



DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE
SPÉCIALITÉ : ÉNERGIE RENOUVELABLE

Présenté et soutenu publiquement le 24/09/20 par

NDE SIKADIE Stephane Landry (2017 0463)

Directeur de mémoire : **Pr Y. Moussa SORO**, Maître de Conférences CAMES

Maître de stage : **M. Bertrand HAEZEBROUCK**, Administrateur à Energy & Services

Structure d'accueil du stage : Energy & Services Burkina Faso (E&S)

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Daniel YAMEGUEU

Membres et correcteurs :

Dr. Aboubakar GOMNA

Pr. Y. Moussa SORO

Promotion [2019/2020]

DÉDICACES

A ma famille

Dont les conseils constants et soutenus m'ont permis de ne jamais baisser les bras. Je tiens à dédier ce modeste travail particulièrement à :

Mon cher père **René SIKADIE** qui n'a jamais hésité un instant à investir dans ma formation et dont le désir de me voir réussir et être indépendant est une constante préoccupation ; accepte ce travail qui est le fruit de longs sacrifices et de peines.

Ma mère **Helene SIKADIE** pour tous les sacrifices qu'elle a faits pour que je réussisse dans mes études, pour son soutien et encouragement tout au long de mon cursus scolaire. Qu'elle trouve dans ce travail un témoignage de mon immense reconnaissance.

Mes frères **Gervais, Carmel et Hermann SIKADIE**. Que l'amour et la fraternité qui règnent entre nous ne s'effritent jamais.

CITATION

*Ce n'est pas la force, mais la persévérance, qui fait
les grandes œuvres.*

[Samuel Johnson]

REMERCIEMENTS

- Je ne saurais commencer sans remercier **DIEU le tout puissant** pour la santé, le succès, la grâce qu'il m'accorde chaque jour de ma vie.
- Je souhaiterais adresser mes remerciements, les plus sincères à l'endroit du **personnel administratif et pédagogique** de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour m'avoir accueilli et intégré dans un environnement multiculturel au sein duquel j'ai pu m'épanouir et acquérir à la fois du savoir-faire et le savoir-être.
- J'adresse également mes remerciements à la Banque Africaine de Développement (BAD) pour le financement de mes études durant mon cycle ingénieur au sein de l'institut 2iE.
- Je profite de cette occasion pour remercier particulièrement tous les **enseignants et enseignants-chercheurs** du département « Génie Électrique, Énergétique et Industriel » de l'institut 2iE pour les connaissances techniques qu'ils m'ont transmises pendant cette merveilleuse formation.
- J'exprime en particulier ma profonde gratitude à l'endroit de mon Directeur de mémoire **Pr Y. Moussa SORO** pour avoir dirigé ce mémoire. Je suis particulièrement reconnaissant de la confiance qu'il a su m'accorder dès les premiers kilomètres de ce marathon, ainsi que de ses précieux conseils.
- J'adresse chaleureusement mes remerciements aux **membres du jury** auxquels je suis reconnaissant pour l'honneur qu'ils me font de juger ce travail.
- Mes vifs remerciements s'adressent à **Mme Kadidiatou HAEZEBROUCK**, Directrice générale de l'entreprise Energy & Services SARL pour m'avoir accordé sa confiance : un atout qui a permis le bon déroulement de mon travail, au sein de son entreprise, dans les meilleures conditions.
- Ma reconnaissance et mes remerciements à mon maître de stage **M. Bertrand HAEZEBROUCK**, Administrateur à Energy & Services pour avoir supervisé mes travaux, ses conseils, ses encouragements, son savoir-faire m'ont permis de découvrir de nombreuses facettes du métier d'ingénieur.
- J'adresse un chaleureux remerciement à tout le **personnel** de l'entreprise Energy & Services qui n'a pas cessé de m'encourager pour l'aboutissement de ce travail.
- Finalement, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à l'accomplissement de ce mémoire.

RÉSUMÉ

Cette étude consiste à montrer que l'adoption d'un service PAYG dédié au secteur de l'énergie comme technologie d'électrification hors réseau est l'une des solutions clés pour augmenter le taux d'accès à l'électricité au Burkina Faso.

Pour ce faire, nous avons au préalable effectué un état des lieux des systèmes PAYG en Afrique. Ensuite, nous avons analysé et identifié quelques plateformes existantes de contrôle et de gestion de ces systèmes. L'étude révèle que l'Afrique de l'Ouest fait un effort considérable pour augmenter le nombre de kits vendues ; 03 plateformes ont été identifiées à savoir PAYGEE, PAYGOPS et MyJoule Box. Par la suite, 02 gammes de kits (DC et AC) ont été proposées. Dans le cadre de notre projet, la plateforme PAYGOPS a été retenue pour les kits DC car elle est moins coûteuse que la plateforme PAYGEE. En ce qui concerne les kits AC, nous avons retenus la plateforme MyJoule Box car c'est la seule plateforme qui est compatible avec ces kits grâce à une box reliée au régulateur de charge et convertisseur de charge ayant un port VE Direct (Phoenix) de Victron.

Nous avons par la suite effectué un dimensionnement de 08 kits solaires (03 en DC et 05 en AC) de façon manuelle. Un logiciel de dimensionnement a été conçu en utilisant l'application "Qt" pour faciliter le dimensionnement des kits solaires.

Par ailleurs, une étude technico-économique a été menée et la VAN du projet s'élève à 473 470 559 FCFA tandis que le TRI est de 35 %.

Mots Clés :

1 – Accès à l'électricité

2 – Electrification

3 – kit solaire

4 – Pay-as-you-go

5 –Plateforme de contrôle et gestion

ABSTRACT

This study shows that the adoption of a PAYG service dedicated to the energy sector as an off-grid electrification technology is one of the key solutions to increase the rate of access to electricity in Burkina Faso.

To this end, we have first carried out a survey of PAYG systems in Africa. We then analysed and identified some existing platforms for monitoring and managing these systems. The study revealed that West Africa is making a considerable effort to increase the number of kits sold; 03 platforms were identified, namely PAYGEE, PAYGOPS and MyJoule Box. Subsequently, 02 ranges of kits (DC and AC) were proposed. Within the framework of our project, the PAYGOPS platform was chosen for the DC kits because it is less expensive than the PAYGEE platform. For the AC kits, we chose the MyJoule Box platform because it is the only platform that is compatible with these kits thanks to a box connected to the charge regulator and charge converter with a VE Direct port (Phoenix) from Victron.

We then carried out a manual sizing of 08 solar kits (03 in DC and 05 in AC). A sizing software was designed using the "Qt" application to facilitate the sizing of the solar kits.

In addition, a technico-economic study was carried out and the NPV of the project amounts to 473 470 559 FCFA while the IRR is 35 %.

Key Words:

1 – Access to electricity

2 - Electrification

3 – Pay-as-you-go

4 – Platform of control and management

5 – Solar kit

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

2iE	: Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement
A	: Ampère
Ah	: Ampère heure
AC	: Courant Alternative
API	: Application Programming Interface
CC	: Courant Continu
CF	: Cash-Flow
CRM	: Customer Relationship Management
DRM	: Digital Right Management
E&S	: Energy and Services
FRES	: Foundation Rural Energy Services
GSM	: Global System for Mobile Communications
h	: heure
INSA	: Les Instituts Nationaux des Sciences Appliquées
kW	: kilowatts
LED	: Light Emitting Diode
mdp	: Mot de passe
MFI	: Micro Finance Message Service
MMS	: Multimedia Message Service
MPPT	: Maximum Powerpoint Tracking
MUS	: Multi-User System
PV	: Photovoltaïque
RDC	: République Démocratique du Congo
SHS	: Solar Home System
SMS	: Short Message System

SIM	: Subscriber Identity Module
TRI	: Taux de Rendement Interne
TV	: Télévision
USID	: Unité de Soutien de l'Infrastructure de la Défense
USSD	: Unstructured Supplementary Service Data
V	: Volts
VA	: Volt Ampère
VAN	: Valeur Actuelle Net
W	: Watts
Wh	: Watt heure
PAYG	: Pay - As - You - Go
PAYGEE	: Pay As You Go Ecosystem

Table des matières

DÉDICACES.....	i
CITATION.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCTION	1
I.1 Présentation de la structure d'accueil et de ses activités	2
I.1.1 Historique et statut	2
I.1.2 La vision et l'organisation de l'entreprise	2
I.2 Objectifs de l'étude.....	2
I.2.1 Objectif général et l'intérêt de l'étude.....	2
I.2.2 Objectifs spécifiques	3
II. ÉTAT DE LIEUX ET GENERALITÉS DES SYSTÈMES PAYG	4
II.1 Diagnostic/ état des lieux des systèmes PAYG en Afrique.....	4
II.1.1 Les acteurs du Pay-As-You-Go.....	4
II.1.2 Le marché des kits solaire PAYG en Afrique	7
II.1.3 Les utilisateurs de kits solaires.....	9
II.2 Définitions et généralités.....	10
II.3 Mécanisme de fonctionnement d'un système Pay -As -You -Go.....	11
II.4 Technologies d'activation du PAYG.....	12
III. ÉTUDE TECHNIQUE.....	12
III.1 Identification et analyse des différentes plateformes et services de paiement	12
III.1.1 La plateforme PAYGEE	13
III.1.2 La plateforme PAYGOPS.....	14
III.1.3 La plateforme MyJoule Box	16
III.2 Dimensionnement des kits solaires.....	19

III.2.1	Introduction	19
III.2.2	Solution 1 : Gamme DC	22
III.2.3	Solution 2 : Gamme AC	24
III.3	Logiciel de dimensionnement rapides des kits	37
III.3.1	Présentation du logiciel.....	37
III.3.2	Exemple de dimensionnement d'un kit en utilisant le logiciel	40
IV.	ÉTUDE FINANCIÈRE, TECHNICO-ECONOMIQUE ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET	43
IV.1	Hypothèse de la détermination du coût	43
IV.2	Études des coûts de chaque solution proposée	43
IV.2.1	Kits DC.....	43
IV.2.2	Kits de la gamme AC.....	46
IV.3	Le Plan de trésorerie prévisionnel	51
IV.3.1	Hypothèses pour la détermination de la trésorerie.....	51
IV.4	Calcul des indicateurs financiers du projet.....	52
IV.4.1	Taux de rendement interne (TRI)	52
IV.4.2	Valeur actuelle net (VAN).....	53
IV.5	Notice d'impacts environnemental et social du projet	54
IV.5.1	Les impacts Sociaux	54
IV.5.2	Les impacts Économiques	54
IV.5.3	Les impacts Environnementaux.....	55
V.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	56
Annexes.....	II	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Top 10 des marchés des kits solaires	8
Tableau 2 : Données utilisées lors du dimensionnement des kits solaires PAYG	20
Tableau 3 : Récapitulatifs des résultats des kits de la gamme DC	23
Tableau 4: Caractéristiques du module 175 W	25
Tableau 5 : Caractéristiques du convertisseur 500 VA (Phoenix)	25
Tableau 6 : Caractéristiques du régulateur de charge smart solar MPPT 75/15	26
Tableau 7 : Caractéristiques du convertisseur 800 VA	27
Tableau 8 : Caractéristiques du module 330 W de Victron	29
Tableau 9 : Caractéristiques du convertisseur Phoenix.....	30
Tableau 10 : Caractéristiques du régulateur de charge MPPT 150/35.....	30
Tableau 11 : Caractéristiques du module 260W	32
Tableau 12 : Caractéristiques du convertisseur Phoenix Smart 24/2000	32
Tableau 13 : Caractéristiques du régulateur de charge MPPT 100/30	33
Tableau 14 : Caractéristiques du module de 270 W.....	34
Tableau 15 : Caractéristiques du convertisseur Phoenix Smart 24/2000	35
Tableau 16 : Caractéristiques du régulateur de charge MPPT 250/60	35
Tableau 17 : Récapitulatifs des résultats des kits de la gamme AC	36
Tableau 18 : Caractéristiques kit Zeta.....	40
Tableau 19 : Prix et conditions de PAYG / Gamme DC.....	45
Tableau 20: Prix et conditions de PAYG / Gamme AC.....	47
Tableau 21 : Dimensionnement du kit Alpha (100Wc)	IV
Tableau 22 : Dimensionnement du kit Beta (150Wc).....	IV
Tableau 23 : Dimensionnement du kit Gamma (200W/12V)	V
Tableau 24 : Dimensionnement du kit Delta (350Wc /12V)	V
Tableau 25 : Dimensionnement du kit Zeta (525 W/24V).....	VI

Tableau 26 : Dimensionnement du Kit Eta (950W/24V).....	VI
Tableau 27 : Dimensionnement du Kit Theta (1500W/24V).....	VII
Tableau 28 : Dimensionnement du Kit Lambda (2200W/48V).....	VII
Tableau 29 : Calcul de la trésorerie sur 02 ans	VIII
Tableau 30 : Calcul du TRI et VAN	X
Tableau 31 : Détermination du coût des kits de la gamme DC (PAYGOPS).....	XIV
Tableau 32 : Détermination du coût des kits de la gamme AC (MyJoule Box)	XVIII
Tableau 33 : Activation du PAYG et technologies de paiement	XXVI

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Volume de kits solaires vendus	8
Figure 2 : Ventes des kits solaires par région d'Afrique (en milliers d'unités)	9
Figure 3 : Facteur d'achat du kit solaire Source : Powering Opportunity in West Africa.....	10
Figure 4 : Classifications des systèmes photovoltaïques	11
Figure 5 : Mécanisme de fonctionnement des systèmes PAYG pour systèmes solaires domestiques	12
Figure 6 : Principe de fonctionnement du système PAYG en utilisant PAYGEE.....	14
Figure 7 : Principe de fonctionnement de la plateforme PAYG	16
Figure 8 : Principe de fonctionnement d'un système PAYG en utilisant la plateforme de MyJoule Box	18
Figure 9 : Premier fenêtre du logiciel (information client)	38
Figure 10 : Fenêtre permettant d'avoir le besoin énergétique de l'installation	39
Figure 11 : Fenêtre permettant d'avoir la configuration du champ	40
Figure 12 : Dimensionnement du kit INDIGO avec le logiciel	41
Figure 13 : Rapport de dimensionnement du kit Zeta.....	42

I. INTRODUCTION

La question de l'accès à l'énergie est un enjeu capital pour le développement du continent africain. L'Afrique subsaharienne compte 49 pays avec une population d'environ 975 millions d'habitants dont 63 % vivant en zone rurale. Plus de 70 % de la population n'a pas d'accès immédiat à une énergie propre et durable, soit environ 700 millions d'habitants. La partie de la population non connectée est susceptible de croître au regard de l'évolution du taux d'accroissement naturel sur le continent. La quasi-totalité de cette population non connectée réside en Afrique subsaharienne où les infrastructures d'énergie électrique sont très précaires.

Pour un continent pénalisé par le manque d'électricité, le développement des énergies renouvelables, du solaire en particulier, constitue un axe de progrès extrêmement prometteur d'autant plus que le potentiel d'énergie solaire dans cette zone est très important.

A travers des technologies et des modèles de gestion innovants, l'énergie solaire permet aux nombreuses populations vivant dans les régions sans connexion au réseau électrique de s'offrir des systèmes d'énergie propres. C'est ce qui a donné lieu à l'émergence de solutions originales, comme les centrales solaires, le développement de mini-réseaux et les kits solaires individuels pour une population dispersée et pauvre.

Les populations rurales sont celles qui ont les revenus les plus faibles et qui paient néanmoins le plus cher la satisfaction de leur besoin en énergie. Il s'est donc développé depuis les années 90 une multitude de services énergétiques solaires connexes à ces populations au pouvoir d'achat très faible à savoir les mini kits solaires, les stations de recharge, les centrales solaires, les centrales hybrides. Tous ces systèmes ont pour point commun qu'ils ne nécessitent pas un raccordement au réseau et répondent à des besoins de base précis des consommateurs (éclairage, recharge de téléphone portable, radio et/ou télévision).

Pour pallier ces difficultés, nous avons trouvé judicieux d'étudier la faisabilité de l'utilisation des kits solaires PAYG au Burkina Faso.

Afin de mener à bien ce travail, nous l'avons scindé en cinq grandes parties.

- Tout d'abord, nous allons présenter la structure d'accueil et faire ressortir les objectifs et l'intérêt de cette étude.
- La deuxième partie présente les généralités et l'état des lieux des systèmes PAYG en Afrique plus particulièrement au Burkina Faso.

- Dans la troisième partie, nous entrons dans une démarche plus pratique en faisant une étude technique et en proposant quelques kits PAYG.
- Ensuite, nous allons faire une étude financière et technico-économique des dits kits. Cette partie fait aussi ressortir les impacts environnemental et sociales du projet.
- Finalement, nous allons proposer une conclusion de notre travail.

I.1 Présentation de la structure d'accueil et de ses activités

I.1.1 Historique et statut

Née en 2012, E & S développe des solutions énergétiques pour le pompage, pour l'agriculture ou tout simplement pour faire baisser les factures d'électricité. Elle met tout en œuvre pour offrir une énergie accessible, adaptée et de qualité. La société E&S est une société d'ingénierie burkinabé, domiciliée au Rue Boassa 17 BP 520 Ouagadougou 17 situé au quartier Pissy. Elle s'est rapidement imposée comme un leader au Burkina Faso dans le développement de l'énergie. La société est constituée de 02 filiales une à Ouagadougou et l'autre à Bobo Dioulasso.

Aujourd'hui, l'entreprise offre de nombreux services dans le domaine de l'énergie tels que l'énergie solaire, l'énergie conventionnelle, sécurité bâtiment, pompage solaire, froid et climatisation, équipement industriel, etc.

I.1.2 La vision et l'organisation de l'entreprise

La réussite d'un projet découle au préalable de l'état d'esprit qui l'entoure. Pour que vos projets soient une réussite, l'entreprise développe le "spirit of energy". Cette vision est scindée notamment en 4 axes que sont : l'esprit de performance, l'esprit de qualité, l'esprit d'innovation et l'esprit d'exigence.

L'organigramme détaillé de l'entreprise est représenté en Annexe 1.

I.2 Objectifs de l'étude

I.2.1 Objectif général et l'intérêt de l'étude

Le projet a pour objectif d'améliorer le taux d'accès à l'énergie électrique sur le territoire burkinabé grâce à la diffusion massive de 1000 kits solaires. Ces kits sont capables d'assurer l'éclairage et la recharge de téléphones portables aux ménages qui sont principalement dans les localités non desservies par le réseau conventionnel.

I.2.2 Objectifs spécifiques

L'objectif principal ne peut être atteint sans l'obtention de résultats probants au niveau des objectifs spécifiques qui lui sont étroitement associés. Il s'agit ici des objectifs suivants :

- Acquérir une bonne connaissance du matériel Victron Energy.
- Comprendre les mécanismes financiers du PAYG.
- Concevoir des kits appropriés.
- Identifier et analyser les différentes plateformes et services de paiement à distance.
- Analyser les contraintes techniques et financières de la mise en œuvre de l'offre.

II. ETAT DE LIEUX ET GENERALITÉS DES SYSTÈMES PAYG

Pour faciliter la compréhension du sujet par la suite, nous allons définir quelques terminologies clés que sont :

Pay-As-You-Go (PAYG)

Le solaire PAYG, payer à tempérament, est une solution qui permet à l'utilisateur de se procurer un système solaire en payant un petit montant initial et ensuite des paiements réguliers (chaque semaine, chaque mois, etc) [1]. Chaque fois que l'utilisateur fait un paiement, le système solaire est opérationnel pour un nombre de jours. Si les « unités » sont finies, le système solaire est bloqué jusqu'au prochain paiement par l'utilisateur.

Ils utilisent des mécanismes d'application comme les connexions GSM à distance et la vérification du clavier. Parce que la plupart d'entre eux utilisent les paiements mobiles, le PAYG est moins cher que les options de microfinance traditionnelles.

Kits solaires

Ce sont des systèmes dont la puissance varie, des systèmes d'éclairage « pico » de base allant jusqu'à 10 W aux installations de systèmes solaires domestiques [2]. Ces systèmes peuvent alimenter des dispositifs tels que des lampes LED, des systèmes de charge de téléphone, des radios, télévisions, des ventilateurs et réfrigérateur.

II.1 Diagnostic/ état des lieux des systèmes PAYG en Afrique

II.1.1 Les acteurs du PAYG

Aujourd'hui on dénombre plus d'une vingtaine de jeunes pousses opérant sur le créneau de la mise à disposition de kits solaires pour maisons contre financement en PAYG. Il s'agit des entreprises suivantes :

- **M-Kopa**

M – Kopa a été créée en 2012 par Jesse Moore et Nick Hughes. Afin de pouvoir encaisser les paiements de ses clients, la startup s'est associée aux opérateurs télécoms Safaricom et MTN dont elle utilise les services de mobile money.

Opérant actuellement au Kenya, en Ouganda et en Tanzanie [3], M-Kopa n'emploie pas moins de 650 personnes et s'appuie sur un réseau de 2000 agents de vente directe, et plus d'une centaine de centres de services [4].

