



# CONCEPTION D'UN SYSTÈME D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ASSURANT LA CONTINUITÉ DE SERVICE D'UN DATA CENTER AU BURKINA FASO

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR GENIE INDUSTRIEL  
OPTION  
ELECTROTECHNIQUE ET AUTOMATISMES INDUSTRIELS  
INP-HB

Présenté et soutenu publiquement le [21/07/2023] par

**Kouakou Ange Anicet YAO (20220469)**

MOBILITE MASTER 2 INGENIERIE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE 2iE

**Encadrant 2iE : Ing. Ahmed ZONGO, Enseignant en Génie Énergétique, Froid et Climatisation**

**Maître de stage : Dr. Arouna DARGA, Fondateur de DARGATECH**

Structure (s) d'accueil du stage : DARGATECH SARL

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Sayon Dit Sadio SIDIBE

Membres et correcteurs : Ing. Justin BASSOLE

Ing. Hector TETE

Promotion [2022/2023]

## DÉDICACE

À ma famille...

## REMERCIEMENTS

Cette lucarne est spéciale pour nous, car c'est l'occasion d'exprimer notre gratitude à l'égard de tous ceux qui nous ont apporté leur aide et assistance durant tout ce cursus.

Nos remerciements vont tout d'abord à l'endroit de tout le personnel enseignant et administratif de notre établissement d'origine, l'Institut National Polytechnique Houphouët Boigny (INP-HB) en général et de l'École Supérieure d'Industrie (ESI) en particulier, qui nous a formé et permis d'avoir les compétences nécessaires pour faire face aux réalités du monde professionnel. Nous remercions également tout le personnel l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) qui nous a accueilli dans le cadre de la mobilité intra-africaine.

Singulièrement, nous tenons à remercier :

Prof. Mamadou KOITA, Directeur des Études et des Affaires Académiques de l'Institut 2iE, pour avoir facilité notre intégration au sein de l'Institut dans le cadre de cette mobilité ;

Prof. Moussa SORO, Directeur du Département Génie Electrique et Energétique Industriels de l'Institut 2iE, qui a été pour beaucoup dans notre insertion académique dans le cadre de la mobilité intra-africaine ;

Dr. Yohan RICHARDSON, Chef du Département Sciences et Techniques de l'Ingénieur qui a contribué à l'obtention de ce stage de fin d'études ;

Ing. Ahmed ZONGO, notre encadrant dans la rédaction de ce mémoire qui a toujours été disponibles depuis le début de ce stage ;

Prof. Georges LOUM, Directeur Général Adjoint chargé de la pédagogie à l'INP-HB pour ses conseils et expériences en bureau d'étude ;

Prof. Tanoh AKA, Directeur de l'École Supérieur d'Industrie (ESI) pour ses conseils et son soutien ;

M. ABOUBAKAR MICHEL, Directeur du Département de Formation et de Recherche du Génie Electrique et Electronique de l'INP-HB ;

Prof. AMIDOU BETIE, enseignant chercheur au département de formation et de recherche du Génie Electrique et Electronique pour ses conseils et son soutien.

Nos remerciements vont également à l'endroit de l'ensemble du personnel de DARGATECH SARL pour avoir facilité notre intégration, pour leur disponibilité et les réponses à nos nombreuses préoccupations. Particulièrement à Dr. Arouna DARGA, notre maître de stage qui nous a fait confiance en proposant ce thème passionnant et pour son implication dans la réalisation de ce projet.

## RÉSUMÉ

Le présent mémoire traite de la faisabilité conceptuelle d'un système d'énergie électrique pour data centers à partir de l'énergie solaire photovoltaïque au Burkina Faso. Cette étude s'inscrit dans la vision des grands acteurs du numérique, qui conscient de l'impact de leur consommation énergétique sur l'environnement, ont opté pour cette transition énergétique car à ce jour, les data centers représentent une part importante dans la consommation électrique mondiale.

Conscient du gisement solaire dont dispose le Burkina Faso, DARGATECH s'est penché sur la faisabilité de l'alimentation des data centers du Burkina à partir de l'énergie solaire photovoltaïque afin de réduire considérablement la grande quantité d'énergie conventionnelle destinée aux data centers.

Les enquêtes menées auprès des Petites et Moyennes Entreprises (PME), des Grandes Entreprises et la revue de littérature révèlent que les data centers ont une consommation électrique dans le monde estimée actuellement à plus de 2 %. De plus, 55% de l'énergie dans les data centers est destinée aux charges critiques (équipements informatiques), 30% pour le refroidissement et 15% pour l'éclairage et autres charges. [1]

Deux solutions de conception visant à secourir les charges critiques uniquement des data centers en PME ont été proposées.

La première consistant à utiliser un onduleur hybride triphasé en série avec une Alimentation Statique sans Interruption (ASI) pour pallier à la microcoupure lors du passage d'une source à une autre. Cette solution révèle à partir du dimensionnement pour une quantité d'énergie de  $528 \text{ kWh} \cdot \text{j}^{-1}$  un coût global estimé à 86 800 000 F CFA.

La deuxième solution quant à elle consiste à mettre en œuvre un mini réseau électrique avec un temps de commutation entre les sources de moins de 20 ms résolvant ainsi la problématique de microcoupure pour un coût estimé à 86 900 000 F CFA

Les indicateurs économiques révèlent que ce projet est viable pour une durée de 25 ans pour chaque solution avec des Valeurs Actuelles Nettes (VAN) positives et un gain carbone annuel de 171 601 785 kg.

### Mots-clés

- 
- **DARGATECH**
  - **DATA CENTER**
  - **SYSTEME D'ENERGIE**
  - **SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE**

## **ABSTRACT**

This Master deals with the conceptual feasibility of a continuous electrical energy system for data centers based on photovoltaic solar energy in Burkina Faso. This study is in line with the vision of the major players in the digital sector, who, aware of the impact of their energy consumption on the environment, have opted for this energy transition, as data centers currently account for a significant proportion of global electricity consumption.

Aware of Burkina Faso's solar potential, DARGATECH looked into the feasibility of powering Burkina Faso's data centers with photovoltaic solar energy, in order to considerably reduce the large amount of conventional energy used by data centers.

Surveys of small and medium-sized enterprises (SMEs), large corporations and literature reviews reveal that data centers currently consume more than 2% of the world's electricity. Furthermore, 55% of energy in data centers is used for critical loads (IT equipment), 30% for cooling and 15% for lighting and other loads.

Two design solutions aimed at rescuing critical loads only within SME data centres have been proposed.

The first consists of using a three-phase hybrid inverter in series with a Static Uninterruptible Power Supply (UPS) to avoid for micro outages when switching from one source to another. This solution reveals, based on the sizing for an energy quantity of  $528 \text{ kWh} \cdot \text{j}^{-1}$  an overall cost estimated at 86,800,000 F CFA.

The second solution consists in setting up a mini electrical network with a switching time between sources of less than 20 ms, thus resolving the problem of micro outages at an estimated cost of 86,900,000 F CFA.

The economic indicators show that the project is viable over 6 and 5 years for each solution, with positive Net Present Values (NPV) and an annual carbon gain of 171,601,785kg.

### **Keywords**

---

- **DARGATECH**
- **DATA CENTER**
- **ENERGY SYSTEM**
- **PHOTOVOLTAIC SOLAR**

## SIGLES ET ABRÉVIATIONS

2iE	Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ASI	Alimentation Statique sans Interruption
BOA	Bank Of Africa
Cbat_min	Capacité minimale du banc de batterie
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de Carbone
E <sub>j</sub>	Energie journalière
ESI	École Supérieur d'Industrie
GE	Groupe Electrogène
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
INP-HB	Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY
IT	Information Technology
kW	kilowatt
LAN	Local Area Network
MWc	Mégawatt-crête
Nmod	Nombre de Module
Nmod_série	Nombre de module en série
PME	Petites et Moyennes Entreprises
PUE	Indicateur d'Efficacité Energétique
PV	Photovoltaïque
SONABEL	Société National Burkinabè d'Electricité
TCAC	Taux de Croissance Annuelle Composée
UPS	Uninterruptible Power Supply
VAN	Valeur Actuelle Nette
WAN	Wide Area Networks

# TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
RÉSUMÉ.....	iii
ABSTRACT .....	iv
SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	v
TABLE DES MATIERES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES .....	ix
I. INTRODUCTION.....	1
II. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCEUIL ET DE LA ZONE D’ÉTUDE.....	2
II.1 Structure d’accueil .....	2
II.1.1 Historique et situation géographique.....	2
II.1.2 Activités de DARGATECH .....	2
II.1.3 Structure de l’entreprise .....	3
II.2 Zone d’étude .....	3
III. PRÉSENTATION DU PROJET .....	4
III.1 Contexte et justification .....	4
III.2 Objectifs .....	4
IV. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL.....	5
V. GÉNÉRALITÉS .....	9
V.1 Data center .....	9
V.1.1 Présentation .....	9
V.1.2 Classification des data centers.....	10
V.1.3 Configuration d’un data center.....	11
V.2 Energies renouvelables .....	18

V.2.1	Présentation .....	18
V.2.2	Energies renouvelables au Burkina Faso .....	19
V.2.3	Energie renouvelables et data centers .....	22
VI.	ÉTUDE TECHNIQUE .....	25
VI.1	Etude solution 1 : Onduleur hybride + Onduleur UPS .....	26
VI.1.1	Synoptique.....	26
VI.1.2	Description de fonctionnement du système .....	26
VI.1.3	Description des équipements du système.....	27
VI.1.4	Dimensionnement.....	31
VI.2	Etude solution 2 : Mini Réseau .....	39
VI.2.1	Synoptique.....	39
VI.2.2	Description .....	39
VI.2.3	Dimensionnement.....	40
VII.	ÉTUDE FINANCIERE DU PROJET .....	49
VIII.	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL .....	53
IX.	CONCLUSION .....	55
X.	REFERENCES .....	57
XI.	TABLE DES ANNEXES .....	ix

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1: Synthèse d'enquête</b> .....	8
<b>Tableau 2: Centrale solaire au Burkina Faso</b> .....	21
<b>Tableau 3: Classement des plus grands data centers au monde[29]</b> .....	23
<b>Tableau 4: Besoins énergétiques moyens PME/ Grande Entreprise</b> .....	25
<b>Tableau 5: Caractéristiques de l'onduleur hybride</b> .....	31
<b>Tableau 6: Caractéristiques de la batterie lithium</b> .....	33
<b>Tableau 7: Liste du matériel conception 1</b> .....	38
<b>Tableau 8: Caractéristiques du régulateur</b> .....	42
<b>Tableau 9: Caractéristique onduleur réseau</b> .....	44
<b>Tableau 10: Résultats de la simulation</b> .....	47
<b>Tableau 11: Liste du matériel de la conception 2</b> .....	48
<b>Tableau 12: Grille tarifaire du kWh</b> .....	50
<b>Tableau 13: Détermination du cash-flow du data center</b> .....	51
<b>Tableau 14: Emission en CO<sub>2</sub> de production d'énergie[31]</b> .....	53
<b>Tableau 15: Bilan carbone</b> .....	54
<b>Tableau 16: Valeur résiduelle conception 1</b> .....	xxx
<b>Tableau 17: Valeur résiduelle conception 2</b> .....	xxx

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1: Localisation de DARGATECH[5]</b> .....	2
<b>Figure 2: Structure de l'entreprise</b> .....	3
<b>Figure 3: Méthodologie de travail</b> .....	5
<b>Figure 4: Temps de fonctionnement journalier moyen</b> .....	7
<b>Figure 5: Temps moyen d'interruption</b> .....	7
<b>Figure 6: Source d'énergie de secours par entreprise</b> .....	8
<b>Figure 7: Présentation d'un data center[9]</b> .....	9
<b>Figure 8: Classification des Data centers</b> .....	10
<b>Figure 9: Rack de serveur pour data center[11]</b> .....	11
<b>Figure 10: Communication client-serveur web en HTTP[13]</b> .....	12
<b>Figure 11: Exemple de l'intérieur d'une baie avec un contrôleur en haut et quatre rangées de disques durs[14]</b> .....	12
<b>Figure 12: Concentrateur (Hub)[17]</b> .....	13
<b>Figure 13: Commutateur (Switch)[18]</b> .....	14
<b>Figure 14: Schéma des flux d'énergie électrique dans un data center[1]</b> .....	15
<b>Figure 15: Consommation énergétique (en pourcentage) par secteur de Data center[1]</b>	16
<b>Figure 16: Alimentation secourue</b> .....	17
<b>Figure 17: UPS en redondance[20]</b> .....	17
<b>Figure 18: UPS on-line</b> .....	18
<b>Figure 19: Biogaz par Méthanisation à Faso Biogaz[25]</b> .....	20
<b>Figure 20: Energie solaire</b> .....	21
<b>Figure 21: Synoptique de la conception 1</b> .....	26
<b>Figure 22: Composants d'une batterie lithium-ion[30]</b> .....	28
<b>Figure 23: Synoptique groupe électrogène</b> .....	35
<b>Figure 24: Schéma électrique solution 1</b> .....	37
<b>Figure 25: Synoptique solution conceptuelle 2</b> .....	39
<b>Figure 26: Fonctionnement du mini réseau</b> .....	40
<b>Figure 27: Schéma électrique de conception 2</b> .....	46
<b>Figure 28: Répartition de sources du data center</b> .....	49

## I. INTRODUCTION

Aujourd'hui, les perspectives de croissance du secteur numérique malgré les limites annoncées (manque de terres, de métaux précieux, pollution des industries minières, énergie insoutenable) et le manque de fondements solides pour obliger à repenser nos usages vers des pratiques plus sobres et décroissantes. Une étude réalisée en 2015 par Anders Andrae et Tomas Edler du centre R&D de Huawei à Stockholm estimait que le secteur numérique consomme 7 % de l'électricité mondiale avec un taux de CO<sub>2</sub> selon the Shift Project (organe du développement durable à travers le monde) estimé à 4 % dans le monde[2]. Cela correspond à la puissance de 210 réacteurs nucléaires pendant un an (pour la période de production et de consommation). Dans une telle consommation, les data centers uniquement représente 2 % de la consommation mondiale. Les prévisions plafonnent la consommation mondiale d'électricité à 13 % pour les data centers d'ici 2030[3]. Fort est de constater que les géants du numérique commencent à se pencher vers les data centers écologiques.[4]

L'Afrique à ce jour, bien qu'ayant l'un des plus faibles taux de consommation d'électricité au monde (entre 4 et 5%) ne saurait être en marge des réflexions écologiques liées aux data centers[5]. C'est ainsi que DARGATECH nous a soumis le thème « CONCEPTION D'UN SYSTEME D'ENERGIE ASSURANT LA CONTINUITE DE SERVICE D'UN DATA CENTER AU BURKINA FASO ». Ainsi, comment parvenir à une transition énergétique tout en assurant l'alimentation continue des data centers ?

Pour répondre à ces problématiques, notre travail dans les locaux de DARGATECH s'est articulé autour de quatre axes principaux.

D'abord, nous avons abordé cette étude par une revue de littérature sur les data centers, sur l'utilisation des énergies renouvelables en général, au Burkina en particulier ainsi que sur la présentation des data centers écologiques utilisés à travers le monde.

Ensuite, nous avons répondu aux problématiques liées à la conception de la source d'alimentation électrique intégrant le solaire à travers une étude détaillée sur les différentes technologies qui pourraient assurer l'alimentation continue des data centers par l'énergie solaire photovoltaïque.

Enfin, nous avons évalué le coût financier et l'impact environnemental des solutions conceptuelles établies afin de mesurer la viabilité du projet.

## II. PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCEUIL ET DE LA ZONE D'ÉTUDE

### II.1 Structure d'accueil

#### II.1.1 Historique et situation géographique

DARGATECH est une SARL d'ingénierie de l'énergie créée en 2016. Le fondateur et le principal actionnaire est le Docteur Arouna DARGA, enseignant-chercheur en Génie Electrique et Electronique à l'Université de Sorbone en France. Le siège social et le local de travail est situé à Kamboinsin dans la commune de Ouagadougou au Burkina Faso.

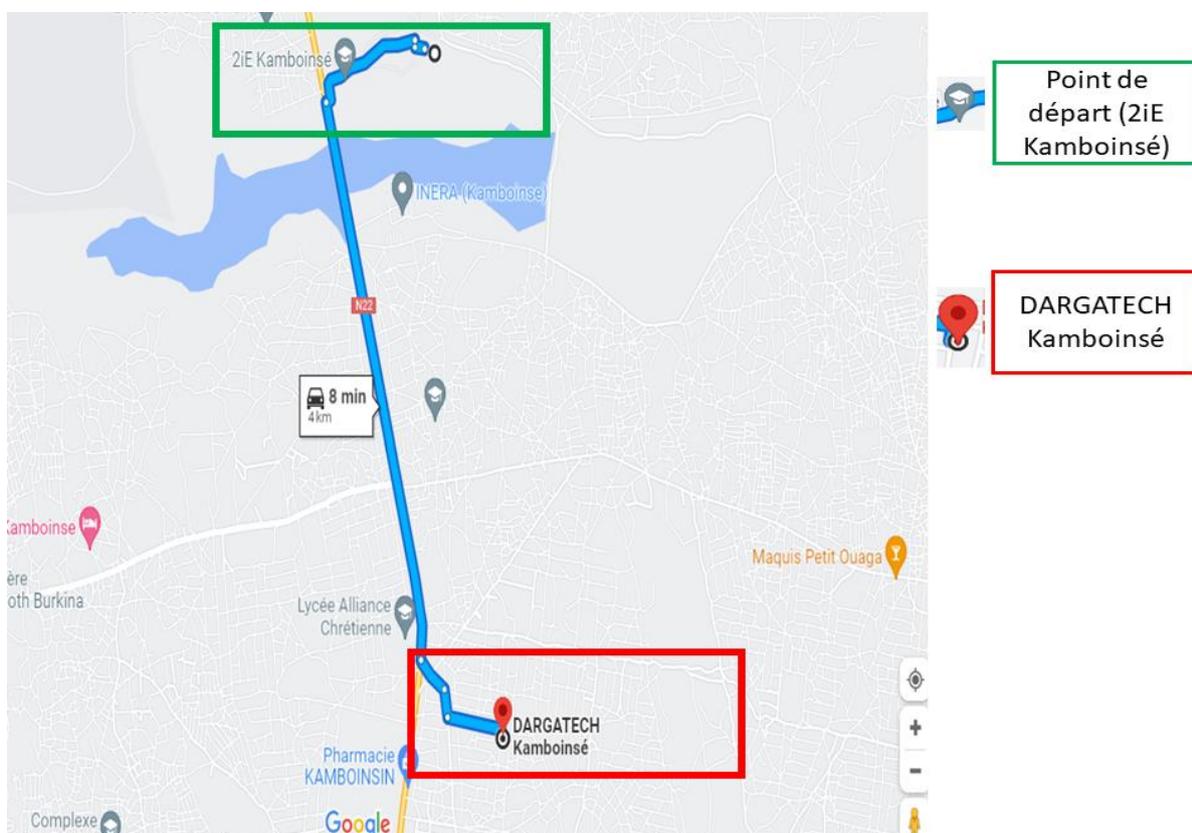


Figure 1: Localisation de DARGATECH[5]

#### II.1.2 Activités de DARGATECH

Les activités de DARGATECH s'articulent autour de la conception, de l'ingénierie et l'installation de systèmes de production d'eau et d'électricité utilisant les sources d'énergies renouvelables. Ce sont entre autres :

- Etudes de faisabilité et d'exécution,
- Installation, maintenance et suivi d'unités de production d'eau et d'électricité,
- Études de planification,

- Ingénierie technico-économique,
- Formations professionnelles,
- Benchmarks d'équipements : tests de conformité,
- Mise en conformité et entretien des équipements solaires
- Conseils.

### II.1.3 Structure de l'entreprise

DARGATECH est structuré selon l'organigramme suivant :

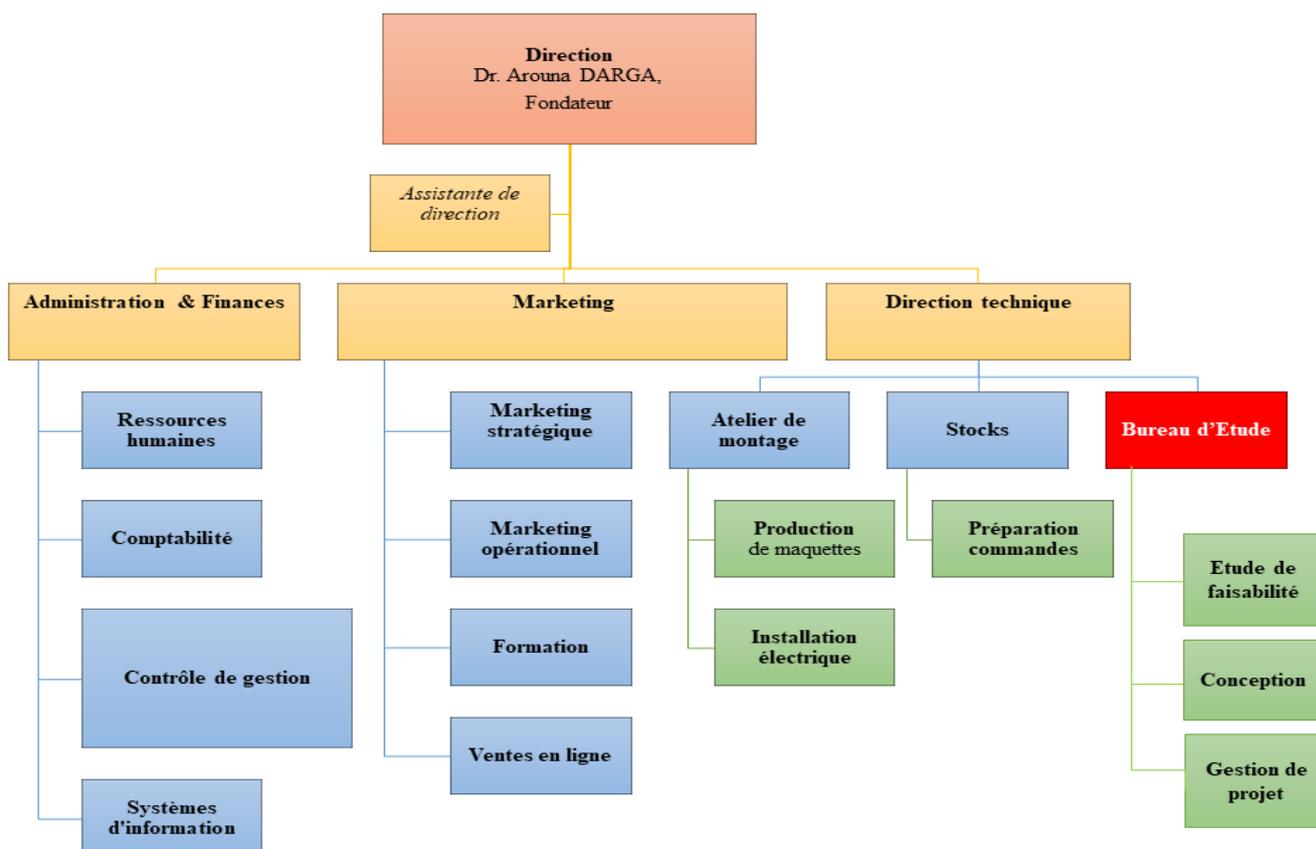


Figure 2: Structure de l'entreprise

## II.2 Zone d'étude

La réalisation de ce projet est prévue pour le Burkina Faso. Ainsi toutes les données de dimensionnement et le choix d'équipement devront se faire en prenant en compte toutes les contraintes liées à l'environnement Burkinabè.

### **III. PRÉSENTATION DU PROJET**

#### **III.1 Contexte et justification**

Les data centers sont des installations qui abrite des équipements informatiques tels que des serveurs, des systèmes de stockage de données et des équipements réseau. Ils sont essentiels pour stocker et traiter les énormes quantités de données générées par les entreprises, les gouvernements, les organisations et les utilisateurs individuels.

Cependant, ces centres de données nécessitent d'énormes quantités d'énergie pour fonctionner et ont un impact majeur sur l'environnement en raison des émissions de gaz à effet de serre qui sont liés à la quantité d'énergie produite par diverses sources d'énergie.

Aujourd'hui, l'optimisation des centres de données est devenue un enjeu majeur pour les entreprises, non seulement pour réduire leur empreinte carbone, mais aussi pour améliorer leur compétitivité sur le marché.

Ainsi, deux problématiques se dégagent :

Comment s'engager sur la voie de la transition énergétique en bénéficiant d'une fourniture en énergie verte, décarbonée et renouvelable au sein des data centers ?

Comment pallier aux microcoupures dans les data centers qui seraient dues à des changements intermittents ?

#### **III.2 Objectifs**

L'objectif général de ce travail est de mettre en place une conception de système solaire photovoltaïque pour data center au Burkina. Ainsi, les objectifs spécifiques qui en découlent sont les suivants :

- Réalisation d'une revue de bibliographie sur, d'une part, les solutions techniques pour l'alimentation ininterrompue en énergie électrique d'un data center, et d'autre part, l'intégration des énergies renouvelables pour l'alimentation des data centers ;
- Définir des solutions techniques par taille d'entreprise concernée : PME, Grande Entreprises, etc ;
- Concevoir un système solaire adapté aux exigences des data centers ;
- Prendre en considération les microcoupures liés au réseau Burkinabè ;
- Prendre en considération les contraintes environnementale Burkinabè dans la conception du système solaire du data center ;
- Mettre en œuvre un système et réaliser des essais de qualification en fonction de critères de performances définis au préalable.

## IV. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

L'alimentation électrique du data center intégrant le solaire implique plusieurs paramètres à prendre en considération pour pallier aux problématiques énoncées. Ainsi, pour mener traiter la problématique nous avons procédé comme suit :

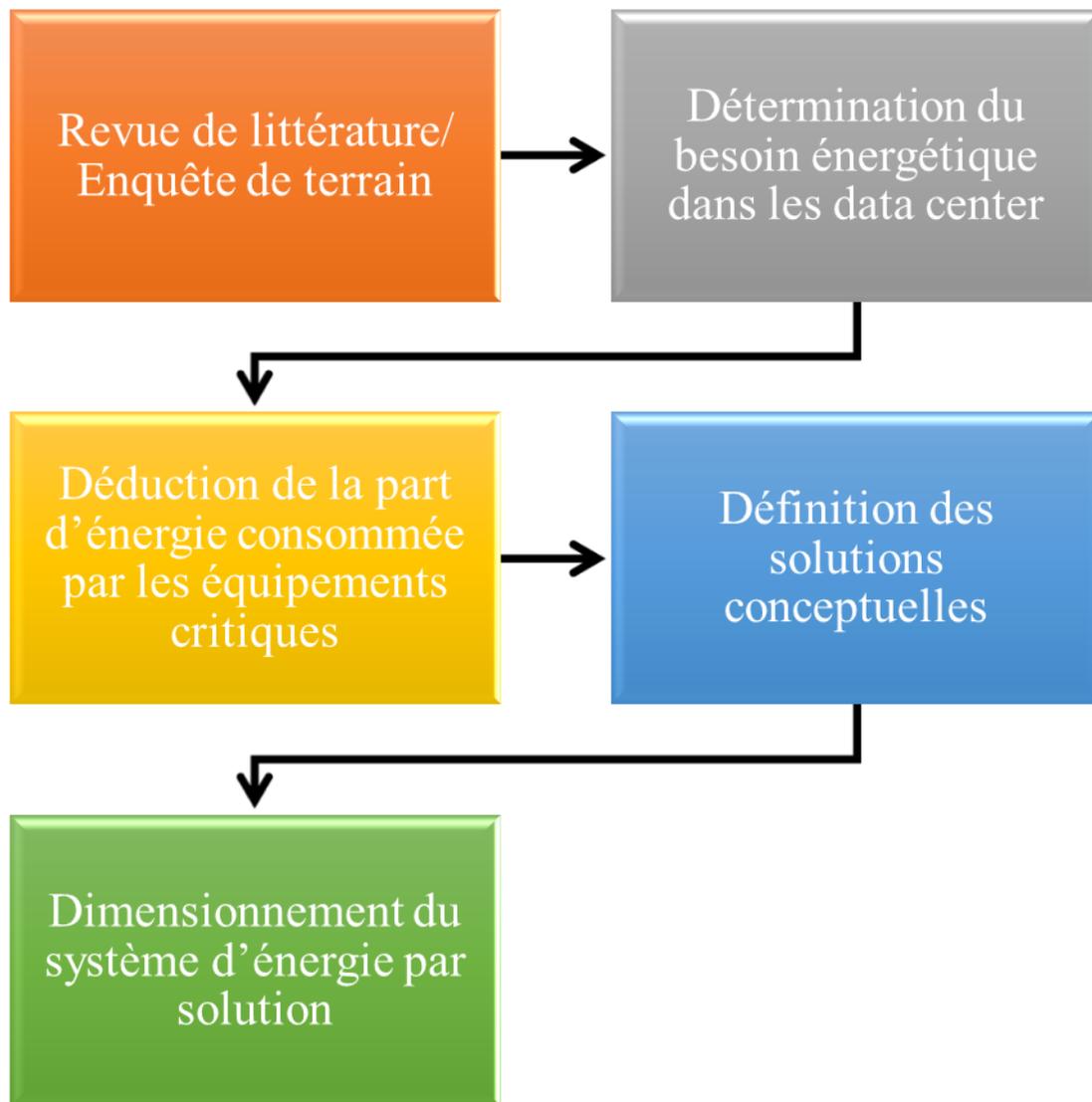


Figure 3: Méthodologie de travail

### ✚ Etat des lieux

Afin de mener à bien ce projet, une enquête a été menée auprès des entreprises du domaine informatique et des PME et Grandes Entreprises possédants des data centers dans leurs locaux. D'après la charte des Petites et Moyennes Entreprises au Burkina Faso, on appelle PME toute personne physique ou morale qui est producteur de biens et/ou de services marchands, immatriculée au Registre du Crédit Personnel du Commerce, pleinement autonome et dont le nombre de salariés est d'au moins 100 employés à temps plein avec un chiffre d'affaires annuel inférieur à 1 milliard de francs CFA hors taxes et tient une comptabilité régulière.

