible les pertes d'énergie dans les câbles de connexion par effet joule.

La connexion du système de stockage avec le reste du système PV sera effectuée à l'aide d'un coffret muni de dispositif de protection.

VI.2.2) Présentation des modèles du système PV

Le groupe électrogène de 77 kVA disponible sera utilisé pour secourir les climatiseurs

a) Le modèle 1 de système PV

Ce modèle de système PV alimente séparément deux charges, à savoir l'éclairage et les appareils branchés sur les prises. Une partie de l'énergie solaire convertie par les champs PV est utilisée pour le fonctionnement de l'éclairage via le régulateur Steca et le convertisseur Effekta. Le surplus de cette énergie est stocké dans les batteries pour alimenter les prises à travers l'onduleur chargeur HP-compact. Lorsque l'énergie des batteries devient insuffisante, le réseau prend le relais pour alimenter les prises et approvisionner le système de stockage. Pendant la nuit, l'éclairage fonctionne avec l'énergie stockée et les prises avec le réseau électrique. Ce modèle du système PV est représenté par la figure 18 ci-dessous.

Sur le schéma, l'onduleur Effekta est identifié par la lettre (A) et l'onduleur chargeur HP-compact par la lettre (B).

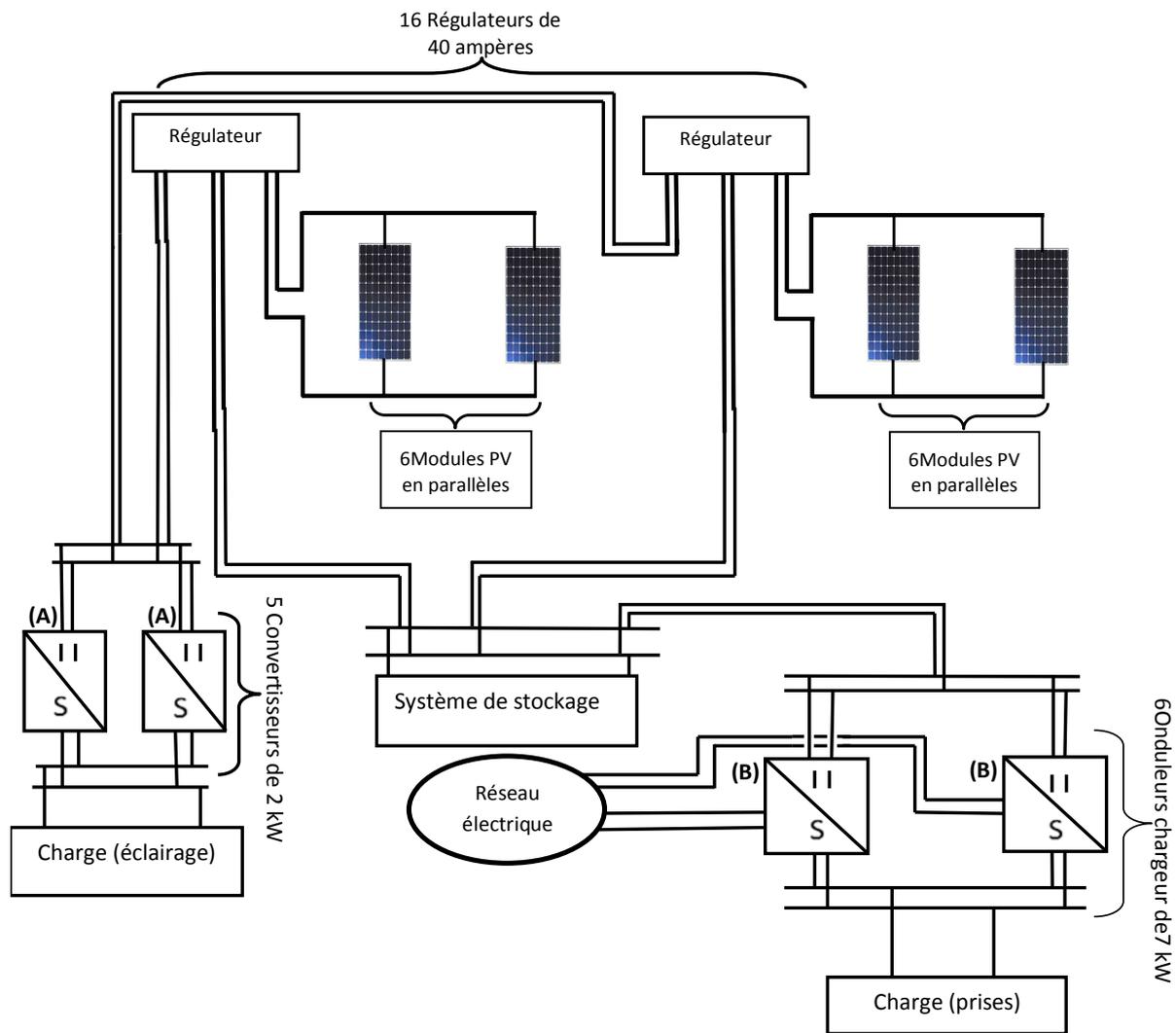


Figure 18: Schémas synoptique du modèle 1

Les résultats du tableau 7 ci-dessus établis avec l'étude effectuée sur l'évaluation de la consommation du siège de la SONAR, donnent environ 10 kW de puissance absorbée par l'éclairage et une puissance de 42 kW pour les prises. Ainsi nous devons combiner 6 onduleurs chargeurs de 7 kW pour assurer le fonctionnement des prises et 5 convertisseurs de 2 kW pour alimenter l'éclairage. Le nombre total de régulateur steca qu'il faut dans ce système PV est 16. Chaque régulateur sera branché aux bornes d'un ensemble de 6 modules PV connectés en parallèle.

b) Le modèle 2 de système PV

Dans ce modèle de système PV, le courant produit par l'onduleur chargeur HP-compact permet une injection de l'énergie fournie par les modules PV dans le réseau de la SONAR. Cette injection est effectuée par un onduleur réseau SMA. La particularité de ce modèle est qu'en cas de coupure du réseau électrique, l'onduleur chargeur HP-compact continu de fournir un courant provenant des batteries qui permet aux onduleurs réseau

d'injecter l'énergie photovoltaïque pour le fonctionnement de la charge. L'onduleur chargeur HP-compact connecté directement au réseau SONABEL assure l'approvisionnement des batteries en énergie électrique. Ce modèle est présenté par la figure 19.

