

ETUDE ET MISE EN ŒUVRE DE L'ALIMENTATION ELECTRIQUE MIXTE DE LA CITE IMMOBILIERE DE BINGERVILLE PAR ENERGIE SOLAIRE ET LE RESEAU NATIONAL D'ELECTRICITE(CIE)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER D'INGENIERIE EN ENERGIE

OPTION : GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le 17 Octobre 2014 par

Koffi Samuel YAO

Travaux dirigés par : **Dr. Daniel YAMEGUEU**

Enseignant-Chercheur,

LABORATOIRE ENERGIE SOLAIRE ET ECONOMIE
D'ENERGIE (LESEE)

: **Marnix AKPELE**

Ingénieur Electrotechnicien

DIRECTEUR DES ETUDES ET DE LA PLANIFICATION
(INGENIERIE DE LA TELEGESTION)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Ahmed Ousmane BAGRE

Membres et correcteurs : Dr. Daniel YAMEGUEU

Ing. Gabin KOUCOÏ

Promotion 2013/2014

DEDICACES

Ce rapport est une œuvre de l'esprit humain mais rendu possible grâce à DIEU le tout puissant et miséricordieux.

Je dédie ce présent mémoire à tous les membres de ma famille pour leur soutien et leurs prières.

A tous mes amis et proches pour leur soutien et leurs conseils.

REMERCIEMENTS

Pour la réalisation de ce projet de fin d'étude, nous avons bénéficié du soutien et de la collaboration de plusieurs personnes, et nous aimerons adresser nos remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidés ou permis de mener à bien cette étude.

Nous aimerions tout d'abord remercier toute la direction générale de l'entreprise Ingenierie de la Telegestion (I-Teleges) pour nous avoir accueillis comme stagiaire et nous confié des responsabilités.

Egalement nos remerciements vont à l'endroit de toutes ces personnes qui n'ont ménagé aucun effort pour nous offrir un environnement de franche collaboration et propice à la réflexion.

Nous remercions particulièrement la direction des études et de la planification qui nous a accueilli et soumis cette étude afin que nous puissions à notre niveau contribuer à la satisfaction d'un besoin mondial majeur qui est la facilitation à l'accès à l'énergie.

Nous voudrions plus précisément citer :

Monsieur AKPELE Andoh Marnix, Ingénieur électrotechnicien, Directeur des études et de la planification également tuteur de stage, pour ses conseils avisés.

Monsieur ISHOLA Ebenezer, Directeur des travaux et ses collaborateurs

Monsieur BLEOUE Michet, Responsable du département de Telegestion, d'automatisme et de services après-vente.

Monsieur ZIBO Yannick, Chef de service Automatisme et télégestion.

Tous les ingénieurs du Bureau d'étude pour leur esprit d'ouverture et la culture du sens de partage de connaissance.

L'ensemble des coursiers pour leur disponibilité.

Nos remerciements vont également à l'endroit de Monsieur MONNEZ Jacques, Magasinier

La direction et le corps professoral de l'Institut International d'Ingenierie de l'Eau et de l'Environnement ont été d'un appui inestimable pendant notre formation et pendant ce moment de stage.

Je voudrais citer mon encadreur pédagogique Dr. Daniel YAMEGUEU, qui a accepté sans conditions de me suivre, il m'a conduit à l'amour du travail bien fait et à la rigueur.

Les amis de la promotion 2013-2014 toutes filières confondues et particulièrement ceux des spécialités Génie énergétique et Génie électrique.

La liste étant non exhaustive, nous prions tous nos amis, parents, proches et collaborateurs avisés qui de loin ou de près nous ont apporté leur soutien à quelques niveaux que ce soit, de trouver ici l'expression de notre très grande reconnaissance.

RESUME

Le gouvernement ivoirien, pour faire face au taux d'urbanisation croissant et la demande en logement, a dans son plan national de développement 2012-2015 instauré un large programme de construction de logements sociaux sur toute l'étendue du territoire avec pour objectif de résorber le déficit cumulé depuis la crise post-électorale et répondre de façon prompte et adéquate à la demande future.

L'étude et la mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte des logements du site de Bingerville abordée dans ce mémoire s'est faite par le réseau national d'électricité(CIE) et une source d'énergie solaire.

L'objectif de cette étude est de proposer une solution techniquement et économiquement viable capable d'être mise en œuvre.

L'étude technique qui constitue le cœur du travail effectué, aborde le dimensionnement du réseau électrique HTA/BT, du réseau d'éclairage et le système photovoltaïque.

L'évaluation du besoin des logements du site de Bingerville a été dictée par la norme NFC14-100 qui donne la puissance minimale à prévoir à chaque point de livraison en fonction du nombre de pièces et d'abonnés en aval de ces points.

La demande en énergie est estimée à **1526,97kVA**, cependant, deux postes de **1000kVA** et **800kVA** ont été proposés en scindant la cité en deux ailes.

Une capacité installée de **132kWc** d'énergie solaire a été évaluée, injectant ainsi une énergie annuelle de **194,7MWh** estimée à un taux d'injection de **26,4%**.

Le coût minimum actualisé du kilowattheure produit par le champ solaire est de **236,56FCFA**.

En plus, deux kits solaires de **3120Wc** et **1300Wc** sont proposés aux ménages pour prendre en compte les charges vitales et essentielles de leur quotidien, leur donner une autonomie énergétique et réduire leur consommation d'électricité sur le long terme.

Le coût global du projet est évalué à **quatre cents soixante-onze millions soixante-deux mille trois cents soixante-neuf francs CFA** dont 66% détenu par le réseau HTA/BT, 4% pour l'éclairage public et 29,54% réservé au système solaire.

Mots clés : Alimentation mixte, réseau électrique, logement sociaux, puissance installée, production solaire.

ABSTRACT

Ivorian government, in front of urbanization rate in permanent growth and the important request of accommodation, had plan a project to supply the demand.

Study and realization of mixt energy supply for social apartment in Bingerville that we have done, operate with the national electrical grid and solar power system.

The purpose of this study is to suggest a technical knowledge which is able to be realize with an acceptable cost.

This study approaches the design of high voltage and low voltage grid to bring supply, lighting line and solar power system.

To estimate the need in energy supply, we have use the French norm NFC 14-100 to put on schedule the power in each point of connecting.

The need in energy supply is roughly **1526, 97kVA**, but we have implant two transformers of 1000kVA and 800kVA in order to reduce voltage low.

Solar power system's capacity is 132kWp and it is able to bring in yearly **194,7MWh** of energy for an injection rate of **26, 4%**

At the sold of the energy product about solar system, the levelised cost of the electricity is **236, 56 FCFA**.

The cost of 300 F CFA produce a payback time of thirteen years, seven months and twenty four days with a net present value of sixteen million nine hundred sixty four thousand nine hundred and sixty nine of CFA currency. And the internal rate of return of 2% is superior to the real rate of discount of 1%.

Again two solar kits of **3120Wp** and **1300Wp** are suggested to the household in the aim to supply the sensible or critical loads.

These kits allow the household to get energy autonomy and to reduce their energy consumption.

The global cost of the project is four hundred and seventy one million sixty two thousand and three hundred sixty nine CFA currency with 66% of part of high voltage/low voltage grid, 4% for lighting line and 29,54% for the part of solar system.

Keys words: Mixt energy supply, high voltage/ low voltage, solar power system, injection rate

LISTE DES ABBREVIATIONS

AC :	Alternatif Current
ADEME :	Agence De l'Environnement et de Maitrise de l'Energie
AIE :	Agence Internationale de l'Energie
BT :	Basse Tension
CIE:	Compagnie Ivoirienne de l'Electricité
CO₂ :	Dioxyde de Carbone
DC :	Courant Continu
END :	Energie Non Distribuée
EP :	Eclairage Public
GTB :	Gestion Technique du Bâtiment
GTC :	Gestion Technique Centralisée
HT :	Haute Tension
HPC :	Haut Pouvoir de Coupure
IP :	Indice de Protection
I-Teleges:	Ingenierie de la Telegestion
kVA:	Kilovolt-Ampère
kWh:	kilowattheure
LCOE:	Levilized Cost of Electricity
PV :	Photovoltaïque
REMBT :	Raccordement Emergent Modulaire Basse Tension
SICOGI :	Société Ivoirienne de Construction et de la Gestion Immobilière
T8 :	Tableau avec huit départs
TRI :	Taux de Rentabilité Interne
TT :	Régime du Neutre où la masse des appareils et le neutre sont liés à la terre
T-UR :	Tableau Urbain
VAN :	Valeur Actuelle Nette

Table des matières

I. INTRODUCTION	1
I.1 Contexte et justification du projet	1
I.2 La problématique du projet	1
I.3 Objectifs du projet	1
II. ETUDE TECHNIQUE	3
II.1 CONCEPTION DU RESEAU D'ALIMENTATION HTA/BT	3
II.1.1 Evaluation de la demande en énergie des logements	3
II.1.2 Evaluation de la demande en énergie de l'éclairage public	5
II.1.3 Dimensionnement du réseau de distribution électrique	8
II.1.4 Dimensionnement de l'éclairage public du projet	19
II.2 ENERGIE SOLAIRE	26
II.2.1 Description du potentiel solaire de la Cote d'Ivoire	26
II.2.2 Conception de l'installation photovoltaïque	26
II.2.3 Dimensionnement du système photovoltaïque	30
II.2.4 Variante2 : Kits solaires individuels	34
III. ETUDE ECONOMIQUE DU PROJET	42
III.1 Bilan financier du volet HTA/EP	42
III.2 Analyse économique du volet solaire	42
III.2.1 Coût moyen actualisé de l'électricité ou Levelized Cost of Electricity(LCOE)	42
III.2.2 Valeur actuelle nette(VAN)	44
III.2.3 Temps de retour sur l'investissement	45
III.2.4 Taux de rentabilité interne(TRI)	46
III.2.5 Coût global du volet solaire	46
III.3 Coût global de la mise en œuvre de l'alimentation mixte de la cité immobilière	47
IV. ETUDE ENVIRONNEMENTALE	48
V. CONCLUSION	49
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	50
ANNEXES.....	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Types de logements	3
Tableau II : Puissance à prévoir selon la norme NFC 14 100.....	4
Tableau III : Répartition des logements.....	4
Tableau IV : Coefficient de foisonnement.....	5
Tableau V: Bilan de puissance.....	5
Tableau VI : Caractérisation de la chaussée et du luminaire	6
Tableau VII: Besoin en énergie de l'éclairage	7
Tableau VIII: Besoin en énergie des aires de jeux.....	8
Tableau IX : Demande nette énergie.....	8
Tableau X : Dimensionnement de la ventilation du poste	9
Tableau XI : Caractéristiques des cellules HTA.....	11
Tableau XII : Calibre des fusibles Solefuse.....	11
Tableau XIII : Caractéristiques des Transformateurs	12
Tableau XIV: Câbles BT.....	12
Tableau XV : Intensités Nominale des tronçons	14
Tableau XVI: Section de câble homologuée.....	14
Tableau XVII : Chutes de tension sur les tronçons Aile sud	15
Tableau XVIII : Chutes de tension sur les tronçons Aile nord	16
Tableau XIX : Caractérisation des composantes de ligne.....	17
Tableau XX : Courant de court-circuit Aile sud	17
Tableau XXI : Courant de court-circuit Aile nord.....	18
Tableau XXII : Caractéristiques des dispositifs de protection Aile Nord.....	18
Tableau XXIII : Caractéristiques des dispositifs de protection Aile Sud	19
Tableau XXIV : Réseau d'éclairage public	19
Tableau XXV : Courant d'emploi des lampes SHP à ballast ferromagnétiques	20
Tableau XXVI : Courant d'allumage des lampes SHP à ballast ferromagnétiques.....	21
Tableau XXVII : Tableau normatif du choix de la section de câble.....	22
Tableau XXVIII : Choix de section de câble en fonction du courant I_{kmin}	22
Tableau XXIX : Choix de section en fonction du courant I_{kmax}	23

Tableau LVIII: Temps de retour sur investissement.....	45
Tableau LIX: Taux de rentabilité interne.....	46
Tableau LX: Coût global du volet solaire.....	47
Tableau LXI: Rejet de CO2 épargné.....	48

LISTE DES FIGURES

Figure I:Organigramme I-Teleges	xii
Figure II : Abaque des ouvertures et des débits d'air	10
Figure III: Cellule HTA	11
Figure IV: Tableau urbain BT T8	13
Figure V : Différentes sollicitations exercées sur la structure et sur la toiture	28
Figure VI: Schéma de principe	30
Figure VII : Principe de fonctionnement des kits solaires Premium	34
Figure VIII: Proportion des composantes du projet.....	47

AVANT PROPOS

1. Présentation de l'Ingenierie de la Telegestion (I-Teleges)

I-TELEGES qui signifie INGENIERIE de la TELEGESTION a été créée en 2004 et s'est développée jusqu'à se hisser parmi les leaders en terme de prestations de services électrotechniques, se spécialisant dans la télégestion, l'instrumentation, l'électricité HT/BT et les matériels d'automatismes.

Depuis Janvier 2013, I-TELEGES s'est structurée et est devenue une société anonyme avec Administrateur General au capital de 100 000 000 FCFA dont l'organigramme est le suivant.

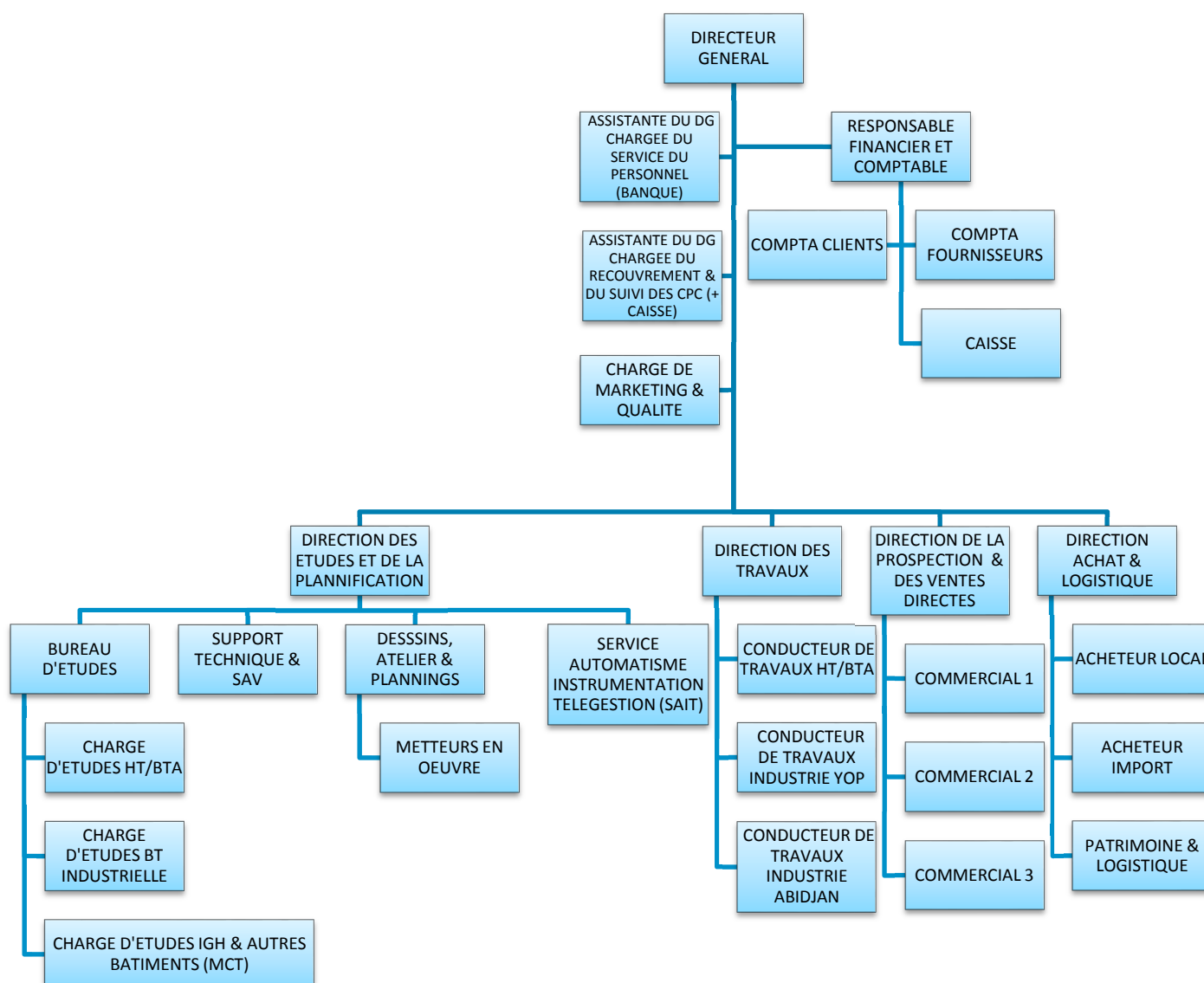


Figure I: Organigramme I-Teleges

2. Activités de l'entreprise Ingenierie de la Telegestion

Ingenierie de la Telegestion (I-Teleges SA) est une entreprise spécialisée dans les domaines de l'électrotechnique, de l'électricité HT/BT, Automatismes et Telegestion, et dans la fourniture d'onduleurs et de stabilisateurs.

Elle intervient dans la conception et la mise en œuvre de solutions d'électricité, d'automatismes, d'Instrumentation, de Télégestion, de GTC/GTB et dernièrement d'onduleurs et redresseurs de tension de marque Gamatronic suite à la collaboration avec Schneider Electric.

3. Engagement qualité de l'entreprise Ingenierie de la Telegestion

Grâce à son sérieux et son professionnalisme, I-TELEGES a su développer des partenariats profitables au nombre desquels on peut citer la collaboration avec SCHNEIDERE ELECTRIC.

En effet, I-TELEGES est distributeur de produits SCHNEIDER ELECTRIC, ce qui confère à ses prestations et produits une garantie de fiabilité supplémentaire.

Les produits I-TELEGES répondent à tous les besoins en matière de télésurveillance ; ils autorisent tous les mécanismes classiques de télégestion comme l'enregistrement précis des événements, la gestion des alarmes, la multi-communication et l'interfaçage avec tout type d'équipement spécifique local. Les logiciels de configuration comportent tous les outils nécessaires à la création des fonctionnalités de télégestion sans demander au programmeur une quelconque spécialisation en informatique.

I. INTRODUCTION

I.1 Contexte et justification du projet

Le taux d'urbanisation en Côte d'Ivoire a atteint 60% et la demande annuelle en logement est estimée à 40 000 logements dont 20 000 logements en Abidjan.

Le gouvernement ivoirien a adopté un plan national de développement 2012-2015 qui, a pour objectif de relever les défis majeurs de la crise post-électorale dans une vision de transformer la Côte d'Ivoire en un pays émergent à l'horizon 2020.

Ce plan prévoit dans son volet urbanisme et habitat, la construction de 60 000 logements sociaux à l'horizon 2015 et résorber totalement le déficit cumulé de un million de logements depuis 2012 en 2020 (SICOGI, Juin 2013)[1].

Le plan national de développement 2012-2015 prévoit également l'électrification de 200 localités et la subvention de 80 000 branchements sociaux par an sur la période 2012-2015.

Le plan national de développement porte la part des énergies renouvelables à 10% dans la capacité totale de production en 2020 pour renforcer le mixte- énergétique en Côte d'Ivoire.

L'étude et la mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte de la cité immobilière de Bingerville par énergie solaire et le réseau national d'électricité (CIE) s'inscrit dans le cadre d'une consultation de l'entreprise Ingénierie de la Télégestion (I-Teleges) adjudicataire du marché de réalisation du réseau d'alimentation électrique des programmes de construction des logements sociaux dont celui du site de Bingerville.

I.2 La problématique du projet

La demande en énergie pour ce vaste programme d'urbanisation devient énorme et coûteux pour l'état ivoirien en terme de subvention et de capacité de production basée essentiellement sur le thermique à gaz qui connaît un taux d'inflation actuel d'environ 4%.

La satisfaction de la demande en énergie ne peut plus se faire uniquement par les grosses machines de production habituelles aussi bien éloignées des gros centres de consommation que représentent les logements sociaux.

Les réseaux de distribution assurant le transit d'énergie vieillissent et induisent d'énormes pertes en lignes.

I.3 Objectifs du projet

Globalement, l'état ivoirien préconise la mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte pour ce programme de logements sociaux.

Le programme vise la réduction significative à long terme de la proportion de subvention sur le coût d'électricité d'une part et de garantir un accès facile d'énergie à toute la population.