On appelle Grande Entreprise toute entreprise qui réalise un chiffre d'affaire supérieur ou égal à 1 milliard de F CFA.[6]

Pour réussir cette enquête, nous avons eu deux approches.

La première consistait à parcourir des entreprises de la ville de Ouagadougou, pour qui les data centers et équipements informatiques sont vitaux. Ce sont entre autres les entreprises de télécommunication et du numérique telle que Orange (Orange Digital Center) et l'Agence Nationale de Promotion des TIC (ANPTIC), des banques telle que la BOA.

Il faut noter que si l'approche a été louable auprès des responsables que nous avons pu rencontrer, nous n'avons pu avoir gain de cause pour l'évolution de notre travail.

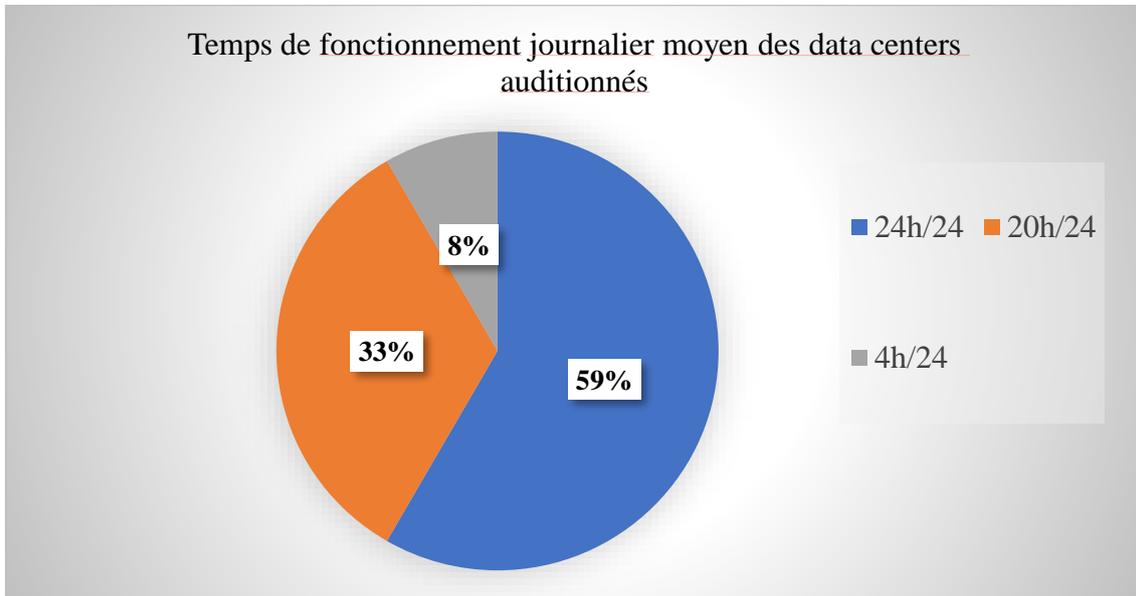
C'est ainsi que nous avons abordé une seconde approche qui a consisté à monter un formulaire d'enquête en ligne dont le lien est à la référence [7].

Cette seconde approche a été plus efficace car elle nous a permis d'obtenir des données de plusieurs entreprises pour la réalisation de l'étude.

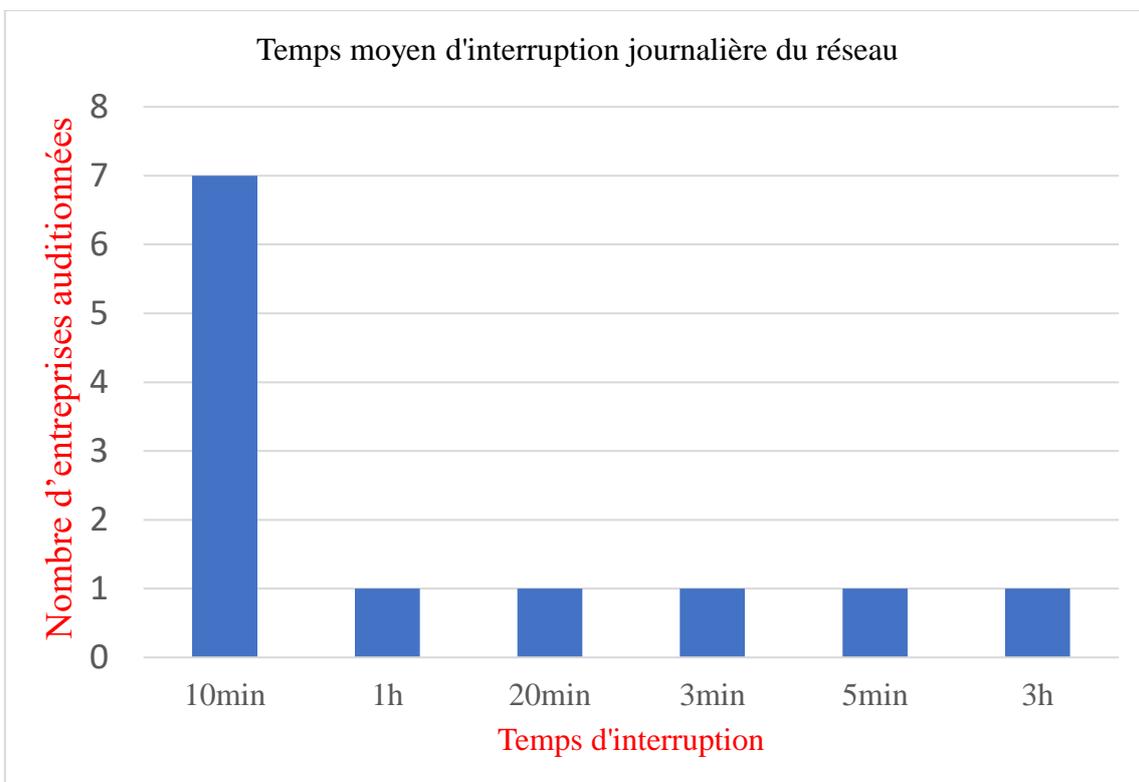
## 🚩 Résultats de l'enquête

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un avant-projet. Aucune donnée technique n'a été précisée. Les données de base du projet sont les résultats obtenus à l'enquête.

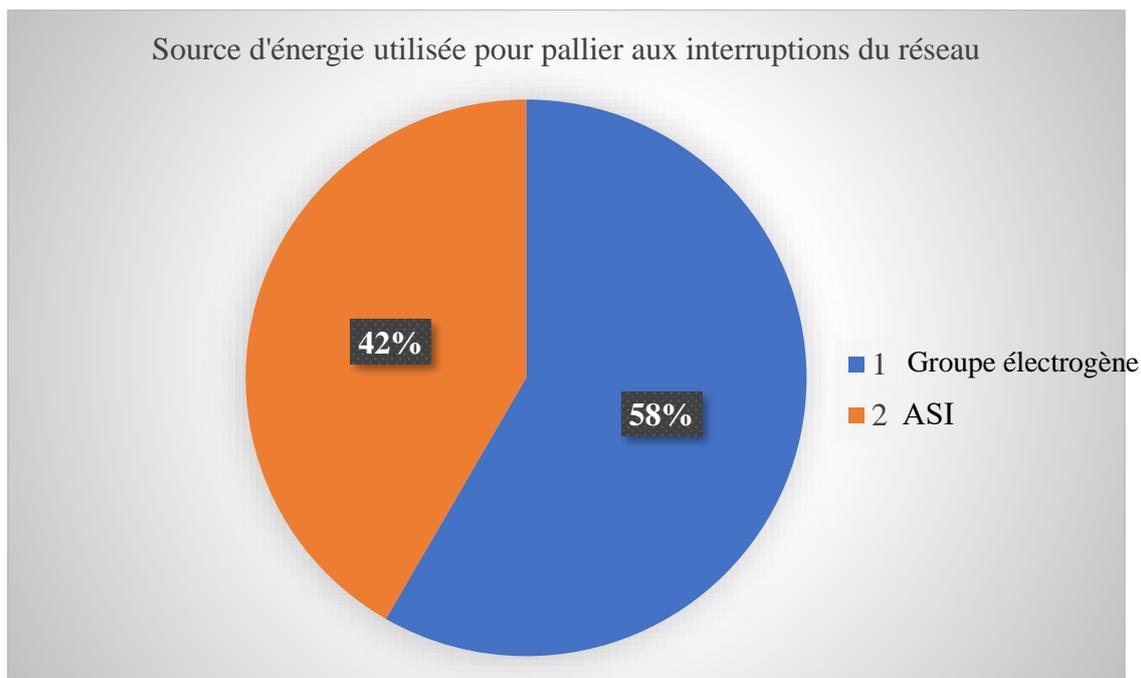
Le **Tableau 1** indiquent une synthèse de l'enquête qui servira de donnée de base pour l'étude technique.



**Figure 4: Temps de fonctionnement journalier moyen**



**Figure 5: Temps moyen d'interruption**



**Figure 6: Source d'énergie de secours par entreprise**

✚ Synthèse de l'enquête

**Tableau 1: Synthèse d'enquête**

Nombre total d'entreprise auditionnée	12
PME	6
Grande Entreprise	6
Consommation moyenne PME	528 kWh.j <sup>-1</sup>
Consommation moyenne Grande entreprise	7425 kWh.j <sup>-1</sup>

## V. GÉNÉRALITÉS

### V.1 Data center

#### V.1.1 Présentation

Le Data center ou Centre de données, est un service regroupant l'ensemble des équipements informatiques afin d'assurer le stockage, le traitement et la protection de données.

Un data center est un ensemble d'équipements comprenant essentiellement des serveurs informatiques, des dispositifs de stockage de données et des dispositifs de communication. L'ensemble est rassemblé en un même lieu et comporte des équipements d'infrastructure qui viennent en soutien.

Derrière chaque courriel, image ou chaque message partagé sur internet, des data centers tournent 7 j/ 7 à plein régime et sont alimentés en permanence. On note en moyenne une dizaine de milliards de courriels qui transitent chaque heure sur internet ce qui fait aujourd'hui des data centers des grands consommateurs d'énergie dans le monde.

La consommation énergétique des data centers est estimée à 4 voire 5 % de la consommation électrique mondiale.[8]

La **Figure 7** illustre ce qu'est un data center pour notre ère sur le plan énergétique.

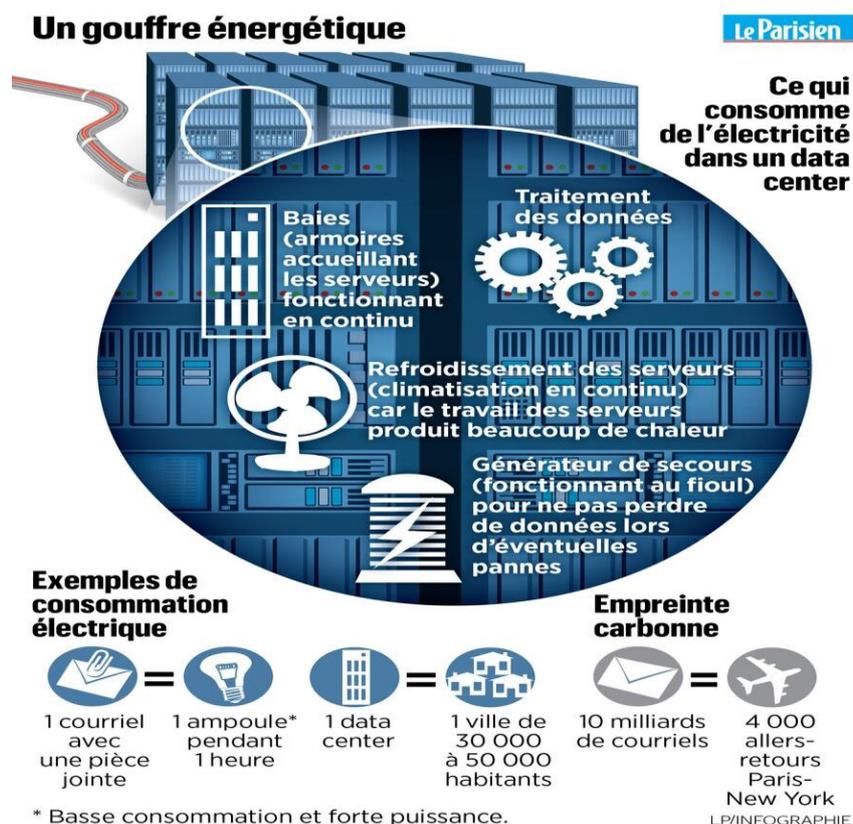


Figure 7: Présentation d'un data center[9]

## V.1.2 Classification des data centers

La plupart des data centers fonctionnent 24 h/24 et doivent fournir des garanties aux utilisateurs en termes de sécurité et de performances. La consommation d'énergie est donc permanente et le niveau de sécurité est élevé.[10]

Un consortium d'entreprises appelé Uptime Institute a développé un système de classification hiérarchique appelé Tier qui est largement utilisé dans le milieu des centres de données. Le Tier représente le taux de disponibilité, le niveau d'assurance de la sécurité de l'information à une l'échelle, etc. Plus le niveau est élevé, plus vos informations sont sécurisées. Globalement, on distingue quatre niveaux ou quatre Tiers qui correspondent chacun à un certain niveau de garanties sur le type d'équipement utilisé dans le data center pour assurer la disponibilité.[10]

La Figure 8 illustre la classification hiérarchique des data centers en partant du Tier le plus grand (4) au moins grand (1).



Figure 8: Classification des Data centers

### V.1.3 Configuration d'un data center

Dans les data centers, les équipements informatiques sont logés dans des racks. Un rack est une armoire métallique de dimension standard conçue pour abriter des équipements informatiques (serveurs, baies de stockage, équipements réseau, etc.).[10]

La Figure 9 représente deux racks contenant des serveurs, équipements de stockage, etc.



Figure 9: Rack de serveur pour data center[11]

## 🚦 Serveurs

Les serveurs informatiques fournissent des services accessibles sur un réseau. Un ordinateur, qui peut être matériel ou logiciel, agit selon les besoins d'un autre ordinateur, appelé « client ». C'est pourquoi on entend souvent parler de relations "client/serveur". Par exemple, lorsqu'un utilisateur (côté client) utilise un navigateur Web pour rechercher un site Web à afficher, il adresse une requête au serveur Web, un serveur HTTP.[12] La Figure 10 illustre la relation entre un serveur et un client.

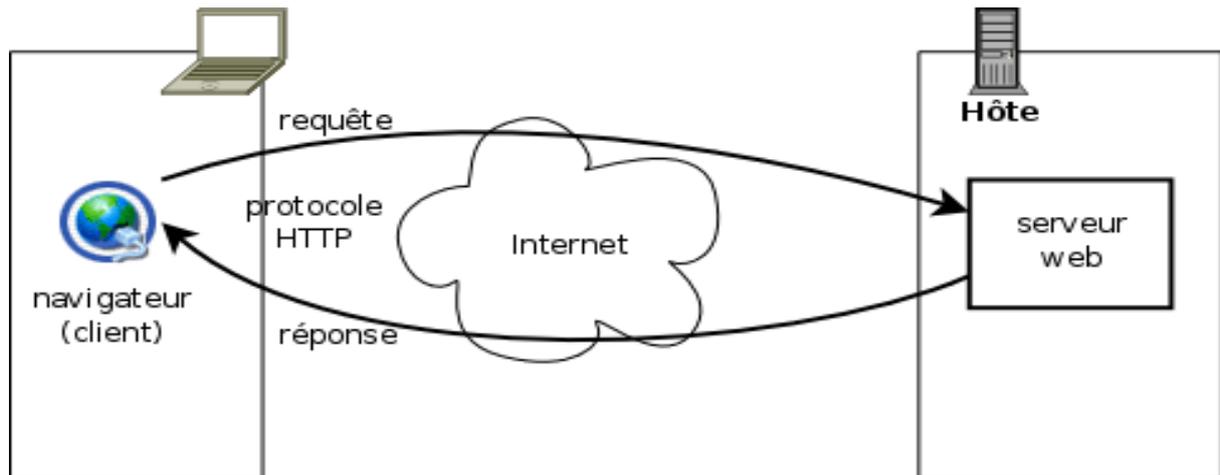


Figure 10: Communication client-serveur web en HTTP[13]

## 🚦 Baie de stockage

La baie de stockage représentée à travers la Figure 11 désigne le matériel informatique dont le seul but est de gérer des groupes de disques durs. Elle est composée principalement de disques durs de grande capacité (exprimée en Giga-octets) et d'un ou plusieurs contrôleurs.

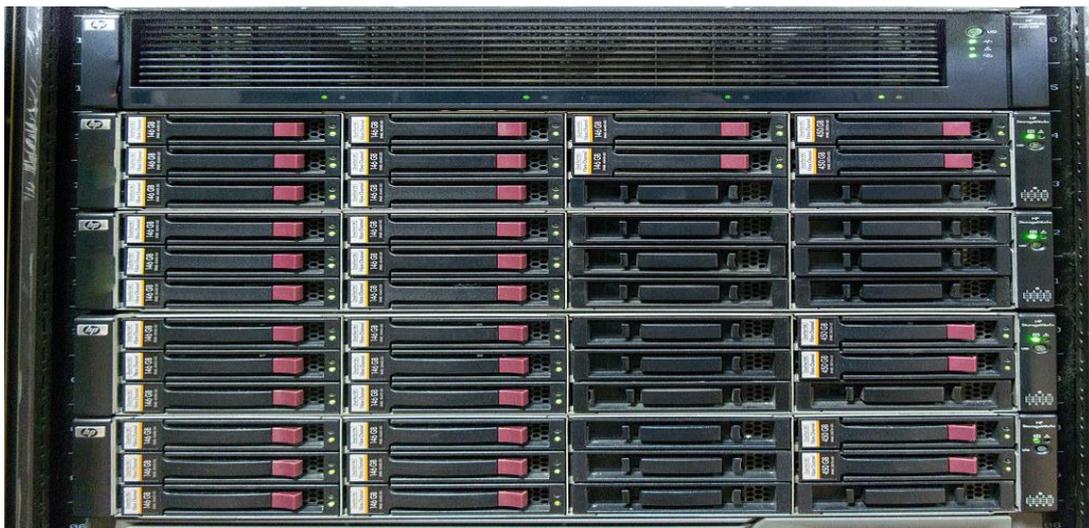


Figure 11: Exemple de l'intérieur d'une baie avec un contrôleur en haut et quatre rangées de disques durs[14]

## ✚ Equipements réseau

Un équipement réseau est un périphérique physique requis pour la communication et l'interaction entre les périphériques sur un réseau informatique.[15] Dans les data centers, on trouve divers équipements réseau pour mener à bien le fonctionnement. Ce sont entre autres :

- Concentrateur (hub)

Un concentrateur a pour rôle de connecter plusieurs périphériques informatiques d'un LAN (Local Area Network).

Les concentrateurs agissent également comme des répéteurs, amplifiant les signaux qui se dégradent sur de longues distances.[15]

Ils contiennent plusieurs ports. Lorsque les paquets sont reçus sur un port, ils sont envoyés vers d'autres ports, rendant tous les paquets accessibles à tous les segments du réseau local. [16]Lorsque A veut envoyer un message à D, le hub renverra le message à tous les équipements.

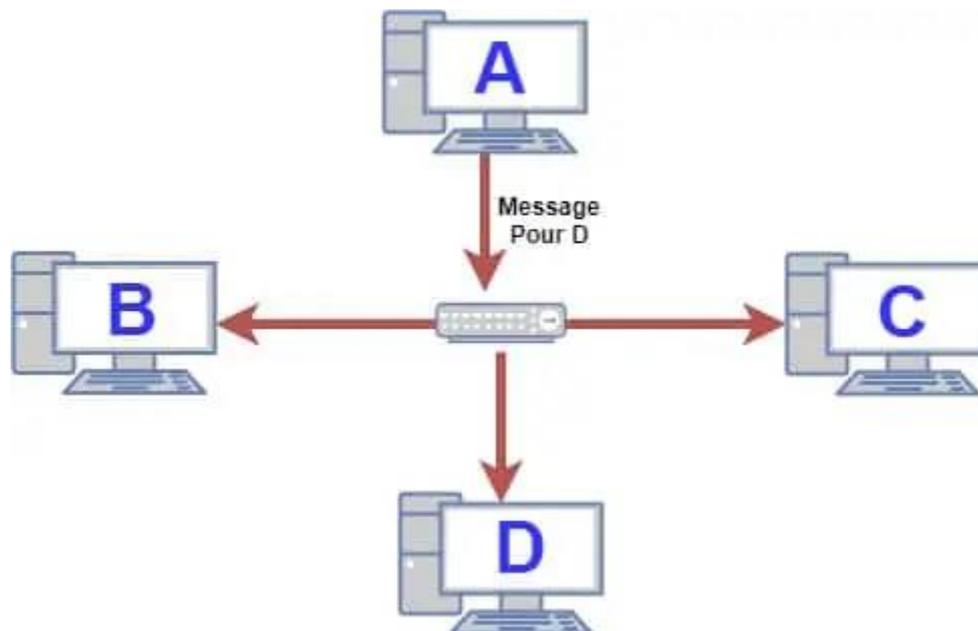


Figure 12: Concentrateur (Hub)[17]

- Commutateur (switch)

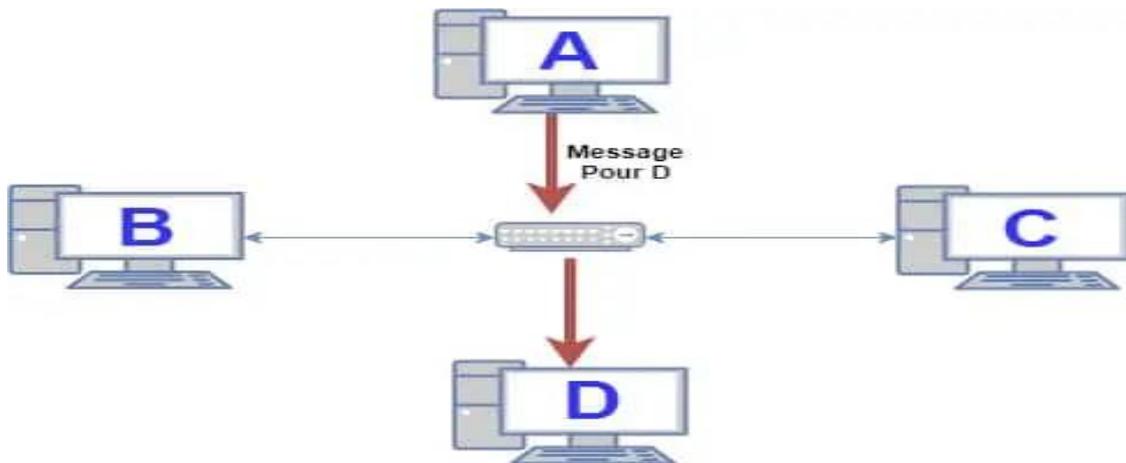
Les commutateurs sont généralement plus intelligents que les concentrateurs. Les commutateurs sont des dispositifs multiports qui améliorent l'efficacité du réseau. Les commutateurs gèrent des informations de routage limitées sur les nœuds de réseau internes, permettant des connexions à des systèmes tels que des concentrateurs et des routeurs. Les brins d'un réseau local sont généralement connectés via des commutateurs.

Les commutateurs peuvent généralement lire l'adresse matérielle d'un paquet entrant et le transmettre à la destination appropriée. [15]

Dans la Figure 13, lorsque A envoie un message à l'ordinateur D, le commutateur lit l'en-tête du message et envoie le message à D uniquement.

Par conséquent, les autres ordinateurs du réseau ne recevront pas le message.

Cette façon de travailler est le principal avantage des commutateurs par rapport aux hubs (voir la section ci-dessus sur le fonctionnement des hubs).



**Figure 13: Commutateur (Switch)[18]**

- **Routeur**

Le routeur est un équipement informatique qui se connecte à au moins deux réseaux, généralement deux LAN ou WAN (Wide Area Networks), et ses réseaux ISP (Internet Service Provider). Un routeur est généralement placé entre des passerelles qui connectent deux ou plusieurs réseaux. [16]

- ✚ **Systèmes de refroidissement des data centers**

Les data centers génèrent beaucoup de chaleur et donc doivent être refroidis en permanence pour assurer un bon service. En général, 1 kW IT = 1 kW de chaleur à traiter.[10]

Cette quantité considérable d'énergie calorifique ne peut laisser les concepteurs de data centers indifférents depuis l'étude jusqu'à sa réalisation car la climatisation des data centers représentent 30% de la consommation d'électricité dans le data center.[1]

Ainsi, pour refroidir les salles IT dans les Data Centers, la production de froid est principalement basée sur l'énergie électrique. Il existe plusieurs techniques de refroidissement des data centers dont le principe est basé sur la production de froid par groupe frigorifique avec pour objectif majeur de maintenir la température au sein du data center entre 18 et 27 °C.

## ✚ Alimentation électrique des data centers

Un data center aussi petit soit-il, est un système complexe au sein duquel plusieurs secteurs (principaux ou auxiliaire) sont à l'origine de consommations importantes d'énergie électrique. Une distinction est faite entre la consommation énergétique des équipements informatiques et celle des unités auxiliaires telles que le refroidissement des serveurs, la climatisation des locaux, etc.

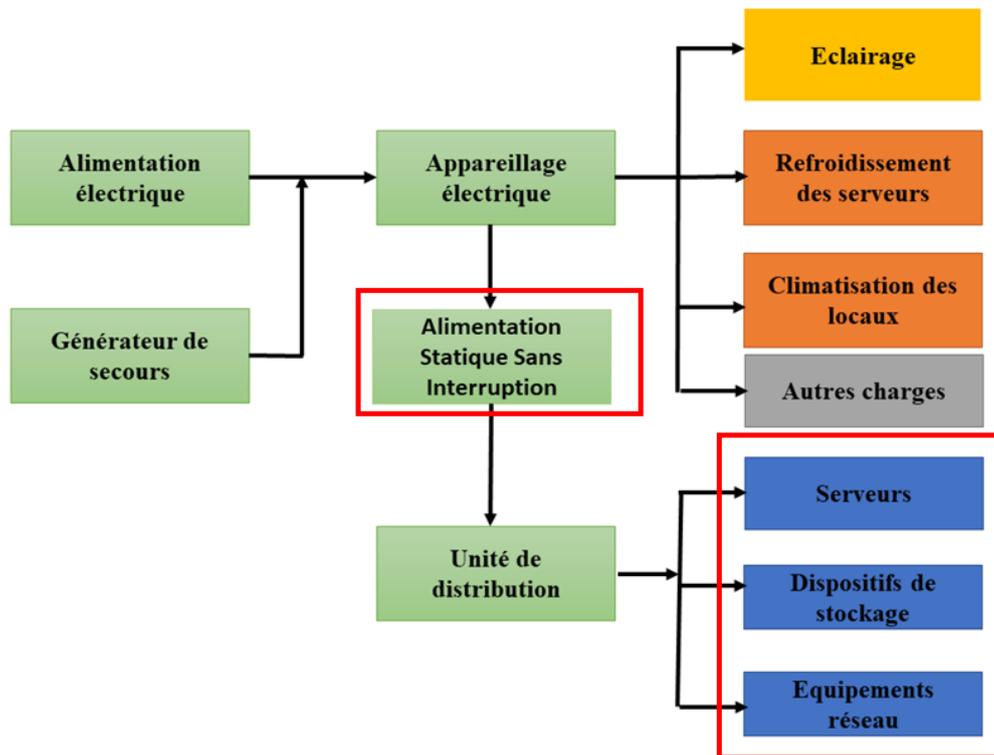


Figure 14:Schéma des flux d'énergie électrique dans un data center[1]

Cette distinction des différents secteurs d'alimentation électrique de data center est à l'origine d'un indice de performance dénommé Power Usage Effectiveness (PUE) qui est un concept développé par le Green Grid (consortium industriel international à but non lucratif qui rassemble 501 membres dont des sociétés et représentants issus pour la plupart du monde de l'informatique) et largement reconnu comme la norme en matière d'efficacité énergétique dans le monde actuel des data centers. Il représente le ratio entre l'énergie totale consommée par le data center et la seule énergie consommée par les équipements de traitement de l'information.[1]

La Figure 15 présente une répartition de la quantité d'énergie (en pourcentage) consommée par différents secteurs du data center.