Au niveau du schéma, l'onduleur chargeur HP-compact est représenté par la lettre (B) et l'onduleur réseau SMA avec la lettre (C).

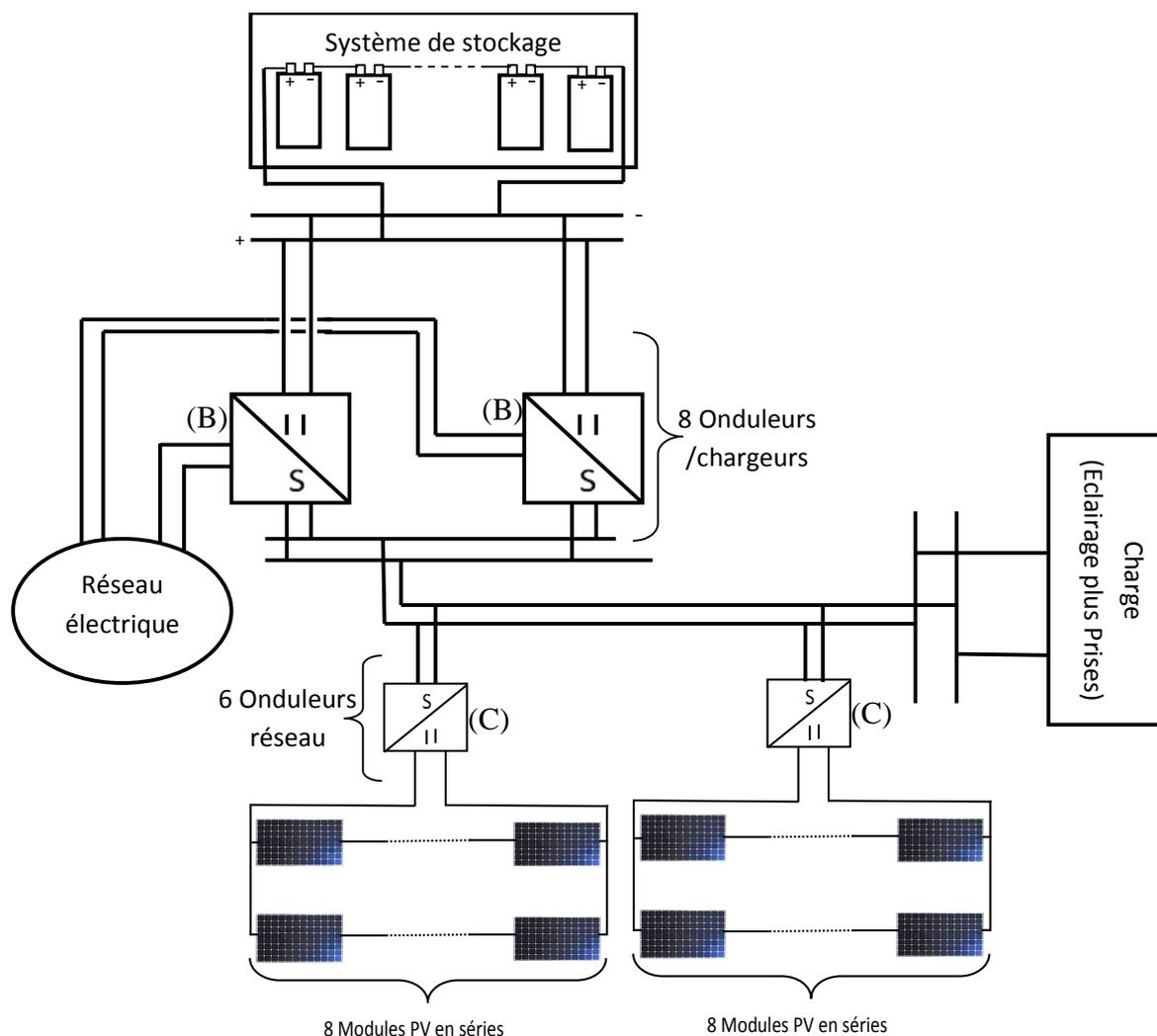


Figure 19:Schéma synoptique du modèle 2

Le fonctionnement de la charge en cas de coupure du réseau électrique de la SONABEL et avec un ciel couvert, est assuré par le système de stockage à travers 8 onduleurs-chargeurs de 7 kW. 6 onduleurs réseau de 5 kW est utilisés pour l'injection de l'énergie photovoltaïque dans le réseau électrique de la SONAR.

c) Le modèle 3 de système PV

L'énergie solaire transformée par le champ PV dans ce modèle 3 du système PV est injectée dans le réseau électrique de la SONAR par l'onduleur sun power SP 3000E-48 pour

alimenter l'éclairage et les prises. En cas de coupure du réseau électrique de la SONABEL, la charge sera alimentée par l'énergie du système de stockage via l'onduleur chargeur HP-compact et l'onduleur sun power SP 3000E-48. L'énergie stockée par les batteries provient du réseau électrique et du photovoltaïque.

Dans ce schéma, nous identifions l'onduleur chargeur HP-compact par la lettre (B) et l'onduleur sun power SP 3000E-48 avec la lettre (D).