- **Off-Grid Electric**

Cette startup fondée en 2012 et opérant à Arusha (Tanzanie) avec pour objectif de permettre aux populations locales d'accéder à l'électricité via l'utilisation de kits solaires prépayés.

La jeune pousse commercialise aujourd'hui divers formats de kits, le plus élémentaire d'entre eux comprenant un panneau solaire, trois ampoules LED, une lampe portable et une radio [4].

- **Fenix International**

Fondée en 2009 en Uganda, Fenix International commercialise une large gamme de kits solaires, allant du kit minimum avec un panneau de 10 W, ampoules LED et chargeurs de téléphone, au kit plus complet contenant deux panneaux de 17 W avec TV, antennes [4].

- **Azuri Technologies**

A l'instar de ses concurrents, Azuri Technologies fondée en 2012 en Angleterre, commercialise des systèmes solaires en PAYG à destination des communautés rurales lésées par le réseau électrique. Deux différents kits existent à savoir un premier équipement solaire comprenant un panneau de 10 W, 4 ampoules LED de 300 lumens et un chargeur pour téléphone portable. Le second kit solaire comprend des panneaux d'une capacité supérieure dans le but de pouvoir alimenter le téléviseur fourni avec [4].

- **Mobisol**

Startup berlinoise fondée en 2010 ; Mobisol revendique la vente de plus de 70 000 kits solaires en Tanzanie et au Rwanda . Spécialisée dans la vente de différents kits. (80, 100, 120 et 200 W_c) [4].

- **ARESS**

La startup a notamment développé une offre de vente de kits solaires avec paiement via MTN mobile money, devenant ainsi la première entreprise privée du pays à permettre à ses clients de régler leurs factures via leurs mobiles. Cette startup propose de kits de grandes puissances 150 W_c, 300 W_c et 600 W_c. Ces produits sont principalement à destination des commerces et copropriétés dont les besoins énergétiques sont relativement importants [4].

- **PEG Africa**

Autre secteur de l'écosystème Ouest-Africain, PEG est une startup basée à Accra, opérant au Ghana et depuis quelques temps en Côte d'Ivoire. Fondée par des personnes ayant vécu

plusieurs années sans connexion au réseau électrique, l'équipe de PEG Africa a conçu des produits adaptés au besoin de ses clients qu'ils ont su cerner précisément pour en avoir eux-mêmes fait l'expérience [4].

- **Angaza Design**

Angaza Design est une société basée à Palo Alto (San Francisco), qui a introduit le concept PAYG pour les systèmes picoPV en Tanzanie, au Kenya, en Ouganda et en Zambie. Angaza a été fondée en 2010 par Lesley Marincola et soutenue par un financement de 100 000 USD de l'USID pour une recherche sur le terrain en Tanzanie en coopération avec Sunny Money.

- **BBOXX**

BBOXX Ltd a été enregistrée au Royaume-Uni en 2010 et son siège social est basé à Londres. Plus de 41 000 produits BBOXX ont été vendus dans plus de 35 pays et 30 boutiques BBOXX locales sont en activité au Kenya, au Rwanda et en Ouganda. Les systèmes BBOXX peuvent être payés par les clients en versements mensuels de 1 à 3 ans, ce qui inclut le prix du produit ainsi que les frais de maintenance. Un système de surveillance et de gestion à distance appelé SMART Solar est utilisé. Ce système fournit à l'entreprise des données sur les systèmes installés et comprend également une option d'arrêt à distance, qui permet de réduire les risques liés aux plans de paiement et incite les clients à effectuer leurs paiements mensuels [4].

- **FRES**

FRES est une fondation néerlandaise qui agit dans le domaine de l'électrification rurale et fournit de l'électricité aux ménages et aux petites entreprises grâce à l'utilisation de l'énergie solaire. Elle se concentre principalement sur la création de petites entreprises locales, qui mettent en œuvre le concept de service PAYG dans le domaine des mini-réseaux.

La création d'entreprises indépendantes garantit la durabilité des projets. FRES opère actuellement dans cinq pays avec cinq sociétés différentes. Outre le Mali, l'Afrique du Sud, le Burkina Faso, l'Ouganda et la Guinée Bissau, de nouvelles sociétés pourraient s'ajouter au Cameroun ou au Bénin dans les années à venir [4].

Au Burkina Faso en particulier ;

Au Burkina Faso, nous avons pu dénombrer environ 04 entreprises qui commercialisent les kits PAYG à la population. Il s'agit de ;

- **AFRICA ENERGY SOLAIRE (AES Sarl)**

AES propose une vente de kits solaires individuels à crédit sur une période de 1 à 3 ans dont le système est dénommé « Easy Pay ». Le prestataire met à la disposition du client le matériel solaire nécessaire en fonction de l'option choisie par le client moyennant un apport au départ et un paiement mensuel fixe durant le contrat. Le prestataire est libre de faire son choix. Trois kits dénommés Bronze (150 W_c), Silver (300 W_c) et Gold (450 W_c) sont disponibles.

- **ENERGIVO**

Energivo propose une gamme variée de produits avec un service après-vente. C'est le cas des kits PAYG qu'offre l'entreprise appelé "kits GIVO BACKUP".

Dans cette catégorie on trouve le kit GIVO-12-500, un kit intégrant un panneau de 100 W_c pouvant supporter pendant 5 heures les appareils comme le téléviseur avec le décodeur, le ventilateur, l'ordinateur et des ampoules de 12 V.

On retrouve aussi le kit GIVO-6000 qui est composé 01 convertisseur de 5 kW, 16 panneaux solaires de 30V/280 W, de 8 batteries de 200 Ah.

- **QOTTO BURKINA FASO**

Chez QOTTO, les kits autonomes sont basés sur l'énergie solaire hautement disponible. L'abonnement comprend l'installation sur place du kit solaire par les équipes et la maintenance en cas de besoin. Le kit Qotto est constitué prioritairement de module(s), un régulateur, de batterie(s) GEL, une télévision 24" ou 32", un ventilateur à pieds (15 W) et des lampes LED (3 W).

- **ALIOTH SYSTEM ENERGY FASO**

Alioth System propose également une variété de gamme de kits notamment le SHS BASIC, MEDIUM et FULL. Ces kits sont accompagnés des équipements comme ; les lampes LED, radio, ventilateur, torche, téléviseur HD avec TNT de 19".

II.1.2 Le marché des kits solaire PAYG en Afrique

Selon le dernier rapport de GOGLA (Global Off-grid Lightning Association), le marché mondial du PAYG solaire à générer pas moins de 95,57 millions de dollars pour 3,52 millions de kits vendus sur le premier semestre 2017 [4]. L'Afrique subsaharienne représente la moitié du volume de kits vendus, soit 1,77 millions pour un chiffre d'affaires de 40,6 millions de

dollars. Ce chiffre s'explique en partie par le fait que l'Afrique abrite la moitié des 1,2 milliards de personnes n'ayant pas accès à l'électricité [4].

A ce jour, on estime à plus de 30 millions le nombre de kits solaires vendus entre le deuxième trimestre de 2010 (apparition des premiers kits PAYG) et le premier trimestre 2017. Le marché mondial du PAYG solaire se situe actuellement entre 7 et 8 million de kits vendus par an [4] comme illustré dans le Figure 1.

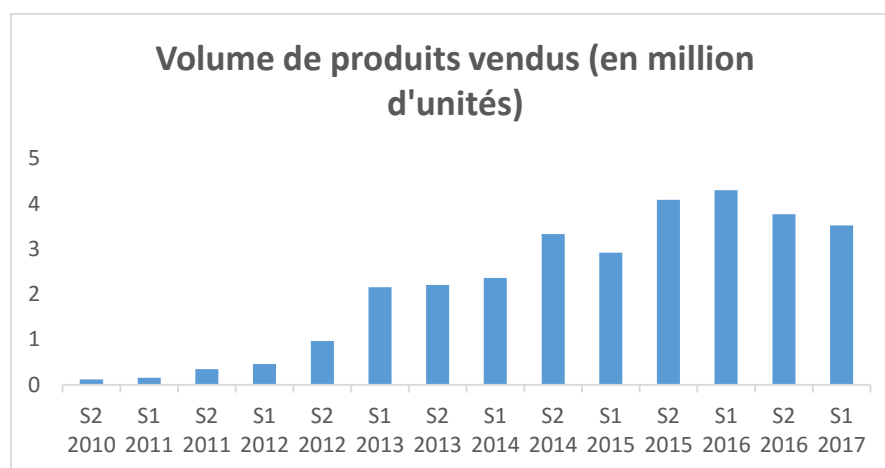


Figure 1 : Volume de kits solaires vendus [5]

Au niveau mondial, l'Inde est le principal marché des kits solaires, représentant plus de 30 % des ventes sur le premier semestre 2017. Le reste du top 10 des marchés des kits solaires est largement dominé par les pays d'Afrique comme illustré ci-dessous :

Tableau 1 : Top 10 des marchés des kits solaires [4]

Pays	Volume de produits vendus (S1/2017)	Chiffre d'affaires généré (S1/2017)
Inde	1 087 282	26 660 327 \$US
Kenya	413 544	6 377 033 \$US
Ouganda	240 151	8 275 353 \$US
Ethiopie	210 913	7 643 643 \$US
Rwanda	190 781	4 063 835 \$US
Burkina Faso	123 945	3 356 392 \$US
Nigeria	107 999	1 702 919 \$US

Tanzanie	69 143	342 369 \$US
Sénégal	67 503	499 390 \$US
Philippines	55 197	1 028 589 \$US

On observe de ce tableau que les principaux marchés du PAYG solaire sont en Afrique de l'Est et en Afrique de l'Ouest. La domination des marchés Afrique Orientale s'explique par le fait que les premiers acteurs du PAYG solaire s'y sont lancés tôt. Nous remarquons aussi que la croissance en Afrique de l'Ouest est soutenue par des marchés comme le Burkina Faso, le Nigéria et le Sénégal.

La Figure 2 nous montre clairement la quantité de kits vendus par régions d'Afrique du premier semestre de 2016 au premier semestre de 2017. Nous pouvons constater que l'Afrique de l'Est est leader dans ce domaine, ensuite vient l'Afrique de l'Ouest qui fait un effort considérable pour augmenter le nombre de kits vendus. Un grand effort doit être fait en ce qui concerne l'Afrique Centrale et Australe dont le marché est encore très faible voire inexistant.

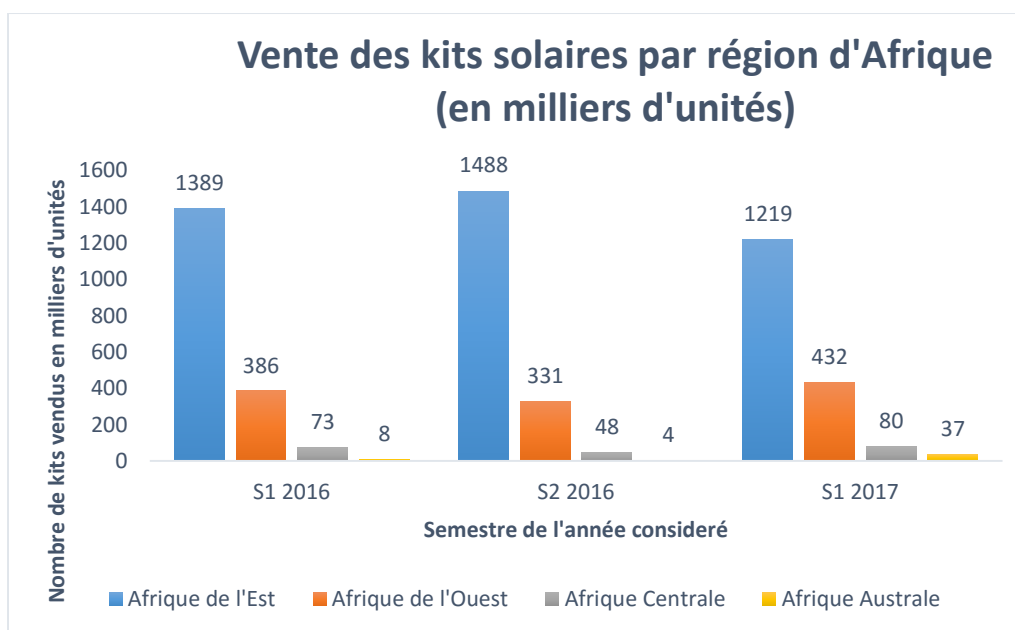


Figure 2 : Ventes des kits solaires par région d'Afrique [4]

II.1.3 Les utilisateurs de kits solaires

➤ Expérience client : Facteurs d'achat du kit solaire

En 2019 (au premier semestre), une enquête a été menée par l'association mondiale pour l'industrie de l'énergie hors-réseau (GOGLA). Les données ont été collectées en Côte d'Ivoire,

Ghana, Nigeria, Togo auprès des clients de quatre entreprises PAYG : BBOX, Greenlight Planet, PEG, et ZOLA Electric. Les résultats suivants ont été obtenus après cette enquête :

La raison la plus commune pour laquelle un client achète un kit solaire est l'accès à l'éclairage, mentionnée par 85 % des répondants. Ensuite vient le chargement de téléphone (55 %) et les appareils (35 %) sont aussi mentionnés par une part importante des consommations comme l'indique la Figure 3. Au-delà de ces éléments inhérents au produit, le modèle PAYG est mentionné par 8 % des clients.

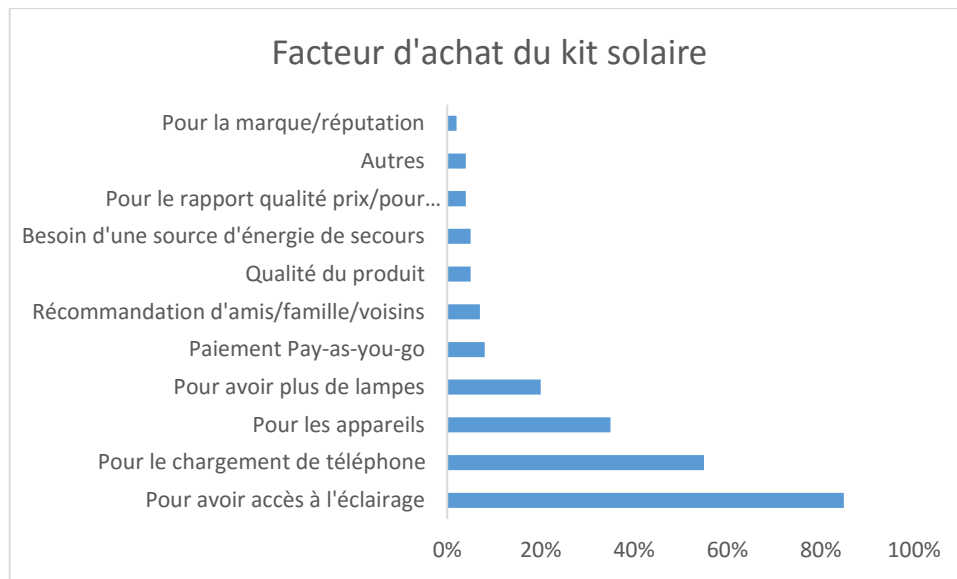


Figure 3: Facteur d'achat du kit solaire [5]

II.2 Définitions et généralités

Tous les systèmes comprennent un ou plusieurs panneaux solaires de puissances variées, un système de régulation, une solution de stockage et différents équipements apportant le service recherché.

Il apparaît nécessaire de différencier les systèmes PV selon plusieurs axes. Deux critères [6] sont retenus ici pour classer les systèmes :

- L'application : systèmes domestiques ou de puissance
- La taille : systèmes pico PV, SHS ou MUS

Dans le cas d'une application domestique, les systèmes sont généralement classés selon leur taille, c'est-à-dire la puissance disponible et le nombre d'utilisateurs. Ce critère de taille perd sa pertinence dans le cas d'une application de puissance. Cette segmentation est représentée à la Figure 4 avec les gammes de puissance indicatives correspondantes.

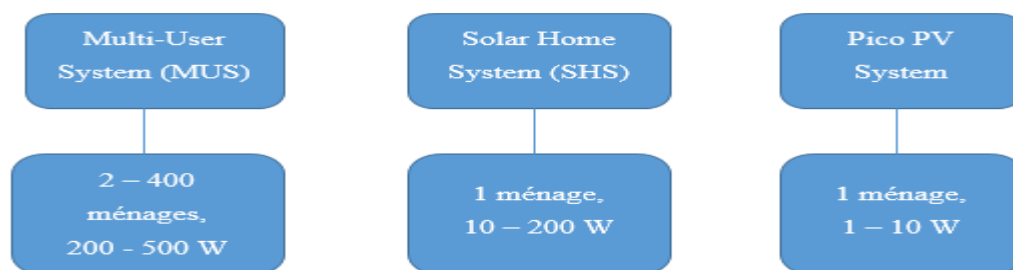


Figure 4 : Classifications des systèmes photovoltaïques

II.3 Mécanisme de fonctionnement d'un système Pay -As -You -Go

La Figure 5 résume le mécanisme de fonctionnement des systèmes PAYG de façon générale qui est constitué de deux phases : l'abonnement et l'installation (phase 1) et l'utilisation (phase 2) [7] .

Lors de la phase 1, les fournisseurs d'électricité exigent généralement aux nouveaux clients un dépôt initial pour l'abonnement. La fourchette de dépôt initial pour l'abonnement est généralement entre 10 – 25 % du coût total du système. Ce dépôt constitue l'engagement du client. Après le paiement du dépôt, l'installation de l'équipement est effectuée chez le client. Cela conclut la phase 1 [7].

Dans la phase 2, le système solaire est activé après le premier paiement de recharge pour consommation. L'activation se fait automatiquement à distance par le fournisseur ou sur place par le client après un code émis par le fournisseur. C'est après l'activation que le client a accès à l'électricité [7].

Le client paie ensuite sa consommation à la fréquence de facturation indiquée dans le contrat. En cas de défaut de paiement, le service est automatiquement interrompu par le fournisseur.

Avec l'option « location perpétuelle », l'équipement reste la propriété du fournisseur pendant et au terme du contrat.

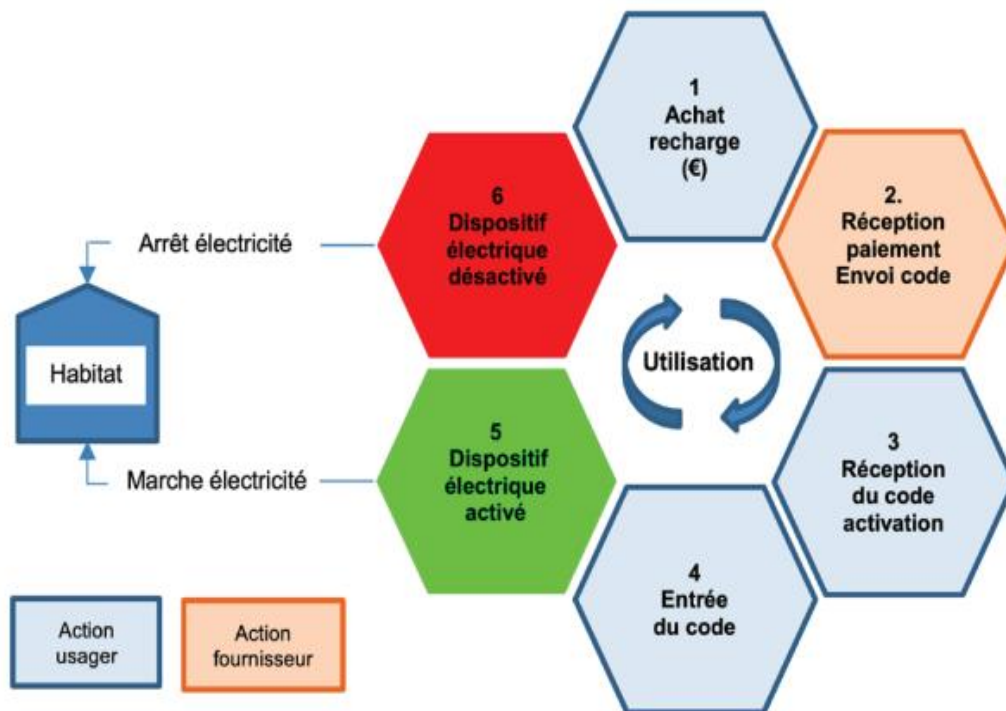


Figure 5 : Mécanisme de fonctionnement des systèmes PAYG pour systèmes solaires domestiques [7]

II.4 Technologies d'activation du PAYG

Le PAYG est le plus souvent associé à l'activation par les technologies mobiles, mais il n'est pas toujours utilisé. Une connexion GSM complète intégrée au kit solaire est l'option la plus courante pour les systèmes domestiques de grande taille, où le coût unitaire peut plus facilement être absorbé dans le coût total du système et où la valeur de la surveillance des performances du système augmente. Pour les petits systèmes domestiques, les fabricants optent souvent pour des appareils sans connexion GSM. Le client reçoit alors un code sur son téléphone et le saisit dans l'appareil. Cette solution est généralement moins coûteuse, car elle s'appuie sur le téléphone existant du client. Les entrepreneurs ont donc opté pour des mécanismes d'activation basés sur le câble ou Bluetooth, par lesquels le GSM réside de manière connectable dans le téléphone portable d'un agent de réseau qui doit activer l'appareil [8]. Le Tableau 33 résume clairement cette partie.

