

# ALIMENTATION ELECTRIQUE DU FORAGE D'EAU DU PORT AUTONOME DE POINTE-NOIRE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
**OPTION : GENIE ENERGETIQUE**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 20/01/2016 par

**Aude Cécile BANTATOULA MAFOUANA**

**Travaux dirigés par :** Ing. Henri KOTTIN (Enseignant 2iE)

Maxime CHAUDERON (Chef de service GET, Bouygues E&S Congo)

**Jury d'évaluation du stage :**

**Président :** Ing. Justin BASSOLE (Enseignant 2iE)

**Membres et correcteurs :** Ing. Moussa KADRI (Assistant d'enseignant et de recherche 2iE)

Ing. Henri KOTTIN (Enseignant 2iE)

**Promotion 2014-2015**

# REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail nous tenons à exprimer notre profonde gratitude

A la fondation 2iE pour n'avoir ménagé aucun effort à l'aboutissement de ce travail qui est le fruit d'une formation de qualité.

A Monsieur Patrice Flageul, chef de département génie électrique, thermique et Oil&Gas de la société Bouygues E&S Congo pour l'opportunité de faire le stage de fin de cycle à Bouygues E&S Congo,

A Monsieur Maxime CHAUDERON chef de service génie électrique et thermique de la société Bouygues E&S Congo pour les nombreuses remarques constructives et les encouragements tout au long du déroulement du stage,

A mon encadreur Monsieur Henri KOTTIN pour sa constante disponibilité, son soutien et son encadrement de rigueur.

A l'association SGEL pour son soutien, ses encouragements et son accompagnement.

A mes amis : Israël COULIBALY & Anna MPADZOU pour le soutien moral et matériel

A tous les membres de ma famille, à mes amis et à tous les camarades de la promotion 2013-2015 du Master génie électrique et énergie pour les merveilleux moments passés ensemble au cours de la formation.

# DEDICACE

A mes parents BANTATOULA Marc et BANTATOULA Yvonne

A mon oncle Albert BATONTA

A mon Pasteur Ludovic MABIALA

A mes sœurs et frères

Trouver en ce travail, le fruit de votre soutien et amour.

## RESUME

Le présent mémoire rédigé suite au stage réalisé dans l'entreprise Bouygues Energie & Service Congo a porté sur l'alimentation électrique du forage d'eau situé à l'entrée du Port Autonome de Pointe-Noire (PAPN).

L'analyse du projet a fait ressortir que l'exécution des travaux a connu un retard entraînant de ce fait, des coûts supplémentaires faisant en sorte que le projet n'a pas atteint les objectifs visés. Plusieurs facteurs expliquent cela. Il s'agit entre autres, du non prise en compte de certains paramètres qui auraient pu être détectés, si une étude d'environnement externe avait été entreprise avant le lancement du projet. L'étude technique a fait révéler que l'utilisation d'une pompe immergée a démarrage direct présente moins d'avantages qu'une pompe a démarrage étoile-triangle de même, le groupe électrogène pour l'alimentation secours du forage est surdimensionné. Ce qui peut engendrer des conséquences telles que la forte consommation en énergie au démarrage de la pompe immergée, les pertes en carburant. Ainsi, remplacer le groupe électrogène de 400 kVA par un groupe électrogène de 130 kVA et l'achat d'une pompe immergée à démarrage étoile-triangle pour ces prochains projets constitue les recommandations clés faites à l'égard du PAPN en vue d'assurer non seulement une longue durée de vie au GE mais aussi une économie d'énergie et du carburant.

Une comparaison entre l'alimentation électrique du forage d'eau du PAPN par une source conventionnelle et celle à l'aide d'une source renouvelable (photovoltaïque) a été réalisée. De cette analyse, il ressort que l'installation du système PV isolé est une option difficilement réalisable au PAPN compte tenue de la disponibilité limitée de l'espace. En outre, il ressort que l'installation du système PV connecté au réseau n'est pas économiquement rentable compte tenue des valeurs élevées du temps de retour sur investissement pour les différentes puissances injectées au réseau. Cette partie du travail a montré que le photovoltaïque n'est pas une option intéressante pour l'alimentation électrique du forage d'eau du PAPN compte tenue du prix bas du kWh à Pointe -Noire. Le port gagnerait mieux à investir dans l'alimentation conventionnelle.

Cependant, nos travaux ont révélé que pour des pays où le prix du kWh est élevé comme le Burkina-Faso, l'utilisation du photovoltaïque est une bonne option.

**Mots clés :** alimentation électrique, forage d'eau, PAPN, Photovoltaïque

## ABSTRACT

The present thesis wrote in the context of the traineeship realized in the enterprise Bouygues Energies & Services Congo; have to do with electric supply of the water drilling at the entrance of the PAPN.

The analysis of the project bring out that, the works' execution accused a delay and this, induce supplementary costs causing the project to not achieve the targeted goals. Many factors can explain this situation. One of these factors is the no taking into account of certain parameters that would have been detected if an environmental study had been carried out initially during the project conception phase. The technical study revealed that using a submerged pump with direct start has fewer benefits than a pump startup Star-delta as well, generator for emergency power drill is oversized. This can cause consequences such as high energy consumption when starting the submersible pump, fuel loss. Thus , replace the generator 400 kVA by a generator of 130 kVA and buying a submersible pump to star-delta starting for the coming projects is the key recommendations made in respect of PAPN in order to ensure an energy economy and fuel saving.

A comparison among the electric supply of the PAPN water drilling by a conventional source and the one through a renewable source (photovoltaic) has been done. From this analysis, it comes out that the installation of an isolated PV system is an option difficult to realize at PAPN because of the limited space available. In addition, it comes out that the installation of a PV system connected to the network is not profitable because of the high values of the TRI for the different powers injected in the conventional network. This part of the work showed up that the PV is not an interesting option to the electric supply of the PAPN water drilling because of the low price the kWh at Pointe-Noire. The PAPN will get more profits by investing in the conventional electric supply.

However, our works revealed that for countries like Burkina-Faso, where the price of the kWh is high, the using of PV for electric supply is a good option.

**Key words:** Electric supply, Water drilling, PAPN, Photovoltaic

# LISTE DES ABREVIATIONS

Byes : Bouygues Energies & Services

Bouygues E&S : Bouygues Energies & Services

PAPN : Port Autonome de Pointe Noire

SNDE : Société Nationale d'Electricité

SOGECO : Société Génie Electrique du Congo

$I_B$  : Courant d'emploi

$I_n$  : Calibre du disjoncteur

GE : Groupe électrogène

PV : Photovoltaïque

V : Volt

PED : Pays envoi de développement

CFCO : Chemin de fer Congo Océan

Gene : générateur

EVASAN : Evacuation sanitaire

QHSE : Qualité Hygiène sécurité environnement

HSE : Hygiène sécurité environnement

h : Hauteur

l : Largeur

L : Longueur

$P_u$  : Puissance utile

$P_{ab}$  : Puissance absorbée

CH : Consommation horaire d'un groupe électrogène

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	i
DEDICACE.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS .....	v
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>vi</b>
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES PHOTOS .....	x
LISTE DES ANNEXES .....	x
INTRODUCTION.....	1
Chapitre 1 : PRESENTATION DE BOUYGUES ENERGIE & SERVICES CONGO.....	3
1.1 Raison social et historique de Bouygues E&S Congo.....	3
1.2 Domaines d’expertise, Marchés et Activités de Bouygues E&S Congo.....	3
1.2.1 Domaines d’expertise .....	3
1.2.2 Marchés .....	4
1.2.3 Activités principales .....	4
1.3 Moyens humains et matériels .....	5
1.3.1 Moyens humains .....	5
1.3.2 Moyens matériels .....	5
1.4 Organigramme de Bouygues E&S Congo.....	5
Chapitre 2 : PRESENTATION DU PROJET .....	7
2.1 Présentation du Port Autonome de Pointe Noire.....	7
2.2 Contexte du Projet .....	7
2.3 Cahier de charge .....	8
2.4 Présentation des existants du projet.....	8

2.4.1	La pompe immergée du forage.....	8
2.4.2	Le groupe électrogène .....	9
Chapitre 3 : CHIFFRAGE DU PROJET ET SELECTION DU SOUS – TRAITANT .....		10
3.1	Chiffrage du projet.....	10
3.1.1	Offre technique.....	10
3.1.2	Offre financière .....	11
3.2	Sélection des sous-traitants et choix du sous-traitant .....	12
Chapitre 4 : ETUDE D’EXECUTION ET REALISATION DES TRAVAUX .....		13
4.1	Caractéristiques techniques du local GE .....	13
4.1.1	Dimensions du local et agencement des GE dans le local .....	13
4.1.2	Ventilation du local .....	14
4.1.3	Orientation du local.....	15
4.1.4	Dimensions des ouvertures de rejets et d’entrée d’air .....	15
4.1.5	Choix et position des grilles de ventilation.....	15
4.1.6	Conduit des gaz d’échappement.....	17
4.2	Etude électrique de l’installation .....	17
4.2.1	Sources d’alimentation .....	17
4.2.1.1	Source d’alimentation normale .....	17
4.2.1.2	Source d’alimentation secours : Dimensionnement et choix du groupe électrogène .....	18
4.2.1.3	Estimation des pertes du à la consommation horaire d’un GE surdimensionné	22
4.2.2	Sections de câble .....	23
4.3	Compensation en énergie réactive .....	28
4.3	Suivi du projet .....	29
4.3.1	Suivi des travaux .....	29
4.3.2	Suivi financier du projet .....	32

Chapitre 5: COMPARAISON TECHICO-ECONOMIQUE DE L'ALIMENTATION DU FORAGE PAR SOURCE CONVENTIONNELE ET CELLE PAR SOURCE RENOUEVELABLE PHOTOVOLTAIQUE .....	33
5.1 Etude technico-économique du système photovoltaïque non connecté au réseau .....	33
5.1.1 Rôle et importance des différents composants du système.....	34
5.1.2 Dimensionnement du système PV [7].....	35
5.2 Etude technico-économique d'un système PV connecté au réseau .....	44
5.2.1 Choix protection des systèmes.....	45
5.2.2 Calcul de section des câbles.....	46
5.2.3 Analyse financière de l'installation.....	47
RECOMMANDATIONS.....	52
CONCLUSION.....	53

### LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Caractéristiques de la pompe immergée .....	9
Tableau 2: Caractéristiques du groupe électrogène existant .....	9
<b>Tableau 3:</b> Rôle et responsabilités des acteurs projet.....	11
Tableau 4: Résultats du bilan de puissance de la charge totale du transformateur CIPAPN ....	18
Tableau 5: Caractéristiques des récepteurs de l'installation .....	19
Tableau 6: Puissance du GE par rapport aux différents modes de démarrage.....	20
Tableau 7: Résultats de la verification .....	21
Tableau 8: Classement des modes de démarrage suivant la puissance du GE.....	22
Tableau 9 : Consommation horaire des GE .....	23
Tableau 10 : Courants d'emploi et calibres de protection .....	23
<b>Tableau 11:</b> Section de câbles.....	24
Tableau 12: Chute de tension en régime nominal .....	27
Tableau 13: Chute de tension en régime transitoire .....	27
Tableau 14: Section de câble pour les modes de démarrage direct.....	28

Tableau 15: Puissance des batteries de condensateur ( $\Delta Q$ ) .....	29
Tableau 16: Planning détaillé des activités .....	30
<b>Tableau 17:</b> Rapport Suivi des travaux du projet.....	31
<b>Tableau 18:</b> Avancement global des travaux par période .....	32
<b>Tableau 19:</b> Suivi financier du projet a la date du 25 Juillet 2015 .....	32
Tableau 20: Tension du système en fonction de la puissance .....	36
<b>Tableau 21:</b> Résultats du calcul de la capacité des batteries.....	38
<b>Tableau 22:</b> Estimation de la surface occupée par les batteries .....	38
<b>Tableau 23:</b> Caractéristiques du champ PV pour le système isolé .....	39
<b>Tableau 24:</b> Estimation de la surface occupé par le champ PV .....	40
<b>Tableau 25:</b> Ratio de vérification .....	41
<b>Tableau 26:</b> Résultats du calcul de l'intensité du régulateur .....	42
<b>Tableau 27:</b> Estimation de la surface occupée par les régulateurs.....	43
<b>Tableau 28:</b> Caractéristiques des champs PV obtenues par simulation .....	44
<b>Tableau 29:</b> Calibre de fusibles .....	46
<b>Tableau 30:</b> Section de câbles .....	46
<b>Tableau 31:</b> Frais initiaux des différents champs.....	47
<b>Tableau 32:</b> Frais de remplacement des différents composants du système PV.....	48
<b>Tableau 33:</b> Frais d'entretien et de réparation des composants du système PV .....	48
<b>Tableau 34:</b> Coûts totaux d'investissement .....	49
<b>Tableau 35:</b> Temps de retour sur investissement des différents champs PV (selon le prix du kWh à Pointe-Noire) .....	50

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Organigramme de Bouygues E&S Congo .....	6
<b>Figure 2 :</b> Dimensions du local selon l'agencement des GE dans le local .....	14
<b>Figure 3 :</b> Orientation du local .....	15
<b>Figure 4:</b> Disposition des grilles de ventilation du local GE.....	16
<b>Figure 5:</b> Type de cheminée [2].....	17
<b>Figure 6:</b> Choix du GE .....	21
<b>Figure 7:</b> Schéma du système PV non connecté au réseau.....	34

## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 1:</b> Domaines d'expertise de Bouygues E&S Congo [1].....	3
<b>Photo 2:</b> Marchés d'intervention de Bouygues E&S [1].....	4

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Schéma de présentation du projet .....	55
Annexe 2: Macro planning du projet.....	56
Annexe 3: Organigramme projet.....	57
Annexe 4: Plan EVASAN [1].....	58
Annexe 5: Eléments de chiffrage du Projet.....	59
Annexe 6: Calcul des dimensions du local en fonction des dimensions des GE.....	60
Annexe 7: Différents modes de démarrage [8].....	61
Annexe 8: Bilan de puissance de l'installation.....	61
<b>Annexe 9:</b> Calcul du courant d'emploi .....	62
Annexe 10: Calcul de chute de tension au démarrage.....	62
Annexe 11: Schéma électrique de l'installation .....	63
Annexe 12 : Dispositifs de protection de l'installation .....	64
Annexe 13: rapport de calcul des courants de court-circuit .....	65
Annexe 14: Caractéristiques de la batterie solaire.....	66
Annexe 15: Caractéristiques du module PV .....	66
Annexe 16 : Choix du régulateur.....	66
Annexe 17: Caractéristiques du régulateur.....	67
Annexe 18: Frais d'investissement pour le champ PV de 10 kWc .....	67
Annexe 19: Frais d'investissement pour le champ PV de 20 kWc .....	67
Annexe 20: Frais d'investissement pour le champ PV de 30 kWc .....	68
Annexe 21: Données géographiques de Pointe-Noire.....	68



# INTRODUCTION

« *L'eau c'est la vie* » dit-on couramment. Cette assertion émane du fait que l'eau est une composante cruciale de la vie. Elle est un substrat qui stimule et favorise les réactions. Elle intervient dans les activités anthropiques quotidiennes (ménagères, agricoles ...). Au Congo, l'eau potable est distribuée par la société nationale de distribution d'eau (SNDE). Au niveau du port, l'eau est utilisée pour le lavage des bateaux, la consommation humaine, etc. L'approvisionnement du PAPN en eau était au début assuré par la SNDE. Une station de pompage, un château d'eau, un réservoir enterré ont été construites par le PAPN dans le cadre du Programme d'Investissements Prioritaires en vue de réhabiliter et étendre son réseau de distribution d'eau potable.

Cependant, avec l'augmentation des activités portuaires, les besoins ne pouvaient plus être couverts par le seul approvisionnement de la SNDE. Ainsi, des pénuries en eau incessantes n'ont pas tardé à se manifester faisant apparaître la nécessité de compléter l'alimentation en eau du port. C'est dans ce contexte qu'un forage a été réalisé en vue de renforcer l'eau apportée par la SNDE. Dans le cadre du fonctionnement du forage, la partie alimentation électrique de ce forage qui fait l'objet du présent mémoire, a été confié à Bouygues Energies & Services Congo. Ce projet comprenait deux lots dont premièrement, l'installation électrique du forage et la construction du local GE et deuxièmement, l'installation d'un groupe électrogène.

C'est dans ce contexte que, du 27 Janvier 2015 au 26 Juillet 2015, nous avons réalisé un stage dans le service Génie Electrique & Thermique de la société Bouygues Energies & Services Congo, à Pointe Noire, capitale économique du Congo. Nos responsabilités en tant que membre de l'équipe projet aux côtés du maitre d'œuvre étaient de :

- Vérifier la conformité des équipements à installer ;
- Elaborer les plans d'exécution des travaux ;
- Veiller au bon déroulement, au respect du planning d'exécution des travaux et au respect du budget projet ;
- Recommander au client (le maitre d'ouvrage), les mesures à prendre et à respecter pour une utilisation optimale des équipements installés.

Dans le cadre du présent mémoire, il était question pour nous, de faire d'abord une étude technico-économique pour le choix du groupe électrogène à choisir, puis de concevoir l'installation électrique en fonction du cahier de charges et enfin de réaliser le suivi et l'évaluation du projet.

Les résultats des travaux sont présentés dans le présent mémoire qui est organisé autour du chiffrage du projet, de l'étude d'exécution et des résultats du suivi-évaluation des travaux réalisés, à partir desquelles des recommandations ont été faites.