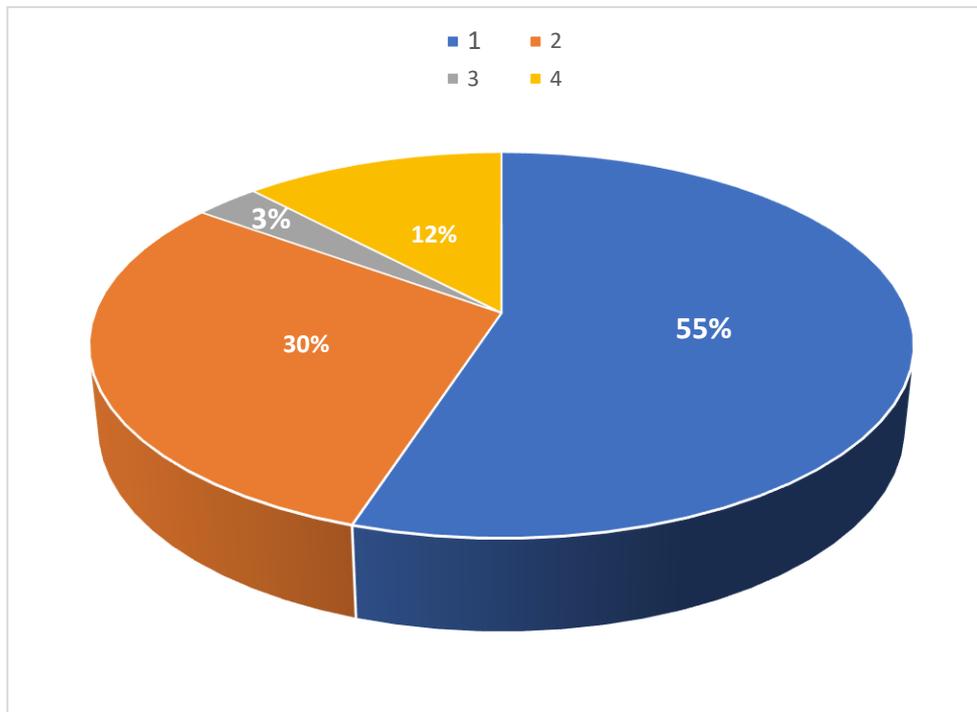


Figure 15: Consommation énergétique (en pourcentage) par secteur de Data center [1]

- 1 : Serveurs et autres équipements de traitement de données
- 2 : Refroidissement et climatisation
- 3 : Eclairage
- 4 : Autres

#### Alimentation de secours dans les data centers

L'hébergement de centres de données nécessite une grande fiabilité énergétique, afin qu'ils puissent fournir un service ininterrompu à leurs clients. Les systèmes d'alimentation sont généralement doublés (en redondance) pour éviter les pannes qui rendraient l'installation inutilisable et incapable de fonctionner comme prévu. [19]

- Réseau et groupe électrogène

Au nombre des équipements redondants de l'installation, on a deux sources d'alimentation électrique (le réseau et le groupe électrogène) comme présentées à Figure 16 dont les commutations sont assurées par un inverseur de source qui fait basculer les charges sur le groupe électrogène en cas de coupure du réseau et les ramène lorsque le réseau est rétabli. Bien qu'ayant cette redondance des équipements d'alimentation au sein du data center, l'alimentation ne peut être qualifiée d'ininterrompue.

L'une des problématiques ici reste toujours la gestion du temps de passage d'une source à une autre ( $t > 20\text{ms}$ ).

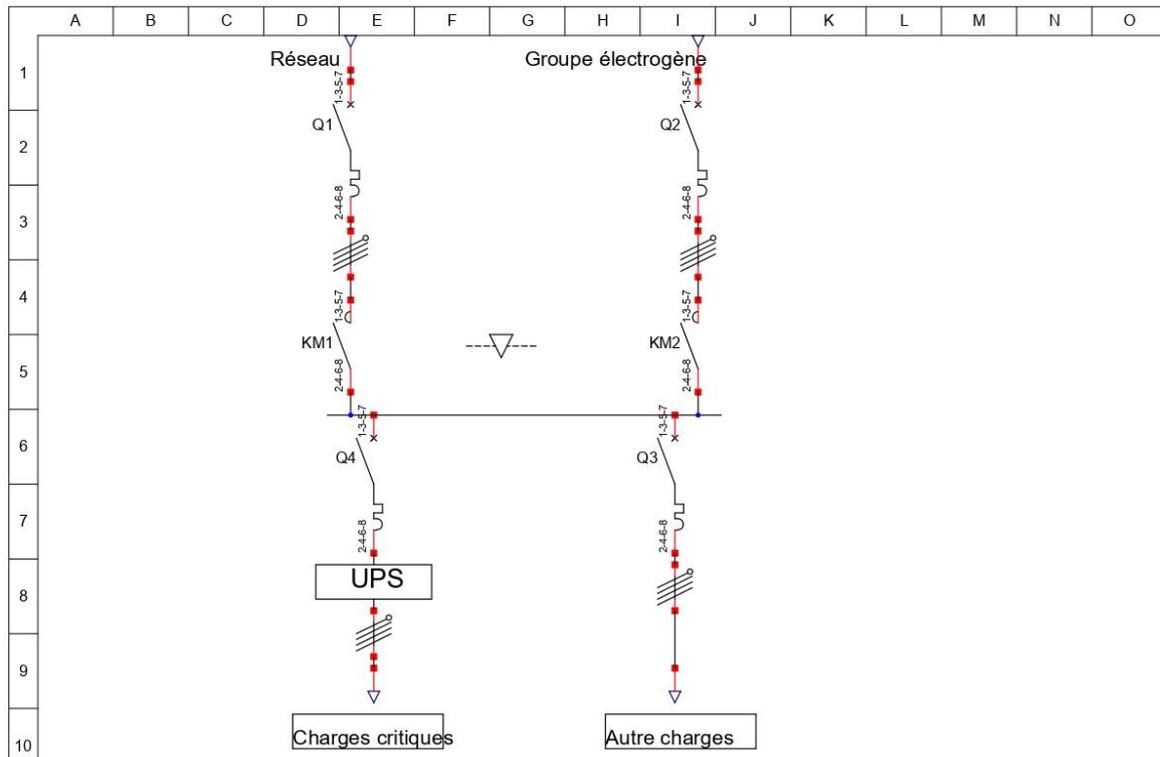


Figure 16: Alimentation secourue

#### Alimentation UPS

Au nombre des équipements en redondance installés dans le système d'alimentation des data centers, nous avons les alimentations sans interruption (UPS). Dans l'enceinte des data centers, tout comme la source d'alimentation électrique (réseau et groupe électrogène), les UPS sont montés en redondance afin d'assurer une continuité de service aux data centers en cas de défaillance de l'un (voir Figure 17).

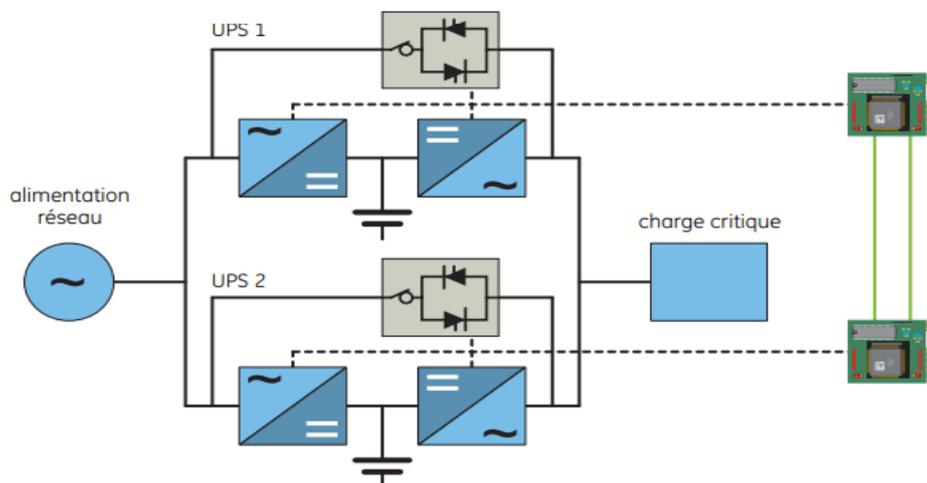


Figure 17: UPS en redondance[20]

Une alimentation sans interruption (ASI ou UPS) est un dispositif qui permet à un système informatique (data center) de continuer à fonctionner pendant au moins une courte période lorsque l'alimentation entrante (réseau ou GE) est interrompue. Tant que le courant électrique circule, il réapprovisionne et maintient également le stockage d'énergie. Plus il y a d'énergie stockée, plus la puissance peut être maintenue longtemps. Il existe différents types de systèmes UPS et la différence entre ces systèmes réside dans la technologie d'exploitation.[21] on distingue différentes technologies d'onduleurs UPS ou ASI (Alimentation Statique sans Interruption) mais le plus utilisé et recommandé est l'UPS **on-line double** (Double conversion).

Cette technique est appelée double conversion car la puissance fournie par le réseau brut est convertie deux fois avant d'alimenter les charges critiques en cas de coupure. On a donc une conversion AC-DC puis DC-AC.[22]

La Figure 18 illustre le fonctionnement de l'onduleur UPS on-line. Une partie de l'énergie électrique venant de la source AC va permettre de charger la batterie. En cas de coupure, l'énergie stockée dans la batterie sera convertie et acheminée vers la charge.

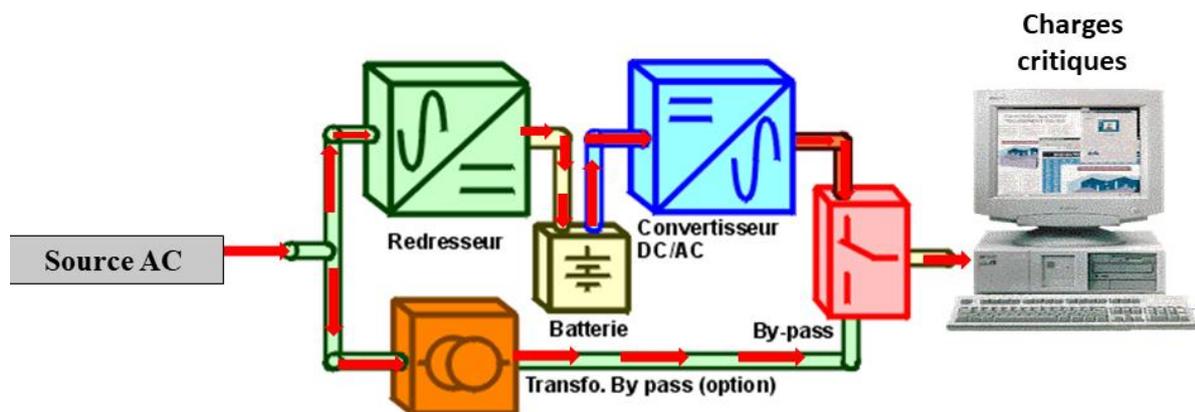


Figure 18: UPS on-line

## V.2 Energies renouvelables

### V.2.1 Présentation

Les Energies Renouvelables (ou EnR) désignent divers moyens d'obtenir de l'énergie à partir de sources théoriquement illimitées ou de ressources disponibles à l'infini ou qui se rétablissent autant qu'elles ne sont consommées. Elles sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, le vent, qui sont théoriquement illimitées à l'échelle humaine.

L'énergie renouvelable est aussi appelée « énergie verte » ou « énergie propre ».[23]

## V.2.2 Energies renouvelables au Burkina Faso

Comme d'autres pays du G5 Sahel, le Burkina Faso souffre de pénuries chroniques d'électricité, avec des pannes importantes, en particulier pendant les mois chauds. En effet, le secteur électrique se caractérise par une faible capacité de production. Fin 2015, le Burkina Faso disposait d'une capacité nominale de 321 MW (10% hydraulique, 90% thermique). De même, la société publique d'électricité du Burkina Faso (SONABEL) n'a produit que 973 GWh en 2016. La production n'était toujours pas suffisante pour combler la pénurie d'approvisionnement en électricité.

Aujourd'hui, les principales sources d'énergies renouvelables dont dispose le Burkina Faso sont essentiellement le soleil et la biomasse. L'énergie éolienne reste une piste à explorer.

Il est donc important d'améliorer la capacité des acteurs à acquérir et adapter les connaissances scientifiques et techniques disponibles pour relever avec succès les défis dans la maîtrise des énergies renouvelables.

Avant d'entrer dans les politiques existantes dans le secteur des énergies renouvelables au Burkina Faso, il est nécessaire de faire un tour d'horizon du potentiel énergétique qui pourrait combler le déficit énergétique.

### La biomasse

La biomasse est l'une des ressources énergétiques les plus utilisées du Burkina, avec un volume de matière exploitable estimé à 2 515 millions de m<sup>3</sup>.

L'utilisation de la biomasse pour la production d'électricité à grande échelle n'est pas encore une réalité à grande échelle, mais des expérimentations sont en cours notamment dans l'industrie avec des structures comme SN SOSUCO (industrie sucrière), qui utilise la bagasse pour produire de la chaleur et de l'électricité, et SN CITEC, qui utilise le tourteau de coton pour produire de l'électricité.

On remarque de plus en plus des entreprises au Burkina qui se positionnent dans le domaine tel que FasoBiogaz. Depuis 2009, un vaste programme de construction de biodigesteurs a été mis en place. Il sera mis en œuvre dans le cadre du programme national de biodigesteurs avec un objectif de 100000 unités d'ici 2030.[24]

On distingue différents types de production d'énergie électrique à partir de la biomasse.

Ce sont :

- La biomasse par combustion
- La biomasse par méthanisation : forme de production d'énergie électrique utilisée par Faso Biogaz.

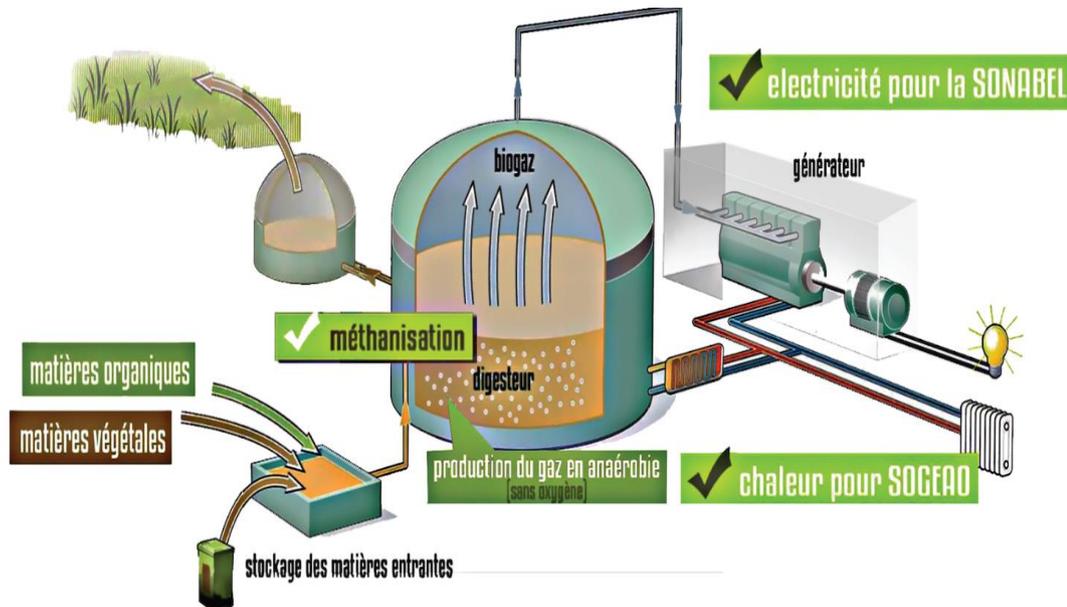


Figure 19: Biogaz par Méthanisation à Faso Biogaz[25]

## ☀ L'énergie solaire



**Figure 20: Energie solaire**

Au Burkina Faso, le gisement solaire est important avec un ensoleillement de  $5,5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$  pendant 3000 à 3500 heures annuel. Cependant, avec une production inférieure à 1 Mwc ce gisement reste sous-exploité.

Aujourd'hui, avec des ambitions nouvelles et la volonté Etatique d'électrifier la quasi-totalité du territoire national à partir de source à moindre coût voire à porter de main, le secteur du solaire a énormément évolué avec le développement des centrales solaire au regard des grands projets de réalisation avec une production de 100 Mwc à moyen et long terme.

On en dénombre au totale à ce jour plusieurs centrales solaires photovoltaïques au Burkina.

**Tableau 2: Centrale solaire au Burkina Faso**

Centrale	Capacité (Mwc)	Date de mise en service
Centrale de Zagtouli[26]	33	2017
Ziga[27]	1,1	2017
Nagréongo[28]	30	2022
Dori	6	En cours, lancé depuis mars 2023 par le programme YELEEN
Ouaga Nord-ouest	42	En cours, lancé depuis mars 2023 par le programme « YELEEN »
Diapaga	2	En cours, lancé depuis mars 2023 par le programme « YELEEN »
Gaoua	1	En cours, lancé depuis mars 2023 par le programme « YELEEN »

## V.2.3 Energie renouvelables et data centers

### ✚ Energie et monde des données

Le coût du marché mondial des centres de données verts devrait atteindre 142,8 milliards USD d'ici 2026, avec un Taux de Croissance Annuel Composé (TCAC) de 19,7 % au cours de la période de prévision. C'est l'un des marchés les plus porteurs pour demain et les entreprises ont intérêt à utiliser des énergies plus vertes.

Comme le confirme M. David Mytton, chercheur en informatique durable : "En fin de compte, les énergies renouvelables sont beaucoup moins chères, et comme l'électricité est le principal coût du centre de données, il peut être beaucoup moins cher pour une entreprise d'investir dans l'énergie solaire et éolienne".[8]

Avec une consommation annuelle d'énergie électrique estimée à 4 voire 5 % de la consommation électrique mondiale, la question de data centers "verts" se pose sur la table des experts de l'énergie afin de gérer au mieux la question des flux électriques (la source d'énergie) et informatiques (les données) pour offrir des services robustes et efficaces aux utilisateurs des centres de données grâce à diverses sources d'énergies renouvelables.

Au Burkina Faso, la principale source d'énergie renouvelable étant le solaire photovoltaïque, elle sera donc la source primaire. Cependant, l'énergie produite par cette source est difficilement prévisible et intermittente (elle dépend des conditions météorologiques). La problématique dans ce projet révolutionnaire des centres de données est donc de trouver une solution pour une alimentation permanente des data centers c'est-à-dire l'offre d'énergie égale à la demande d'énergie du data center quel que soit les conditions météorologiques.

### ✚ Grands data centers au monde

Les data centers sont assimilés à des centrales électriques numériques, un type d'installation de production de l'énergie numérique nécessaire au fonctionnement des services cloud et internet. Quand bien même le fonctionnement des centres de données nécessite une faible main d'œuvre pour tourner, ils imposent des défis économiques et techniques importants pour le pays hôte. Les centres de données créent généralement un écosystème qui attire les opérateurs de télécommunications, les fournisseurs de services internet et cloud, les fabricants de logiciels, les développeurs d'applications et même les start-ups.

Les géants du monde de l'internet et du cloud continuent d'étendre leur parc de centres de données. Selon Synergy Research, il y avait 728 unités en service fin 2021 contre 597 un an auparavant. Amazon (34 %), Microsoft (21 %), Google (11 %), qui sont présents à la fois dans les services Internet et cloud, détenant près de la moitié des services cloud du monde.

Aujourd'hui, on dénombre plusieurs data centers qui sont occupés par ces géants du monde d'internet et cloud. Le **Tableau 3** nous donne le classement des cinq data centers les plus imposants dans le monde.

**Tableau 3: Classement des plus grands data centers au monde[29]**

Rang Mondial par superficie	Désignation	Superficie	Localisation	Coût (USD)	Observations
1	China Telecom Inner Mongolia Information Park – Hohhot	25km <sup>2</sup>	Hohhot, Chine	3 Milliards	100 000 racks
2	China Mobile – Hohhot	720 000m <sup>2</sup>	Hohhot, Chine	1,92 Milliards	
3	Switch – Tahoe Reno (The Citadel)	670 000 m <sup>2</sup>	Nevada, USA		Le plus grand aux États-Unis. L'un des centres les plus écologiques au monde.
4	China Mobile – Harbin	663 000 m <sup>2</sup>	Harbin, Chine		Ville très froide (température moyenne de 5 °C) donc appropriée au refroidissement d'une ferme de serveurs.

5	China Unicom – Northwest	598 000 m <sup>2</sup>	Hohhot, Chine		
---	-----------------------------	------------------------	------------------	--	--

Dans ce chapitre, le travail s'est articulé principalement autour d'une revue de littérature sur les data centers, leur consommation énergétique, leur principe de fonctionnement ainsi que sur les énergies renouvelables et les possibilités qu'elles offrent pour les data centers.

Il en ressort que bien qu'étant nécessaires pour notre ère, les data centers imposent des contraintes environnementales énormes par ce qu'ils sont énergivores (plus de 2 % de la consommation électrique mondiale). En conséquence, des gaz à effet de serre, principalement du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) sont émis et contribuent au réchauffement climatique.

Ainsi, l'alternative possible actuellement pour pallier ce problème énergétique des data centers serait de les alimenter à l'énergie renouvelable tout en ayant à l'esprit de satisfaire au besoin énergétique sans toutefois dégrader l'environnement.

Le chapitre suivant fera l'objet de solutions conceptuelles de système d'énergie solaire photovoltaïque pour l'alimentation des data centers.

## VI. ÉTUDE TECHNIQUE

L'étude technique vise à donner une démarche conceptuelle à travers diverses solutions pour l'alimentation à l'énergie solaire photovoltaïque des data centers ou équipements informatiques.

Un local d'étude avec cahier de charges ne nous a pas été soumis pour effectuer un dimensionnement. Néanmoins, suite à l'enquête menée auprès de particuliers (PME, Grande Entreprise) qui sont du domaine des data centers et équipements informatiques, nous avons effectué un dimensionnement afin de mesurer l'ampleur du projet à travers les facteurs engagés (environnementaux, financiers et matériels.).

De plus, le dimensionnement du système PV sera consacré essentiellement aux charges critiques du data center soit 55 % de la consommation énergétique totale des entreprises auditionnées.

Le **Tableau 4** indique le besoin énergétique moyen des équipements informatiques des data centers dans les PME et Grandes Entreprises au Burkina Faso.

Le dimensionnement sera traité pour les PME sur sous deux solutions conceptuelles différentes à partir des données obtenues auprès des entreprises.

**Tableau 4: Besoins énergétiques moyens PME/ Grande Entreprise**

DIMENSION	PUISSANCE MOYENNE (kW)	TEMPS DE FONCTIONNEMENT (h/24)	ENERGIE JOURNALIERE MOYENNE PME/GE (kWh/j)
PME	22	24	528
GE	309,37	24	7425

## VI.1 Etude solution 1 : Onduleur hybride + Onduleur UPS

### VI.1.1 Synoptique

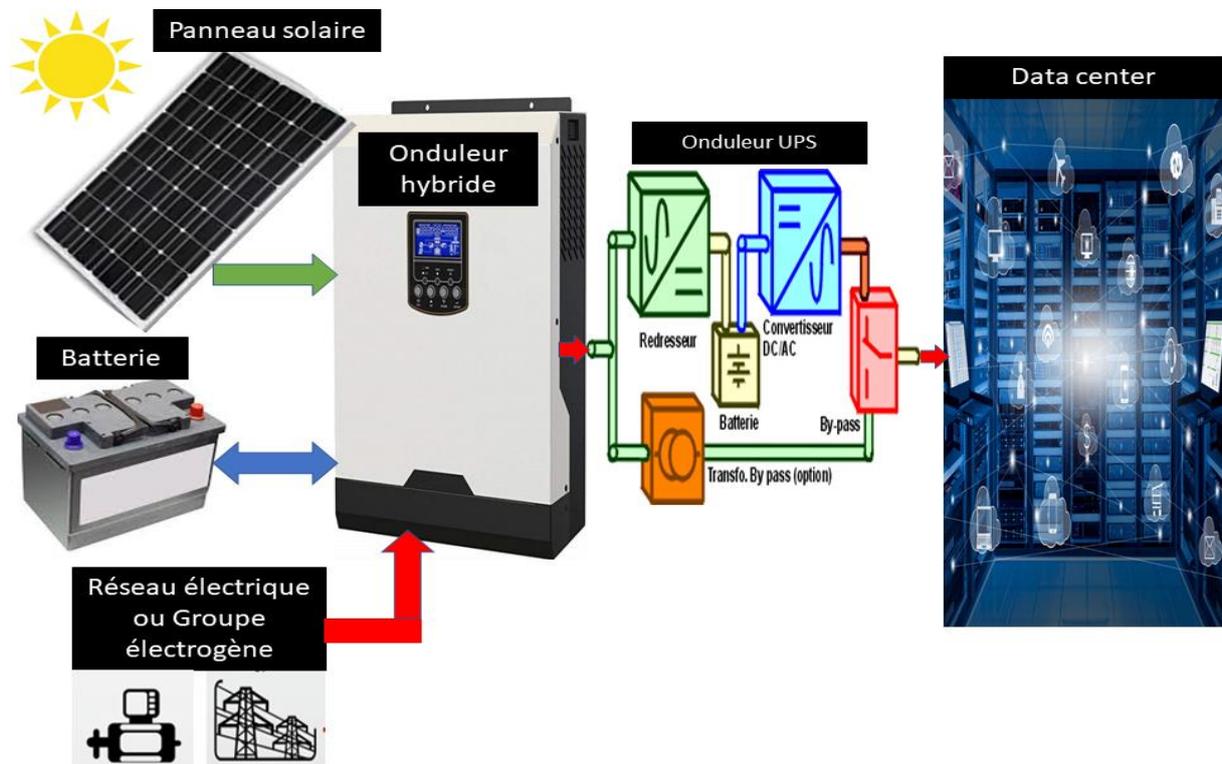


Figure 21: Synoptique de la conception 1

### VI.1.2 Description de fonctionnement du système

Dans cette conception, l'élément destinée à pallier la microcoupure est un onduleur UPS. L'onduleur UPS est réputé pour sa capacité à secourir les équipements informatiques en cas de coupure du courant électrique.

Il est doté d'un commutateur capable de faire basculer l'alimentation de l'installation sur les batteries en cas de microcoupure en moins de 20 ms avec une autonomie atteignant la dizaine voire la soixantaine de minute tout au plus parfois afin de permettre aux usagers d'arrêter leurs équipements en toute sécurité.

Dans ce projet, à la différence de sa fonction habituelle, l'onduleur UPS sera utilisé juste pour secourir les équipements lors du passage de l'onduleur hybride d'une source à une autre. Il ne sera sollicité que pendant la microcoupure qui varie entre 30 ms et 2 s en fonction du type d'onduleur donc un onduleur UPS à faible autonomie suffirait pour les data centers.

## VI.1.3 Description des équipements du système

### Onduleur hybride

Un onduleur hybride (ou onduleur solaire hybride) est un type d'onduleur utilisé dans les systèmes solaires photovoltaïques. Il intègre et gère différentes sources d'énergie telles que des panneaux solaires, des batteries, le réseau électrique, etc.

L'énergie électrique générée par les panneaux solaires peut être convertie en énergie utilisable pour alimenter les équipements électriques, et l'énergie excédentaire peut être stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

Il est programmable selon nos besoins en définissant les sources prioritaires pour la charge ainsi que la source chargée de fournir de l'énergie à la batterie. Il y en a de différentes gammes de puissance et de différents constructeurs. Les caractéristiques varient d'un constructeur à un autre mais avec le même but (intégration de diverses sources d'énergie pour sortir une tension alternative sinusoïdale).

Dans le cadre d'un projet comme le nôtre, il y a des points clé sur lesquels il faut s'appuyer pour juger si l'onduleur sera capable de satisfaire au besoin. Ce sont :

- Temps de basculement entre sources,
- Nombre de sources pris en entrée,
- Possibilité de modifier le programme interne,
- Possibilité de mise en parallèle,
- Avec ou sans transformateur,
- Interface de communication et de programmation,

Le constat fait avec les onduleurs hybrides à notre portée (EPEVER, 2es, MPP solar, CHINT) actuel est que le temps de basculement entre les sources d'énergie (solaire, batterie et le réseau) est généralement supérieur à 20 ms ce qui rend son utilisation limitée dans le cadre du projet d'alimentation des data center à l'énergie renouvelable.

### Stockage

Le stockage d'énergie permet des ajustements temporaires entre la demande et l'offre d'énergie. Parmi les technologies envisageables, les critères de sélection dépendent des contraintes liées à la réglementation, au coût voire à l'environnement. Le stockage dit « fixe », par opposition au stockage pour les applications mobiles (batteries de véhicules, téléphones, ordinateurs, etc.), apparaît comme l'une des conditions essentielles pour accompagner le développement des énergies renouvelables intermittentes et permet d'équilibrer l'offre et la demande qui très souvent sont en inadéquation.

Les data centers sont des infrastructures essentielles pour stocker, traiter et fournir des données à grande échelle. Cependant, ils sont énergivores et ne peuvent avoir en permanence l'énergie provenant directement des panneaux solaires d'où la contrainte d'utiliser des batteries. Les batteries sont un facteur clé pour assurer la continuité de service dans les data centers.