III. ETUDE TECHNIQUE

III.1 Identification et analyse des différentes plateformes et services de paiement

Dans ce chapitre, le but est de pouvoir recenser les différentes plateformes de gestion et de monitoring existantes pour faire du PAYG. Nous avons identifié **03 plateformes** notamment **PAYGEE**, **PAYGOPS** et **MyJoule Box**. Nous allons analyser chaque plateforme en détail.

III.1.1 La plateforme PAYGEE

Historique et présentation de la plateforme PAYGEE

PAYGEE a été créé par la startup Mobisol, une suite logicielle agnostique de matériel à prix compétitif visant à stimuler la croissance de l'écosystème PAYG. PAYGEE vise à fournir aux ménages situés à la base de la pyramide un accès plus facile et plus abordable à une large gamme de produits solaires et d'appareils d'utilisation productive associés.

PAYGEE est un "logiciel sous forme de service" qui permettra aux fournisseurs de services solaires PAYG du monde entier de se concentrer sur la fourniture de solutions énergétiques durables à leur clientèle. Fonctionnant aussi bien sur des ordinateurs de bureau que sur des appareils mobiles, la suite logicielle est la clé numérique des modèles commerciaux de PAYG, ouvrant la voie à une gestion efficace de l'ensemble de la chaîne de valeur PAYG par le biais d'un centre d'information unique, où les données sont organisées avec soin, facilement accessibles et traitées en toute sécurité.

PAYGEE a été validé sur le terrain et s'appuie sur plus de six ans d'expérience dans le suivi de plus de 100 000 systèmes et le soutien de centaines d'agents commerciaux et de techniciens qui accèdent à de multiples marchés.

Principe de fonctionnement

Premièrement, l'entreprise doit d'abord obtenir un compte professionnel auprès de l'opérateur mobile. Ensuite, l'implémentation de l'API est faite.

Les opérateurs PAYG proposent généralement des systèmes solaires domestiques à leurs clients via un plan de location avec option d'achat. Les clients peuvent obtenir un kit contre un dépôt.

Ensuite, le client peut utiliser la fonction USSD pour payer via mobile money au numéro de paiement désigné sur quelques mois ou années pour en fin posséder l'unité. Un code de recharge est envoyé à leur téléphone portable par SMS après chaque paiement. Le SHS 200 ne devient actif que lorsqu'on entre le code sur son clavier. La figure suivante résume le principe de fonctionnement de la plateforme PAYGEE.

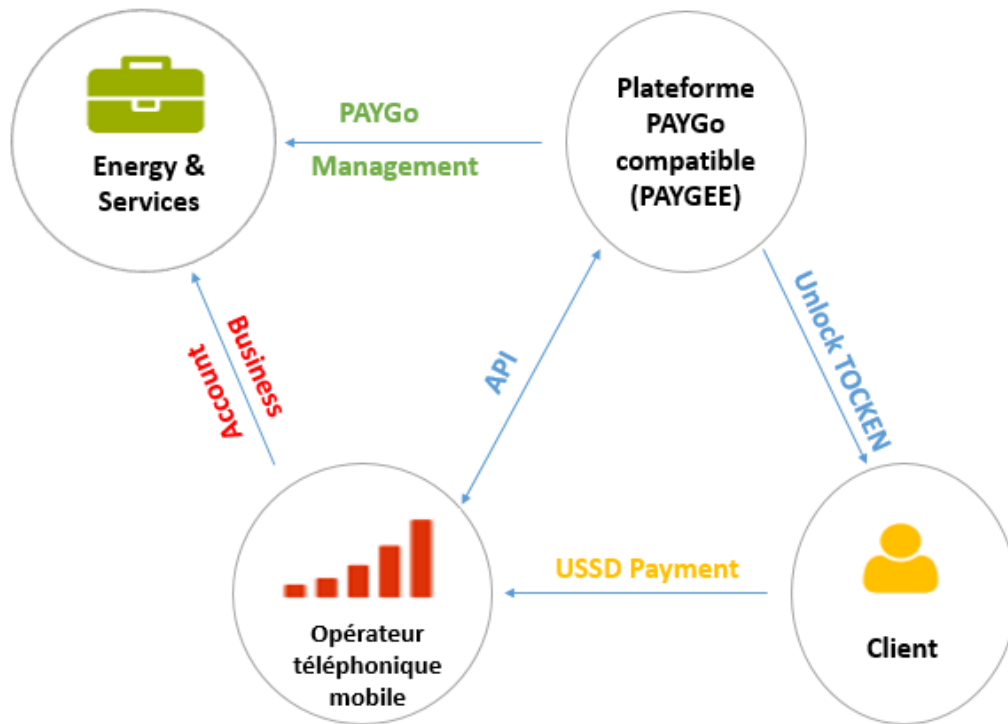


Figure 6 : Principe de fonctionnement du système PAYG en utilisant PAYGEE

III.1.2 La plateforme PAYGOPS

🚦 Historique et présentation de la plateforme PAYGOPS

Solaris offgrid est une entreprise anglaise qui a commencé ses activités en 2014 dans le but de développer des solutions à destination des populations vulnérables, non bancarisées et souffrant d'un faible accès à l'énergie. Le but étant que ces populations puissent bénéficier d'un accès facilité aux énergies renouvelables et solaires. Leur produit de référence, du nom de PAYGOPS, est également un "logiciel sous forme de service" qui permettra aux fournisseurs de services solaires PAYG du monde entier de se concentrer sur la fourniture de solutions énergétiques durables à leur clientèle.

Les solutions PAYG de Solaris Offgrid ont été partagées et exportées dans plus de 20 pays en voie de développement.

🚦 Principe de fonctionnement

PAYGOPS est un système de gestion du dernier kilomètre qui s'adapte aux processus de distribution et aux applications pour faciliter une croissance rentable.

PAYGOPS propose 02 types de base d'intégration de télécommunications, à savoir l'intégration de télécommunication basique et l'intégration complète de télécommunication.

Concernant **l'intégration de télécommunication basique** ; les ingénieurs de PAYGOPS configureront à l'aide d'un téléphone androïde connecté à un compte mobile money. Ce qui est important à noter ici, c'est que le compte mobile money est unique et appartient à l'entreprise. Le téléphone nous permettrait de bénéficier de l'automatisation PAYG sans avoir besoin d'un API du fournisseur de mobile money. Cette intégration prend 2 à 3 semaines pour être configurée et 10 jours pour se connecter. Une application appelée "Telerivet" est utilisée.

Avec cette application, l'entreprise n'a besoin que d'un smartphone androïde qui est toujours en marche avec accès Internet et d'une carte SIM locale pour servir de passerelle SMS.

L'application "Telerivet Gateway" permet d'envoyer et de recevoir des messages (SMS) avec n'importe quel utilisateur de téléphone mobile dans tout le pays même s'ils n'ont pas de smartphone ou d'accès à Internet.

En ce qui est de **L'intégration complète de Télécommunication** ; L'API de télécommunication locale de l'opérateur téléphonique mobile est nécessaire. L'intégration technique de PAYGOPS avec Orange pourrait être achevée dans plusieurs semaines. Entre six mois et un an et demi sont nécessaires pour terminer l'ensemble du processus.

D'où ce qui est généralement recommandé aux nouvelles entreprises qui souhaitent démarrer rapidement leurs opérations c'est **d'opter pour l'intégration de télécommunication basique**. Cela est dû au fait qu'avec cette intégration, il n'est pas nécessaire de s'associer avec une entreprise de téléphonie mobile qui prends énormément de temps, tout ce dont l'entreprise a besoin est un téléphone androïde toujours en ligne avec l'application "Telerivet" et un compte mobile money.

Après augmentation du marché (par exemple 1000 kits vendus), l'entreprise peut passer à l'intégration complète de télécommunication.

La Figure 7 suivante donne un résumé du principe de fonctionnement de la plateforme PAYGOPS.

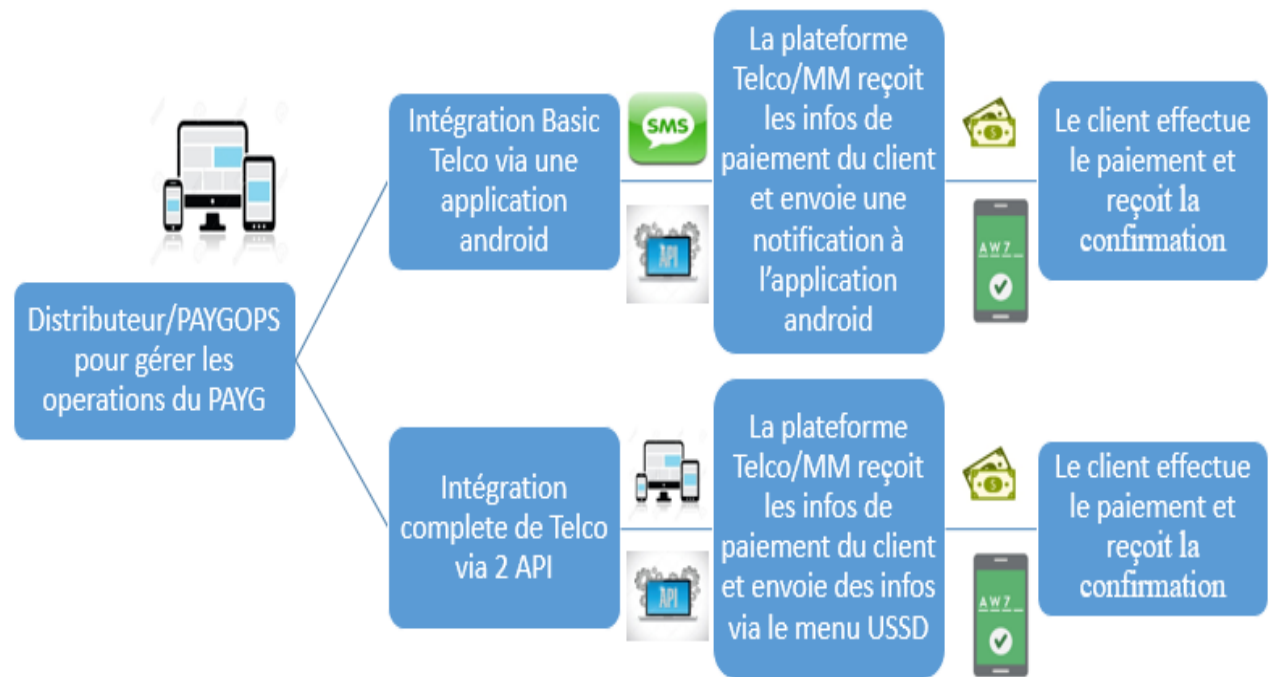


Figure 7 : Principe de fonctionnement de la plateforme PAYG

III.1.3 La plateforme MyJoule Box

🚦 Historique et présentation de la MyJoule Box

MyJoule Box est une entreprise française créée en décembre 2016 par des anciens élèves de l'INSA Strasbourg et de l'Institut français du pétrole afin de participer à l'accès à l'électricité en Afrique.

L'entreprise propose des solutions matérielles et logicielles permettant la gestion à distance d'équipements solaires pour les particuliers et les entreprises.

MyJoule Box propose des équipements hardwares qui permettent de bloquer à distance les onduleurs et régulateurs Victron pour permettre leur utilisation en PAYG.

A date, l'entreprise a implanté ses solutions chez des partenaires au Bénin, Burkina Faso, Sénégal, Togo, Cameroun, RDC et Madagascar et contrôle plus de 10 000 systèmes.

🚦 Principe de fonctionnement

Le système est géré par la plateforme du concepteur à travers internet. Il y a une box de contrôle qui doit être équipée d'une puce de connexion internet. La puce est reliée au régulateur et au convertisseur de charge avec le câble VE Direct pour la collecte de données.

Avec une connexion internet et un pc, on accède à la plateforme via un mot de passe et un identifiant qui vont permettre à l'agent d'accéder aux différents paramètres de création du client avec les informations du box. Ensuite, comme le box se connecte à internet, il pourra être identifié par la plateforme et recevra les données du client via internet, notamment les codes d'accès qui peuvent être introduits manuellement ou directement en ligne.

Le box collecte les données pour transmettre à la plate-forme chaque 10 minutes pour permettre à l'agent de voir les informations de production de consommation.

La plate-forme mobile est capable de relier les clients, les équipements, l'assistance et le paiement de manière avantageuse pour le client et le fournisseur comme illustré à la Figure 8.

Ce système a la possibilité d'éteindre l'équipement à distance si les paiements mensuels ne sont pas effectués (en cas de défaut de paiement) et de les réactiver une fois les paiements effectués. La sécurité du paiement vient de l'utilisation d'une carte SIM intégrée dans le compteur de ces systèmes. Lorsque le système est intégralement remboursé, il est définitivement débloqué.

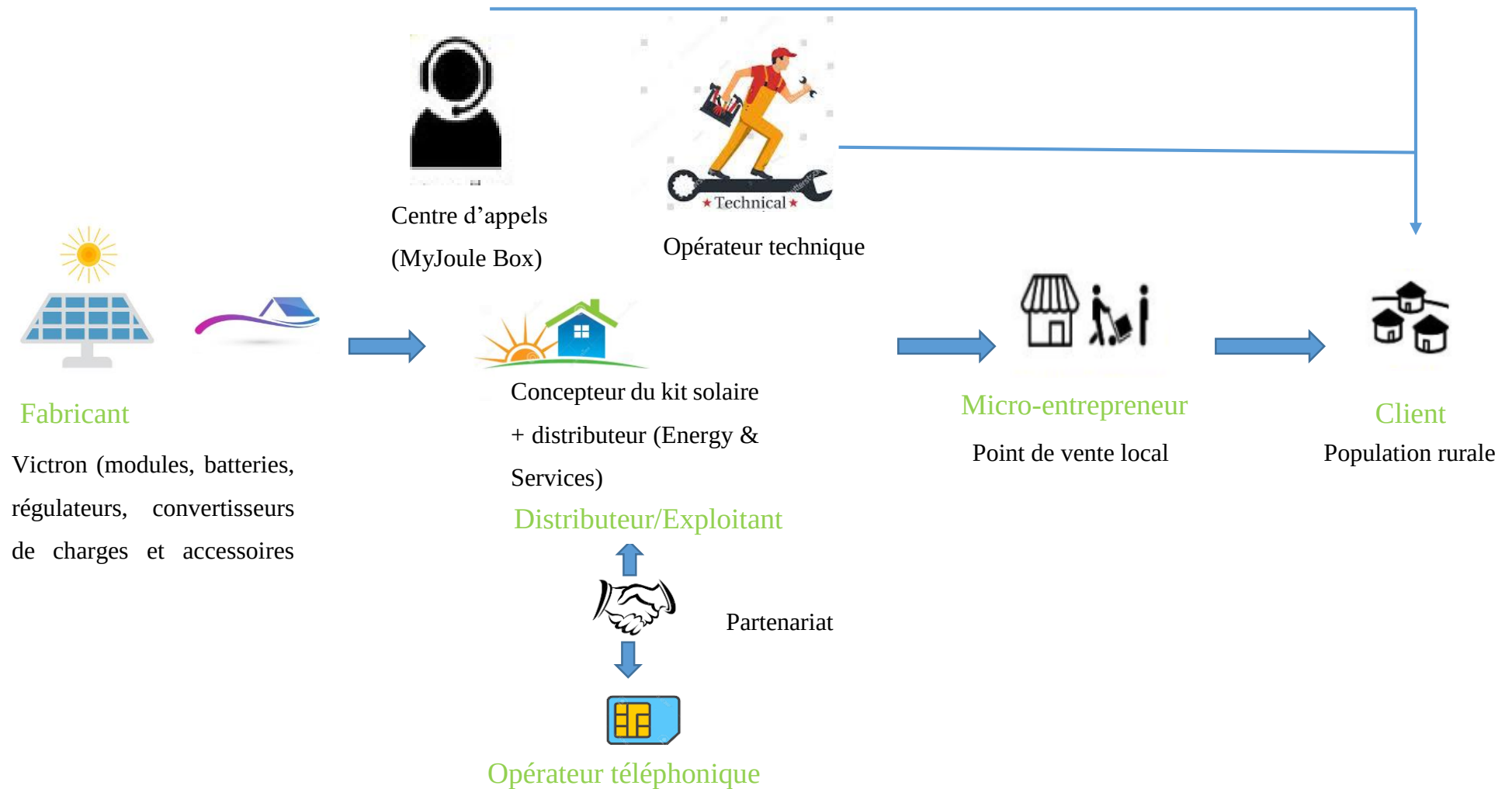


Figure 8 : Principe de fonctionnement d'un système PAYG en utilisant la plateforme de MyJoule Box

❖ Catégorisation des kits

Nous avons eu à proposer deux gammes de kits notamment la gamme **DC** et la gamme **AC**.

- La gamme DC est la gamme des kits qui intègre le régulateur de charge SHS 200 de Victron qui est compatible avec les plateformes PAYGEE et PAYGOPS pour faire du PAYG. Ces kits fonctionnent en courant continu.
- La gamme Beta est la gamme de kits qui intègre les équipements tel que le régulateur de charge, le convertisseur de charge ayant un port VE Direct, batteries, modules et en plus de cela une box qui permet de faire le contrôle de l'installation à distance. Ces kits fonctionnent en courant alternatif et sont compatibles avec la plateforme MyJoule Box.

❖ Critère de choix des plateformes pour les kits DC et AC

- Pour les kits DC nous allons déterminer leur coût total en utilisant ces différentes plateformes. Ensuite, nous allons retenir la plateforme qui nous permet d'avoir un prix de vente moins cher.
- Pour la gamme AC l'approche n'est pas la même ; on a juste une seule plateforme. Aussi nous avons trouvé judicieux de déterminer les coûts de ces kits et de comparer avec ceux des kits déjà existant sur le marché utilisant cette même plateforme. Cela nous permettra de voir si nos produits peuvent être compétitif sur le marché.

III.2 Dimensionnement des kits solaires

III.2.1 Introduction

Dans le cadre de notre étude, nous avons proposé **2 gammes** de kits PAYG différentes à savoir : La **gamme DC** constituée de **3** kits de petite puissance ($100 W_c$, $150 W_c$, $200 W_c$) destinés à alimenter quelques appareils domestiques qui fonctionnent en DC. Pour cette gamme, nous utiliserons le régulateur de charge SHS 200 adapté pour les systèmes PAYG en utilisant une plateforme compatible pour la gestion des données et de paiement. Nous avons opté pour la plateforme PAYGOPS.

La **gamme AC** constituée de **5** kits de grande puissance ($350 W_c$, $525 W_c$, $950 W_c$, $1500 W_c$, $2200 W_c$) destinés pour les domiciles et petits commerces. Pour cette gamme, nous utiliserons uniquement les produits Victron avec une Box pour la gestion du système à distance.

Dans chaque cas, nous allons faire un dimensionnement du système en calculant le besoin énergétique journalier, la puissance crête de l'installation et la capacité des batteries nécessaire.

Les données utilisées pour effectuer ces différents calculs sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 2: Données utilisées lors du dimensionnement des kits solaires PAYG

Données utiles					
Nombre de jours d'autonomie (j)	Rendement du système (R)	Irradiation (H) (kWh/m ² /jour)	Profondeur de décharge (DM)	Rendement de la batterie	Tension du système (V)
1	0,65	5.4	0,5	0,8	12/24/48

❖ Notes de calcul

➤ Besoin énergétique journalier (Wh)

$$E = P * t \quad (1)$$

E : Besoin énergétique journalier (Wh)

P : Puissance (W)

t : durée énergétique journalière (h)

➤ Puissance crête de l'installation (W_c)

$$p_o = \frac{E}{R * H} \quad (2)$$

E : Besoin énergétique journalier

PR : Rendement du système

H : L'irradiation annuelle moyenne sur le plan de modules inclinés ($kWh \cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$)

➤ Calcul de la capacité minimale de la batterie

$$C_{bat_{min}}(Ah) = \frac{B_j * J_{raut}}{V_{syst} * DM} \quad (3)$$

$B_j(Wh)$; Besoin journalier

J_{raut} (jours) ; Nombre de jours d'autonomie

V_{sys} ; Tension du système

DM ; Profondeur de décharge pour les batteries solaires

➤ **Calcul du nombre de modules**

$$N_m = \frac{P_c}{P_m} \quad (4)$$

P_c ; puissance crête de l'installation

P_m ; Puissance d'un module

➤ **Configuration du champ de batteries**

- **Nombre de batteries en séries par string**

$$Nbat_s = \frac{V_{sys}}{\text{Tension nominale batterie}} \quad (5)$$

- **Nombre de string de batteries**

$$Nbat_p = \frac{Cbat_{min}}{\text{Capacité de la batterie}} \quad (6)$$

- **Capacité totale des batteries**

$$Cbat = Nbat_p * \text{capacité batterie} \geq Cbat_{min} \quad (7)$$

- **Calcul de la capacité réelle de la batterie**

$$Cbat_r(Ah) = Nbat * \text{Capacité d'une batterie} \quad (8)$$

➤ **Compatibilité de la puissance à l'entrée**

- **Ratio de performance**

$$R = \frac{\text{Puissance d'entrée DC de l'onduleur}}{\text{Puissance crête du sous champ}} \quad (9)$$

➤ **Vérification de la tension**

$$V_{ch} = V_{OC} * Nms \quad (10)$$

V_{ch} ; la tension du sous champ ;

Nms ; Nombre de modules par string d'un sous champ

➤ **Vérification du courant**

$$I_{ch} = N_{str} * I_{sc} \quad (11)$$

Avec : I_{sc} ; Courant délivré par le module

N_{str} ; Nombre de strings

III.2.2 Solution 1 : Gamme DC

Nous allons proposer des kits solaires individuels de faible puissance (100W_c, 150 W_c, 200 W_c) pour usage domestique en utilisant du matériel Victron plus particulièrement le SHS 200 comme régulateur de charge.