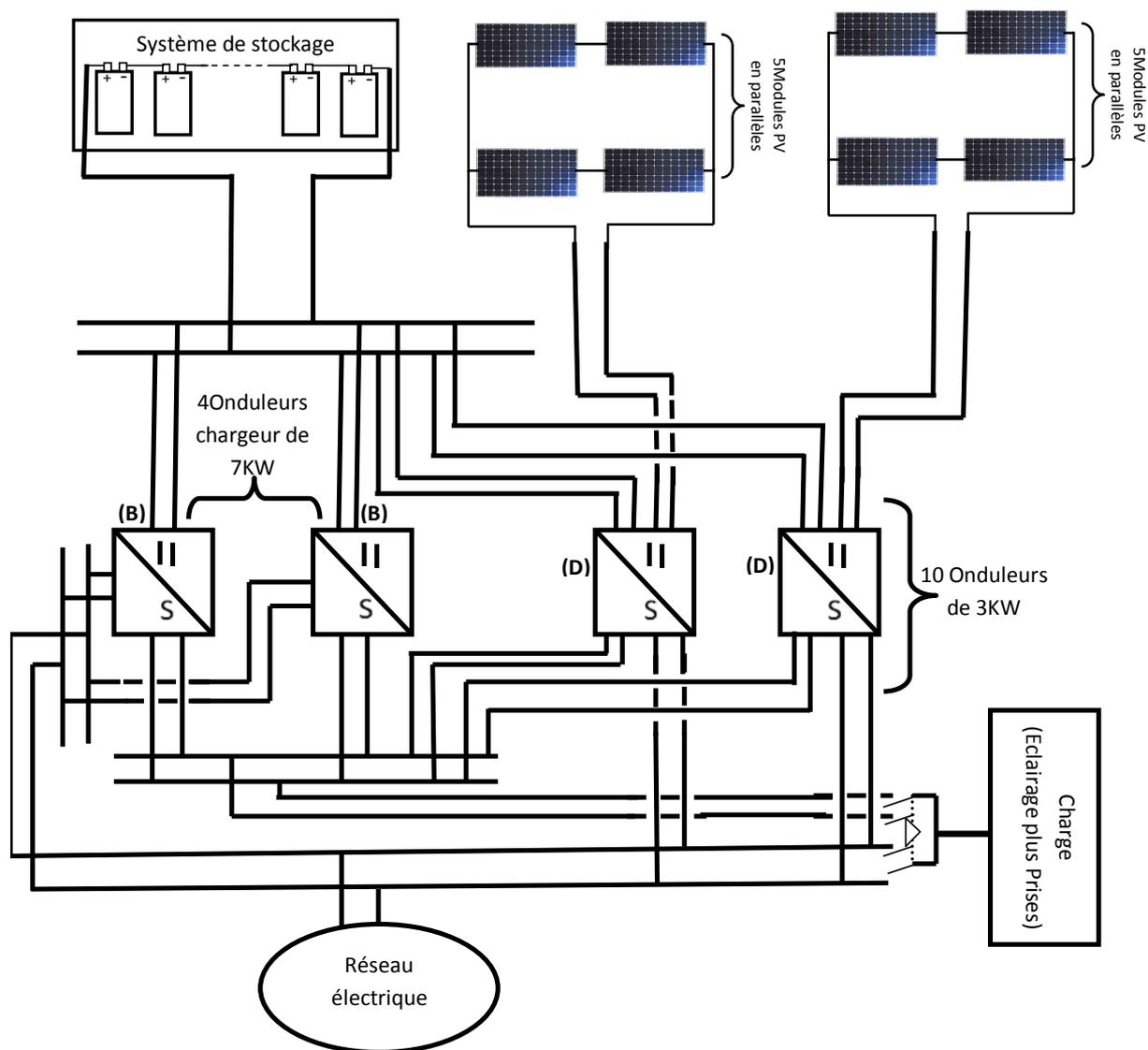


Figure 20: Schéma synoptique du modèle 3 du système PV

L'injection totale de toute l'énergie photovoltaïque produite est assurée par 10 onduleurs SP 3000E-48. 4 onduleurs/chargeurs est nécessaire avec les 10 onduleurs SP 3000E-48 pour obtenir la puissance de fonctionnement de la charge avec l'énergie des batteries en cas de coupure de la SONABEL.

VI.2.3) Présentation des autres composants du système PV

c) Les onduleurs

Un onduleur est un composant électronique qui transforme un courant continu en courant alternatif. Les onduleurs utilisés dans les différents modèles de système PV de ce manuscrit sont les suivants :

- L'onduleur Effekta, fabriqué en Allemagne, alimente des appareils en courant alternatif à partir du courant continu d'un parc de batteries ou des modules PV. Le signal pur sinusoïdal du courant produit par ce convertisseur permet d'assurer sans risque de perturbation le fonctionnement des appareils électriques sensibles. De plus, il favorise le démarrage des appareils ayant une forte demande de courant au démarrage avec une fréquence quasi-parfaite. Son efficacité varie autour de 94 %.



Figure 21: convertisseur EFFEKTA [15]

- L'onduleur chargeur HP-compact-8000-48

L'onduleur HP-COMPACT produit un courant de sortie d'une grande précision, parfaitement sinusoïdal et de fréquence stable. Il est dimensionné de manière à supporter des charges d'une puissance égale à 3 fois sa puissance nominale. L'onduleur est protégé contre les surcharges et le court-circuit. Le système de détection de charge, particulièrement précis et réglable, permet la mise en veille de l'onduleur lorsqu'aucun appareil n'est connecté. L'onduleur peut être connecté à un groupe électrogène ou au réseau électrique, permettant ainsi le fonctionnement des appareils et de charger les batteries. La fonction de régulation de charge et de décharge permet à l'onduleur de protéger le système de stockage.



Figure 22:Onduleur/chargeur [20]

- L'onduleur Sunny Mini Central 5000A ou onduleur réseau est un dispositif de conversion de courant continu en alternatif. Le courant alternatif produit présente la même amplitude et une fréquence identique à celle du réseau électrique. Bénéficiant de la fonction MPPT, cet onduleur permet de rechercher en permanence le point de puissance maximale du système PV. Garantissant ainsi le fonctionnement optimal du système photovoltaïque. Il est utilisé dans les installations de petites tailles et dans les grandes centrales de plusieurs centaines de kilowatts.