On distingue différentes technologies de batteries pour les systèmes solaires photovoltaïques mais pour faire correspondre en temps réel, la puissance consommée par le data center et la source d'alimentation malgré l'intermittence du soleil, deux principales technologies de stockage (le lithium et l'hydrogène) se dégagent des autres.

#### 🚦 Stockage lithium-ion

Les batteries lithium-ion sont une technologie de batterie rechargeable très populaire utilisée dans de nombreuses applications telles que les smartphones, les ordinateurs portables, les véhicules électriques, etc. Ils sont appréciés pour leur densité d'énergie élevée, leur longue durée de vie, leur faible taux d'autodécharge et leur capacité à fournir une puissance élevée.

Une batterie au lithium-ion se compose de plusieurs piles individuelles qui sont assemblées entre elles.

Chaque pile se compose de trois éléments principaux :

- Une électrode positive (cathode),
- Une électrode négative (anode),
- Un électrolyte liquide.

La Figure 22 présente les différents compartiments d'une batterie lithium-ion.

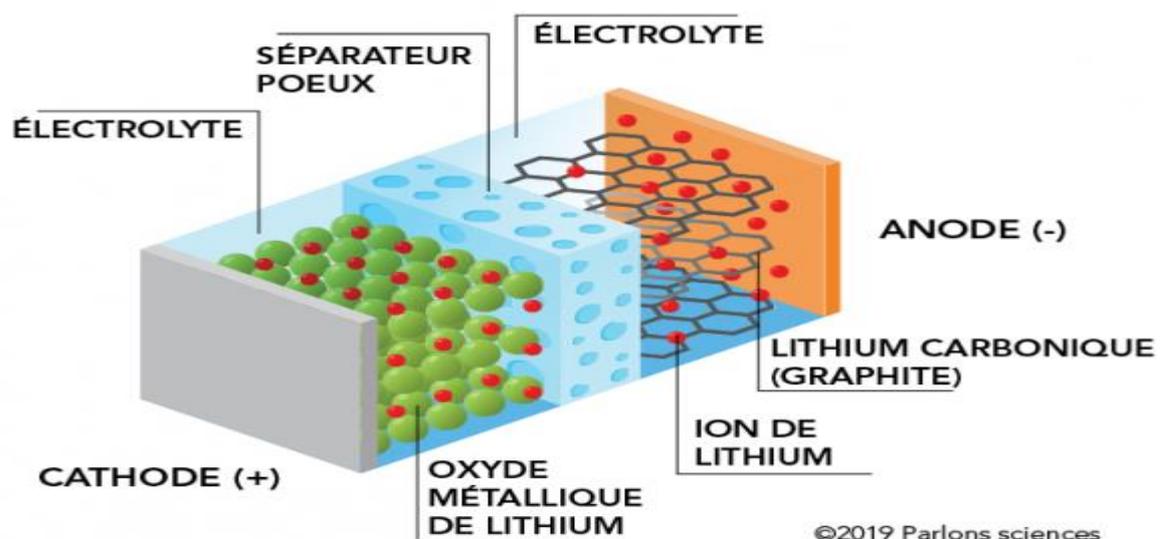


Figure 22: Composants d'une batterie lithium-ion[30]

Les batteries lithium-ion présentent des avantages et inconvénients.

Avantages :

- Densité énergétique élevée ;
- Faible taux d'autodécharge ;
- Durée de vie élevée ;
- Charge rapide ;
- Faible entretien.

Inconvénients :

- Sensibilité à la température (elles peuvent être sensibles aux hautes et basses températures, ce qui peut affecter leurs performances et leur durée de vie) ;
- Risques de sécurité (si elles sont surchargées, surchauffées ou endommagées, elles peuvent présenter un risque d'incendie ou d'explosion) ;
- Impact environnemental (les matériaux utilisés dans les batteries lithium-ion ne sont pas toujours facilement recyclables, ce qui peut avoir un impact sur l'environnement).

Il existe plusieurs types de batteries lithium-ion à savoir le lithium-manganèse-oxyde ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), le lithium cobalt ( $\text{LiCoO}_2$ ) et le lithium fer phosphate (la plus adaptée au stockage fixe et aux contraintes environnementales Burkinabè).

La batterie au lithium fer phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ) est une batterie lithium-ion rechargeable avec une cathode au phosphate de fer. Contrairement aux batteries lithium-ion traditionnelles ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiCoO}_2$ ), les batteries  $\text{LiFePO}_4$  sont considérées comme plus sûres car elles sont plus résistantes à la chaleur et moins susceptibles de surchauffer ou de prendre feu. Aussi, elles sont chimiquement plus stables et peuvent fonctionner à des températures plus élevées que les batteries lithium-ion traditionnelles. Elles ont une durée de vie de plus de 2000 cycles tandis que les batteries lithium-ion traditionnelles durent généralement environ 500 à 1000 cycles. Ces batteries sont également les plus utilisées dans de nombreuses applications telles que les systèmes de stockage d'énergie.

#### Stockage à l'hydrogène

Une batterie à hydrogène, également appelée pile à combustible, est un dispositif électrochimique qui produit de l'électricité à partir d'une réaction chimique entre l'hydrogène et l'oxygène. Le seul sous-produit de cette réaction est l'eau, ce qui en fait une technologie propre et respectueuse de l'environnement.

Les batteries à hydrogène offrent une alternative propre et efficace aux combustibles fossiles, ce qui les rend particulièrement attrayantes pour les applications mobiles telles que les voitures, les bateaux, etc. Elles peuvent également être utilisées dans des applications fixes telles que la production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables.

Cependant, les batteries à hydrogène font encore face à des défis techniques et économiques, notamment en ce qui concerne la production, le stockage et la distribution de l'hydrogène, ainsi que le coût de la pile à combustible elle-même. Elle est considérée comme une technologie prometteuse car elle fournit les besoins énergétiques au-delà des attentes.

Aussi révolutionnaire soient-elles, autant que leur prédécesseurs ces batteries présentent des avantages et inconvénients.

Avantages :

- Propre et écologique (elles ne produisent que de l'eau comme déchets) ;
- Charge rapide (le temps de charge des piles à combustible est généralement plus rapide que le temps de charge des batteries classiques).

Inconvénients :

- Coût élevé (les piles à combustible sont encore coûteuses à fabriquer, ce qui limite leur utilisation à grande échelle) ;
- Difficile à stocker (l'hydrogène est un gaz très léger et nécessite des conditions de stockage particulières, ce qui le rend plus difficile à stocker et à transporter que d'autres types de carburant) ;
- Sécurité (l'hydrogène est un gaz inflammable et explosif qui présente un risque pour la sécurité).

De tous les systèmes de stockage d'énergie (lithium-ion, lithium fer phosphate et l'hydrogène) aborder plus haut, il en découle que c'est bien le lithium fer phosphate ( $\text{LiFePO}_4$ ) qui correspond au mieux à la réalisation de ce projet de data center au Burkina Faso. Cette technologie se démarque des autres par sa forte résistance à la chaleur (environ  $40^\circ\text{C}$  comme température moyenne au Burkina Faso). Cette technologie est remarquable par son cycle de vie élevé par rapport aux autres technologies (2000 cycles de charge/décharge, tandis que les batteries Lithium-Ion durent généralement environ 500 à 1000 cycles).

## VI.1.4 Dimensionnement

Le dimensionnement de cette solution s'articulera principalement autour des équipements du système solaire photovoltaïque (les panneaux, les batteries et les onduleurs hybrides). Les data centers étant déjà doté d'onduleur UPS, ces onduleurs devraient servir à secourir l'installation lors du passage d'une source à une autre ce qui implique une autonomie moindre pour assurer cette fonction. L'UPS peut être décentralisé (un UPS par équipement critique) ou centralisé (un UPS général pour toute l'installation) selon les moyens de l'utilisateur.

### Onduleur hybride

Selon les exigences du projet et de cette solution conceptuelle, nous sommes amenés à choisir un onduleur intelligent capable d'intégrer trois sources d'énergie (panneaux solaires, batteries et réseau) au minimum sans passer par un régulateur externe avec possibilité de programmation et de mise en parallèle. Ainsi, notre choix s'est porté sur l'onduleur next3 de Studer Innotec (le dernier né de l'usine Suisse Studer Innotec) qui associe la puissance d'un convertisseur 15 kVA triphasé (en sortie) à un chargeur solaire MPPT à double trackers de 8 kW chacun (voir ANNEXE 2). La puissance en sortie étant estimée à 22kW soit 30kVA le besoin de création de deux sous champ s'avère nécessaire. Les deux sous champ seront montées en parallèle à la sortie de l'onduleur next3 pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement du data center.

**Tableau 5** présente les paramètres principaux de l'onduleur hybride devant servir dans le dimensionnement du sous champ.

**Tableau 5: Caractéristiques de l'onduleur hybride**

Puissance de sortie AC	15 kVA
Tension de sortie	380 V
Puissance DC max	16 kW
Tension DC max entrée	900 V
Plage de tension MPP	300 V à 700 V
Nombre d'entrée MPPT	2
Courant max par entrée	22 A
Tension de démarrage	350 / 100 V DC
Courant maximal de charge / de batterie	300 A

### ✚ Configuration du sous champs PV

Le module est un panneau de 550 Wc dont les caractéristiques sont sur la fiche technique est à l'ANNEXE 3.

- Nombre de module

$$N_{\text{mod}} = \frac{P_{\text{ond\_hybride}}}{P_{\text{mod}}} \quad (1)$$

$$N_{\text{mod}} = \frac{16000}{550} = 29,05$$

soit 29 panneaux de 550 W par onduleur hybride next3 de chaque sous champ

- Nombre de module en série

$$\frac{V_{\text{MPPT\_min\_ond}} \times 1.1}{V_{\text{MPPT\_min\_mod}}} \leq N_{\text{mod\_serie}} \leq \frac{V_{\text{MPPT\_max\_ond}} \times 0.95}{V_{\text{MPPT\_max\_mod}}} \quad (2)$$

$$V_{\text{mpp\_max\_mod}} = V_{\text{oc\_mod}} - K_{T,V_{\text{oc}}}(T_{\text{min\_mod}} - 25)]$$

$$V_{\text{mpp\_max\_mod}} = 50,10 - [(-0,00285)(16,14 - 25)]$$

$$V_{\text{mpp\_max\_mod}} = 50,12 \text{ V}$$

$$V_{\text{mpp\_min\_mod}} = V_{\text{mpp\_mod}} - K_{T,V_{\text{mp}}}(T_{\text{max\_mod}} - 25)]$$

$$V_{\text{mpp\_min\_mod}} = 42,10 - [(-0,0035)(72,12 - 25)]$$

$$V_{\text{mpp\_min\_mod}} = 42,26 \text{ V}$$

$$\frac{300 \times 1.1}{42,26} \leq N_{\text{mod\_serie}} \leq \frac{700 \times 0.95}{50,12}$$

$$7,8 \leq N_{\text{mod\_série}} \leq 13,26$$

$$N_{\text{string}} \leq \frac{I_{\text{DC\_max\_ond}}}{I_{\text{SC\_mod}}}$$

$$N_{\text{string}} \leq \frac{22}{14,01}$$

**$N_{\text{string}} \leq 1,57$  string soit un string par entrée MPPT.**

Nous utiliserons 13 modules PV en série sur chaque entrée MPPT de l'onduleur hybride soit un total de 26 modules par sous champs d'où 52 modules au total pour le système.

- Ratio de puissance de l'onduleur

$$R_{\text{ond}} = \frac{P_{\text{AC\_max}}}{P_{\text{crête\_mod}}} \times 100 \quad (3)$$

$$R_{\text{ond}} = \frac{15000}{26 \times 550} \times 100$$

$$R_{\text{ond}} = \mathbf{104,89\%}$$

Le ratio de performance est conforme à la plage recommandée qui est de 90 à 110%.

- Tension d'entrée maximale de chaque onduleur

La tension maximale circulant sur chaque string est donnée par :

$$V_{\text{MPPT\_string}} = V_{\text{OC\_mod}} \times N_{\text{mod\_string}} \quad (4)$$

$$V_{\text{MPPT\_string}} = 49,7 \times 13 = 646,1 \text{ V}$$

$$V_{\text{mpp\_string}} < \mathbf{700 \text{ V}}$$

La tension maximale circulant sur chaque string est de 646,1 V. Cette valeur est bonne car elle tient dans la plage de fonctionnement d'entrée MPPT de l'onduleur (300 V à 700 V).

- Courant de court-circuit

Le courant de circuit pouvant circuler sur chaque string est donné par :

$$I_{\text{SC\_string}} = I_{\text{SC\_mod}} \times N_{\text{string/MPPT}} \quad (5)$$

$$I_{\text{SC\_string}} = 14,01 \times 1$$

$$I_{\text{SC\_string}} = \mathbf{14,01A}$$

La valeur du courant de court-circuit est inférieure à celle de la valeur du courant d'entrée maximale par MPPT qui est de 22 A d'après la fiche technique de l'onduleur.

#### Batterie

Les batteries sont des batteries au lithium fer phosphate de 15 kWh dont des caractéristiques sont données **au Tableau 6** puis à **l'ANNEXE 4**.

**Tableau 6: Caractéristiques de la batterie lithium**

Technologie	Batterie Lithium fer phosphate (LiFePO4)
Constructeur	Felicity solar
Reference	LPBF48300
Tension nominal	51,2V
Plage de tension d'utilisation	48-57,6V

Capacité	15kWh
Durée de vie	≥6000 cycles
Rendement	80%

- Capacité

$$C_{\min\_bat} = P_{\text{absorbée}} \times \text{temps d'autonomie} \quad (6)$$

Avec  $P_{\text{absorbée}} = 22\text{kW}$  et temps d'autonomie = 14h

$$C_{\min\_bat} = \mathbf{308 \text{ kWh}}$$

Avec 2 sous champs, la capacité de batterie par sous champ est donc de 154 kWh.

- Nombre de batterie par sous champ

$$N_{\text{batt\_sous\_champ}} = \frac{C_{\text{sous\_champ}}}{C_{\text{batt}}} \quad (7)$$

$$N_{\text{batt\_sous\_champ}} = \frac{154}{15}$$

$$N_{\text{batt\_sous\_champ}} = \mathbf{10,26}$$

Nous utiliserons 10 batteries au lithium de 15 kWh par sous champs soit un total de 20 batteries au lithium fer phosphate pour le système.

## 🚧 Groupe électrogène

Notre ambition étant de faire du projet de data centers à l'énergie solaire une réalité ne doit pas nous éloigner des contraintes énergétiques de notre environnement. Les changements intermittents, le réseau électrique national (SONABEL) avec une instabilité remarquable par des coupures imprévisibles, il est indispensable d'avoir recours aux groupes électrogènes pour secourir le réseau en cas de coupure afin d'assurer la continuité de service.

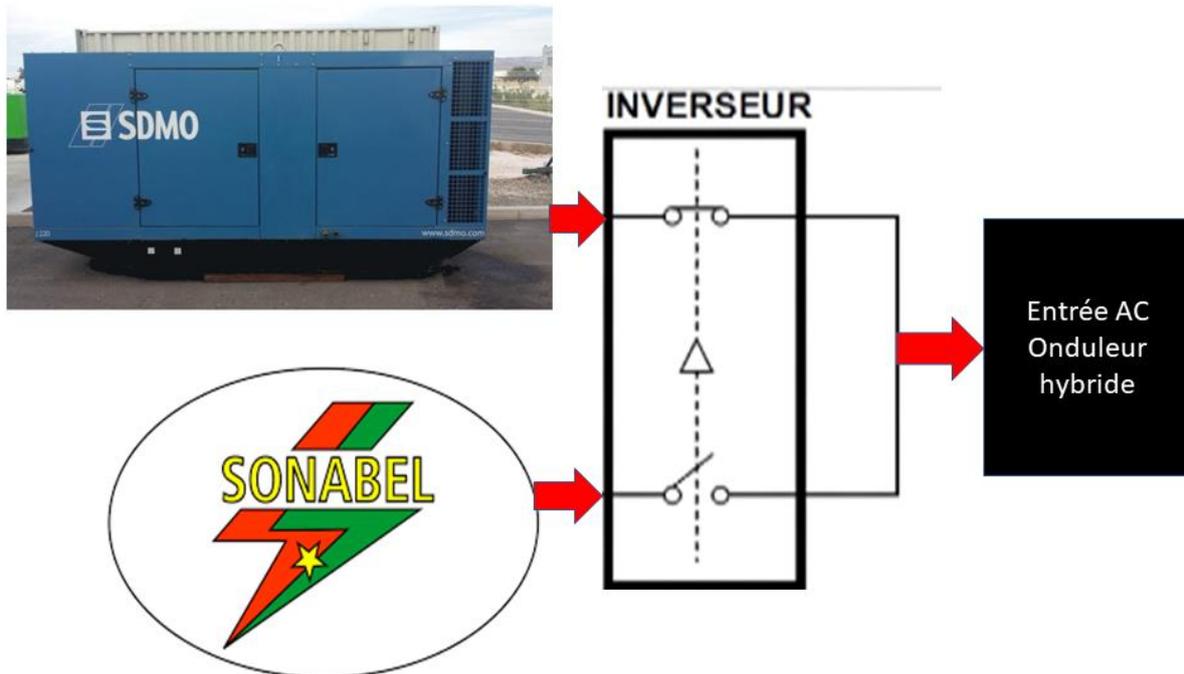


Figure 23: Synoptique groupe électrogène

Au vu de ce qui existe sur le marché, nous avons opté pour le groupe électrogène de la GELEC. Le groupe dispose d'un système DEEPSEA (panneau de contrôle équipé d'interface) pour le contrôle et le pilotage automatique du groupe ;

Avec une puissance installée estimée à 27,5 kVA.

La puissance du groupe choisi est :

$$S_{\text{groupe}} = S_{\text{inst}} + 20 \% \times S_{\text{inst}} \quad (6)$$

**$S_{\text{groupe}} = 33 \text{ kVA}$**  soit un groupe électrogène de 35 kVA dont la fiche technique est en ANNEXE 5.

### Onduleur UPS

L'onduleur UPS devrait servir dans le cadre de projet à pallier la microcoupure lors du passage d'une à une autre. Son autonomie est donc au minimum possible pour assurer cette fonction. Pour une puissance installée d'environ 30 kVA, nous utiliserons un UPS de 30kVA/ 400 V avec 3 s d'autonomie dont la fiche technique est à l'ANNEXE 6.

⚡ Schéma électrique solution 1

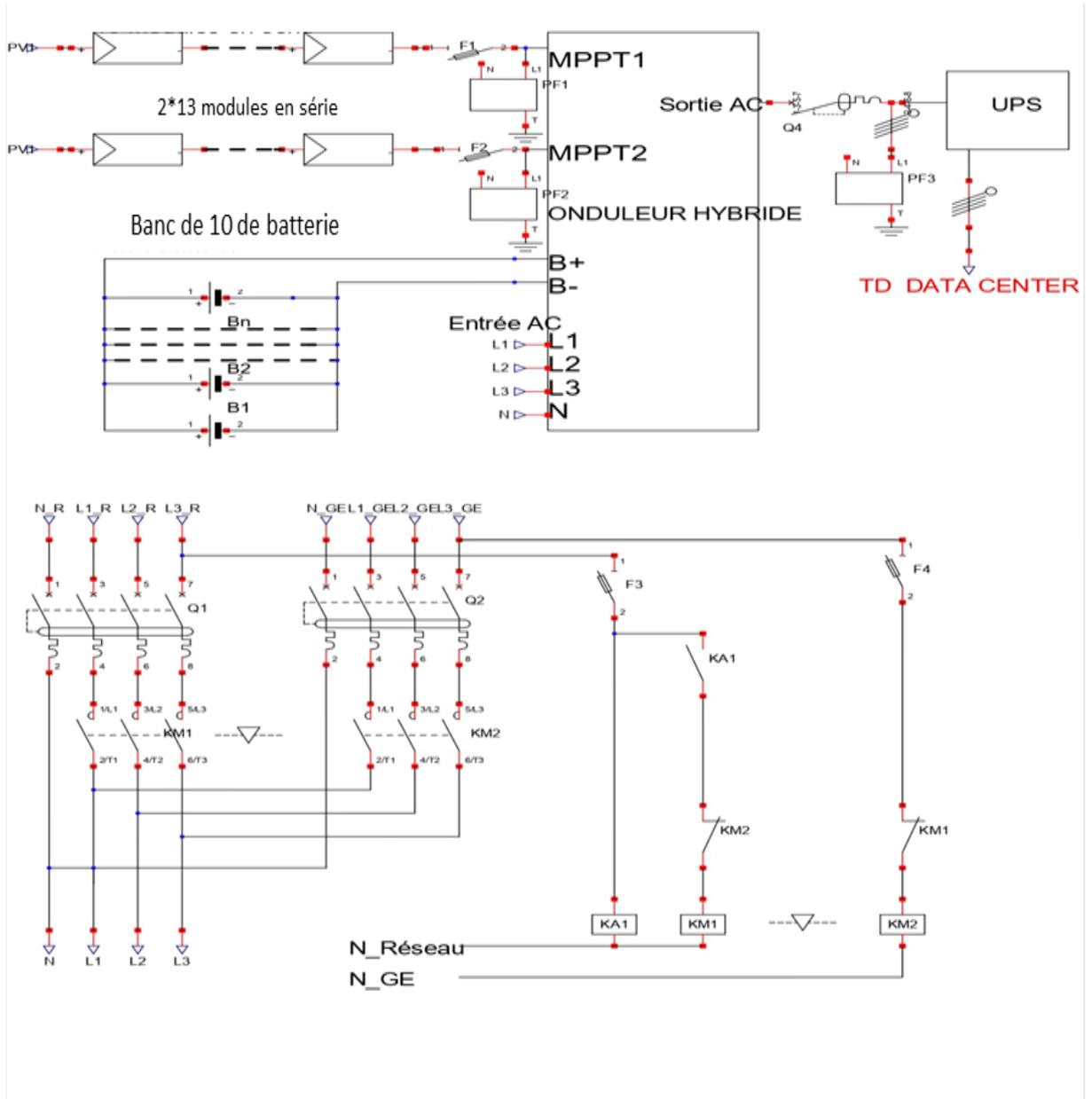


Figure 24: Schéma électrique solution 1

 Liste et coût du matériel

Le **Tableau 7** présente le devis des équipements principaux pour la solution 1.

**Tableau 7: Liste du matériel conception 1**

Désignation	Reference	Quantité	Unité	Prix unitaire en F CFA	Prix total en F CFA	Montant total en F CFA
Module PV AUSTA ENERGY	AU550-36V- ZMH	26	U	100000	2 600 000	<b>86 740 000</b>
Onduleur next3	next nx3 gamma- 16kW	2	U	15 70 000	30 140 000	
Batterie au lithium fer phosphate	LifePO4-48V- 15kWh	20	U	2000000	40 000 000	
Onduleur UPS	Easy UPS 3S - onduleur on-line - 400V - 30kVA	1	U	8 000 000	8 000 000	
Groupe Electrogène GELEC	35 kVA	1	U	6 000 000	6 000 000	

Le coût global du projet pour cette solution conceptuelle est estimé environ **86 800 000 F CFA HT.**

## VI.2 Etude solution 2 : Mini Réseau

### VI.2.1 Synoptique

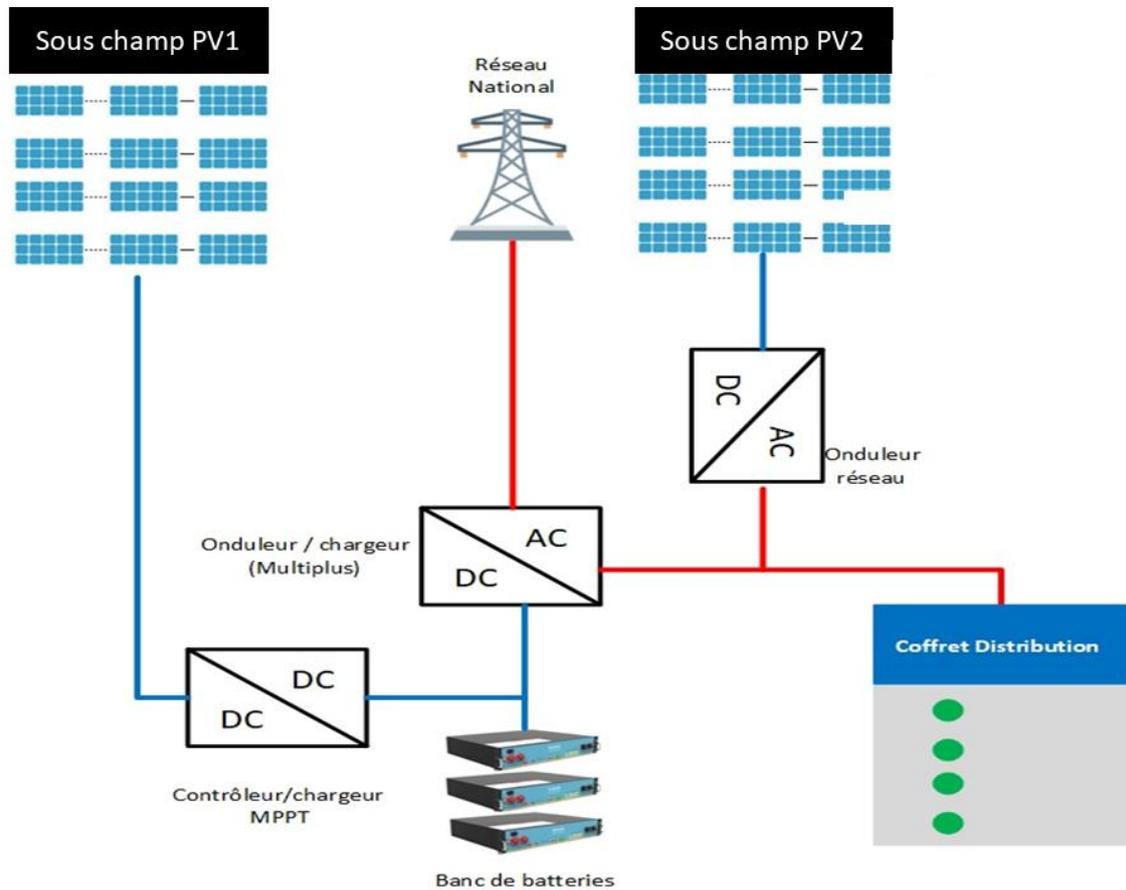


Figure 25: Synoptique solution conceptuelle 2

### VI.2.2 Description

Cette conception vise à assurer l'alimentation permanente du data center à travers le réseau, les batteries et un champ PV connecté à un onduleur réseau pour l'injection sur le jeu de barre du coffret de distribution. L'alimentation du système est selon plusieurs scénario possible :

- ☀️ Présence du soleil (7h-17h)

Le data center est alimenté par l'énergie provenant du champ solaire (PV2) à travers l'onduleur réseau. En cas de baisse de production dû au changement intermittent, le réseau ou les batteries devront fournir le déficit d'énergie au sein du data center.

Au cours de cette même plage horaire, les batteries sont rechargées par le champ solaire (PV1) à travers le régulateur (MPPT).

☀ Absence du soleil (17h-7h) :

La source primaire à définir par programmation au sein de du convertisseur/ chargeur multiplus est le parc de batterie, le réseau devrait prendre le relais en cas de manque d'énergie dans ce dernier. La Figure 26 illustre les séquences de fonctionnement du système.