Il revient de façon spécifique de :

- proposer une solution techniquement et économiquement viable
- Exécuter le marché de réalisation du réseau d'alimentation électrique de la cité des logements sociaux du site de Bingerville acquis par appel d'offre

Cette étude menée au sein du département <<bureau d'étude de l'entreprise Ingénierie de la Télégestion>> a consisté en :

- des visites de site du projet de construction des logements sociaux et site de projets similaires.
- la rencontre des acteurs intervenants dans le projet.
- d'échanges fructueux et constructifs avec le personnel du bureau d'étude.

Le présent travail comporte principalement trois parties axées sur :

- l'offre technique du réseau HTA/BT, constitué du réseau d'amenée de l'alimentation et de l'éclairage public de la cité.
- l'offre technique de la solution solaire.
- une étude économique dressant le bilan économique des deux offres techniques budgétisant ainsi le projet.

II. ETUDE TECHNIQUE

II.1 CONCEPTION DU RESEAU D'ALIMENTATION HTA/BT

La cité immobilière qui fait l'objet d'alimentation électrique mixte est un site de logements sociaux bâti sur une superficie totale de onze hectares, quatre-vingt et onze ares et quatre-vingt et douze centiares(11ha 91a et 92 ca) abritant un nombre total de quatre cents quarante et cinq(445) logements.

Le plan de masse des logements est en annexe I.

Le tableau I présente le nombre et le type de logement.

Tableau I : Types de logements

TYPES DE LOGEMENTS	Nombre
Deux pieces principales	16
Trois pieces principales	93
Quatre pieces principales	180
Cinq pieces principales	90
Non habitable	1
Immeuble R+3(6 Logements/Immeuble)	11

La demande en énergie de la cité est constituée par la demande en énergie des logements et de celle de l'éclairage public.

II.1.1 Evaluation de la demande en énergie des logements

La norme NFC 14-100 dicte deux cheminements pour prévoir les puissances minimales de dimensionnement en kVA par point de livraison.

Cette puissance minimale peut être basée soit :

- sur la surface occupée ou lot
- sur le nombre de pièces que compte l'appartement.

De ces deux méthodes, le cheminement basé sur le nombre de pièces que compte l'appartement présente plus de fiabilité si nous y projetons les conditions de vie des différents ménages.

Vu, la diversité de la classe sociale des propriétaires, il tient plus compte des prescriptions du concessionnaire de réseau national(CIE) et s'inscrit dans la plage d'abonnement suite au réajustement des tarifs opéré en Novembre 2013 en Côte d'Ivoire.

Le tableau II présente la puissance desservie en fonction du nombre de pièce que comportent les logements.

Tableau II : Puissance à prévoir selon la norme NFC 14 100

PUISSANCE A PREVOIR NFC14-100	
Local ou logement	Puissance en kVA
Local annexe non habitable	3
Logement 1 à 3 pieces principales	6
Logement 4 à 6 pieces principales	9
Logement de 7 pieces et plus	12

Les critères de continuité et de qualité d'alimentation, de temps d'intervention, de nombre d'abonnés délestés lors d'une intervention ont eu un pesant d'or dans la répartition spatiale des branchements collectifs des logements.

Ainsi, nous avons scindé le site en deux compartiments dont l'aile nord et l'aile sud.

Le tableau III montre la répartition spatiale des logements.

Tableau III : Répartition des logements

TYPES DE LOCAL OU LOGEMENTS						
Types	AILE NORD			AILE SUD		
	Nombre	Nombre de pieces	Puissance (kVA)	Nombre	Nombre de pieces	Puissance (kVA)
Villa Temoin	13	3	3	0	3	3
2PBS	16	2	6	0	6	6
3PBS	43	3	6	0	6	6
4PJS	54	4	9	0	9	9
Ecole	1	Annexe	3	0	3	3
3PJE	0	3	6	31	6	6
4PE	67	4	9	46	9	9
5PE	28	5	9	61	9	9
3PST	0	3	6	6	6	6
4PST	0	4	9	13	9	9
5PST	0	5	9	1	9	9
Immeuble R+3	0	7	12	11	12	12

Chaque aile a été subdivisée en plusieurs lots qui seront alimentés via des points de raccordements émergents modulaires basse tension(REMBT) desservis par le réseau.

En aval de chaque point de livraison, pour tenir compte de la diversité de fonctionnement ou de la répartition horaire variée des pavillons, la somme des puissances desservies est pondérée par un coefficient de foisonnement inversement proportionnel au nombre de pavillons résumé dans le tableau IV.

Tableau IV : Coefficient de foisonnement

Nombre d'utilisateurs situés en aval de la section considérée	Coefficient de foisonnement
2 à 4	1
5 à 9	0,78
10 à 14	0,63
15 à 19	0,53
20 à 24	0,49
25 à 29	0,46
30 à 34	0,44
35 à 39	0,42
40 à 49	0,41
50 et au-dessus	0,38

Le bilan de puissance établit la demande en énergie des logements renseignée dans le tableau V.

Tableau V: Bilan de puissance

	AILE NORD	AILE SUD
Nombre de logements	222	224
Besoin(kVA)	856,5294	654,24

II.1.2 Evaluation de la demande en énergie de l'éclairage public

II.1.2.1 Catégorisation de la chaussée

Les principales voies qui desservent les logements sont de type enrobé moyen faiblement polluée et la luminosité ambiante varie de faible à moyen.

Elles sont alors classées dans la catégorie ME₂ de situation type B₂ dont le niveau lumineux moyen à garantir est 1.5Cd/m².

II.1.2.2 Caractérisation du luminaire

Les luminaires seront étanches à la poussière nuisible et à l'eau donc d'indice de protection IP55 au moins du fait du faible niveau de pollution de l'environnement.

Le type d'implantation unilatérale a été choisi pour son coût d'investissement réduit, son encombrement limité et pour son adaptation à l'éclairage des voies urbaines comme celles de ce projet.

II.1.2.3 Dimensionnement photométrique

La table en annexe V a permis de classer les voies pour ensuite définir les niveaux appropriés de performances (exigences photométriques).

Elle a permis également d'établir les seuils de performances (valeurs minimales à garantir) et de prendre en compte l'atténuation des performances, consignées dans le tableau VI.

Tableau VI : Caractérisation de la chaussée et du luminaire

CHAUSSEE		LUMINAIRE	
Categorie de voie	Urbaine	Type de lampe	SHP
Trafic journalier(V/J)	Moins de 7000	Efficacité lumineuse(lm/w)	150
Vitesse(km/h)	Moins de 130km/h	Facteur d'utilisation	0,45
Nature de la chaussée	Enrobé Moyen	Indice de protection	IP 55
Rapport R	14	Facteur d'utilisation	0,45
Espacement entre Luminaire	30	Facteur de maintenance	0,78
Luminosité ambiante	Faible à Moyen	Cycle de vie	8000 heures
Largeur(m)	10	Type d'implantation	Unilateral
Degré de pollution	Faible degré1	Hauteur de feu(m)	9

Ainsi nous définissons l'éclairage public par la méthode du rapport R de l'éclairement moyen et de la luminance moyenne.

L'éclairement moyen est donné par :

$$E = R \times L$$

(1)

$$E = 14 \times 1.5 = 21 \text{ Lux}$$

E : Eclairement moyen de la chaussée (en Lux).

R : Rapport de l'éclairement moyen et de la luminance moyenne fonction du type de revêtement de la chaussée (en Lux/Cd.m²). Il caractérise la propriété réfléchissante du type de revêtement enrobé moyen.

L : Luminance minimale à garantir (en Cd/m²).

Le flux lumineux nécessaire se définit par :

$$F = \frac{E \times l \times e}{V \times u}$$

(2)

$$F = \frac{21 \times 10 \times 30}{0.78 \times 0.45} = 18162.16 \text{ lumens}$$

Avec ;

F : Flux lumineux nominal (en Lumens).

l : Largeur de la chaussée (en mètre).

e: Espacement entre les luminaires(en mètre).

V : Facteur de maintenance tenant compte de la dépréciation des luminaires et de celle du flux lumineux émis par les lampes (sans unité).

u: Facteur d'utilisation équivalant au rapport entre le flux reçu par la chaussée et le flux émis par les lampes (sans unité).

L'efficacité lumineuse de 150 Lumens/Watt des lampes Sodium Haute Pression choisie donne une puissance électrique de $P = \frac{F}{\phi} = 121.08W$, soit une puissance normalisée de 150 Watts.

Le piquetage préliminaire effectué fournit un nombre total de cinquante-quatre (54) lampadaires espacés de 30m l'un de l'autre.

La demande en énergie de l'éclairage des voies est évaluée à 10.12 kVA.

Le tableau VII donne le besoin en énergie de l'éclairage public.

Tableau VII: Besoin en énergie de l'éclairage

	AILE NORD	AILE SUD
Nombre de lampadaires	23	31
Besoin(kVA)	4,3125	5,8125
Besoin total(kVA)	10,125	

II.1.2.4 Eclairage des espaces de jeux

La cité présente un espace de jeux d'une superficie de 1306m², de 65m de longueur et de largeur 16m.

La méthode des mailles caractérisant une surface de référence nous a permis de déterminer le nombre de luminaires à implanter.

Elle consiste en un maillage régulier de points de calcul et de point de mesure défini par un pas entier $p = 0.2 \times 5 \times \text{Log} d$, où d est la plus grande dimension de la surface de référence.

Le nombre de point sur la longueur est $p = 0.2 \times 5 \times \text{Log} 65 = 1.82m$, soit un pas de de 2m.

Le nombre de points de calcul est alors $\frac{\text{Longueur}}{p} = 32.5$ soit 33 points.

Le nombre de points de calcul sur la largeur est $\frac{\text{Largeur}}{p} = 8$ points de calcul et de mesure.

Le nombre total de point de calcul et de mesure est de 264. Ce qui correspond à 66 points de calculs.

La norme NF EN 12 193 préconise pour ces 66 points, une implantation 2x2 mâts et 8 luminaires, soit 2 luminaires par mât.

La demande en énergie de l'aire de jeu est évaluée à 4kVA ce qui es consigné dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Besoin en énergie des aires de jeux

Aire de jeu	
Nombre total	8
Puissance Unitaire(W)	250
Besoin Total(kVA)	4

II.1.2.5 Demande nette en énergie du projet

La demande globale en énergie de la cité est évaluée à 1526.97kVA, à laquelle est appliqué un coefficient d'extension de 1,15 pour prendre en compte les extensions futures.

Le tableau IX donne la demande totale du projet.

Tableau IX : Demande nette énergie

	AILE NORD	AILE SUD
Besoin CITE(kVA)	856,53	654,24
Eclairage Public(kVA)	9,30	6,90
TOTAL(kVA)	865,83	661,14
Puissance à installer(kVA)	995,70	760,31

II.1.3 Dimensionnement du réseau de distribution électrique

Le dimensionnement du réseau de distribution est basé sur les différentes normes en vigueur à savoir les normes NF C13-100 et NF C14-100 et sur les prescriptions et recommandations particulières de la CIE.

II.1.3.1 Point de raccordement HTA

La ligne d'alimentation est à la charge du concessionnaire du réseau national.

C'est une ligne de tension 15kV reliant le poste source de RIVIERA ABATA à notre poste de transformation longue de vingt-cinq kilomètres dont la puissance de court-circuit est de 500MVA.

II.1.3.2 Poste de distribution HTA/BT

Les postes de distribution sont conçus conformément aux prescriptions du gestionnaire de réseaux(CIE).

Les postes de distribution seront du type 22 TS dans la dénomination du concessionnaire du réseau(CIE) correspondant aux dimensions 5.75x 5.75 rassemblant en son sein :

- Une cellule arrivée IM type SM6
- Une cellule départ QM type SM6
- Un transformateur HT/BT 15kV/400V
- Un tableau urbain T8
- Les matériels de sécurité (perche, affichette, bac à sable)
- Un circuit d'éclairage.

Les postes de distribution sont des postes à comptage BT raccordés au réseau HTA en 15kV en simple dérivation par l'intermédiaire de sectionneurs.

II.1.3.3 Génie civil du poste HTA/BT

Le génie civil des postes est implanté en classe d'accessibilité A permanent au personnel de maintenance de la CIE, en bordure de voies conformément au plan type 22 TS.

Le refroidissement du transformateur se fait de façon naturelle.

Le dimensionnement des grilles de ventilation permet de dissiper la quantité de chaleur dégagée par le transformateur et les autres composants en fonctionnement ou pas.

La quantité de chaleur à évacuer correspond à la somme des pertes fer et pertes cuivre du transformateur.

L'échauffement de l'air de l'enceinte est la différence de température entre l'air ambiant et celui du local transformateur.

L'abaque des ouvertures et des débits d'air a été utilisé pour déterminer la surface des ouvertures et le débit d'air à évacuer.

L'abaque des ouvertures et des débits d'air est un ensemble de cinq échelles et un axe de rappel permettant de lire deux grandeurs connaissant trois d'entre elles.

Le tableau X donne le dimensionnement de la ventilation du poste.

La figure II explique l'usage de l'abaque des ouvertures et des débits d'air

Le plan du poste est consigné en annexe II.

Tableau X : Dimensionnement de la ventilation du poste

Ventilation du poste		
Chaleur évacuée (kW)	AILE NORD	AILE SUD
	14,4	11,65
Hauteur H entrée- sortie(m)	2	2
Echauffement de l'air (K)	15	20
Surface ouverture inferieure (m²)	1	0,75
Surface ouverture supérieure (m²)	1,1	0,825
Débit d'air (m³/h)	3200	2750

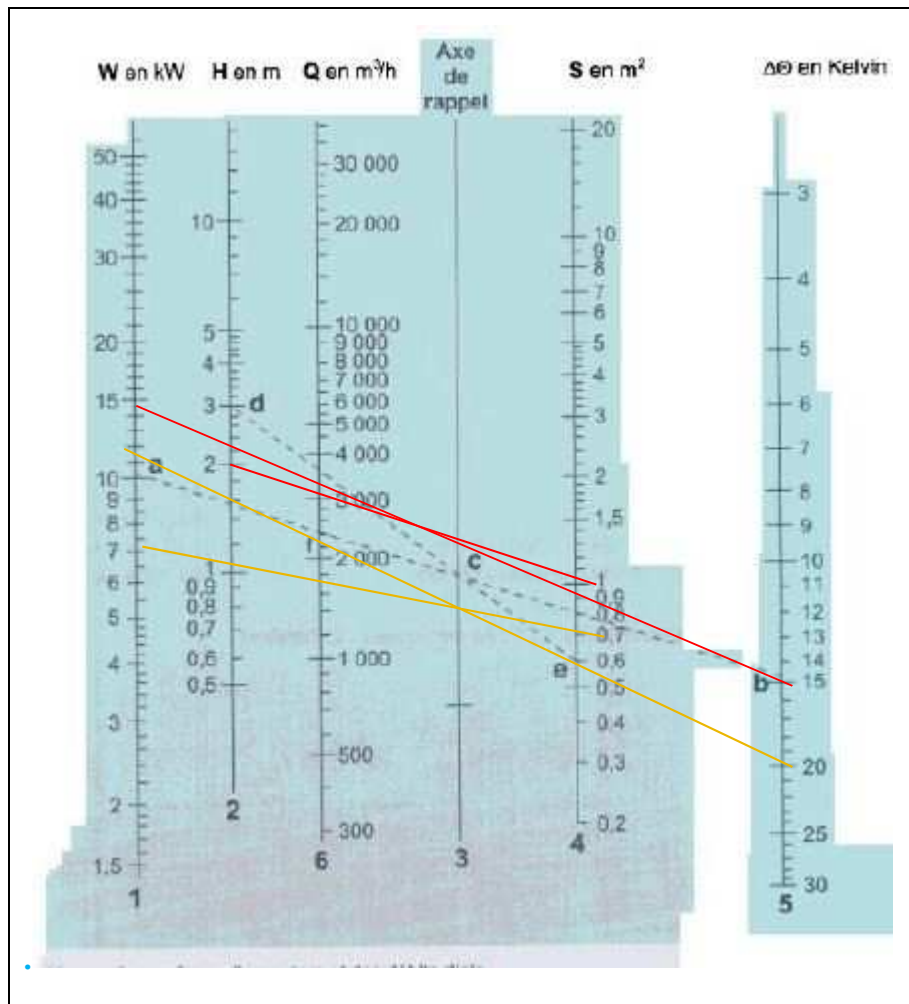


Figure II : Abaque des ouvertures et des débits d'air

II.1.3.4 Cellules HTA

Les cellules HTA sont du type SM6 compact composé d'une cellule IM arrivée HTA 15kV et d'une cellule protection QM du transformateur, intégrant un jeu de barre, des isolateurs et des résistances chauffantes, un interrupteur-sectionneur, un disjoncteur, contacteur et un sectionneur de terre.

Le tableau XI donne les caractéristiques des cellules HTA.

La figure III montre le type de cellule choisi.

Tableau XI : Caractéristiques des cellules HTA

CELLULE SM6-24	
Description	Système complet de cellules modulaires MT combinant toutes les unités fonctionnelles
Tension Assignée(kV)	24
Courant Assigné(A)	1250
Tenue au court-circuit (kA)	25
Technologie de coupure	Disjoncteur SF6



Figure III: Cellule HTA

II.1.3.5 Fusible HTA

Les fusibles à installer dans les cellules de protection QM des deux postes sont du type Solefuse fonction de la tension et de la puissance du transformateur imposé par la norme UTE NF C 13-100 et prescrit par la CIE.

Ainsi la protection du transformateur de 1000kVA est assurée par un jeu de trois fusibles type Solefuse 63A et le transformateur de 800kVA sera protégé par un jeu de trois fusibles type solefuse 43A.

Le tableau XII regroupe le calibre de fusibles solefuse en fonction de la tension de service.

Tableau XII : Calibre des fusibles Solefuse

Tension de service (kV)	Puissance des transformateurs (kVA)														Tension assignée (kV)
	25	50	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	
5,5	6,3	16	31,5	31,5	63	63	63	63	63						7,2
10	6,3	6,3	16	16	31,5	31,5	31,5	63	63	63	63				12
15	6,3	6,3	16	16	16	16	43	43	43	43	43	43	63		17,5
20	6,3	6,3	6,3	6,3	16	16	16	16	43	43	43	43	43	63	24

II.1.3.6 Câble HTA entre cellule de protection QM et primaire du transformateur

Les câbles HTA assurant la liaison entre la cellule de protection QM et le primaire du transformateur est du même type et de même sections que celle du réseau de transport.

Le concessionnaire préconise les câbles HTA sec 24kV 1X25mm² minimum.

Nous avons choisi de réaliser le raccordement en câbles aster 34.4mm².

II.1.3.7 Transformateur HTA/BT 15kV/410V

Les deux transformateurs de puissance assignée de 1000kVA et 800kVA alimentent respectivement l'aile nord et l'aile sud et sont de type immergé à huile minérale refroidis naturellement à l'air.

Les caractéristiques des transformateurs sont renseignées dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Caractéristiques des Transformateurs

CARACTERISTIQUES DES TRANSFORMATEURS		
	AILE NORD	AILE SUD
Puissance Assignée(kVA)	1000	800
Technologie	Immergé à huile	Immergé à huile
Schema de liaison à la terre	TT	TT
Tension de court-circuit(%)	6	6
Pertes cuivre (kW)	13	10,5
Pertes Fer(kW)	1,4	1,15
Couplage	Dyn11	Dyn11

II.1.3.8 Câble BT entre le transformateur et le sectionneur de tête

Les câbles BT assurant la liaison du secondaire des transformateurs au tableau BT, sont isolés au PRC prescrit par la CIE.

Le nombre de câble par phase et leur section dépendent de l'intensité qui y transite ou de la puissance débitée par le transformateur.

Ce qui fait quatre câbles par phases et deux câbles pour le neutre porteur présenté dans le tableau XIV.

Tableau XIV: Câbles BT

puissance	I _{BT}	câbles
160 kVA	225 A	4 x 150 Cu
250 kVA	350 A	4 x 240 Alu
400 kVA	560 A	7 x 240 Alu
630 kVA	900 A	7 x 240 Cu
800 kVA	1120 A	14 x 240 Alu
1000 kVA	1400 A	14 x 240 Cu
1250 kVA	1750 A	14 x 240 Cu

II.1.3.9 Tableau urbain T-UR

Le tableau de distribution est de type T8. Il comporte un interrupteur sectionneur, un disjoncteur de tête.

Les prescriptions du concessionnaire du réseau national prévoient des fusibles haut pouvoir de coupure HPC BT 250A à entraxe 115mm sur les départs.

La figure IV présente la vue de face du tableau urbain T8.



Figure IV: Tableau urbain BT T8

II.1.3.10 Calibres In des dispositifs de protection

L'intensité nominale est donnée par :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U} \quad (3)$$

Où :

S_n : Puissance apparente en Voltampère(VA).

U : Tension entre phases en Volt(V).