Figure 23:Onduleur réseau [18]

- L'onduleur SP 3000E-48 est un appareil de la marque Sun power. En plus de la conversion du courant continu en alternatif, cet onduleur possède également les fonctions de régulation de charge et de décharge du système de stockage et du MPPT. Il a deux sorties, l'une d'elle lui permet d'injecter l'énergie produite par les modules PV dans le réseau électrique. L'autre assure le fonctionnement d'une charge prioritaire en cas de coupure du réseau électrique avec l'énergie stockée dans les batteries ou produite directement par les modules PV. C'est un onduleur robuste avec un rendement compris entre 90 % à 94 %. La figure 24 ci-dessous montre son aspect.



Figure 24: Onduleur / réseau sunpower [17]

d) Le régulateur

Le régulateur de la marque Steca et de référence Solarix est un appareil de protection des batteries contre les surcharges et les décharges profonde. Le courant de charge de ce régulateur est limité à 10 A avec un courant d'entrée de 40 A. La figure 25 ci-dessous présente une photographie de cet appareil.



Figure 25: Régulateur de charge et de décharge [16]

e) Le câblage

Un câble de connexion des composants d'un système PV est un élément permettant de relier les modules PV en série ou en parallèle. Il assure également le raccordement du champ PV aux régulateurs, aux onduleurs, au système de stockage et à la charge.

Nous distinguons deux sortes de câbles dans un système PV : les câbles DC et les câbles AC.

Les câbles rigides DC et AC seront de type U1000RO2V âme en cuivre à isolation PVC 70° C. Nous avons choisi ces types de câble de telle manière à ce qu'ils puissent résister à des fortes températures et aux ultraviolets.

Les sections des câbles sont déterminées en fonction de la nature du courant admissible (I_z) et avec une chute de tension inférieure à 3%.

Au niveau du courant continu, le courant admissible I_z est calculé en fonction du courant délivré par le champ PV et le système de stockage et affecté d'un coefficient 1,25. Les sections des câbles sont alors déterminées en utilisant le tableau 21 ci-dessous.

Tableau 21: Sélection des sections des câbles DC

Section (mm ²)	1,5	3	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
I_z (A)	13	21	28	36	46	61	81	99	125	160	195	220	250	285	340	395

La vérification de la chute de tension se fera avec la formule 8 ci-dessous

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{2}{U} \left(\frac{L \times I_z \times \rho}{S_{Câble}} \right) \tag{8}$$

Avec :

L est la longueur du câble en mètre ;

I_z représente le courant admissible en ampère ;

ρ la résistivité du câble en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;

$S_{Câble}$ la section de câble en mm^2 ;

U est la tension en volte ;

$\Delta U/U$ est la chute de tension en pourcentage.

Au niveau du courant alternatif, le courant admissible est calculé en fonction du courant donné à la sortie des onduleurs et en utilisant la formule 9 ci-dessous.

$$I_z = \frac{I_N}{\prod_i k_i} \tag{9}$$

I_N est le courant donné à la sortie des onduleurs et k_i représente un coefficient correctif. La section des câbles sera déterminée dans le tableau 22 ci-dessous :

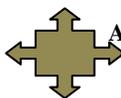


Tableau 22: Sélection des sections des câbles AC

Méthode de référence	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGES								
	PC3	PC2		PR3		PR2			
B	PC3	PC2		PR3		PR2			
C		PVC3		PV2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
S (mm ²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
2,5	21	24	26	27	30	31	33	36	
4	28	32	34	36	40	42	45	49	
6	36	41	43	48	51	54	58	63	
10	50	57	60	63	70	75	80	86	
16	68	76	80	85	94	100	107	115	
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
150		299	319	344	371	395	441	473	504

Des boîtiers équipés de connecteurs spécifiques seront utilisés pour relier les câbles.

f) La protection

Toute installation électrique doit être équipée de dispositif de protection. Ainsi pour protéger les personnes contre les risques d'électrocution, les composants du système PV contre la foudre, les courts-circuits, les surtensions et intervenir en toute sécurité sur les installations PV. Le système photovoltaïque sera équipé de sectionneurs, de disjoncteurs et des parafoudres.

Au niveau du courant continu, nous utiliserons des interrupteurs sectionneurs de marque LEGRAND avec un nom de gamme : INTER MOD PV. Les parafoudres employés dans cette partie auront les caractéristiques techniques suivantes :

- Parafoudre unipolaire CC de référence : 414150 de marque LEGRAND ;
- Tension max : (Ucpv) de 720 V ;
- Courant max de décharge : 40 kA ;
- Courant nominal de décharge : 20 kA ;
- Température d'utilisation : -25°C à 70°C.

Du coté alternatif, nous utiliserons des disjoncteurs de marque LEGRAND avec un nom de gamme : Disjonct DX possédant un pouvoir de coupure d'au moins 6 kA.

Les parafoudres AC employés auront les caractéristiques techniques suivantes :

- Parafoudre multipolaire AC de référence : SPN215D de marque PHOENIX CONTACT ;
- Courant max de décharge : 50 kA ;
- Courant nominal de décharge : 25 kA ;
- Température d'utilisation : -30 °C à + 60°C.

Tous ces dispositifs de protection seront placés à l'intérieur des coffrets. Nous distinguerons à ce effet deux types de coffret : le coffret AC et le coffret DC.

Le choix des disjoncteurs et des interrupteurs sectionneurs dépendra de l'intensité du courant d'emploi et de la nature du courant (Alternatif ou continu). Le courant d'emploi est déterminé à l'aide de la formule 9 ci-dessous.

$$I = \frac{P}{U} \tag{9}$$

avec

P est la puissance et U représente la tension

VI.2.3) Etude économique et environnementale

Chaque modèle de système PV est composé de plusieurs constituants dont les valeurs des prix actualisés sur 20 ans sont présentées dans le tableau 23 ci-dessous.