# Chapitre 1 : PRESENTATION DE BOUYGUES

## ENERGIE & SERVICES CONGO

### 1.1 Raison social et historique de Bouygues E&S Congo

Filiale de Bouygues Construction, la Société Bouygues Energies & Services Congo est une Société Anonyme avec Conseil d'Administration, au capital de 100.000.000 francs CFA, immatriculée au Registre de Commerce de Brazzaville sous le numéro R.C.N° 07-B-222, dont le siège est à Pointe Noire 21, Avenue Moe Vangoula Centre-ville – B.P. 620 – Pointe-Noire – République du Congo.

Appelée aujourd'hui Bouygues Energie & Service Congo, cette entreprise est passée de SOGECO en 2004, date de son implantation au Congo, à ETDE en 2010 et de ETDE à Bouygues Energie & Service Congo en 2013. Elle est implantée essentiellement à Brazzaville et Pointe-Noire respectivement capitale politique et capitale économique du Congo.

### 1.2 Domaines d'expertise, Marchés et Activités de Bouygues E&S Congo

#### 1.2.1 Domaines d'expertise

Byes Congo excelle dans trois (03) grands domaines d'expertise qui sont les suivants:



**Photo 1: Domaines d'expertise de Bouygues E&S Congo [1]**

### 1.2.2 Marchés

Les principaux marchés d'interventions de Byes Congo sont :



**Photo 2: Marchés d'intervention de Bouygues E&S [1]**

### 1.2.3 Activités principales

Byes Congo a pour activités principales :

#### **Industrie/Oil & Gas :**

- Etudes : Courant fort et faible, instrumentation, automatisme ;
- Travaux : Courant fort & faible, instrumentation, climatisation ;
- Maintenance industrielle.

#### **Équipements tertiaires :**

- Études : Courant fort & faible, climatisation, sureté-sécurité (contrôle d'accès, télésurveillance) ;
- Maintenance multi technique : électricité, climatisation, groupe électrogène etc.

#### **Infrastructures :**

- Études de détail transport et distribution électrique, réseaux numériques et télécoms, eau ;
- Réalisation de réseau de transport et distribution HT BT (jusqu'à 2000kV) ;
- Réalisation de postes électriques (jusqu'à 220kV) ;

- Réseau de distribution d'eau, éclairage public.

**NB :** Byes Congo, de par ses prestations est reconnu comme l'un des acteurs majeurs dans la réalisation de grands projets au Congo.

**Exemples:** Projets sur la mise à la terre de la ligne électrique SCPE reliant Djeno et ngoyo (10 km réalisé en 2012) ; la réalisation en cours des lots électricité et climatisation des deux tours à Brazzaville (début des travaux Septembre 2014 / Fin des travaux : Septembre 2016)

### **1.3 Moyens humains et matériels**

#### **1.3.1 Moyens humains**

La société Bouygues E&S Congo compte au total 385 collaborateurs dont :

- 11 cadres expatriés et 22 cadres locaux
- 202 intérimaires ; 150 techniciens et ouvriers : Electriciens, instrumentistes, diésélistes, frigoristes, tuyauteurs, soudeurs.

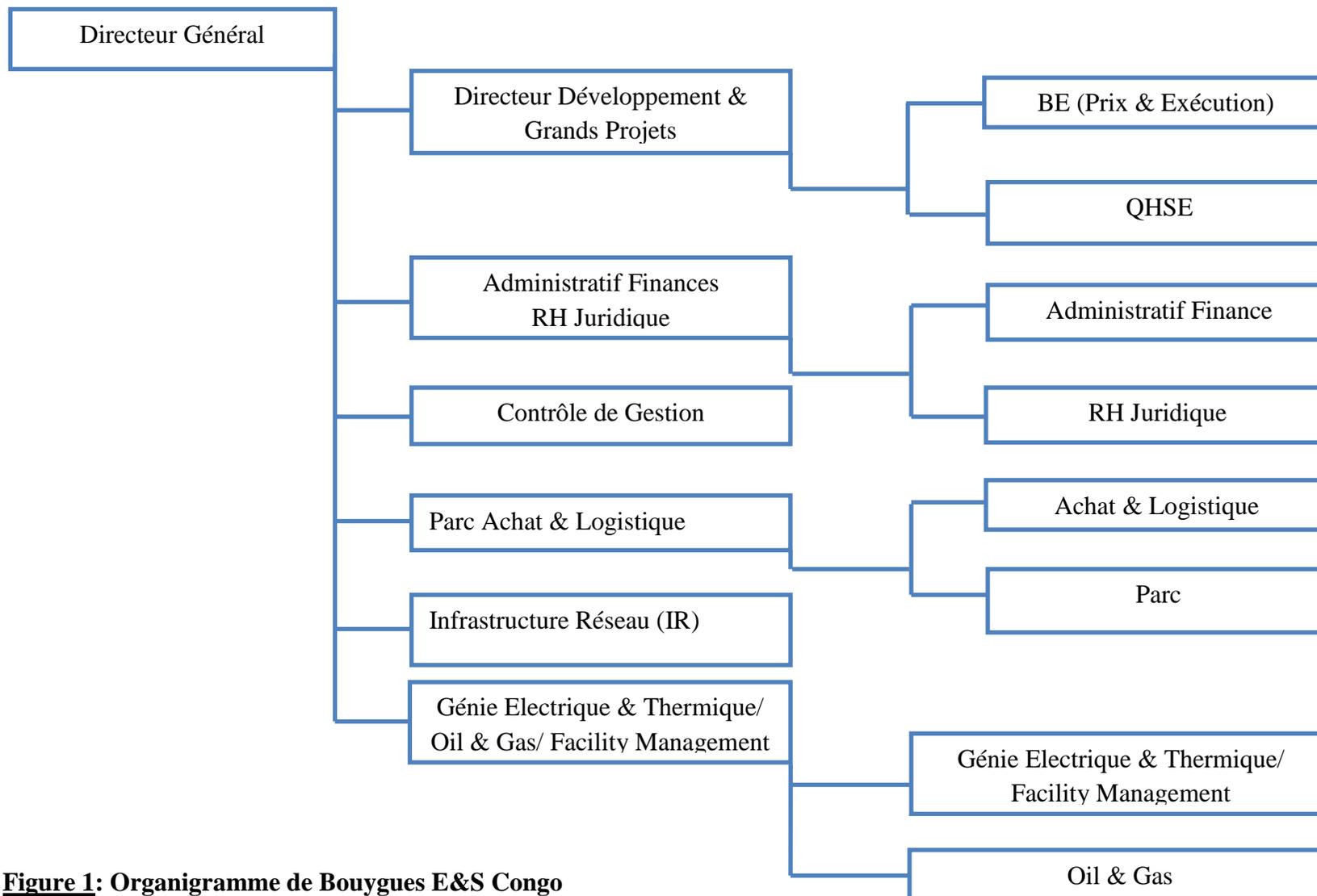
#### **1.3.2 Moyens matériels**

Byes Congo dispose d'un parc matériel d'accès important composé de :

- Moyens logistique comme Partner, Camion HIAB, Nacelle, bus...
- L'outillage est en général composé de: Caisses à outils pour techniciens, Balances numérique, Mesureur de terre, Détecteur de fuite, Capacimètre, Multimètres, Chalumeau...

### **1.4 Organigramme de Bouygues E&S Congo**

Byes Congo est subdivisée en six grands départements et huit services comme il est illustré dans l'organigramme ci-après.



**Figure 1: Organigramme de Bouygues E&S Congo**

## **Chapitre 2 : PRESENTATION DU PROJET**

### **2.1 Présentation du Port Autonome de Pointe Noire**

Au cœur de l'économie congolaise, le PAPN s'affirme incontestablement comme une administration qui génère une part substantielle des recettes. Avec des exigences modernes qui consistent à concilier le respect de l'environnement et la recherche du profit, le Port autonome de Pointe-Noire a le souci permanent d'optimiser la qualité des prestations ou des services qu'il offre. Ce port a une importance vitale aussi bien au niveau national qu'au niveau international.

Port en eau profonde aux accès faciles, PAPN offre d'excellentes conditions de navigation et peut accueillir 24 heures sur 24, sans interruption des navires atteignant 230 m de long.

Le bassin portuaire d'une superficie de 84 ha s'ouvre sur la haute mer par une passe d'entrée large de 180 m, prolongée par un chenal d'accès long de 1200 m, dragué à 11,50 m.

Enfin, pilotage, remorquage, lamanage, ravitaillement, entretien, petite réparation, aconage, consignation, transit, gardiennage etc. sont autant d'activités et de services assurés par le port.

### **2.2 Contexte du Projet**

Dans le cadre des travaux de son Programme d'Investissements Prioritaires, le Port Autonome de Pointe – Noire a réhabilité et étendu son réseau d'adduction et de distribution d'eau potable.

Ces travaux comprenaient principalement :

- La construction d'une station de pompage ;
- La construction d'un château d'eau;
- La construction d'un réservoir enterré ;
- L'installation d'un réseau de distribution de 10km.

Par ailleurs, pour accompagner le PAPN à améliorer les services de ravitaillement en eau potable de façon permanente aux navires et aux usagers portuaires, la SNDE, à la demande de l'autorité portuaire a construit un forage d'eau à l'entrée du Port pour renforcer l'eau qu'elle produit.

En effet, l'eau fournie par la SNDE et celle produite par le forage sont acheminées d'abord vers deux bassins artificiels de 650 m<sup>3</sup> chacun (réservoir enterré) où elles sont traitées, filtrées et envoyées après au château d'eau par l'intermédiaire de deux pompes de relevage faisant chacune 22 kW. La quantité d'eau envoyée au château descend ensuite par gravité pour le réseau de distribution du PAPN. (Confère annexe1)

## **2.3 Cahier de charge**

Pour rendre fonctionnel le forage, il est nécessaire de l'alimenter continuellement en courant électrique via une source normale, ou via une source de secours lors d'un délestage.

C'est dans cette optique que la société Byes Congo a été retenue par le PAPN comme maître d'œuvre du projet alimentation électrique du forage d'eau qui est un projet du programme 'Réhabilitation et Extension du réseau d'adduction et de distribution d'eau potable du PAPN'. Ce projet d'alimentation électrique du forage d'eau est subdivisé en deux lots dont :

- Lot 1 : Alimentation électrique du forage d'eau y compris l'installation d'un groupe électrogène ;
- Lot 2 : Construction du local des groupes électrogènes (un GE de 400kVA existant et un GE spécial pour l'alimentation secours de la pompe immergée du forage.)

Par conséquent, le travail de ce mémoire aborde deux volets dont un volet sur la gestion des projets et un volet sur les études techniques.

## **2.4 Présentation des existants du projet**

Les éléments existants du projet sont les suivants:

### **2.4.1 La pompe immergée du forage**

Une pompe immergée de type grundfos SP 46 – 14 a été installée dont les caractéristiques sont résumés dans le tableau1 ci-après.

**Tableau 1:** Caractéristiques de la pompe immergée

Pn (kW)	In (A)	U (V)	mode de démarrage	Id/In	Rendement			Cos phi			N (tr/mn)	Q (m3/h)	HTM (m)
					à 100%	à 75%	à 50%	à 100%	à 75%	à 50%			
22	48	400	Direct	5,2	0,84	0,85	0,84	0,81	0,74	0,61	2900	46	122

#### 2.4.2 Le groupe électrogène

Ne voulant pas acheter un nouveau GE pour des raisons financières, le PAPN a choisi pour l'instant, assurer l'alimentation secours de la pompe immergée par un de ses GE de puissance 400 kVA. Les caractéristiques de ce GE sont dans le tableau 2 ci-après.

**Tableau 2:** Caractéristiques du groupe électrogène existant

Marque	Version	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Poids (kg)	Puissance (kVA)	N (tr /mn)
Energie Relais	Capotée insonorisée	4000	1300	2564	4760	400	1500

## **Chapitre 3 : CHIFFRAGE DU PROJET ET SELECTION DU SOUS – TRAITANT**

Comme tout projet à Byes Congo, le chiffrage a pour objectif de déterminer les clauses techniques et financières du projet, tout en respectant les marges brutes et bénéficiaires de l'entreprise. Les clauses techniques et financières fixées donnent alors la possibilité de choisir le sous-traitant.

### **3.1 Chiffrage du projet**

Le chiffrage d'un projet est l'étape où l'on présente l'offre technique et l'offre financière au client aussi appelé maître d'ouvrage.

#### **3.1.1 Offre technique**

Cette partie du chiffrage est faite dans l'objectif de présenter au maître d'ouvrage comment, avec quoi et avec qui l'ouvrage sera réalisé.

L'offre technique comprend plusieurs éléments parmi lesquels nous avons :

##### **3.1.1.1 Macro planning**

Il indique les grandes étapes et le temps estimatif nécessaires pour la réalisation du projet. Dans le cadre de ce projet d'alimentation électrique du forage d'eau, Vingt-quatre étapes ont été élaborées avec une durée totale d'exécution des travaux de 12 semaines soit 3 mois (confère Annexe 2).

##### **3.1.1.2 Organigramme projet**

Il indique l'organisation générale du personnel pour une bonne exécution du projet selon les tâches à faire. (Voir annexe 3)

##### **3.1.1.3 Rôle et responsabilités des acteurs projet**

Pour rendre responsable chaque acteur du projet pour que l'équipe projet soit efficace, les rôles et les responsabilités sont attribués à chaque acteurs du projet. C'est ainsi que les rôles et responsabilités suivants ont été attribuées aux différents acteurs du projet. (Voir tableau 3 ci-après)

**Tableau 3:** Rôle et responsabilités des acteurs projet

Acteurs	Rôle et responsabilités
chargé d'affaire	Organisation opérationnelle du contrat, gestion technico-économique et contractuelle du contrat, validation des factures mensuelles...
Assistante chargée d'affaire	Monter le dossier d'exécution en collaboration avec le conducteur des travaux, réaliser les rapports d'avancement hebdomadaire et mensuel du projet, faire le suivi des travaux et le suivi financier du projet...
Conducteur de travaux	Interlocuteur technique auprès du maître d'ouvrage et des différents intervenants, gestion du planning de réalisation, Suivi des travaux, contrôle qualité...
Techniciens électriciens	Exécuter les Travaux, respecter les prescriptions techniques, Respecter les normes de travail et du plan QHSE...
ASE	Veiller à l'application stricte des règles de sécurité sur le site selon la politique Byes en matière de HSE
Maçons et plombiers	Effectuer tous les travaux de maçonnerie et de plomberie

#### **3.1.1.4 Plan EVASAN**

Ce plan permet de montrer au maître d'ouvrage les dispositions prises par Byes Congo en cas d'accident sur le chantier (Voir annexe 4).

#### **3.1.2 Offre financière**

Pour déterminer le coût total de l'ouvrage, Byes Congo prend en compte plusieurs paramètres tels que les frais d'études, les frais de personnel, les fournitures, la sous-traitance, les aléas...

Tous ces paramètres ont permis d'obtenir un coût total du projet de 59 605 134 FCFA HT (confère annexe 5).

### **3.2 Sélection des sous-traitants et choix du sous-traitant**

N'ayant pas un département Génie Civil, la société Byes Congo a envoyé une demande de cotation à plusieurs entreprises de génie civile de la place afin de sous-traiter les parties construction du local GE et réalisation des tranchées du projet. Cette demande de cotation comprenait : la description des tâches à réaliser, les bordereaux des prix unitaires, les devis quantitatif et estimatif.

Cinq entreprises ont été présélectionnées et une seule a été sélectionnée.

En effet, parmi les cinq entreprises, c'est la société SMPME qui a été choisie pour réaliser le travail. Elle a été choisie selon les critères suivants :

- ✚ Le prix du sous-traitant doit être inférieur ou égale au budget sous-traitant de Byes Congo;
- ✚ Respect du scope technique demandé et de l'aspect HSE ;
- ✚ Le planning prévisionnel du sous-traitant doit être inclut dans celui de Byes Congo;
- ✚ Avoir un retour d'expérience chantier positif avec Byes Congo.

# **Chapitre 4 : ETUDE D'EXECUTION ET REALISATION**

## **DES TRAVAUX**

Dans le présent chapitre, nous allons aborder la détermination de quelques caractéristiques techniques du local GE, l'étude électrique de l'installation, la compensation en énergie réactive et le suivi des travaux du projet.

### **4.1 Caractéristiques techniques du local GE**

Deux GE de 400kVA seront placés dans le local GE que doit construire Byes Congo. Parmi les deux GE, un est un ancien GE du PAPN assurant l'alimentation secours de certains de ses bâtiments existants et le deuxième est le GE pour l'alimentation secours du forage. Les deux GE sont identiques (même puissance et même marque).

Pour la construction d'un local GE, plusieurs paramètres doivent être pris en compte pour qu'il ait un bon fonctionnement du GE. Parmi ces paramètres il y a : les dimensions du GE, l'agencement du GE dans le local, la ventilation du local, l'évacuation des gaz d'échappement du GE etc. Mais nous n'allons aborder que trois paramètres dont les dimensions du local GE, l'agencement du GE dans le local, la ventilation du local et l'évacuation des gaz d'échappement du GE ; les autres paramètres sont plus liés à l'aspect génie civil du local.

#### **4.1.1 Dimensions du local et agencement des GE dans le local**

Deux types d'impératifs permettent de déterminer les dimensions d'un local GE et l'agencement d'un GE dans ce local. Ce sont :

- Impératifs statiques : Ce sont les dimensions du GE à installer ainsi que ses périphériques ;
- Impératifs dynamiques : Ce sont les dimensions à respecter autour de chaque GE afin de permettre la maintenance et les démontages éventuels.