❖ Calcul et détermination des paramètres techniques

1. Kit Alpha (100 W_c/12V)

Le système solaire CC à usage domestique proposé fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 03 lampes LED, 02 téléphones portables, 01 ventilateur sur pieds et 01 téléviseur CC. Il s'agit d'une simple configuration qui associe 02 panneaux solaires, un régulateur de charge SHS 200 avec une sortie de charge CC et une batterie.

✚ Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 21 en annexe illustre en détails le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner notre kit solaire.

✚ Configuration retenue

- 02 modules 50 W du fabricant Victron
- 01 contrôleur de charge SHS 200
- 01 batterie GEL de 90 Ah de Victron

2. Kit Beta (150 W_c/12V)

Le système solaire CC fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 05 lampes LED, 03 chargeurs de téléphones portables, 01 téléviseur CC, 01 radio et 01 ventilateur sur pieds. Il s'agit d'une simple configuration qui associe 03 panneaux solaires, un régulateur de charge SHS 200 avec une sortie de charge CC et une batterie.

✚ Calcul et détermination des paramètres techniques

Le en annexe nous donne des informations exactes sur le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner le dit kit.

✚ Configuration retenue

- 03 modules 50 W du fabricant Victron
- 01 contrôleur de charge SHS 200

- 01 batterie GEL 130 Ah

3. Kit Gamma (200 W/12V)

Le système solaire proposé fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 08 lampes LED, 05 chargeurs de téléphones portables, 01 téléviseur CC, 03 ventilateur sur pieds. Il s'agit d'une simple configuration qui associe 04 panneaux solaires, un régulateur de charge SHS 200 avec une sortie de charge CC et une batterie.

Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 23 en annexe nous renseigne sur les informations exactes sur la détermination des différents paramètres nécessaires pour dimensionner notre kit.

Configuration retenue

- 04 modules 50 W de Victron
- 01 contrôleur de charge SHS 200
- 01 batterie GEL 220 Ah

❖ Conclusion partielle : rappel des principaux résultats

D'après l'enquête qui a été menée par GOGILA sur les facteurs d'achats de kit solaire [3], nous avons donc jugé utile d'ajouter quelques équipements de base à nos kits notamment les lampes LED, 01 téléviseur et 01 ventilateur à pieds.

Cela nous permettra de nous assurer que le client utilise notre système avec les équipements compatibles (fonctionnant en continu). Le tableau suivant donne un récapitulatif des principaux résultats dans cette partie.

Tableau 3 : Récapitulatifs des résultats des kits de la gamme DC

TYPE	CARACTERISTIQUES	EQUIPEMENTS
SHS (100 Wc) Kit Alpha	• 02 modules poly cristallin de 50 Wc • 01 contrôleur de charge SHS 200 • 01 batterie GEL de 90 Ah de Victron • 01 paire de câble de 2*6mm² pour la connexion des panneaux	• 01 téléviseur 32" • 01 ventilateur à pieds de 15 W • 03 lampes LED de 3W

SHS (150 W _c) Kit Beta	• 03 modules poly cristallin de 50 W • 01 contrôleur de charge SHS 200 • 01 batterie GEL de 130 Ah de Victron • 01 paire de câble de 2*6mm² pour la connexion des panneaux	• 01 téléviseur 32" • 01 ventilateur à pieds de 15 W • 05 lampes LED 3W
SHS (200W _c) Kit Gamma	• 04 modules poly cristallin de 50 W • 01 contrôleur de charge SHS 200 • 01 batterie GEL 220 Ah de Victron	• 01 téléviseur 32" • 01 ventilateur à pieds de 15 W • 08 lampes LED 3W

III.2.3 Solution 2 : Gamme AC

Dans ce cas, nous allons utiliser la plateforme de **MyJoule Box** pour proposer des kits solaires de plus grande puissance (350 W_c, 525 W_c, 950 W_c, 1500 W_c, 2200 W_c) pour usage domestique ou commercial en utilisant du matériel Victron.

❖ Calcul et détermination des paramètres techniques

1. Kit Delta (350 W_c/12 V)

Ce système solaire fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 01 téléviseur, 02 brasseurs, 06 lampes, 01 réfrigérateur, 01 ordinateur.

✚ Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 24 en annexe nous donne des informations exactes sur le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner le dit kit.

• Choix du module :

Nous avons utilisé 02 modules poly cristallin de référence SPP041751200 de 175 W du fabricant Victron dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 4 :

Tableau 4: Caractéristiques du module 175 W

Référence : SPP041751200	
P _{mpp} (W)	175
V _{mpp} (V)	18.3
V _{oc} (V)	21.9
I _{sc} (A)	10.24
I _{mpp} (A)	9.56

- Calcul du nombre de modules (N_m)

$$N_m = \frac{350}{175} = 2$$

- Puissance totale à installer

$$P_o = 2 * 175 = 350 \text{ Wc}$$

- Choix de convertisseurs de charge

Nous avons donc choisi **01 convertisseur Victron 500 VA** dont les caractéristiques résumées sont consignées dans le Tableau 5 :

Tableau 5 : Caractéristiques du convertisseur 500 VA (Phoenix)

Puissance en continu à 40°C (W)	350 W
Plage DC d'entrée MPPT (V)	[9.2 ; 17]
Rendement maximal %	90
Fréquence de fonctionnement (Hz)	[50 ; 60]

- Vérification du ratio de performance (R) :

$$R = \frac{350}{350} = 1 \quad \text{OK}$$

Le ratio de puissance se situe dans la plage admise, cette condition est donc vérifiée.

- Choix des régulateurs de charge

Le choix s'est donc porté sur 01 régulateur de charge de marque **Smart Solar du fabricant Victron MPPT 75/15**. Les caractéristiques résumées du régulateur sont données dans le Tableau 6 :

Tableau 6 : Caractéristiques du régulateur de charge smart solar MPPT 75/15

Reference	MPPT 75/15
Puissance maximale PV (W)	220
Courant de charge nominal (A)	15
Tension maximale (V)	75
Courant maximal de court-circuit PV (A)	15
Rendement Maximal	98%

La tension système du champ PV doit donc être inférieure à la tension maximale admissible de notre régulateur.

- **Vérification du courant**

$$I_{ch} = 1 * 10.24 = \mathbf{10.24\ A} < 15\ A ; \mathbf{OK}$$

- **Choix des batteries**

Le nombre de batteries en série (N_s):

$$N_s = \frac{12}{12} = 1$$

Le nombre de string de batteries (N_{batp})

$$N_{batp} = \frac{350}{165} = 2$$

Nous retenons 02 batteries GEL de 165 Ah de Victron.

Configuration retenue

- 02 modules 175 Wc du fabricant Victron
- 01 convertisseur Victron 500 VA – 12 V (Phoenix)
- 01 régulateur Victron MPPT 75/15
- 02 batteries GEL de Victron 165 Ah

- 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux
- Support panneau et support batterie

2. Kit Zeta (525 Wc/24 V)

Le système solaire à usage domestique ou commercial proposés fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 06 lampes LED, 06 téléphones portables, 01 téléviseur, 01 radio, 01 réfrigérateur, 01 ordinateur et 05 brasseurs.

Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 25 en annexe nous donne des informations exactes sur le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner le dit kit.

- **Choix du module :**

Nous avons utilisé 03 modules poly cristallin de référence SPP041751200 de 175 W du fabricant Victron dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 4.

- **Calcul du nombre de modules (N_m)**

$$N_m = \frac{525}{175} = 3$$

- **Puissance totale à installer**

$$P_o = 3 * 175 = 525 W_c$$

- **Choix de convertisseurs de charge**

Nous avons donc choisi **01 convertisseur Victron 800 VA** dont les caractéristiques résumées sont consignées dans le Tableau 7 :

Tableau 7 : Caractéristiques du convertisseur 800 VA

Puissance en continu à 40°C (W)	560 W
Plage DC d'entrée MPPT (V)	[18.4 ; 34]
Rendement maximal %	90
Fréquence de fonctionnement (Hz)	[50 ; 60]

- **Vérification du ratio de performance (R) :**

$$R = \frac{560}{525} = 1.1 \quad \text{OK}$$

Le ratio de puissance se situe dans la plage admise, cette condition est donc vérifiée.

- **Choix des régulateurs de charge**

Le choix s'est donc porté sur 1 régulateur de charge de marque **Smart Solar du fabricant Victron MPPT 75/15**. Les caractéristiques résumées du contrôleur de charge sont données dans le Tableau 6.

- **Vérification de la tension**

$$V_{ch} = 21.9 * 3 = \mathbf{65.7\ V} < 75\ V \quad \text{OK}$$

La tension de notre champ PV est inférieure à la tension maximale admissible de notre régulateur de charge. Cette condition est donc vérifiée.

- **Vérification du courant**

$$I_{ch} = 1 * 10.24 = \mathbf{10.24\ A} < 15\ A \quad \text{OK}$$

- **Choix des batteries**

Le nombre de batteries en série (N_s):

$$N_s = \frac{24}{12} = 2$$

Le nombre de string de batteries (N_{batp}):

$$N_{batp} = \frac{241.25}{130} = 1.99 \simeq 2$$

Nous aurons 01 parc de batteries ayant 02 branches de 02 batteries en séries.

Configuration retenue

- 03 modules 175 W du fabricant Victron
- 01 convertisseur Victron 800 VA – 12 V(Phoenix)
- 01 régulateur Victron MPPT 75/15
- 04 batteries GEL de Victron 130 Ah
- 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux
- Support panneau et support batterie

3. Kit Eta (950 Wc/24 V)

Dans ce cas, le système solaire proposé fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 04 lampes LED, 01 téléviseur, 01 réfrigérateur 200L et 03 brasseurs.

Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 26 en annexe nous donne des informations exactes sur le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner ledit kit.

- **Choix du module :**

Nous avons utilisé les modules poly cristallin de référence **SPP04233002400** de 330W du fabricant Victron dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 8 :

Tableau 8 : Caractéristiques du module 330 W de Victron

Référence : SPP043302400	
P _{mpp} (W)	330
V _{mpp} (V)	37.3
V _{oc} (V)	44.72
I _{sc} (A)	9.57
I _{mpp} (A)	8.8

- **Calcul du nombre de modules (N_m)**

$$N_m = \frac{950}{330} = 3$$

- **Puissance totale à installer**

$$P_o = 3 * 330 = 990 \text{ W}$$

- **Choix de convertisseurs de charge**

Nous avons donc choisi 01 convertisseur de Victron 1200 VA/24 V (Phoenix) dont les caractéristiques résumées sont consignées dans le Tableau 9.

Tableau 9

Tableau 9 : Caractéristiques du convertisseur Phoenix

Puissance en continu à 40°C (W)	850 W
Plage DC d'entrée MPPT (V)	[18.4 ; 34]
Rendement maximal %	91
Fréquence de fonctionnement (Hz)	[50 ; 60]

- **Vérification du ratio de performance (R) :**

$$R = \frac{850}{990} = 0.9 \quad \text{OK}$$

La condition est donc vérifiée.

- **Choix des régulateurs de charge**

Le choix s'est donc porté sur 01 régulateur de charge de marque **Smart Solar MPPT 150/35 du fabricant Victron**. Les caractéristiques résumées du contrôleur de charge sont données dans le Tableau 10 :

Tableau 10 : Caractéristiques du régulateur de charge MPPT 150/35

Reference	MPPT 150/35
Puissance maximale PV (W)	1000
Courant de charge nominal (A)	35
Tension maximale (V)	150
Courant maximal de court-circuit PV (V)	40
Rendement Maximal	99%

La tension système du champ PV doit donc être inférieure à la tension maximale admissible de notre régulateur.

- **Vérification de la tension**

$$V_{ch} = 44.72 * 3 = \mathbf{134.16\ V} < 150\ V \quad \mathbf{OK}$$

La tension de notre champ PV est inférieure à la tension maximale admissible de notre régulateur de charge. Cette condition est donc vérifiée.

- **Vérification du courant**

$$I_{ch} = 1 * 9.57 = \mathbf{9.57\ A} < 40\ A \quad \mathbf{OK}$$

- **Choix des batteries**

Le nombre de batteries en série (N_s):

$$N_s = \frac{24}{12} = 2$$

Le nombre de string de batteries (N_{batp}) :

$$N_{batp} = \frac{451.56}{220} = 2.05 \simeq 2$$

Ainsi la capacité réelle sera :

$$C_{bat_r}(Ah) = 4 * 220 = 880\ Ah$$

Nous aurons 1 parc de batteries ayant 02 branches de 02 batteries en séries.

Configuration retenue

- 03 modules de 330 W du fabricant Victron
- 01 convertisseur Victron Phoenix 1200 VA – 24 V
- 01 régulateur de charge Victron MPPT 150/35
- 04 batteries GEL de Victron 220 Ah
- 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux
- Support panneau et support batterie

4. Kit Theta (1500 Wc/24 V)

Le système solaire proposé fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 05 lampes LED, 01 téléviseur, 01 réfrigérateur 200 L et 04 brasseurs.

Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 27 en annexe nous donne des informations exactes sur le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner le dit kit.

- **Choix du module :**

Nous avons utilisé les modules poly cristallin de référence SPP032602000 de 260 W du fabricant Victron dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Caractéristiques du module 260W

Référence : SPP032602000	
P _{mpp} (W)	260
V _{mpp} (V)	30
V _{oc} (V)	36.75
I _{sc} (A)	9.30
I _{mpp} (A)	8.66

- **Calcul du nombre de modules (N_m)**

$$N_m = \frac{1500}{260} = 6$$

- **Puissance totale à installer**

$$P_o = 6 * 260 = 1560 \text{ Wc}$$

- **Choix de convertisseurs de charge**

Nous avons donc choisi **01 convertisseur Phoenix Smart 24/2000** dont les caractéristiques résumées sont consignées dans le Tableau 12 :

Tableau 12:Caractéristiques du convertisseur Phoenix Smart 24/2000

Puissance en continu à 40°C (W)	1450
Plage DC d'entrée MPPT (V)	[18.6 ; 34]
Rendement maximal %	94
Fréquence de fonctionnement (Hz)	[50 ; 60]

- **Vérification du ratio de performance (R) :**

$$R = \frac{1450}{0.94 * 1560} = 0.99 \quad \textbf{OK}$$

Le ratio de puissance se situe dans la plage admise, cette condition est donc vérifiée. Il faut noter ici que le ratio de performance est calculé par sous champ.

- **Choix des régulateurs de charge**

Le choix s'est donc porté sur 01 régulateur de charge de marque **Smart Solar MPPT 100/30** du fabricant **Victron**. Les caractéristiques résumées du contrôleur de charge sont données dans le Tableau 13:

Tableau 13:Caractéristiques du régulateur de charge MPPT 100/30

Reference	MPPT 100/30
Puissance maximale PV (W)	880
Courant de charge nominal (A)	30
Tension maximale (V)	100
Courant maximal de court-circuit PV (A)	35
Rendement Maximal	98%

- **Vérification de la tension**

$$V_{ch} = 36.75 * 2 = \mathbf{73.5\ V} < 100\ V \quad \mathbf{OK}$$

La tension de notre champ PV est inférieure à la tension maximale admissible de notre régulateur de charge. Cette condition est donc vérifiée.

- **Vérification du courant**

$$I_{ch} = 3 * 9.30 = \mathbf{27.9} < 35\ A \quad \mathbf{OK}$$

- **Choix des batteries**

Le nombre de batteries en série (N_s):

$$N_s = \frac{24}{12} = 2$$

Le nombre de string de batteries (N_{batp})

$$N_{batp} = \frac{703.13}{165} = 5.4 \simeq 6$$

Nous aurons 1 parc de batteries ayant 06 branches de 02 batteries en séries.

Configuration retenue

- 01 champ composé de 03 strings et chaque string est constitué de 02 modules en série de 260 W de Victron.
- 01 convertisseur Victron Phoenix Smart 24/2000
- 01 régulateur de charge Victron MPPT 100/30

- 12 batteries GEL de Victron 165 Ah
- 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux
- Support panneau et support batterie

5. Kit Lambda (2200 W/48 V)

Ce système solaire proposé fournit suffisamment d'énergie pour alimenter 08 lampes LED, 02 téléviseurs, 01 réfrigérateur 200L, 01 fer à repasser, 03 climatiseurs, 01 ordinateur, 01 radio et 05 brasseurs.

Calcul et détermination des paramètres techniques

Le Tableau 28 en annexe nous donne des informations exactes sur le calcul des différents paramètres nécessaires pour dimensionner ledit kit.

- **Choix du module :**

Nous avons utilisé les modules poly cristallin de référence SPP042702000 de 270 W du fabricant Victron dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 14 :

Tableau 14 : Caractéristiques du module de 270 W

Référence : SPP042702000	
P _{mpp} (W)	270
V _{mpp} (V)	31.7
V _{oc} (V)	38.04
I _{sc} (A)	9.21
I _{mpp} (A)	8.52

- **Calcul du nombre de modules (N_m)**

$$N_m = \frac{2200}{270} = 8$$

- **Puissance totale à installer**

$$P_o = 8 * 270 = 2\,160\, W_c$$

- **Choix de convertisseurs de charge**

Nous avons donc choisi **01 convertisseur Phoenix Smart 48/3000** dont les caractéristiques résumées sont consignées dans le Tableau 15 :

Tableau 15 : Caractéristiques du convertisseur Phoenix Smart 24/2000

Puissance en continu à 40°C (W)	2200
Plage DC d'entrée MPPT (V)	[37.2 ; 68]
Rendement maximal %	95
Fréquence de fonctionnement (Hz)	[50 ; 60]

- **Vérification du ratio de performance (R) :**

$$R = \frac{2200}{0.95 * 8 * 270} = 1.07 \quad \text{OK}$$

Le ratio de puissance se situe dans la plage admise, cette condition est donc vérifiée. Il faut noter ici que le ratio de performance est calculé par sous champ.

- **Choix des régulateurs de charge**

Le choix s'est donc porté sur 01 régulateur de charge de marque **Smart Solar du fabricant Victron MPPT 250/60**. Les caractéristiques résumées du contrôleur de charge sont données dans le Tableau 16 :

Tableau 16 : Caractéristiques du régulateur de charge MPPT 250/60

Reference	MPPT 250/60
Puissance maximale PV (W)	1720
Courant de charge nominal (A)	60
Tension maximale (V)	250
Courant maximal de court-circuit PV (V)	35
Rendement Maximal	99%

- **Vérification de la tension**

$$V_{ch} = 38.04 * 4 = \mathbf{152.16\ V} < 250\ V \quad \text{OK}$$

La tension de notre champ PV est inférieure à la tension maximale admissible de notre régulateur de charge. Cette condition est donc vérifiée.

- **Vérification du courant**

$$I_{ch} = 2 * 9.21 = \mathbf{18.42\ A} < 35\ A \quad \text{OK}$$

- **Choix des batteries**

Le nombre de batteries en série (N_s):

$$N_s = \frac{48}{12} = 4$$

Le nombre de string de batteries (N_{batp})

$$N_{batp} = \frac{512.22}{220} = 2.33 \simeq 3$$

Nous aurons 1 parc de batteries ayant 3 branches de 4 batteries en séries.

 Configuration retenue

- 01 champ constitué de 02 strings de 04 modules chacun de 270W_c du fabricant Victron
- 01 convertisseur Victron Phoenix Smart 48/3000
- 01 régulateur de charge Victron MPPT 250/60
- 12 batteries GEL de Victron 220 Ah
- 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux
- Support panneau et support batterie

❖ **Conclusion : rappel des principaux résultats**

Dans ce cas, nous avons eu à proposer des kits de plus grande puissance fonctionnant en AC.

Le tableau suivant montre un récapitulatif des principaux résultats obtenus.