Tableau 23: Coût de l'installation PV

Composant du système	Prix (CFA) pour le système de modèle1	Prix (CFA) pour le système de modèle2	Prix (CFA) pour le système de modèle3
Module PV	49 158 466	49 158 466	49 158 466
Système de stockage	25 631 232	25 631 232	25 631 232
convertisseur Effekta	2 020 480	-	-
Onduleur/ Réseau	-	8 610 197	13 000 000
Onduleur/ Chargeur	17 550 388	23 400 517	11 700 258
Régulateur	2 244 045	-	-
Structure de fixation	1 553 408	1 553 408	1 553 408
Câblage	662 625	198 243	223 040
Protection	1 375 000	1 050 000	1 125 000
main d'œuvre	4 007 825	4 400 000	4 100 000
Investissement total	104 203 471	114 000 000	106 500 000

En utilisant les données du rayonnement solaire, présentées dans le tableau 19 ci-dessus, la production estimée à l'aide du logiciel PV-syst, le gain correspondant et le retour sur investissement pour chaque modèle de système PV sont présentés dans le tableau 24 ci-dessous.

Tableau 24 : Gain et retour sur investissement

Système PV	Production annuelle (MWh)	Gain annuel (francs CFA)	Temps de retour sur investissement
Modele1	47	6 079 800	17 ans
Modele2	48,74	6 304 885	18 ans
Modele3	47	6 079 800	17,5 ans

L'étude de l'impact environnementale effectuée a permis de déterminer que ce type de production d'électricité permet une réduction de l'émission de CO₂ d'environ 752 tCO₂ sur 20 ans.

Le coût moyen de la tonne de CO₂ évitée est environ 12 Euros soit 7 872 francs CFA. Ce projet s'il était enregistré au MDP pourrait rapporter sur 20 ans à la société une somme d'environ 6 000 000 francs CFA.

VII.4) Etude comparatives

Nous présentons dans le tableau 25 ci-dessous, les différences entre le système PV et le groupe électrogène.

Tableau 25: Comparaison du système PV et le groupe électrogène

Matériels	Avantages	Inconvénients
Système PV	<ul style="list-style-type: none"> - Ecologique au moment de la production de l'énergie ; - Coût de fonctionnement faible ; - Permet de réduire la facture énergétique ; - Matière première (soleil) inépuisable ; - N'émet pas de bruit ; - Possibilité de secourir des installations en cas de coupure du réseau électrique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Frais d'acquisition coûteux ; - Conception et installation difficile ; - Nécessite une surface importante.
Groupe électrogène	<ul style="list-style-type: none"> - Frais d'acquisition moins coûteux ; - Installation moins compliquée ; - Surface occupée moins importante ; - Possibilité de secourir des installations en cas de coupure du réseau électrique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Emission de CO₂ importante ; - Fonctionnement non permanente ; - Nécessite un investissement important pour son fonctionnement ; - Niveau sonore important ; - Matière première (Les énergies fossiles) à l'état de disparitions.

Au vu de tous ces éléments présentés dans le tableau 25 ci-dessus ; nous pensons que l'usage du système PV serait plus judicieux par rapport au groupe électrogène. En effet le système PV utilise une matière première inépuisable qui ne nécessite pas un investissement. Il permet de réduire la facture énergétique. Les groupes électrogènes sont moins rentables et leur fonctionnement favorise le réchauffement de la planète. Mais néanmoins nous pouvons utiliser les deux dispositifs simultanément en cas de coupure du réseau électrique pour augmenter la capacité ou assurer la production continue du système PV connectés au réseau.

Dans le tableau 26 ci-dessous, nous présentons les avantages et les inconvénients des différents modèles de système PV présentés dans ce document.

Tableau 26: Comparaison des modèles du système PV

Systeme PV	Avantages	Inconvénients
Modèle 1	<ul style="list-style-type: none"> - Investissement moins élevé ; - Moins de composant disposant plusieurs fonctions : réduisant le pourcentage des pannes ; - Possibilité d'assurer le service après coupure du réseau électrique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre élevé des composants augmentant les difficultés de la maintenance ; - Longueur du réseau de câblage importante, augmentant les pertes par effet joule ; - Rendement de production réduit.
Modèle 2	<ul style="list-style-type: none"> - Dispose moins de composant qui allège la maintenance ; - Service continu après coupure du réseau électrique ; - Pertes moins élevées par effet joule ; - Rendement de production plus important. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement élevé ; - Augmentation de la probabilité de panne dû au nombre important des composants disposants plusieurs fonctions.
Modèle 3	<ul style="list-style-type: none"> - Dispose moins de composant qui allège la maintenance ; - Service continu après coupure du réseau électrique ; - Pertes moins élevées par effet joule. 	<ul style="list-style-type: none"> - Coût d'investissement élevé ; - Augmentation de la probabilité de panne dû au nombre important des composants disposants plusieurs fonctions. ; - Baisse du rendement de production.

La comparaison des trois modèles de système PV sur les critères du coût de réalisation et le retour sur investissement montre que le modèle1 de système PV présente un coût d'acquisition et un retour sur investissement moins élevé que les deux autres. Ainsi sur le

plan économique c'est le modèle de système PV le plus rentable. Concernant le risque d'augmentation de probabilité de panne c'est encore le modèle 1 de système PV qui possède un pourcentage de risque moins élevé. Par-contre sur le plan de la production d'énergie, il dispose un rendement de production le moins important.

En conclusion, nous pouvons dire que de tous les dispositifs de secours présentés dans ce document, le modèle 1 de système PV est celui qui présente plus d'avantage sur le plan financier et sur l'environnement.

VII.5) Synthèse générale

Nous présentons dans le tableau 27 ci-dessous le résumé des études économiques effectuées sur les différents domaines qu'on peut intervenir pour réduire la consommation électrique de l'immeuble siège de la SONAR.

Tableau 27 : Résultats de l'étude économique

Domaines	Investissement (francs CFA)	Bénéfice annuel réalisé (francs CFA)	Temps de retour sur investissement
Eclairage	1 726 000	40400	3,5 ans
Bureautique	705 000	355 206	2 ans
Climatisation	44 350 647	11 000 000	4 ans
Système PV	104 203 471	6 079 800	17 ans

En se référant aux données du tableau 27 ci-dessus, nous pensons que la société SONAR doit d'abord s'investir dans les domaines de la bureautique et de l'éclairage dont les travaux nécessitent un coût de réalisation et un retour sur investissement moins important. Au niveau du secteur de la climatisation, ce domaine, requérant un investissement plus important pourra être réalisé après ceux cités précédemment. Le coût exorbitant de la mise en œuvre du photovoltaïque fait que sa réalisation sera beaucoup plus difficile à effectuer. Mais la SONAR peut financer une partie des travaux pour la réalisation du système PV avec les retombées économiques obtenues dans les secteurs de l'éclairage, la bureautique et la climatisation.