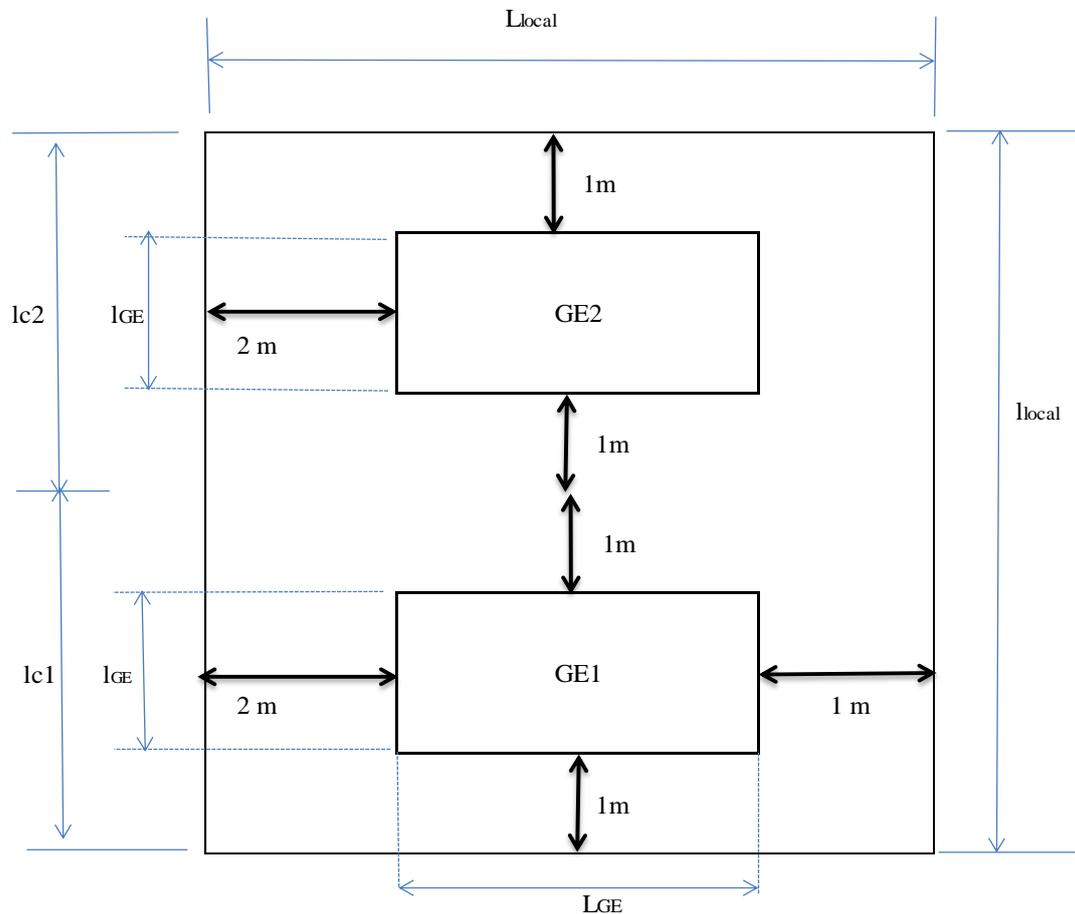
Un espace de 1m environ autour du groupe électrogène et une hauteur  $h > 1,5m$  sont des limites minimum à respecter. [2]

En vue de ces impératifs statiques et dynamiques, la longueur, la largeur et la hauteur du local en mètre seront telles que:

$$L_{\text{local}} (m) = L_{\text{GE}} (m) + 3m; l_{\text{local}} (m) = 2 \times l_{\text{GE}} (m) + 4m \text{ et } h_{\text{local}} (m) = h_{g1} + 2.$$

C'est ainsi que les deux groupes électrogènes seront placés dans un local faisant au total une longueur de 7m , une largeur de 6,6m et une hauteur de 5m (le tableau de calcul des dimensions du local se trouve à l'annexe 6).

De plus, les GE seront agencés comme le montre le schéma ci-dessous.



**Figure 2 : Dimensions du local selon l'agencement des GE dans le local**

Après discussion avec le PAPN, il a été retenu par le PAPN que le local aura les dimensions suivantes: Longueur =7m; largeur = 6m au lieu de 6,6m et la hauteur = 5m.

#### 4.1.2 Ventilation du local

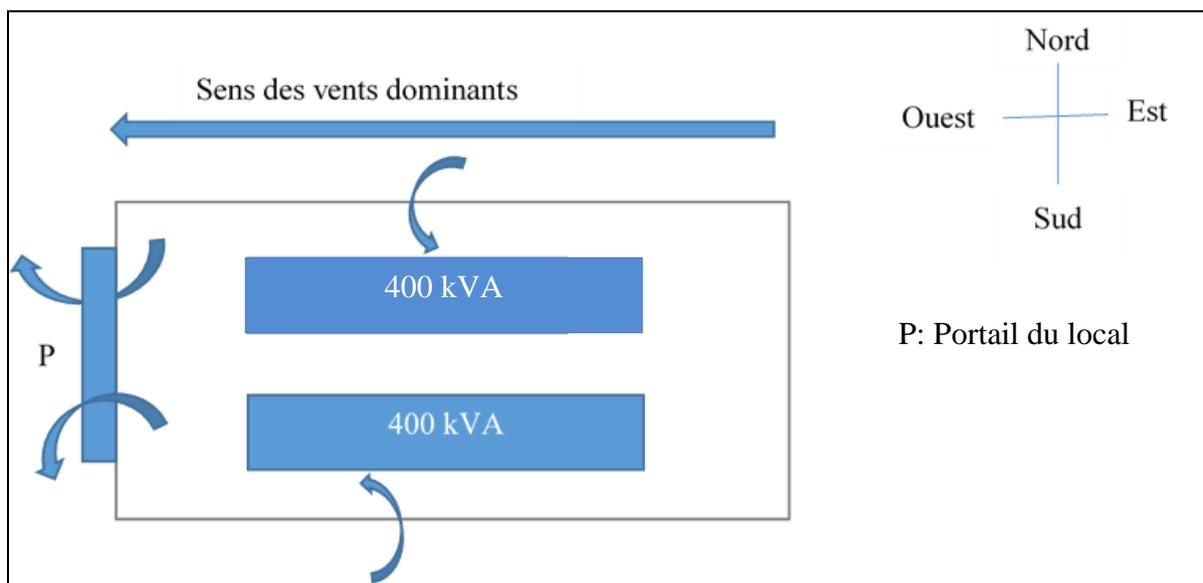
C'est dans l'objectif de dimensionner les ouvertures de rejet et d'entrée d'air que ce paramètre du local est abordé.

En effet, plusieurs calories dégagées par le GE peuvent entrainer un fonctionnement incorrect de ce dernier (ces calories sont dues au refroidissement des cylindres, refroidissement de l'alternateur et au rayonnement du bloc moteur). [2]

Il est donc nécessaire d'évacuer au maximum ces calories à l'extérieur du local, faire un renouvellement en air frais à l'intérieur du local mais aussi faire en sorte qu'il n'ait pas trop de chaleur dans le local.

#### 4.1.3 Orientation du local

Afin d'éviter au maximum, un ajout de la chaleur dégagée par les murs (dû aux rayonnements solaire) à la chaleur interne du local, le local sera orienté de sorte que ses deux grandes façades soient vers le nord et le Sud. Les grilles d'entrée d'air seront placées aux grandes façades Nord et Sud mais la grille du rejet d'air sera placée à la petite façade Ouest de sorte que la circulation de l'air dans le local se fasse dans la direction des vents dominants.



**Figure 3 : Orientation du local**

#### 4.1.4 Dimensions des ouvertures de rejets et d'entrée d'air

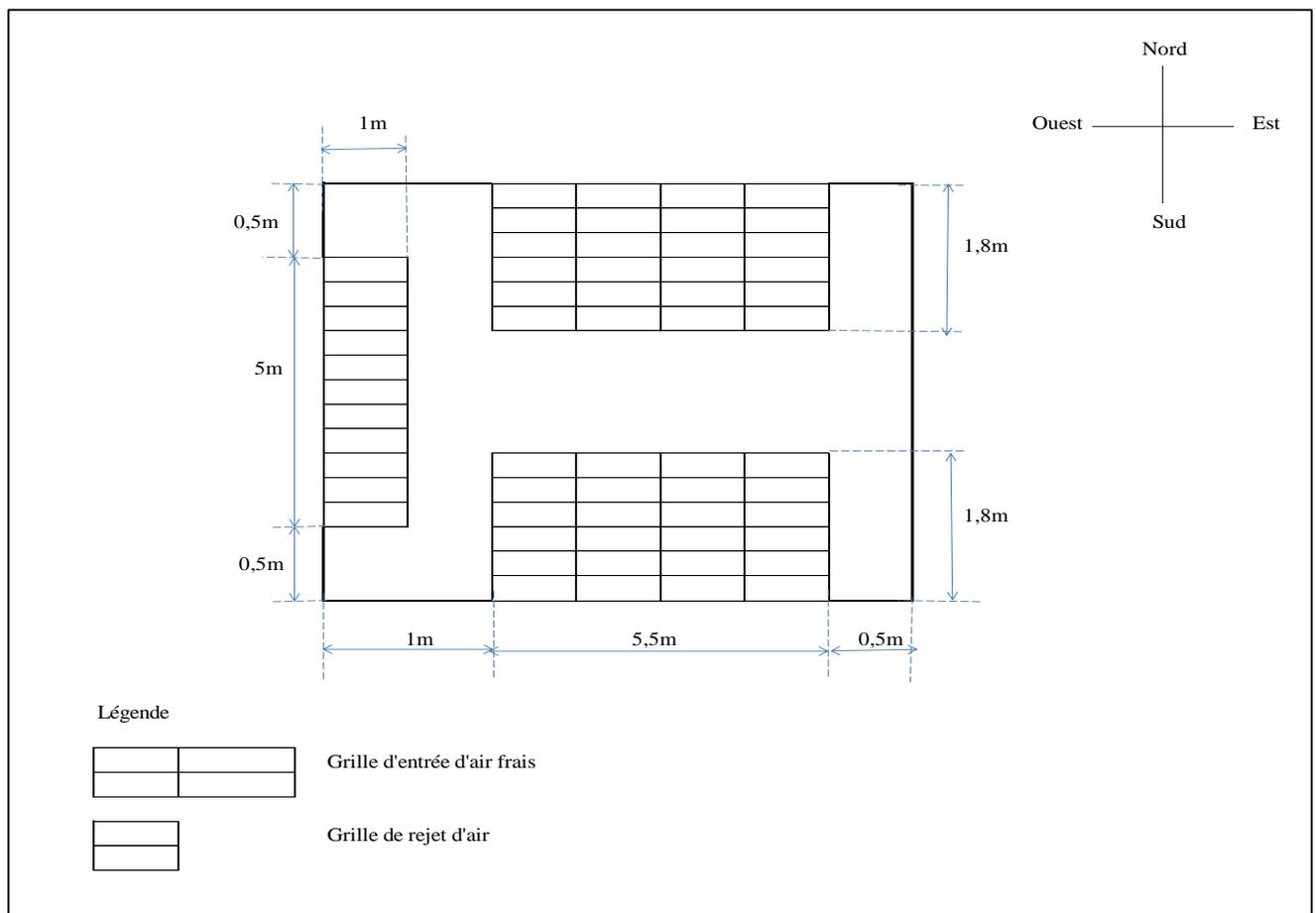
En se référant aux normes Electrical Safety qui stipulent qu'il faut prévoir 500cm<sup>2</sup> d'admission et d'évacuation d'air par 1kW de capacité du GE lorsque celui-ci est installé dans un bâtiment, le local devra donc avoir deux surfaces de 16 m<sup>2</sup> pour l'admission et l'évacuation d'air frais.

Par rapport aux dimensions du local retenu par le PAPN, le local GE aura :

- Deux surfaces de 9,9m<sup>2</sup> (5,5m x 1,8m) pour les ouvertures d'entrée d'air
- Une surface de 5 m<sup>2</sup> (5m x 1m) pour les ouvertures de rejets d'air.

#### 4.1.5 Choix et position des grilles de ventilation

De par les dimensions des ouvertures trouvées ci-dessus, deux grilles d'entrées d'air de surface respective  $9,9\text{m}^2$  (5,5m de long et 1,8m de haut) seront placées aux façades Nord et Sud du local. Chaque grille d'entrée d'air sera à 30cm de la dalle du sol et à 1m des façades Ouest et Est du local. Une grille de rejet de l'air de surface  $5\text{m}^2$  (5m de largeur et 1m de hauteur) sera placée à la façade Ouest, à 30cm de la dalle de couverture et à 0,5m des façades Nord et Sud du local.



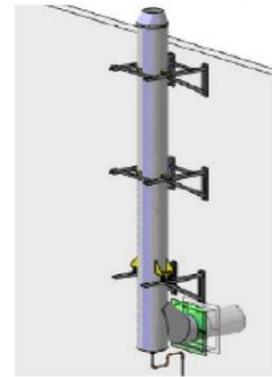
**Figure 4: Disposition des grilles de ventilation du local GE**

#### 4.1.6 Conduit des gaz d'échappement

L'évacuation des gaz brûlés se fera par l'intermédiaire de deux cheminées de type acier inoxydable remontées en façade.

Ces deux cheminées seront placées à la petite façade Est du local. Elles seront munies chacune, d'un clapet anti-retour pour éviter la pénétration des eaux pluviales.

Cheminée remontée en façade



**Figure 5:** Type de cheminée [2]

### 4.2 Etude électrique de l'installation

Ils existent plusieurs modes de démarrage d'un moteur asynchrone dont : le démarrage direct, le démarrage étoile-triangle, le démarrage par variateur de vitesse, le démarrage par autotransformateur, le démarrage par démarreur progressif, le démarrage par résistance statorique et le démarrage par résistance rotorique. Chacun de ces modes de démarrage a des avantages et inconvénients (confère l'annexe7). Bien que le moteur de la pompe immergée sur lequel nous travaillons démarre en direct, nous allons pour un premier temps, faire son étude par rapport à tous ces différents modes de démarrage afin de faire les bonnes recommandations au PAPN par rapport à l'alimentation électrique de son forage d'eau.

En effet, l'étude électrique d'un système consiste à trouver les sources d'alimentation, les appareils de protections et les câbles d'alimentation.

#### 4.2.1 Sources d'alimentation

Pour être alimentée en permanence, une installation électrique est généralement connectée à deux types de sources d'énergie : Une source normale (le transformateur) et une source secours (le groupe électrogène).

##### 4.2.1.1 Source d'alimentation normale

Trouver une source d'alimentation normale d'une installation, revient à calculer la puissance d'un transformateur par rapport à la puissance totale à installer.

Etant donné que le forage sera connecté à un transformateur existant du PAPN (Transformateur MT/BT du Centre Informatique du PAPN), nous allons vérifier si ce transformateur existant de puissance 400kVA pourra alimenter le forage d'eau (moteur de la pompe immergée) sans risque.

Pour vérifier cela, nous allons faire un bilan de puissance de la charge électrique connectée au transformateur MT/BT du Centre Informatique du PAPN.

#### Vérification

Après avoir fait un inventaire de tous les équipements connectés au transformateur du Centre Informatique du PAPN, nous avons obtenus les résultats suivants.

**Tableau 4:** Résultats du bilan de puissance de la charge totale du transformateur CIPAPN

Désignation	P(W)	P (kW)
Bâtiment du Centre Informatique	92376	165,0559
Locaux des GE du Centre Informatique	180	
Bureaux sis au bâtiment CMSP	7748	
Local des marins et du Code ISPS	7753	
Local vidéo surveillance	5580	
Château d'eau du Port	49468,88889	
Eclairage entrée du Port	1950	

Du tableau ci-dessus, il on ressort que la puissance totale à pleine charge sans la charge du forage d'eau est  $P = 165,0559$  kW.

En appliquant le coefficient de foisonnement des récepteurs qui suppose qu'une installation électrique fonctionne à 70% de sa charge totale (7 récepteurs sur 10),

On trouve :  $P_f = 115,539$  kW <  $P_t = 320$  kW ( $P_t$  est la puissance nominale du transformateur).

Conclusion : Le transformateur de 400 kVA du Centre Informatique du PAPN peut alimenter sans risque technique le forage. Ce transformateur peut même supporter une charge supplémentaire de 200 kW.

#### **4.2.1.2 Source d'alimentation secours : Dimensionnement et choix du groupe électrogène**

Dimensionner un groupe électrogène revient à :

- Calculer la puissance apparente de l'installation lorsque les récepteurs fonctionnent en régime établi (sans prise en compte de la puissance de démarrage de la pompe immergée)
- Calculer la puissance apparente de l'installation lorsque les récepteurs fonctionnent en régime transitoire.

- Faire le choix du groupe électrogène possédant une puissance apparente supérieure à la puissance maximale calculée dans les deux régimes de fonctionnement.

Nous allons donc calculer les puissances de l'installation par rapport aux différents régimes de fonctionnement des récepteurs et choisir le GE pour chaque mode de démarrage. Le choix se fera par rapport aux trois (3) contraintes ci-dessous : [3]

- Première contrainte:  $S_g \geq P_n / (0,8)$  ou  $S_g$  est la puissance apparente du GE et  $P_n$  la puissance active totale de l'installation.
- Deuxième contrainte :  $S_g \geq (S'_1 + S_i) / 2$  pour éviter que le courant total d'appel ne provoque une chute de tension trop forte.  $S'_1$  et  $S_i$  sont respectivement la puissance apparente au démarrage du moteur de la pompe immergée et la puissance apparente initiale sans la pompe immergée.
- Troisième contrainte :  $S_g \geq [(P_1 + P'_1) / (0,8)]$  pour que la puissance active totale soit acceptable.  $P'_1$  et  $P_1$  sont respectivement la puissance active au démarrage du moteur et la puissance active initiale sans la pompe immergée.

Par ailleurs, on vérifiera que la puissance active au démarrage du moteur  $P'_1$  respecte la règle :  $P'_1 \leq 0,66 \times S_g \times 0,8$ .

#### ✚ Les différents récepteurs de l'installation

L'installation a comme récepteurs : Prises de courant, les lampes fluorescences et la pompe immergée.