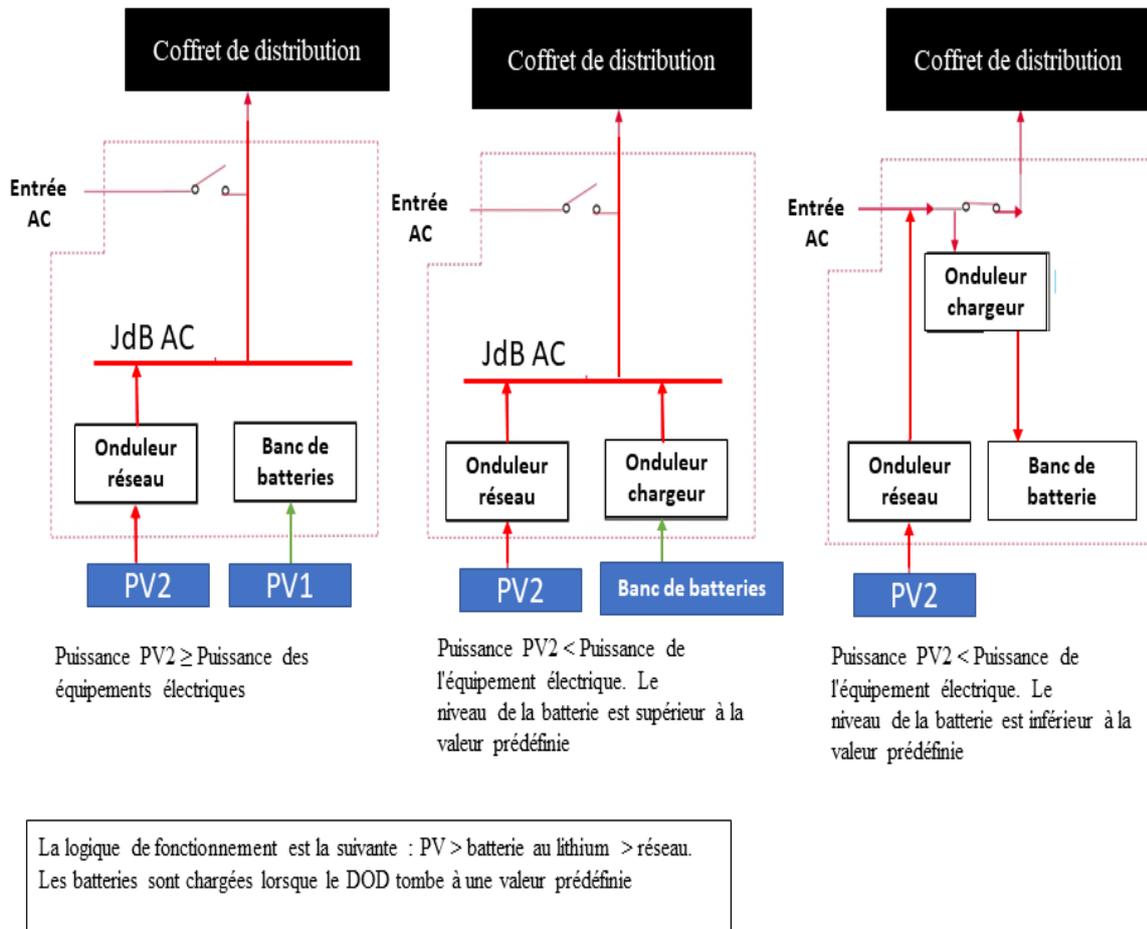


Figure 26: Fonctionnement du mini réseau

### VI.2.3 Dimensionnement

Dans cette seconde conception, le dimensionnement du système solaire photovoltaïque se fera à partir du besoin du data center et de du choix de l'onduleur chargeur. La puissance du data center estimé à 22 kW environ 30 kVA.

☀ Onduleur /chargeur (multi plus)

L'onduleur choisi est l'onduleur chargeur (multi plus) de victron énergie 230 V / 5 kVA dont la fiche technique est à l'ANNEXE 7.

Cet onduleur intègre deux sources d'énergie (les batteries et le réseau), il offre une possibilité de mise en parallèle et a un temps de basculement entre ses sources (batteries et réseau) de moins de 20 ms. Nous utiliserons 6 afin de satisfaire la puissance du data center (30 kVA).

#### Banc de batterie

Les batteries sont les mêmes que celles présentées à la conception 1 dont les caractéristiques de choix sont données au Tableau 6.

- Capacité

$$C_{\min\_bat} = P_{\text{absorbée}} \times \text{temps d'autonomie} \quad (7)$$

Avec  $P_{\text{absorbée}} = 22\text{kW}$  et temps d'autonomie = 14h

$$C_{\min\_bat} = \mathbf{308 \text{ kWh}}$$

Avec 6 sous champs, la capacité de batterie par sous champ est donc de 51,33 kWh.

- Nombre de batterie par sous champ

$$N_{\text{batt\_sous\_champ}} = \frac{C_{\text{sous\_champ}}}{C_{\text{batt}}} \quad (8)$$

$N_{\text{batt\_sous\_champ}} = \mathbf{3,4}$  on prendra 4 batteries au lithium de 15 kWh par sous champ.

#### Contrôleur/ chargeur (MPPT)

Le choix du régulateur est conditionné par la batterie dont les caractéristiques principales sont dans le Tableau 6.

Notre choix s'est porté sur le contrôleur de charge SmartSolar MPPT RS 450/100 de victron. MPPT RS SmartSolar est un contrôleur de charge solaire 48V avec une entrée PV jusqu'à 450V DC et une sortie 100A ou 200A. Il est utilisé dans les applications photovoltaïques en réseau et hors réseau nécessitant des performances de charge de batterie maximales. Voir ANNEXE 8 pour la fiche technique.

Nous utiliserons 1 par sous champ soit un total de 6 régulateurs pour le champ PV1.

✚ Sous champ PV1

La capacité du champ est fonction de la capacité d'entrée du régulateur MPP. Le **Tableau 8** donne les principales caractéristiques du régulateur Smartsolar utiles au dimensionnement du sous champ PV1.

**Tableau 8: Caractéristiques du régulateur**

Tension de batterie	48 V
Puissance max du parc PV	7,2 kW
Tension PV maximale	450 V
Plage de tension d'exploitation MPPT	80 V – 450 V
Nombre d'entrée MPPT	2
Courant par MPPT	18 A

- Nombre de module

(9)

$$N_{\text{mod\_PV1}} = \frac{P_{\text{ond\_Smart}}}{P_{\text{max\_mod}}}$$

$$N_{\text{mod\_PV1}} = \frac{7200}{450} = 16$$

On utilisera 16 modules pour le sous champ PV1.

- Nombre de module en série

(10)

$$\frac{V_{\text{MPPT\_min\_ond}} \times 1.1}{V_{\text{MPPT\_min\_Smart}}} \leq N_{\text{mod\_serie}} \leq \frac{V_{\text{MPPT\_max\_ond}} \times 0.95}{V_{\text{MPPT\_max\_Smart}}}$$

$$\frac{80 \times 1.1}{41,664} \leq N_{\text{mod\_serie}} \leq \frac{450 \times 0.95}{49,276}$$

$$2,11 \leq N_{\text{mod\_série}} \leq 8,67$$

$$N_{\text{strings}} \leq \frac{I_{\text{DC\_Smart}}}{I_{\text{SC\_mod}}}$$

$$N_{\text{strings}} \leq \frac{18}{11,6}$$

**$N_{\text{strings}} \leq 1,55$**  soit un string par entrée MPPT

Le nombre de module par string de sous champ PV1 sera de 8 par entrée MPPT

Ainsi, le nombre total de module pour le champ PV1 est :

$$N_{\text{total\_mod\_PV1}} = 16 \times 6 = 96 \text{ modules de } 450 \text{ Wc}$$

- Tension d'entrée maximale du régulateur

La tension maximale circulant sur chaque string est donnée par :

$$V_{\text{MPPT\_string}} = V_{\text{MPPT\_mod}} \times N_{\text{mod\_string}} \quad (11)$$

$$V_{\text{MPPT\_string}} = 49,3 \times 8 = 394,4 \text{ V}$$

$$V_{\text{mpp\_string}} < 450 \text{ V}$$

La tension maximale circulant sur chaque string est de 394,4 V. Cette valeur est bonne car elle est inférieure à la tension maximale d'entrée MPPT qui est de 450V d'après la fiche technique de l'onduleur.

- Courant de court-circuit

Le courant de circuit pouvant circuler sur chaque string est donné par :

$$I_{\text{SC\_string}} = I_{\text{SC\_mod}} \times N_{\text{string/MPPT}}$$

$$I_{\text{SC\_string}} = 11,6 \times 1$$

$$I_{\text{SC\_string}} = 11,6 \text{ A}$$

 Onduleur Réseau

L'onduleur réseau est un SMA dont la fonction est d'injecter directement l'énergie produite par le champ PV2 dans le tableau de distribution. Il a été choisi en fonction des caractéristiques de sortie de l'onduleur chargeur (multi plus) et de la charge. Il a une la capacité de fournir une puissance de 5 kVA sous 230 V avec possibilité de mise en parallèle. Nous utiliserons donc 1 par sous champ PV2 donc il faut 6 au total pour assurer la puissance de 30 kVA de la charge. Voir la fiche technique en **ANNEXE 9**.

### ✚ Configuration du sous champ PV2

Le panneau choisi est un panneau de 450 W dont les caractéristiques sont à **ANNEXE 3**. Le **Tableau 9** présente les paramètres principaux de l'onduleur réseau devant servir dans le dimensionnement du champ PV2 pour obtenir 5 kVA en sortie.

**Tableau 9: Caractéristique onduleur réseau**

Puissance de sortie AC	5 kVA
Tension de sortie	230 V
Puissance DC max	5,25 kW
Tension DC max entrée	600 V
Plage de tension MPPT	175 V à 500 V
Nombre d'entrée MPPT	2
Courant max par entrée	15 A
Tension de démarrage	100 V à 125 V

- Nombre de module

$$N_{\text{mod\_PV2}} = \frac{P_{\text{max\_SMA}}}{P_{\text{max\_mod}}}$$

$$N_{\text{mod\_PV2}} = \frac{5250}{450} = 11,66$$

On prendra 11 modules de 450 W.

- Nombre de module en série

$$\frac{V_{\text{MPPT\_min\_ond}} \times 1.1}{V_{\text{MPPT\_min\_mod}}} \leq N_{\text{mod\_serie}} \leq \frac{V_{\text{MPPT\_max\_ond}} \times 0.95}{V_{\text{MPPT\_max\_mod}}} \quad (12)$$

$$\frac{175 \times 1.1}{41,664} \leq N_{\text{mod\_serie}} \leq \frac{500 \times 0.95}{49,276}$$

$$4,62 \leq N_{\text{mod\_série}} \leq 9,63$$

$$N_{\text{strings}} \leq \frac{I_{\text{DC\_max\_ond}}}{I_{\text{SC\_mod}}} \quad (13)$$

$$N_{\text{strings}} \leq \frac{15}{11,6}$$

$N_{\text{strings}} \leq 1,29$  string soit un string par entrée MPP

Nous utiliserons 5 modules en série sur l'entrée 1 et 6 modules en série sur l'entrée 2 pour fournir une puissance maximale de 5,25 kW par sous champ PV2.

Ayant prévu de concevoir 6 sous champ, le nombre total de module pour le champ PV2 est :

$$N_{\text{total\_mod\_PV2}} = 11 \times 6 = 66 \text{ modules de } 450 \text{ Wc}$$

- Ratio de puissance de l'onduleur

$$R_{\text{ond}} = \frac{P_{\text{AC\_max}}}{P_{\text{crête\_panneaux\_sc\_PV2}}} \times 100 \quad (14)$$

$$R_{\text{ond}} = \frac{5000}{11 \times 450} \times 100$$

$$R_{\text{ond}} = 101,01\%$$

Le ratio de performance s'inscrit dans la plage recommandée qui est de 90 à 110%.

- Tension d'entrée maximale de chaque onduleur

La tension maximale circulant sur chaque string est donnée par :

$$V_{\text{MPPT\_string}} = V_{\text{OC\_mod}} \times N_{\text{mod\_string}} \quad (15)$$

$$V_{\text{MPPT\_string}} = 49,7 \times 6 = 298,2 \text{ V}$$

$$V_{\text{mpp\_string}} < 500 \text{ V}$$

La tension maximale circulant sur chaque string est de 298,2 V, cette valeur est bonne car elle tient dans la plage de fonctionnement d'entrée MPPT de l'onduleur (175 V à 500 V).

- Courant de court-circuit

Le courant de circuit pouvant circuler sur chaque string est donné par :

(16)

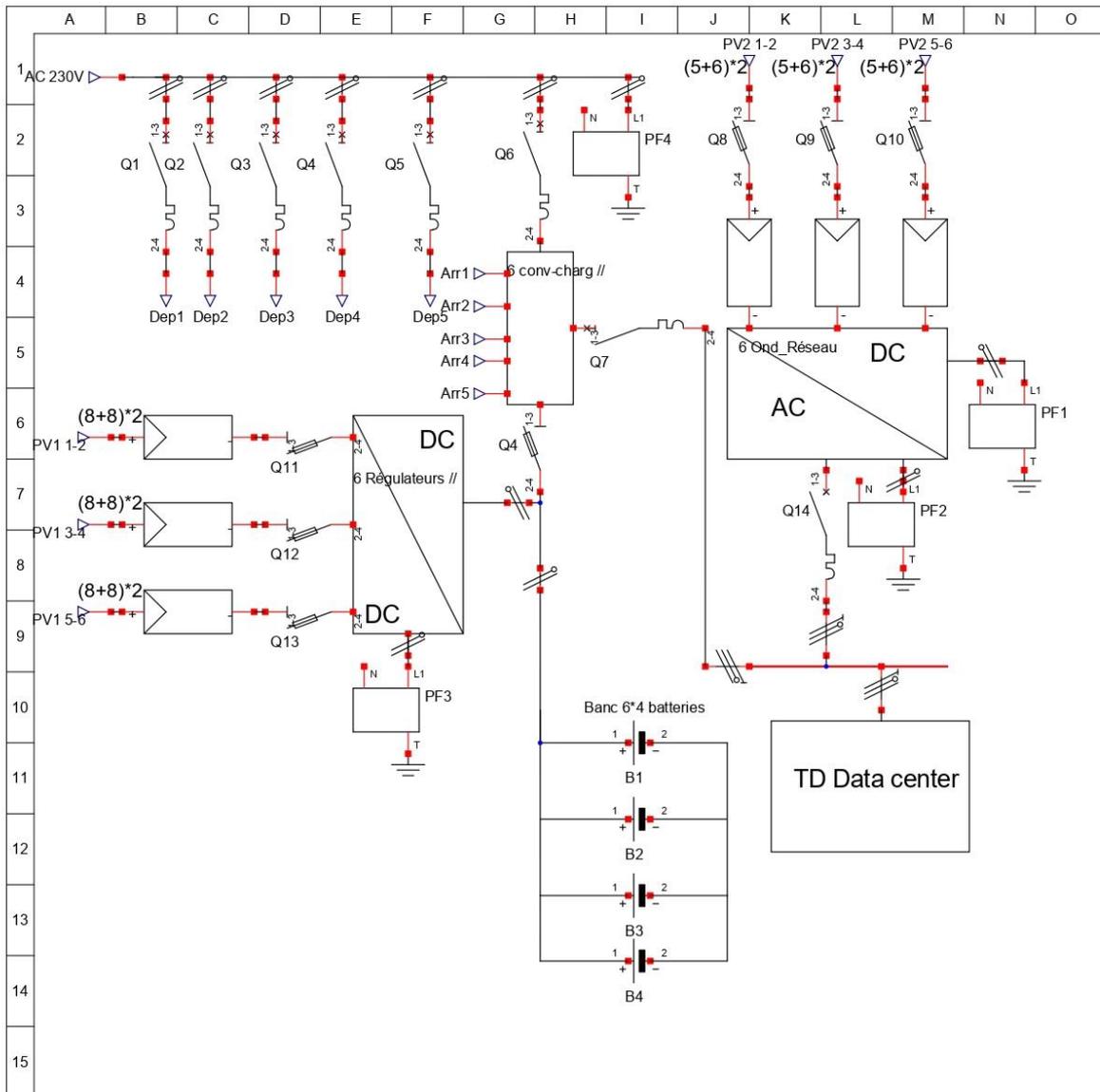
$$I_{SC\_string} = I_{SC\_mod} \times N_{string/MPPT}$$

$$I_{SC\_string} = 11,6 \times 1$$

$$I_{SC\_string} = 11,6 \text{ A}$$

La valeur du courant de court-circuit est inférieure à celle de la valeur du courant d'entrée maximale par MPPT qui est de 15 A d'après la fiche technique de l'onduleur.

### 🔌 Schéma électrique



## Simulation

Cette simulation vise à estimer la production du système solaire et évaluer les performances. Nous utiliserons le logiciel PVGIS pour la simulation.

- Détermination de la puissance crête à installer

$$E_j = R_{\text{gen}} \times R_{\text{bat}} \times H \times P_{\text{crete\_ins}} \Rightarrow P_{\text{crête\_ins}} = \frac{E_j}{R_{\text{gen}} \times R_{\text{bat}} \times H} \quad (17)$$

Avec :

H : Ensoleillement moyen global quotidien pour le mois le moins ensoleillé de l'année.

Au Burkina d'après les données météorologiques obtenues sur PV Gis, le mois d'août est le plus défavorable avec une irradiation estimée à  $5,46 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$

$R_{\text{gen}}$  : Efficacité des appareils photovoltaïques (perte due à la poussière, au chauffage des modules, au câblage, etc.). Elle est comprise entre 80 % et 90 %.

$R_{\text{bat}}$  : Rendement des batteries. La valeur est fixée à 80 %.

$$P_{\text{crête\_ins}} = \frac{528}{0,8 \times 0,9 \times 5,46} = \mathbf{134,31 \text{ kWc}}$$

- Résultat de la simulation

Le **Tableau 10** présente les résultats pertinents de la simulation du système solaire photovoltaïque à partir du besoin journalier du data center en PME. Voir ANNEXE 10 pour les résultats complets de la simulation.

**Tableau 10: Résultats de la simulation**

Angle d'inclinaison	15 °
Azimut	-179 °
Production annuelle PV	207 938,57 kWh
Irradiation annuelle	2 100,71 kWh/m <sup>2</sup>
Variabilité interannuelle	720,27 kWh
Pertes totales	-26,68 %

✚ Liste et coût du matériel pour la conception 2

**Tableau 11: Liste du matériel de la conception 2**

Désignation	Reference	Quantité	Unité	Prix unitaire en F CFA	Prix total en F CFA	Montant total en F CFA
Module PV AUSTA ENERGY	AU450-36V- ZMH	162	U	100 000	16 200 000	<b>86 889 000</b>
Convertisseur/chargeur	Multiplus victron 230V-48 V- 6kVA	6	U	1 160 000	6 960 000	
Régulateur de charge	SmartSolar MPPT RS isolé 450/2-Tr Victron 100A - 48V	6	U	1 620 000	9 720 000	
Onduleur réseau	SMA monophasé Sunny Boy 5kWc/ 5kVA- 230V	6	U	1 001 500	6 009 000	
Batterie	Batterie 48 V- 15kWh	24	U	2 000 000	48 000 000	

Le coût global de conception 2 est estimé à environ **86 900 000 F CFA**.

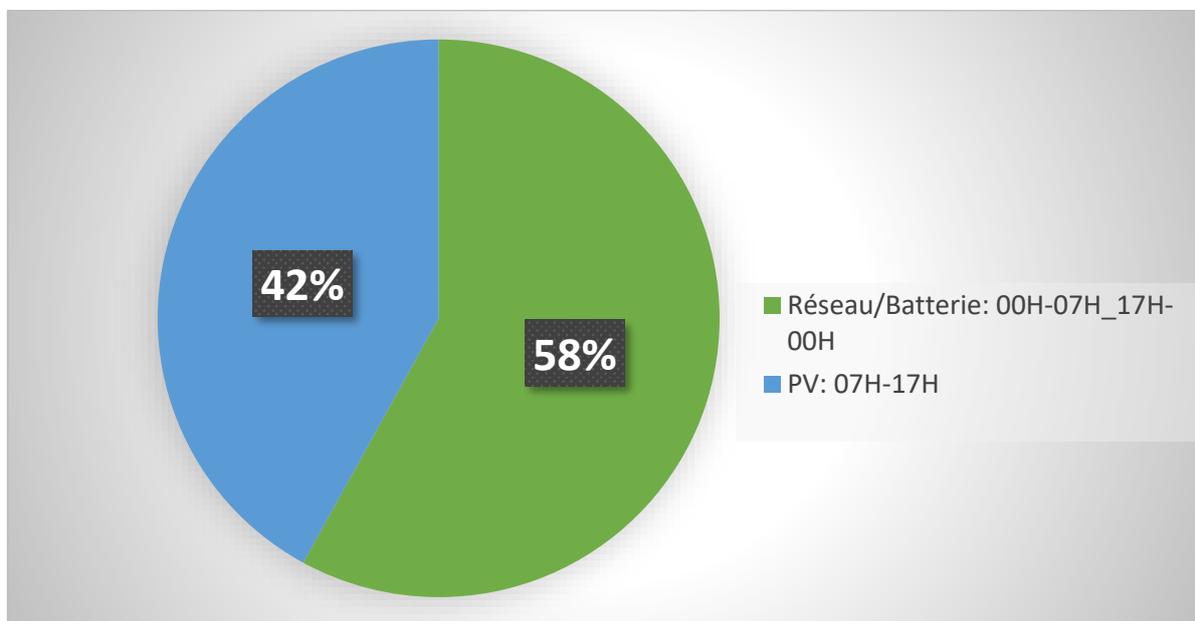
Dans ce chapitre, il était question pour nous de proposer des solutions conceptuelles d'alimentation de data centers à partir de l'énergie solaire photovoltaïque en prenant en compte toutes les éventualités de sorte à assurer la continuité de service. Si les deux solutions sont réalisables, l'aspect financier des deux propositions reste assez étroit (moins d'un million de F CFA d'écart) entre les deux solutions mais la particularité de la seconde conception réside dans la non utilisation d'un groupe électrogène qui devrait engendrer des coûts de carburant supplémentaire pour la solution 1. De plus, l'utilisation d'un onduleur UPS pour une telle puissance installé ne pourrait pas pallier convenablement toute coupure du courant électrique dans l'installation à cause de son autonomie assez faible.

L'étude financière et l'étude environnementale qui feront l'objet de la suite de ce travail nous en diront plus sur la viabilité des différentes solutions.

## VII. ÉTUDE FINANCIERE DU PROJET

Une étude financière est une analyse approfondie des aspects financiers d'une entreprise, d'un projet ou d'une opération. Dans ce projet, cette étude vise à évaluer la viabilité financière du projet.

Pour l'évaluation de la viabilité ou de la rentabilité du projet nous devons définir le taux d'énergie apporter au data center par jour par chacune des sources principales (PV et réseau/batteries). Ensuite nous procéderons au calcul de la consommation d'électricité annuelle du data center en fonctionnement permanent sur le réseau national. Enfin nous calculerons la Valeur Actuelle Net du projet puis juger s'il est viable selon les deux solutions conceptuelles. La **Figure 28** indique la part de chaque source d'énergie utilisée pour le data center.



**Figure 28: Répartition de sources du data center**

- Coût annuel de consommation électrique du data center

Le **Tableau 12** présente la grille tarifaire de du kWh d'électricité au Burkina Faso. Les coûts varient en fonction de plusieurs paramètres (catégorie de tension, type d'usage, la redevance, la prime fixe, frais d'abonnement).

Tableau 12: Grille tarifaire du kWh

# SOCIÉTÉ NATIONALE D'ÉLECTRICITÉ DU BURKINA

DEPANNAGE OUAGA / BOBO  
80 00 11 30 (N° GRATUIT)

Société d'Etat au capital de 63. 308.270.000 Francs CFA  
Siège social : 55, Avenue de la Nation  
01 B.P. 54 Ouagadougou 01  
Tél. : (226) 25 30 61 00 / 02 / 03 / 04 / Fax : (226) 25 31 03 40  
Site web : www.sonabel.bf

DEPANNAGE OUAGA  
25 31 37 20



## GRILLE TARIFAIRE



Arrêté n°2015-00-014/MME/MEF/MCA du 06 octobre 2015 et Arrêté n°06-089/MCPEA/MMCE/MFB du 23 août 2006 et son modificatif n°08-013/MMCE/MEF/MCPEA du 16 octobre 2008

TENSION	Catégories et tranches tarifaires	FACTURATION DES CONSOMMATIONS (en FCFA)				FRAIS D'ABONNEMENT (en FCFA)							
		Tarifs du kWh			Redevance	PRIME FIXE	Avance sur Consommation	Frais ETS police et de pose	Timbres	Liasse	TOTAL Abonnement		
B A S S E  T E N S I O N	I) USAGE DOMESTIQUE PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Tranche 1	Tranche 2	Tranche 3									
		0 à 75 kWh	76 à 100 kWh	plus de 100 kWh									
	MONOPHASE 2 FILS	Tarif type A (monophasé)	1 à 3A	75	128	138	1 132	0	3 375	691	400	108	4 574
		Tranche 1	0 à 50 kWh	51 à 200 kWh	plus de 200 kWh								
			5A	96	102	109	457	1 774	8 175	691	400	108	9 374
		10A	96	102	109	457	3 548	16 350	691	400	108	17 549	
		15A	96	102	109	457	5 322	24 525	691	400	108	25 724	
		20A	96	102	109	764	7 096	32 700	691	400	108	33 899	
		25A	96	102	109	764	8 870	40 875	691	400	108	42 074	
		30A	96	102	109	764	10 644	49 050	691	400	108	50 249	
B T	II) USAGE DOMESTIQUE ET FORCE MOTRICE PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Tranche 1	Tranche 2	Tranche 3									
		0 à 50 kWh	51 à 200 kWh	plus de 200 kWh									
	TRIPHASE 4 FILS	Tarif type C (triphasé)	10A	96	108	114	1 226	10 613	51 300	1 380	400	108	53 188
		15A	96	108	114	1 226	15 918	76 950	1 380	400	108	78 838	
		20A	96	108	114	1 373	21 224	102 600	1 380	400	108	104 488	
		25A	96	108	114	1 373	26 531	128 250	1 380	400	108	130 138	
30A	96	108	114	1 373	31 837	153 900	1 380	400	108	155 788			
DOUBLE TARIF	III) B.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Heures de pointe (10h à 14 h et 16h à 19h)	Heures pleines (0h à 10h, 14h à 16h et 19h à 0h)										
		Tarif type D1 Non industriel	165	88	8 538	34 582 FCFA par kW par an	PS X 100 X 165	1 380	4 000	108			
		Tarif type D2 Industriel	140	75	7 115	28 818 FCFA par kW par an	PS X 100 X 140	1 380	4 000	108			
MOYENNE TENSION (MT)	IV) M.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS ET ADMINISTRATION	Heures de pointe (10h à 14 h et 16h à 19h)	Heures pleines (0h à 10h, 14h à 16h et 19h à 0h)										
		Tarif type E1 Non industriel	139	64	8 538	70 826 FCFA par kW par an	PS X 100 X 139	1 380	4 000	108			
		Tarif type E2 Industriel	118	54	7 115	64 387 FCFA par kW par an	PS X 100 X 118	1 380	4 000	108			
INDUSTRIES EXTRACTIVES ET HAUTE TENSION (HT)	V) H.T. / TARIFS HORAIRES PARTICULIERS	Heures de pointe (10h à 24 h)	Heures pleines (0h à 10h)										
		Tarif type G	140	70	7 115	64 387 FCFA par kW par an	PS X 100 X 118	1 380	4 000	108			
ECLAIRAGE PUBLIC Tarif type F		5A - 15A mono	122	381									
		20A et plus mono	122	637									
		10A - 15A triphasé	122	1 022									
		20A et plus triphasé	122	1 144									

### ENSEMBLE, AU SERVICE D'UNE GRANDE AMBITION!

Les data centers pour PME sont des installation non industriel (tarif type D1) sous basse tension et fonctionnant 24h/24.

Coût annuel d'électricité du data center = Frais d'abonnement(annuel) + Consommation annuel (kWh heure de pointe + kWh heure pleine) + Redevance (annuel) + Prime fixe(kWh.an<sup>-1</sup>).

La quantité d'énergie à consommer ou à solliciter du réseau national selon notre projet est évaluée à 58 % de la consommation journalière totale du data center et se situerait entre 00h - 07h et 17h - 00h soit un temps de fonctionnement hors panneaux de 14 h/24 au cours de la journée.

(18)

$$E_{Réseau} = 0,58 \times E_{journalier}$$

$$E_{Réseau} = 0,58 \times 528$$

$$E_{Réseau} = 306,24 \text{ kWh. j}^{-1}$$

$$E_{PV} = 0,42 \times E_{\text{journalier}}$$

$$E_{PV} = 221,76 \text{ kWh.j}^{-1}$$

Le **Tableau 13** donne les détails de calcul de la consommation électrique du data center en fonctionnement sur le réseau.

**Tableau 13: Détermination du cash-flow du data center**

Coût de la consommation du réseau électrique (avant le système solaire)	
Désignation (annuel)	Coût (F CFA)
Facturation des Consommations	
kWh (heure de pointe)	9 274 650
kWh (heure pleine)	12 012 880
Frais d'abonnement	
Redevance	8 538
Prime fixe	864 550
Avance sur consommation	412 500
Frais ETS et police	1 380
Timbre	4 000
Liasses	108
Total 1	22 578 606
Coût de consommation du réseau électrique avec le système	
Désignation (annuel)	Coût (F CFA)
Facturation des Consommations	
kWh (heure de pointe)	1 536 942
kWh (heure pleine)	9 016 727
Frais d'abonnement	
Redevance	8 538
Prime fixe	864 550
Avance sur consommation	495 000
Frais ETS et police	1 380
Timbre	4 000
Liasses	108
Total 2	11 927 245

- Calcul de la VAN<sub>1</sub> pour la conception 1

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+i)^n} + \frac{r}{(1+i)^N} - CI \quad (16)$$

$$VAN = F_n \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} + \frac{r}{(1+i)^N} - CI$$

Avec

n : Durée de vie de l'installation solaire, 25 ans

i : Taux d'actualisation, 8 %

F<sub>n</sub> : Cash-flow, 10 652 000 F CFA

r : Valeur résiduelle du projet, représente le coût d'amortissement en fin de vie du projet. Elle est estimée à 8 550 000 F CFA en conception 1 et 7 675 000 F CFA en conception 2 (voir **ANNEXE 11**).