CONCLUSION GENERALE

Face à l'épuisement des énergies fossiles et l'augmentation de la demande en énergie entraînant une hausse du prix du kilowattheure, beaucoup de sociétés effectuent des études d'analyses sur la réduction de leurs consommations électrique. Ainsi, pour diminuer les besoins énergétiques (électrique) du siège de la SONAR, nous avons effectué un audit énergétique accompagné d'une étude de dimensionnement d'une source de secours. Il ressort de cette étude que le siège de la SONAR consomme mensuellement une énergie électrique moyenne de plus de 35000 kWh. Dans cette consommation, la climatisation détient 76 %, la bureautique 10 %, l'éclairage, l'ascenseur et les autres appareils 14 %. Ainsi le secteur de la climatisation représente le gros consommateur d'énergie électrique de l'immeuble avec des climatiseurs de faible performance. Le remplacement de 38 climatiseurs de 2000 W par un système VRV peut permettre de réduire la consommation de plus 7000 kWh par mois soit un gain annuel d'environ 11 000 000 francs CFA. Dans le secteur de l'éclairage et de la bureautique, Nous avons également mis en évidence qu'il existait une possibilité de réduire la facture énergétique.

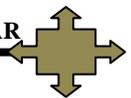
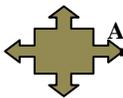
L'analyse des factures électrique nous a montré que l'installation électrique du siège de la SONAR possède un bon $\cos\phi$ dû à l'installation de 15 kvar de batterie condensateur. Mais des problèmes de dépassement de puissance ont causé des pénalités de plus de 700 000 francs CFA. La puissance maximale atteinte de janvier 2010 à février 2011 est de 173 kW contre une puissance souscrite de 120 kW. Une augmentation de la puissance souscrite permettra de résoudre le problème de dépassement de puissance mais augmenterait la facture électrique de cette société.

L'étude du dimensionnement du système de secours a montré que le système photovoltaïque est onéreux par son investissement. Il permet de réduire la consommation électrique du réseau SONABEL et également présente un impact positif sur l'environnement. En effet la centrale solaire à installer aura une puissance de 30 kWc. Elle produira environ 47 MWh par an et participera à la satisfaction des besoins d'énergie électrique à hauteur de 14 %. Celle effectuée sur le groupe électrogène montre que l'usage de ce dispositif de secours est moins rentable financièrement et sur le plan environnemental par rapport aux systèmes PV.

RECOMMANDATIONS

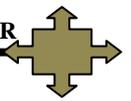
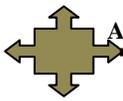
Au regard des nombreux avantages que l'énergie solaire peut apporter, nous pensons que les différents sociétés du pays doivent investir dans cette source d'énergie renouvelable pour réduire leur consommation du réseau électrique. Cela va permettre également de soulager le réseau SONABEL et aussi de résoudre le problème des délestages que nous avons subi durant ces dernier mois. Dans le cas du siège de la SONAR, pour améliorer les conditions de travail et diminuer les besoins énergétiques de l'immeuble, nous souhaiterons que les recommandations suivantes soient prises en compte :

- Refaire l'installation électrique du siège de la SONAR en vue de permettre de secourir totalement le secteur de l'éclairage en cas de coupure du réseau SONABEL ;
- Augmenter le flux lumineux dans certain bureau qui est en dessous de la valeur recommandée. Cette insuffisance du confort visuel peut causer à la longue des problèmes sur la vue des travailleurs ;
- Résoudre le problème de dépassement de puissance et la réduction de la consommation en effectuant le remplacement des appareils vétustes ou énergivore par ceux qui sont moins gourmands en énergie électrique.



BIBLIOGRAPHIE

- [1] : Pr. COULIBALY Yézouma, (2010/2011) ; cours sur l'économie d'énergie dans le bâtiment et dans l'industrie ;
- [2] : M. Ahmed O. BAGRE, (2010/2011) ; cours d'installations électrique ;
- [3] : Pr. Zacharie KOALAGA ; Cours énergie solaire photovoltaïque ;
- [4] : M. Jean Francis SEMPORE, (2008) ; Techniques frigorifiques ;
- [5] : Rapport d'activité de la SONABEL, (2009) ;
- [6] : Sunny Family (2008/2009) ; Catalogue onduleur réseau ;
- [7] : Audit du genre dans les politiques et programmes énergétiques : le cas du Sénégal (Août 2007) ;
- [8] : Madeleine Akrich, Vololona Rabeharisoa ; les conseils en économies d'énergie ; (Novembre 1989) ;
- [9] : Audit énergétique obligatoire et périodique ; Guide pratique ;
- [10] : Manuel de service de DAIKIN ; Equipement de climatisation et de refroidissement ;
- [11] : C. Hamouda ,A. Benamira ,A. Malek (25 Juin 2007) ; La formation de conseillers en maîtrise d'énergie et protection de l'environnement à l'université de Batna: Exemple d'un audit énergétique dans le secteur des matériaux de construction ;
- [12] : Syndicat des énergies renouvelables ; Revu : Générateur photovoltaïque raccordés au réseau : spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens ;
- [13] : CITEL (2010) ; Sécurité des installations photovoltaïques ;
- [14] : CIAT Service ; Manuel d'utilisation.
- [15] : Convertisseur pur sinus (Effekta) ; Manuel d'utilisation.
- [16] : Catalogue de prix des composants photovoltaïque.
- [17] : Sun Power Solartechnik GmbH ; Manuel d'utilisation.
- [18] : Sunny Family 2010/2011 ; Catalogue.
- [19] : Le livre blanc de l'Efficacité énergétique ;(2011) ; Manuel.
- [20] : HP-COMPACT ; Manuel d'utilisation et de montage.
- [21] : ÉnerGuide ;(2003); Climatiser sa maison.
- [22] : Charnières à ressort ;(2010) ; Catalogue.