**Tableau 5:** Caractéristiques des récepteurs de l'installation

Désignation	Quantité	$P_u$ (W)	Rendement	$P_{ab}$ (kW)	$\cos\alpha$
Prise 3P+T	3	2944	-	8,832	0,8
lampe fluo 2x36W	8	36	-	0,288	0,8
Pompe immergée	1	22000	0,84	26,94	0,81

NB :  $P_u$  est la puissance utile d'un récepteur et  $P_{ab}$  la puissance absorbée ( $P_{ab} = P_u / \text{rendement}$ )

#### ✚ Résultats des calculs

Le calcul nous a permis d'obtenir les résultats du tableau6 suivant.

**Tableau 6:** Puissance du GE par rapport aux différents modes de démarrage

Mode de démarrage	Régime établi			Régime transitoire					Sg avec extension	Sg (kVA)	
			1 <sup>ère</sup> contrainte			2 <sup>ème</sup> contrainte					3 <sup>ème</sup> contrainte
	S1 (kVA)	P1 (kW)	$S_g \geq P1/0,8$	Si (kVA)	S'1 (kVA)	$S_g \geq (Si+S'1)/2$	Pi (kW)	P'1 (kW)			$S_g \geq (Pi +P'1)/0,8$
Démarrage direct	38,031	30,758	38,447	4,776	172,928	88,852	3,821	69,171	91,239	114,049	130
Démarrage étoile/triangle					57,642	31,209		23,057	33,597	48,058	50
Démarrage par auto transformateur					133,022	68,898		53,208	71,287	89,109	100
Démarrage par démarreur progressif					66,511	35,643		26,604	38,032	48,058	50
Démarrage par variateur de vitesse					49,883	27,329		19,953	29,717	48,058	50
Démarrage par résistance statorique					149,649	77,213		59,859	79,601	99,501	100
Démarrage par résistance rotorique					79,813	42,294		31,925	44,682	55,853	60

NB:  $P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi$ ;  $S = U \times I \times \sqrt{3}$ ;  $S'_1 = U \times I_d \times \sqrt{3}$ ;  $P'_1 = \sqrt{3} \times U \times I_d \times \cos\phi$  et au démarrage  $\cos\phi = 0,4$

La vérification de la relation  $P'_1 \leq 0,66 \times S_g \times 0,8$  a donné les résultats ci-après

**Tableau 7:** Résultats de la vérification

Mode de démarrage	Gamme de puissance des GE Energie Relais			Vérification		
	S calculé (kVA)	Model	LTP (kVA)	LTP x 0,66 x 0,8	P'1 (kW)	P'1 < LTP x 0,66 x 0,8
Démarrage direct	130	P130SV	150	79,2	69,172	OUI
Démarrage étoile/triangle	50	P60SV	63	33,264	23,057	OUI
Démarrage par auto transformateur	100	P100SV	110	58,08	53,208	OUI
Démarrage par démarreur progressif	50	P60SV	63	33,264	26,604	OUI
Démarrage par variateur de vitesse	50	P40SV	63	33,264	19,953	OUI
Démarrage par résistance statorique	130	P130SV	150	79,2	59,859	OUI
Démarrage par résistance rotorique	60	P60SV	63	33,264	31,925 16	OUI

Les résultats ci-dessus ont permis de choisir les GE ci-après :

**Tableau 8:** Choix du GE

Différents modes de démarrage	S (kVA) secours du GE	S (kVA) nominale du GE
Démarrage direct	150	130
Démarrage étoile-triangle	63	60
Démarrage par auto transformateur	110	100
Démarrage par variateur de vitesse	63	60
Démarrage par démarreur progressif	63	60
Démarrage par résistance statorique	150	130
Démarrage par résistance rotorique	60	63

### ✚ Classement des modes de démarrage suivant la puissance du GE à installer

Par rapport aux résultats obtenus, les puissances des GE pour les différents modes de démarrages sont telles que :

**Tableau 9:** Classement des modes de démarrage suivant la puissance du GE

Différents modes de démarrage	Puissance du GE à installer
Démarrage étoile-triangle	60 kVA
Démarrage par démarreur progressif	60 kVA
Démarrage par variateur de vitesse	60 kVA
Démarrage par résistance rotorique	60 kVA
Démarrage par auto transformateur	100 kVA
Démarrage direct	130 kVA
Démarrage par résistance statorique	130 kVA

Les résultats ci-dessous montrent qu'un GE de 130 kVA suffit pour alimenter la pompe immergée du PAPN. Donc, le GE de 400 kVA installé est surdimensionné (trop grand pour le forage).

#### 4.2.1.3 Estimation des pertes du à la consommation horaire d'un GE surdimensionné

La consommation horaire (CH) d'un groupe électrogène sous une charge donnée correspond à sa consommation en carburant par unité de temps. Elle se calcule par la relation ci-après :

$$CH(t) = a P(t) + b P_n [4]$$

Avec

P(t) : La puissance instantanée en kW

P<sub>n</sub> : La puissance secours nominale en kW

a et b des paramètres exprimés en l/kWh

En se référant aux caractéristiques techniques du moteur de la pompe immergée (Puissance 22kW, moteur a rotor non bobine...) installé au forage d'eau du PAPN, seule quatre (4) modes de démarrages lui convient dont: le démarrage étoile-triangle, le démarrage direct, le démarrage par variateur de vitesse et le démarrage par résistance statorique. Mais, nous allons nous limiter dans la suite qu'aux modes de démarrage direct et étoile-triangle.

En effet, le démarrage par auto transformateur convient bien pour les moteurs de 100 kW, le démarrage par résistance statorique pour les moteurs à rotor bobiné et le démarrage progressif

convient pour des moteurs de grande puissance. Les moteurs à démarrage par variateur de vitesse et démarrage par résistance rotorique coutent trop chers.

L'utilisation des valeurs des paramètres a et b trouver lors d'une étude fait au laboratoire de 2iE (a = 0,25 l/kWh ; b = 0,074 l/kWh) ont permis d'obtenir les résultats ci-après.

**Tableau 10** : Consommation horaire des GE

P(t) (kW)	Sn (kVA)	Pn (kW)	CH (l/h)	CH (400kVA)/ CH (130kVA)	CH (400kVA)/ CH (60kVA)
30,758	60	48	11,241	2,039	2,790
	130	104	15,385		
	400	320	31,369		

De ces résultats, il en ressort que pour la même charge, la consommation du carburant par heure d'un GE de 400 kVA est 2 fois plus grand que la consommation du GE 130kVA et environ 3 fois plus grande que celle du GE 60 kVA. Donc, le PAPN perd beaucoup en carburant sans qu'il se rende compte.

#### 4.2.2 Sections de câble

La section de câble dépend du courant d'emploi, le calibre du dispositif de protection, le courant admissible et la chute de tension.

##### 4.2.2.1 Courant d'emploi et calibre des dispositifs de protection

Au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs. Et au niveau des circuits de distribution, c'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation, laquelle tient compte des coefficients de simultanéité et d'utilisation.

Les résultats du calcul

**Tableau 11** : Courants d'emploi et calibres de protection

Désignation		I <sub>B</sub> (A)	In (A)	I <sub>B</sub> (A)	In (A)	I <sub>B</sub> (A)	In (A)
Forage	Pompe immergée	60	60	-	-	83,361	80
Local GE	Eclairages	1,956	10	23,361	25		
	Prises 3P+T	24	20				

#### 4.2.2.2 Courants admissibles Iz et choix des sections de câbles

Le courant admissible est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie. Il dépend, pour une section donnée :

- De la constitution du câble et de la canalisation ;
- De la température ;
- Du mode de pose ;
- De l'influence des circuits voisins

Ce courant se calcul à base de la formule ci-après :

$$I_Z = \frac{I_n k}{F}$$

Avec

$I_Z$  : Courant admissible en A

K : facteur de correction égale à 1 pour une protection par disjoncteur

F : produit des facteurs de correction

$I_n$  : Calibre du disjoncteur en A

Connaissant le mode de pose, le type de câble (cuivre), le calcul des courants admissibles a permis d'obtenir les sections de câbles ci-après.

**Tableau 12:** Section de câbles

Désignation	In (A)		Fi	Iz (A)	Iz/Ph	Sph (mm <sup>2</sup> )	Nombre total de conducteurs	
Transformateur - Jeu de barres	630	Méthode de référence de F	1	1038,4	519,19	240	3(2x240)	
		Température ambiante en degré	35					0,96
		Disposition de Câble dans le conduit de 6	0,79					
		Nombre de couche	2					0,8
Jeu de barres - Inverseur	650	Méthode de référence de D	0,8	909,58	454,79	240	3x (2x240)	

Désignation	In (A)		Fi	Iz (A)	Iz/Ph	Sph (mm <sup>2</sup> )	Nombre total de conducteurs
		Température en degré du sol	40	0,85			
		Nature du sol	Humide	1,13			
		Nombre de conduit distant de 0,25m	2	0,93			
GE-Inverseur	315	Méthode de référence	D	0,8	869,11	434,55	185
		Température du sol en degré	40	0,85			
		Nature du sol	Humide	1,3			
		Disposition de câble	6	0,41			
Inverseur Coffret local	650	Méthode de référence	F	1	1071,3	535,67	240
		Température ambiante en degré	35	0,96			
		Disposition de câble dans le conduit	6	0,79			
		Nombre de couche	2	0,8			
Coffret local - Coffret Forage	80	Méthode de référence	D	0,8	179,5	-	50
		Température du sol en degré	40	0,85			
		Nature du sol	Humide	1,13			

Désignation	In (A)		Fi	Iz (A)	Iz/Ph	Sph (mm <sup>2</sup> )	Nombre total de conducteurs	
		Disposition de câble dans le conduit	3	0,58				
Coffret forage - Pompe immergée	63	Méthode de référence	D	1	92,647	-	16	3x (1x16)
		Température du sol en degré	40	0,85				
		Nature du sol	Immergée	1,25				
		Nombre de câble	3	0,64				

**Remarques :** D'après la norme NFC 15-100, pour les circuits de lampes et les sections de câble seront de 1,5 mm<sup>2</sup>, pour les prises de courants, on utilisera les sections de 2,5mm<sup>2</sup>. En ce qui concerne.

#### 4.2.2.3 Chute de tension

En triphasé, la chute de tension se calcul par la relation :  $\Delta U = \sqrt{3} I(R \cos\varphi + X \sin\varphi)$

Avec  $R = L \frac{\rho}{S}$  la résistivité du câble en  $\Omega \text{mm}^2$  (pour le cuivre  $R = 0,0225 \Omega \text{mm}^2$ )

X = réactance linéique en  $\Omega/\text{m}$  ( $X=0,00008 (\Omega/\text{m})$ )

Nous allons calculer les chutes de tensions en régime nominal et en régime transitoire afin de vérifier si les sections de câbles obtenus respectent la norme NF C 15-100.

En effet, la norme NF C 15-100 stipule que :

- On régime nominale, la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout autre point d'utilisation n'excède pas de 6% pour le circuit d'éclairage et 8% pour les autres.
- On régime transitoire (au démarrage) la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout autre point d'utilisation n'excède pas de 10% pour le circuit moteur.

Résultats obtenu par rapport aux différents régimes.

- Régime nominal

Le calcul des chutes de tension en régime nominal a donné les résultats du tableau ci-après.

**Tableau 13:** Chute de tension en régime nominal

Circuit	L(m)	I <sub>B</sub> (A)	S (mm <sup>2</sup> )	Chute de tension	
				en V	en %
Transformateur-Inverseur	50	288,675	240	3,075	0,768
Inverseur - Coffrer local	3	288,675	240	0,185	0,046
Coffret local-Coffret forage	200	66,68	50	9,425	2,356
Coffret forage - Pompe immergée	126	48	16	12,288	3,072
Transformateur - Pompe				23,343	6,243
Transformateur - Coffret local				1,629	0,407

Les résultats obtenus montrent que pour le régime nominal la norme NFC 15-100 est vérifiée. Donc, les sections de câbles sont bonnes pour le régime nominal.

- Régime transitoire

Le calcul des chutes de tension (avec les sections du tableau 12 ci-dessus) pour le démarrage direct a donné des valeurs supérieures à la valeur limite donnée par la norme NFC 15-100 (confère annexe11). Pour ce faire, nous avons choisi des sections de câble plus grandes pour pouvoir limiter la chute de tension au démarrage. C'est ce qui nous a permis d'avoir des résultats du tableau ci-dessous.

**Tableau 14:** Chute de tension en régime transitoire

Désignation	Démarrage direct		Démarrage étoile/triangle	
	ΔU(%)	S (mm <sup>2</sup> )	ΔU(%)	S (mm <sup>2</sup> )
Transformateur - coffret local	0,815	240	0,815	240
Coffret local-Coffret forage	4,28	70	2,079	50
Coffret forage - Pompe immergée	3,201	50	2,805	16
Transformateur - Pompe	8,3		5,70015	

Somme toute, les valeurs des sections de câble du tableau 11, sont bonnes que pour le démarrage étoile-triangle.

Pour le démarrage direct, des sections de câble sont celles données par le tableau ci-après.

**Tableau 15:** Section de câble pour le mode de démarrage direct

Désignation	Section de câble par phase
Coffret local - Coffret Forage	70 mm <sup>2</sup>
Coffret forage - Pompe immergée	50 mm <sup>2</sup>

### 4.3 Compensation en énergie réactive

Pour améliorer la qualité de l'énergie disponible dans le réseau du PAPN, il est nécessaire de réduire la quantité d'énergie réactive produite dans ces différentes installations.

Etant donné que les charges les plus grands consommateurs en énergie réactive du transformateur du CI du PAPN sont la pompe immergée du forage d'eau (nouvelle installation) et les pompes de relevages (installation existante), par conséquent, nous procéderons à une compensation individuelle (aux bornes de la pompe immergée et les pompes de relevages).

Il a été prévu de ramener le facteur de puissance ( $\cos\alpha$ ) à 0,96. Pour cela, il sera question pour nous de déterminer la puissance de la batterie de compensation à installer en utilisant la relation ci-après:

$$\Delta Q = P (\tan\varphi - \tan\varphi')$$

Avec P: Puissance active de la pompe ;  $\varphi$  : Déphasage avant compensation ;  $\varphi'$  : Déphasage souhaité

Le calcul a donné les résultats du tableau 16 ci-après.

**Tableau 16:** Puissance des batteries de condensateur ( $\Delta Q$ )

Désignation	Avant compensation						Après compensation						$\Delta Q$ (kVar)
	P(kW)	Cos $\alpha$	S (kVA)	Sin $\alpha$	Q (kVar)	Tang $\alpha$	P(kW)	Cos $\alpha'$	S' (kVA)	Sin $\alpha'$	Q' (kVar)	Tang $\alpha'$	
pour une Pompe de relevage	24,44	0,9	27,16	0,44	11,839	0,484	24,44	0,96	25,46	0,28	7,13	0,292	4,709
Pompe immergee	26,19	0,81	32,33	0,59	18,962	0,724	26,19	0,96	27,28	0,28	7,639	0,292	11,32

D'où le choix des batteries de condensateurs de puissance 5 kVar pour une pompe de relevage et 12 kVar pour la pompe immergée du forage d'eau.

**Remarque:** Pour éviter des surtensions dangereuses dues au phénomène d'auto-excitation, il sera insérer en série avec chaque batterie de compensation, un contacteur piloté par les relais des différents moteurs.

#### 4.4 Suivi du projet

Tout projet fait objet d'un suivi d'exécution des travaux et d'un suivi financier. Ces deux suivis ont pour objectif de contrôler l'avancement des travaux et la situation financière du projet à date, de détecter les problèmes pouvant freiner l'avancement des travaux, de trouver les solutions à ces problèmes et d'informer le chargé d'affaire si nécessaire.

##### 4.4.1 Suivi des travaux du projet

Chaque phase de réalisation du projet comportait des activités classées selon l'ordre d'exécution des travaux. A chaque tâche est souvent attachée la date de début et de fin ainsi que la durée d'exécution des travaux comme l'indique le tableau 14

En effet, plusieurs problèmes ont été rencontrés lors de l'exécution des travaux de ce projet. Ces problèmes ont fait que retarder l'avancement des travaux d'au moins un mois. Les différents problèmes rencontrés par période sont résumés dans le tableau 17.