Les départs sont constitués de sorte à avoir une intensité nominale avoisinant le calibre 250A.

Les intensités nominales des tronçons sont consignées dans le tableau XIV.

Tableau XV : Intensités Nominale des tronçons

INTENSITE NOMINALE(A)			
AILE SUD		AILE NORD	
TFO - TUR	1154,70	TFO - TUR	1443,38
Depart1	229,50	Depart1	247,05
Depart2	215,57	Depart2	250,06
Depart3	204,67	Depart3	248,50
Depart4	248,04	Depart4	234,51
Depart5	231,63	Depart5	206,63
Depart6	244,18	Depart6	203,54
		Depart7	204,60

II.1.3.11 Sections des câbles

Les sections de câbles sont normalisées et homologuées par la CIE sur le réseau de distribution.

Les sections des câbles sont consignées dans le tableau XVI.

Tableau XVI: Section de câble homologuée

SECTIONS DE CABLES		
LIAISONS	Reseau-cellule	Aster 3x34,4mm ²
	Cellule -TFO	Aster 3x34,4mm ²
	TFO - TUR	U 1000 R02V 3X(4X240mm ²)+2x95mm ²
	TUR-REMBT	HGE 3X150+1X70mm ²

II.1.3.12 Chutes de tension

Les sections de câbles étant imposées par le concessionnaire du réseau, nous avons été amenés à calculer les chutes de tension relatives sur les tronçons d'alimentation. Elles sont obtenues par :

$$\Delta U(\%) = kPD \quad (4)$$

k : Coefficient de pondération dépendant du tronçon en (kW.km)⁻¹

P : Puissance transitant dans le tronçon considéré en kW.

D : Distance du tronçon en km.

Le projet en lui-même présente des contraintes relatives à l'imposition des sections de câbles et l'accessibilité des logements par manque de voies de desserte appropriées.

Les chutes de tensions des différents départs sont conformes à la prescription de 5% et sont résumées respectivement dans les tableaux XVII et XVIII.

Tableau XVII : Chutes de tension sur les tronçons Aile sud

CHUTE DE TENSION AILE SUD								
LIAISONS		Longueur Troncon (km)	Puissance PdL(kW)	Coefficient de Ponderation k	Section S(mm²)	Intensité (A)	Chute de tension(%)	Chute de tension Cumulée(%)
Depart1	TUR-REMBT15	0,031	127,20	0,23	150	229,50	0,91	0,91
	REMBT15-PT DE DESSERTE	0,013	20,00	0,23	150	36,08	0,06	0,97
	PT DE DESSERTE-REMBT11	0,03	87,00	0,23	150	156,97	0,60	1,57
Depart2	TUR-REMBT13	0,009	119,48	0,23	150	215,57	0,25	0,25
	REMBT13-REMBT12	0,053	126,79	0,23	150	228,75	1,55	1,79
Depart3	TUR-PT SEPARATION	0,074	113,44	0,23	150	204,67	1,93	1,93
	PT SEPARATION-DESSERTE1	0,03	51,70	0,23	150	93,27	0,36	2,29
	DESSERTE1-REMBT18	0,068	31,70	0,23	150	57,19	0,50	2,78
	PT SEPARATION-DESSERTE2	0,04	96,86	0,23	150	174,76	0,89	2,82
	DESSERTE2-REMBT19	0,035	39,87	0,23	150	71,94	0,32	3,14
Depart4	TUR-REMBT14	0,043	137,48	0,23	150	248,04	1,36	1,36
	REMBT14-PT SEPARATION	0,044	119,72	0,23	150	216,00	1,21	2,57
	PT SEPARATION-REMBT112	0,073	54,42	0,23	150	98,18	0,91	3,48
	PT-SEPARATION-DESSERTE	0,071	65,30	0,23	150	117,82	1,07	3,64
	DESSERTE-REMBT113	0,071	32,65	0,23	150	58,91	0,53	4,17
Depart5	TUR-PT SEPARATION	0,113	128,38	0,23	150	231,63	3,34	3,34
	PT-SEPARATION-REMBT17	0,043	65,93	0,23	150	118,95	0,65	3,99
	PT SEPARATION-REMBT111	0,027	88,74	0,23	150	160,11	0,55	4,54
Depart6	TUR-PT SEPARATION	0,035	135,34	0,23	150	244,18	1,09	1,09
	PT SEPARATION REMBT16	0,01	79,12	0,23	150	142,74	0,18	1,27
	PT SEPARATION-REMBT110	0,15	88,74	0,23	150	160,11	3,06	4,33

Tableau XVIII : Chutes de tension sur les tronçons Aile nord

CHUTE DE TENSION AILE NORD								
LIAISONS		Longueur Tronçon (km)	Puissance PdL(kW)	Coefficient de Ponderation k	Section S(mm²)	Intensité (A)	Chute de tension(%)	Chute de tension Cumulé(%)
Depart1	TUR-PT SEPARATION	0,073	136,93	0,23	150	247,05	2,30	2,30
	PT SEPARATION-REMBT21	0,082	77,18	0,23	150	139,24	1,46	3,75
	PT SEPARATION-REMBT23	0,01	110,40	0,23	150	199,19	0,25	2,55
Depart2	TUR-PT SEPARATION	0,078	138,60	0,23	150	250,06	2,49	2,49
	PT SEPARATION-REMBT22	0,011	77,18	0,23	150	139,24	0,20	2,68
	PT SEPARATION- REMBT24	0,034	132,83	0,23	150	239,65	1,04	3,53
Depart3	TUR-REMBT25	0,038	137,73	0,23	150	248,50	1,20	1,20
	REMBT25-REMBT26	0,063	95,40	0,23	150	172,12	1,38	2,59
Depart4	TUR-DESSERTE	0,06	129,98	0,23	150	234,51	1,79	1,79
	DESSERTE-REMBT27	0,065	31,98	0,23	150	57,69	0,48	2,27
Depart5	TUR-DESSERTE	0,1	114,52	0,23	150	206,63	2,63	2,63
	DESSERTE-REMBT28	0,1	16,52	0,23	150	29,81	0,38	3,01
Depart6	TUR-DESSERTE	0,15	112,81	0,23	150	203,54	3,89	3,89
	DESSERTE-REMBT29	0,058	62,81	0,23	150	113,33	0,84	4,73
Depart7	TUR- DESSERTE	0,15	113,40	0,23	150	204,60	3,91	3,91
	DESSERTE-REMBT210	0,05	63,40	0,23	150	114,39	0,73	4,64

II.1.3.13 Courant de court-circuit

Il est indispensable de connaître les intensités de courants de court-circuit du réseau pour dimensionner les dispositifs de protection.

Ils nous permettront de déterminer :

- ✚ Les seuils de déclenchement du dispositif de protection.
- ✚ Le pouvoir de coupure du dispositif de protection.
- ✚ La tenue des barres et des câbles.

La méthode des impédances a été employée pour calculer les différents courants de court-circuit consignés dans le tableau XIX.

Les tableaux XX et XXI regroupent les courants de court-circuit calculés pour dimensionner les dispositifs de protections.

Tableau XIX : Caractérisation des composantes de ligne

CARACTERISATION DES ELEMENTS DU RESEAU					
Composants	$R(m\Omega)$	$X(m\Omega)$	$R_T(m\Omega)$	$X_T(m\Omega)$	$I_{CC}(kA)$
Reseau Amont	$\frac{R_a}{Z_a} = 0.2$	$\frac{X_a}{Z_a} = 0.98$			
TFO	$R_{Tr} = \frac{P_{cu}}{S_n} \times U^2$	$Z_{Tr} = \frac{U_{cc}}{100} \times \frac{U^2}{S_n}$			
Cables	$R_l = \rho \times \frac{L}{S}$	$X_l = 0.09 \times L$	$R_T = \sum R$	$X_T = \sum X$	$I_{cc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$
Disjoncteur	0	0,15			
Jeux de Barre	$R_b = \rho \times \frac{L}{S}$	$X_b = 0.15 \times L$			

Tableau XX : Courant de court-circuit Aile sud

COURANT DE COURT CIRCUIT AILE SUD						
CARACTERISTIQUES DU RESEAU						
COMPOSANTS		$R(m\Omega)$	$X(m\Omega)$	$R_T(m\Omega)$	$X_T(m\Omega)$	$I_{CC}(kA)$
Reseau amont Pcc=500MVA		0,09	0,44	0,09	0,44	
Transformateur 1000kVA 15kV/410V		2,73	12,31	2,82	12,75	
Ligne BT cable U 1000R02V 4X240/Phase,5m Cu		0,38	0,90	3,20	13,65	16,89
Disjoncteur General		0,00	0,15	3,20	13,80	
Jeux de barre		0,75	1,50	3,95	15,30	14,98
Cable d'alimentation	Depart1 HGE 150mm ² alu	17,76	6,66	21,71	21,96	7,67
	depart2 HGE 150mm ² alu	14,88	5,58	18,83	20,88	8,42
	depart3 HGE 150mm ² alu	41,28	15,48	45,23	30,78	4,33
	depart4 HGE 150mm ² alu	54,96	20,61	58,91	35,91	3,43
	depart5 HGE 150mm ² alu	37,44	14,04	41,39	29,34	4,67
	depart6 HGE 150mm ² alu	44,40	16,65	48,35	31,95	4,08

Tableau XXI : Courant de court-circuit Aile nord

COURANT DE COURT CIRCUIT AILE NORD						
CARACTERISTIQUES						
COMPOSANTS		$R(m\Omega)$	$X(m\Omega)$	$R_T(m\Omega)$	$X_T(m\Omega)$	$I_{CC}(kA)$
Reseau amont Pcc=500MVA		0,09	0,44	0,09	0,44	
Transformateur 1000kVA 15kV/410V		1,77	12,48	1,86	12,92	
Ligne BT cable U 1000R02V		0,38	0,90	2,23	13,82	16,90
Disjoncteur General		0,00	0,15	2,23	13,97	
Jeux de barre		0,75	1,50	2,98	15,47	15,02
Cable d'alimentation	Depart1 HGE 150mm ² alu	37,20	13,95	40,18	29,42	4,75
	depart2 HGE 150mm ² alu	26,88	10,08	29,86	25,55	6,02
	depart3 HGE 150mm ² alu	24,24	9,09	27,22	24,56	6,46
	depart4 HGE 150mm ² alu	30,00	11,25	32,98	26,72	5,58
	depart5 HGE 150mm ² alu	48,00	18,00	50,98	33,47	3,88
	depart6 HGE 150mm ² alu	49,92	18,72	52,90	34,19	3,76
	depart7 HGE 150mm ² alu	48,00	18	50,98	33,47	3,88

II.1.3.14 Dispositifs de protection et de sécurité

Les dispositifs de protection assureront la protection des équipements contre les surcharges et les courts-circuits. Ils assureront également le sectionnement et la sécurité des personnes.

Le réseau de distribution national ivoirien procède par la mise à la terre des masses et du neutre donc d'un schéma de liaison à la terre TT pour protéger les personnes contre les contacts indirects.

Le tableau XXII et XXIII dressent les caractéristiques des dispositifs de protection.

Tableau XXII : Caractéristiques des dispositifs de protection Aile Nord

AILE NORD					
		In(A)	Icc(kA)	Dispositif de protection	Dispositif de sectionnement
LIAISONS	Cellule PM- TFO	38,4900179	19,245	SOLEFUSE 63A- 15kV	Interrupteur à coupure dans le SF6
	TFO -TUR	1443,38	16,9	Disjoncteur Masterpact NS 1600N NT16 H1 NW 16N1 Micrologic In=1600A Icc=23kA	INS1600 4poles Courant conventionnel d'emploi Ith 1600,60°C Tension Assignée de tenue aux chocs12kV Tension d'emploi Ue=690V, 50Hz Courant de courte durée admissible Icw=35kA eff/1s
	Depart1	247,05	4,75	FUSIBLE BT HPC 250A	Interrupteur sectionneur INS250 4P
	depart2	250,06	6,02		Courant thermique conventionel Ith=250A,60°C
	depart3	248,50	6,46		Courant Assignée d'emploi Ie=250A
	depart4	234,51	5,58		Tension assignée d'emploi Ue= 690,50Hz
	depart5	206,63	3,38		Pouvoir de fermeture en court-circuit Icm=330 kAcrete
	depart6	203,54	3,76		
	Depart7	204,60	3,88		

Tableau XXIII : Caractéristiques des dispositifs de protection Aile Sud

AILE SUD					
LIAISONS	Cellule PM- TFO	In(A)	Icc(kA)	Dispositif de protection	Dispositif de sectionnement
		30,7920144	19,245	SOLEFUSE 43A- 15kV	Interrupteur à coupure dans le SF6
	TFO -TUR	1154,70	16,9	Disjoncteur Masterpact NS 1250N NT12 H1 NW 12N1 Micrologic In=1250A Icc=19kA	INS1250 Courant conventionnel d'emploi Ith 1250A,60°C Tension Assignée de tenue aux chocs 12kV Tension d'emploi Ue=690V, 50Hz Courant de courte durée admissible Icw=35kA eff/1s
	Depart1	229,50	7,67	FUSIBLE BT HPC 250A	Interrupteur sectionneur INS250 4P
	depart2	215,57	8,42		Courant thermique conventionel Ith=250A,60°C
	depart3	204,67	4,33		Courant Assignée d'emploi Ie=250A
	depart4	248,04	3,43		Tension assignée d'emploi Ue= 690,50Hz
	depart5	231,63	4,67		Pouvoir de fermeture en court-circuit Icm=330 kAcrete
	depart6	244,18	4,08		

II.1.4 Dimensionnement de l'éclairage public du projet

Le réseau d'éclairage public est de type aérien mécaniquement lié au réseau de distribution électrique mais séparés électriquement pour simple motif économique et d'encombrement.

La caractérisation de la chaussée, le type d'implantation et la hauteur de feu des lampadaires choisis donnent l'espacement de 30 mètres entre les supports et reste celui qui garantit une bonne répartition du flux lumineux.

L'alimentation du réseau d'éclairage public est faite en basse tension à partir, d'une armoire de livraison installée dans le poste de distribution publique d'électricité.

II.1.4.1 Réseau électrique d'alimentation de l'EP

Le réseau de l'éclairage public est reparti en deux compartiments, aile sud et aile nord, alimentés respectivement par les départs éclairage public issus des postes de transformation.

Les longueurs des départs sont inférieures à 500 mètres ce qui convient à l'alimentation basse tension choisie.

Le tableau XXIV donne le nombre de points lumineux et les longueurs des tronçons.

Tableau XXIV : Réseau d'éclairage public

RESEAU D'ECLAIRAGE PUBLIC				
Départs	AILE SUD		AILE NORD	
	Points lumineux	Longueur Troncon(m)	Points lumineux	Longueur Troncon(m)
Depart1	14	200	8	329
Depart2	9	378	9	256
Depart3	7	302	6	318

II.1.4.2 Dimensionnement des câbles

Le dimensionnement des câbles tient compte des enjeux de tenue aux :

- ❖ Surintensités correspondant à une section S_a .
- ❖ Chutes de tension équivalente à une section de câble S_b .
- ❖ Court-circuit conduisant à une section de câbles S_c .

La section des conducteurs retenue est supérieure ou égale à la plus grande des trois sections qui supporterait les échauffements excessives, les courants de court-circuit et qui conduirait à une chute de tension raisonnable de 3%.

II.1.4.3 Courant d'emploi

Le courant absorbé par les lampes d'un départ et transitant dans les câbles est :

$$I_B = d \times n \sum I_b \quad (5)$$

I_b : Courant nominal absorbé par chaque lampe.

d : coefficient tenant compte des extensions antérieures situé entre 1 et 1.3, pris égale à 1.2.

n : nombre de lampes de la ligne considérée.

Le courant d'emploi est donné par le tableau XXV.

Tableau XXV : Courant d'emploi des lampes SHP à ballast ferromagnétiques

Type de lampes	Puissance Nominale Lampe (W)	Ballasts ferromagnétiques		Ballasts électroniques
		Courant absorbé en régime établi I_b (A)	Courant maximal absorbé lors de l'allumage I_a (A)	Courant absorbé en régime établi I_b (A)
Sodium Haute Pression	50	0,3	0,45	-
	70	0,45	0,6	0,36
	100	0,60	0,90	0,51
	150	0,85	1,2	0,74
	250	1,40	2,3	-
	400	2,2	3,6	-
	600	3,1	4,9	-
	1 000	5,4	10,6	-

II.1.4.4 Courant d'allumage des lampes

Le courant maximal absorbé par les lampes lors de la mise sous tension compte tenu de leur système d'allumage (ballast ferromagnétique ou électronique).

$$I_A = d \times n \sum I_a \quad (6)$$

I_a : courant absorbé par chaque lampe à l'allumage.

d : coefficient d'extension antérieure compris entre 1 et 1.3, pris égale à 1.2.

n : nombre de lampes sur la ligne.

Le courant d'allumage des lampes est donné par le tableau XXVI.

Tableau XXVI : Courant d'allumage des lampes SHP à ballast ferromagnétiques

Type de lampes	Puissance Nominale Lampe (W)	Ballasts ferromagnétiques		Ballasts électroniques
		Courant absorbé en régime établi I_b (A)	Courant maximal absorbé lors de l'allumage I_a (A)	Courant absorbé en régime établi I_b (A)
Sodium Haute Pression	50	0,3	0,45	-
	70	0,45	0,6	0,36
	100	0,65	0,95	0,51
	150	0,85	1,2	0,74
	250	1,40	2,3	-
	400	2,2	3,6	-
	600	3,1	4,9	-
	1 000	5,4	10,6	-

II.1.4.5 Section de câble due à la chute de tension

La section de câble due à la chute de tension est donnée par :

$$S_b = n \times (n+1) \rho \times l \frac{dI_b}{\Delta U} \quad (7)$$

n : nombre de lampadaires.

ρ : Résistivité des conducteurs en $m\Omega.mm^2 / m$.

l : longueur entre deux lampadaires successifs.

ΔU : Chute de tension admissible en pourcentage.

II.1.4.6 Section de câble due aux surintensités

Le courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités correspond au maximum des courants d'emploi et d'allumage.

Le courant assigné du dispositif de protection est $I_n = \text{Max}(I_A, I_B)$.

Le tableau XXVII donne la section de câble en fonction du courant assigné du dispositif de protection.

Tableau XXVII : Tableau normatif du choix de la section de câble

Courant assigné du dispositif de protection I_n (A)		Section minimale correspondante des conducteurs S_A (mm ²)	
Fusibles gG	Disjoncteurs de type B	Cuivre	Aluminium
16	20	1,5	
25	25	2,5	
32	32	4	6
40	50	6	10
63	63	10	16
80	80	16	25
100	100	25	35
125	125	35	50

II.1.4.7 Section de câble due au court-circuit

Les courants de court-circuit I_{kmax} et I_{kmin} correspondent respectivement aux plus grand courant de court-circuit à couper à l'origine et le plus petit courant anormal à détecter à l'extrémité la plus éloignée du circuit.

La méthode dite conventionnelle a été employée, elle s'appuie sur l'hypothèse I_{kmin} égale à 80% de l'impédance totale de la boucle de défaut pour donner la relation entre la longueur de réseau et la section de câble à utiliser.

II.1.4.7.1 Section de câble due au courant de court-circuit I_{kmin}

La section de câble due au courant de court-circuit I_{kmin} est basée sur la méthode conventionnelle. Elle donne en fonction du courant assigné du dispositif de protection choisi (fusible ou disjoncteur) et de la longueur du tronçon, la section appropriée.

Le tableau XXVIII résume le choix de la section de câble en fonction du courant I_{kmin} .

Tableau XXVIII : Choix de section de câble en fonction du courant I_{kmin}

SECTION CONDUCTEUR (mm ²)	COURANT ASSIGNE DU DISPOSITIF DE PROTECTION [CONDUCTEURS PR]												
	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
1,5	283	194	110	82									
2,5	472	323	183	136	102	82							
4	756	517	293	218	164	131	89						
6	1 134	776	440	327	246	197	134	113					
10	1 890	1 294	733	545	409	328	223	189	129	112			
12	2 268	1 553	880	654	491	394	268	227	155	134			
16	3 024	2 070	1 173	873	655	524	357	302	207	179	119		
25	4 724	3 234	1 833	1 364	1 024	819	558	472	323	279	186	143	
35	6 614	4 528	2 567	1 909	1 433	1 148	781	661	453	391	261	200	146
50	9 449	6 468	3 667	2 727	2 047	1 638	1 116	945	646	559	372	285	208

II.1.4.8 Section de câble due au courant court-circuit I_{kmax}

La section due au courant de court-circuit I_{kmin} doit être confirmée par celle donnée par le courant de court-circuit I_{kmax} .

Le tableau XXIV donne le choix des sections dues au courant de court-circuit I_{kmin} .