CI : Coût d'Investissement du projet, 86 800 000 F CFA et 86 900 000 F CFA.

$$VAN_1 = F_n \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} + \frac{r_1}{(1+i)^N} - CI$$

$$VAN_1 = 10\,652\,000 \times \frac{(1+0,08)^{25} - 1}{0,08(1+0,08)^{25}} + \frac{8\,550\,000}{(1+0,08)^{25}} - 86\,800\,000$$

$$VAN_1 = 28\,134\,000$$

$$VAN_1 > 0$$

$$VAN_2 = F_n \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} + \frac{r_2}{(1+i)^N} - CI_2$$

$$VAN_2 = 10\,652\,000 \times \frac{(1+0,08)^{25} - 1}{0,08(1+0,08)^{25}} + \frac{7\,675\,000}{(1+0,08)^{25}} - 86\,900\,000$$

$$VAN_2 = 28\,070\,000$$

$$VAN_2 > 0$$

Les VAN étant positives, on peut conclure que ce projet est viable pour les deux conceptions proposées.

## VIII. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Cette section a pour but d'identifier et d'évaluer l'impact environnemental du projet. Il s'agira de déterminer les différents impacts que le projet peut avoir sur le plan social, économique et environnemental.

Ce projet peut impacter directement ou indirectement l'environnement selon les différentes phases (étude, construction, exploitation).

Etant dans la phase d'étude au Burkina, le plan de suivi de gestion environnemental ne peut être défini. L'un des principaux objectifs de l'alimentation des data centers par l'énergie solaire est de réduire leurs consommations de l'énergie conventionnelle impliquant la réduction du CO<sub>2</sub>.

Il s'agit de mettre en lumière la quantité de CO<sub>2</sub> produite lors du fonctionnement du data center sur le système solaire photovoltaïque et sur le réseau national.

Le réseau national Burkinabè est doté d'un parc de production constitué de centrale thermique, de centrale hydroélectrique, de producteurs privés (généralement thermique), de solaire photovoltaïque et d'interconnexion. La quantité de CO<sub>2</sub> à déterminer lors du fonctionnement du data center sur le réseau public sera donc dans le cas le plus défavorable des sources d'énergie.

Le **Tableau 14** présente les émissions de CO<sub>2</sub> des différents types de production d'énergie électrique.

**Tableau 14: Emission en CO<sub>2</sub> de production d'énergie[31]**

Production par kWh	Emission de CO <sub>2</sub> par kWh (g)
Hydraulique	4
Nucléaire	6
Eolien	3 à 22
Photovoltaïque	60 à 150
Fioul	891
Cycle combiné	427
Gaz naturel	883
Carbone	978

✚ CO<sub>2</sub> annuel généré à l'utilisation du réseau national en permanence

$$CO_{2R\acute{e}seau} = CO_{2P\acute{e}trole} \times E_{R\acute{e}seau}$$

$$CO_{2R\acute{e}seau} = 891 \times 528 = 470,448kg \cdot j^{-1} \text{ soit } 171\,713\,520 \text{ kg de CO}_2 \text{ par an.}$$

✚ CO<sub>2</sub> annuel généré à l'utilisation partielle (lors des intermittences du champ solaire) du réseau national

$$E_{\text{Réseau}} = 306,24 \text{ kWh. j}^{-1}$$

$$CO_{2\text{Réseau}} = CO_{2\text{Pétrole}} \times E_{\text{Réseau}}$$

$$CO_{2\text{Réseau}} = 891 \times 306,24 = 272,859 \text{ kg. j}^{-1} \text{ soit } \mathbf{99\ 593,84 \text{ kg}} \text{ de CO}_2 \text{ par an}$$

✚ CO<sub>2</sub> annuel généré à l'utilisation du solaire PV (énergie provenant des panneaux)

$$CO_{2\text{PV}} = CO_{2\text{PV}} \times E_{\text{PV}}$$

$$CO_{2\text{Réseau}} = 150 \times 221,76 = 33,26 \text{ kg. j}^{-1} \text{ soit } 12\ 141,36 \text{ kg de CO}_2 \text{ par an}$$

**Tableau 15: Bilan carbone**

Source d'alimentation data center	CO2 généré en kg.an <sup>-1</sup>
Le réseau national en permanence	171 713 520
Le système solaire PV (panneaux solaires + Réseau/ batterie)	111 735,2
Gain carbone (CO <sub>2</sub> Réseau – CO <sub>2</sub> PV)	<b>171 601 784,8</b>

Au terme de cette analyse environnementale, il convient de retenir que ce projet a un impact environnemental considérable avec un gain carbone annuel estimé à **171 601 785 kg**.

## IX. CONCLUSION

Au terme de notre étude, il convient de rappeler que ce travail consistait à faire la conception d'une source d'alimentation électrique assurant la continuité de service d'un data center au Burkina Faso.

Les objectifs liés spécifiques à cette étude étaient sous deux principaux angles avec pour but d'atteindre l'objectif général.

Dans un premier temps, il était question pour nous de faire une revue de littérature sur l'alimentation électrique des data centers et les perspectives d'intégration des énergies renouvelables dans cet environnement. Nous sommes parvenus à atteindre cet objectif à partir de la recherche bibliographique mais surtout à travers l'enquête menée auprès des entreprises du milieu. Il en ressort que le secteur des données est l'un des marchés les plus prometteurs pour l'avenir et les entreprises ont intérêt à se pencher vers une énergie plus verte vu la quantité d'énergie consommée.

Dans un second temps, il était question de faire des propositions techniques pour l'alimentation des data centers à l'énergie renouvelable. De ces solutions techniques à proposer découlaient de deux principales problématiques :

- Comment pallier aux microcoupures du courant électrique dans les data centers ?
- Comment s'engager sur la voie de la transition énergétique en bénéficiant d'une fourniture en énergie verte, décarbonée et renouvelable au sein des data centers ?

Il existe diverses solutions techniques possibles pour l'alimentation en énergie renouvelable des data centers mais la difficulté réside dans le choix des équipements adaptés. Ainsi, nous avons deux solutions techniques qui répondent aux problématiques posées.

La première mettant en évidence un système hybride connecté à un onduleur UPS chargé de pallier la microcoupure avec un coût global estimé à 86 800 000 F CFA.

La seconde, celle que nous choisissons pour son coût estimé à 86 900 000 F CFA et le temps de réaction des équipements (moins de 20 ms). Cette seconde solution ne devrait pas engendrer de coût supplémentaire à l'utilisation par rapport à la première qui quant à elle va engendrer des coûts supplémentaires pour le carburant du groupe électrogène et pour la mise en place du banc de batterie pour l'Alimentation Statique Sans interruption. Cette solution conceptuelle permettra à DARGATECH de mettre en place des packs de 5kVA minimum alimenté sous système solaire photovoltaïque pour les usagers de data centers.

Enfin, avec un gain carbone estimé à plus de 171 000 000 kg de CO<sub>2</sub>.an<sup>-1</sup> les solutions proposées représente pour nous un premier pas vers la transition énergétique tant attendu pour ce qui représente plus de 2 % de la consommation électrique mondiale et qui génère 4 % de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère.

## X. REFERENCES

- [1] « Data\_centers\_novembre2015.pdf ». Consulté le: 18 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: [http://www.kbintelligence.com/Medias/PDF/Data\\_centers\\_novembre2015.pdf](http://www.kbintelligence.com/Medias/PDF/Data_centers_novembre2015.pdf)
- [2] F. Charraire, « Les data centers : 13 % de la consommation électrique mondiale en 2030 ? », sept. 2021, Consulté le: 27 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://balises.bpi.fr/ark:/34201/tx10040494t>
- [3] « 201210\_Cahiers de recherche\_2020\_DATA\_CENTERS\_P.pdf ». Consulté le: 8 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.caissedesdepots.fr/sites/default/files/2021-01/201210\\_Cahiers%20de%20recherche\\_2020\\_DATA\\_CENTERS\\_P.pdf](https://www.caissedesdepots.fr/sites/default/files/2021-01/201210_Cahiers%20de%20recherche_2020_DATA_CENTERS_P.pdf)
- [4] « L'importance des data centers verts pour la planète ». <https://www.padok.fr/blog/data-centers-green> (consulté le 24 juillet 2023).
- [5] « L'Afrique ne représentait que 3-4% de la consommation mondiale d'énergie en 2020 », *Policy Center*. <https://www.policycenter.ma/opinion/afrique-ne-representait-que-3-4-de-la-consommation-mondiale-energie-en-2020> (consulté le 24 juillet 2023).
- [6] « Google Maps », *Google Maps*. [https://www.google.com/maps/dir/12.4624436,-1.5480477/CFP4%2B89+DARGATECH+Kamboins%C3%A9,+Ouagadougou/@12.4487272,-1.556416,14z/data=!4m17!1m7!3m6!1s0xe2eeb69fe3accb1:0x696703b63b7ab9a5!2sDARGATECH+Kamboins%C3%A9!8m2!3d12.4358233!4d-1.5440817!1s%2Fg%2F11tn8k5\\_s4!4m8!1m1!4e1!1m5!1m1!1s0xe2eeb69fe3accb1:0x696703b63b7ab9a5!2m2!1d-1.5441009!2d12.4358261?entry=ttu](https://www.google.com/maps/dir/12.4624436,-1.5480477/CFP4%2B89+DARGATECH+Kamboins%C3%A9,+Ouagadougou/@12.4487272,-1.556416,14z/data=!4m17!1m7!3m6!1s0xe2eeb69fe3accb1:0x696703b63b7ab9a5!2sDARGATECH+Kamboins%C3%A9!8m2!3d12.4358233!4d-1.5440817!1s%2Fg%2F11tn8k5_s4!4m8!1m1!4e1!1m5!1m1!1s0xe2eeb69fe3accb1:0x696703b63b7ab9a5!2m2!1d-1.5441009!2d12.4358261?entry=ttu) (consulté le 8 juin 2023).
- [7] « charte\_des\_pme\_du\_burkina\_faso.pdf ». Consulté le: 25 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://cga-bf.bf/wp-content/uploads/2017/01/charte\\_des\\_pme\\_du\\_burkina\\_faso.pdf](https://cga-bf.bf/wp-content/uploads/2017/01/charte_des_pme_du_burkina_faso.pdf)
- [8] « ETUDE DE FAISABILITE D'ALIMENTATION DE DATA CENTERS EN ENRGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE », *Google Docs*. [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfwm36wxdkJplhg7qGpwQozyoIMX2oE7xm75Jj85JcEM-mRpA/viewform?usp=sf\\_link&usp=embed\\_facebook](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfwm36wxdkJplhg7qGpwQozyoIMX2oE7xm75Jj85JcEM-mRpA/viewform?usp=sf_link&usp=embed_facebook) (consulté le 25 juin 2023).
- [9] « L'importance des data centers verts pour la planète ». <https://www.padok.fr/blog/data-centers-green> (consulté le 22 février 2023).
- [10] « Qu'est-ce qu'un data center ? » <https://www.netexplorer.fr/blog/data-center-definition-fonctionnement> (consulté le 13 mars 2023).
- [11] « news-27968-data-center-atee.pdf ». Consulté le: 6 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27968-data-center-atee.pdf>
- [12] « Rack de serveur pour centre de données : Définition, types et guide d'achat | Communauté FS », *Knowledge*, 19 janvier 2021. <https://community.fs.com:7003/fr/blog/different-types-of-server-rack-used-in-data-center.html> (consulté le 21 mars 2023).
- [13] « Qu'est-ce qu'un serveur informatique ? - Expert Linux », *Syloe*. <https://www.syloe.com/glossaire/serveur-informatique/> (consulté le 22 mars 2023).
- [14] « Architecture des échanges de données sur le web ». <https://delmas-rigoutsos.nom.fr/documents/YDelmas-ArchiWeb/YDelmas-ArchiWeb.html> (consulté le 22 mars 2023).
- [15] « Types de RAID ». <https://www.sos-raid-recovery.com/fr/raid-nas-support-recuperation.html> (consulté le 22 mars 2023).
- [16] « Tout ce qu'il faut savoir sur les équipements réseau », <https://blog.netwrix.fr/>, 17 octobre 2022. <https://blog.netwrix.fr/2019/07/24/tout-ce-quil-faut-savoir-sur-les->

- equipements-reseau/ (consulté le 22 mars 2023).
- [17] « Quelle est la différence entre hub, switch et routeur ? | Communauté FS », *Knowledge*, 12 juillet 2018. <https://community.fs.com:7003/fr/blog/whats-the-difference-hub-vs-switch-vs-router.html> (consulté le 22 mars 2023).
- [18] « Quelle est la différence entre un hub et un switch ? - Les differences », 20 mai 2022. <https://les-differences.com/difference-hub-switch/> (consulté le 22 mars 2023).
- [19] « Quelle est la différence entre un hub et un switch ? - Les differences », 20 mai 2022. <https://les-differences.com/difference-hub-switch/> (consulté le 22 mars 2023).
- [20] « serveurs.pdf ». Consulté le: 24 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.chauvin-arnoux.com/sites/default/files/documents/serveurs.pdf>
- [21] « I-3200-F-FB-3.0-ED.pdf ». Consulté le: 29 mars 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://library.industrialsolutions.abb.com/publibrary/checkout/I-3200-F-FB-3.0-ED.05-06?TNR=Catalogs%20and%20Buyers%20Guides%7CI-3200-F-FB-3.0-ED.05-06%7CPDF&filename=UPS\\_Catalogue\\_French\\_BEFR\\_ed05-06\\_680706.pdf](https://library.industrialsolutions.abb.com/publibrary/checkout/I-3200-F-FB-3.0-ED.05-06?TNR=Catalogs%20and%20Buyers%20Guides%7CI-3200-F-FB-3.0-ED.05-06%7CPDF&filename=UPS_Catalogue_French_BEFR_ed05-06_680706.pdf)
- [22] « uninterruptible power supply (UPS) ». <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/uninterruptible-power-supply?vnextfmt=print> (consulté le 28 mars 2023).
- [23] « Ecus.fr - Technologie on-line double monoconversion ». <http://www.ecus.fr/comprendre/technologies/technologies-on-line-double-conversion> (consulté le 1 avril 2023).
- [24] « Énergies renouvelables : définition, exemples, avantages et limites », *Youmatter*. <https://youmatter.world/fr/definition/energies-renouvelables-definition/> (consulté le 5 avril 2023).
- [25] « Burkina\_Faso\_Plan\_d\_Actions\_National\_pour\_les\_Energies\_Renouvelables.pdf ». Consulté le: 18 avril 2023. [En ligne]. Disponible sur: [https://www.se4all-africa.org/fileadmin/uploads/se4all/Documents/Country\\_PANER/Burkina\\_Faso\\_Plan\\_d\\_Actions\\_National\\_pour\\_les\\_Energies\\_Renouvelables.pdf](https://www.se4all-africa.org/fileadmin/uploads/se4all/Documents/Country_PANER/Burkina_Faso_Plan_d_Actions_National_pour_les_Energies_Renouvelables.pdf)
- [26] « FasoBiogaz | Production D'énergie Renouvelable ». <https://www.fasobiogaz.com/> (consulté le 14 juin 2023).
- [27] Alliance\_Sahel, « La centrale solaire de Zagtouli, énergies renouvelables au Burkina Faso », *Alliance Sahel*, 7 décembre 2020. <https://www.alliance-sahel.org/actualites/centrale-solaire-de-zagtouli/> (consulté le 20 avril 2023).
- [28] « Ziga - centrale solaire photovoltaïque communautaire | ECOWREX ». <http://www.ecowrex.org/fr/node/87943> (consulté le 21 avril 2023).
- [29] « Inauguration de la centrale solaire photovoltaïque de Nagréongo: 30 mégawatts-crête à injecter dans le réseau de distribution d'électricité de la SONABEL », *Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement*, 7 juillet 2022. [https://www.environnement.gov.bf/informations/actualites/articles?tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=212&cHash=5317580677de16a21dac4ded711a1f95](https://www.environnement.gov.bf/informations/actualites/articles?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=212&cHash=5317580677de16a21dac4ded711a1f95) (consulté le 20 avril 2023).
- [30] D. Civera, « Diapo : classement des plus gros data center de la planète - Page 15 sur 17 », *Tom's Hardware*, 29 septembre 2017. <https://www.tomshardware.fr/diapo-classement-des-plus-gros-data-center-de-la-planete/> (consulté le 28 avril 2023).
- [31] « Comment fonctionne une batterie lithium-ion? », *Parlons sciences*. <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-en-contexte/comment-fonctionne-une-batterie-lithium-ion> (consulté le 5 mai 2023).
- [32] « Ressource\_electrique.pdf ». Consulté le: 21 juin 2023. [En ligne]. Disponible sur: [http://michel.marquis7.free.fr/ressources/serre/pdf/seq3/ilot1\\_energie/Ressource\\_electrique.pdf](http://michel.marquis7.free.fr/ressources/serre/pdf/seq3/ilot1_energie/Ressource_electrique.pdf)
- [33] « ANALYSE TECHNIQUE ET FINANCIERE DE LA CENTRALE SOLAIRE

# PHOTOVOLTAÏQUE DE MALBAZA ».

## **XI. TABLE DES ANNEXES**

<b>ANNEXE 1: Enquête</b> .....	<b>x</b>
<b>ANNEXE 2: Onduleur hybride</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ANNEXE 3: Module PV</b> .....	<b>xv</b>
<b>ANNEXE 4: Batterie lithium fer phosphate</b> .....	<b>xix</b>
<b>ANNEXE 5: Groupe électrogène GELEC</b> .....	<b>xx</b>
<b>ANNEXE 6: Onduleur UPS</b> .....	<b>xxii</b>
<b>ANNEXE 7: Convertisseur chargeur Multi plus</b> .....	<b>xxiv</b>
<b>ANNEXE 8: Régulateur Smartsolar</b> .....	<b>xxvi</b>
<b>ANNEXE 9: Onduleur réseau SMA</b> .....	<b>xxvii</b>
<b>ANNEXE 10: Simulation PVGIS</b> .....	<b>xxix</b>
<b>ANNEXE 11: Valeur résiduelle (r) des équipements du projet</b> .....	<b>xxx</b>

# ANNEXE 1: Enquête

01/06/2023 15:50 Gmail - RE: [EXTERNE] ETUDE DE FAISABILITE D'ALIMENTATION DE DATA CENTERS EN ENRGIE SOLAIRE PHOTOV...



Ange Anicet YAO <anicetangeyaokouakou@gmail.com>

## RE: [EXTERNE] ETUDE DE FAISABILITE D'ALIMENTATION DE DATA CENTERS EN ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

2 messages

franck.singbeogo@orange.com <franck.singbeogo@orange.com>

1 juin 2023 à 12:58

À : "anicetangeyaokouakou@gmail.com" <anicetangeyaokouakou@gmail.com>

Bonjour,

Voir mes réponses en rouge. Merci de prendre attache avec nos services des achats pour déposer votre offre service

Pour votre info ..Nous avons signé récemment avec SOLARX pour la construction d'une centrale solaire sur notre site (data center de Balkuy)...Le model du contrat est purement en OPEX et la durée est de 10ans.Aucun investissement CAPEX de la part de Orange

Cordialement



Tom Franck SINGBEOGO

Responsable Pôle Energie & Environnement technique

Orange Burkina Faso S.A.

Mobile : (+226) 76 26 02 84

<http://www.orange.bf/>

«Chez Orange BF, grâce à nos solutions digitales, nous agissons de manière responsable pour améliorer le bien-être de tous».

De : [anicetangeyaokouakou@gmail.com](mailto:anicetangeyaokouakou@gmail.com) [mailto:[anicetangeyaokouakou@gmail.com](mailto:anicetangeyaokouakou@gmail.com)]

Envoyé : mercredi 31 mai 2023 17:39

À : SINGBEOGO Franck /NW [OBF] <[franck.singbeogo@orange.com](mailto:franck.singbeogo@orange.com)>

Objet : [EXTERNE] ETUDE DE FAISABILITE D'ALIMENTATION DE DATA CENTERS EN ENRGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

**ATTENTION:** : ce message ne provient pas de l'organisation Orange. Ne cliquez pas sur les liens ou n'ouvrez pas les pièces jointes si vous ne connaissez pas l'expéditeur et que vous n'êtes pas sûr que le contenu soit

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=955ebb8356&view=pt&search=all&permthid=thread-f:1767497654279180119&simpl=msg-f:1767497654279...> 1/5

**Nom de l'Entreprise** \*Orange BF

**Statut Juridique**

- ( ) SA
- ( ) SARL
- ( ) Autre :

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=955ebb8356&view=pt&search=all&permthid=thread-f:1767497654279180119&simpl=msg-f:1767497654279...> 2/5

01/06/2023 15:50 Gmail - RE: [EXTERNE] ETUDE DE FAISABILITE D'ALIMENTATION DE DATA CENTERS EN ENRGIE SOLAIRE PHOTOV...

**Domaine d'activité**

\*

**Pays**

\*

- ( ) Côte d'Ivoire
- ( ) Burkina Faso
- ( ) Cameroun
  
- ( ) Mali
- ( ) Niger
- ( ) France
- ( ) Autre :

**Ville Ouaga & Bobo**

**Type d'entreprise**

- ( ) Multinationale
- ( ) Nationale
- ( ) Autre :

**Dimension de l'entreprise**

\*

- ( ) PME
- ( ) Grand groupe
- ( ) Autre :

Référent (Votre Nom, Prénom)

**SINGBEOGO B Tom Franck**

Contacts du référent

**76260284**

Avez-vous déjà entendu parler des data centers fonctionnant à l'énergie solaire

( ) Oui

( ) Non

Serez-vous favorables au data centers à énergie solaire

\*

( ) Oui

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=955ebb8356&view=pt&search=all&permthid=thread-f:1767497654279180119&simpl=msg-f:1767497654279...> 3/5

( ) Non

A quelle valeur pouvez-vous estimer la puissance installée de vos équipements informatiques ou de votre data center en kW ou en kVA ?

**\*HQ 800 kVA**

**Balkuy 600 kVA**

**Dafra 250 kVA**

**Bama 600 kVA**

Quel est le temps de fonctionnement moyen journalier de votre data center ou équipements informatiques ?

\*

( ) 24H/24

( ) 20H/24

**Il y a-t-il des interruptions du réseau électrique ?**

\*

- ( ) Oui
- ( ) Non

**Temps moyens des interruptions du réseau par jour ? 10 mn**

**Comment palliez-vous aux interruptions du réseau (coupure du réseau, délestage, etc.)**

\*

- ( ) Onduleur à Alimentation Sans Interruption (ASI ou UPS)
- ( ) Groupe électrogène

**Si vous utilisez une ASI, estimez son temps moyen d'autonomie : Cela dépend du site mais en moyenne 2heures**

**Estimation de la puissance de l'alimentation de secours en kVA ou kW Dépend du site**

**Le passage du réseau à la source de secours est-il perçu par les équipements du data centers ?**

- ( ) Oui

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=955ebb8356&view=pt&search=all&permthid=thread-f:1767497654279180119&simpl=msg-f:1767497654279...> 4/5

---

01/06/2023 15:50 Gmail - RE: [EXTERNE] ETUDE DE FAISABILITE D'ALIMENTATION DE DATA CENTERS EN ENRGIE SOLAIRE PHOTOV...

- ( ) Non

**Temps moyen de passage d'une source à une autre**

[Envoyer]

N'envoyez jamais de mots de passe via Google Forms.

Fourni par



# ANNEXE 2: Onduleur hybride

next nx3 gamma

STUDER

## Inverter + battery charger Onduleur + chargeur de batterie | Weschelicrther + Batterielader | Inversor + Cargador de batería

<b>Continuous power 25°C</b> Puissance continue 25°C   Dauerleistung 25°C   Potencia continua 25°C	15000 VA
<b>Power 30 min. 25°C</b> Puissance 30 min. 25°C   Leistung 30 Min. 25°C   Potencia 30 min. 25°C	16000 VA
<b>Power 5 sec. 25°C with solar / inverter / 1-phase</b> Puissance 5 sec. 25°C avec solaire / onduleur / 1-phase   Leistung 5 Sek. 25°C mit PV / weschelrichter / 1-Phase   Potencia 5 seg. @25°C con solar / inversor / 1 fase	30000 / 24000 / 10000 VA
<b>Nominal output voltage, line to neutral*</b> Tension sortie nominale, phase-neutre   Nennausgangsspannung - Phase zum Neutralleiter   Tensión nominal de salida, fase-neutro	pure sine wave 220/230/240 Vac (±1%)
<b>Nominal output voltage, line to line*</b> Tension sortie nominale, phase-phase   Nennausgangsspannung - Phase zum Phaseleiter   Tensión nominal de salida, fase-fase	pure sine wave 380/400/415 Vac (±1%)
<b>Nominal output frequency*</b> Fréquence sortie nominale   Nennausgangsfrequenz   Frecuencia nominal de salida	50/60 Hz (±0.02%)
<b>Nominal battery voltage (Input range)</b> Tension nominale de la batterie (plage de tension)   Nominalspannung der Batterie   Tensión nominal de batería	48 Vdc
<b>Battery voltage range</b> Plage de tension batterie   Batteriespannungsbereich   Rango de tensión de batería	38 - 68 Vdc
<b>Maximum charging current / power*</b> Courant / puissance de charge maximum   Maximaler Ladestrom / Leistung   Corriente / potencia de carga máxima	300 Adc / 15000 W
<b>Cos φ 0.1-1   Harmonic distortion &lt; 1 %   Charge characteristic* 6 steps: bulk, absorption, floating, equalization, reduced floating<sup>1</sup>, periodic absorption<sup>1</sup>   Temperature compensation* with nx tempensor (included)</b>	
<b>Cos φ 0.1-1   Distorsión armónica &lt; 1 %   Características de carga* 6 etapas: bulk, absorption, maintien, equalization, maintien réduit<sup>1</sup>, absorption périodique<sup>1</sup>   Compensation de la température* avec nx tempensor (inclus)</b>	
<b>Cos φ 0.1-1   Klirfaktor &lt; 1 %   Ladecharakteristik* 6 Stufen: Bulk, Absorption, Schwebeladung, Equalisierung, reduzierte Schwebeladung<sup>1</sup>, periodische Absorption<sup>1</sup>   Temperatur Kompensation* mit nx tempensor (inbegriffen)</b>	
<b>Cos φ 0.1-1   Distorsión armónica &lt; 1 %   Características de carga* bulk, absorción, flotación, equalización, flotación reducida<sup>1</sup>, absorción periódica<sup>1</sup>   Compensación por temperatura* con nx tempensor (incluido)</b>	

## Solar PV<sup>3</sup> Solaire PV<sup>3</sup> | Solar PV<sup>3</sup> | Solar FV<sup>3</sup>

<b>Number of MPPT inputs</b> Nombre des entrées MPPT   Anzahl der Eingänge MPPT   Número de entradas MPPT	2
<b>Max PV short circuit current per PV input</b> Courant max de court circuit par entrée PV   Max PV-Strom pro PV-Eingang   Corriente max de cortocircuito por entrada FV	22 Adc
<b>Maximum PV open voltage (Voc)</b> Tension de circuit ouvert maximum   Max Spannung des PV-Generators   Tensión máxima de circuito abierto	900 Vdc
<b>Start up voltage / Shut off voltage</b> Tension de démarrage / Tension de coupure   Anlaufspannung / Abschaltspannung   Tensión de arranque / Tensión de apagado	350 / 100 Vdc
<b>Maximum solar power produced (electronic limitation)</b> Puissance solaire max. produite   Max. produzierte PV-Leistung   Potencia solar max. producida	2 x 8000 W
<b>Maximum solar power recommended (@STC)</b> Puissance solaire max. recommandée (@STC)   Max. Leistung des PV-Generators (@STC)   Potencial solar máxima recomendada (@CEM) 2 x 12000 W	
<b>MPP voltage range recommended</b> Plage de tension MPP   MPP-Spannungsbereich   Rango de tensión MPP	300 - 700 Vdc
<b>Maximum efficiency solar to grid / EU / CEC 97 / 92 / 93%   MPP efficiency static / dynamic &gt; 99 / 99%   Maximum efficiency solar to battery 95 %</b>	
<b>Rendement de conversion max. solaire au réseau / EU / CEC 97 / 92 / 93%   Efficacité MPP statique / dynamique &gt; 99 / 99%   Rendement de conversion max. solaire à batterie 95 %</b>	
<b>Max. Effizienz von Solar zu Netz / EU / CEC 97 / 92 / 93%   MPP-Wirkungsgrad statisch / dynamisch &gt; 99 / 99%   Max. Effizienz von Solar zu Batterie 95 %</b>	
<b>Rendimiento de conversión max. solar a red / EU / CEC 97 / 92 / 93%   Eficiencia MPP estática / dinámica &gt; 99 / 99%   Rendimiento de conversión max. solar a batería 95 %</b>	