**Tableau 17:** Planning détaillé des activités

TACHES	DEBUT	DUREE (jours)	FIN
Signature du contrat	13/04/2015	5	18/04/2015
Transmission des fiches techniques pour validation	20/04/2015	5	25/04/2015
Transmission des plans du local groupe électrogène	20/04/2015	5	25/04/2015
Transmission du plan de masse simplifié tranchée	20/04/2015	5	25/04/2015
Transmission du plan de traversée de route	20/04/2015	5	25/04/2015
Transmission du planing détaillé	20/04/2015	5	25/04/2015
Transmission organigramme projet	20/04/2015	5	25/04/2015
Transmission contacts Bouygues E&S	20/04/2015	5	25/04/2015
Validation des documents par le port autonome de PNR	20/04/2015	5	25/04/2015
Préparation du matériel	27/04/2015	5	02/05/2015
Mobilisation du site	27/04/2015	5	02/05/2015
Travaux de construction du local groupe électrogène			
Fondations	08/05/2015	8	16/05/2015
Elevation des murs du local	16/05/2015	16	01/06/2015
Etanchéité de la couverture	04/06/2015	3	07/06/2015
Opération grattage, masticage et ponçage	28/05/2015	2	30/05/2015
Peinture des murs intérieur	01/06/2015	4	05/06/2015
Peinture des murs extérieur	01/06/2015	4	05/06/2015
Ferronnerie			
Fourniture du portail	18/05/2015	6	24/05/2015
Pose du portail	29/05/2015	1	30/05/2015
Mise en place du système d'extraction gaz	04/06/2015	1	05/06/2015
Travaux d'électrification local			
Tubage	04/05/2015	5	09/05/2015
Encastrement et celement de gaines	11/05/2015	3	14/05/2015
Pose de boites et botiers	14/05/2015	10	24/05/2015
Passage de câbles	01/06/2015	5	06/06/2015
Pose d'appareillage et connexion	08/06/2015	5	13/06/2015
Raccordement à la source	08/06/2015	5	13/06/2015
Tranchées			
Dépose et démolition	22/05/2015	3	25/05/2015
Terrassement	18/05/2015	13	31/05/2015
Génie Civil	23/05/2015	4	27/05/2015
Travaux d'électrification du forage			
Pose de Grillages avertisseur et foureaux TPC	15/06/2015	7	22/06/2015
Tirage des câbles	15/06/2015	14	29/06/2015
Pose des coffrets électriques	22/06/2015	7	29/06/2015
Raccordements coffrest électriques	22/06/2015	7	29/06/2015
Installation du groupe electrogene			
Dépose groupe électrogène	15/06/2015	7	22/06/2015
Transport groupe électrogène	15/06/2015	7	22/06/2015
Pose groupe électrogène	22/06/2015	7	29/06/2015
Raccordements groupe électrogène	22/06/2015	7	29/06/2015
Tests et mise en service	29/06/2015	5	04/07/2015
Réception des travaux	05/07/2015	3	08/07/2015
Suivi des travaux	08/05/2015	61	08/07/2015

**Tableau 18: Rapport Suivi des travaux du projet**

Période	Suis-je à jour sur mon planning ou suis-je en avance ou en retard ?	Quelles tâches sont en avance ?	Quelles tâches sont en retard ?	Quels problèmes me mettent en retard ?
Du 13 Avril au 18 Avril	en retard	néant	Signature du contrat	Manque de reception du contrat signe
Du 20 Avril au 25 Avril	en retard	néant	Validation des documents transmise au Port	Retard sur la validation des document
Du 27 Avril au 2 Mai	en retard	néant	Mobilisation au site	Manque des autorisation d'accès au port
Du 3 Mai au 14 Mai	en retard	néant	Fondations; Elevation des murs du local Tubage Encastrement	Sous effectif des ouvriers du sous traitant; L'insuffisance des autorisation d'accès au Port; Manque de betoniere par le sous traitant
15 Mai au 24 Mai	en retard	néant	Pose des boitiers	Sous effectif des ouvriers du sous traitant
Du 25 Mai au 15 Juin	en retard	néant	Fourniture et pose du portail; Tranchés; Peinture des murs; Mise en place du système d'extraction gaz	Manque de materiel (fourreaux TPC); Sous effectif des ouvriers du sous traitant
Du 16 Juin au 29 Juin	en retard	néant	Tranches (taversee des voies goudronee et ferree) Pose des grillages avertisseurs et fourreaux; Tirage de cables de puissance du forage; Depose et pose du GE; Raccordement du GE Peinture des murs	Non obtention d'autorisation d'effectuer la traversee de la voie goudronee par le Port; Insuffisance des fourreaux TPC ; Trop de retard accumule
30 Juin au 10 Juillet	en retard	néant	Tranches (taversee des voies goudronee et ferree); Tirage de cables de puissance du forage; Depose et pose du GE; Raccordement du GE; Raccordement à la source	Insuffisance des fourreaux TPC ; Manque des outils de travail par le sous traitant Trop de retard accumule
11 Juillet au 26 Juillet	en retard	néant	Tranches ( traversee de la voie ferree); Tirage de cables de puissance du forage; Pose du GE; Raccordement du GE; Raccordement à la source	Non disponibilite des agent du CFCO pour effectuer la traversee de la voie ferree; Manque de materiel ( cable en cuivre) Trop de retard accumule
27 Juillet au 16 Aout	en retard	néant	Tirage de cables de puissance du forage; Raccordment du GE; Raccordement de la source; Mise en place du système; d'extraction gaz	Non disponibilite des agent du CFCO pour effectuer la traversee de la voie ferree; Manque de materiel (cables en cuivre); Non disponibilite du sous traitant
17 Aout au 29 Aout	en retard	néant	Tirage de cables de puissance du forage; Raccordment du GE; Raccordement de la source; Mise en place du système d'extraction de gaz	Manque de materiel (cables en cuivre); Non disponibilite du sous traitant

A l'égard de tous ces problèmes, plusieurs solutions ont été prises chaque fois afin de booster l'exécution des travaux. Parmi les différentes solutions adoptées, il y a :

- Travailler les weekends et réaliser plusieurs tâches en parallèles ;
- Renforcer les équipes de techniciens Byes et des ouvriers du sous-traitant ;
- Envoyer un courrier sur la mise en application des pénalités de retard au sous-traitant ;
- Suivre de près les demandes de matériels.

Le suivi des travaux permet aussi d'estimer l'avancement global des travaux par mois, selon l'ensemble des travaux déjà exécutent. C'est ce qui est résumé dans le tableau ci-après.

**Tableau 19:** Avancement global des travaux par période

Période	Avancement global des travaux	Reste à réaliser
Du 13 Avril 2015 au 13 Mai 2015	15%	85%
Du 14 Mai 2015 au 14 Juin 2015	40%	60%
Du 15 Juin 2015 au 15 Juillet 2105	58%	42%
Du 16 Juillet au 26 Aout	80%	20%

### 4.3.2 Suivi financier du projet

Pour ce projet d'alimentation électrique du forage d'eau, les résultats ont été moins satisfaisants vue le dépassement du délai des travaux.

**Tableau 20:** Suivi financier du projet a la date du 25 Juillet 2015

Eléments du devis	Objectif du devis (FCFA)	Etat des dépenses engagées par rapport aux objectifs	Ecart	Etat de la caisse
Frais d'études	477 300	Inferieur	Positif	Positif
Frais de personnel	5 829 160	Supérieur	Négatif	Négatif
Fournitures	18 180 200	Inferieur	Positif	Positif
Sous-traitant	16 103 156	Inferieur	Positif	Positif
Transport et parc	2 100 000	Supérieur	Négatif	Négatif
Frais de chantier	270 000	Supérieur	Négatif	Négatif

## **Chapitre 5: COMPARAISON TECHICO- ECONOMIQUE DE L'ALIMENTATION DU FORAGE PAR SOURCE CONVENTIONNELLE ET CELLE PAR SOURCE RENOUELABLE PHOTOVOLTAIQUE**

Limité actuellement par son coût, son faible rendement (de l'ordre de 15 % en production), sa puissance électrique fournie et de l'ensoleillement, le photovoltaïque est une source intermittente d'électricité [5].

De plus, les systèmes photovoltaïques fournissent de l'électricité sans bruit ni nuisance environnementale (en exploitation); facile à installer, ils nécessitent peu de maintenance et font preuve d'une grande fiabilité.

Le présent chapitre du mémoire vise à réaliser une étude technique et une analyse financière de l'installation d'un système photovoltaïque pour l'alimentation électrique du forage d'eau (pompe immergée) du Port Autonome de Pointe-Noire.

Les systèmes photovoltaïques sont actuellement divisés en deux grandes catégories dont : les systèmes autonomes (aussi appelés systèmes isolés ou non connectés au réseau) et les systèmes couplés au réseau [6].

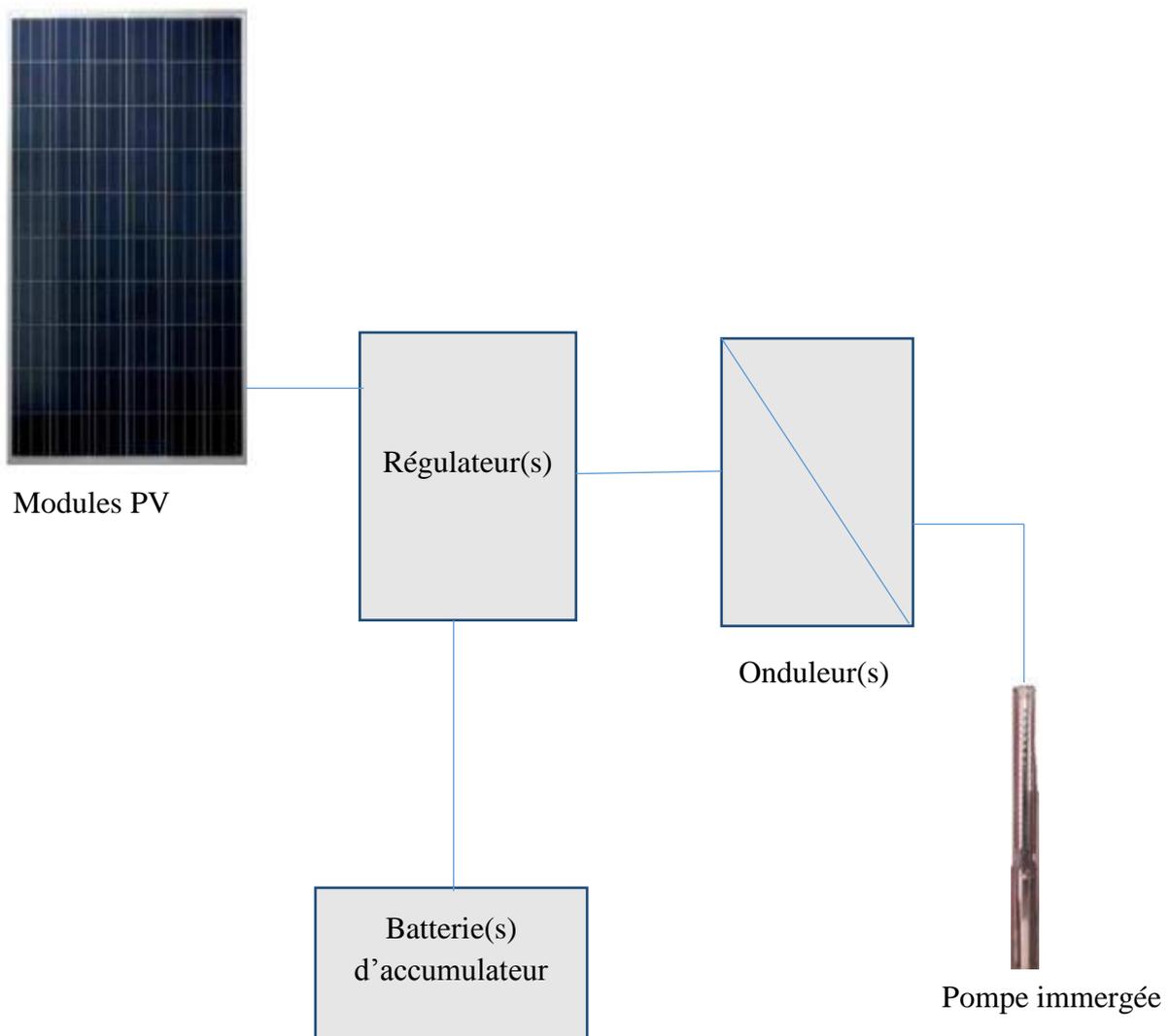
Nous allons premièrement vérifier s'il est possible d'alimenter le forage d'eau du PAPN avec un système photovoltaïque autonome et ensuite nous ferons l'étude pour le cas d'un système couplé au réseau.

### **5.1 Etude technico-économique du système photovoltaïque non connecté au réseau**

Un système photovoltaïque non connecté est un système PV comportant des éléments de stockage afin d'adapter la production photovoltaïque à la demande. Ce système est composé de : panneaux PV, onduleur (s), batterie(s) et de régulateur(s).

La chaîne de production du courant électrique par ce type de système est celle indiquée par la figure 13.

NB: A défaut du régulateur, on peut utiliser l'onduleur chargeur qui est un onduleur avec régulateur de charge intégré.



**Figure 6:** Schéma du système PV non connecté au réseau

### 5.1.1 Rôle et importance des différents composants du système

Le rôle des différents composants du système sont :

- *Module PV* : c'est un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion direct de la lumière du soleil en électricité ;
- *Batterie* : la batterie solaire a pour rôle de stocker de l'énergie produite par les modules photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

- *Régulateur solaire* : Il a pour rôle de contrôler la charge et la décharge de la batterie solaire mais aussi d'arrêter la charge de la batterie lorsqu'elle atteint la limite nécessaire. La durée de vie de la batterie est prolongée grâce au régulateur solaire.
- *Onduleur* : Il a pour rôle de convertir le courant continu en courant alternatif. Vu que la charge à alimenter par le système PV fonctionne en courant alternatif alors, l'emploi d'un onduleur est obligatoire.

### 5.1.2 Dimensionnement du système PV [7]

Nous rappelons que c'est pour alimenter le moteur de la pompe immergée du forage d'eau dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1 que ce système PV est dimensionné. Pour ce faire, nous dimensionnerons notre système en utilisant la méthode de pré-dimensionnement car c'est une méthode détaillée qui tient compte de toutes les caractéristiques du récepteur à alimenter. Cette méthode de pré-dimensionnement se résume en dix étapes qui consistent à :

- 1- Choisir la tension nominale du système.
- 2- Choisir l'onduleur
- 3- Estimer les besoins journaliers en énergie en kWh/j
- 4- Estimer la capacité des batteries d'accumulateur
- 5- Estimer le rayonnement solaire disponible sur le site
- 6- Estimer la puissance du champ PV en Wc
- 7- Calculer les ratios de vérification
- 8- Choisir le régulateur solaire
- 9- Choisir les fusibles de protection du champ PV
- 10- Choisir les câbles de liaison

Dans les lignes ci-dessous, nous ferons une description des différentes étapes de la méthode, les calculs et les résultats y afférents.

#### - **Choix de la tension du système**

Connaissant la puissance absorbée du moteur  $P_{ab}$  = Puissance utile du moteur / rendement du moteur, on calcule la puissance rectifiée du moteur  $P_r = P_{ab} / (\text{rendement de l'onduleur})$  qui permet après de choisir la tension selon tableau 21 ci-après.

**Tableau 21:** Tension du système en fonction de la puissance

Puissance (kWc)	0 - 0,5	0,5 - 2	2 - 10	> 10
Tension recommandée (VDC)	12	24	48	> 48

En faisant le calcul avec le rendement de l'onduleur = 0,95, on trouve une puissance rectifiée  $P_r = 27,57 \text{ kW}$  d'où le choix de la tension du système  $U_{\text{système}} = 60\text{V}$ .

### - Choix de l'onduleur

Connaissant la puissance absorbée et le facteur de puissance du moteur, on calcule la puissance apparente de l'onduleur par la relation :

$$S(kVA)_{\text{onduleur}} = k * S(kVA)_{\text{moteur}} \text{ avec } S(kVA)_{\text{moteur}} = \frac{P_{ab}(kW)}{\cos\alpha}$$

Avec k, le facteur de démarrage, tenant compte de l'appel de courant du récepteur [2]. Dans notre cas,  $k = \frac{I_d}{I_n} = 5,2$

De plus, la relation *Puissance de surcharge de l'onduleur*  $> k * S_{\text{moteur}}$  doit être vérifiée.

En faisant le calcul, nous avons trouvé la puissance  $S = 168,14 \text{ kVA}$ .

Etant donné que la valeur de la puissance des onduleurs autonomes s'arrête souvent à 5kVA monophasé, nous choisirons alors les onduleurs Vitron Energy de 5kVA qui seront couplés en parallèle pour pouvoir atteindre la puissance désirée ( $S = 168,14 \text{ kVA}$ ). On prendra de 3 onduleurs monophasés pour une phase.

### - Estimation du besoin énergétique journalier

Dans notre cas, le besoin énergétique journalier est donné par la relation

$$B_j = P_{ab} * t + P_d * t_d \quad \text{Avec :}$$

$B_j$  : Le besoin énergétique journalier du système en kWh/jour

$P_{ab}$  : La puissance absorbée par le moteur en kW

$t$  : Le temps de fonctionnement journalier en h

$P_d$ : La puissance au démarrage en kW

$t_d$ : Le temps de démarrage en h (pour un démarrage direct du moteur  $t_d = 3s$ )

En faisant le calcul, on trouve le besoin énergétique de la pompe immergée égale 180,77 kWh/jour.

### - Estimation de la capacité des batteries

La capacité d'une batterie est calculée par la formule suivante :

$$C_{\text{bat min}} = \frac{B_j}{V_{\text{bat}} \times \eta_{\text{bat}} \times DM} \times N_{\text{JS}}$$

Avec :

$C_{\text{bat min}}$  : La capacité minimale de la batterie en Ah

$B_j$  : Le besoin énergétique journalier en Wh/jour

$V_{\text{bat}}$  : La tension nominale de la batterie d'accumulateur en V pouvant prendre des valeurs 12V, 24V, 48V etc.

DM: La profondeur de décharge de l'accumulateur allant de 50% à 80% pour une batterie solaire

$N_{\text{JS}}$  : Le nombre de jour de stockage (1 à 5 jours suivant le nombre maximum de jours consécutifs sans soleil).

$\eta_{\text{bat}}$ : Rendement d'une batterie d'accumulateur pouvant prendre des valeurs allant de 75% à 90%

Une fois  $C_{\text{bat min}}$  calculé, on détermine le nombre de batteries en série et le nombre de branche de batteries en parallèle de notre système en utilisant les formules  $N_{\text{as}} = \frac{V_{\text{bat genat}}(V)}{V_{\text{bat}}(V)}$

et  $N_{\text{bp}} = \frac{C_{\text{bat mini.}}(\text{Ah})}{C_{\text{bat}}(\text{Ah})}$  Avec :  $V_{\text{bat genat}}$  est la tension du système et  $C_{\text{bat}}$  la capacité d'une batterie.