Tableau XXIX : Choix de section en fonction du courant I_{kmax}

SECTION CONDUCTEUR (mm ²)	COURANT ASSIGNE DU DISPOSITIF DE PROTECTION [CONDUCTEURS PR]												
	4	6	10	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125
6	722	498	280	208	158	125	85						
10	1 203	823	487	347	261	208	142	120					
16	1 924	1 317	747	555	417	334	227	192	132	114			
22	2 647	1 811	1 027	763	574	457	312	264	180	156	99		
25	3 006	2 058	1 167	868	651	521	355	301	206	178	118		
35	4 209	2 881	1 633	1 215	912	730	497	421	288	249	166	127	
50	6 013	4 116	2 333	1 735	1 303	1 042	710	601	411	358	237	182	132

Les sections de câbles déterminées en tenant compte des enjeux de surintensité, de court-circuit et de chute admissible suivant la procédure décrite précédemment sont résumées dans les tableaux XXX et XXXI.

Tableau XXX: Calcul section de câble AILE SUD

AILE SUD										
Departs	Points lumineux	Longueur Troncon(m)	Courant d'Emploi(A)	Courant Allumage(A)	Courant Assigné Fusible gG(A)	Courant Assigné Normalisé(A)	Section Sa (mm ²)	Section Sb(mm ²)	Section Sc Ikmin(mm ²)	Section Sc Ikmax(mm ²)
Depart1	14	200	14,28	20,16	20,16	25	2,5	24,63	10	10
Depart2	9	378	9,18	12,96	12,96	16	1,5	10,56	10	10
Depart3	7	302	7,14	10,08	10,08	10	1,5	6,57	10	10

Tableau XXXI: Calcul section de câble AILE NORD

AILE NORD										
Departs	Points lumineux	Longueur Troncon(m)	Courant d'Emploi(A)	Courant Allumage(A)	Courant Assigné Fusible(A)	Courant Assigné Normalisé(A)	Section Sa(mm ²)	Section Sb(mm ²)	Section Sc Ikmin(mm ²)	Section Sc Ikmax(mm ²)
Depart1	8	329	8,16	11,52	11,52	16	1,5	9,06	10	10
Depart2	9	256	9,18	12,96	12,96	16	1,5	10,17	10	10
Depart3	6	318	6,12	8,64	8,64	10	1,5	6,82	10	10

II.1.4.9 Sections optimales

Les sections optimales sont celles qui assurent à la fois les problématiques de surcharges, de court-circuit et de chute de tension admissible. Et sont résumées dans le tableau XXXII.

Tableau XXXII: Sections des câbles

SECTIONS OPTIMALES								
Départs	AILE SUD				AILE NORD			
	Points lumineux	Longueur Tronçon(m)	Courant Assigné(A)	Sections (mm ²)	Points lumineux	Longueur Tronçon(m)	Courant Assigné(A)	Sections (mm ²)
Départ1	14	200	25	25	8	329	16	10
Départ2	9	378	16	10	9	256	16	10
Départ3	7	302	10	10	6	318	10	10

II.1.4.10 Armoire de l'éclairage public

L'armoire réseau d'éclairage public est installée dans le poste de distribution est d'indice de protection IP 66 pour un indice mécanique IK10. Elle comprend :

- La protection générale assurée par les fusible HPC 250A du tableau urbain dédié au départ éclairage public,
- Un compteur d'énergie,
- Un interrupteur horaire et un contacteur de puissance dont la bobine est alimentée en 24V servant de commande pour l'allumage et l'extinction,
- Un répartiteur multiclip,
- Les départs protégés par des fusibles.

II.1.4.11 Dispositif de protection du réseau

Les dispositifs de protection sont nombreux et variés du fait de leur aspect électrotechnique et leur rôle respectifs.

Il s'agit de trouver des dispositifs capables d'assurer la protection des personnes et des biens matériels.

II.1.4.12 Protection contre les contacts indirects

Le schéma de liaison mis en œuvre dans le réseau de distribution électrique ivoirien est le régime TT.

La protection contre les contacts indirects est assurée par une liaison équipotentielle entre toutes les masses et tous les éléments conducteurs du poste, qui elle-même est reliée à la prise de terre de toute l'installation.

II.1.4.13 Protection contre les surintensités

La protection contre les courants de court-circuit est réalisée au moyen des fusibles capables de détecter et couper aussi bien le défaut le plus proche que le défaut le plus éloigné.

Le tableau XXXIII établit la liste des équipements de protection contre les surintensités.

Tableau XXXIII: Protection contre les surintensités

PROTECTIONS		
	AILE SUD	AILE NORD
Departs	Dispositif de protection	Dispositif de protection
Depart1	Fusible 25A Legrand 0 163 18	Fusible 16A Legrand 8X32 0 123 16
Depart2	Fusible 16A Legrand 8X32 0 123 16	Fusible 16A Legrand 8X32 0 123
Depart3	Fusible 10A Legrand 8x32 0 124 10	Fusible 10A Legrand 8x32 0 124 10

II.1.4.14 Commande allumage extinction

La commande allumage et extinction est faite par un interrupteur horaire qui donne des ordres d'allumage et d'extinction en fonction de la programmation désirée par l'utilisateur.

Les schémas de l'éclairage public sont consignés aux annexes VI et VII.

II.2 ENERGIE SOLAIRE

II.2.1 Description du potentiel solaire de la Cote d'Ivoire

La Cote d'Ivoire est un pays situé en Afrique de l'ouest à la latitude 5°20'27'' Nord et à la longitude 4°01'41'' Ouest.

L'ensoleillement annuel moyen sur un plan incliné de 5°20'27'' ces dix dernières années est de 5.25kWh/m²/j tout en restant supérieur à 5kWh/m²/j pour les différentes régions.

La durée de l'ensoleillement varie entre 2000 et 2700 heures par an selon les régions soit 5 à 8 heures d'ensoleillement par jour (Ministère des Mines, Novembre 2012)[2].

L'intégration de l'alimentation électrique mixte des logements sociaux est une politique de renforcement du mixt-énergétique en Côte d'Ivoire.

Le volet énergie solaire de ce projet a pour objectif de contribuer à la réduction de la subvention de l'électricité accordée par l'état à long terme et à la production d'énergie sobre et écologique.

Le tableau XXXIV donne les différents ensoleillements pour les différents régions.

Tableau XXXIV: Données d'ensoleillement en kWh/m²/j pour différentes régions de la Côte d'Ivoire (Source Ministère de l'énergie et du Pétrole)

Régions	Mois												Moy.
	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	
Sud (Abidjan)	5,40	5,80	5,51	5,32	4,97	4,51	4,50	4,34	4,51	5,18	5,40	5,27	5,06
Centre (Bouaké)	5,51	5,97	5,77	5,67	5,49	4,84	4,53	4,30	4,69	5,32	5,40	5,29	5,23
Nord (Korhogo)	5,56	6,22	6,13	5,99	5,88	5,30	4,91	4,67	5,17	5,73	5,63	5,36	5,55
Ouest (Man)	5,50	5,91	5,75	5,56	5,39	4,87	4,51	4,41	4,84	5,36	5,39	5,28	5,23
Est (Abengourou)	5,50	6,02	5,82	5,70	5,49	4,80	4,42	4,08	4,43	5,23	5,40	5,29	5,18

II.2.2 Conception de l'installation photovoltaïque

La conception de l'installation répond à la norme UTE C 15-712, et nous nous sommes servis du logiciel sunny design 2.3 et des feuilles de calculs Excel que nous avons conçues à cet effet.

Il repose essentiellement sur deux variantes:

- Première variante : Utiliser les espaces publics tels que la toiture du groupe scolaire et les parkings pour l'implantation des champs solaires dont l'énergie produite est injectée directement sur le réseau de distribution.

- Deuxième variante : Proposer des kits solaires individuels pouvant assurer au minimum les besoins vitaux des ménages (Télévision, prise, éclairage, ventilation et climatisation) dimensionnés par nos soins en fonction des types de logement.

II.2.2.1 Variante1 : Usage des espaces publics pour l'implantation des champs solaires

Nous avons identifié six espaces favorables et capables de supporter l'implantation de la structure solaire suivant que nous voudrions limiter davantage les effets d'ombrage, et suivant que nous privilégions également les surfaces permettant l'orientation plein sud des panneaux.

Les points d'injection de l'énergie se trouvent sur les lignes qui connaissent une chute de tension en bout de ligne la plus élevée de telle sorte à relever ou stabiliser la tension.

Le tableau XXXV désigne les espaces utilisés pour l'implantation des champs solaires.

Tableau XXXV: Espaces utilisés pour l'implantation des champs solaires

ESPACE	CHAMP PV	SURFACE(m ²)
Espace	Champ PV1	173
Poste HT/BT	Champ PV2	298
Espace Toit	Champ PV1	320
Ecole	Champ PV2	320
Parking REMBT24		227
Parking	Champ PV1	102
REMBT16	Champ PV2	102
Parking	Champ PV1	102
REMBT19	Champ PV2	102
Parking	Champ PV1	100
REMBT28	Champ PV2	100

II.2.2.2 Choix de la technologie des cellules des panneaux

Nous avons effectué une comparaison de trois technologies de cellules sur les critères de performances, de coût et de disponibilité sur le marché local ou mondial.

Le tableau XXXVI résume les différentes technologies comparées.

Tableau XXXVI: Comparaison des technologies des cellules PV

COMPARAISON DES TECHNOLOGIES				
Technologies	Rendement	Durée de vie	Disponibilité sur le Marché Mondial	Coût
Monocristallin	12 à 18%	20 à 30	Peu Disponible	Plus coûteuse
Polycristallin	11 à 15%	20 à 30	Plus 50% du marché	Peu coûteuse
Amorphe	6 à 8%		Peu Disponible	Moins coûteuse

La technologie poly cristallin a retenu notre choix et nous avons choisi un panneau de la marque BIO PLUS du fabricant BioEnergy qui a l'avantage d'avoir une puissance crête de 260Wc et un rendement de 13.40%.

Le tableau XXXVII donne les caractéristiques du panneau solaire Bio Plus 260P.

Tableau XXXVII : Caractéristiques du panneau solaire Bio Plus 260 P (Sunny design)

Fabricant:	BioEnergy
Panneau PV :	BIO PLUS 260 P
Technologie des cellules:	poly
Panneau photovoltaïque actuel:	☒
Caractéristiques électriques:	
Puissance nominale:	260,00 Wp
Tolérance de puissance:	--- %
Tension MPP:	35,60 V
Courant MPP :	7,30 A
Tension à vide:	43,50 V
Courant de court-circuit:	8,05 A
Tension de système admissible:	1000 V
Rendement du panneau photovoltaïque (STC):	13,40 %

II.2.2.3 Type d'implantation

La solution technique retenue pour installer les panneaux est la surimposition avec usage d'une structure portante en métal au moyen de lestage.

Auparavant, la mise en œuvre doit faire objet de l'approbation d'un ingénieur spécialisé en calcul de structure pour juger de la capacité du bâtiment à recevoir les modules et les accessoires, et de supporter les sollicitations dues au vent durant toute la durée de vie de l'installation à travers des calculs de structure avancés et crédibles.

La figure V énumère les différentes sollicitations exercées sur la structure et sur le support.

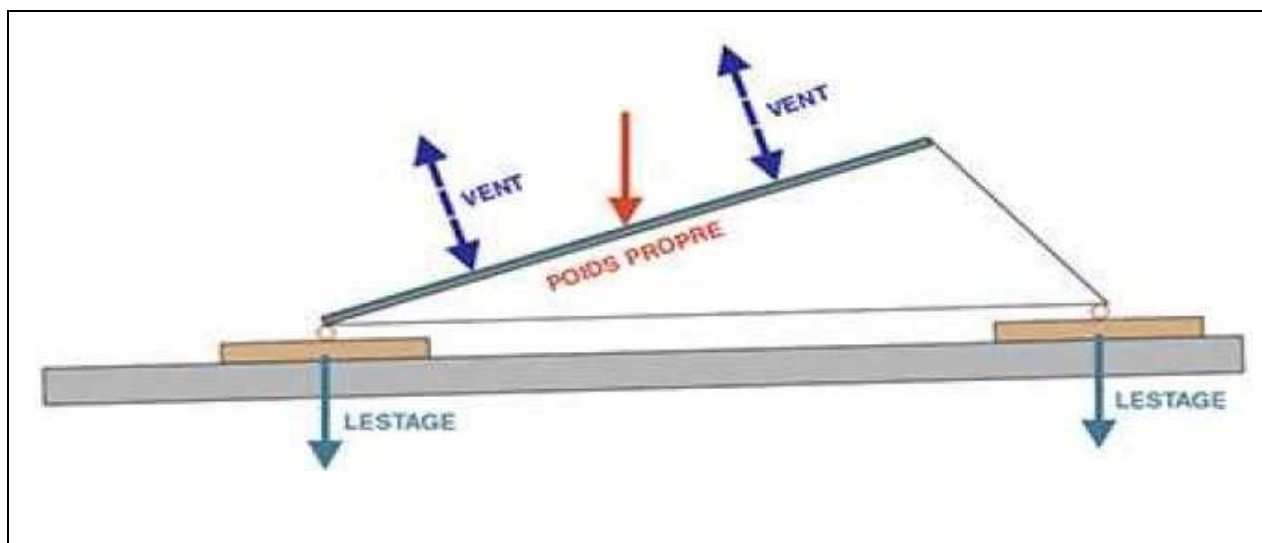


Figure V : Différentes sollicitations exercées sur la structure et sur la toiture

II.2.2.4 Evaluation de la fourniture solaire

La procédure de dimensionnement s'est basée sur l'optimisation des espaces disponibles.

En considérant les dimensions du panneau choisi, nous avons déterminé le nombre de panneaux susceptibles d'être installés.

L'espacement **d** entre les strings est donné par :

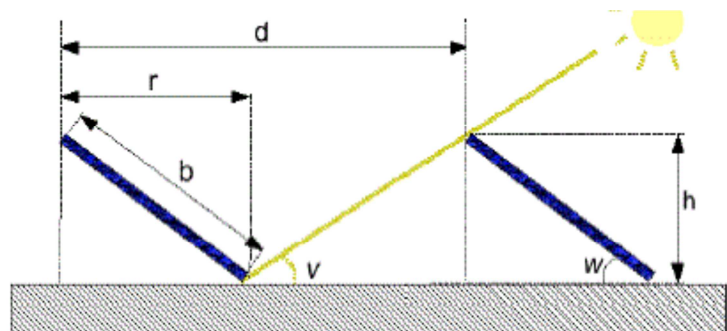
$$d = \frac{b \times \sin(180 - w - v)}{\sin(v)} \quad (8)$$

d : espacement entre les strings.

v : angle de position du soleil compris entre 15° et 18° pris égal à 15°.

w : Angle d'inclinaison des panneaux pris égal à 5° correspondant à la latitude d'Abidjan et orienté plein sud.

Hauteur panneaux(m)	1,956
Inclinaison des panneaux(°)	5
Angle de position du soleil(°)	16,5
Distance entre strings(m)	2,72



Ainsi le nombre de panneaux à installer au niveau de chaque lot est consigné dans le tableau XXXVIII.

Tableau XXXVIII: Exploitation des surfaces

EXPLOITATION DES SURFACES						
ESPACES		Longueur (m)	Largeur (m)	Nombre panneaux sur la longueur	Nombre de panneaux sur la largeur	Nombre de panneaux Total
Espace Poste HT/BT	Champ1	39	5	15	2	30
	Champ2	29	10	11	4	44
Espace Toit ecole	Champ1	48	20	18	8	148
	Champ2	48	20	18	8	148
Parking REMBT24		42,5	5	16	2	32
Parking REMBT16	Champ1	25	5	10	2	20
	Champ2	25	5	10	2	20
Parking REMBT19	Champ1	25	5	10	2	20
	Champ2	20	5	8	2	16
Parking REMBT28	Champ1	20	5	8	2	16
	Champ2	25	5	8	2	16
TOTAL PANNEAUX						510
PUISSANCE INSTALLEE(kWc)						132,6

II.2.3 Dimensionnement du système photovoltaïque

Le dimensionnement du système PV consiste à opérer le choix optimal possible des composantes en fonction de leurs caractéristiques propres.

II.2.3.1 Schéma de principe

L'énergie électrique produite à partir des générateurs photovoltaïques sera injectée directement sur les tableaux de distribution via un onduleur réseau.

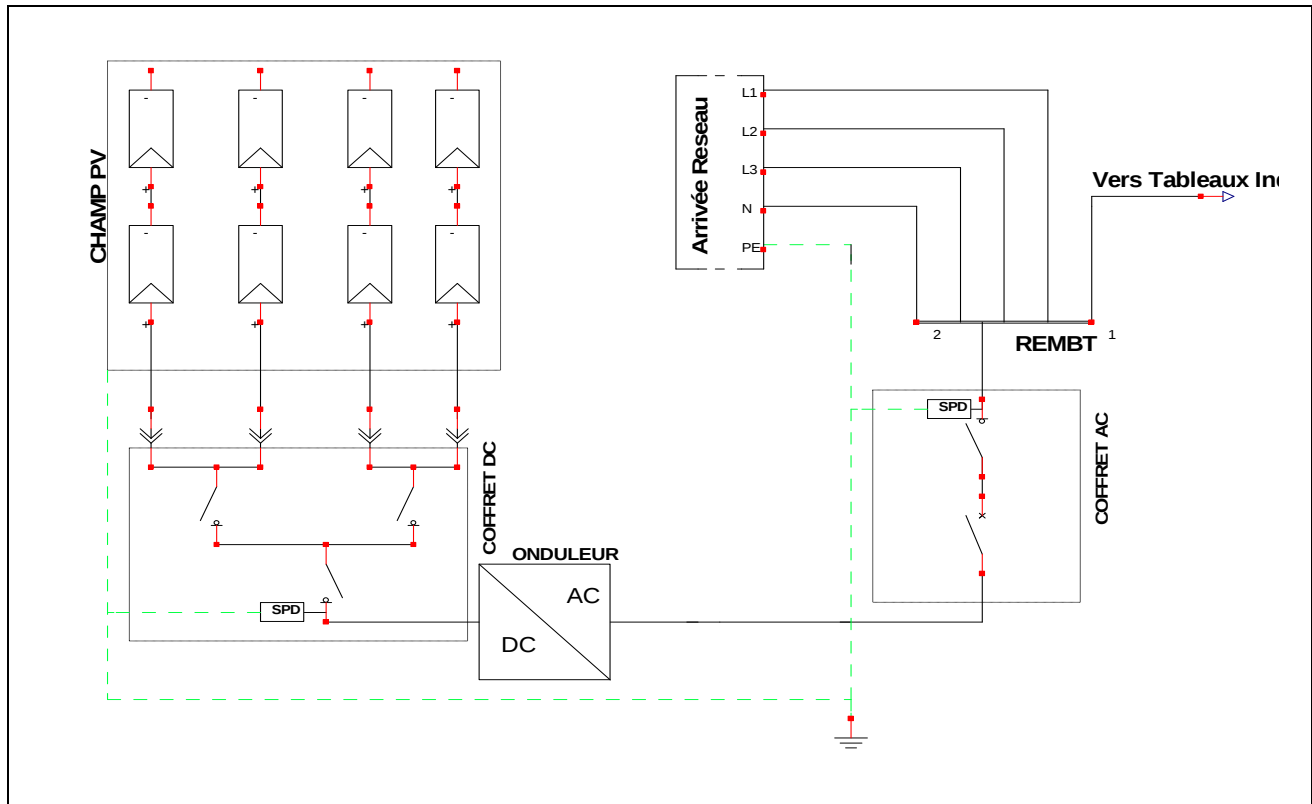


Figure VI: Schéma de principe

II.2.3.2 Générateur photovoltaïque

Le système photovoltaïque comporte six centrales pour onze générateurs solaires dont la capacité totale installée est **132.26 kW_c**.

La capacité de production annuelle du champ PV est estimée à **194.725MWh**.

La puissance instantanée des logements est de **1526kW**.

La puissance électrique produite et cumulée par le champ est pendant une journée d'ensoleillement et qui revient à l'ensemble de l'énergie produite pendant la journée est :

$$P_{el} = k \times P_c \times I_r = 403.22kW \quad (9)$$

k : Facteur conversion tenant compte des différentes pertes (convertisseur DC/AC, perte en puissance dans le module photovoltaïque dû à l'élévation en température par exposition au rayonnement solaire) variant de 0.7 à 0.8 pris égale à 0.7.

P_c= Puissance crête en kWc pour 1kWh/m²/j.

I_r=Irradiance (kWh/m²/j).