Tableau 17:Récapitulatifs des résultats des kits de la gamme AC

TYPE	CARACTERISTIQUES
Kit Delta (350 W_c /12 V)	• 02 modules de 175 W • 01 convertisseur Victron 500 VA -12 V (Phoenix) • 01 régulateur Victron MPPT 75/15 • 02 batteries GEL de VICTRON 165 Ah • 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux
Kit Zeta (525 W_c / 24 V)	• 03 modules de 175 W_c • 01 convertisseur Vivtron 800 VA – 12 V (Phoenix) • 01 régulateur Victron MPPT 75/15 • 04 batteries GEL de Victron 130 Ah • 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux • Support panneaux et support batterie

Kit Eta (950 W_c / 24 V)	• 03 modules de 330 W_c • 01 convertisseur Victron Phoenix 1200 VA – 24 V • 01 régulateur de charge Victron MPPT 150/35 • 04 batteries GEL de Victron 220 Ah • 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux • Support panneau et support batterie
Kit Theta (1500 W_c / 24 V)	• 06 modules de 260 W_c • 01 convertisseur Victron Phoenix Smart 24/2000 • 01 régulateur de charge Victron MPPT 100/30 • 12 batteries GEL de Victron 165 Ah • 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux • Support panneau et batteries
Kit Lambda (2200 W_c / 48 V)	• 08 modules de 270 W_c • 01 convertisseur de charge Victron Phoenix Smart 48/3000 • 01 régulateur de charge Victron MPPT 250/60 • 12 batteries GEL de Victron de 220 Ah • 01 paire de câble de 5 m pour la connexion des panneaux • Support panneau et batteries

III.3 Logiciel de dimensionnement rapides des kits

III.3.1 Présentation du logiciel

Après plusieurs enquêtes effectuées dans les entreprises qui commercialisent les kits PAYG à Ouagadougou, nous avons constatés que leurs soucis majeurs résident au niveau du dimensionnement manuel de ces kits en fonction du besoin du client. Cela leur prend énormément de temps et il y a même possibilité de faire des erreurs.

C'est ainsi que nous avons proposé à l'entreprise de réaliser un logiciel avec "Qt creator" permettant de faire le dimensionnement de façon automatique du kit solaire.

"Qt creator" est un environnement de développement intégré multiplateforme faisant partie du framework Qt. Il permet de développer en c++.

Dans le cadre de ce projet, nous allons utiliser ce logiciel pour vérifier le dimensionnement de nos kits effectués de façon manuelle. Les étapes de dimensionnement en utilisant ce logiciel sont les suivantes :

Informations client



Figure 9: Premier fenêtre du logiciel (information client)

Après ouverture du logiciel, c'est cette fenêtre qui s'affiche où l'ingénieur de l'entreprise en charge du projet remplit les informations sur le client comme le nom, prénom, numéro de téléphone, lieu de résidence, sexe et le type de kit qui correspond aux besoins du client (soit DC ou AC)

Par la suite, l'utilisateur clique sur le bouton "Dimensionnement". La fenêtre suivante va apparaître comme représenter dans la Figure 10.

Estimation du besoin énergétiques

Estimation du besoin en Energie

Equipements



	Qté	Puissance[W]	Temps d'utilisation[h]
Lampe LED ▼	0	0,00	0,00
Lampe LED ▼	0	0,00	0,00
Lampe LED ▼	0	0,00	0,00
Lampe LED ▼	0	0,00	0,00
Lampe LED ▼	0	0,00	0,00
Lampe LED ▼	0	0,00	0,00

Paramètres

Jraut [Jr] 0,00

Ensoleillement H 0,00

Vsystème[V] 0,00

DM 0,00

PR 0,00

RBat 0,00

Calculer

Figure 10: Fenêtre permettant d'avoir le besoin énergétique de l'installation

A ce niveau, l'ingénieur peut entrer les équipements des clients avec leurs quantités, puissance, et temps d'utilisation.

Par la suite, il entre également les paramètres tel que le nombre de jours d'autonomie (Jr), l'ensoleillement (H), la tension du système ($V_{\text{système}}$), la profondeur de décharge (DM), le ratio de performance (PR), le rendement de la batterie (R_{bat}).

Ces paramètres vont permettre au programme de calculer la puissance crête de l'installation et la capacité de la batterie.

Après avoir renseigné ces paramètres, l'ingénieur clique sur le bouton "calculer" pour avoir les différentes valeurs des paramètres.

Choix du module, régulateur et convertisseur de charge

Figure 11: Fenêtre permettant d'avoir la configuration du champ

A cette étape, l'ingénieur fait le choix du module qu'il désire utiliser pour l'installation. Une fois le choix a été fait, il donne la configuration de son champ (nombre de modules en séries et en parallèle)

La prochaine étape est de faire le choix du type de batteries qui convient à l'installation.

Ensuite le choix du régulateur et convertisseur de charge sont faits. Après ce choix l'utilisateur vérifie la compatibilité du régulateur et convertisseur de charge en cliquant sur le bouton "compatibilité". Si aucun message d'erreur apparaît à l'écran, cela signifie que le dimensionnement est correct. Finalement l'utilisateur clique sur le bouton "Générer un rapport" pour avoir un rapport détaillé en version "pdf" où il peut enregistrer dans un emplacement de son choix dans son PC.

III.3.2 Exemple de dimensionnement d'un kit en utilisant le logiciel

▪ Cas pratique : Kit Zeta (525Wc)

Nous avons procédé au dimensionnement en remplissant ses caractéristiques dans le logiciel. Après avoir rempli les équipements et les paramètres de dimensionnement, nous avons obtenus les grandeurs et la configuration suivante :

Tableau 18: Caractéristiques kit Zeta

Besoin énergétique (Wh)	2316	Configuration retenue
Puissance crête (W)	512.11	03 module de 175 W
Capacité de stockage (Ah)	241.25	01 régulateur MPPT 75/15 01 convertisseur Phoenix 800 VA 04 batteries de 130Ah

Outil de dimensionnement rapide des kits

E&S Energy and Services **victron energy BLUE POWER** **E&S Energy and Services**



Informations client

Nom: NDE SIKADIE

Prénom: Stephane Landry

Numéro: +226 749 308 78

Lieu: 2IE Ouagadougou

Type de kit: ☒ Kit AC

☐ Homme
☐ Femme

Dimensionnement

Estimation du besoin en Energie



Equipements

	Qté	Puissance[W]	Temps d'utilisation[h]
Télévision	1	45,00	6,00
Brasseur	3	75,00	6,00
Lampe LED	6	9,00	6,00
Ordinateur	1	100,00	3,00
Radio	1	3,00	4,00
Téléphone	6	2,00	5,00

Paramètres

Jraut [Jr]: 1,00

Ensoleillement H: 6,03

Vsystème[V]: 24,00

DM: 0,50

PR: 0,75

RBat: 0,80

Calculer

Choix du module, du régulateur et du convertisseur

Besoin [Wh]: 2316 Puissance crête[W]: 512.106 Capacité de stockage[Ah]: 241.25 Nm: 3

Module: SPP041751200/175W/18.3V-21.9V/9.56A-10.24A

Batterie: BAT412550104 130Ah/12V

Régulateur: BlueSolar MPPT 75V/15A/12-24V

Convertisseur: Phoenix 800VA/560W

Configuration du champ

Modules en series: 3

Modules en parallèles: 1

Compatibilité?

Générer un rapport

Figure 12: Dimensionnement du kit INDIGO avec le logiciel

Par la suite, nous avons généré le rapport suivant sous format pdf présenté à la Figure 13 suivante :



Energy & Services
Ouagadougou, Pissi, Rue Boassa
(00226) 70 69 33 50

Fait à Ouagadougou le 11.08.2020

◆INFORMATIONS SUR LE CLIENT

Nom: Mr. NDE SIKADIE
 Prenom(s): Stephane Landry
 Lieu: 2IE Ouagadougou
 Numero: +22674930878
 Type de kit: Kit AC

◆INFORMATIONS SUR LE CHAMP SOLAIRE

Puissance Totale [W]: 525

Modèle du module: SPP041751200
 Puissance [W]: 175
 Nombre de modules: 3
 Modules en série: 3
 Module en parallèle: 1

◆INFORMATIONS SUR LE STOCKAGE

Capacité Totale [Ah]: 260

Modèle de Batterie: BAT412121100
 Capacité [Ah]: 130
 Tension d'une batterie: 12
 Nombre de batterie: 2

◆INFORMATIONS SUR LE REGULATEUR DE CHARGE

Modèle du Régulateur: MPPT100/15
 Puissance [W]: 440
 Tension maximale d'entrée[V]: 100
 Courant maximal d'entrée[A]: 15

◆INFORMATIONS SUR L'ONDULEUR

Modèle de l'Onduleur: PhoenixSmart12/24/48/800
 Puissance Apparente [VA]: 800
 Puissance active à 40*[W]: 560

◆RECAPITULATIF DES BESOINS

Energie totale [Wh]: 2316

Désignation	Qté	Puissance[W]	Temps de fonctionnement	Energie[Wh]
Télévision	1	45	6	270
Brasseur	3	75	6	1350
Lampe LED	6	9	6	324
Ordinateur	1	100	3	300
Radio	1	3	4	12
Téléphone	6	2	5	60

Figure 13: Rapport de dimensionnement du kit Zeta

Remarque :

Nous pouvons constater que le dimensionnement de l'installation en utilisant le logiciel est quasiment identique au dimensionnement que nous avons fait de façon manuel. Nous pouvons donc conclure que ce logiciel est acceptable et sera utilisable dans le but de faciliter la tâche de l'ingénieur ou le commercial de l'entreprise qui va travailler sur ce projet.

IV. ÉTUDE FINANCIÈRE, TECHNICO-ECONOMIQUE ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL DU PROJET

Dans cette partie, nous allons dans un premier temps élaborer les hypothèses qui nous permettront de déterminer le coût de nos différents kits DC et AC. Ensuite nous allons déterminer le prix de ces kits. Après cela nous allons calculer la rentabilité du projet à l'entreprise.

IV.1 Hypothèse de la détermination du coût

Dans le cadre de ce projet qui apportera une référence à l'entreprise en matière de commercialisation des kits PAYG, nous avons décidé de simplifier le business plan. Pour cela, nous avons considéré les hypothèses suivantes :

- Premièrement, nous avons fixé le nombre de kits vendus par an à 1000
- Le coût de risque (CR) du matériel est considéré égal à 20% du coût du matériel (CM).
- Le prix de la moto et du matériel de travail du technicien sera étalonné sur 05 ans.

IV.2 Études des coûts de chaque solution proposée

IV.2.1 Kits DC

Nous avons évalué le coût des kits en utilisant le raisonnement suivant :

$$CT = CM + CR + CF + CP + CC \quad (12)$$

Avec ;

CT ; coût total d'un kit

CR ; coût de risque d'un kit

CF ; Coût fixe de la plateforme par kit

CP ; coût de la plateforme par kit

CC ; coût des charges liées au bon déroulement du projet

Où

$$CR = 0.2 * CM \quad (13)$$

$$CF = \frac{\text{Coût fixe de la plateforme}}{2 * \text{nombre de kits vendus par an}} \quad (14)$$

$$CP = \frac{\text{Coût de la plateforme par an} + \text{coût du nombre de kits vendus par an}}{\text{nombre de kits vendus par an}} \quad (15)$$

$$CC = \frac{\left(\frac{PM}{5}\right) + \left(\frac{ET}{5}\right) + BC + ST + FL}{n} \quad (16)$$

Avec :

PM ; prix de la moto de service du technicien étalonné sur 5 ans

ET ; Coût de l'équipement du technicien

BC ; Bond de carburant du technicien par an

ST ; Salaire du technicien par an

FL ; Frais de location du local par an

n ; nombre de kits vendus par an

Remarque :

- Le coût de la plateforme du kit est défini comme le prix pour maintenir la plateforme active plus le coût par installation active sur la plateforme chaque mois. Le prix pour maintenir la plateforme active est égale à \$100 USD par mois et chaque installation qui est active sur la plateforme par mois coûte \$0.29 USD.
- Le coût fixe de la plateforme représente les frais de débarquement de la plateforme. Ces frais s'élèvent à \$ 500 USD payable une seule fois avant le lancement des activités.
- Le facteur risque (coût du risque) est un prix de sécurité qui est alloué à un produit (kit) afin d'amortir les effets d'une situation imprévu.
- Notons ici que le coût fixe de la plateforme sera amorti pendant 02 ans d'où le "2" au dénominateur (équation 14) dans la formule du coût fixe de la plateforme par kit. Après ces 02 ans, le coût fixe de la plateforme ne sera plus inclus dans le coût total du kit. Donc la formule pour évaluer le coût total du kit deviendra ;

$$CT = CM + CR + CP + CC \quad (17)$$

Le Tableau 31 illustre clairement les hypothèses et calculs utilisées pour déterminer le coûts des kits DC en utilisant la plateforme PAYGOPS. Le prix et conditions de vente de ces kits sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 19: Prix et conditions de PAYG / Gamme DC

PRIX ET CONDITIONS DE PAYG / GAMME DC BURKINA FASO	
Alpha • 01 contrôleur de charge SHS de Victron • 01 batterie Victron de 90 Ah • 02 panneaux de 50 Wc • 01 paire de câble de 2*6mm² • Supports panneaux et batteries • 01 télévision de 32" • 01 ventilateur à pieds de 15 W • 04 lampes LED de 3 W • Peut supporter : - 04 lampes LED de 3 W pendant 10 h - 01 télévision de 10 W pendant 10 h - 01 ventilateur à pieds de 15 W pendant 10 h	Conditions • Frais d'installation : 140 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 31 425 FCFA ❖ 2 ANS : 16 625 FCFA ❖ 3 ANS : 11 7000 FCFA
Beta • 01 contrôleur de charge SHS de Victron • 01 batterie Victron de 130 Ah • 02 panneaux de 50 Wc • 01 paire de câble de 2*6 mm² • Support panneaux et batteries • 01 télévision de 32" • 01 ventilateur à pieds de 15 W • 04 lampes LED de 3 W • Peut supporter :	Conditions • Frais d'installation : 180 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 40 875 FCFA ❖ 2 ANS : 21 650 FCFA ❖ 3 ANS : 15 225 FCFA

- 06 lampes LED de 3 W pendant 12 h - 01 télévision de 10 W pendant 14 h - 01 ventilateur à pieds de 15 W pendant 12 h - 01 radio de 3 W pendant 3 h	
Gamma • 01 contrôleur de charge SHS de Victron • 01 batterie Victron de 220 Ah • 04 panneaux de 50 Wc • 01 paire de câble de 2*6mm² • Support panneaux et batteries • 01 télévision de 32" • 01 ventilateur à pieds de 15 W • 04 lampes LED de 3 W • Peut supporter : - 04 lampes LED de 3 W pendant 8 h - 01 télévision de 10 W pendant 8 h - 01 ventilateur à pieds de 15 W pendant 8 h - 01 réfrigérateur CC de 100 W pendant 6 h	Conditions • Frais d'installation : 220 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 49 550 FCFA ❖ 2 ANS : 26 275 FCFA ❖ 3 ANS : 18 500 FCFA

IV.2.2 Kits de la gamme AC

Pour rappel nous allons utiliser la plateforme MyJoule Box pour le control et la gestion des installations en AC. Il est important de noter qu'il y a une légère différence dans détermination du coût des kits de cette gamme. La différence est au niveau du coût fixe de la plateforme qui est gratuit.

Donc, nous avons évalué le coût des kits en utilisant le raisonnement suivant :

$$CT = CM + CR + CP + CC \quad (18)$$

Avec CT, CM, CR, CC, CP ayant les mêmes significations que dans le cas Précédent. Les autres paramètres restent identiques à ceux des kits de la gamme DC.

Le Tableau 32 illustre clairement les hypothèses et calculs utilisées pour déterminer le coût des kits de la gamme AC en utilisant la plateforme MyJoule Box. Le prix et conditions de vente de ces kits sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 20: Prix et conditions de PAYG / Gamme AC

PRIX ET CONDITIONS DE PAYG BURKINA FASO / Gamme AC	
Delta • 02 modules de 175 W • 01 convertisseur de charge Victron 500 VA/12 V • 01 régulateur de charge Victron MPPT 75/15 • 01 batterie GEL Victron de 220 Ah • 01 paire de câble de 5m • Support panneaux et batteries • Peut supporter - 01 télévision de 45 W pendant 4 h - 06 lampes LED de 3 W pendant 6h - 03 brasseurs de 75 W pendant 3 h - 01 ordinateur de 100 W pendant 3 h	Conditions • Frais d'installation : 290 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 66 400 FCFA ❖ 2 ANS : 35 200 FCFA ❖ 3 ANS : 24 800 FCFA
Zeta • 03 modules de 175 W	Conditions • Frais d'installation : 470 000 FCFA

• 01 convertisseur de charge Victron 800 VA/12 V • 01 régulateur de charge Victron MPPPT 75/15 • 02 batteries GEL Victron de 90 Ah • 01 paire de câble de 5 m • Support panneaux et batteries • Peut supporter - 01 télévision de 45 W pendant 6h - 06 lampes LED de 9 W pendant 6h - 03 brasseurs de 75 W pendant 6 h - 01 ordinateur de 100 W pendant 3 h - 01 radio de 3 W pendant 4 h	• Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 105 000 FCFA ❖ 2 ANS : 55 725 FCFA ❖ 3 ANS : 39 300 FCFA
Eta • 03 modules de 330 W • 01 convertisseur de charge Victron 1200 VA/12 V • 01 régulateur de charge Victron MPPPT 150/35 • 02 batteries GEL Victron de 165 Ah • 01 paire de câble de 5m • Support panneaux et batteries • Peut supporter - 01 télévision de 45 W pendant 4 h	Conditions • Frais d'installation : 730 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 162 650 FCFA ❖ 2 ANS : 86 350 FCFA ❖ 3 ANS : 60 900 FCFA

- 04 lampes LED de 9 W pendant 5 h - 03 brasseurs de 75 W pendant 3 h - 01 réfrigérateur de 300 W pendant 11 h	
Theta • 06 modules de 260 Wc • 01 convertisseur de charge Victron "Phoenix Smart 24/2000 • 01 régulateur de charge Victron MPPPT 100/30 • 02 batteries GEL Victron de 220 Ah • 01 paire de câble de 5 m • Support panneaux et batteries • Peut supporter - 01 télévision de 45 W pendant 4 h - 05 lampes LED de 9 W pendant 6 h - 04 brasseurs de 75 W pendant 6 h - 01 réfrigérateur de 300 W pendant 15 h	Conditions • Frais d'installation : 1 350 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA • <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 301 000 FCFA ❖ 2 ANS : 159 850 FCFA ❖ 3 ANS : 112 775 FCFA
Lambda • 08 modules de 270 W	Conditions • Frais d'installation : 1945 000 FCFA • Frais de dossier : 5000 FCFA

• 01 convertisseur de charge Victron "Phoenix Smart 48/3000 • 01 régulateur de charge Victron MPPPT 250/60 • 04 batteries GEL Victron de 90 Ah • 01 paire de câble de 5 m • Support panneaux et batteries • Peut supporter - 02 télévisions de 45 W pendant 6 h - 08 lampes LED de 9 W pendant 7 h - 05 brasseurs de 75 W pendant 5 h - 01 réfrigérateur de 300 W pendant 15 h - 3 climatiseurs de 100 W pendant 2 h - 01 ordinateur de 100 W pendant 2 h - 01 radio de 3 W pendant 3 h	• <u>Redevance mensuelle</u> : ❖ 1 AN : 432 175 FCFA ❖ 2 ANS : 229 550 FCFA ❖ 3 ANS : 162 000 FCFA
---	--

Remarque :

Nous avons utilisé les relations suivantes pour établir les conditions de vente de nos kits ;

$$\bullet \quad FI + FD = 0.25 * CT \quad (19)$$

$$\bullet \quad RM \text{ par mois en 1 an} = \frac{(CT-FD-FI)}{12} \quad (20)$$

$$\bullet \quad RM \text{ par mois en 2 ans} = \frac{(CT-FD-FI)}{24} \quad (21)$$

$$\bullet \quad RM \text{ par mois en 3 ans} = \frac{(CT-FD-FI)}{36} \quad (22)$$

Avec ;

FI ; Frais d'installation du kit

FD ; Frais de dossier

CT ; Coût total du kit

RM ; Redevance mensuelle

IV.3 Le Plan de trésorerie prévisionnel

Le plan de trésorerie est un tableau qui permet de suivre l'équilibre financier de l'entreprise et l'évolution de ses disponibilités. L'utilisation d'un plan de trésorerie présente plusieurs intérêts pour l'entreprise :

- S'assurer que l'entreprise pourra faire face aux décaissements programmés sur les jours, semaines ou mois à venir.
- Evaluer la capacité de l'entreprise à financer son développement.

Dans le cadre de notre projet, nous avons déterminé la trésorerie sur 02 ans en tenant compte de certaines hypothèses.