Nous avons choisi une batterie de type plomb-acide couramment utilisée en raison de son faible coût et de sa large disponibilité et estimé  $N_{JS}$  égale à 0,25 (1/4) parce que le forage peut à chaque fois être alimenté par la source principale à défaut du PV. Les caractéristiques de la batterie choisie (marque HOPPECK, capacité 200Ah) figurent à l'annexe 12. Ce choix nous a permis d'obtenir les résultats résumés dans le tableau ci-après.

**Tableau 22:** Résultats du calcul de la capacité des batteries

Désignation	Valeurs calculées	Valeur à installer
Besoins journaliers (Wh)	180771,928	-
Nombre de batteries en série (Nbs)	4	
Nombre de branches de batteries en parallèle (Nbp)	29,422	30
Capacité minimale des batteries (Ah)	5884,503	6000
Nombre total de batteries	117,690	120

Après avoir calculé la capacité des batteries, nous avons estimé la surface qu'elles pourraient occuper. Les résultats figurent dans le tableau ci-après.

**Tableau 23:** Estimation de la surface occupée par les batteries

Désignation	Valeur	Unité
Longueur d'une batterie	0,38 m	m
Largeur d'une batterie	0,2 m	m
Surface d'une batterie	0,076	m <sup>2</sup>
Surface totale des batteries	8,944	m <sup>2</sup>
Surface total réel des batteries	13,416	m <sup>2</sup>

**NB :** Surface totale des batteries = Surface d'une batterie x nombre total des batteries ; Surface total réel des batteries = (50% + 1) x Surface du champ où 50% est le coefficient de sécurité pour éviter que les batteries soient serrées les unes contre les autres.

## - Estimation du rayonnement solaire

Pour le dimensionnement d'un système PV, on estime le rayonnement solaire d'une localité en considérant le rayonnement le plus faible de l'année du dit localité afin d'obtenir la production d'électricité requise durant cette période.

L'utilisation du logiciel RETScreen nous a permis de savoir que le rayonnement le plus faible de l'année pour la ville de Pointe – Noire correspond à l'ensoleillement du mois de septembre et est égale à 4,75kWh/m<sup>2</sup>/j sur le plan horizontal.

Notons que la latitude de Pointe-Noire est de 4,81° Sud et sa longitude est de 11,9° Est.

## - Estimation de la puissance du champ photovoltaïque

Connaissant le rayonnement le plus faible de l'année, on estime premièrement la puissance minimale du champ PV à installer par la relation :

$$P_{c \min} (Wc) = \frac{B_j(Wh/j)}{H_{i(h/j)} \times \eta_{bat} \times \eta_{gen}} \quad \text{Avec : } H_i \text{ le rayonnement journalier du mois de septembre sur}$$

le plan incliné (plan des panneaux solaires). Ensuite, on détermine le nombre de modules en série et le nombre de branches en parallèle que devra avoir le champ PV à installer en

$$\text{utilisant les formules suivantes : } N_{MS} = \frac{V_{bat,gen}(V)}{V_M(V)} \quad \text{et} \quad N_{BP} = \frac{P_{c \min}(W)}{P_M(W) \times N_{MS}}$$

Où  $V_M$  et  $P_M$  sont respectivement la tension et la puissance du module à installer.

En choisissant un module PV poly-cristallin couramment utilisé en raison de sa disponibilité, de son faible coût par rapport à d'autres types de module, nous avons obtenus les résultats ci-dessous.

**Tableau 24:** Caractéristiques du champ PV pour le système isolé

Désignation	Valeur calculée	Valeur à installer
Pc nominal d'un module (Wc)		260
N <sub>MS</sub>	1,967	2
N <sub>BP</sub>	116,298	117

Désignation	Valeur calculée	Valeur à installer
Nombre de panneaux	228,7094235	234
P <sub>C</sub> à installer (WC)	59 464,34	60 840

Les caractéristiques du module PV choisi sont à l'annexe 13.

Après avoir calculé la puissance du champ PV, nous avons estimé la surface qu'occupera ce champ PV. Les résultats figurent dans le tableau ci-après.

**Tableau 25:** Estimation de la surface occupé par le champ PV

Désignation	Valeur	Unité
Longueur d'un module PV	1,636	m
Largueur d'un module PV	0,992	m
Surface d'un module PV	1,623	m <sup>2</sup>
Surface du champ	371,175	m <sup>2</sup>
Surface réel du champ	408,293	m <sup>2</sup>

**NB :** Surface du champ = Surface d'un module x Nombre total des modules ;

Surface réel du champ = (10% + 1) x surface du champ où 10% est le coefficient de sécurité.

### - Calcul des ratios de vérification

Pour une bonne adéquation (compatibilité) entre le générateur PV, les batteries et le besoin énergétique, les relations suivantes doivent être simultanément vérifiées.

✚ Degré de décharge quotidien (D<sub>dp</sub>)

$$D_{dp} = \frac{B_j(Wh/j)}{C_{bat}(Ah)*V_{bat}(V)} \leq \frac{DM}{N_{JS}}$$

✚ Ratio 1 (R1)

$$R_1 = \frac{P_C \text{ generateur}(Wc) * H_{i(h/j)} * \eta_{bat} * \eta_{gen}}{B_j(Wh/j)} > 1$$

✚  $R_2 = \frac{C_{bat \text{ mini.}(Ah)}}{I_{Sc}(A) * N_{BP}} \in [20,40]$

Le calcul nous a donné les résultats résumés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 26:** Ratio de vérification

Degré de décharge quotidien (D <sub>dq</sub> )		
D <sub>dq</sub>	2,5107	
DM/N <sub>js</sub>	3,2	
Vérification	2,51 < 3,2	Bien
Calcul du Ratio 1		
Ratio 1	1,0013	
Vérification	1,0012 > 1	Bien
Calcul du Ratio 2		
Ratio 2	22,0022	
	22,0022 est entre [20;40]	Bien

**Conclusion :** Il y a une bonne compatibilité entre le générateur PV, les batteries et le besoin énergétique.

### - Choix du régulateur de charge et décharge

Deux conditions permettent de choisir un régulateur de charge et décharge dont :

Première condition : Le régulateur doit pouvoir au moins supporter :

- l'intensité maximale de court-circuit générée par le générateur  $I_{Gén} = I_{sc} \times N_{BP}$
- l'intensité nominale de la totalité des récepteurs alimentés par le régulateur  $I_R = \sum I$

Deuxième condition :

L'intensité nominale du régulateur doit vérifier la relation  $I_{nR} \geq \text{Max} (I_{sc \text{ gén}}; I_R)$ . De plus, la puissance du champ PV doit être supérieure ou égale à la puissance du régulateur. Avec :

- $I_{nR}$  : L'intensité nominale du régulateur
- $I_R$  : L'intensité du récepteur à alimenter
- $I_{sc \text{ gén}}$  : L'intensité maximum de court-circuit du générateur PV ( $I_{sc \text{ gén}} = N_{bp} * I_{sc M}$ )

Le calcul nous a donné les résultats du tableau 14, ci-dessous.

**Tableau 27:** Résultats du calcul de l'intensité du régulateur

Choix du régulateur	
En amont	
Isc module (A)	9,09
Intensité maximale de court-circuit du générateur (A)	1063,53
En aval	
Int récepteur Ir (A)	140,58
Caractéristique du régulateur choisi	
max (Icc gén, Ir)	1063,53
Tension du régulateur (V)	48

Pour le calcul de ces résultats, Cf. l'annexe 14.

Par rapport aux résultats obtenus et à la loi empirique qui stipule que « une batterie doit être chargée au 1/10 de sa capacité » nous choisissons trente (30) régulateurs FLEX max 80A de charge et décharge recherchant en permanence le point de puissance maximum (MPPT qui signifie en anglais Maximal Point Power Tracking). Le choix de ce type de régulateur MPPT

s'explique par le fait que celui-ci permet d'augmenter le rendement d'une installation photovoltaïque de 30% par rapport au régulateur classique et il prolonge significativement la durée de vie des batteries tout en optimisant la charge des batteries.

Après avoir choisi le régulateur de charge et de décharge, nous avons estimé la surface qu'occuperont ceux-ci. Les résultats figurent dans le tableau ci-après.

**Tableau 28:** Estimation de la surface occupée par les régulateurs

Désignation	Valeur	Unité
Longueur d'un régulateur	0,413	m
Largueur d'un régulateur	0,14	m
Surface d'un régulateur	0,058	m <sup>2</sup>
Surface des régulateurs	1,735	m <sup>2</sup>
Surface réel des régulateurs	1,908	m <sup>2</sup>

Nous avons premièrement vérifié s'il est possible d'alimenter la pompe immergée du forage avec un système photovoltaïque autonome. Les 8 étapes abordées montrent que ce système sera très difficile à installer car les résultats issus de nos calculs font ressortir que pour alimenter le forage d'eau (pompe immergée) du PAPN par un système isolé, il faut:

- Un espace de 408,29 m<sup>2</sup> pour le champ PV ;
- Un espace de 13, 416 m<sup>2</sup> pour les batteries ;
- Un espace de 1,908m<sup>2</sup> pour les régulateurs.

C'est sans compter l'espace qu'occuperont les onduleurs.

**Conclusion :** Techniquement, il sera très difficile d'installer le système photovoltaïque avec batterie pour alimenter le forage d'eau du Port Autonome de Pointe – Noire, car il n'y a presque pas d'espace vide au PAPN et le coût d'investissement sera très grand à tel enseigne que le port ne s'y intéressera pas.

Pour des fins de comparaison entre l'alimentation par source conventionnelle et celle par source renouvelable photovoltaïque, nous avons dans un premier temps réalisé une étude

technique dans le cas d'un système PV isolé. Dans les paragraphes suivants, nous ferons une étude technico-économique dans le cas d'un système PV connecté au réseau.

## 5.2 Etude technico-économique d'un système PV connecté au réseau

Contrairement au système PV isolé, le système PV connecté au réseau est un système PV ne comportant pas des éléments de stockage. Ce système est composé de Modules PV et d'onduleur (s) réseau.

Nous rappelons que le besoin en énergie de la pompe immergée du forage sur lequel nous travaillons est de 180,772 kWh/j.

Vu que le port a un problème d'espace, nous allons faire une simulation en faisant varier la puissance à injecter au réseau. Cela nous permettra de dimensionner le champ PV à installer en fonction de la production annuelle en énergie et la surface totale du champ. Ensuite, nous réaliserons l'analyse financière du système et calculerons le taux de retour sur investissement du système.

En réalisant la simulation à l'aide du logiciel PVsyst, nous avons abouti aux résultats consignés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 29:** Caractéristiques des champs PV obtenues par simulation

Désignation	Injection de 10kWc	Injection de 20kWc	Injection de 30kWc
Pn d'un module PV	200 Wc	200 Wc	200 Wc
Nms	13	12	13
Nbp	4	8	12
Nombre total de module	52	96	156
Pn total	10,40 kWc	19,20 kWc	31,2 kWc
Pn de l'onduleur réseau	9 kW AC	9 kW AC	9 kW AC
Nombre totoal d'onduleur	1	2	3

Désignation	Injection de 10kWc	Injection de 20kWc	Injection de 30kWc
Energie produite par an	14020 kWh	25 880 kWh	42070 kWh
Surface du champ PV	81,6 m <sup>2</sup>	151m <sup>2</sup>	245m <sup>2</sup>

Nous nous sommes limite aux trois premières simulations du fait que 30kWc suffit pour à alimenter la pompe immergée de 22kW.

### 5.2.1 Choix protection des systèmes

La protection d'un champ photovoltaïque se fait par les fusibles dédiés aux installations photovoltaïques.

En effet, les valeurs de court-circuit générées par des modules photovoltaïques lors d'un défaut sont de l'ordre de deux à trois fois le courant nominal et les fusibles standards ne sont pas adaptés à ce type de protection.

Ces fusibles doivent satisfaire les conditions suivantes :

- ✚ La tension de fonctionnement du fusible ( $U_f$ ) doit être de 1,5 fois la tension à vide ( $V_{co}$ ) des conditions STC des modules raccordés en série ( $U_f \geq 1,15 \times V_{co} \times N_{bs}$ )
- ✚  $1,5 \times I_{sc} \leq I_f \leq 2 \times I_{sc}$ , pour la protection des branches.
- ✚  $1,5 \times N_{bs} \times I_{sc} \leq I_f \leq 2 \times N_{bs} \times I_{sc}$  pour la protection générale du champ.

Avec :  $I_f$  le Calibre des fusibles photovoltaïques et  $I_{sc}$  le courant de court-circuit du module PV.

En respectant les conditions ci-dessus, le calcul des calibres de fusibles nous a donné les résultats du tableau 30.

**Tableau 30:** Calibre de fusibles

Puissance du champ	Calibre de fusible pour la protection des branches	Quantité de fusibles pour la protection des branches	Calibre de fusible pour la protection générale	Tension à respecter
10 kWc	20A	4	80A	135,7V
20 kWc	20A	8	150A	271,4 V
30 kWc	20A	12	220A	407,1V

### 5.2.2 Calcul de section des câbles

La section des câbles se calcule par la relation  $\Delta V_L \times U = \frac{2 \times \rho \times L \times I}{S}$  soit  $S \geq \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\Delta V_L \times U}$  Où

$\Delta V_L$  : La chute de tension limite en %

S : La section des câbles en mm<sup>2</sup>

$\rho$ : La résistivité du câble en  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$  (pour un câble en cuivre  $\rho = 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )

L: La longueur de canalisation en m

U : La tension en V

I : L'intensité du courant en A

Le calcul nous a donné les résultats suivants.

**Tableau 31:** Section de câbles entre le champ PV et le boîtier de raccordement

Désignation	Longueur (m)	In (A)	S (mm <sup>2</sup> )
Champ PV - boîtier de raccordement	12	20	4
Boîtier – Onduleur (pour 20kWc)	6	80	16
Boîtier – Onduleur (pour 30kWc)	6	150	35
Boîtier – Onduleur (pour 40kWc)	6	220	50

Désignation	Longueur (m)	I (A)	S (mm <sup>2</sup> )
Onduleur – Réseau pour l’injection de 10kWc	10	16,24	4
Onduleur – Réseau pour l’injection de 10kWc	10	32,47	10
Onduleur – Réseau pour l’injection de 10kWc	10	48,71	16

### 5.2.3 Analyse financière de l’installation

L’étude d’un système PV ne s’arrête pas seulement à son étude technique mais il faut aussi faire, une étude financière pour pouvoir déterminer le coût économique capable de satisfaire le mieux possible les conditions imposées.

Pour ce faire, nous allons réaliser l’analyse financière de notre installation en calculant le coût total d’investissement des champs 10 kWc, 20kWc et 30kWc.

Le calcul du coût total d’investissement (CI) prend en compte des frais initiaux (FI) ; tous les frais futurs sur la durée de vie de l’installation : Frais de remplacement de certains composants du système (FR), frais d’entretien et de réparation du système (FER). Ainsi, le coût total d’investissement d’un système PV peut être calculé comme suite :

$$CI = FI + FR + FER$$

#### 5.2.3.1 Frais initiaux (FI)

Les frais initiaux sont considérés dans la plupart des cas, comme la somme des frais d’achats et d’installation des équipements du système PV.

**Tableau 32:** Frais initiaux des différents champs

Puissance du champ PV	Frais d’investissement initial (FCFA)
10 kWc	8 255 083,33
20 kWc	15 495 500
30 kWc	24 609 250

NB : Les détails sur les calculs de FI sont en annexe 15, 16 et 17.

### 5.2.3.2 Frais de remplacement des composants du système (FR)

On évalue les frais de remplacement pour les composants ayant une durée de vie inférieure à celle du système. De ce fait, nous allons juste considérer les frais de remplacement des onduleurs, car les câbles électriques et les modules PV ont une longue durée de vie que les onduleurs (50 ans pour les câbles et 25 ans pour les modules). Les estimations nous ont permis d'obtenir les résultats ci-après.

**Tableau 33:** Frais de remplacement des différents composants du système PV

Puissance du champ PV	Matériels à remplacer	Coût de remplacement
10 kWc	Onduleurs	2 193 750
20 kWc	Onduleurs	4 387 500
30 kWc	Onduleurs	6 581 250

### 5.2.3.3 Frais d'entretien et de réparation FER

Les frais d'entretien et de réparation sont les frais qui permettent de faire vivre le système. Ces frais sont souvent très difficiles à estimer par rapport au frais d'investissement initial.

En effet, le problème majeur est celui de la justification à priori d'une politique de maintenance préventive puisqu'il n'est pas toujours aisé de prévoir combien va coûter une défaillance d'un composant du système.

**Tableau 34:** Frais d'entretien et de réparation des composants du système PV

Différents Champs PV	Frais d'entretien et réparation/mois (FCFA)	Frais matériels (FCFA)	FER total/mois (FCFA)	FER total /an (FCFA)
Champ PV de 10 kWc	10000	10000	20000	240.000
Champ PV de 10 kWc	20000	20000	40000	480.000
Champ PV de 10 kWc	30000	30000	60000	720.000

Les coûts totaux d'investissement par rapport aux différents champs figurent dans le tableau 35.

**Tableau 35:** Coûts totaux d'investissement

Puissance du champ PV	Coût total d'investissement
10 kWc	10 688 833,33 FCFA
20 kWc	20 123 000 FCFA
30 kWc	31 430 500 FCFA

NB : Tous les montants utilisés sont des montants par rapport au marché Burkinabè

#### **5.2.3.4 Temps de retour sur investissement TRI**

Le TRI est l'un des facteurs essentiels qui permettent de déterminer si une installation est intéressante ou non. Il peut être défini comme le ratio entre le coût d'investissement du système et la production annuelle du champ PV en termes d'argent en une année (FCFA/an).

$TRI = \text{Coût total d'investissement} / \text{coût de production annuelle du champ PV}$

Les calculs ont été réalisés à partir du prix du kWh de Pointe-Noire et Ouagadougou, pour des besoins de comparaison. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 36.