Le taux d'injection du champ dans le réseau électrique de la cité est:

$$T_{inj}(\%) = \frac{P_{el\text{Solaire}}}{P_{el\text{Reseau}}} = 26.4 \quad (10)$$

Ainsi, 26.4% de la puissance active délivrée provient des générateurs photovoltaïques.

Les caractéristiques des générateurs sont renseignées dans le tableau XXXVIX.

Tableau XXXIX: Caractéristiques des générateurs PV

CARACTERISTIQUES DES GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUES				
GENERATEURS PV	Nombre de panneaux	Puissance Crête(kWc)	Rendement energetique annuel(MWh/an)	Rendement energetique specifique(kWh/kWc)
Generateur Poste HT/BT	74	19,42	28,076	1459
Espace Toit ecole	296	76,96	113,34	1473
Generateur Parking REMBT24	32	8,32	12,16	1462
Generateur Parking REMBT16	40	10,4	15,286	1470
Generateur Parking REMBT19	36	9,36	13,703	1465
Generateur Parking REMBT28	32	8,32	12,16	1462
TOTAL	510	132,78	194,725	8791

II.2.3.3 Les onduleurs

Les onduleurs ont pour rôle de convertir le courant continu fourni par les générateurs photovoltaïques en courant alternatif.

L'énergie électrique produite par les générateurs PV transite via les onduleurs réseaux sur le réseau de distribution.

Le choix des onduleurs a été effectué à l'aide du logiciel sunny design 2.3 en conservant un rapport de puissance nominale de l'onduleur entre 84% et 120%.

Ce rapport indique la grandeur de la puissance en courant continu de l'onduleur par rapport à la puissance crête du générateur PV. Il est fourni par le logiciel Sunny Design2.3 à travers l'équation(11).

$$\text{Rapport de puissance nominale} = \frac{\text{Puissance DC nominale de l'onduleur}}{\text{Puissance crête du generateur PV}} \quad (11)$$

Le tableau XL donne les caractéristiques des onduleurs de chaque champ solaire.

Tableau XL: Onduleurs

ESPACES	ONDULEURS				
	Designation	Nombre de Panneaux entrée A	Nombre de Panneaux Entrée B	Puissance Crete (kWc)	Puissance Assignée(kVA)
Espace Poste HT/BT	STP 7000TL-20	15	15	7,8	7
	STP 10 000 TL 10	22	22	11,44	10
Espace Toit ecole	2X(STP 17 000 TL-10)	54	20	19,24	17
	2X(STP 17 000 TL-10)	54	20	19,24	17
Parking REMBT24	STP 7000 TL-20	16	16	8,32	7
Parking REMBT16	STP 10 000 TL 10	20	20	10,4	10
Parking REMBT19	STP 9000 TL-20	18	18	9,36	9
Parking REMBT28	STP 7000 TL-20	16	16	8,32	7

II.2.3.4 Dispositifs de protection

Les dispositifs de protection sont mises en œuvre pour assurer la protection des équipements contre les surcharges et la protection des personnes contre les contacts indirects.

II.2.3.5 Sectionnement et découplage

Un dispositif de sectionnement courant continu est placé en amont et à proximité de l'onduleur pour isoler électriquement le champ photovoltaïque.

Les onduleurs réseaux qui permettent le couplage du PV sur le réseau sont équipés d'une déconnexion automatique en cas de :

- ❖ Défaut sur le réseau
- ❖ Disparition de l'alimentation par le réseau de distribution
- ❖ Variation de tension ou de fréquence supérieure à celle spécifiée.

II.2.3.6 Dispositif de protection contre les surcharges

La protection contre les surcharges est assurée par les disjoncteurs.

II.2.3.7 Mise à la terre et protection contre la foudre

Les masses de l'onduleur, de la structure PV et de celles des appareils alimentés par le réseau de distribution sont reliées à la même prise de terre.

Le conducteur d'équipotentialité réalisant la terre est connecté à un parafoudre.

Le site du projet présente un niveau keraunique inférieur à 25 soit une densité de foudroiement inférieur à 2.5.

Les champs PV sont complètement entourés de structures, les parafoudres de type 2 sont utiles dans la partie DC et recommandé du côté AC.

Le niveau d'exposition aux surtensions est :

$$F_{PV} = N_k \times (1 + \varphi + \delta) \quad (12)$$

N_k : niveau keraunique du site du projet pris égale à 25.

φ : Fonction du niveau d'exposition aux surtensions.

δ : Analyse de la situation de la ligne par rapport aux structures aux voisinages.

Le tableau XLI donne les intensités de décharges des parafoudres en fonction du niveau d'exposition aux surtensions.

Tableau XLI: Niveau d'exposition aux surtensions et intensité de décharge des parafoudres DC et AC

Niveau d'exposition aux surtensions		
	Partie DC	Partie AC
φ	0	1
δ	0	0
F_{PV}	25	50
$I_n(kA)$	5	10

L'intensité de courant nominale de décharge I_n du parafoudre est fonction du niveau d'exposition aux surtensions donné dans le tableau XLII.

Tableau XLII: Choix du courant nominal de décharge des parafoudres

Estimation du risque F_{PV}	I_n (kA)
$F_{PV} \leq 40$	5
$40 < F_{PV} \leq 80$	10
$F_{PV} > 80$	20

II.2.4 Variante2 : Kits solaires individuels

Cette deuxième variante offre une autonomie énergétique aux propriétaires des logements en leur proposant un kit solaire capable d'assurer l'alimentation électrique des besoins vitaux des ménages.

II.2.4.1 Principe de fonctionnement

Les kits solaires individuels constituent des systèmes solaires autonomes qui permettent de produire l'énergie électrique nécessaire pour l'alimentation des équipements standards et vitaux des ménages lorsque le réseau national d'électricité est absent ou selon que l'on veut réaliser des économies d'énergie ou produire et consommer de l'énergie sobre.

Le rayonnement solaire capté par les cellules photovoltaïques constituant le module est converti en énergie électrique de courant électrique continu.

Via un régulateur de charge et de décharge l'énergie produite est stockée dans des accumulateurs de batteries puis alimente simultanément les charges à travers un onduleur ou un convertisseur selon que le courant de la charge soit alternatif ou continu.

La figure VII décrit le principe de fonctionnement des kits solaires depuis la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique pour l'alimentation des charges du logement.



Figure VII : Principe de fonctionnement des kits solaires Premium

II.2.4.2 Procédure de dimensionnement des kits solaires Premium

Le calcul de ces kits s'est fait à l'aide d'une fiche Excel que nous avons conçu.

Les charges à alimenter sont fonction du type de logement. Ainsi nous dénombrons deux kits dénommés Premium A et Premium B.

La procédure de dimensionnement adoptée a consisté essentiellement en dix étapes permettant de caractériser les différents composants des kits solaires.

❖ Première étape : Détermination de la tension du système

En fonction des puissances électriques établies à partir du bilan de puissance dressé du champ photovoltaïque, la tension recommandée pour le kit premium A est de 24VDC et celle du kit premium B est de 12VDC.

La liste des charges et leurs caractéristiques électriques alimentées par les différents kits est établie par les tableaux XLIII et XLIV.

Tableau XLIII : Recensement des charges pour le kit premium A

EVALUATION DU BESOIN ENERGETIQUE DU CLIENT												
Designation des recepteurs	Type Courant recepteur	Tension recepteur(V)	Localisation	Quantité	Puissance Nominale Unitaire(W)	Facteur de puissance	Puissance Totale(kW)	Temps de fonctionnement(h)	Energie Journaliere(kWh)	Intensité CC(A)	Intensité CA(A)	Puissance apparente CA(kVA)
Lampes	CA	230		8	18	0,86	0,18	10	1,80	0,00	0,783	0,2093
Prise	CA	230		4	36	1	0,144	10	1,44	0,00	0,626	0,1440
Television	CA	230		2	50	0,8	0,08	8	0,64	0,00	0,348	0,1000
Ventilateur	CA	230		2	25	0,8	0,04	6	0,24	0,00	0,174	0,0500
Climatiseur	CA	230		1	1472	0,8	1,1776	4	4,71	0,00	5,120	1,4720
TOTAL							1,6216		8,83	0,00	7,050	1,9753

Tableau XLIV: Recensement des charges pour le kit Premium B

EVALUATION DU BESOIN ENERGETIQUE DU CLIENT												
Designation des recepteurs	Type Courant recepteur	Tension recepteur(V)	Localisation	Quantité	Puissance Nominale Unitaire(W)	Facteur de puissance	Puissance Totale(kW)	Temps de fonctionnement(h)	Energie Journaliere(kWh)	Intensité CC(A)	Intensité CA(A)	Puissance apparente CA(kVA)
Lampes	CA	230		6	18	0,86	0,135	10	1,35	0,00	0,587	0,1570
Prise	CA	230		4	36	1	0,144	10	1,44	0,00	0,626	0,1440
Television	CA	230		1	50	0,8	0,04	10	0,40	0,00	0,174	0,0500
Ventilateur	CA	230		2	25	0,8	0,04	8	0,32	0,00	0,174	0,0500
TOTAL							0,359		3,51	0,00	1,561	0,4010

❖ Deuxième étape : Choix des onduleurs

Le courant des récepteurs est alternatif donc il faudrait placer un composant en aval du champ photovoltaïque qui aura pour rôle premier de convertir le courant continu des panneaux solaires en courant alternatif.

La puissance apparente de l'onduleur vaut **k** fois la puissance apparente des charges qu'il alimentera où k est un facteur compris entre 2 et 3 tenant compte de l'appel de courant des appareils.

$$P(VA)=k \times P_{chargeCA}(VA)$$

(13)

Avec $k=2$ alimentation sans moteur.

Ainsi, les puissances respectives des onduleurs des kits premium A et premium B sont **3.95kVA** et **1.2kVA**. Les onduleurs choisis ont une puissance supérieure ou égale aux puissances déterminées.

❖ Troisième étape : Estimation du besoin énergétique journalier

En considérant les puissances unitaires des appareils à alimenter et le temps de fonctionnement au cours d'un jour, le besoin journalier est estimé par :

$$B_j(Wh) = P(W) \times t(h)$$

(14)

Où $P(W)$ est la puissance unitaire d'une charge et $t(h)$ son temps de fonctionnement durant une journée.

L'énergie journalière requise qu'un kit devrait fournir est la somme des énergies consommées par l'ensemble de toutes les charges d'un logement.

Ainsi, les besoins en énergie des kits Premium A et Premium B sont respectivement de **8.8kWh/jour** et **3.5kWh/jour**.

❖ Quatrième étape : Capacité des batteries d'accumulateurs

La batterie d'accumulateur de chaque kit est constituée d'accumulateurs dont les choix ont été motivés par les caractéristiques consignées dans le tableau XLV.

Tableau XLV: Caractéristiques des accumulateurs de batteries

ACCUMULATEURS DES BATTERIES		
Caracteristiques	Premium A	Premium B
Tension Vbat(Volt)	24	48
Rendement Rbat(%)	80	80
Taux de décharge DM(%)	80	80
Autonomie(Jour)	2	2
Capacité(Ah)	280	260

La capacité de la batterie est :

$$C_{bat} = \frac{B_j \times J_{raut}}{V_{bat} \times R_{bat} \times DM}$$

(15)

Afin de délivrer la tension exacte du système, la disposition des accumulateurs se révèle importante. Le nombre d'accumulateur en série est:

$$N_{as} = \frac{V_{bat}}{V_{acc}} \quad (16)$$

Le nombre d'accumulateur en parallèle est :

$$N_{bp} = \frac{C_{bat}}{C_{acc}} \quad (17)$$

Finalement, la capacité de stockage des batteries est résumée dans ce tableau XLVI.

Tableau XLVI: Capacité de stockage des batteries

Capacité de stockage des batteries		
Grandeurs	Premium A	Premium B
Energie emmagasinée(Wh)	31734,21	12614,063
Capacité(Ah)	1322,26	262,79
Accumulateurs en serie	1	1
Accumulateurs en parallele	5	2
TOTAL Accumulateur	5	2
Capacité Installée(Ah)	1400	520

❖ Cinquième étape : Estimation du rayonnement solaire

L'ensoleillement annuel moyen sur un plan incliné ces dix dernières années est de 5.25kWh/m²/j tout en restant supérieur à 5kWh/m²/j pour les différentes régions.

La durée de l'ensoleillement varie entre 2000 et 2700 heures par an selon les régions soit 5 à 8 heures d'ensoleillement par jour selon le **Ministère des Mines, du Pétrole et de l'Energie (Plan d'action et d'investissement en énergies renouvelables et maitrise d'énergie, novembre 2012)** [3].

Le rayonnement du mois le moins ensoleillé sur le territoire d'Abidjan qui est le site référencé proche de notre site de projet est le mois d'Août dont l'ensoleillement est de **4.34kWh/m²/j**.

❖ Sixième étape : Estimation du champ photovoltaïque

Nous avons choisi le module BIO PLUS 260P du fabricant BioEnergy dont les caractéristiques sont renseignées dans le tableau XLVII.

Tableau XLVII: Caractéristiques du panneau solaire Bio plus 260P

MODULE PHOTOVOLTAÏQUE BIOENERGY BIO PLUS 260P						
Puissance Crete(Wc)	Courant Imax(A)	Tension Vmax(V)	Tension Nominale (V)	Rendement	Courant de court-circuit Isc(A)	Tension à vide Voc(V)
260	7,3	35,6	12	0,8	8,05	43,5

La capacité totale du champ photovoltaïque à installer est non seulement fonction du besoin énergétique estimé mais fortement dépendante de l'ensoleillement H_i (kWh/m²/j) du lieu d'implantation.

$$P_c(W_c) = \frac{B_j}{H_i \times R_{bat} \times R_{gen}} \quad (18)$$

La disposition des panneaux formant le champ est donnée par le nombre de panneaux en série et le nombre de panneaux en parallèle.

Le nombre de panneaux en série :

$$N_{MS} = \frac{V_{gen}}{V_M} \quad (19)$$

Le nombre de panneaux en parallèle :

$$N_{BPM} = \frac{P_c}{P_m \times N_{MS}} \quad (20)$$

La dimension du champ photovoltaïque est résumée dans le tableau XLVIII.

Tableau XLVIII: Caractéristiques du générateur photovoltaïque

GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE		
GRANDEURS	Premium A	Premium B
Puissance crete(Wc)	2993,8	1190
Modules en serie	2	1
Branches en parallele	6	5
Nombre de Modules	12	5
Puissance installée(Wc)	3120	1300

❖ Septième étape : Les ratios de vérification

Les ratios de vérifications permettent de vérifier l'adéquation entre le générateur photovoltaïque, le besoin énergétique et la capacité de stockage des batteries.

Le ratio1 exprime le degré de décharge quotidien :

$$Ddq = \frac{B_j(Wh / j)}{C_{bat}(Ah) \times V_{bat}(V)} \leq \frac{DM}{J_{raut}} \quad (21)$$

Le ratio2 permet de vérifier que la production du champ est supérieure au besoin journalier :

$$R1 = \frac{P_c(W_c) \times H_i(Wh / m^2 / j) \times R_{gen} \times R_{bat}}{B_j(Wh / j)} > 1 \quad (22)$$

Le ratio R2 détermine la capacité de charge de la batterie par rapport au courant débité par le champ et doit être compris entre 20 et 40.

$$R2 = \frac{C_{bat}}{I_{cc}(A) \times N_{BP}} \quad (23)$$

Les ratios trouvés sont regroupés dans le tableau XLIX :

Tableau XLIX: Ratios de vérification

RATIOS DE VERIFICATION		
GRANDEURS	PremiumA	PremiumB
DM/Jr aut	0,4	0,4
Degré de Décharge Quotidien	0,302	0,16
RATIO R1	1,04	1,09
RATIO R2	28,98	19,68

❖ Huitième étape : le régulateur de charge et de décharge

Le régulateur de charge et de décharge permet de réguler la charge et la décharge de la batterie. Ayant la même tension que celle du champ PV, il doit être capable de supporter le maximum des intensités de courant maximale de court-circuit généré par le générateur et l'ensemble des courants appelés par toutes les charges simultanément.

Les caractéristiques du régulateur de charge et de décharges sont dressées dans le tableau L.

Tableau L: Caractéristiques des régulateurs de charge et de décharge

REGULATEUR DE CHARGE ET DE DÉCHARGE		
GRANDEURS	PremiumA	PremiumB
intensité Max de Court-circuit(A)	48,3	40,25
Tension Nominale(V)	24	12
Intensité Nominale(A)	48,3	40,25

❖ **Neuvième étape : Protection des appareils.**

Les dispositifs de protection du champ PV est réalisé à l'aide de fusibles.

La tension que le fusible doit supporter est $V_{fusible} = 1.15 \times N_{MS} \times V_{oc}$ et doit être capable de couper un courant de 1.5 à 2 fois le courant d'une chaîne.

Les calibres et les tensions des fusibles de protection des chaînes ou strings sont consignés dans le tableau LI

Tableau LI: Fusibles de protection

PROTECTIONS PAR FUSIBLES				
GRANDEURS	Premium A		PremiumB	
	Fusible Chaines	Fusible General	Fusible Chaines	Fusible General
Tension (V)	101	101	51	51
Calibre(A)	16	20	16	20

❖ **Dixième étape : Calcul des sections de câble**

Partant d'un plan global standard que nous nous sommes fixé afin de pouvoir évaluer la longueur de câble et les chutes de tension qui en résulterait, nous nous sommes plutôt investi à minimiser les chutes de tension en y adaptant une section convenable pour prendre en compte les contraintes spatiales éventuelles.

$$\Delta V(V) = 2 \times \frac{\rho \times L}{S} \quad (24)$$

Avec :

$\Delta V(V)$: Chute de tension.

ρ en $\Omega.m m^2 / m$ est la résistivité du matériau de l'âme du câble.

Les sections de câble et les chutes de tension relative sont données dans le tableau LII

Tableau LII: Sections de câbles et chutes de tension

CHUTE DE TENSION					
KITS		Longueur(m)	Ame du cable	Section(mm ²)	Chutes de tension
PREMIUMB	Generateur- Regulateur	10	Cuivre	6	0,74%
	Regulateur-Batterie	1	Cuivre	1,5	0,29%
	Regulateur-Onduleur	1	Cuivre	6	0,88%
	Regulateur- Convertisseur	10	Cuivre	1,5	0,00%
	Onduleur- charge	15	Cuivre	50	1,59%
	Convertisseur- charge	10	Cuivre	1,5	0,00%
PREMIUMA	Generateur- Regulateur	10	Cuivre	10	1,00%
	Regulateur-Batterie	1	Cuivre	1,5	0,67%
	Regulateur-Onduleur	1	Cuivre	25	0,96%
	Regulateur- Convertisseur	10	Cuivre	1,5	0,00%
	Onduleur- charge	10	Cuivre	120	2,00%
	Convertisseur- charge	10	Cuivre	1,5	0,00%

Le pré-dimensionnement des composantes est résumé dans le tableau LIII.

Tableau LIII: Pré-dimensionnement des kits Premium

KITS PREMIUM			
COMPOSANTS		Premium A	Premium B
GENERATEUR	Modules	12	5
	Puissance installée(Wc)	3120	1300
REGULATEUR	Tension nominale(V)	24	12
	Intensité nominale(A)	55	20
BATTERIE	Accumulateur	5	2
	Tension Accumulateur(V)	24	48
	Capacité Accumulateur(Ah)	280	260
	Capacité intallée(Ah)	1400	520
	Energie emmagasinée(kWh)	31,734	12,614
ONDULEUR	Tension nominale(V)	24/230	12/230
	Intensité nominale(A)	55	20
	Puissance assignée(kVA)	3,95	1,203
PROTECTION Fusible	Fusible chaine	16A, 101V	6A, 21V
	Fusible general	20A, 101V	20A, 21V
SECTIONS CABLE	Generateur- regulateur	10mm ² Cu	6mm ² Cu
	Regulateur- Batterie	1,5mm ² Cu	1,5mm ² Cu
	Regulateur- Onduleur	25mm ² Cu	6mm ² Cu
	Onduleur-Charge	120mm ² Cu	50mm ² Cu

III. ETUDE ECONOMIQUE DU PROJET

III.1 Bilan financier du volet HTA/EP

Le bilan financier vise à évaluer le coût global de la mise en œuvre de l'alimentation mixte par le réseau national d'électricité et par énergie solaire.

Le coût global du volet HTA/EP est constitué des coûts des études, du coût de la fourniture de matériels et du coût des travaux de réalisation.

Les détails des coûts des études, de la fourniture et des travaux sont consignés en annexe XIII et XIV.

Le tableau LIV donne le coût global du volet HTA/EP.