IV.3.1 Hypothèses pour la détermination de la trésorerie

Pour bien mener cette étude, nous avons considéré les hypothèses suivantes :

- Nombre de kits vendus par an : 1000
- Pour faciliter les calculs, nous avons considéré les kits de même puissance (kit Alpha)
- Le paiement du kit par le client est échelonné sur 02 ans
- Les charges fixes sont la somme des charges du personnel, de l'immobilisation, des charges externes et des diverses dépenses
- Nous avons évalué les charges fixes à 3 356 072 FCFA par mois pendant la durée de vie du projet
- Le prix d'achat du matériel vaut 70% du prix de vente du matériel

Nous avons utilisé la formule suivante pour calculer la trésorerie

$$\textbf{Trésorerie} = \textbf{Décaissement} - \textbf{Encaissement} \quad \text{Avec ;} \quad (23)$$

Encaissement = Total de chiffre d'affaires (nombre de kits vendus sur 02 ans) et

Décaissement = Charges fixes plus achats effectués du matériel pendant les 02 ans.

Le Tableau 29 suivant nous donne un récapitulatif de la trésorerie de l'entreprise sur 02 ans.

IV.4 Calcul des indicateurs financiers du projet

IV.4.1 Taux de rendement interne (TRI)

Le TRI est le taux d'actualisation pour lequel la VAN d'un projet est nulle. Il permet d'établir le taux de rendement d'un projet à long-terme. Le calcul du TRI d'un projet de T périodes est le suivant [9]:

$$VAN = I_o + \frac{C_1}{1+TRI} + \frac{C_2}{(1+TRI)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+TRI)^T} = 0 \quad (24)$$

Règle de décision

On accepte le projet dont le TRI est supérieur au taux d'actualisation ($TRI > r$).

Pour calculer le taux de rendement interne de notre projet, nous avons fixé certaines hypothèses.

Hypothèses pour la détermination du taux de rendement interne

- Nombre de kits vendus par an : 1000
- Pour faciliter les calculs, nous avons considéré les kits de même puissance (kit Alpha)
- Le paiement du kit par le client est échelonné sur 02 ans.
- Le TRI est calculé sur une période de 10 ans
- Les charges fixes = charge du personnel + immobilisation + charges externes + divers
- Nous avons évalué les charges fixes = 3 356 072 FCFA pendant la durée de vie du projet
- Le prix de d'achat du matériel = 70% du prix de vente du matériel
- Le chiffre d'affaire augmente de 5% après la 2ème année à cause de la notoriété de l'activité

Le Tableau 30 nous donne un récapitulatif du TRI du projet sur 10 ans. Nous pouvons remarquer que le TRI est égal à **35 %**.

Cette valeur représente le taux d'actualisation pour lequel la $VAN = 0$. Cela signifie que si le projet est actualisé à un coût du capital inférieur au TRI, la VAN du projet sera positive, au cas contraire elle sera négative.

Donc nous pouvons conclure que le TRI est un outil très essentiel dans l'étude de faisabilité d'un projet car il aide à fixer le seuil du taux d'actualisation du dit projet.

IV.4.2 Valeur actuelle net (VAN)

La valeur actuelle d'un projet est la somme des cash-flows (CF) futurs que le projet générera pendant sa durée de vie actualisée au coût d'opportunité du capital (taux moyen en vigueur sur le marché financier) (r) moins l'investissement initial (I_0) du projet [9].

Le calcul de la VAN a été calculé avec les mêmes hypothèses que celle du TRI en utilisant la formule suivante :

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (25)$$

Calcul du taux d'actualisation

Le taux d'actualisation est le taux qui permet d'estimer la valeur actuelle net d'une somme d'argent future à l'état actuel. Ce taux peut être nominal ou réel du fait qu'on tienne compte ou pas du taux d'indexation des produits et du taux d'inflation.

Le taux d'actualisation réel (r) se calcul de la façon suivante [10]:

$$r = \frac{1+i}{(1+e)(1+a)} \quad (26)$$

Avec ;

i ; Taux d'intérêt nominal (%), c'est le taux avec lequel une banque accorde un prêt à une personne physique ou morale pour la réalisation.

a ; Taux d'inflation (%), l'inflation est la perte du pouvoir d'achat de la monnaie qui se traduit par une augmentation générale et durable des prix.

e ; Taux d'indexation (%), ce taux correspond à la variation d'indice de prix de la consommation d'un pays au cours d'une année financière.

Dans le cadre de notre travail, nous utiliserons les taux financiers suivant [11]:

- Taux d'intérêt nominal ; 13%
- Taux inflation ; 1%
- Taux d'indexation ; 2%

En utilisant ces hypothèses et l'équation 20, nous obtenons un taux d'actualisation réel de **9.68 %**. Le Tableau 30 en annexe illustre le détail des calculs de la VAN.

Règle de décision

On accepte le projet si la VAN est positive. Comme nous pouvons le constater dans le Tableau 30 nous avons une VAN d'environ **473 470 559 FCFA > 0**. Donc le projet est acceptable suivant ces hypothèses définies précédemment.

Notons aussi que certains critères de choix d'investissement autres que la VAN sont utilisés de façon courante par les firmes pour évaluer la valeur d'un projet. Parmi ces critères, on a le TRI qui respecte également ces trois caractéristiques. Par contre nous devons être attentifs à l'utilisation de ce critère de décision qui comporte quelques pièges.

Le TRI est donc un critère qui donne des résultats équivalents à ceux de la VAN s'il est utilisé de façon judicieuse.

IV.5 Notice d'impacts environnemental et social du projet

La mise en œuvre de ce projet ne peut se faire sans engendrer d'impacts aussi bien positifs que négatifs sur les hommes et l'environnement. Les différents impacts attendus sont les impacts sociaux, économiques et environnementaux.

IV.5.1 Les impacts Sociaux

Les différents impacts sociaux du projet sont :

- **Éducation** : A la maison, un meilleur éclairage permet aux enfants de faire leurs devoirs dans de bonnes conditions.
- **Santé** : L'électricité provoque moins d'accidents domestiques que le pétrole lampant ou les bougies, et permet d'éviter aux enfants d'inhaler les fumées des combustibles.
- **Sécurité** : L'éclairage favorise la lutte contre l'insécurité, notamment en réduisant le nombre de vols. La sécurité est d'ailleurs le bénéfice de l'électricité le plus souvent cité par la population.
- **Accès à l'information** : L'électrification donne aux ménages l'accès aux informations via la radio ou la télévision. La recharge sur place des téléphones portables facilite leur usage et les liens avec l'extérieur.

IV.5.2 Les impacts Économiques

Les impacts économiques du projet sont les suivants :

- **Développement de nouvelles activités** : L'électrification permet aussi de lancer de nouvelles activités pour lesquelles l'électricité est indispensable, comme la conservation

de produits agricoles avec le froid, ou leur transformation par des appareils électriques adaptés

- **Création d'emplois dédiés :** L'électrification crée des emplois locaux, que ce soit pour l'installation des équipements, mais aussi pour leur exploitation et gestion.
- **Réduction de la facture énergétique :** Le coût des services rendus (éclairage, radio, télévision, etc.) par l'électricité d'origine renouvelable est inférieur à celui de l'utilisation du pétrole lampant et des piles.
- **Accroissement du temps disponible :** Les activités domestiques, commerciales et artisanales peuvent être poursuivies après la tombée du jour grâce à l'éclairage. La qualité des travaux, des produits fabriqués et des services est améliorée, la sécurité est renforcée.

IV.5.3 Les impacts Environnementaux

- **Réduction de la pollution :** Dans des écosystèmes fragiles, le recours à des sources locales d'énergies renouvelables pour remplacer les énergies fossiles permet de réduire les pollutions dues aux piles ainsi qu'au transport et à l'utilisation de pétrole.

V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le projet soumis à notre étude porte sur le développement et la mise en œuvre d'une offre PAYG au Burkina Faso. Pour mener à bien notre travail, nous avons fait un état des lieux des systèmes PAYG en Afrique pour prendre connaissance des problèmes relatifs à ces systèmes. Nos résultats ont montré que certains états membres de l'Afrique de l'Ouest font des efforts considérables pour favoriser l'utilisation des kits. D'autre part, la croissance du marché des kits PAYG en Afrique de l'Ouest est soutenue par les pays comme le Burkina Faso, le Nigéria et le Sénégal. Cependant, cette étude nous a également permis de réaliser que la qualité du matériel utilisé est une contrainte au bon fonctionnement de la technologie PAYG. Ainsi, nous avons proposé des kits PAYG en utilisant le matériel de qualité du fabricant Victron Energy. Par la suite, l'identification et l'analyse des différentes plateformes et services de paiement à distance ont été effectuées. Nous avons donc identifié les trois plateformes suivantes ; PAYGEE, PAYGOPS et MyJoule Box.

D'autre part, une étude technique de notre projet a été effectuée. A l'issue de cette étude, nous avons proposé 2 gammes de kits, notamment les gammes DC et AC. Par la suite, nous avons conçu un logiciel avec l'aide de l'application Qt, via le langage de programmation C++, afin de permettre à l'ingénieur chargé du projet de l'utiliser pour dimensionner les installations solaires.

Enfin, nous avons effectué une analyse financière du projet. Les résultats suivants ont été obtenus à l'issue de cette analyse :

- Une VAN de 473 470 559 FCFA avec un TRI de 35%. De ces résultats, nous pouvons dire que le projet est réalisable car la VAN est positive.

En conséquence, les différentes approches abordées dans nos travaux mettent en exergue l'intérêt et le rôle du PAYG dans le développement économique et l'amélioration des conditions de vie des populations au Burkina Faso.

En guise de perspectives nous proposons à l'Etat burkinabé d'intégrer les kits solaires PAYG dans la stratégie d'électrification rurale nationale

Bibliographie

Ouvrages et articles

- [1] H. BOYE, Les énergies renouvelables, pour le développement des pays émergents, 2017.
- [2] Y. M. C. TOURE, «Les solutions d'électrification rurale en Afrique subsaharienne,» Documentation 2iE, Ouagagougou, 2019.
- [3] P. Jacquernot, Quand l'Afrique électrifie ses campagnes, 2015.
- [4] I. CONSULTING, Etat des lieux du marché des kits solaires en Afrique, 2018.
- [5] G. Industry, Powering Opportunity in West Africa, 2018.
- [6] O. LACROIX, Des techniques et organisationnels du déploiement de solutions solaires photovoltaïques d'accès à l'énergie en milieu rural au Mali, 2011.
- [7] I. d. l. F. p. l. d. durable, «Les systèmes prépayés pour l'accès à l'électricité,» 2018.
- [8] B. N. F. a. L. GLOBAL, «Off-grid solar market trends report,» 2016.
- [9] C. e. al, Méthodes avancées d'évaluation d'investissements, 2017.
- [10] S. SEMPORE, «Etude comparative de la viabilité des technologies de production d'électrification,» Documentation 2iE, Ouagadougou, 2014.
- [11] C. e. al, «On the policy of photovoltaic and diesel generation mix from an off-grid site : East Malaysian perspectives,» 12 03 2002. [En ligne]. [Accès le 06 10 2020].

Interviews

- M. Paul BERTHOMIEU, Manager de MyJoule Box, consulté le 05 Juin 2020.
- M. Ghislain NYAME, commercial de PAYGOPS, consulté le 25 Juin 2020.

ANNEXES

Sommaire des annexes

Annexe 1: Organigramme de l'entreprise Energy and Services	III
Annexe 2: Fiche techniques du module 50 W	XXVI
Annexe 3 : Fiche technique du convertisseur de charge SHS 200	XXVII
Annexe 4 : Fiche technique du module 175 W de Victron avec pour référence SPP041751200	XXVIII
Annexe 5: Fiche technique du régulateur de charge Smart Solar MPPT 75/15	XXIX
Annexe 6 : Fiche technique du convertisseur de charge Victron 500 VA, 800 VA et 1200 VA (Phoenix)	XXX
Annexe 7 : Fiche technique convertisseur de charge Phoenix Smart 24/2000 et 48/3000 et MPPT 150/35	XXXI
Annexe 8 : Fiche technique du régulateur de charge Smart Solar MPPT 100/30 et 250/60	XXXII

Annexe 1: Organigramme de l'entreprise Energy and Services

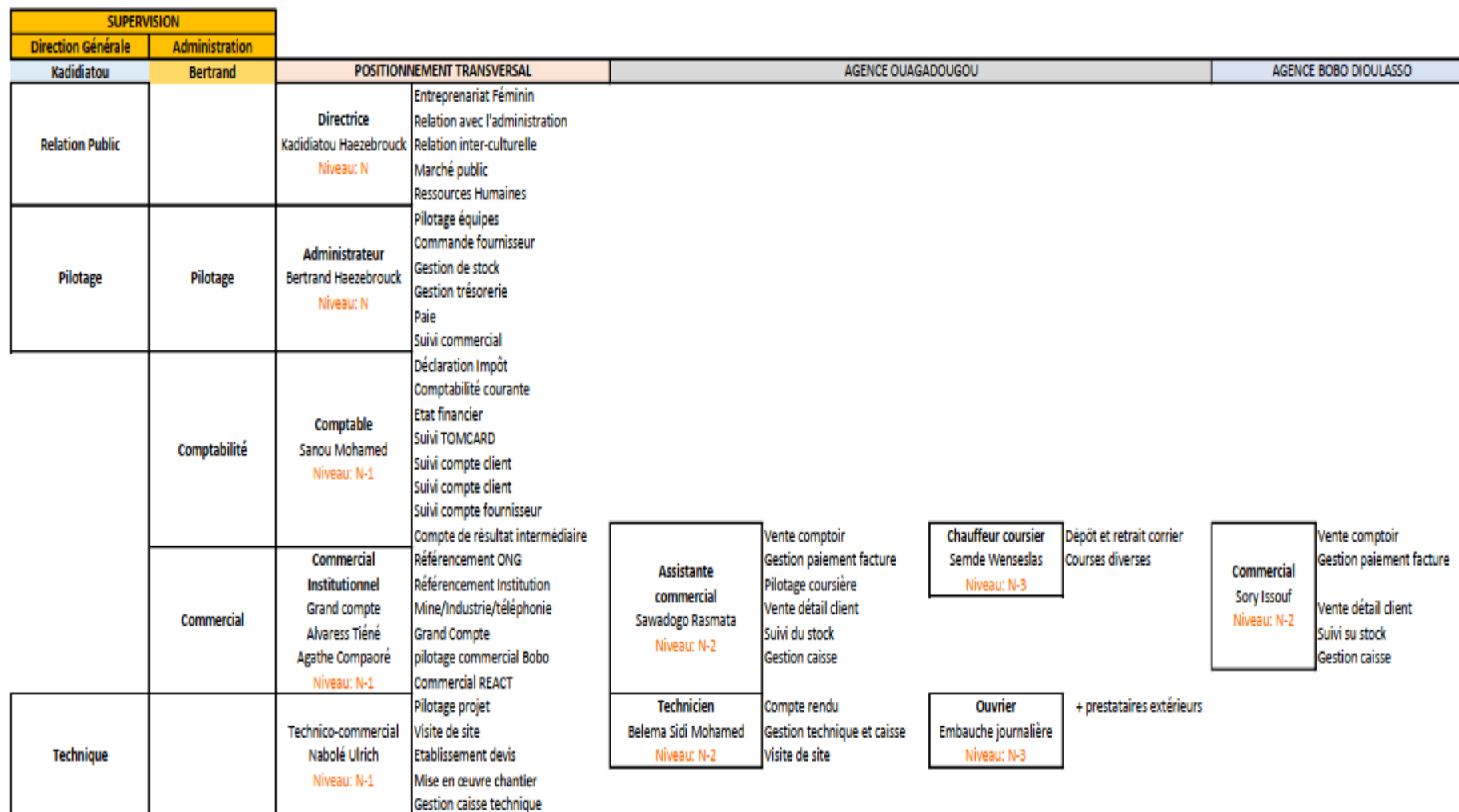


Tableau 21 : Dimensionnement du kit Alpha (100Wc)

Kit solaire Pay as you go 100Wc / 12 V						Configuration retenue				
Equip	Nbre	Puis Unitaire (W)	Durée utiles (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 50Wc de Victron	Nombre de régulateur SHS 200	Nombre de batteries GEL 90Ah	Calcul de la puissance de l'installation	Calcul de la capacité de la batterie
Lampe LED	3	3	10	9	90	2	1	1	101,42	74,17
Ventilateur sur pieds	1	15	10	15	150					
Chargeur de Téléphone	2	2	4	4	16					
Téléviseur	1	10	10	10	100					
Total				38	356					

Tableau 22 : Dimensionnement du kit Beta (150Wc)

Kit solaire Pay as you go 150Wc / 12 V						Configuration retenue				
Equip	Nbre	Puis Unitaire (W)	Durée utiles (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 50Wc de Victron	Nombre de régulateur SHS 200	Nombre de batteries GEL 130 Ah	Calcul de la puissance de l'installation	Calcul de la capacité de la batterie
Téléviseur	1	10	14	10	140	3	1	1	150,14	109,79
Lampe LED	5	3	12	15	180					
Radio	1	3	3	3	9					
Chargeur de Téléphone	3	2	3	6	18					
Ventilateur sur pieds	1	15	12	15	180					
Total		33		49	527					

Tableau 23 : Dimensionnement du kit Gamma (200W/12V)

Scénario 01 - Kit solaire Pay as you go 200Wc / 12 V						Configuration retenue				
Equip	Nbre	Puis Continue (W)	Durée utils (h/j)	Puis cont total (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 50Wc de Victron	Nombre de régulateur SHS 200	Nombre de batteries GEL 220 Ah	Calcul de la puissance de l'installation (Wc)	Calcul de la capacité de la batterie (Ah)
Téléviseur	1	10	8	10	80	4	1	1	185,75	135,83
Lampe LED	8	3	8	24	192					
Ventilateur sur pieds	3	15	8	45	360					
Chargeur de Téléphone	5	2	2	10	20					
Total		30		89	652					

Tableau 24 : Dimensionnement du kit Delta (350Wc /12V)

Scénario 01 - Kit solaire Pay as you go 450Wc / 12 V						Configuration retenue					
Equip	Nbre	Puis Unitaire (W)	Durée utils (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 150 Wc de Victron	Nombre de régulateur MPPT 75/15	Convertisseur VICTRON 375 VA-12V	Calcul de la puissance de l'installation	Calcul de la capacité de la batterie	Nombre de batteries de 90 Ah
Téléviseur	1	45	4	45	180	2	1	1	346,44	253,33	4
Brasseur	2	65	4	130	520						
Lampe	4	9	6	36	216						
Ordinateur	1	100	3	100	300						
Total		219		311	1216						

Tableau 25 : Dimensionnement du kit Zeta (525 W/24V)

Scénario 01 - Kit solaire Pay as you go 525Wc / 24 V						Configuration retenue					
Equip	Nbr e	Puis Unitaire (W)	Durée utils (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 175 Wc de Victron	Nombre de régulateur MPPT 75/15	Convertisseur VICTRON 5000VA - 24V	Calcul de la puissance de l'installatio n	Calcul de la capacité de la batterie	Nombre de batteries de 90 Ah
Téléviseur	1	45	6	45	270	3	1	1	520,23	190,21	2
Brasseur	2	75	6	150	900						
Lampe	6	9	6	54	324						
Ordinateur	1	100	3	100	300						
Radio	1	3	4	3	12						
Chargeur Téléphone	2	2	5	4	20						
Total		234		356	1826						

Tableau 26 : Dimensionnement du Kit Eta (950W/24V)

Scénario 04 - système solaire Pay as you go 950Wc / 24 V						Configuration retenue					
Equipements	Nbre	Puis Unitaire (W)	Durée utils (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 260 Wc de Victron	Nombre de régulateur MPPT 250/60	Convertisseur VICTRON 250 /60	puissance de l'installation	capacité de la batterie (Ah)	Nombre de batteries de 165 Ah
Lampe LED	1	9	5	9	45	4	1	1	952.99	418.13	3
Réfrigérateur 200L	1	300	11	300	3300						
Total				309	3345						

Tableau 27 : Dimensionnement du Kit Theta (1500W/24V)

Scénario 04 - système solaire Pay as you go 1500Wc / 24 V						Configuration retenue					
Equipements	Nbre	Puis Unitaire (W)	Durée utiles (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 260 Wc de Victron	Nombre de régulateur MPPT 250/60	Convertisseur Phoenix Smart 24 /2000	puissance de l'installation	capacité de la batterie (Ah)	Nombre de batteries de 220 Ah
Téléviseur	1	45	4	45	180	6	1	1	1523,08	668,25	2
Lampe LED	4	9	6	36	216						
Réfrigérateur 200L	1	300	15	300	4500						
Brasseur	1	75	6	75	450						
Total				456	5346						

Tableau 28 : Dimensionnement du Kit Lambda (2200W/48V)