**Tableau 36:** Temps de retour sur investissement des différents champs PV (selon le prix du kWh à Pointe-Noire)

TRI par rapport au prix du kWh à Pointe Noire (PAPN)				
P injectée dans le réseau (kWc)	Energie produite par le système PV E (kWh/an)	production annuelle du champ PV en termes d'argent (FCFA/an)	Coût total d'investissement (FCFA)	TRI (ans)
10	14020	356668,8	10.688.833,33	29,968
20	25880	658387,2	20.363.000	30,928
30	42070	1070260,8	31.910.500	29,815
TRI par rapport au prix du kWh à Ouagadougou (2iE)				
10	14020	1402000	10.688.833,33	7,624
20	25880	2588000	20.363.000	7,868
30	42070	4207000	31.910.500	7,585

**NB :** Prix du kWh à Pointe-Noire (PAPN) : 1kWh = 25,44FCFA pour les transfos de S >250 kVA et 1kWh = 28,68FCFA pour 0 < S < 250kVA

Prix du kWh à Ouagadougou (2iE): pour un transfo de 400kVA, 1kWh = 100 FCFA en heure pleine et 1kWh = 118FCFA en heure de pointe

Les résultats obtenus par rapport au prix du kWh à Porte-Noire montrent que le PAPN peut installer un système PV connecté au réseau mais ce dernier ne sera pas rentable du fait des valeurs élevées du TRI (dues au bas prix du kWh).

Contrairement, à Pointe-Noire, le photovoltaïque constitue une option rentable à Ouagadougou compte tenu du prix élevé du kWh (1kWh en moyenne = 100FCFA/kWh) et du fort taux d'ensoleillement ( $E = 5,51\text{kWh/m}^2/\text{j}$ ) supérieur à celui de Pointe-Noire.

**Conclusion :** Au terme du présent chapitre, il ressort que l'alimentation du forage d'eau du PAPN par la source conventionnelle est la meilleure option.

En outre, il ressort aussi que le prix du kWh est le facteur déterminant de la rentabilité d'un système photovoltaïque.

## RECOMMANDATIONS

### - A l'endroit des autorités du Port Autonome de Pointe Noire

- **Remplacer le groupe électrogène installé par un groupe électrogène de 130 kVA :** Il est mieux d'acheter un GE de 130 kVA pour alimenter la pompe immergée de 22kW que de le faire par un GE de 400 kVA. En effet, pour la même charge le groupe électrogène de 400 kVA consomme 2 fois en carburant que le groupe de 130 kVA.
- **Acheter une pompe immergée pouvant supporter le mode de démarrage étoile-triangle pour ces prochains projets :** l'utilisation d'un moteur à démarrage étoile-triangle permet de faire des économies d'énergie contrairement à un moteur à démarrage direct qui a une forte consommation en énergie au démarrage (environ trois fois l'énergie consommée par un moteur à démarrage étoile triangle).
- **Installer un bac à sable et un extincteur de classe B CO<sub>2</sub> de manière à ce qu'ils soient visibles et accessibles.** C'est Pour des raisons de sécurité

### - A l'endroit de Bouygues

L'analyse du projet a révélé que le sous-traitant a été mal sélectionné, la durée d'approvisionnement du matériel provenant de l'extérieur du pays a été mal estimée et l'analyse des environnements externes du projet n'a pas été faite en ce sens que le projet a fait cinq mois au lieu de trois mois. C'est pourquoi, nous recommandons à Byes Congo :

- **D'être plus rigoureux lors du choix d'un sous-traitant ;**
- **De bien tenir compte de la durée d'approvisionnement du matériel provenant de l'extérieur du pays ;**
- **De faire une étude des environnements externes du projet**

La connaissance de ces paramètres permettra à Bouygues Congo d'être performant dans la réalisation de ses projets.

## CONCLUSION

Le présent mémoire a été entrepris dans l'optique de réaliser une étude électrique de l'installation du forage d'eau, d'une comparaison technico-économique de l'alimentation du forage par source conventionnelle et celle par source renouvelable photovoltaïque.

Au terme de l'étude technique du projet, il ressort que pour assurer une bonne alimentation continue du forage d'eau du PAPN, il faut un groupe électrogène de 130kVA, des câbles de dimensions 70mm<sup>2</sup> et 50mm<sup>2</sup>, des équipements de protection de calibre 60A et 80A. Cependant, l'entreprise suite au cahier de charges du PAPN a installé un GE de 400kVA. Somme toute, le groupe électrogène a été surdimensionné et cela pourrait causer des dommages tels que les pertes d'énergie, la consommation inutile du carburant.

Au terme de la comparaison de l'alimentation électrique du forage par la source conventionnelle et celle de la source renouvelable, il ressort que le photovoltaïque n'est pas une bonne alternative dans les pays où le prix du kWh est bas (1kWh inférieur à 150 FCFA). Cependant lorsque le prix du kWh atteint 150FCFA, le photovoltaïque constitue une option bénéfique. Etant donné que le prix du pétrole est sans cesse en train de grimper et que la plupart des pays en voie de développement dépendent des centrales thermiques pour leurs besoins en énergie, le prix du kWh augmentera. De ce fait, le PV constitue une source d'énergie de l'avenir que les PED pourront exploiter à leur avantage.

## Bibliographie

- [1] OMS-Offre Technique Maintenance Clim 2015 «Document de Bouygues E&S Congo»
- [2] Manuel général et sécurité disponible sur le net. Consulte le 16 Juillet 2015. Accessible en ligne
- [3] Michel Diebolt «Cours EIER tome 4, alimentation des sites isolés »
- [4] D. Yamegueu, " Expérimentation et optimisation d'un prototype de centrale hybride solaire pv/diesel sans batteries de stockage: validation du concept « FLEXY ENERGY »", Thèse de doctorat(2012), université de perpignan- France et 2iE- Burkina Faso.
- [5] N. Achaïbou, « Introduction à l'Etude du Système de Stockage dans un Système Photovoltaïque ». Rev. Energ. Ren : Valorisation (1999) 1-6.
- [6] L'Energie solaire fil conducteur de l'Union pour la Méditerranée, Mars 2010, Bernard Fontaine
- [7] O. A. BAGRE «Conception de dimensionnement des systèmes photovoltaïques avec batteries».
- [8] systemes\_bible\_recueil.php «modes de démarrage». Accessible en ligne

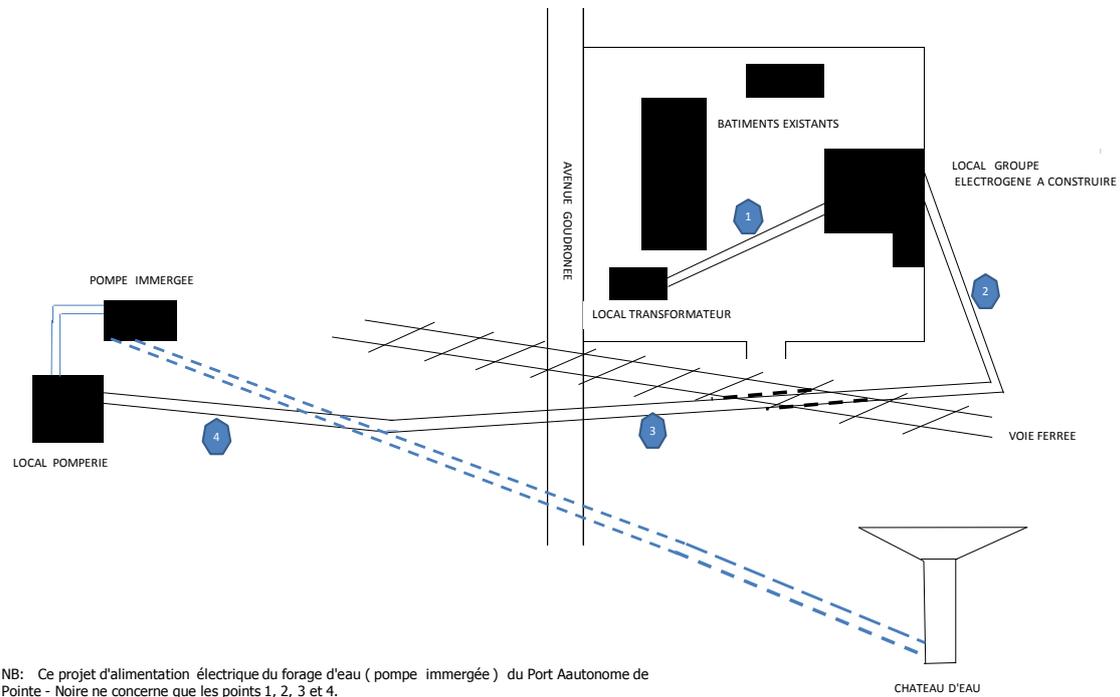
## Webographie

[http://www.congo-site.com/Les-donnees-generales-sur-le-Congo\\_a18.html](http://www.congo-site.com/Les-donnees-generales-sur-le-Congo_a18.html). Consulté le 08 Novembre 2015

<http://www.papn-cg.org> Consulté le 10 Juillet 2015

[www.lenntech.com](http://www.lenntech.com) «Fiche technique, Grundfosliterature –SP-A-FR-L». Consulté le 15 Juin 2015

## Annexe 1: Schéma de présentation du projet

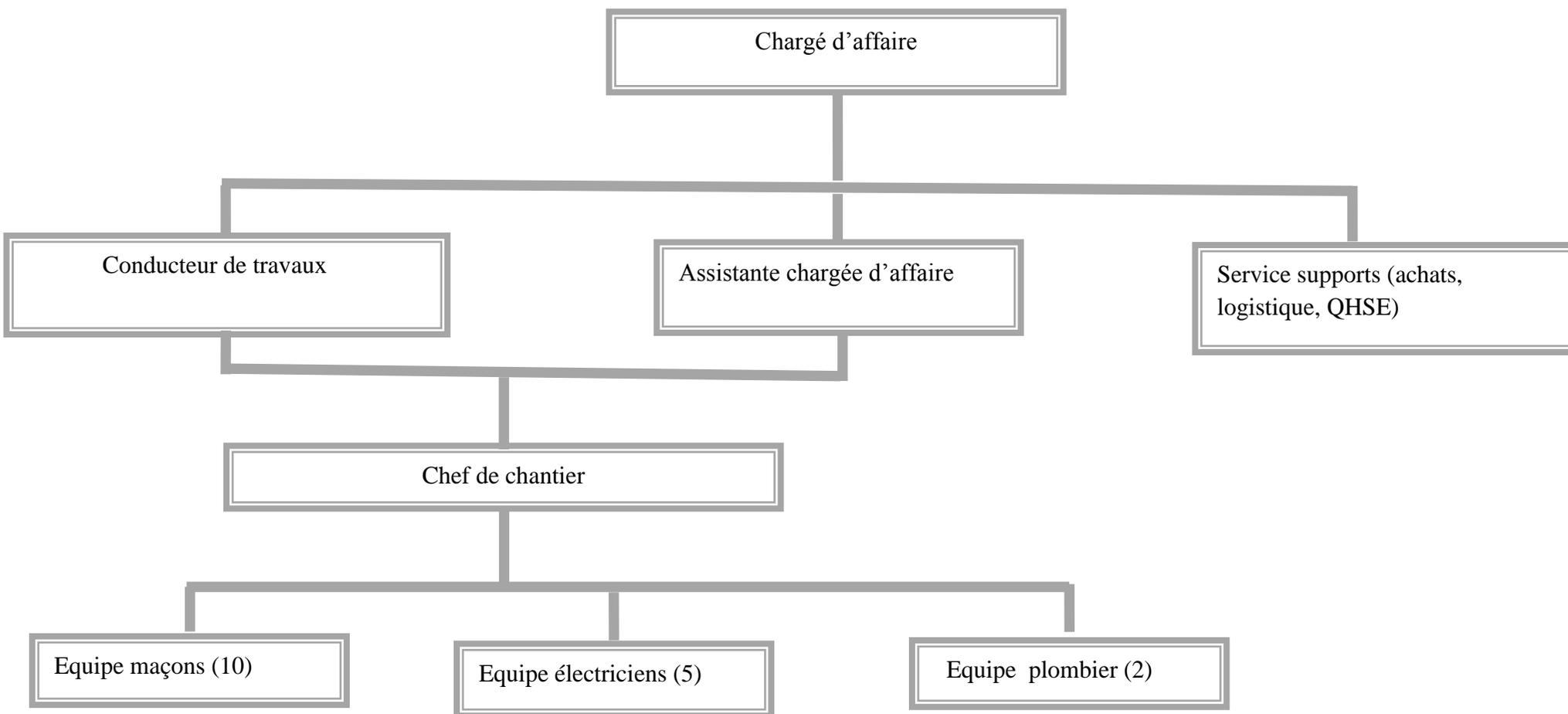


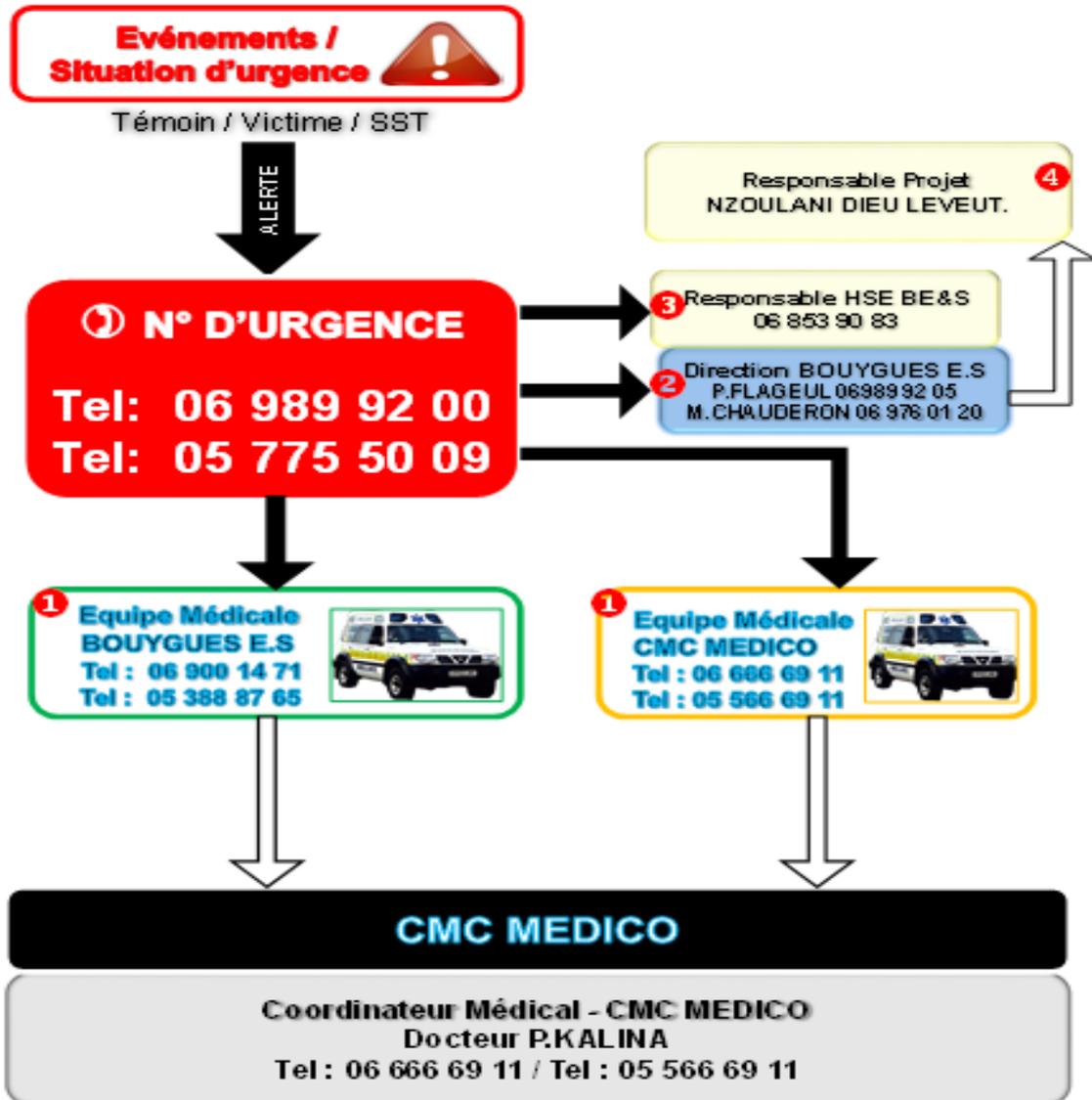
NB: Ce projet d'alimentation électrique du forage d'eau (pompe immergée) du Port Autonome de Pointe - Noire ne concerne que les points 1, 2, 3 et 4.