Tableau LIV: Coût global du volet HTA/EP

COUT GLOBAL DU VOLET HTA/EP		
DESIGNATION	RESEAU HTA	ECLAIRAGE PUBLIC
Etude(FCFA)	74 358	74 358
Fourniture(FCFA)	309 269 901	20 548 184
Travaux(FCFA)	1 643 000	308 000
Coût Total(FCFA)	310 987 259	20 930 542

III.2 Analyse économique du volet solaire

L'énergie solaire est une des sources les plus abondantes parmi les sources d'énergies renouvelables, cependant la proportion en Côte d'Ivoire dans la production d'électricité reste encore très faible du fait de son coût de production élevé et non subventionné.

L'analyse économique tente de voir si l'investissement consenti pour l'installation vaut la peine d'être effectué en montrant l'impact sur le rendement économique et écologique.

La faisabilité économique de ce projet sera évaluée par des critères économiques tels que le coût moyen actualisé du kilowattheure sur toute la durée de vie de 25ans de l'installation comparé aux autres technologies de production d'électricité, la richesse parallèle créée, le temps de retour sur investissement et la quantité de dioxyde de carbone épargnée à l'environnement.

La variante 1 qui consiste à utiliser les espaces publics tels que la toiture du groupe scolaire et les parkings a été retenue pour effectuer l'étude économique.

III.2.1 Coût moyen actualisé de l'électricité ou Levilized Cost of Electricity(LCOE)

Le coût moyen actualisé de l'électricité permet de comparer le coût de l'électricité produite à partir des technologies solaires et celles des autres technologies existantes. Il représente le coût moyen du kilowattheure produit par le système sur toute sa durée de vie estimée à 25 ans.

Pour maintenir ce coût moyen constant sur toute la durée de vie du projet, les coûts de maintenance, d'exploitation et la capacité de production sont actualisés.

En Côte d'Ivoire, le taux d'inflation i est de 4% et nous estimons un taux d'actualisation normal e de 2% vu la dynamique de l'industrie solaire à travers le monde.

Le financement du projet est sur fond propre de l'état de Côte d'Ivoire, c'est pourquoi nous évaluons le taux d'intérêt r est égale à 7.

Ainsi le taux d'inflation apparente est :

$$e_a = \{(1+e)(1+i)\} - 1 \quad (25)$$

Le taux d'inflation réel est :

$$R = \frac{1+r}{1+e_a} - 1 \quad (26)$$

Les différents taux choisis sont résumés dans le tableau LV

Tableau LV: Taux d'actualisation

TAUX D'ACTUALISATION				
Taux d'inflation $i(\%)$	taux d'actualisation $e(\%)$	Taux d'interêt $r(\%)$	Inflation apparente $e_a(\%)$	Taux d'inflation réel $R(\%)$
4	2	7	6	1

$$LCOE = (\text{Coût fixe} + \sum_{n=1}^{25} \frac{\text{Coût annuel}}{(1+R)^n}) / (\sum_{n=1}^{25} \frac{\text{Energie annuelle}}{(1+R)^n}) \quad (27)$$

Coût fixe= coût à l'investissement.

Coût annuel= coût de maintenance et d'exploitation sur une année et du coût de remplacement des onduleurs qui ont une durée moyenne de vie de 10 ans.

Energie annuelle = Quantité d'énergie produite par le système au cours d'une année.

R= taux d'inflation réel prenant en compte le taux d'inflation nominal et le taux d'actualisation.

Le tableau LVI montre les composantes du calcul du coût moyen actualisé.

Tableau LVI: Coût moyen actualisé de l'électricité

COUT MOYEN ACTUALISE DE L'ELECTRICITE(LCOE)			
COUT FIXE (FCFA)	COÛT ACTUALISE sur 25 années (FCFA)	PRODUCTION D'ENERGIE ACTUALISEE sur 25 années (kWh)	LCOE sur 25 années (FCFA/kWh)
135 954 090	88 343 924	948 174	236,56

III.2.2 Valeur actuelle nette(VAN)

La valeur actuelle nette d'un investissement est la somme des flux nets de liquidité (ou flux nets de trésorerie) actualisés générés par cet investissement durant sa durée de vie.

Dans ce projet, le cash-flow qui constitue la différence entre les entrées et les sorties monétaires est constante sur la durée de vie de 25ans du projet.

La valeur actuelle nette est donnée par :

$$VAN = \sum_{n=1}^{25} \frac{C_t}{(1 + 0.01)^{25}} - Investissement \quad (28)$$

$\sum_{n=1}^{25} \frac{C_t}{(1 + 0.01)^{25}}$ est le cash-flow actualisé sur la durée de vie du projet.

Au prix moyen actualisé de l'électricité de **236.56FCFA/kWh**, la valeur actuelle nette est négative, l'investissement exige plus de ressources qu'il ne permet d'en créer. Ce projet appauvrit l'état ivoirien qui est le promoteur.

Cependant, si l'énergie produite est vendue à un prix supérieur au coût moyen actualisé, à **300FCFA/kWh** c'est-à-dire un peu plus de **quatre fois le** tarif modéré appliqué en Côte d'Ivoire (5Ampères), l'investissement effectué génère en plus du gain dû à l'actualisation, une richesse additive de **seize million neuf cents soixante et quatre mille neuf cents soixante-neuf FCFA**.

Le tableau LVII donne les composantes du calcul de la VAN.

Tableau LVII: Valeur actuelle nette pour 300FCFA/kWh de l'énergie produite

VALEUR ACTUELLE NETTE(VAN) AU COÛT DE 300FCFA/kWh	
Coût d'investissement(FCFA)	135 954 090
Depenses sur la durée du projet(FCFA)	88 343 924
Recettes sur la durée du projet(FCFA)	284 452 218
Cash-flow(FCFA)	196 108 294
VALEUR ACTUELLE NETTE(FCFA)	16 964 969

III.2.3 Temps de retour sur l'investissement

Le délai de recouvrement ou temps de retour sur l'investissement est le temps nécessaire au remboursement de l'investissement initial. Il correspond à la durée nécessaire pour que la somme cumulée des flux de trésorerie positifs du projet d'investissement compense le montant du capital investi et assure ainsi son remboursement.

Le cash-flow de notre projet est constant durant toute la durée du projet, le temps de retour sur l'investissement est donné par :

$$\sum_{n=1}^d \frac{C_t}{(1+0.01)^d} = Investissement \quad (29)$$

Où :

$\sum_{n=1}^d \frac{C_t}{(1+0.01)^d}$ est le cash-flow actualisé sur la période **d** de récupération.

En décortiquant cette équation, et vu que le cash-flow est constant, le temps de récupération est le rapport du coût initial d'investissement et du cash- flow d'une année k.

Les composantes entrant en compte dans le calcul du délai de récupération sont renseignées dans le tableau LVIII.

Tableau LVIII: Temps de retour sur investissement

DELAI DE RECUPERATION	
Investissement Initial(FCFA)	135 954 090
Depenses sur une année(FCFA)	4 486 934
Recettes sur une année(FCFA)	14 447 153
Cash-flow d'une année(FCFA)	9 960 220
Temps de recuperation(Année)	13,65

Le temps de retour sur l'investissement du projet est de **treize ans, sept mois et vingt-quatre jours**.

III.2.4 Taux de rentabilité interne(TRI)

Le Taux de Rentabilité Interne est le taux d'actualisation pour lequel la dépense d'investissement est égale à la somme des cash-flows générés par l'investissement. Il correspond au taux d'actualisation pour lequel la valeur actuelle nette est nulle.

$$VAN = \sum_{n=1}^{25} \frac{C_t}{(1+TRI)^{25}} - Investissement = 0 \quad (30)$$

Ce qui revient à $\sum_{n=1}^{25} \frac{C_t}{(1+TRI)^{25}} = Investissement$

Ainsi, comme le cash-flow est constant, alors $\sum_{n=1}^{25} \frac{C_t}{(1+TRI)^{25}} = 25 \times \frac{C_t}{(1+TRI)^{25}}$

$$Ln(1+TRI) = \frac{Ln(\frac{25 \times C_t}{Investissement})}{25}, \text{ en posant } \frac{Ln(\frac{25 \times C_t}{Investissement})}{25} = X \text{ alors, } TRI = e^X - 1$$

Le taux de rentabilité est donné dans le tableau LIX.

Tableau LIX: Taux de rentabilité interne

Taux de Rentabilité Interne(TRI)	
$\frac{Ln(\frac{25 \times C_t}{Investissement})}{25} = X$	0,02
e^X	1,02
TRI	0,02

Le taux de rentabilité interne de 2% est supérieur au taux d'actualisation de 1% alors l'investissement pour ce projet est intéressant.

III.2.5 Coût global du volet solaire

Le coût global du volet solaire constitué du :

- coût de la fourniture de matériel,
- du coût de la maintenance,
- coût de l'exploitation comprenant le prix de remplacement des onduleurs moyennement tous les dix ans et tous les autres composants dont la durée de vie est inférieure à la durée de vie du projet,
- coût des travaux.

Les détails sont consignés en annexe XII.

Le tableau LX donne le coût global du volet énergie solaire.

Tableau LX: Coût global du volet solaire

COUT GLOBAL DU VOLET SOLAIRE	
FOURNITURE(FCFA)	129 480 085
TRAVAUX(FCFA)	5 179 203
MAINTENANCE ET EXPLOITATION(FCFA)	4 531 803
INVESTISSEMENT TOTAL(FCFA)	139 191 092

III.3 Coût global de la mise en œuvre de l'alimentation mixte de la cité immobilière

Le coût global de la mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte par énergie solaire et le réseau national d'électricité de la cité immobilière de Bingerville s'élève à **quatre cents soixante-onze millions soixante-deux mille trois cents soixante-neuf francs CFA** avec les composantes résumées sur la figure VIII.

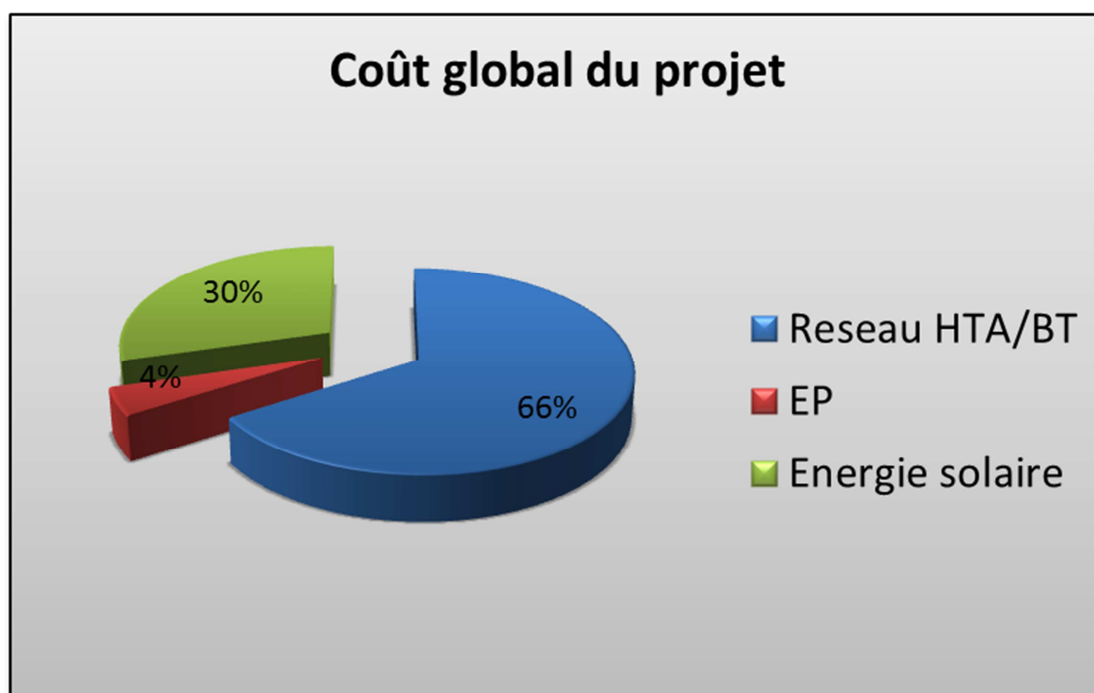


Figure VIII: Proportion des composantes du projet

IV. ETUDE ENVIRONNEMENTALE

Dans le cadre de la valorisation de projet de production d'énergie à émission de dioxyde de carbone (CO₂) réduite, la production d'électricité à base du photovoltaïque constitue un important enjeu pour la préservation de l'environnement.

L'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie(ADEME) définit le facteur d'émission carbone pour un kilowattheure d'électricité du réseau comme étant la somme des émissions des centrales de production alimentant le réseau en question divisées par la totalité des kilowattheures produits par l'ensemble des centrales.

Ainsi un kilowattheure du réseau ivoirien correspond à **0.436 kilogrammes d'émission de CO₂**. (AIE, 2008)[4].

La quantité de dioxyde de carbone épargnée est:

$$Q_{CO_2} = E_p \times F_{CO_2} \quad (31)$$

La production d'électricité à partir du solaire dans ce projet d'alimentation mixte permettra d'épargner près de **85 tonnes de rejet de CO₂ dans l'atmosphère chaque année**.

La quantité de dioxyde de carbone épargnée à l'atmosphère annuellement est consignée dans le tableau LXI.

Tableau LXI: Rejet de CO₂ épargné

REJET DE CO ₂		
ENERGIE PRODUITE(kWh)/an	Facteur d'emission (kg éqC/kWh)	CO ₂ EPARGNE (Kg)/an
194 555	0,436	84 826

V. CONCLUSION

La mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte par le réseau national d'électricité et un système solaire photovoltaïque de la cité immobilière de Bingerville s'inscrit dans un cadre de réduction du coût de la subvention d'électricité et d'introduction du mixte-énergétique en Côte d'Ivoire que le gouvernement projette réaliser pour tous les logements à caractère social.

Globalement, l'état ivoirien préconise la mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte pour ce programme de logements sociaux.

Le programme vise la réduction significative à long terme de la proportion de la subvention sur le coût d'électricité d'une part et de garantir un accès facile à l'énergie à toute la population.

Spécifiquement une solution techniquement et économiquement viable a été proposée.

Ce projet garanti l'accès à l'électricité de 445 logements tout standing confondu et permettra à long terme la réduction de la subvention d'électricité par l'état ivoirien.

Egalement, 26,4% de la demande en énergie est produite par la source solaire, ce qui permet d'épargner un rejet de **2 120 tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère sur 25 ans.**

Individuellement, les foyers ont bénéficié de kits solaires mis au point, capable d'alimenter leurs charges vitales pour leur garantir une autonomie en énergie.

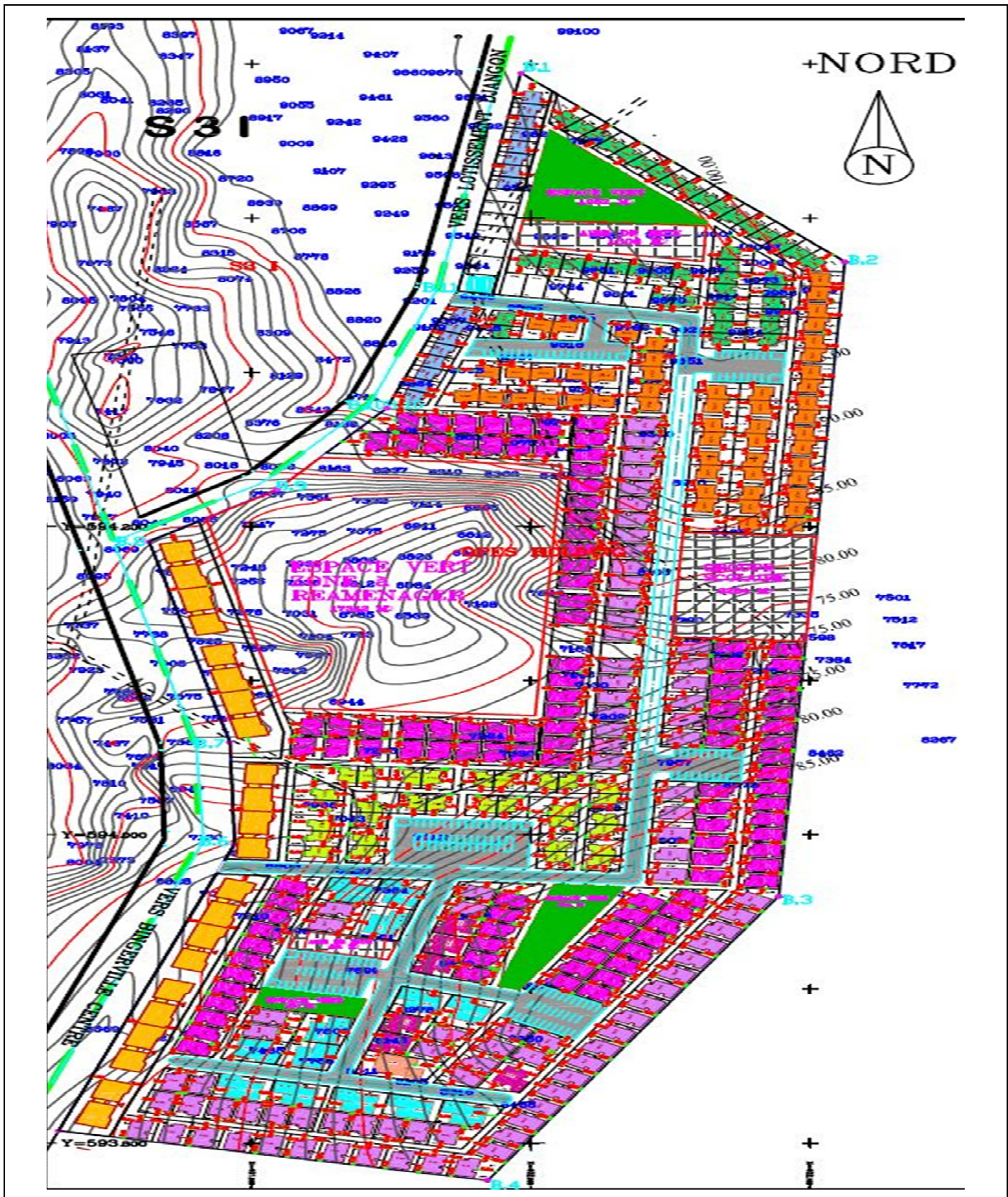
La réalisation définitive requiert un financement global de **quatre cents soixante-onze millions soixante-deux mille trois cents soixante-neuf francs CFA.**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

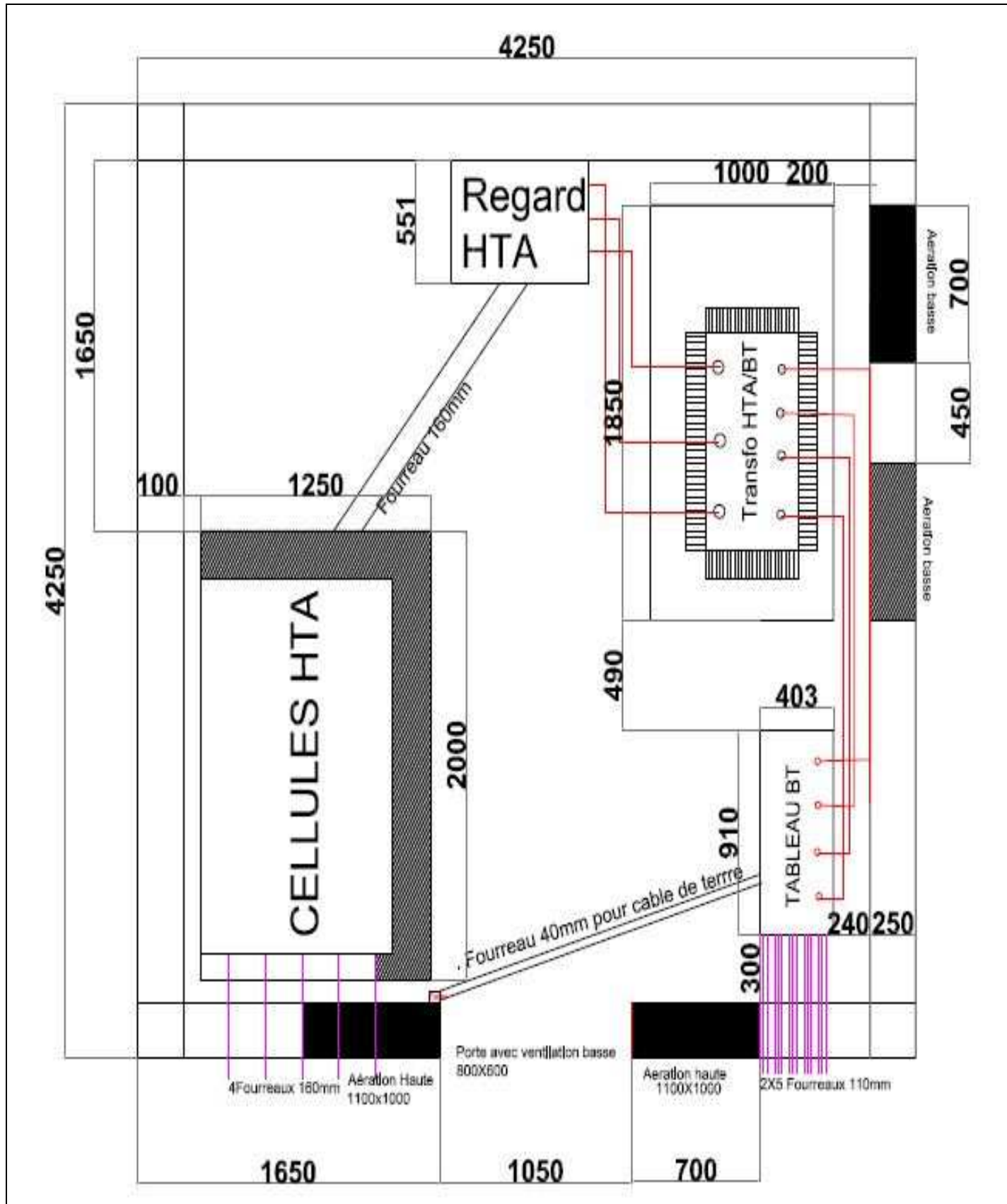
- [1] *Plan National de Développement (PND 2012-2015)*, Ministère d'état, Ministère du plan et de développement
- [2] ADEME. (Juin 2010). *Guide de facteur d'emission version 6.1*.
- [3] AIE. (2008). *CO2 Emission from fuel combustion*.
- [4] l'Energie, A. I. (2008). *CO2 Emission from fuel combustion*.
- [5] Ministère des Mines, d. P. (Novembre 2012). *Plan d'action et d'investissement en énergies renouvelables et maîtrise d'énergie*.
- [6] SICOGL, R. (Juin 2013).
- [7] *Catalogue Schneider 2013*
- [8] *Cours solaire thermique INES-EDUCATION*
- [9] Dr. YAO Azoumah. *Cours de dimensionnement de systèmes solaires*
- [10] Syndicat des énergies renouvelables/ ADEME (2008). *Spécifications techniques relatives à la protection des personnes et des biens dans les installations photovoltaïques*.