[23] : Philips ;(2010) ; Sélection guide lumière ;Catalogue.

[24] : Philips ; Centredel'enseigne ; Catalogue éclairage.

[25] : Syndicat des Energies Renouvelables ; (2006) ; Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens.

WEBOGRAPHIE

[W1] : Logiciel de localisation des sites Google Earth ;

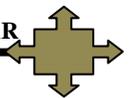
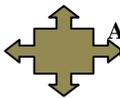
[W2] : [www. Groupe electrogene-generator-olympian-cat-275kva](http://www.Groupe electrogene-generator-olympian-cat-275kva).

[W3]: www.Tube fluo TL5 Philips HE 28W 840 115cm 6_5€ G5 Ampoule PHILIPS ProZic7.mht.

[W4]: WWW.Canon ImageRUNNER 2320L caracteristiques - photocopieuse sur COMPARER_FR.mht.

[W5] : [www. distributeur d'eau chaude et froide de Standable-alibaba_com.mht](http://www.distributeur d'eau chaude et froide de Standable-alibaba_com.mht).

[W6] : www. HP scanner photographique hp scanjet g3010 - achat-vente HP scanner photographique hp scanjet g3010 - RueDuCommerce.mht.



ANNEXES

ANNEXE 1: Présentation des matériels et des logiciels utilisés.....	II
ANNEXE 2: Caractéristiques des imprimantes	III
ANNEXE 3: Caractéristiques des photocopieuses.....	V
ANNEXE 4:Caractéristiques des onduleurs.....	VI

ANNEXE 1: Présentation des matériels et des logiciels utilisés

I.1) Les matériels

Les instruments de mesures utilisés pour effectuer les mesures sur les appareils électriques dans le siège de la SONAR sont les suivant :

- un luxmètre pour déterminer le flux lumineux dans les lieux de travail ;
- un thermomètre pour mesurer les températures dans les bureaux ;
- un anémomètre qui mesure la vitesse de soufflage des climatiseurs ;
- un hygromètre qui sert à déterminer l'humidité relative de l'air.

Les figures 1 ; 2 ; 3 ; 4 donnent respectivement les images du luxmètre, du thermomètre, de l'anémomètre et de l'hygromètre utilisés.

I.2) Les logiciels

Certaines études nécessitent l'utilisation de logiciels pour déterminer des paramètres ou identifier la position d'un site. Parmi les logiciels utilisés dans ce document nous pouvons citer :

- Google Earth qui est un logiciel permettant de situer géographiquement un site ;
- PV-syst : un logiciel de dimensionnement de système PV ;
- Electric Power SpecSizer : un outil de dimensionnement de groupes électrogènes ;
- Microsoft Office Excel pour effectuer les différents calculs ;
- Psychrométries illustrant le diagramme d'air humide ;
- Reluxpro outil permettant de simuler l'éclairage ;
- Energie plus outil donnant des informations sur l'économie d'énergie ;
- LISE V2 est un instrument de dimensionnement de système PV.



Luxmètre



Hygromètre



Thermomètre



Anémomètre

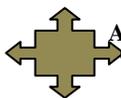
Figure 26 : Les appareils de mesure

ANNEXE 2: Caractéristiques des imprimantes



Nom du modèle	Epson DFX-9000 (version standard) (C11C605011)
Caractéristiques d'impression	
Caractéristiques d'impression (Code-barres)	EAN-13, EAN-8, 2 parmi 5 entrelacé, UPC-A, UPC-E, Code 39, Code 128, POSTNET
Alimentation papier	
Format d'alimentation	Tracteur poussant (avant, arrière), tracteur poussant-trant (avant, arrière)
Chemin de papier	Tracteur (insertion par l'avant ou par l'arrière, sortie par le haut)
Caractéristiques électriques	
Plage de tensions nominale	100 à 240 V c.a.
Plage de fréquences nominale	50 à 60 Hz
Consommation électrique	Environ 185 W Environ 7,5 W en mode veille prolongée Conformité Energy Star
Sécurité et réglementations	
Normes de sécurité	UL60950, SA C22.2 No. 60950, EN 60950
Compatibilité électromagnétique	FCC partie 15 sous-partie B classe B, CAN/CSA-CE/IEC CISPR22 classe B EN 55022 classe B, EN 55024, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3
Dimensions et poids	
Dimensions (L x P x H)	700 x 378 x 363 mm
Poids	34 kg
Gestion papier	
Papier continu (feuille simple)	I x L = 76,2 x 76,2 mm à 419,1 x 558,8 mm Epaisseur : min. 0,065 mm, max. 0,10 mm Grammage : min. 52 g/m ² , max. 82 g/m ²
Papier continu (multicopie)	I x L = 76,2 x 76,2 mm à 419,1 x 558,8 mm Copies : 1 original + 6 copies (alimentation par l'arrière), 1 original + 9 copies (alimentation par l'avant) Epaisseur totale : min. 0,12 mm, max. 0,53 mm (alimentation par l'arrière) min. 0,12 mm, max. 0,79 mm (alimentation par l'avant) Grammage (une feuille simple à plusieurs volets) : min. 41 g/m ² , max. 56 g/m ²

Figure 27 : Imprimante Epson DFX-9000 a papier listing



Référence : C11C544001BR
Fabricant : EPSON



Epson EPL-N3000	
Fiche technique	Détails
Type de produit	Imprimante laser noir et blanc
Résolution d'impression max.	1 200 x 1 200 dpi
Connectiques	USB 1.1, parallèle
Compatible en réseau	Oui
Fonction	PostScript
Capacité de mémoire	64 Mo
Vitesse d'impression max. (couleur)	0 ppm
Vitesse d'impression max. (noir & blanc)	24 ppm
Format d'impression max.	Légal (216 x 356 mm)
Consommation électrique en marche	959 Watts
Consommation électrique en veille	76 Watts
Disque dur	0 Go

Figure 28 : Imprimante Epson EPL-N3000

Imprimante Laser Noir et Blanc
EPSON EPL-6200N
Référence : C11C533011BR
Fabricant : EPSON