## Annexe 2: Macro planning du projet

Désignation	Sem1	Sem2	Sem3	Sem4	Sem5	Sem6	Sem7	Sem8	Sem 9	Sem10	Sem11	Sem12
Signature du contrat												
Transmission des fiches techniques pour validation												
Transmission des plans												
Transmission de planning détaillé												
Transmission organigramme projet												
Transmission de contacts Byes												
Validation des documents par le PAPN												
Préparation du matériel												
Mobilisation du site												
Travaux de construction du local GE												
Tranchées												
Pose gaine plus grillage avertisseur												
Tirage de câbles												
Pose des coffrets électriques												
Raccordements coffrets électriques												
Dépose groupe électrogène												
Transport du groupe électrogène												
Pose du groupe électrogène												

### Annexe 3: Organigramme projet





## Annexe 5: Eléments de chiffrage du Projet

<b>FRAIS D'ETUDES</b>	<b>QTE</b>	<b>UNITE</b>	<b>P.U</b>	<b>477 300</b>
Encadrement EEXE (Resp. Etudes et Ingénieur)	12	h	30 000	360 000
MO EEXE technicien	32	h	3 500	112 000
Tirage de plans	1	u	1 500	1 500
Téléphone	1	u	1 800	1 800
Consommables	1	u	2 000	2 000
<b>FRAIS DE PERSONNEL</b>	<b>QTE</b>	<b>UNITE</b>	<b>P.U</b>	<b>5 829 160</b>
X1 (technicien...)	275	h	2 750	755 425
ASE	320	h	2 500	800 000
Coefficient d'improductivité	0	u	686 750	13 735
<b>CA LOCAL</b>	<b>40</b>	<b>h</b>	<b>25 500</b>	<b>1 020 000</b>
Chef de chantier	240	h	13 500	3 240 000
<b>SOUS-TRAITANCE</b>	<b>QTE</b>	<b>UNITE</b>	<b>P.U</b>	<b>16 103 156</b>
X1	1	ens	16 103 156	16 103 156
<b>TRANSPORT</b>	<b>QTE</b>	<b>UNITE</b>	<b>P.U</b>	<b>2 100 000</b>
pickup	1	mois	1 900 000	1 900 000
camion HIAB	8	h	25 000	200 000
<b>FRAIS DE CHANTIER</b>	<b>QTE</b>	<b>UNITE</b>	<b>P.U</b>	<b>270 000</b>
colring	1	ft	20 000	20 000
colson	1	ft	20 000	20 000
embase	1	ft	20 000	20 000
boulonnerie	1	ft	20 000	20 000
scotch	1	ft	20 000	20 000
visserie	1	ft	20 000	20 000
divers	1	ft	20 000	20 000
escarbot	1	ft	20 000	20 000
téléphone	1	ft	20 000	20 000
trousse à pharmacie	1	ft	20 000	20 000
divers	1	ens	70 000	70 000
<b>Aléas</b>	<b>QTE</b>	<b>UNITE</b>	<b>P.U</b>	<b>966 435</b>
aléas personnel	5,0%		6 760 485	338 024
aléas matériel	0		15 710 280	628 411

### Annexe 6: Calcul des dimensions du local en fonction des dimensions des GE

Désignation	Dimensions GE	Espace entre GE et les murs du local	Dimensions total avec le GE	Dimensions du local GE (m)	V (m3)
GE1	Longueur: 4m	3m	7m	Hauteur : 4,4 Largeur: 6,6 Longueur : 7	203,28
	Largeur: 1,3m	2m	3,3m		
	Hauteur: 2,4m	2m	4,4m		
	Poids: 4760kg				
GE2	Longueur: 4m	3m	7m		
	Largeur: 1,3m	2m	3,3m		
	Hauteur: 2,4m	2m	4,4m		
	Poids (kg) : 4760				

## Annexe 7: Différents modes de démarrage [8]

Mode de démarrage	Direct	Etoile-triangle	Statorique	Rotorique	Auto - Transformateur	Démarréur progressif	Variateur de vitesse
Courant de démarrage	4 à 8 In	1,3 à 2,6 In	4,5 In	< 2,5 In	1,7 à 4 In	2 In	1,5 In
Avantages	Simple, Important couple, temps de démarrage minimal	Courant réduit au 1/3, Appareillage simple	Choix du couple, transition sans coupure, faible cout	Souple, faible appel de courant, surintensité	Choix du couple, appel de courant réduit, démarrage sans coupure	Vitesse progressive, appel de courant limite, usure réduit des pièces	Courant limite, démarrage sans a coup, vitesse variable
Inconvénients	Fort courant de démarrage, démarrage brutal	Couple réduit au 1/3, coupure au passage étoile triangle	Couple réduit, non recommande pour des démarrages fréquents	Moteur a bague, nécessite plusieurs contacteur et résistances	Couteux, transformateur spécial	Très couteux, convient à des grands moteurs	Cout très onéreux
Application	Petite puissance (7 CV), machine à fort couple...	Machines -outils, ventilateurs, pompes...	Machine a démarrage souple, ventilateur, pompe...	Machine a démarrage et progressif, moteur a rotor bobine	Machine a puissance élevée (>100kW), pompes, compresseur à piston	Machines demandant des variations de couple ou diminutions de courant	Tout système a vitesse réglable

## Annexe 8: Bilan de puissance de l'installation

Désignation		Qte	Pu(W)	Rend	Cos $\alpha$	P <sub>ab</sub> (W)	Ku	P(W)	Ks1	P1(W)	Ks2	P2(W)	ks3	P3 (W)	Moyenn e (Cos $\alpha$ )
Forage	Pompe immergée	1	22000	0,84	0,81	26190	-	26190,5	-	26190,47619	-	26190			
Local GE	Eclairages	8	36	-	0,8	288	1	288	1	288	0,9	3438,7	0,9	26666	0,8033
	Prises de courant 2P+T	3	2944	-	0,8	8832	1	8832	0,4	3532,8					

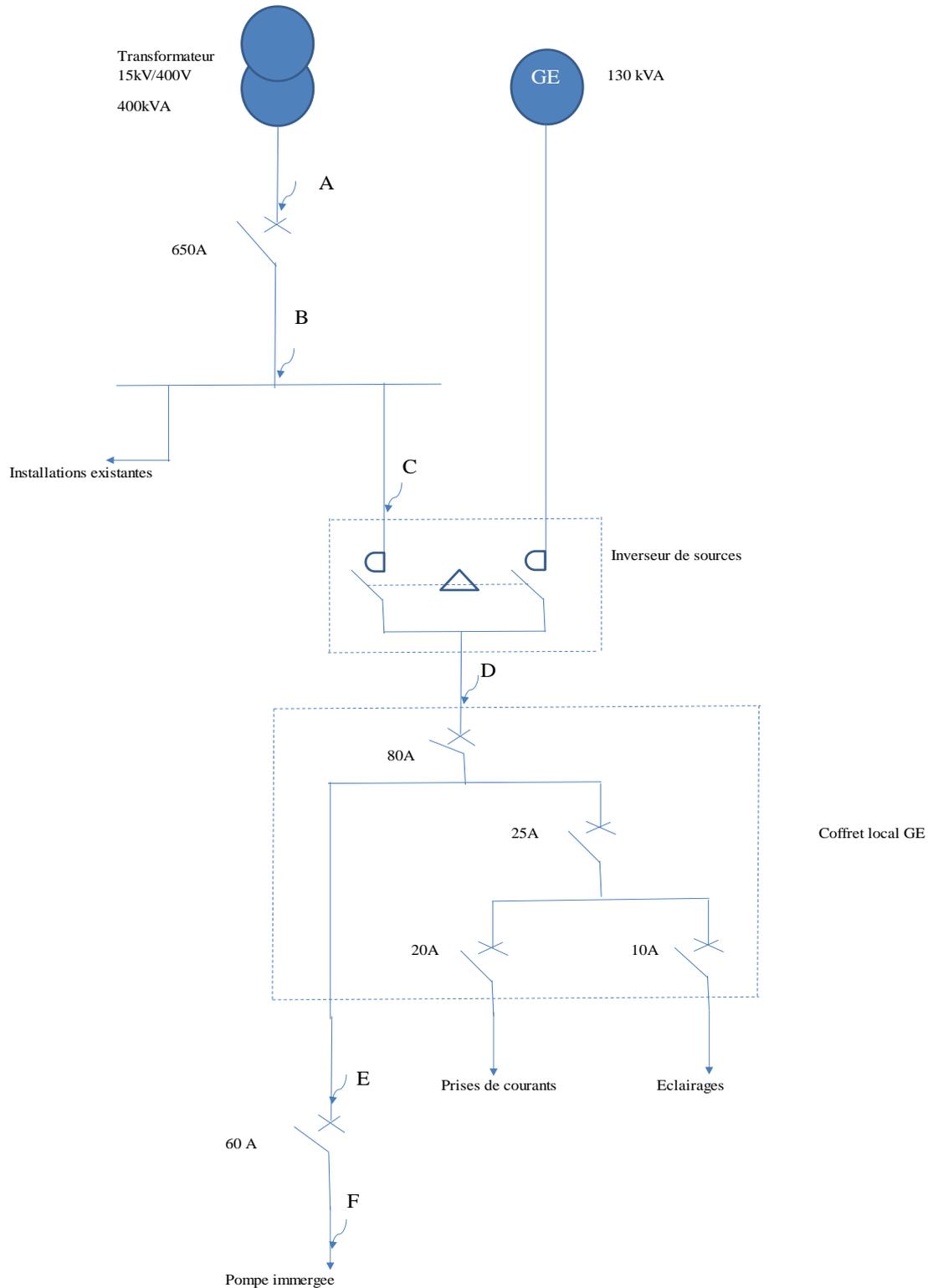
## Annexe 9: Calcul du courant d'emploi

Désignation	Qte	Pu(W)	Pa(W)	Ku	P (W)	Ks1	P(W)	I <sub>B(A)</sub>	I <sub>B(A),est</sub>	I <sub>n(A)</sub>	Ks2	P(W)	I <sub>B(A)</sub>	I <sub>B(A),est</sub>	I <sub>n(A)</sub>	Ks3	P(W)	I <sub>B(A)</sub>	I <sub>B(A),est</sub>	I <sub>n(A)</sub>	
Forage	Pompe immergée	1	22000	26937	-	26937	-	26936,9	48	60	-	26937									
	Eclairages	8	36	288	1	288	1	288	1,565	1,956522	10										
Local GE	Prises de courant 2P+T	3	2944	8832	1	8832	0,4	3532,8	19,2	24	20	0,9	3438,7	18,689	23,361	25	0,9	27338	49,3238	61,6547	80

## Annexe 10: Calcul de chute de tension au démarrage

Circuits	L(m)	S (mm <sup>2</sup> )	Démarrage direct		Démarrage étoile/triangle	
			$\Delta U(V)$	$\Delta U(\%)$	$\Delta U(V)$	$\Delta U(\%)$
Transformateur-Inverseur	50	240	3,075	0,76875	3,075	0,76875
Inverseur – Coffret local	3	240	0,1845	0,04613	0,1845	0,046125
Coffret local-Coffret forage	200	50	21,900397	5,4751	8,3172	2,0792927
Coffret forage - Pompe immergée	126	16	33,67181	8,41795	11,22	2,8059838
Transformateur - Pompe			58,8317	14,7079	22,8	5,7001515

## Annexe 11: Schéma électrique de l'installation



## Annexe 12 : Dispositifs de protection de l'installation

Désignation	Type de disjoncteur	Calibre (A)	Calibre de sensibilité (mA)	Pcc	Reference
Prises de courant 3P+T	C60N avec bloc vigi différentiel	20	30	10kA à 220V/240V	24203
Eclairage	C60N avec bloc vigi différentiel	10	300	10kA à 220V/240V	24201
Local GE	C60N	25	-	10kA à 220V/240V	24204
Pompe immergée	Compact NSX100F	63	-	36 kA à 380V/415V	LV429622
Protection générale		80	-	36 kA à 380V/415V	LV429621

### Annexe 13: rapport de calcul des courants de court-circuit

Désignation	R (mΩ)	X (mΩ)	RT (mΩ)	XT (mΩ)	ZT (mΩ)	I <sub>cc</sub> (kA)
Réseau amont, Pcc = 500 MVA	0,05	0,035				
Transformateur, 15kV/400V Ucc (%) = 4	5,03	16,04				
Transformateur-disjoncteur de tête, Câble 2x240mm <sup>2</sup> / phase, câble en cuivre, L= 6m	0,28125	0,48				
Défaut A			5,36	16,55	17,4	13,27
Disjoncteur	négligeable	0,15				
Disjoncteur de tête - jeu de barres, câble unipolaire en cuivre 2x240mm <sup>2</sup> / phase, L= 4m	0,1875	0,32	0,1875			
Défaut B			5,54875	17,025	17,9064	12,8
Jeu de barres	négligeable	0,15				
Jeu de barres- Inverseur, câble unipolaire en cuivre 2x240mm <sup>2</sup> /phase, L= 40	1,875	3,2	2,0625			
Défaut C			7,42375	20,375	21,68	1065
Inverseur - Coffret, câble unipolaire, 2x240mm <sup>2</sup> /phase, L = 3m	0,140625	0,24				
Défaut D			7,56	20,61	21,96	10,52
Coffret local GE - Disjoncteur de tête pompe, câble unipolaire, 1x70mm <sup>2</sup> /phase, L = 200m	64,28	16				
Défaut E,			71,85	36,615	80,64	2,86
Disjoncteur de tête pompe - pompe, câble unipolaire, 1x50mm <sup>2</sup> / phase, L = 126m	56,7	10,08				
Défaut F			128,55	46,69	136,76	1,68

## Annexe 14: Caractéristiques de la batterie solaire



Type overview **sun | power V L bloc**

Series OPzS bloc

### Capacities, dimensions and weights

Series OPzS bloc	C <sub>20</sub> /1.85 V Ah	C <sub>10</sub> /1.85 V Ah	C <sub>5</sub> /1.85 V Ah	C <sub>2</sub> /1.80 V Ah	C <sub>1</sub> /1.77 V Ah	max. Weight kg	Weight electrolyte kg (1.24 kg/l)	max.** Length L mm	max.** Width W mm	max.** Height H mm	Fig.
12V 1 sun   power V L bloc 70	70	65	60	50	44	37.0	15.0	272	205	385	A
12V 2 sun   power V L bloc 130	130	130	120	101	88	48.0	15.0	272	205	385	A
12V 3 sun   power V L bloc 200	200	190	180	151	132	68.0	18.0	380	205	385	A
6V 4 sun   power V L bloc 270	270	255	240	202	176	47.0	15.0	272	205	385	B
6V 5 sun   power V L bloc 350	350	320	298	252	220	61.0	20.0	380	205	385	B
6V 6 sun   power V L bloc 400	400	380	358	302	264	67.0	18.0	380	205	385	B

## Annexe 15: Caractéristiques du module PV

Modèle	Hareon HR- 250P -18
Tension nominale (Vn)	30,51 V
Puissance Crête (Pc)	260Wc
Courant de court-circuit (Isc)	9,09 A
Tension en circuit ouvert (Voc)	37,65V
Courant à puissance maxi (Ipm)	8,52A
Tension a puissance maxi	1000V
Taille (L/l/h)	1636 mm/992mm/40mm

## Annexe 16 : Choix du régulateur

En amont	
Isc module (A)	9,09
Int max de court -circuit du générateur (A)	1063,53
En aval	
Int récepteur Ir (A)	140,58
Caractéristique du régulateur choisi	
max (Iccgén, Ir)	1063,53
Tension du régulateur (V)	48
Nombre de total de batterie	120
Capacité de la batterie (Ah)	200
(1/10) *Capacité de la batterie	20
Intensité du régulateur (A)	80
Nombre de batterie par régulateur	4
Nombre de régulateur à installer	30
Intensité du régulateur à installer (A)	2400

## Annexe 17: Caractéristiques du régulateur

### Caractéristiques techniques du régulateur FLEXmax

#### FLEXmax 80 - FM80-150VDC

Tension de batterie nominale	12, 24, 36, 48 ou 60 Vcc (un seul modèle - sélection par programmation au démarrage)
Courant de sortie maximal	80 ampères jusqu'à 40 °C - ajustement possible de la limite de courant
Puissance maximale du dispositif	12 Vcc pour les systèmes de 1 250 Watts, 24 Vcc pour les systèmes de 2 500 Watts, 48 Vcc pour les systèmes de 5 000 Watts et 60 Vcc pour les systèmes de 6 250 Watts
Puissance maximale du dispositif photovoltaïque (STC) recommandée par le code national de l'électricité	12 Vcc pour les systèmes de 1000 Watts, 24 Vcc pour les systèmes de 2000 Watts, 48 Vcc pour les systèmes de 4 000 Watts et 60 Vcc pour les systèmes de 5 000 Watts
Tension en circuit ouvert du générateur PV	150 Vcc sous conditions de basses températures absolues, 145 Vcc démarrage et fonctionnement optimal
Consommation en veille	Moins de 1 Watt
Rendement	97,5 % à 80 ampères pour une installation en 48 Vcc

## Annexe 18: Frais d'investissement pour le champ PV de 10 kWc

Désignation	Caractéristiques	Quantite	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Module PV	poly cristallin (P=200 Wc)	52	113 333	5893333,333
Onduleur reseau triphasé	9 kW	1	2193750	2193750
Câbles en cuivre	1,5 mm <sup>2</sup>	6	500	3000
	1,5 mm <sup>2</sup>	10	500	5000
Fusible	20A	12	2500	30000
Fusible	80A	1	10000	10000
Installation				120000
total				8255083,333

## Annexe 19: Frais d'investissement pour le champ PV de 20 kWc

Désignation	Caractéristiques	Quantite	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Module PV	poly cristallin (P=200 Wc)	96	113 333	10880000
Onduleur reseau triphasé	9 kW	2	2193750	4387500
Câbles en cuivre	1,5 mm <sup>2</sup>	6	500	3000
	1,5 mm <sup>2</sup>	10	500	5000
Fusible	20A	12	2500	30000
Fusible	80A	1	10000	10000
Installation				180000
Cout total				15495500

## Annexe 20: Frais d'investissement pour le champ PV de 30 kWc

Désignation	Caractéristiques	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
Module PV	poly cristallin (P=200 Wc)	156	113 333	17680000
Onduleur reseau triphasé	9 kW	3	2193750	6581250
Câbles en cuivre	1,5 mm <sup>2</sup>	6	500	3000
	1,5 mm <sup>2</sup>	10	500	5000
Fusible	20A	12	2500	30000
Fusible	80A	1	10000	10000
Installation				300000
		total		24609250

## Annexe 21: Données géographiques de Pointe-Noire

- Le mois le moins ensoleillé de l'année : Septembre
- Rayonnement le plus faible de l'année : 4,75 Wh/m<sup>2</sup>/j sur le plan horizontal
- Altitude : 4,81° Sud
- Longitude : 11,9° Est