## Transfer<sup>3</sup> Transfer<sup>3</sup> | Transfer<sup>3</sup> | Transferencia<sup>3</sup>

<b>AC source (grid or genset) Source AC (réseau ou génératrice)   AC-Quelle (Netz oder Generator)   Entrada AC (red o generador)</b>	
<b>Maximum rated current</b> Courant nominal maximal   Maximaler Nennstrom   Corriente nominal máxima	3 x 80 Aac
<b>Operating voltage range, line to neutral</b> Plage de tension, phase-neutre   Betriebsspannungsbereich, Phase zum Neutralleiter   Rango de tensión de funcionamiento, fase-neutro	176 - 288 Vac
<b>Nominal voltage, line to neutral / line to line*</b> Tension nominale, phase-neutre / phase-phase   Nennspannung - Phase zum Neutralleiter / Phase zum Phaseleiter   Tensión nominal, fase-neutro / fase-fase	220 - 230 - 240 / 380 - 400 - 415 Vac
<b>Nominal frequency*</b> Fréquence nominale   Nennfrequenz   Frecuencia nominal	50 / 60 Hz
<b>Overvoltage category (OVC)</b> Catégorie de surtension   Überspannungskategorie   Categoría de sobretensión	III
<b>Grid code compliance*</b> Catégorie de surtension   Überspannungskategorie   Categoría de sobretensión	EU Commission Regulation 2016/631 (NC RfG), EN 50549-1:2019, VDE-AR-N 4105:2018, IEC 62116, IEC 61727 <sup>4</sup>
<b>AC flex (2<sup>nd</sup> source or load) AC flex (2<sup>nd</sup> entrée ou sortie)   AC flex (2. steuebare AC-ingang oder ausgang)   AC flex (2<sup>nd</sup> entrada o salida)</b>	
<b>Maximum rated current</b> Courant nominal maximal   Maximaler Nennstrom   Corriente nominal máxima	3 x 80 Aac
<b>Operating voltage range, line to neutral</b> Plage de tension, phase-neutre   Betriebsspannungsbereich, Phase zum Neutralleiter   Rango de tensión de funcionamiento, fase-neutro	176 - 288 Vac
<b>Nominal voltage, line to neutral / line to line*</b> Tension nominale, phase-neutre / phase-phase   Nennspannung - Phase zum Neutralleiter / Phase zum Phaseleiter   Tensión nominal, fase-neutro / fase-fase	220 - 230 - 240 / 380 - 400 - 415 Vac
<b>Nominal frequency*</b> Fréquence nominale   Nennfrequenz   Frecuencia nominal	50 / 60 Hz

## AC loads Sortie AC | AC-Ausgang | Salida AC

<b>Maximum output current</b> Courant maximal sortie   Maximaler Ausgangstrom   Corriente máxima de salida	3 x 102 Aac
---	-------------

## General data Données générales | Allgemeine Daten | Datos generales

<b>Dimensions h/w/l</b> Dimension h/l/L   Abmessungen H/B/L   Dimensiones A/a/l	320 / 450 / 760 mm
<b>Weight</b> Poids   Gewicht   Peso	58 kg
<b>Selfconsumption OFF / Standby / ON</b> Autoconsumption OFF / Standby / ON   Eigenverbrauch OFF / Standby / ON   autoconsumo OFF / Standby / ON	6 / 7 / 41 W (+5 W with nx interface)
<b>Multifunction I/O contacts</b> Contacts multifonctions I/O   Multi-funktionskontakte I/O   Contactos multifuncionales I/O	2 x Input, 2 x Output, rating 16 A each
<b>Safety conformity (CE marking)</b> Conformité sécurité (CE)   Sicherheitskonformität (CE)   Conformidad seguridad (CE)	EU Low Voltage Directive (LVD) 2014/35/EU <sup>4</sup>
<b>EMC conformity (CE marking)</b> Conformité CEM (CE)   Elektromagnetische Konformität (CE)   Conformidad CEM (CE)	EU Electromagnetic Compliance (EMC) 2014/30/EU <sup>4</sup>
<b>Ingress Protection according to IEC60529 IP30   Operating ambient temperature range -20 to 55°C   Relative humidity operation range 5 to 95 % (non condensing)   Mounting location Indoor, unconditioned</b>	
<b>Indice de protection selon IEC60529 IP30   Plage de température de travail -20 to 55°C   Humidité relative de fonctionnement 5 - 95 % (sans condensation)   Emplacement de montage intérieur, non conditionné</b>	
<b>Schutzart nach IEC60529 IP30   Betriebstemperatur -20 to 55°C   Relative Luftfeuchtigkeit bei Betrieb 5 - 95 % (nicht Kondensierend)   Montageort Indoor, unconditioniert</b>	
<b>Índice de protección según IEC60529 IP30   Rango de temperatura de trabajo -20 to 55°C   Humedad relativa de funcionamiento 5 - 95 % (sin condensación)   Lugar de montaje interior, sin acondicionar</b>	

Data may change without any notice. | \* Adjustable values | 1 Feature under development | 2 feature not available in the gamma version | 3 Optional (not available in the gamma version) | 4 Product compliant, external certification in progress NVA gamma | September 2021 © all rights reserved Studer Innotec SA - V1.0

4K31

# ANNEXE 3: Module PV



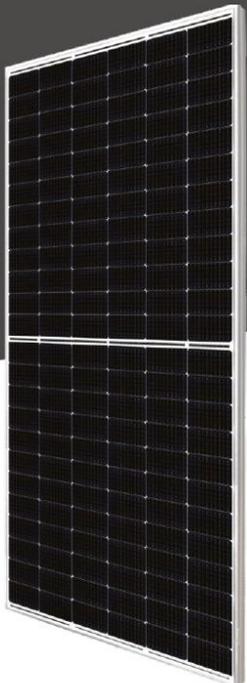
## AU-144MH

**POWER RANGE**

**525W~550W**

**CELL SIZE**

**182\*91mm**

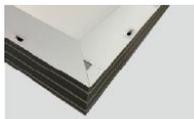



**JUNCTION BOX**

Waterproof protection grade: IP67/IP68  
 Safety Level: Class II  
 Maximum System Voltage: 1500V  
 outstanding waterproof level  
 Effectively resist harsh environments



10BB



**Frame**

Strong machinical load  
 resistance up to 5400Pa  
 Anodic oxidation layer resistant to  
 chemical corrosion available  
 in silver and black



**Half-cut Technology**

New circuit design, lower internal current and lower internal resistance loss



**Significantly avoiding heat spot**

The unique circuit design to reduce the temperature of heat spot significantly, so that to reduce the power loss and then increase the output of modules.



**Lower cost**

Increasing power generation can reduce the cost per kilowatt-hour



**Excellent performance of PID resistance**

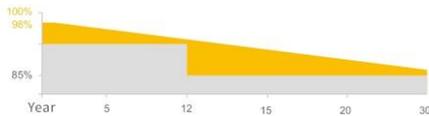
The performance of PID resistance (Potential Induced Degradation) passed the standard of TUV Nord.

### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES



• IEC61215 / • IEC61730

### WARRANTY



- 12 YEARS** Guarantee on product material and workmanship
- 30 YEARS** Linear Power output warranty

**AUSTA ENERGY**  
[www.austagroup.com](http://www.austagroup.com)

AUSTA ENERGY established in 2008, is a high-tech enterprise integrating R&D, production and sales of solar energy products. It is committed to the overall solution of distributed photovoltaic system and provides services from consulting, design, construction, financing to intelligent operation and maintenance.

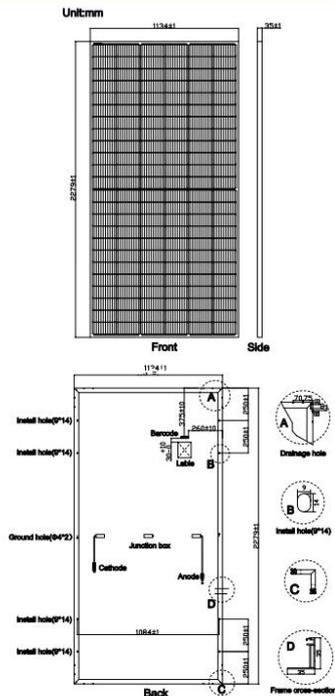
AUSTA has 3 production sites in China and branches and representative offices in more than 10 countries overseas. Products include solar cells, modules, On/Off grid solar system, solar pump and other solar related applications. Our products have passed many international certifications such as TUV, MCS, CEC, IEC, ISO, CE, CQC and so on. With excellent quality, our products are exported to more than 100 countries of the world.

Since its establishment, AUSTA has always followed the idea of "Smart energy, Lightning future". It has followed the steps of "the Belt and Road Initiative", we bring bright light to the countries and people who are short of electricity. Sharing the concept of modern civilization, and building a green home together.

# AU-144MH

AUSTA ENERGY  
www.austagroup.com

## PV DRAWINGS



## ELECTRICAL DATA (STC)

Model Type	AU525-36V -MH	AU535-36V -MH	AU540-36V -MH	AU545-36V -MH	AU550-36V -MH
Peak Power(Pmax)	525.00	535.00	540.00	545.00	550.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	41.28	41.60	41.76	41.93	42.10
Maximum Power Current(Imp)	12.72	12.84	12.93	13.00	13.16
Open Circuit Voltage(Voc)	49.10±3%	49.50±3%	49.70±3%	49.90±3%	50.10±3%
Short Circuit Current(Isc)	13.56±3%	13.74±3%	13.83±3%	13.92±3%	14.01±3%
Module Efficiency( % )	20.31	20.70	20.89	21.08	21.28

\* STC: irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, and cell temperature of 25°C

## ELECTRICAL DATA (NOCT)

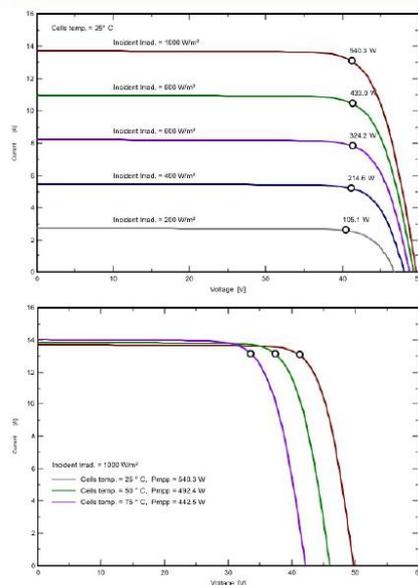
Model Type	AU525-36V -MH	AU535-36V -MH	AU540-36V -MH	AU545-36V -MH	AU550-36V -MH
Peak Power(Pmax)	390.30	397.7	401.4	405.1	408.9
Maximum Power Voltage(Vmp)	38.30	38.62	38.78	38.93	39.09
Maximum Power Current(Imp)	10.20	10.30	10.35	10.41	10.46
Open Circuit Voltage(Voc)	46.00±3%	46.36±3%	46.54±3%	46.73±3%	46.92±3%
Short Circuit Current(Isc)	10.81±3%	10.97±3%	11.05±3%	11.13±3%	11.20±3%

\* NOCT: irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

## TEMPERATURE & MAXIMUM RATING

Maximum System Voltage (V)	1500 V
Maximum Series Fuse Rating (A)	25 A
Power Tolerance	0~+3 W
Pmax Temperature Coefficients (W/°C)	-0.350 %/°C
Voc Temperature Coefficients (V/°C)	-0.285 %/°C
Isc Temperature Coefficients (A/°C)	+0.045 %/°C
NOCT Nominal Operating Cell Temperature (°C)	45±2 °C
Operating and Storage Temperature (°C)	-40~+85 °C

## IV CURVE (540W)



## MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell Type	182*91 Mono
No. of Cells	144 (12*12)
Dimensions	2279*1134*35mm
Weight	28.40kg
Front Glass	3.2mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction box	IP67/IP68 3diodes
Output cables	4mm <sup>2</sup> cable 35cm (Including MC4 connector)
MaxWind Load/Snow Load	2400Pa/5400Pa

## PACKING WAY

20FT container	5 Packages/155pcs
40HQ container	20 Packages/620pcs

Austa



ZHEJIANG AUSTA GREEN ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD  
ADD: NO.128 Haichuan Rd, Jiangbei Dist., Ningbo, China

Tel : 86-574-87915068  
Cell: 86-13566302808  
E-mail : sales@austagroup.com

The company reserves the right of final interpretation, November 2020 edition

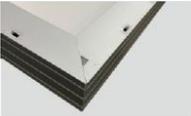
# AU-144MH

**POWER RANGE**  
430W ~ 460W

**CELL SIZE**  
166\*83mm



**JUNCTION BOX**  
Waterproof protection grade: IP67/IP68  
Safety Level: Class II  
Maximum System Voltage: 1500V  
outstanding waterproof level -  
Effectively resist harsh environments



**Frame**  
Strong mechanical load  
resistance up to 5400Pa  
Anodic oxidation layer resistant to  
chemical corrosion available  
in silver and black



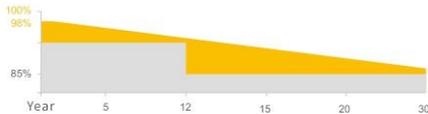
9BB

## QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES



• IEC61215 / • IEC61730

## WARRANTY



- 12 YEARS** Guarantee on product material and workmanship
- 30 YEARS** Linear Power output warranty



**Half-cut Technology**  
New circuit design, lower internal current and lower internal resistance loss



**Significantly avoiding heat spot**  
The unique circuit design to reduce the temperature of heat spot significantly, so that to reduce the power loss and then increase the output of modules.



**Lower cost**  
Increasing power generation can reduce the cost per kilowatt-hour



**Excellent performance of PID resistance**  
The performance of PID resistance (Potential Induced Degradation) passed the standard of TÜV Nord.

**AUSTA ENERGY**  
[www.austagroup.com](http://www.austagroup.com)

AUSTA ENERGY established in 2008, is a high-tech enterprise integrating R&D, production and sales of solar energy products. It is committed to the overall solution of distributed photovoltaic system and provides services from consulting, design, construction, financing to intelligent operation and maintenance.

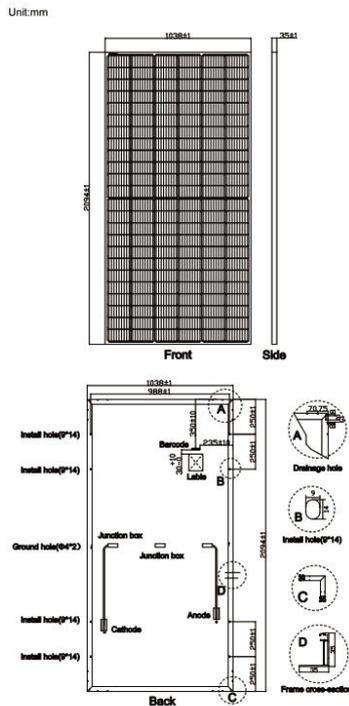
AUSTA has 3 production sites in China and branches and representative offices in more than 10 countries overseas. Products include solar cells, modules, On/Off grid solar system, solar pump and other solar related applications. Our products have passed many international certifications such as TÜV, MCS, CEC, IEC, ISO, CE, CQC and so on. With excellent quality, our products are exported to more than 100 countries of the world.

Since its establishment, AUSTA has always followed the idea of "Smart energy, Lightning future". It has followed the steps of "the Belt and Road Initiative", we bring bright light to the countries and people who are short of electricity. Sharing the concept of modern civilization, and building a green home together.

# AU-144MH

AUSTA ENERGY  
www.austagroup.com

## PV DRAWINGS



## ELECTRICAL DATA (STC)

Model Type	AU430-36V-MH	AU440-36V-MH	AU450-36V-MH	AU460-36V-MH
Peak Power(Pmax)	430.00	440.00	450.00	460.00
Maximum Power Voltage(Vmp)	40.70	41.10	41.50	41.90
Maximum Power Current(Imp)	10.57	10.71	10.85	10.99
Open Circuit Voltage(Voc)	48.50±3%	48.90±3%	49.30±3%	49.70±3%
Short Circuit Current(Isc)	11.31±3%	11.46±3%	11.60±3%	11.72±3%
Module Efficiency( % )	19.78	20.24	20.70	21.16

\* STC: irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, and cell temperature of 25°C

## ELECTRICAL DATA (NOCT)

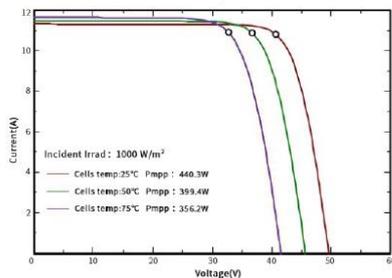
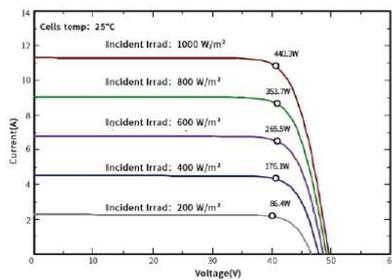
Model Type	AU430-36V-MH	AU440-36V-MH	AU450-36V-MH	AU460-36V-MH
Peak Power(Pmax)	321.10	328.60	336.10	343.50
Maximum Power Voltage(Vmp)	37.90	38.30	38.60	39.00
Maximum Power Current(Imp)	8.47	8.59	8.70	8.80
Open Circuit Voltage(Voc)	45.50±3%	45.80±3%	46.20±3%	46.60±3%
Short Circuit Current(Isc)	9.15±3%	9.27±3%	9.38±3%	9.48±3%

\* NOCT: irradiance 800 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

## TEMPERATURE & MAXIMUM RATING

Maximum System Voltage (V)	1500 V
Maximum Series Fuse Rating (A)	20 A
Power Tolerance	0~+3 W
Pmax Temperature Coefficients (W/°C)	-0.350 %/°C
Voc Temperature Coefficients (V/°C)	-0.270 %/°C
Isc Temperature Coefficients (A/°C)	+0.048 %/°C
NOCT Nominal Operating Cell Temperature (°C)	45±2 °C
Operating and Storage Temperature (°C)	-40~+85 °C

## IV CURVE (440W)



## MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell Type	166*83 Mono
No. of Cells	144 (12*12)
Dimensions	2094*1038*35mm
Weight	23.50 kg
Front Glass	3.2mm high transmission, low iron, tempered glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction box	IP67/IP68 3diodes
Output cables	4mm <sup>2</sup> cable 35cm (Including MC4 connector)
MaxWind Load/Snow Load	2400Pa/5400Pa

## PACKING WAY

20FT container	5 Packages/155pcs
40HQ container	22 Packages/726pcs

Austa



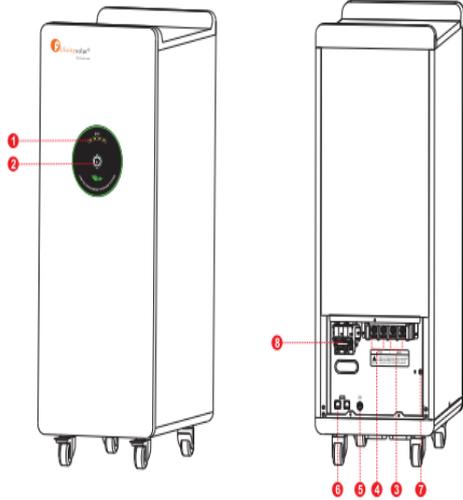
ZHEJIANG AUSTA GREEN ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD  
ADD: NO.128 Haichuan Rd, Jiangbei Dist., Ningbo, China

Tel: 86-574-87915068  
Cell: 86-13566302808  
E-mail: sales@austagroup.com

The company reserves the right of final interpretation, November 2020 edition

# ANNEXE 4: Batterie lithium fer phosphate

LiFePO4 Battery System for Households



- 1. LED display
- 2. Power On/Charging indicator
- 3. Battery Negative -
- 4. Battery Positive +
- 5. Switch
- 6. Communication port
- 7. Earth wire
- 8. Breaker

LiFePO4 Battery System for Households

## 2.3 Specifications

Model	LPBF48250	LPBF48300
Usable Capacity	12.5KWH	15KWH
Nominal Voltage	51.2	51.2
Voltage Range	48-57.6	48-57.6
MAX. Charge & Discharge Current	200A@15S	
Recommend Charge & Discharge Current	≤120A	
MAX. Output Power	10000W	
Recommend Output Power	6000W	
DOD	≥95%	
Modules Connection	1-6in parallel	
Communication	CAN&RS485	
Ingress Protection	IP21	
Cycle Life	≥6000@25°C, 80%DOD	
Working Temperature Range	Discharge:-20°C to +65°C, Charge:+0°C to +55°C	
Net Weight(KG)	154KG	
Gross Weight(KG)	177KG	
Product Dimension(MM)	615x350x955MM	
Package Dimension(MM)	715x450x1115MM	

## 2.4 Recommended Settings

Lithium battery pack is not same as lead-acid battery, so for the devices which you connect with the battery pack for charging or discharging, such as inverters, MPPT charger controllers or UPS, please implement pre-settings as recommended settings as below before you launched them.

Setting	LPBF48250	LPBF48300
Max. Charging Voltage	57.6V	
Floating charging Voltage	57.6V	
Max. Charging Current	120A*N	
Cut-off voltage	48V	

Notes: \*N means the number of battery packs connected in parallel.

# ANNEXE 5: Groupe électrogène GELEC



Gamme STANDARD

## PANTHER 35YD TRIPHASÉ E2



### Dimensions - standard : V2

L : 2 240 mm  
I : 1 000 mm  
H : 1 100 mm  
**Poids - standard : 1 070 kg**

### Dimensions - grande autonomie : V1

L : 2 300 mm  
I : 1 000 mm  
H : 1 360 mm  
**Poids - grande autonomie : 1 290 kg**

## > DONNÉES TECHNIQUES

### DONNÉES GÉNÉRALES

<b>Puissance principale (PRP<sup>1</sup>)</b>	24,80 kW / 31 kVA	<b>Nombre de phases</b>	3
<b>Puissance secours (ESP<sup>1</sup>)</b>	27 kW / 34 kVA	<b>Intensité sonore à 1 m</b>	≤ 79 dB(A)
<b>Tension Ph-Ph</b>	400 V	<b>Intensité sonore à 7 m</b>	≤ 68 dB(A)
<b>Tension Ph-N</b>	230 V	<b>Capacité réservoir standard</b>	90 L
<b>Facteur de puissance</b>	0.80 Cos Φ	<b>Consommation à 50 %</b>	4,60 L/h
<b>Vitesse de rotation</b>	1 500 tours/minute	<b>Consommation à 75%</b>	6,90 L/h
<b>Fréquence</b>	50 Hz	<b>Consommation à 100%</b>	9,30 L/h
<b>Diamètre sortie échappement</b>	ID 45 mm	<b>Autonomie à 75%</b>	13 h

### OPTION VERSION GRANDE AUTONOMIE

<b>Capacité réservoir GA</b>	240 L	<b>Autonomie à 75%</b>	35 h
------------------------------	-------	------------------------	------

### MOTEUR

<b>Modèle</b>	Y4102D
<b>Caractéristiques</b>	Vertical, refroidissement à eau, quatre temps, injection directe
<b>Type de régulation</b>	Mécanique
<b>Nombre de cylindres</b>	4
<b>Cylindrée</b>	3,88 L
<b>Puissance maxi à 1500 tr/min</b>	36 kW
<b>Système de démarrage</b>	Électrique 24 V
<b>Taux de compression</b>	18 :1
<b>Type d'admission d'air</b>	Aspiration naturelle
<b>Capacité huile moteur</b>	11,60 L
<b>Capacité liquide de refroidissement</b>	6,80 L

### ALTERNATEUR

<b>Régulation AVR</b>	Electronique
<b>Technologie</b>	Brushless (sans balais) avec régulation électronique
<b>Marque AVR</b>	AS440
<b>Protection IP</b>	21
<b>Classe d'isolement</b>	H

### DISJONCTEUR

<b>Intensité nominale</b>	45 A
<b>Type</b>	Tétrapolaire compact (MCCB) magnétothermique avec déclencheur électronique et module différentiel réglable

1/2

1 : Selon NF ISO 8528 : 2005

Caractéristiques sujettes à modification sans préavis. Photos non contractuelles. N/A : Non Applicable. N/C : Non Communiqué.

Puissances cos 0,8	Ampérage / phase sous :		Section des câbles pour une longueur de 20 mètres		Consommation Gas-oil / h en pleine charge
	400 V	230 V	400 V	230 V	
	Ampères				
10 KVA	14,5	25	25	25	3 litres
15 KVA	21,6	37,5	25	25	3,5 litres
25 KVA	36	63	25	25	5 litres
35 KVA	50,5	88	25	25	7 litres
40 KVA	58	104	25	25	8 litres
50 KVA	72	125,5	25	25	10 litres
70 KVA	101	176	25	50	14 litres
85 KVA	123	213	25	70	16 litres
100 KVA	144	251	35	95	20 litres
125 KVA	180	314	50	95	25 litres
150 KVA	216	376,5	70	120	30 litres
180 KVA	325	452	1 x 95	1 x 185	36 litres
200 KVA	289	502	1 x 95	1 x 240	40 litres
225 KVA	325	565	1 x 95	1 x 240	46 litres
250 KVA	361	627,5	1 x 120	2 x 95	50 litres
275 KVA	397	690	1 x 150	2 x 120	55 litres
300 KVA	433	753	1 x 150	2 x 120	60 litres
350 KVA	505	878,5	1 x 240	2 x 185	70 litres
450 KVA	650	1130	2 x 95	2 x 240	90 litres
550 KVA	794	1380	2 x 150	3 x 185	110 litres
650 KVA	938	1601	2 x 185	2 x 240	146 litres
850 KVA	1227	2134	3 x 150	4 x 240	180 litres
1000 KVA	1443	2510	3 x 185	5 x 240	220 litres
1250 KVA	1804		4 x 185		298 litres
1500 KVA	2165		4 x 240		338 litres
1650 KVA	2382		5 x 185		365 litres
2000 KVA	2887		5 x 240		400 litres

# ANNEXE 6: Onduleur UPS

## Fiche technique du produit

Spécifications



### Easy UPS 3S - onduleur on-line - 400V - 30kVA - 3:3 - 0 min - tour haute

E3SUPS30KHB

Statut commercial : Commercialisé

### Présentation

**Présentation**  
Onduleur triphasé haute capacité qui se caractérise par des fonctionnalités produit avancées, des caractéristiques techniques compétitives et une conception électrique robuste, ce qui facilite la continuité des activités dans le datacenter ou le local électrique. Il s'agit d'un onduleur 30 kVA dont l'installation, l'exploitation, la maintenance et l'entretien sont exceptionnellement faciles, le rendant idéal pour les petites et les moyennes entreprises. Filtre antipoussière et panneaux revêtus conformes pour les environnements difficiles. Cet onduleur est destiné à des batteries internes, mais est fourni sans batteries, ce qui vous permet de personnaliser facilement votre autonomie en matière de batteries.

**Lead time** Livraison habituellement sous 6 semaines

### Principales

<b>Tension d'entrée principale</b>	400 V 3 phases
<b>Autre tension d'entrée</b>	380 V 415 V
<b>Tension de sortie principale</b>	400 V3 phases
<b>Autre tension de sortie</b>	380 V 415 V
<b>Puissance nominale en W</b>	30 kW
<b>Puissance nominale en VA</b>	30 kVA
<b>Equipement fournis</b>	Filtre à poussière Guide d'installation

### Batteries & durée de fonctionnement

<b>Type de batterie</b>	VRLA
<b>Tension de la batterie</b>	220 V
<b>Courant de court-circuit maximal</b>	10 kA
<b>Batteries pré-installées</b>	0
<b>Créneau de batterie vide</b>	4

### Physique

<b>Couleur</b>	Blanc (RAL 9003)
<b>Hauteur</b>	140 cm
<b>Largeur</b>	50 cm
<b>Profondeur</b>	96,9 cm
<b>Poids</b>	152 kg

Clause de non responsabilité : Cette documentation n'est pas destinée à remplacer ni ne peut servir à déterminer l'adéquation ou la fiabilité de ces produits dans le cadre d'une application spécifique

25 juin 2023

Life Is On | Schneider Electric

1

Compatible USB	Yes
----------------	-----

### Entrée

Courant maximum actuel en entrée par phase	55 A
Taux de distorsion harmonique en entrée	Moins de 3 % pour une pleine charge
Facteur de puissance de charge	0,9 capacitif à 0,9 inductif
Facteur de puissance d'entrée à pleine charge	0,99
Limites de la tension d'entrée	304...477 V
Fréquence du réseau	45...65 Hz

### Sortie

Puissance configurable max. (VA)	30 kVA
Puissance configurable max. (Watts)	30 kW
Fréquence de sortie (sync à secteur)	50 Hz synchronisation vers réseau 60 Hz synchronisation vers réseau
Distorsion harmonique	Moins de 3 %
Taux de distorsion harmonique de sortie	< 3% linear load
Tolérance de la tension de sortie	+/- 1,5 %
Type UPS	On-line Double conversion

### Conformité

Certifications du produit	CE EAC RCM
---------------------------	------------------

### Environnement

Température de l'air ambiant en fonctionnement	0...40 °C
Humidité relative	0...95 % sans condensation
Altitude de fonctionnement	0...3333 ft
Température ambiante de stockage	-15...40 °C
Humidité relative de stockage	0...95 % sans condensation
Altitude de stockage	0,00...15240,00 m
Niveau acoustique	63 dBA
Dissipation thermique	14 10 Btu/h
Degré de protection IP	IP20

### Emballage

Type d'emballage 1	PCE
Nb produits dans l'emballage 1	1
Hauteur de l'emballage 1	164 cm
Largeur de l'emballage 1	111,4 cm

# ANNEXE 7: Convertisseur chargeur Multi plus



## Convertisseur / Chargeur MultiPlus

800 VA - 5 kVA

Compatible avec les batteries au lithium-ion

www.victronenergy.com



MultiPlus  
24/3000/70



MultiPlus Compact  
12/2000/80

### Deux sorties CA

La sortie principale a une fonction d'alimentation ininterrompue. En cas de défaillance du réseau ou de déconnexion de la puissance de quai ou du générateur, le MultiPlus prend la suite de l'alimentation des charges connectées. Ce transfert est si rapide (moins de 20 millisecondes) que le fonctionnement d'ordinateurs ou d'autres équipements électroniques sensibles raccordés ne seront pas perturbés.