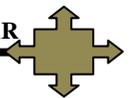
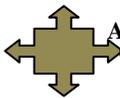
Température
En fonctionnement : 10 à 35 °C (50 à 95°F)
Stockage : 0 à 35 °C (32 à 95 °F)

Humidité
En fonctionnement : 15 à 85 % HR
Stockage : 30 à 85 % HR

Niveau sonore Fonctionnement / Veille : 54 dB(A) maximum (à une température ambiante de 25°C)
Niveau sonore en mode inactif : Aucun bruit (mode Energy Star)

Alimentations électriques
Tension nominale : 220 V à 240 V ± 10 %
Fréquence nominale : 50 ou 60 Hz ± 3 Hz
Intensité nominale : inférieure à 4.5 A
Consommation électrique : 851 W (à pleine puissance)
Consommation électrique : 372 W (à puissance moyenne)
Consommation électrique : inférieure à 48 W (en mode veille)
Consommation électrique : 7 W (en mode inactif)

Figure 29 : EPSON EPL-6200N



ANNEXE 3: Caractéristiques des photocopieuses



AR-M201F / AR-M201NF avec une cassette papier supplémentaire (AR-033)

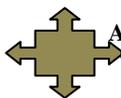
Générales	
Type	Console
Technologie	Laser
Vitesse de traitement A4 (max.)**	20 cpm/ppm
Formats papier	Max A4 – Min A6
Grammages papier	Cassette 56-80 g/m ² By-pass 56-128 g/m ²
Capacité papier	Std : 300 feuilles (1 x 250 + 50) Max : 550 feuilles (2 x 250 + 50)
Préchauffage**	0 sec. (démarrage auto)
Mémoire	64 Mo
Recto-verso	Standard
Consommation d'énergie	1 Kw max
Dimensions (LxPxH)	AR-M201 : 518 x 445 x 298 mm AR-M201F : 518 x 445 x 371 mm AR-M201NF : 518 x 504 x 371 mm
Poids	AR-M201 : 18,3 Kg AR-M201F : 20,6 Kg AR-M201NF : 21,6 Kg

Figure 30 : Photocopieuse multifonction AR M201



Vitesse de copie/impression	A4 imageRUNNER 2320 : 20 ppm, imageRUNNER 2310 : 10 ppm A3 imageRUNNER 2320 : 10 ppm, imageRUNNER 2310 : 10 ppm
Taux de reproduction	Variable : 25-400 % Fixe : 50 %, 70 %, 100 %, 141 %, 200 %
Temps de sortie de la première copie	7,9 secondes
Temps de préchauffage	13 secondes environ
Copies/impressions multiples	1 à 99 feuilles
Recto verso	Fonction en option, automatique et sans stockage
Grammage des supports	Cassette : 64 à 90 g/m ² Plateau d'alimentation : 64 à 128 g/m ² Recto verso : 64 à 90 g/m ²
Cassette	Universelle : A5 à A3
Capacité papier	En standard : 250 feuilles x 1 cassette (80 g/m ²) Plateau d'alimentation : 80 feuilles (80 g/m ²) pour les formats A5R à A4, 50 feuilles pour le format A3 (80 g/m ²) En option : 250 feuilles x 3 cassettes (750 feuilles) Capacité papier maximale : 1 000 feuilles
Processeur	Processeur personnalisé Canon, 150 MHz
Mémoire	64 Mo (partagée)
Interface	USB 2.0, en option : Ethernet (100Base-TX/10Base-T)
Alimentation	220-240 V CA ±10 % (50/60 Hz)
Consommation électrique	1,55 kW max.
Dimensions (l x P x H)	622 x 630 x 500,4 mm
Poids	39,6 kg environ

Figure 31 : Photocopieuse multifonction



ANNEXE 4:Caractéristiques des onduleurs

Onduleur /chargeur (HP-Compact)

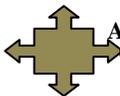
Spécification	Caractéristiques
Tension nominale de la batterie	48 V
Plage de tension d'entrée	38 V - 68 V
Puissance de sortie continue à 25 °C	7000 VA
Puissance de sortie (30 minutes) à 25 °C	8000 VA
Rendement	96%
Tension de sortie	230 Vac
Fréquence de sortie	50 Hz
Courant de charge réglable	0-90 A
Tension maximum d'entée	265 Vac
Poids	45 Kg

Onduleur / réseau (SMA)

Spécification	Caractéristiques
Type	Sunny Mini Central 5000A
Puissance AC de sortie max	5,5 kW
Puissance AC de sortie nominale	5 kW
Tension du réseau	230 V
Courant AC de sortie max	26 A
Courant AC de sortie nominal	21,7 A
plage de tension MPP	246 V- 480 V
Puissance PV maximale	5,25 kW
Courant PV maximum	26 A
Rendement	96%

Onduleur / Chargeur-Réseau (Sunpower)

Spécification	Caractéristiques
Type	SP 3000E 48
Puissance nominale recommandée du générateur	3900 Wc
Puissance d'entée DC (40°C)	3400 Wc
Plage de tension d'entrée	58 Vcc - 150 Vcc
Tension de la batterie	48 V
Puissance de sortie max (40 °C)	3000 VA
Plage de tension d'entrée du réseau	196 VAC - 253 VAC
Puissance de sortie max (40 °C) mode autonome	3000 VA
Poids	60 kg
rendement	94%



Convertisseur (Effekta)

Spécification	Caractéristiques
Modèle d'appareil	WRS-048-2000
Puissance	2000 W
Puissance de sortie maximale	2300 (3 minutes)
Tension d'entrée	48 V
Plage de tension d'entrée	42-62VDC
Message d'avertissement surtension d'entrée DC	61 VDC
Coupure surtension d'entrée DC	62 VDC
Message d'avertissement sous-tension d'entrée DC	43 VDC
Coupure surtension d'entrée DC	42 VDC
Tension de sortie	200 V-240 V
Fréquence	50/60 HZ
Rendement	94%
Fonctionnement à vide courant absorber	0,4 A
Poids	7,2 kg