Scénario 04 - système solaire Pay as you go 2200 Wc / 48 V						Configuration retenue					
Equipements	Nbre	Puis Unitaire (W)	Durée utiles (h/j)	Puis tot (W)	Energie Cons, (Wh/j)	Nombre de modules 270 Wc de Victron	Nombre de régulateur MPPT 250/60	Convertisseur VICTRON Phoenix smart - 48/3000	puissance de l'installation	capacité de la batterie	Nombre de batteries de 90 Ah
Téléviseur	2	45	6	90	540	8	1	1	2194,87	481,50	4
Lampe LED	5	9	7	45	315						
Réfrigérateur 200L	1	300	15	300	4500						
Fer a repassé	1	1000	1	1000	1000						
climatiseur	2	80	6	160	960						

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Ordinateur	3	100	2	300	2						
Radio	1	3	3	4	12						
Brasseur	1	75	5	75	375						
Total				1974	7704						

Tableau 29: Calcul de la trésorerie sur 02 ans

Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000												
Hypothèse 2	kit considéré = kit Alpha												
Hypothèse 3	Le paiement du kit est échelonné sur 02 ans												
Hypothèse 5	La charge fixe = charges de personnel + immobilisation+ charges externes + divers												
Hypothèse 6	le prix d'achat du matériel = 70% du prix de vente du matériel												
Nombre de kits installés (Après paiement des frais d'installations)an1	83	83	83	84	83	83	84	83	83	84	83	84	
Nombre de clients qui paie par mois (année 1)	83	166	249	333	416	499	583	666	749	833	916	1000	
Trésorerie (année 1)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Ventes des kit année 1	1299 9875	1437 9750	1575 9625	1729 6125	1853 6000	1991 5875	2145 2375	2269 2250	24072 125	2560 8625	26848 500	28385 000	2,48E +08
Nombre de kits installés (Après paiement des frais d'installations)an2	83	83	83	84	83	83	84	83	83	84	83	84	
Nombre de clients qui paie par mois (année 2)	1083	1166	1249	1333	1416	1499	1583	1666	1749	1833	1916	2000	

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Trésorerie (année 2)	Janvi er	Féври er	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septe mbre	Octob re	Nove mbre	Déce mbre	
Ventes des kit année 2	2962 4875	3100 4750	3238 4625	3392 1125	3516 1000	3654 0875	3807 7375	3931 7250	40697 125	4223 3625	43473 500	45010 000	4,47E +08
Total chiffre d'affaires (CA) (Encaissements)	695392250												
Charges													
Charges fixe année 1	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	33560 72	3356 072	33560 72	33560 72	4027 2864
Charge fixe année 2	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	3356 072	33560 72	3356 072	33560 72	33560 72	4027 2864
Achat effectués du matériel année 1	3286 1360	3286 1360	3286 1360	3325 7280	3286 1360	3286 1360	3325 7280	3286 1360	32861 360	3325 7280	32861 360	33257 280	3,96E +08
Achat effectués du matériel année 2	3286 1360	3286 1360	3286 1360	3325 7280	3286 1360	3286 1360	3325 7280	3286 1360	32861 360	3325 7280	32861 360	33257 280	3,96E +08
Total des charges (Décaissements)	872385728												
Trésorerie sur 02 ans (FCFA)	176993478												

Tableau 30: Calcul du TRI et VAN

Hypothèse 1	Nombre de kits vendus = 1000												Y (Investissement)
Hypothèse 2	Kit considéré = kit Alpha												188230114
Hypothèse 3	Le paiement du kit est échelonné sur 02 ans												X (TIR)
Hypothèse 4	Le chiffre d'affaire augmente de 5% après la 2ème à cause de la notoriété de l'entreprise												0,347608515
Hypothèse 5	Les charges fixe (location locale + salaire des employés+ carburant+ coût de la plateforme + divers) par mois = 3356072 FCFA												
Hypothèse 5	Le prix d'achat du matériel = 70% du prix de vente du matériel												
Coût total du kit Alpha	565600												
Nombre de kits vendus par mois an 1	83	83	83	84	83	83	84	83	84	83	83	84	VAN
	83	166	249	333	416	499	583	666	750	833	916	1000	473470559,2
	1083	1166	1249	1333	1416	1499	1583	1666	1750	1833	1916	2000	
Tableaux des flux de trésorerie	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Chiffre d'affaire an 0	12999875	14379750	15759625	17296125	18536000	19915875	21452375	22692250	24228750	25468625	26848500	28385000	247962750
Chiffre d'affaire an 1	29624875	31004750	32384625	33921125	35161000	36540875	38077375	39317250	40853750	42093625	43473500	45010000	447462750
Chiffre d'affaire an 2	31106118,8	32554988	34003856	35617181	36919050	38367919	39981244	41283113	42896438	44198306	45647175	47260500	469835887,5
Chiffre d'affaire an 3	32661424,7	34182737	35704049	37398040	38765003	40286315	41980306	43347268	45041259	46408222	47929534	49623525	493327681,9
Chiffre d'affaire an 4	34294495,9	35891874	37489252	39267942	40703253	42300630	44079321	45514632	47293322	48728633	50326010	52104701,25	517994066

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Chiffre d'affaire an 5	3600922 0,7	376864 67	393637 14	412313 39	427384 15	444156 62	462832 87	477903 63	4965798 8	511650 64	5284231 1	54709936, 31	543893769,3
Chiffre d'affaire an 6	3780968 1,8	395707 91	413319 00	432929 06	448753 36	466364 45	485974 52	501798 81	5214088 8	537233 17	5548442 7	57445433, 13	571088457,7
Chiffre d'affaire an 7	3970016 5,8	415493 30	433984 95	454575 52	471191 03	489682 67	510273 24	526888 75	5474793 2	564094 83	5825864 8	60317704, 78	599642880,6
Chiffre d'affaire an 8	4168517 4,1	436267 97	455684 20	477304 29	494750 58	514166 81	535786 90	553233 19	5748532 9	592299 58	6117158 0	63333590, 02	629625024,6
Chiffre d'affaire an 9	4376943 2,8	458081 37	478468 41	501169 51	519488 11	539875 15	562576 25	580894 85	6035959 5	621914 55	6423015 9	66500269, 52	661106275,9
Chiffre d'affaire an 10	4595790 4,5	480985 44	502391 83	526227 98	545462 51	566868 90	590705 06	609939 59	6337757 5	653010 28	6744166 7	69825283	694161589,7
Total chiffre d'affaire (FCFA)	5876101133												
Charges fixe an 0	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charges fixe an 1	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charges fixe an 2	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charges fixe an 3	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charges fixe an 4	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charges fixe an 5	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charge fixe an 6	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864
Charge fixe an 7	3356072	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	335607 2	3356072	335607 2	3356072	3356072	40272864

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Charge fixe an 8	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	40272864
Charge fixe an 9	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	40272864
Charge fixe an 10	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	3356072	40272864
Achats effectués du matériel an 0	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 1	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 2	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 3	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 4	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 5	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 6	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 7	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 8	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 9	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000
Achats effectués du matériel an 10	32861360	32861360	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	32861360	33257280	32861360	32861360	33257280	395920000

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Total des charges (FCFA)	4798121504												
Flux de trésorerie													
Flux de trésorerie an 0	-23217557	-2,2E+07	-2E+07	-1,9E+07	-1,8E+07	-1,6E+07	-1,5E+07	-1,4E+07	-12384602	-1,1E+07	-9368932	-8228352	-188230114
Flux de trésorerie an 1	-6592557	-5212682	-3832807	-2692227	-1056432	323443	1464023	3099818	4240398	5876193	7256068	8396648	11269886
Flux de trésorerie an 2	- 5111313,25	-3662445	-2213576	-996171	701618	2150487	3367892	5065681	6283085,5	7980874	9429743	10647148	33643023,5
Flux de trésorerie an 3	- 3556007,31	-2034695	-513383	784688,3	2547571	4068883	5366954	7129836	8427907,4	10190790	11712102	13010173	57134817,88
Flux de trésorerie an 4	- 1922936,08	-325558	1271820	2654590	4485821	6083198	7465969	9297200	10679970	12511201	14108578	15491349,25	81801201,97
Flux de trésorerie an 5	- 208211,282	1469035	3146282	4617987	6520983	8198230	9669935	11572931	13044636	14947632	16624879	18096584,31	107700905,3
Flux de trésorerie an 6	1592249,75	3353359	5114468	6679554	8657904	10419013	11984100	13962449	15527536	17505885	19266995	20832081,13	134895593,7
Flux de trésorerie an 7	3482733,84	5331898	7181063	8844200	10901671	12750835	14413972	16471443	18134580	20192051	22041216	23704352,78	163450016,6
Flux de trésorerie an 8	5467742,13	7409365	9350988	11117077	13257626	15199249	16965338	19105887	20871977	23012526	24954148	26720238,02	193432160,6
Flux de trésorerie an 9	7552000,84	9590705	11629409	13503599	15731379	17770083	19644273	21872053	23746243	25974023	28012727	29886917,52	224913411,9
Flux de trésorerie an 10	9740472,48	11881112	14021751	16009446	18328819	20469458	22457154	24776527	26764223	29083596	31224235	33211931	257968725,7
Total de flux (FCFA)	1077979629												

Tableau 31: Détermination du coût des kits de la gamme DC (PAYGOPS)

Nom de la Plateforme	PayGOPS			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant le SHS 200			
Hypothèse 3	kit considéré : kit Alpha			
Hypothèse 4	Le prix de la moto et d'équipement du technicien est étalonné sur 05 ans			
Hypothèse 5	Le prix du coût de la plateforme est étalonné sur 02 ans			
Données				
Nombre de kit vendus par an	1000			
Coût de la plateforme par an	864825,8			
Coût fixe du PAYG par kit (CF)	290210			
Salaire des techniciens + commercial par an (ST)	27000000			
Frais de location du local (FL)	7800000			
Prix de la moto de service (PM)	6500000			
Bond de carburant par an (BC)	3120000			
Equipement du technicien (ET)	650000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	$CR = 0,2 * CM$			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	$CP = \text{coût de la plateforme} / \text{nombre de kits vendus}$			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	$CC = ((PM/5) + (ET/5) + BC + FL + ST) / (\text{nombre de kits vendus})$			
Coût total du kit (CT)	$CT = CM + CR + CP + CC + CF$			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire(HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 50W de Victron	Pièce	2	36000	72000

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Contrôleur de charge SHS 200	Pièce	1	80000	80000
Batterie GEL de 90 Ah de Victron	Pièce	1	155000	155000
Support panneau		2	5000	10000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie		1	10000	10000
Téléviseur 32" ENERG	Pièce	1	90000	90000
Ventilateur à pieds	Pièce	1	11500	11500
Lampe LED 3W	Pièce	4	1800	7200
Coût du matériel (CM)	437700			
Coût du risque (CR)	87540			
Coût fixe du PAYG par kit (CF)	145,105			
Coût de la plateforme (CP)	864,8258			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	39350			
Coût total du kit (CT)	565 600 FCFA			
Nom de la Plateforme	PayGOPS			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant le SHS 200			
Hypothèse 3	Kit considéré : kit Beta			
Hypothèse 4	Le prix de la moto est étalonné sur 05 ans			
Hypothèse 5	Le prix du coût de la plateforme est étalonné sur 02 ans			
Données				
Coût de la plateforme par an	864825,8			
Coût fixe du PAYG par kit (CF)	290210			
Salaire du technicien + commercial par an (ST)	27000000			
Prix de la moto de service (PM)	6500000			

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Frais de location du local (FL)	7800000			
Bond de carburant (BC)	3120000			
Equipement de technicien (ET)	650000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = coût de la plateforme/nombre de kits vendus			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC = ((PM/5) +(ET/5) +BC+FL+ST) /(nombre de kits vendus)			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR + CF + CP + CC			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire(HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 50W de Victron	Pièce	3	36000	108000
Contrôleur de charge SHS 200	Pièce	1	80000	80000
Batterie GEL de 130 Ah de Victron	Pièce	1	250000	250000
Support panneau	Pièce	3	5000	15000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie	Pièce	1	10000	10000
Téléviseur 32"	Pièce	1	90000	90000
Ventilateur à pieds 32"	Pièce	1	11500	11500
Lampes LED 3W	Pièce	6	1800	10800
Coût du matériel (CM)	577300			
Coût du risque (CR)	115460			
Coût fixe du PAYG par kit (CF)	145,105			
Coût de la plateforme (CP)	864,8258			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	39350			
Coût total du kit (CT)	733 120 FCFA			

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Nom de la Plateforme	PayGOPS			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant le SHS 200			
Hypothèse 3	Kit considéré : kit Gamma			
Hypothèse 4	Le prix de la moto est étalonné sur 05 ans			
Hypothèse 5	Le prix du coût de la plateforme est étalonné sur 02 ans			
Données				
Coût de la plateforme par an	864825,8			
Coût fixe du PAYG	290210			
Salaire du technicien + commercial par an (ST)	27000000			
Prix de la moto de service (PM)	6500000			
Frais de location du local (FL)	650000			
Bond de carburant (BC)	3120000			
Equipement de technicien (ET)	650000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = coût de la plateforme/nombre de kits vendus			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC = ((PM/5) +(ET/5) +BC+FL+ST) /(nombre de kits vendus)			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR + CF + CP + CC			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire(HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 50W de Victron	Pièce	4	36000	144000
Contrôleur de charge SHS 200	Pièce	1	80000	80000
Batterie GEL de 220 Ah de Victron	Pièce	1	350000	350000
Support panneau		4	5000	20000

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie		1	10000	10000
Téléviseur 32"	Pièce	1	90000	90000
Lampes LED 3W	Pièce	4	1800	7200
Ventilateur à pieds	Pièce	1	11500	11500
Coût du matériel (CM)	714700			
Coût du risque (CR)	142940			
Coût fixe du PAYG par kit (CF)	145,105			
Coût de la plateforme (CP)	864,8258			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	32200			
Coût total du kit (CT)	890 850 FCFA			

Tableau 32: Détermination du coût des kits de la gamme AC (MyJoule Box)

Nom de la Plateforme	MyJoule Box
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000
Hypothèse 2	100% de kits utilisant la Box
Hypothèse 3	Kit considéré : Delta
Hypothèse 4	Le prix de la moto et équipement du technicien est étalonné sur 5 ans
Données	
Coût de la plateforme par an	1310000
Coût par nombre d'équipements vendus	327500
Salaire de technicien par an (ST)	27000000
Prix de la moto de service (PM)	6000000
Frais de location du local par an (FL)	7200000

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Bond de carburant par an (BC)	2880000			
Equipements de technicien (ET)	600000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = (coût de la plateforme +coût par nombre de kits vendus) /nombre de kits vendus			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC = ((PM/5) +(ET/5) +BC+FL+ST)) /(nombre de kits vendus)			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR+ CP + CC			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire (HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 175 Wc	Pièce	2	90000	180000
Contrôleur de charge VICTRON 75/15	Pièce	1	70000	70000
Convertisseur VICTRON 500 VA-12V	Pièce	1	125000	125000
Batterie GEL de 165 Ah de Victron	Pièce	2	250000	500000
Support panneau	Pièce	2	5000	10000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie	Pièce	1	10000	10000
Box	Pièce	1	58950	58950
Coût du matériel (CM)	955950			
Coût du risque (CR)	95595			
Coût de la plateforme (CP)	1637,5			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	38400			
Coût total du kit (CT)	1 091 583 FCFA			
Nom de la Plateforme	MyJoule Box			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant la Box			

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Hypothèse 3	Kit considéré : Zeta			
Hypothèse 4	Le prix de la moto et équipement du technicien est étalonné sur 5 ans			
Données				
Coût de la plateforme par an	1310000			
Coût par nombre d'équipements vendus	327500			
Salaire du technicien + commercial	27000000			
Prix de la moto de service (PM)	6000000			
Frais de location du local par an (FL)	7200000			
Bond de carburant (BC)	2880000			
Equipements technicien (ET)	600000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = (coût de la plateforme + coût par nombre de kits vendus) /nombre de kits vendus			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC = ((PM/5) +(ET/5) +BC+FL+ST))/(nombre de kits vendus)			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR + CP + CC			
Désignation	Unit é	Quantit é	Prix Unitaire(HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 175 Wc	Pièce	3	90000	270000
Contrôleur de charge VICTRON MPPT 75/15	Pièce	1	70000	70000
Convertisseur VICTRON 800VA-24V	Pièce	1	195000	195000
Batterie GEL de 130 Ah de Victron	Pièce	4	230000	920000
Support panneau	Pièce	3	5000	15000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Support batterie	Pièce	1	10000	10000
Box	Pièce	1	58950	58950
Coût du matériel (CM)	1540950			
Coût du risque (CR)	154095			
Coût de la plateforme (CP)	1637,5			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	38400			
Coût total du kit (CT)	1 735 083 FCFA			
Nom de la Plateforme	MyJoule Box			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant la Box			
Hypothèse 3	Kit considéré : Eta			
Hypothèse 4	Le prix de la moto et équipement du technicien est étalonné sur 5 ans			
Données				
Nombre de kits vendus par an	1000			
Coût de la plateforme par an	1310000			
Coût par nombre d'équipements	327500			
Salaire de technicien+ commercial par an (ST)	27000000			
Prix de la moto de service (PM)	6000000			
Frais de location du local par an (FL)	7200000			
Bond de carburant par an (BC)	2880000			
Equipement technicien (ET)	600000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = (coût de la plateforme + coût par nombre de kits vendus) /nombre de kits vendus			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR + CP + CC			

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC =((PM/5)+ (ET/5)+BC+FL+ST)/(nombre de kits vendus)			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire(HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 330 Wc	Pièce	3	150000	450000
Contrôleur de charge VICTRON MPPT 150/35	Pièce	1	200000	200000
Convertisseur de charge VICTRON MPPT 1200VA-24V	Pièce	1	270000	270000
Batterie GEL de 220 Ah de Victron	Pièce	4	350000	1400000
Support panneau		3	5000	15000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie		1	10000	10000
Box	Pièce	1	58950	58950
Coût du matériel (CM)	2405950			
Coût du risque (CR)	240595			
Coût de la plateforme (CP)	1637,5			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	38400			
Coût total du kit (CT)	2686582,5			
Nom de la Plateforme	MyJoule Box			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant la Box			
Hypothèse 3	Kit considéré : Theta			
Hypothèse 4	Le prix de la moto et équipement du technicien est étalonné sur 5 ans			
Données				
Coût de la plateforme par an	1310000			

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Coût par nombre d'équipements vendus	327500			
Salaire de technicien+ commercial par an (ST)	27000000			
Prix de la moto de service (PM)	6000000			
Frais de location du local par an (FL)	7200000			
Bond de carburant par an (BC)	2880000			
Equipements de technicien (ET)	600000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = (coût de la plateforme + coût par nombre de kits vendus) /nombre de kits vendus			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC = ((PM/5) +(ET/5) +BC+FL+ST)) / (nombre de kits vendus)			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR+ CP + CC			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire(HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 260 Wc	Pièce	6	118000	708000
Contrôleur de charge VICTRON 100/30	Pièce	1	70000	70000
Convertisseur VICTRON 2000 VA-24V	Pièce	1	600000	600000
Batterie GEL de 165 Ah de Victron	Pièce	12	250000	3000000
Support panneau	Pièce	6	5000	30000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie	Pièce	1	10000	10000
Box	Pièce	1	58950	58950
Coût du matériel (CM)	4478950			
Coût du risque (CR)	447895			
Coût de la plateforme (CP)	1637,5			

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	38400			
Coût total du kit (CT)	4 966 883 FCFA			
Nom de la Plateforme	MyJoule Box			
Hypothèse 1	Nombre de kits vendus par an = 1000			
Hypothèse 2	100% de kits utilisant la Box			
Hypothèse 3	Kit considéré : Lambda			
Hypothèse 4	Le prix de la moto et équipement du technicien est étalonné sur 5 ans			
Données				
Coût de la plateforme par an	1310000			
Coût par nombre d'équipements vendus	327500			
Salaire du technicien	27000000			
Prix de la moto de service (PM)	6000000			
Frais de location du local par an (FL)	7200000			
Bond de carburant (BC)	2880000			
Equipements technicien (ET)	600000			
Note de calculs				
Coût du risque d'un kit (CR)	CR = 0,2*CM			
Coût de la plateforme d'un kit (CP)	CP = (coût de la plateforme + coût par nombre de kits vendus) /nombre de kits vendus			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	CC = ((PM/5) +(ET/5) +BC+FL+ST)) /(nombre de kits vendus)			
Coût total du kit (CT)	CT = CM + CR + CP + CC			
Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire (HT)	Prix Total (HT)
Investissements				
Modules de 270 Wc	Pièce	8	110000	880000
Contrôleur de charge VICTRON MPPT 250/60	Pièce	1	410000	410000

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE D'UNE OFFRE PAY-AS-YOU-GO AU BURKINA FASO

Convertisseur VICTRON 3000VA-48V	Pièce	1	850000	850000
Batterie GEL de 220 Ah de Victron	Pièce	12	350000	4200000
Support panneau	Pièce	8	5000	40000
Paire de câble de 2*6mm2	m	2	1000	2000
Support batterie	Pièce	1	10000	10000
Box	Pièce	1	58950	58950
Coût du matériel (CM)	6450950			
Coût du risque (CR)	645095			
Coût de la plateforme (CP)	1637,5			
Coût des charges liées au projet (CC) d'un kit	38400			
Coût total du kit (CT)	7 136 083 FCFA			