La deuxième sortie n'est sous tension que lorsque le CA est disponible sur l'une des entrées du MultiPlus. Des charges énergivores, comme un chauffe-eau par exemple, peuvent être connectées à cette sortie (deuxième sortie disponible sur les modèles de 3 kVA et plus).

### Puissance virtuellement illimitée grâce au fonctionnement en parallèle

Jusqu'à 6 Multi peuvent fonctionner en parallèle pour obtenir plus de puissance en sortie. Par exemple, six unités 24/5000/120 fourniront une puissance de 25 kW / 30 kVA en sortie et 720 A de capacité de charge.

### Configuration triphasée

En plus de la connexion en parallèle, trois unités d'un même modèle peuvent être configurées pour une sortie triphasée. Mais ce n'est pas tout : jusqu'à 6 séries de 3 unités peuvent être raccordées en parallèle pour fournir une puissance de 75 kW / 90 kVA et plus de 2000 A de courant de charge.

### PowerControl – S'adapter aux limites d'un générateur, du quai ou du secteur

Le MultiPlus comporte un chargeur de batteries très puissant qui demande de fortes intensités aux branchements à quai ou du générateur (près de 10 A en 230 VCA par Multi de 5 kVA). Le tableau de commande Multi Control permet de limiter la puissance à fournir par le quai ou par le générateur. Le MultiPlus prend alors en compte la demande de puissance d'autres charges CA en sortie et n'utilisera que l'excédent pour la charge, évitant ainsi toute surcharge de l'alimentation du quai ou du générateur.

### PowerAssist – Davantage de puissance fournie par le quai ou le générateur

Cette fonction donne une dimension supplémentaire au principe du PowerControl En permettant au MultiPlus de compléter la capacité de la source alternative. Si une forte demande de puissance de pointe est requise pour une courte durée, le MultiPlus permet de garantir que le manque de puissance du réseau ou du générateur soit immédiatement compensé par l'énergie provenant de la batterie. Et lorsque la demande diminuera, l'excédent de puissance sera utilisé pour recharger les batteries.

### Énergie solaire. Énergie CA disponible même en cas de défaillance du réseau

Le MultiPlus peut être utilisé aussi bien hors réseau que connecté à un réseau PV ou à d'autres systèmes d'énergie alternative. Un logiciel de détection de perte de secteur est disponible.

### Configuration du système

- Dans le cas des applications autonomes, il est possible de modifier des paramètres en quelques minutes à l'aide de la procédure de configuration par des interrupteurs DIP.
- Des applications en configuration parallèle ou triphasée peuvent être configurées avec les logiciels VE.Bus Quick Configure et VE.Bus System Configurator.
- Les applications d'autoconsommation, de réseau interactif et hors-réseau impliquant des convertisseurs rattachés au réseau et/ou des chargeurs solaires MPPT peuvent être configurées avec des assistants (logiciel spécifique pour des applications spécifiques).

### Suivi et contrôle sur site

Plusieurs options sont disponibles : contrôleur de batterie, un tableau de commande MultiControl, Color Control GX et autres appareils GX I, Smartphone ou tablette (Bluetooth Smart), ordinateur de bureau ou portable (USB ou RS232).

### Suivi et contrôle à distance

Color Control GX et autres appareils GX.

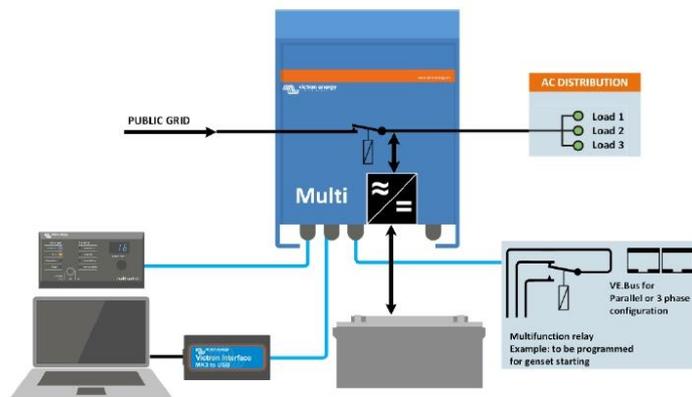
Les données peuvent être conservées et affichées sur notre site Web gratuit VRM (Victron Remote Management).

### Configuration à distance

Si des systèmes disposant d'un Color Control GX et autres appareils GX sont connectés par Ethernet, il est possible d'y accéder et de modifier leur configuration.



Color Control GX, montrant une application PV



MultiPlus	12 Volts 24 Volts 48 Volts	C 12/800/35 C 24/800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/80 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
PowerAssist		Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Commutateur de transfert (A)		16	16	16	30	16 ou 50	100
<b>CONVERTISSEUR</b>							
Plage de tension d'entrée (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V						
Sortie	Tension de sortie : 230 VCA ± 2% Fréquence : 50 Hz ± 0,1% (1)						
Puissance de sortie du convertisseur à 25°C (VA) (2)	800	1200	1600	2000	3000	5000	
Puissance de sortie en continue à 25°C (W)	700	1000	1300	1600	2400	4000	
Puissance de sortie en continue à 40°C (W)	650	900	1200	1400	2200	3700	
Puissance de sortie en continue à 65°C (W)	400	600	800	1000	1700	3000	
Puissance de crête (W)	1600	2400	3000	4000	6000	10,000	
Efficacité maximale (%)	92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	94 / 95	94 / 95
Puissance de charge zéro (W)	8 / 10	8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consommation à vide en mode AES (W)	5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consommation à vide en mode recherche (W)	2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
<b>CHARGEUR</b>							
Entrée CA	Plage de tension d'alimentation : 187-265 VCA Fréquence d'entrée : 45 – 65 Hz Facteur de puissance : 1						
Tension de charge « absorption » (V CC)	14,4 / 28,8 / 57,6						
Tension de charge « Float » (V CC)	13,8 / 27,6 / 55,2						
Mode stockage (VCC)	13,2 / 26,4 / 52,8						
Courant de charge de batterie de service (A) (4)	35 / 16	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	120 / 70	
Courant de charge de batterie de démarrage (A)	4 (uniquement modèles de 12 et 24 V)						
Sonde de température de batterie	oui						
<b>GÉNÉRAL</b>							
Sortie auxiliaire (5)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Oui (16 A)	Oui (50 A)	
Relais programmable (6)	Oui						
Protection (2)	a - g						
Port de communication VE.Bus	Pour un fonctionnement en parallèle ou triphasé, suivi à distance et intégration du système						
Port de communication universel	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Oui	Oui	
Interrupteur on/off à distance	Oui						
Caractéristiques communes	Plage de température d'exploitation : -40 à +65°C (refroidissement par ventilateur) Humidité (sans condensation) : 95% max.						
<b>BOTIER</b>							
Caractéristiques communes	Matériel et Couleur en aluminium (bleu RAL 5012) Degré de protection : IP 21						
Raccordement batterie	Câbles batterie de 1,5 mètres Boulons M8 4 boulons M8 (2 connexions positives et 2 négatives)						
Connexion 230 VCA	Fiche G-ST181 Pince à ressort Vis bornes 13 mm² (6 AWG) Boulons M6						
Poids (kg)	10	10	10	12	18	30	
Dimensions (H x L x P en mm)	375 x 214 x 110 520 x 255 x 125 362 x 258 x 218 444 x 328 x 240						
<b>NORMES</b>							
Sécurité	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, IEC 62109-1						
Émission, Immunité	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3						
Véhicules routiers	Modèles 12V et 24V : ECE R10-4						
Système contre l'illotage	Voir notre site Web.						

- 1) Peut être réglé sur 60Hz. Modèles de 120 V disponibles sur demande
- 2) Touche de protection :  
a) court-circuit en sortie  
b) surcharge  
c) tension de batterie trop élevée  
d) tension de batterie trop faible  
e) température trop élevée  
f) 230 VCA sur sortie du convertisseur  
g) ondulation de la tension d'entrée trop haute
- 3) Charge non linéaire, facteur de crête 3:1
- 4) Jusqu'à une température ambiante de 25 °C
- 5) S'éteint quand aucune source externe CA n'est disponible
- 6) Relais programmable qui peut être configuré comme une alarme générale, comme fonction de sous-tension CC ou de démarrage/arrêt du générateur  
Rendement CA : 230 V/4 A  
Rendement CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC
- 7) Par exemple, pour communiquer avec une batterie Lithium-ion BMS



#### Tableau de commande numérique Multi Control

Une solution pratique et bon marché pour une surveillance à distance, avec un bouton rotatif pour configurer les niveaux de Power Control et Power Assist.



#### Clé électronique VE.Bus Smart

Elle mesure la tension et la température de la batterie, et elle permet de surveiller et de contrôler des Multi et des Quattros à l'aide d'un smartphone ou d'un autre appareil équipé de Bluetooth.



#### Color Control GX et autres appareils GX

Permet la surveillance et le contrôle. Localement et également à distance sur le portail VRM.



#### Interface MK3-USB VE.Bus à USB

Permet de se connecter à un port USB (voir « A guide to VEConfigure »)



#### Interface VE.Bus à NMEA 2000

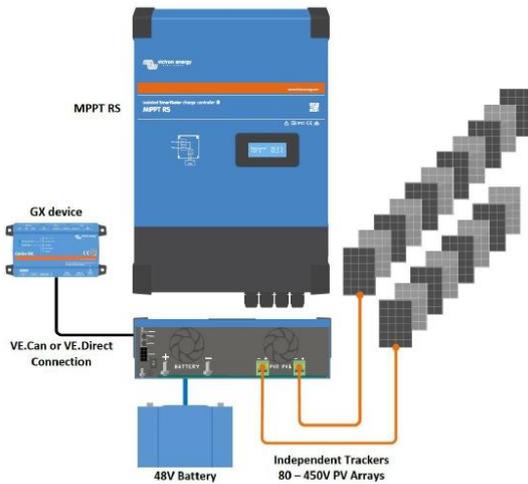
Connecte l'appareil à un réseau d'électronique marine NMEA2000. Voir le guide d'intégration NMEA2000 et MFD



#### Contrôleur de batterie BMV-712 Smart

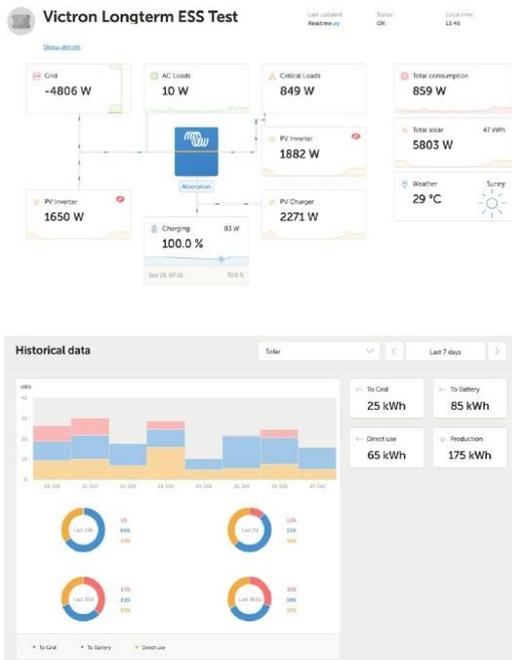
Utilisez un Smartphone ou un autre dispositif avec une connexion Bluetooth afin de pouvoir :  
- personnaliser vos paramètres,  
- surveiller toutes les données cruciales sur un seul écran,  
- voir l'historique des données, et mettre à jour le logiciel lorsque de nouvelles fonctions sont disponibles.

# ANNEXE 8: Régulateur Smartsolar



**Exemple de système**  
Un MPPT RS de 100 A combiné à un appareil GX, pour recharger une batterie de 48 V avec deux chaînes PV solaires séparées.

**Portail VRM**  
Si le MPPT RS est connecté à un appareil GX à l'aide d'une connexion Internet ou du GlobalLink 520 ayant une connectivité 4G intégrée, vous pouvez accéder à notre site Web gratuit de surveillance à distance (VRM). Il affichera toutes les données de votre système sous un format graphique complet. Vous pouvez recevoir les alertes par courriel.



Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Pays-Bas  
Téléphone général : +31 (0)36 535 97 00 | Courriel : [sales@victronenergy.com](mailto:sales@victronenergy.com)  
[www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)

SmartSolar MPPT RS isolé	450 100	450 200
<b>CHARGEUR</b>		
Tension de la batterie	48 V	
Courant de charge nominal	100 A	200 A
Puissance de charge maximale	5,8 kW à 57,6 V	11,5 kW à 57,6 V
Tension de recharge « d'absorption »	Configuration par défaut : 57,6 V (réglable)	
Tension de charge Float	Configuration par défaut : 55,2 V (réglable)	
Plage de tension programmable	Minimum : 36 V Maximum : 60 V <sup>(7)</sup>	
Algorithme de charge	Adaptatif à étapes multiples (réglable)	
Sonde de température de la batterie	Inclus	
Efficacité maximale	96 %	
Autoconsommation	15 mA	
<b>SOLAIRE</b>		
Tension CC PV maximale	450 V	
Tension de démarrage	120 V	
Plage de tension d'exploitation du MPPT	80 – 450 V <sup>(1)</sup>	
Nombre de traqueurs	2	4
Courant d'entrée PV opérationnel max.	18 A par traqueur	
Courant de court-circuit PV max. <sup>(2)</sup>	20 A par traqueur	
Puissance de charge de sortie CC max.	4000 W par localisateur 5760 W total	4000 W par localisateur 11520 W total
Capacité maximale du parc PV par traqueur <sup>(3)</sup>	7200 Wp (450 V x 20 A) <sup>(3)</sup>	
Niveau de défaillance Isolation PV <sup>(4)</sup>	100 kΩ	
<b>GÉNÉRAL</b>		
Fonctionnement en parallèle synchronisé	Oui, jusqu'à 25 unités avec VE.Can	
Relais programmable <sup>(5)</sup>	Oui	
Protection	Polarité inversée PV Court-circuit de sortie Surchauffe	
Communication de données	Port VE.Direct, Port VE.Can et Bluetooth (6)	
Fréquence Bluetooth	2402 – 2480 MHz	
Puissance Bluetooth	4 dBm	
Port d'entrée universel analogique/numérique	Oui, 2x	
Allumage/Arrêt à distance	Oui	
Plage de température d'exploitation	De -40 à +60 °C (refroidissement par ventilateur)	
Humidité (sans condensation)	maxi 95 %	
<b>BOÎTIER</b>		
Matériau et couleur	Acier, bleu RAL 5012	
Degré de protection	IP21	
Raccordement de la batterie	Écrous M8	
Bornes de puissance entrée PV	2,5...16 mm <sup>2</sup>	
Poids	7,9 kg	13,7 kg
Dimensions (h x l x p) en mm	440 x 313 x 126	487 x 434 x 146
<b>NORMES</b>		
Sécurité	EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2	
Pays d'origine	Conçu aux Pays-Bas, fabriqué en Inde.	

- 1) La plage de tension d'exploitation du MPPT est limitée par la tension de la batterie – la VOC PV ne doit pas être 8 fois supérieure à la tension Float de la batterie. Par exemple, une tension Float de 52,8 V implique une VOC PV maximale de 422,4 V. Consultez le manuel du produit pour de plus amples renseignements.
- 2) Un courant de court-circuit supérieur pourrait endommager le contrôleur si le parc PV est branché en polarité inversée.
- 3) Une VOC maximale de 450 donne environ 360 Vmp. Le parc PV maximal est donc d'environ 360 V x 20 A = 7200 Wp.
- 4) Le MPPT RS testera si le niveau d'isolation résistive est suffisant entre le PV+ et le GND, et le PV- et le GND. Si le niveau de résistance est inférieur au seuil, l'unité interrompra le processus de charge, affichera l'erreur, et enverra le signal d'erreur vers l'appareil GX (si connecté) pour une notification sonore et par courriel.
- 5) Relais programmable pouvant être configuré en alarme générale, de sous-tension CC ou comme fonction de démarrage/arrêt du générateur CC nominal : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 70 VCC.
- 6) Le MPPT RS n'est actuellement pas compatible avec les réseaux VE.Smart.
- 7) Le point de consigne du chargeur (float et absorption) peut être réglé à 60 V maximum. La tension de sortie aux bornes du chargeur peut être plus élevée, en raison de la compensation de la température ainsi que de la compensation de la chute de tension dans les câbles de la batterie. Le courant de sortie maximal est réduit de manière linéaire, du courant maximal à 60 V à 5 A à 62 V. La tension d'égalisation peut être réglée à 62 V au maximum, le pourcentage de courant d'égalisation peut être réglé à 6 % au maximum.

## ANNEXE 9: Onduleur réseau SMA

SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0  
avec SMA SMART CONNECTED



### SMA Smart Connected

- Sécurité d'investissement garantie
- Surveillance automatique par SMA
- Informations proactives et service technique automatique

### Simplicité

- Installation Plug & Play fiable
- Mise en service via tablette, PC ou smartphone
- Réseau local sans fil et serveur Web intuitif

### L'essentiel d'un seul coup d'œil

- Surveillance en ligne gratuite
- Données de l'installation consultables via smartphone

### Parée pour l'avenir

- Peut être équipée ultérieurement de solutions de stockage SMA, d'outils de gestion intelligente de l'énergie et d'optimiseurs
- Régulation dynamique de l'injection

## SUNNY BOY 3.0 / 3.6 / 4.0 / 5.0

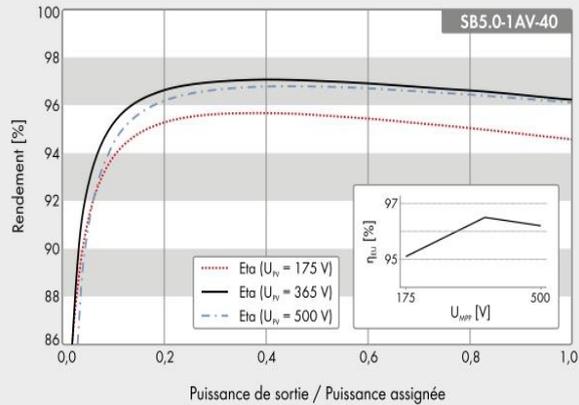
Bien plus qu'un onduleur. Plus compact, plus simple et plus convivial grâce à SMA Smart Connected

Le nouveau Sunny Boy 3.0 - 5.0, successeur du Sunny Boy 3000-5000TL utilisé avec succès dans le monde entier, est bien plus qu'un onduleur photovoltaïque : grâce au service SMA Smart Connected intégré, il offre une tranquillité totale d'esprit aux propriétaires de l'installation et aux installateurs. La surveillance automatique des onduleurs par SMA analyse le fonctionnement, signale les irrégularités et veille à réduire les temps d'arrêt au minimum.

Le Sunny Boy est idéal pour la production d'énergie solaire pour maisons individuelles. Son design léger et ses raccords extérieurs permettent une installation rapide, tandis que le serveur Web intuitif facilite la mise en service.

Compatible avec les normes de communication les plus récentes, l'onduleur peut être équipé à tout moment d'une gestion intelligente de l'énergie et de solutions de stockage SMA.

## Courbe de rendement



Données techniques	Sunny Boy 3.0	Sunny Boy 3.6	Sunny Boy 4.0	Sunny Boy 5.0
<b>Entrée (DC)</b>				
Puissance DC max. (quand $\cos \varphi = 1$ )	3 200 W	3 880 W	4 200 W	5 250 W <sup>1)</sup>
Tension d'entrée max.	600 V			
Plage de tension MPP	110 V à 500 V	130 V à 500 V	140 V à 500 V	175 V à 500 V
Tension d'entrée assignée	365 V			
Tension d'entrée min. / tension d'entrée de démarrage	100 V / 125 V			
Courant d'entrée max. entrée A / entrée B	15 A / 15 A			
Courant d'entrée max. par string entrée A / entrée B	15 A / 15 A			
Nombre d'entrées MPP indépendantes / strings par entrée MPP	2 / A:2 ; B:2			
<b>Sortie (AC)</b>				
Puissance assignée (pour 230 V, 50 Hz)	3 000 W	3 680 W	4 000 W	5 000 W <sup>2)</sup>
Puissance apparente AC max.	3 000 VA	3 680 VA	4 000 VA	5 000 VA <sup>2)</sup>
Tension nominale AC / plage	220 V, 230 V, 240 V / 180 V à 280 V			
Fréquence du réseau AC / plage	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz à +5 Hz			
Fréquence de réseau assignée / tension de réseau assignée	50 Hz / 230 V			
Courant de sortie max.	16 A	16 A	22 A <sup>3)</sup>	22 A <sup>3)</sup>
Facteur de puissance pour la puissance assignée	1			
Facteur de déphasage réglable	0,8 inductif à 0,8 capacitif			
Phases d'injection / phases de raccordement	1 / 1			
<b>Rendement</b>				
Rendement max. / rendement européen	97,0 % / 96,4 %	97,0 % / 96,5 %	97,0 % / 96,5 %	97,0 % / 96,5 %
<b>Dispositifs de protection</b>				
Dispositif de déconnexion côté DC	●			
Surveillance du défaut à la terre / surveillance du réseau	● / ●			
Protection inversion de polarité DC / résistance aux courts-circuits AC / séparation galvanique	● / ● / -			
Unité de surveillance du courant de défaut, sensible à tous les courants	●			
Classe de protection (selon IEC 62103) / catégorie de surtension (selon IEC 60664-1)	I / III			
<b>Caractéristiques générales</b>				
Dimensions (L/H/P)	435 mm / 470 mm / 176 mm (17,1 pouces / 18,5 pouces / 6,9 pouces)			
Poids	16 kg (35,3 lb)			
Plage de température de fonctionnement	-25 °C à +60 °C (-13 °F à +140 °F)			
Émission sonore, typique	25 dB(A)			
Autoconsommation (nuit)	1,0 W			
Topologie	Sans transformateur			
Système de refroidissement	Convection			
Indice de protection (selon IEC 60529)	IP65			
Classe climatique (selon IEC 60721-3-4)	4K4H			
Valeur maximale admissible d'humidité relative de l'air (sans condensation)	100 %			
<b>Équipement</b>				
Raccordement DC / raccordement AC	SUNCLIX / fiche AC			
Affichage via smartphone, tablette, ordinateur portable	●			
Interfaces : Wi-Fi, Speedwire / Webconnect	● / ●			
Garantie : 5 / 10 ans	● / ○			
Certifications et homologations (autres sur demande)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438, G59/3, G83/2, DIN EN 62109 / IEC 62109, NEN-EN50438, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1 IEC 61727, RD1699, RD 661, SI 4777, UTE C15-712, VFR 2014, NRS 097-2-1			
Certifications et homologations (en projet)	IEC 61727, RD1699, RD 661, SI 4777, UTE C15-712, VFR 2014, NRS 097-2-1			
Pays de disponibilité de SMA Smart Connected	AU, AT, BE, CH, DE, ES, FR, IT, LU, NL, UK			
● Équipement de série ○ Équipement en option — Non disponible				
Données en conditions nominales Version : janvier 2017				
1) 4 825 W pour VDE-ARN 4105				
2) 4 600 W / 4 600 VA pour VDE-ARN 4105				
3) AS 4777: 21,7 A				
Désignation du type	SB3.0-1AV-40	SB3.6-1AV-40	SB4.0-1AV-40	SB5.0-1AV-40

# ANNEXE 10: Simulation PVGIS



## PVGIS-5 données de production solaire énergétique estimées:

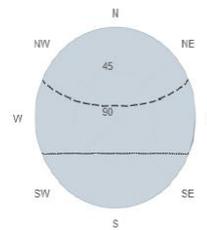
### Entrées fournies:

Latitude/Longitude: 12.370,-1.533  
 Horizon: Calculé  
 Base de données: PVGIS-SARAH  
 Technologie PV: Silicium cristallin  
 PV installée: 135 kWp  
 Pertes du système: 14 %

### Résultats de la simulation

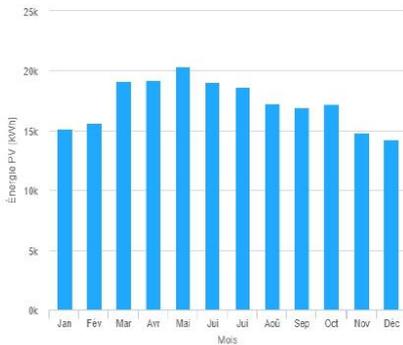
Angle d'inclinaison: 15 °  
 Angle d'azimut: -179 °  
 Production annuelle PV: 207938.57 kWh  
 Irradiation annuelle: 2100.71 kWh/m<sup>2</sup>  
 Variabilité interannuelle: 1720.27 kWh  
 Changements de la production à cause de:  
 Angle d'incidence: -3.26 %  
 Effets spectraux: 0.2 %  
 Température et irradiance faible: -12.05 %  
 Pertes totales: -26.68 %

### Ligne d'horizon à l'emplacement choisi:

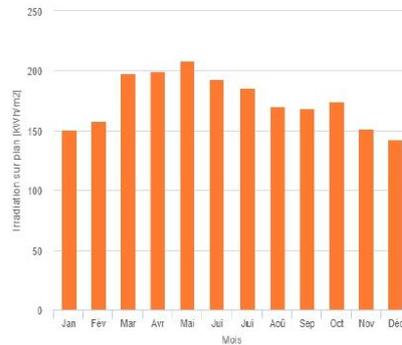


■ Hauteur de l'horizon  
 - - - Hauteur du soleil, Juin  
 . . . Hauteur du soleil, Décembre

## Production énergétique mensuelle du système PV fixe:



## Irradiation mensuelle sur plan fixe:



## Énergie PV et irradiation solaire mensuelle

Mois	E_m	H(i)_m	SD_m
Janvier	15101.1150.5	423.3	
Février	15681.8158.6	602.0	
Mars	19204.5197.7	448.2	
Avril	19284.0199.3	755.9	
Mai	20324.5209.0	680.7	
Juin	19095.4193.2	510.4	
Juillet	18632.1185.2	782.4	
Août	17304.5170.1	587.9	
Septembre	16950.8168.5	525.1	
Octobre	17243.4174.3	345.9	
Novembre	14859.2151.2	267.2	
Décembre	14257.2143.1	196.6	

E\_m: Production électrique moyenne mensuelle du système défini [kWh].

H(i)\_m: Montant total mensuel moyen de l'irradiation globale reçue par mètre carré sur les panneaux du système défini [kWh/m<sup>2</sup>].

SD\_m: Déviation standard de la production électrique mensuelle à cause de la variation interannuelle [kWh].

La Commission européenne gère ce site web pour améliorer l'accès du public aux informations à ses initiatives et aux politiques de l'Union européenne en général. Nous ne sommes pas responsables de garantir la précision, l'actualité ou la pertinence des informations publiées sur ce site. La Commission décline toute responsabilité concernant les informations figurant sur ce site.

Nous sollicitons votre avis sur les commentaires occasionnels, par exemple, sur des erreurs techniques. Cependant, nous ne sommes pas responsables de garantir la précision, l'actualité ou la pertinence des informations publiées sur ce site. La Commission décline toute responsabilité concernant les informations figurant sur ce site.

Pour plus d'informations, visitez s'il vous plaît [http://ec.europa.eu/info/legal-notice\\_fr](http://ec.europa.eu/info/legal-notice_fr)

PVGIS ©Union Européenne, 2001-2023.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Rapport généré le 2023/06/25



## ANNEXE 11: Valeur résiduelle (r) des équipements du projet

(20)

$$r = CI \times \frac{\text{Durée de vie en fin du projet}}{\text{Durée de vie réelle}} \times \text{taux d'actualisation}[33]$$

**Tableau 16: Valeur résiduelle conception 1**

Désignation	Coût d'investissement (CI) en F CFA	Durée de vie réelle (Dr en année)	Durée de vie en fin du projet (Df en année)	Df/Dr	Taux d'actualisation	Valeur résiduelles	Montant total en F CFA
Module PV AUSTA ENERGY	2 600 000	40	15	0,375	0,15	144 300	8 551 320
Onduleur next3	30 140 000	8	5	0,625	0,15	2 803 020	
Batterie au lithium fer phosphate	40 000 000	7	5	0,7142857	0,15	4 260 000	
Onduleur UPS	8 000 000	6	4	0,6666667	0,15	804 000	
Groupe Electrogène GELEC	6 000 000	5	3	0,6	0,15	540 000	

**Tableau 17: Valeur résiduelle conception 2**

Désignation	Coût d'investissement (CI) en F CFA	Durée de vie réelle (Dr en année)	Durée de vie en fin du projet (Df en année)	Df/Dr	Taux d'actualisation	Valeur résiduelles	Valeur résiduelle totale en F CFA
Module PV AUSTA ENERGY	16 200 000	40	15	0,375	0,15	911 250	7 672 882
Convertisseur/chargeur	6 960 000	8	5	0,625	0,15	652 500	
Régulateur de charge	9 720 000	7	5	0,7142857	0,15	1 041 012	
Onduleur réseau	6 009 000	6	5	0,8333333	0,15	748 120	
Batterie	48 000 000	5	3	0,6	0,15	4 320 000	