ANNEXES

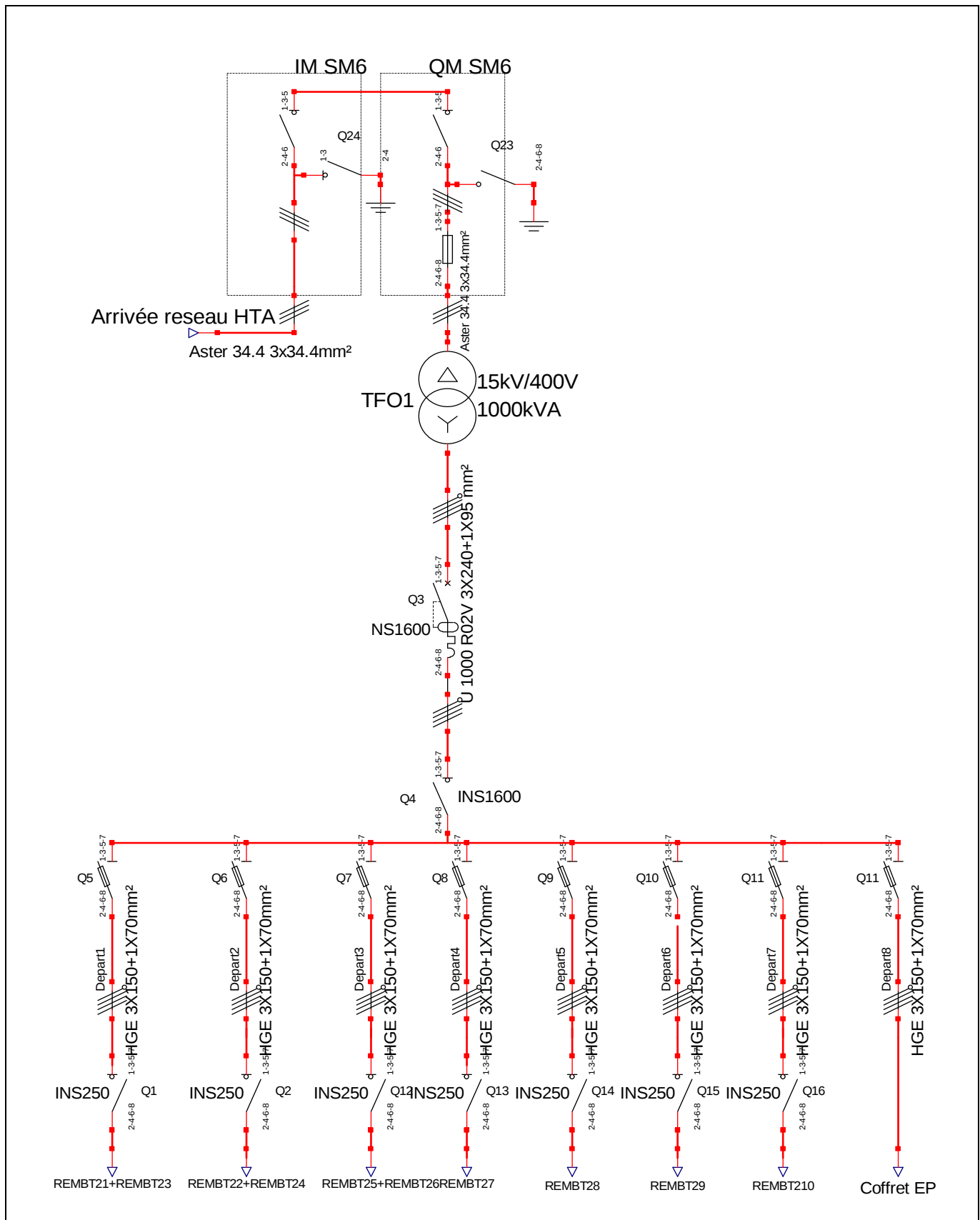
Annexe I :Plan des logements sociaux



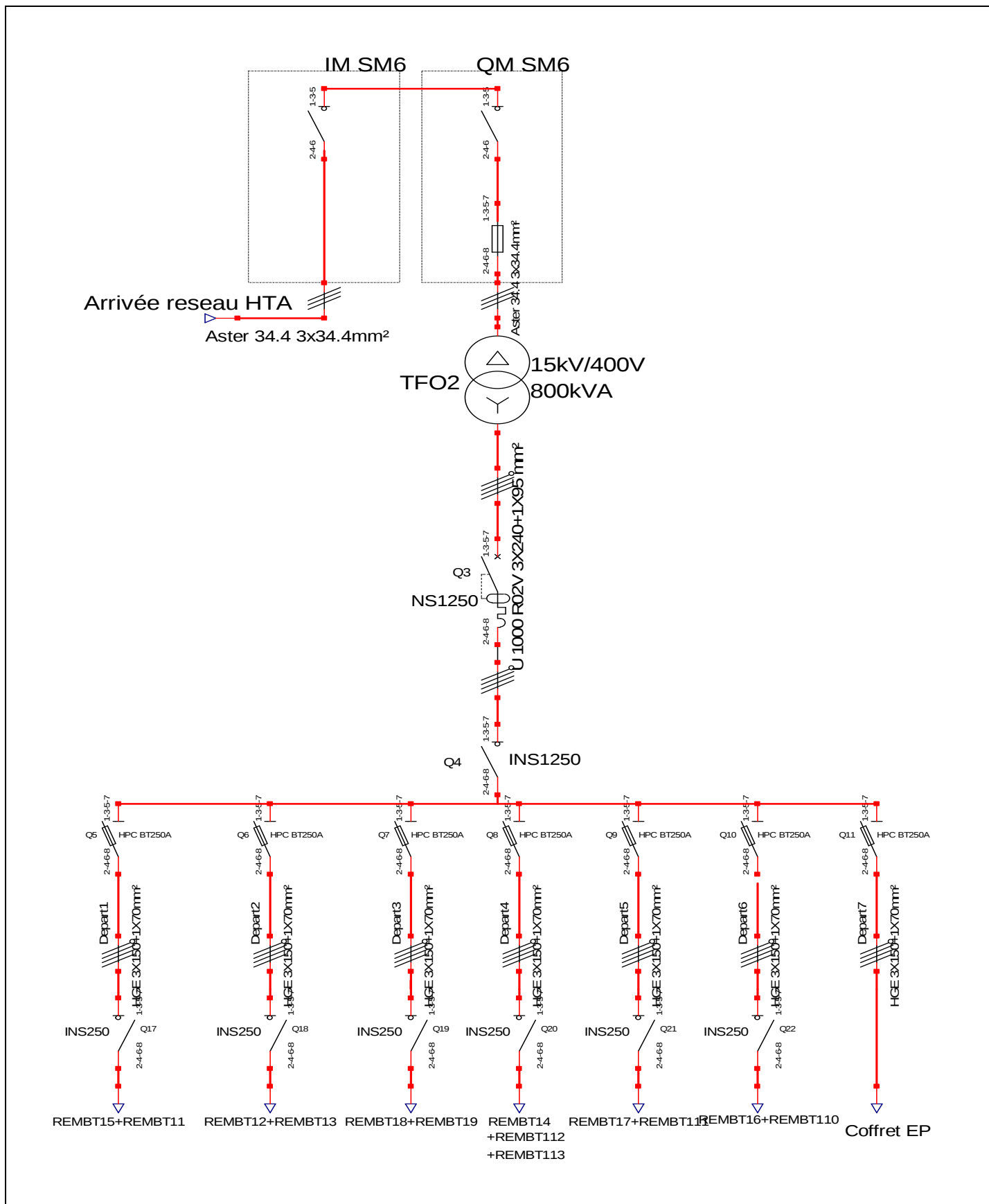
Annexe II: Plan d'implantation du poste Transfo HTA/BT



Annexe III : Schéma du réseau de distribution électrique de l'aile Nord



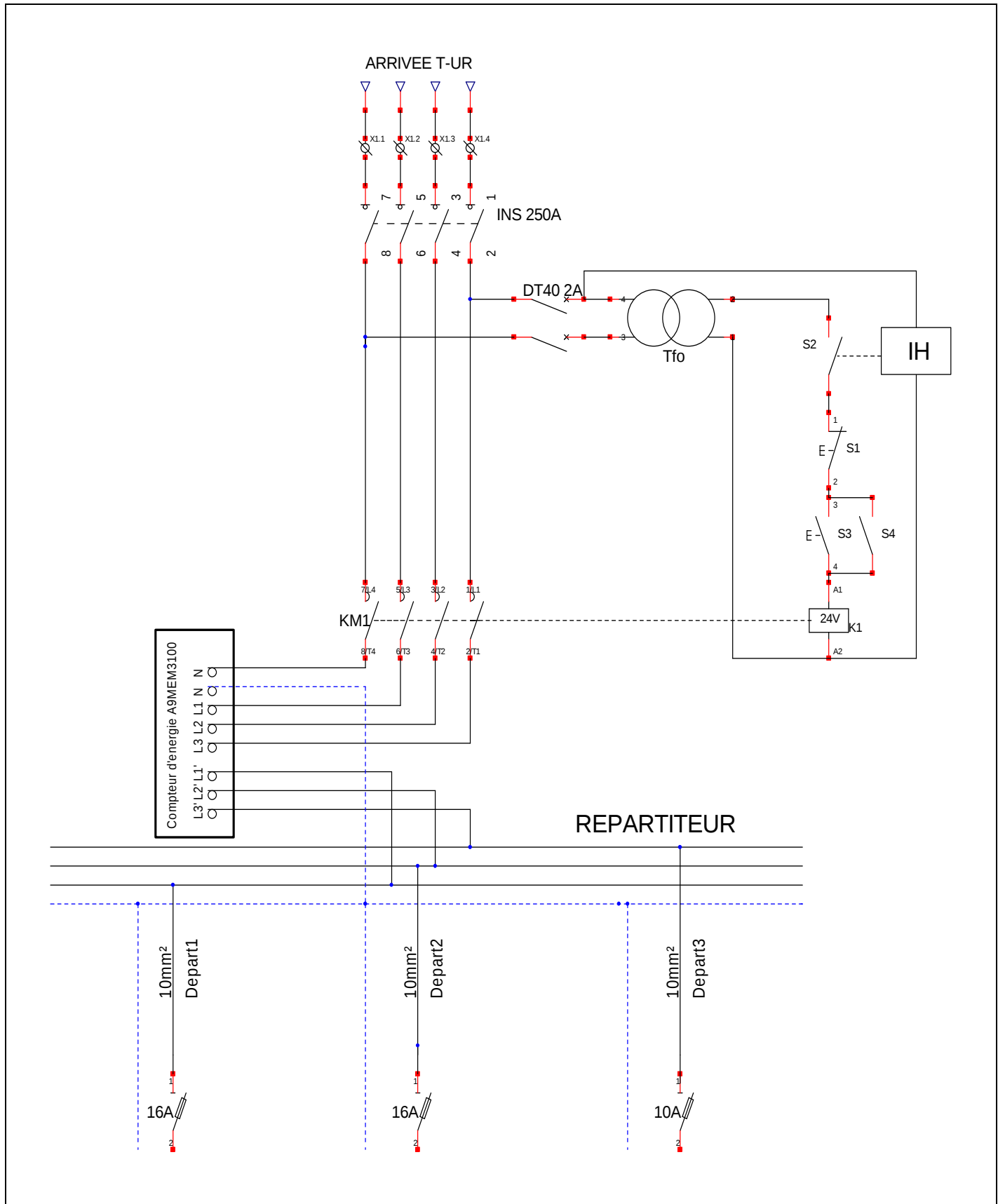
Annexe IV: Schéma du réseau de distribution électrique de l'Aile sud



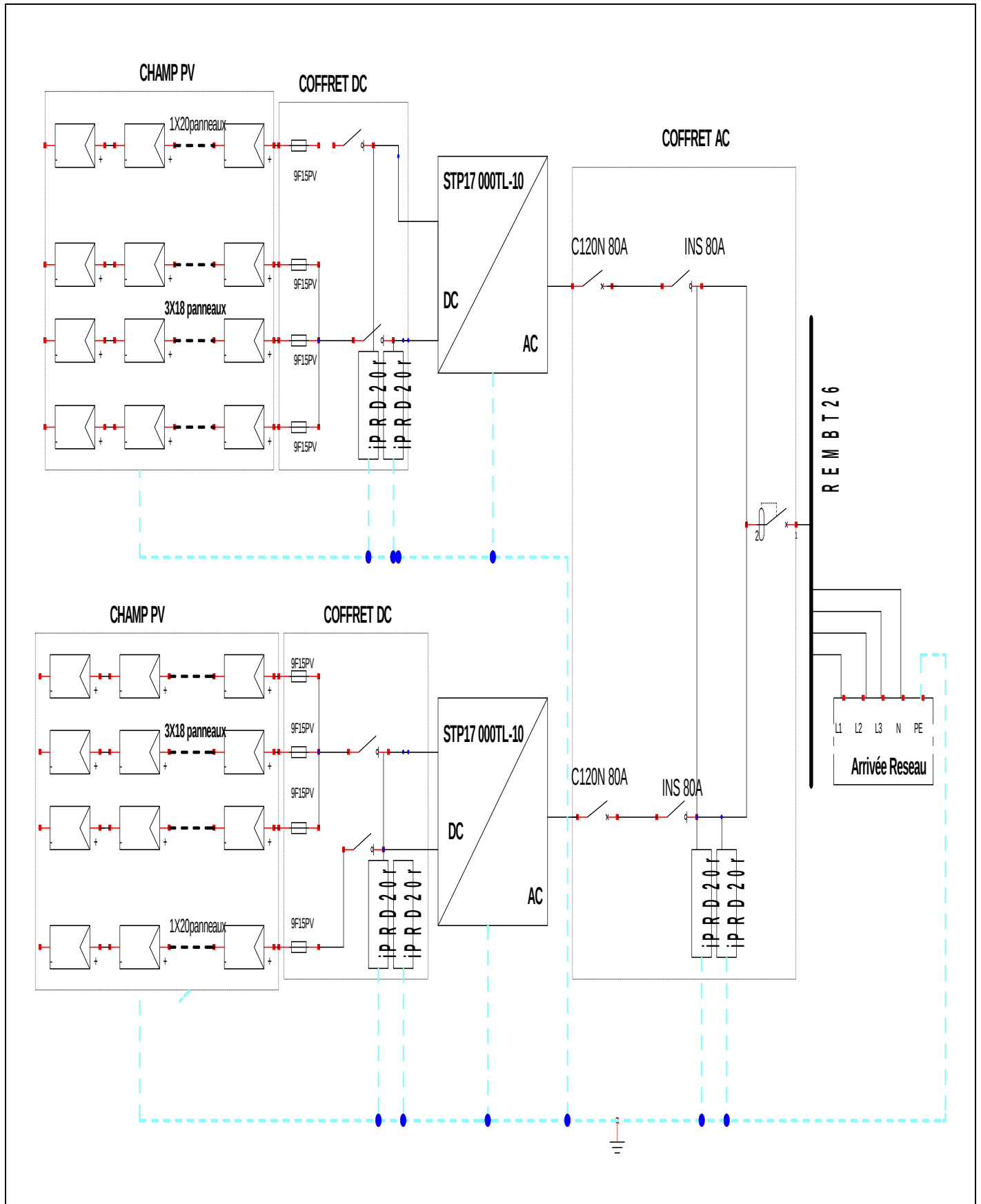
Annexe V : Exigences photométriques

REPERES**	DEFINITION DE LA VOIE	CONTRAINTES	NIVEAU LUMINEUX AMBIANT		ÉCLAIREMENT À RETENIR POUR CONTRAINTES MAXI	NORME EN 13201.1	
			FAIBLE À MOYEN	ELEVÉ		CLASSES D'ECLAIRAGE	SITUATIONS
7	VOIE URBAINE IMPORTANTE (BOULEVARD, AVENUE) Vitesse ≤ 50 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : élevée Véhicules en stationnement : oui Trafic cycliste : normal Intersection ≥ 3 par km Tâche navigation : élevée	—***	20	20	CE_2 $CE_2 = ME_2^*$	B ₂
8	VOIE URBAINE SECONDAIRE (RUE, AVENUE) Vitesse ≤ 50 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : normale à élevée Véhicules en stationnement : oui Trafic cycliste : normal Intersection ≤ 3 par km Tâche navigation : normale	10	15	20 (zone de conflit)	$CE_4 - CE_3 = CE_2$	B ₂
9	VOIE DE DESSERTE (RUE) Vitesse ≤ 30 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes	Complexité : normale ou élevée Véhicules en stationnement : oui Trafic cycliste ou piéton : normal ou élevé Tâche navigation : normale ou élevée Risque d'agression : normal ou élevé Reconnaissance visage : nécessaire	10	15	15 (zone de conflit)	$CE_4 - CE_3$	D ₁ D ₂ D ₃ D ₄