Tableau 33:Activation du PAYG et technologies de paiement / Source : Bloomberg New Energy Finance [8]

	GSM + mobile money	Connexion Bluetooth ou par câble	Code du système	Recharge à distance des batteries	Manuel
Comment cela fonctionne-t-il ?	Le paiement par mobile money est vérifié et le système est déverrouillé via une carte SIM dans l'appareil	Le paiement peut être effectué en espèces ou par téléphone portable et est confirmé sur un téléphone qui déverrouille l'appareil via Bluetooth/câble	Un code de déverrouillage est envoyé par téléphone portable après le paiement par carte à gratter ou par mobile money. Le code est saisi dans l'appareil ou par une télécommande à infrarouge	Le produit solaire est conçu pour permettre la séparation de l'unité de charge de la lumière. Le premier reste chez un vendeur et l'appareil est renvoyé pour être rechargé.	Un prêt avec des paiements réguliers (éventuellement par le biais de la microfinance)
Avantages	* Permet de contrôler les performances à distance en temps réel * Permet les paiements à distance	* Moins cher que le GSM * Permet diverses activations par des tiers (tels que les propriétaires de kiosques) * Permet de mesurer les performances à distance en temps différé	* Faible coût * Ne nécessite pas le transport de dispositifs physiques pour le déverrouillage * Peut être utilisé partout, quelle que soit la connectivité du réseau	* Faible coût * Créer des emplois locaux * Pas besoin de téléphone portable	* Pas de coûts de technologie * Exploiter les solutions de financement existantes
Contre	* Relativement coûteux * Tendance à exiger une infrastructure monétaire mobile	* Nécessite un réseau d'agents locaux	* Empêche la surveillance du système à distance sans visites à domicile	* Exige un paiement local * Inconvénients pour les clients	* Faible sécurité * Un nombre limité de clients potentiels * Coûts de transaction élevés pour les MFI
Application principale	Petits systèmes domestiques	Les lanternes solaires	Petits systèmes domestiques	Les lanternes solaires	Les petits et grands systèmes domestiques
Exemples	Mobisol, BBOXX, M-KOPA	DiviPower, Angaza	Azuri, Fenix International	Karibu Solar	La Fondation Selco en Inde

Annexe 2: Fiche techniques du module 50 W

Type	Dimensions Module	Dimensions Verre	Poids	Caractéristiques électriques selon STC ⁽¹⁾				
				Puissance Nominale	Tension à puissance max.	Courant à puissance max.	Tension en circuit ouvert	Courant de court-circuit
				P _{MPP}	V _{MPP}	I _{MPP}	V _{oc}	I _{sc}
Module	mm	mm	Kg	W	V	A	V	A
SPP30-12	735x350x25	730x345	5.2	30	18	1.72	22.5	1.85
SPP51-12	540x670x35	535x665	5,3	50	18	2.85	22.2	3.09
SPP81-12	915x670x35	910x665	8	80	18	4.6	21.6	5.06
SPP101-12	1005x670x35	1000x665	9	100	18	5.75	21.6	6.32
SPP140-12	1480x670x35	1474x664	12.5	140	18	8.05	21.6	8.85
SPP280-24	1956x992x50	1950x986	24	280	36	7.7	44.06	8.26
Module		SPP30-12	SPP51-12	SPP81-12	SPP101-12	SPP140-12	SPP280-24	
Puissance nominale (tolérance ±3%)		30W	50W	80W	100W	140W	280W	
Type de cellules		polycrystallin						
Nombre de cellules couplées en série		36				72		
Tension maximale système (V)		1000V						
Coefficient de température de P _{MPP} (%)		-0.47/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.48/°C	-0.47/°C	
Coefficient de température de V _{oc} (%)		-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.34/°C	-0.35/°C	-0.34/°C	
Coefficient de température de I _{sc} (%)		+0.045/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.037/°C	+0.045/°C	
Température de fonctionnement		-40°C à +85°C						
Charge de surface maximale		200kg/m²						
Résistance aux impacts (grêle)		23m/s, 7.53g						
Boîte de raccordement		PV-JH03-2	PV-JH02	PV-JH02	PV-JH02	PV-JH02	PV-JH200	
Type de connecteur		MC4						
Longueur des câbles		450mm	750mm	900mm			1000mm	
Tolérance de puissance		+/-3%						
Cadre		Aluminium						
Garantie produit		2 ans						
Garantie de puissance		10 ans 90% + 25 ans 80% de la puissance minimale						
Unité d'emballage		1 panneau						
Nombre de panneaux par palette		40	40	20	20	20	20	

1) Valeurs aux Conditions de test standardisées (STC) : irradiation 1000W/m², température de cellule 25°C, masse d'air 1,5

Annexe 3 : Fiche technique du convertisseur de charge SHS 200

SHS 200 MPPT	
Battery voltage	12Vdc
Nominal PV power	50 to 200Wp total (36 cells panels)
Maximum charge / discharge currents	14A / 20A
Peak efficiency	96%
Suitable battery capacity	Up to 160Ah
Compatible battery technologies	Sealed lead-acid, Victron SuperPack (lithium)
Absorption / float voltages	14.4V /13.75V (configurable)
Temperature compensation	Yes (automatic)
Automatic load disconnect	Yes (configurable low state of charge disconnect)
Operating temperatures	0 to 40°C (derating from 35°C)
Humidity	90%, non-condensing
Protections	Reverse polarity protection on battery, overvoltage protection on battery, undervoltage protection on battery, overcurrent protection on battery, overcurrent protection on outputs.
PAYG	
Remote activation	Unlock codes sent to end-user via SMS to activate the system
Compatible PAYGo platforms	PaygOps, Angaza, Paygee
Token technology	Free and secure open source token system (OpenPAYGO)
ENCLOSURE	
PV terminals	4 connectors with an individual current limit of 5A (50Wp) 5.5mmx2.1mm barrel connectors
Battery cables	Included (14 AWG - 1m) / suitable for M6 battery terminals
USB outputs	10 USB ports (type A) Voltage: 4.75V-5.25V Overall maximum of 10A across all ports Individual maximum of 1.5A per port Compliant with the USB Battery Charging 1.2 standard
Standard 12V DC outputs	Voltage: 10.5 to 15V (according to Lighting Global standard) Protection: software overcurrent protection and resettable fuse Port 1 and 2 (from bottom): - Current: Up to 3A - Connector: 5.5mm x 2.1mm barrel connector Port 3 and 4: - Current: Up to 5A - Connector: 5.5mm x 2.1mm barrel connector Port 5: - Current: Up to 10A - Connector: 5.08mm pin space pluggable screw terminal
Operating temperatures	0 to 40°C (derating from 35°C)
Color	Standard: black enclosure and blue keypad Customizable co-branding (minimum order quantity: 1000 units)
Dimensions (h x w x d)	148 x 204 x 67 mm
Net weight	0.39kg
Protection category	IP 41

Annexe 4 : Fiche technique du module 175 W de Victron avec pour référence SPP041751200

Référence de l'article	Description	Poids net	Données électriques sous STC (1)				
			Puissance Nominale	Tension de puissance	Courant de puissance	Tension de circuit ouvert	Courant de court-circuit
			P _{MPP}	V _{MPP}	I _{MPP}	V _{oc}	I _{sc}
		Kg	W	V	A	V	A
SPP040201200	20W-12V Poly 440 x 350 x 25mm séries 4a	1.9	20	18.4	1.09	21.96	1.18
SPP040301200	30W-12V Poly 655 x 350 x 25mm séries 4a	2.8	30	18.2	1.66	21.80	1.80
SPP040451200	45W-12V Poly 425 x 668 x 25mm séries 4a	3.1	45	19.1	2.36	22.90	2.55
SPP040601200	60W-12V Poly 545 x 668 x 25mm séries 4a	4	60	19.3	3.12	23.10	3.37
SPP040901200	90W-12V Poly 780 x 668 x 30mm séries 4a	6.1	90	19.5	4.61	23.44	4.98
SPP041151200	115W-12V Poly 1015 x 668 x 30mm séries 4a	8	115	18.94	6.08	22.73	6.56
SPP041751200	175W-12V Poly 1485 x 668 x 30mm séries 4a	12	175	18,3	9.56	21.9	10.24
SPP032602000	260W-20V Poly 1640 x 992 x 40mm séries 3a	17	260	30	8.66	36.75	9.30
SPP042702000	270W-20V Poly 1640 x 992 x 35mm séries 4a	18.4	270	31.7	8.52	38.04	9.21
SPP043302400	330W-24V Poly 1956 x 992 x 40mm séries 4a	22.5	330	37.3	8.86	44.72	9.57

Module	SPP 040201200	SPP 040301200	SPP 040451200	SPP 040601200	SPP 040901200	SPP 041151200	SPP 041751200	SPP 032601200	SPP 042702000	SPP 043302400
Puissance nominale (± 3 % tolérance)	20W	30W	45W	60W	90W	115W	175W	260W	270W	330W
Type de cellule	Polycristalline									
Nombre de cellules en série	36							60	60	72
Tension de système maximale(V)	1000 V									
Coefficient de température de P _{MPP} (%)	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.47/°C	-0.45/°C
Coefficient de température de V _{oc} (%)	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.34/°C	-0.35/°C
Coefficient de température de I _{sc} (%)	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.045/°C	+0.04/°C
Plage de température	-40 °C à +85 °C									
Capacité de charge maximale en surface	200 kg/m²									
Résistance à la grêle disponible	23 m/s, 7,53 g									
Type de boîte de connexion	PV-LH0805	PV-LH0806			PV-LH0801	PV-LH0808			PV-J8002	
Longueur de câble/Connecteur	Pas de câble				900 mm / MC4					
Tolérance de sortie	+/-3 %									
Cadre	Aluminium									
Garantie du produit	5 ans									
Garantie sur les performances électriques	10 ans 90 % + 25 ans 80 % de production de puissance									
Unité d'emballage la plus petite	1 panneau									
Quantité par palette	380	240	180	140	90	80	36	20	32	37

1) STC (Conditions de tests standard): 1000W/m², 25°C, AM (Air/Mass-masse d'air) 1,5

Annexe 5: Fiche technique du régulateur de charge Smart Solar MPPT 75/15

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20	MPPT 100/20 48 V
Tension de la batterie (sélection auto)		12 24 V			12 / 24 / 48 V
Courant de charge nominal	10 A	15 A	15 A	20 A	20 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	145 W	220 W	220 W	290 W	290W
Puissance nominale PV, 24 V 1a, b)	290 W	440 W	440 W	580 W	580W
Puissance nominale PV, 48 V 1a, b)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1160 W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	13 A	15 A	15 A	20 A	20 A
Déconnexion de charge automatique	Oui				
Tension PV maximale de circuit ouvert	75 V				100 V
Efficacité de crête	98 %				
Autoconsommation	12 V: 25 mA 24 V: 15 mA			25 / 15 / 10 mA	
Tension de charge « d'absorption »	14,4 V/28,8 V (réglable)				14,4V / 28,8V / 57,6V (adj.)
Tension de charge « Float »	13,8 V/27,6 V (réglable)				13,8V / 27,6V / 55,2V (adj.)
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples				
Compensation de température	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C				
Courant de charge continu	15 A		20 A	20 A / 20 A / 1 A	
Déconnexion de la charge en cas de tension faible	11,1 V / 22,2 V / 44,4 V ou 11,8 V / 23,6 V / 47,2 V ou Algorithme Battery Life				
Reconnexion de la charge en cas de tension faible	13,1 V / 26,2 V / 52,4 V ou 14 V / 28 V / 56 V ou Algorithme Battery Life				
Protection	Court-circuit de sortie / Surchauffe				
Température d'exploitation	-30 à +60°C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40°C)				
Humidité	95 %, sans condensation				
Port de communication de données	VE.Direct (Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web)				
BOÎTIER					
Couleur	Bleu (RAL 5012)				
Bornes de puissance	6 mm² / AWG10				
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)				
Poids	0,5 kg	0,6 kg	0,65 kg		
Dimensions (h x l x p)	100 x 113 x 40 mm	100 x 113 x 50 mm	100 x 113 x 60 mm		
NORMES					
Sécurité	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				
1a) Si une puissance PV supérieure est connectée, le contrôleur limitera la puissance d'entrée 1b) La tension PV doit dépasser Vbat + 5 V pour que le contrôleur se mette en marche. Ensuite, la tension PV minimale doit être de Vbat + 1 V.					

Annexe 6 : Fiche technique du convertisseur de charge Victron 500 VA, 800 VA et 1200 VA (Phoenix)

Convertisseur Phoenix	12 Volts 24 Volts 48 Volts	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Puissance continue à 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Puissance continue à 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Puissance de crête		400W	700W	900W	1500W	2200W
Fréquence / Tension de sortie CA (réglable)	230 VCA ou 120 VCA +/- 3 % 50 Hz ou 60 Hz +/- 0,1 %					
Plage de tension d'alimentation	9,2 - 17,5 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0 V					
Arrêt courant CC bas (réglable)	9,3 / 18,6 / 37,2 V					
Dynamique (en fonction de la charge) Arrêt courant CC bas (entièrement réglable)	Coupe dynamique, voir https://www.victronenergy.com/live/ve.direct: phoenix-inverters-dynamic-cutoff					
Alarme et redémarrage CC bas (réglable)	10,9 / 21,8 / 43,6V					
Détection de batterie chargée (réglable)	14,0 / 28,0 / 56,0V					
Efficience maximale	87 / 88 / 88 %	89 / 89 / 90 %	90 / 90 / 91 %	90 / 90 / 91 %	91 / 91 / 92 %	
Consommation à vide	4,2 / 5,2 / 7,9 W	5,6 / 6,1 / 8,5 W	6 / 6,5 / 9 W	6,5 / 7 / 9,5 W	7 / 8 / 10 W	
Consommation à vide par défaut en mode ECO (intervalle de nouvel essai par défaut : 2,5 s, réglable)	0,8 / 1,3 / 2,5 W	0,9 / 1,4 / 2,6 W	1 / 1,5 / 3,0	1 / 1,5 / 3,0	1 / 1,5 / 3,0	
Paramètre de puissance de démarrage et arrêt en mode ECO	Réglable					
Protection (2)	a - f					
Plage de température d'exploitation	-40 à +65°C (refroidissement par ventilateur) (Réduction 1,25% par °C au-dessus de 25°C)					
Humidité (sans condensation)	maxi 95 %					
BOÎTIER						
Matériau et couleur	Châssis en acier et couverture en plastique (Bleu RAL 5012)					
Raccordement batterie	Bornes à vis					
Section de câble maximale	10 mm² / AWG8	10 mm² / AWG8	10 mm² / AWG8	25 / 10 / 10 mm² / AWG4 / 8 / 8	35/25/25 mm² / AWG 2/4/4	
Prises CA standard	230 V : Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (prise mâle incluse) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120 V : Nema 5-15R					

Annexe 7 : Fiche technique convertisseur de charge Phoenix Smart 24/2000 et 48/3000 et MPPT 150/35

Convertisseur Phoenix Smart	12/1600 24/1600 48/1600	12/2000 24/2000 48/2000	12/3000 24/3000 48/3000
Fonctionnement en parallèle et triphasé		Non	
CONVERTISSEUR			
Plage de tension d'alimentation (1)		9,3 – 17 V	18,6 – 34 V 37,2 – 68 V
Sortie		Tension de sortie : 230 VCA ±2 % 50 Hz ou 60 Hz ± 0,1 % (1)	
Puissance de sortie cont. à 25 °C (2)	1600 VA	2000 VA	3000 VA
Puissance de sortie cont. à 25 °C	1300 W	1600 W	2400 W
Puissance de sortie cont. à 40 °C	1200 W	1450 W	2200 W
Puissance de sortie cont. à 65 °C	800 W	1000 W	1700 W
Puissance de crête	3000 VA	4000 VA	6000 VA
Dynamique (en fonction de la charge) Arrêt en cas de courant CC bas (entièrement réglable)	Coupure dynamique, consultez https://www.victronenergy.com/live/ve-direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff		
Efficacité maxi 12 / 24 / 48 V (%)	92 / 94 / 94 %	92 / 94 / 94 %	93 / 94 / 95 %
Puissance de charge zéro 12 / 24 / 48 V	8 / 9 / 11 W	8 / 9 / 11 W	12 / 13 / 15 W
Puissance de charge zéro en mode ECO	0,6 / 1,3 / 2,1 W	0,6 / 1,3 / 2,1 W	1,5 / 1,9 / 2,8 W
GÉNÉRAL			
Relais programmable (2)	Oui		
Arrêter et démarrer la puissance du mode ECO	réglable		
Protection (3)	a - g		
Communication sans fil Bluetooth	Pour la supervision à distance et l'intégration du système		
Port de communication VE.Direct	Pour la supervision à distance et l'intégration du système		
On/off à distance	Oui		
Caractéristiques communes	Plage de température d'exploitation : -40 à +65 °C (refroidissement par ventilateur) Humidité (sans condensation) : 95 % max.		
BOÎTIER			
Caractéristiques communes	Matériau et couleur : acier (bleu RAL 5012; et noir RAL 9017) Indice de protection : IP 21		
Raccordement batterie	Écrous M8	Écrous M8	2+2 Écrous M8
Connexion CA 230 V	Bornes à vis		
Poids	12 kg	13 kg	19 kg
Dimensions (H x L x P)	485 x 219 x 125 mm	485 x 219 x 125 mm	533 x 285 x 150mm (12V) 485 x 285 x 150mm (24V/48V)
NORMES			
Sécurité	EN 60335-1		
Émission/Immunité	EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3		

BlueSolar Charge Controller	MPPT 150/35
Battery voltage	12 / 24 / 48V Auto Select (software tool needed to select 36V)
Rated charge current	35A
Nominal PV power 1a, b)	12V: 500W / 24V: 1000W / 36V: 1500W / 48V: 2000W
Max. PV short circuit current 2)	40A
Maximum PV open circuit voltage	150V absolute maximum coldest conditions 145V start-up and operating maximum
Maximum efficiency	98%
Self-consumption	12V: 20 mA 24V: 15 mA 48V: 10mA
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (adjustable)
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (adjustable)
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight pre-programmed algorithms)
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C
Protection	PV reverse polarity Output short circuit Over-temperature
Operating temperature	-30 to +60°C (full rated output up to 40°C)
Humidity	95%, non-condensing
Data communication port	VE.Direct See the data communication white paper on our website

Annexe 8 : Fiche technique du régulateur de charge Smart Solar MPPT 100/30 et 250/60

Contrôleur de charge SmartSolar	MPPT 100/30	MPPT 100/50
Tension de la batterie	Sélection automatique 12/24 V	
Courant de charge nominal	30 A	50 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	440 W	700 W
Puissance nominale PV, 24 V 1a, b)	880 W	1400 W
Tension PV maximale de circuit ouvert	100 V	100 V
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	35 A	60 A
Efficacité maximale	98 %	98 %
Autoconsommation	12V: 30 mA 24V: 20 mA	
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 V/28,8 V (réglable)	
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 V/27,6 V (réglable)	
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples	
Compensation de température	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C	
Protection	Polarité inversée PV Court-circuit en sortie Surchauffe	
Température d'exploitation	-30 à +60°C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40°C)	
Humidité	95 %, sans condensation	
Port de communication de données	VE.Direct Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web	

Contrôleur de charge SmartSolar	250/60	250/70	250/85	250/100
Tension de la batterie	12 / 24 / 48	Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)		
Courant de charge nominal	60A	70A	85A	100A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	860W	1000W	1200W	1450W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Puissance nominale PV, 36V 1a, b)	2580W	3000W	3600W	4350W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	35 A (30 A max. par connex. MC4)	70 A (30 A max. par connex. MC4)		
Tension PV maximale de circuit ouvert	250 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 245 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement			
Efficacité maximale	99 %			
Autoconsommation	Moins de 35mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V			
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)			
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)			
Tension de charge « d'égalisation »	Configuration par défaut : 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (réglable)			
Algorithme de charge	Algorithme adaptatif à étapes multiples (huit algorithmes préprogrammés) ou algorithme défini par l'utilisateur.			
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protection	Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe			
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40 °C)			
Humidité	95 %, sans condensation			
Altitude maximale	5000 m (sortie nominale complète jusqu'à 2000 m)			
Conditions environnementales	Intérieur, sans climatisation			
Niveau de pollution	PD3			
Port de communication de données	VE.Direct ou Bluetooth			
On/off à distance.	Oui (connecteur à deux pôles)			
Relais programmable	DPST	Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC		
Fonctionnement en parallèle	Oui			
BOÎTIER				
Couleur	Bleu (RAL 5012)			
Bornes PV 3)	35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Deux paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)		35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Trois paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)	
Bornes de batterie	35 mm² / AWG2			
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)			
Poids	3 kg		4,5 kg	