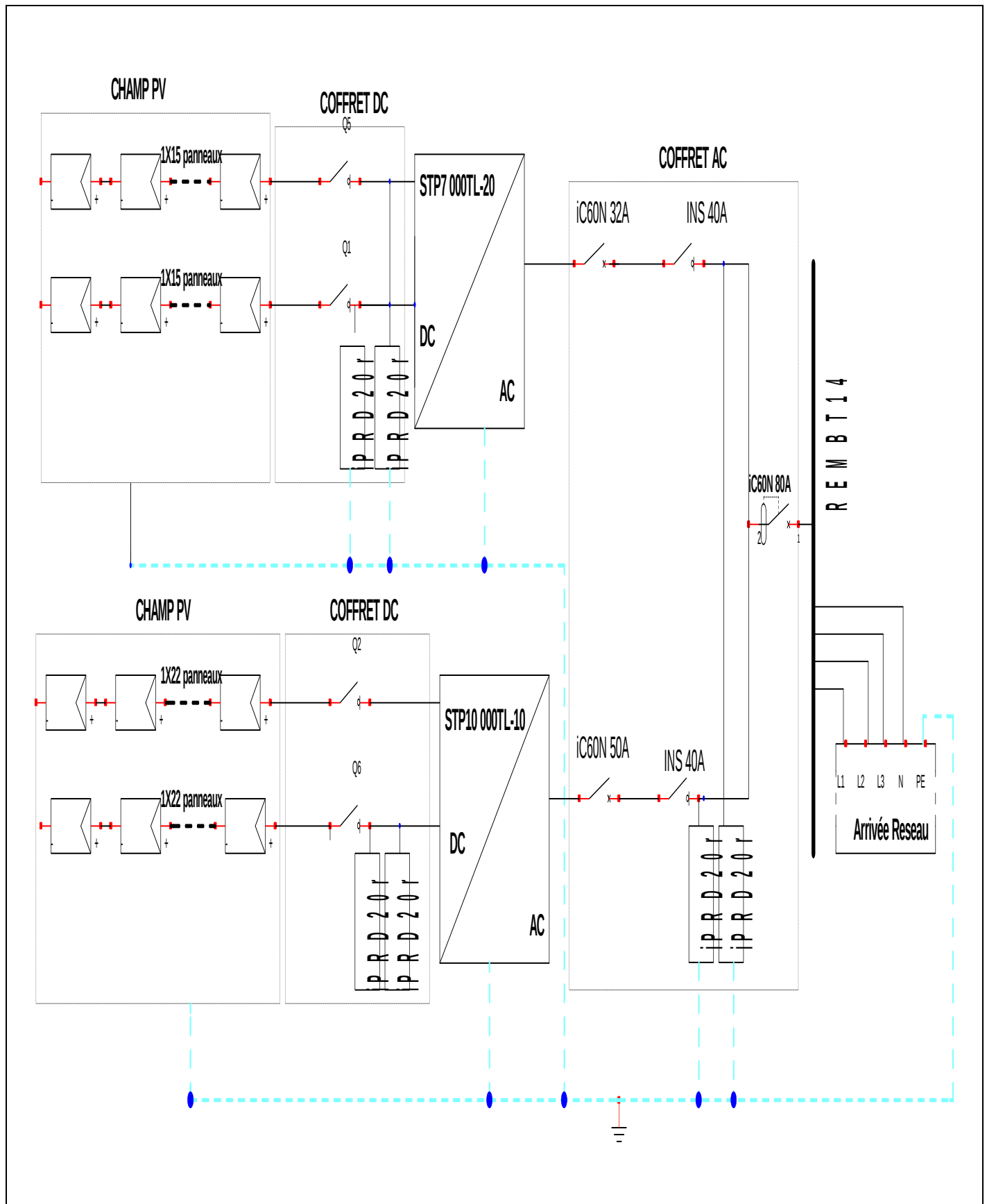
Annexe VI : Schéma d'éclairage public aile nord



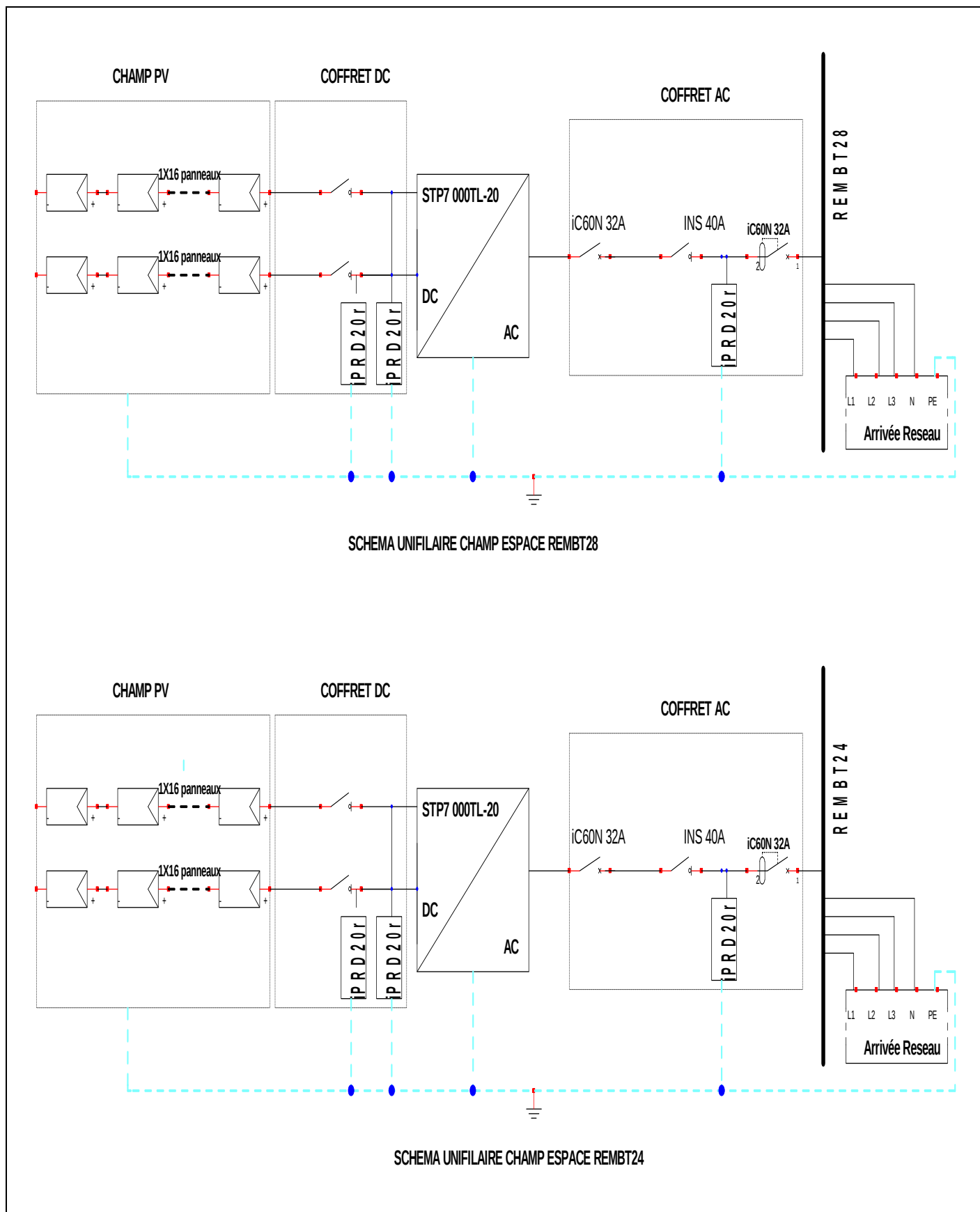
Annexe VIII: Schéma unifilaire du champ PV espace école



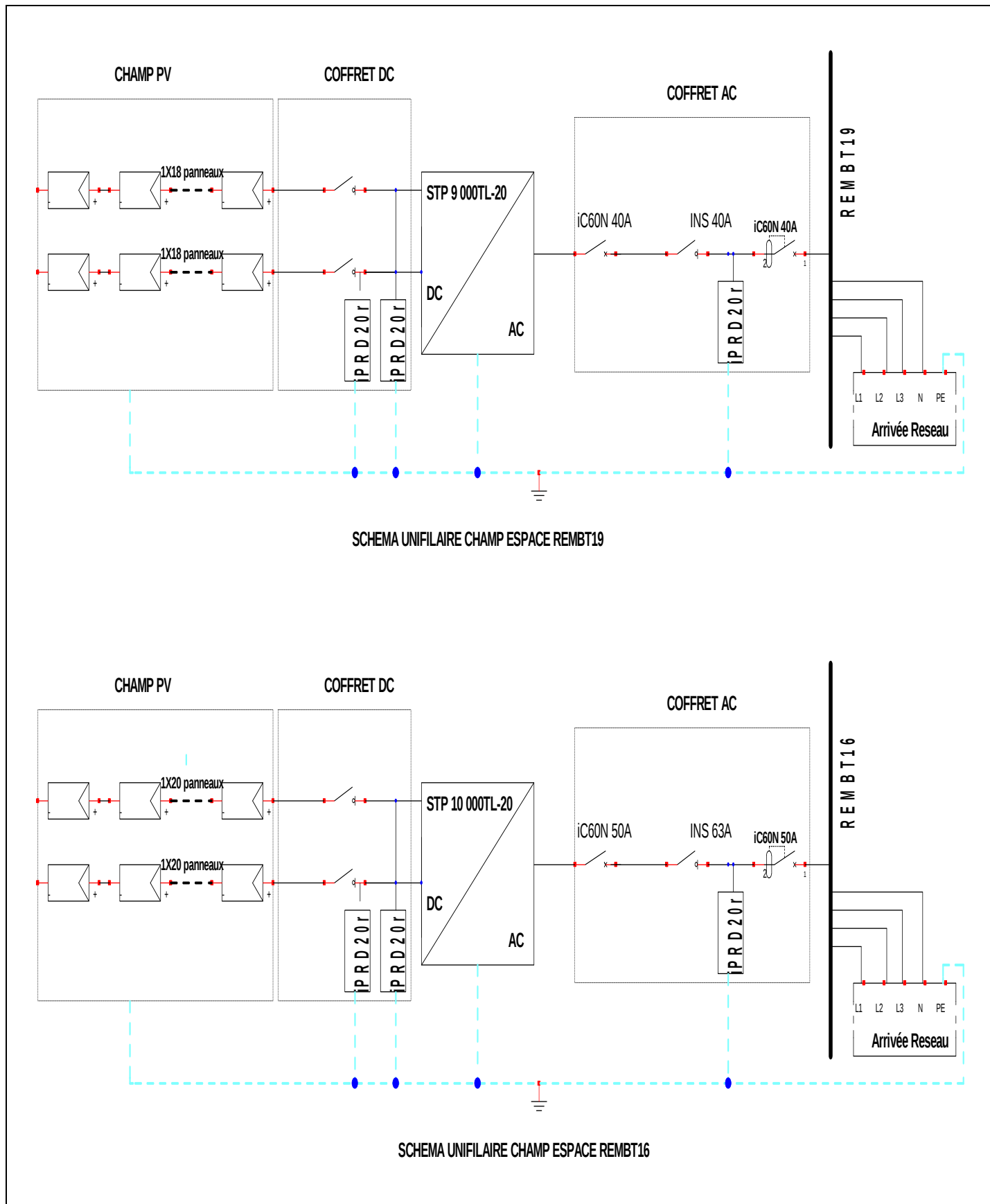
Annexe IX: Schéma unifilaire du champ PV espace Poste1



Annexe X: Schéma unifilaire des champs PV des espaces REMBT28 et REMBT24



Annexe XI: Schéma unifilaire des champs PV des espaces REMBT19 et REMBT16



Annexe XII: Cotation des matériels solaire

		■ Electricité HT/BT ■ Automatismes & Télégestion ■ Instrumentation ■ Matériels d'Automatisme ■ Onduleurs & Redresseurs GAMATRONIC		
Abidjan, le 30 Mai 2014				
				IGECIM
A l'attention de: M. VANIE BI GRAH NOEL				
FACTURE PROFORMA N°167-05-14/DEP/ITGS				
Objet: Etude et mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte.				
DESIGNATION	QTE	UNITE	P.U	P.H.T.(FCFA)
FOURNITURE				129 480 085
Panneaux Solaires Bio plus 260P	508	u	196718,7	99 933 100
Onduleur STP 15000 TL-10	3	u	1039658,33	3 118 975
Onduleur STP 5000 TL-21	2	u	635401,401	1 270 803
Onduleur STP 7 000 TL-20	4	u	691794,095	2 767 176
Onduleur STP 10 000 TL-10	2	u	1028838,801	2 057 678
Onduleur STP 9 000 TL-20	1	u	996052,351	996 052
Câbles Cu rigide U1000R02V 4*4mm ²	670	ml	1600	1 072 000
Câbles Cu rigide U1000R02V 4*2,5mm ²	60	ml	1230	73 800
Câbles Cu rigide U1000R02V 4*1,5mm ²	10	ml	856	8 560
Câble de terre 4mm ²	100	ml	1 400	140 000
Structure Alu 6Modules	49	u	97 048	4 755 347
Structure Alu 5Modules	30	u	83 278	2 498 327
Structure Alu 4Modules	20	u	78 687	1 573 750
Structure Alu 3Modules	10	u	62 294	622 943
Structure Alu 2Modules	12	u	34 098	409 175
Structure Alu 1Modules	6	u	17 705	106 228

Disjoncteur iC60N 40A 4P	1	u	36 966	36 966
Disjoncteur iC60N 40A 3P+ Vigi	1	u	46 966	46 966
Disjoncteur iC60N 50A 3P	2	u	46 966	93 932
Disjoncteur iC60N 50A 3P+ Vigi	1	u	66 966	66 966
Disjoncteur iC60N 32A 3P	3	u	45 720	137 160
Disjoncteur iC60N 32A 3P + Vigi	3	u	55 720	167 160
Disjoncteur iC60N 80A 3P	2	u	108 225	216 450
Disjoncteurs C120N 80A+ Vigi	3	u	118 225	354 675
Fusible 9F15PV 10X38 15A 1000VDC	4	u	12 459	49 835
Interrupteur-sectionneur 16A 1200VDC	8	u	7 213	57 704
Interrupteur-sectionneur 16A 1000VDC	10	u	7 213	72 130
Interrupteur-sectionneur 16A 800VDC	4	u	7 213	28 852
Interrupteur-sectionneur 32A 1000VDC	4	u	9 836	39 344
Interrupteur-sectionneur INS 40 4P	3	u	28 751	86 253
Interrupteur-sectionneur INS 63 4P	1	u	31 572	31 572
Interrupteur-sectionneur INS 80 4P	3	u	32 750	98 250
Coffret DC une rangée 4modules	6	u	500 000	3 000 000
Coffret AC une rangée 4modules	6	u	500 000	3 000 000
Connecteurs debrochables MC4	40	u	649	25 967
Parafoudres Type2 DC iPRD40r 20kA	6	u	38 696	232 176
Parafoudres Type2 AC iPRD20r 20kA 3P	6	u	38 969	233 814
MAIN D'ŒUVRE	1	ens		5 179 203
Pose Châssis				
Installation des panneaux				
Etudes				
MAINTENANCE ET EXPLOITATION	1	ens		4 531 803
			Total HT (F CFA)	139 191 091

Annexe XIII: Cotation matériels Réseau HTA/BT



- Electricité HT/BT
- Automatismes & Télégestion
- Instrumentation
- Matériels d'Automatisme
- Onduleurs & Redresseurs GAMATRONIC

Abidjan, le 30 Mai 2014

IGECIM

A l'attention de: **M. VANIE BI GRAH NOEL**

FACTURE PROFORMA N°167-06-14/DEP/ITGS

Objet: Etude et mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte.

DESIGNATION	QTE	UNITE	P.U	P.H.T.(F CFA)
ETUDE				
Etude du tracé schématique sur plan au 1/2000	2,187	km	4 000	8 748
Matérialisation sur terrain par piquets	2,187	km	30 000	65 610
FOURNITURE				309 269 901
Cellule IM, 24kV	2	u	3 995 428	7 990 856
Cellule QM ,24Kv	2	u	5 033 143	10 066 286
Jeu Fusible Solefuse	1	u	300 000	300 000
Jeu Fusible Solefuse	1	u	244 000	244 000
Transformateur 15kV/400V 1000kVA Gamme Minera Immergé à l'huile minérale	1	u	34 000 000	34 000 000
Transformateur 15kV/400V 800kVA Gamme Minera Immergé à l'huile minérale	1	u	27 000 000	27 000 000
Tableau Urbain T8	2	u	2 510 000	5 020 000
Interrupteur sectionneur Interpact INS1600 4P	1	u	2 147 000	2 147 000
Interrupteur sectionneur INS1250 4P	1	u	1 980 000	1 980 000
Interrupteur sectionneur INS250 4P	23	u	650 000	14 950 000
Disjoncteur Masterpack NS1250N 4P 400A+decl TMD	1	u	1 651 629	1 651 629
Disjoncteur Masterpack NS 1600 4P	1	u	2 347 000	2 347 000

Fusible Legrand Gg 250A	15	u	3 500	52 500
Raccordement Emergent Modulaire BT T4	23	u	1 057 000	24 311 000
Câble Aster 34,4mm ²	0,12	km	720 000	86 400
Câble U 1000 R02V 3x(4X240+95mm ²)	400	ml	15 680	6 272 000
Cosse à sertir Alu- cuivre 95/12	60	u	2 952	177 120
Cosse à sertir Alu- cuivre 240/12	6	u	4 488	26 928
Piquet de terre Cuivre 1,5m	1	u	3 561	3 561
Câble prise de terre en Cuivre nu 25mm ²	50	ml	1 727	86 350
Raccord en anneau	5	u	500	2 500
Chemin de câble Aluminium	15	ml	2 000	30 000
Câble HGE 3x150 +1x70mm ²	2321	ml	65 361	151 702 881
Cosse XCT 150/12	60	u	1 150	69 000
Cosse XCT 70/12	60	u	550	33 000
Support béton PBA 9/200	50	u	107 321	5 366 050
Support béton PBA 9/650	10	u	176 605	1 766 050
Ensemble d'encrage double	4	u	23 250	93 000
Ensemble d'encrage simple	6	u	12 485	74 910
Ensemble de suspension	50	u	7 907	395 350
Poste 22 TS	2	u	5 000 000	10 000 000
Grille d'aération fil de fer galvanisé 4X4	6	m ²	32 000	192 000
Câble alimentation Eclairage U1000 R2V1,5mm ²	10	ml	460	4 600
Câble de terre Eclairage 2,5mm ²	10	ml	673	6 730
Fusible 10A Legrand 8X32	1	u	800	800
Tabouret isolant	2	u	125 000	250 000
Gant isolant +Port gant	2	u	145 800	291 600
Perche	2	u	118 400	236 800
Tuyau PVC renforcé gris 110mm	15	ml	1 200	18 000
Tuyau PVC renforcé gris 160mm	20	ml	1 200	24 000
MAIN D'ŒUVRE				1 643 000
Transport Poteaux	60	u	5000	300 000
Implantation des poteaux	60	u	10000	600 000
Transport Transformateur	2	u	15 000	30 000

Transport ensemble de 3 cellules	2	u	15 000	30 000
Transport TUR	2	u	5 000	10 000
Confection extrémités simplifiées	6	u	10 000	60 000
Mise en place ensemble de 3 cellules	3	u	40 000	120 000
Mise en place câble HTA en caniveau	3	u	2 000	6 000
Raccordement câble HTA au transfo	3	u	10 000	30 000
Pose Tableau urbain TUR	3	u	9 000	27 000
Pose liaison Transfo-TUR	3	u	22 000	66 000
Raccordement câble BT Transfo -TUR	3	u	8 000	24 000
Confection circuit de terre de masse	2	u	32 000	64 000
Réalisation de prise de terre	1	u	47 000	47 000
Confection de terre de neutre	2	u	4 000	8 000
ACC. Éclairage du poste	2	u	2 500	5 000
Pose de chemin de câble	20	ml	2 000	40 000
Affiche règlementaire	4	u	4 000	16 000
Pose grillage pare-insectes	8	m2	20 000	160 000
			Total HT (FCFA)	310 987 259

Annexe XIV: Cotation matériels Eclairage Public



- Electricité HT/BT
- Automatisation & Télégestion
- Instrumentation
- Matériels d'Automatisme
- Onduleurs & Redresseurs GAMATRONIC

Abidjan, le 30 Mai 2014

IGECIM

A l'attention de: **M. VANIE BI GRAH NOEL**

FACTURE PROFORMA N°167-05-14/DEP/ITGS

Objet: Etude et mise en œuvre de l'alimentation électrique mixte

DESIGNATION	QTE	UNITE	P.U (F CFA)	P.H.T. (F CFA)
ETUDE				
Piquetage préliminaire	2,187	km	4 000	8 748
Piquetage définitif	2,187	km	30 000	65 610
FOURNITURE				20 548 184
Lampe Sodium Haute Pression 150W	54	u	4 000	216 000
Projecteur 500W	8	u	150 000	1 200 000
Lanterne SHP 150W IP44 IK	54	u	220 000	11 880 000
Crosse simple avancée 1,2m	54	u	9 425	508 950
boulon BH 14-300	108	u	325	35 100
Câble U 1000 R2V 1,5mm ²	54	ml	460	24 840
Câbles U 1000 R2V 25mm ²	100	ml	7 228	722 800
Câbles U 1000 R2V 10mm ²	1783	ml	3 004	5 356 132
Raccord CT 16	60	u	500	30 000
Fusible 25A	1	u	1 250	1 250
Fusible 16A	3	u	800	2 400
Fusible 10A	2	u	700	1 400
Lumendar	2	u	40 872	81 744
Compteur d'énergie	2	u	150 000	300 000
Contacteur TeSys d	2	u	32 000	64 000

Répartiteur multclip 80A	2	u	4 000	8 000
Réglette étanche 2x36W Sylvana	2	u	8 713	17 426
Disjoncteur DPN 16A 1P+N	2	u	4 071	8 142
Coffret 500x400x200	2	u	45 000	90 000
MAIN D'ŒUVRE				308 000
Pose coffret EP	u	2	9000	18 000
Pose câble TUR-COFFRET EP	u	2	10000	20 000
Fixation des accessoires d'encrage et de suspension	u	54	5000	270 000
			Total HT (F CFA)	20 930 542