



**EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE
APPLIQUES A LA CLIMATISATION**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE SPECIALITE :
ENERGIES RENOUVELABLES**

Présenté et soutenu publiquement le 28/09/2020 par

Yvon François TSOLEFACK (n° 20170462)

Directeur de mémoire : Prénom NOM suivi du grade ou du titre

**Encadrant 2iE : Francis SEMPORE Enseignant en Froid et Climatisation au
département Génie Electrique Energétique et Industriel de 2iE**

**Maître de stage : Bertrand HAEZEBROUCK, Administrateur Energy and Services
SARL**

Structure d'accueil du stage : Energy and Services SARL

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr.-Ing. Habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE

Membres et correcteurs : Dr.-Ing. Sayon SIDIBE (Correcteur)

Ing. Francis SEMPORE (2iE)

Promotion [2019/2020]



DEDICACES

Je dédie ce mémoire à :

***Mon feu père, TSOLEFACK Siméon TEZANOU**, communément appelé en jargon bamiléké « **paa'agnès** » c'est à dire « **le père d'Agnès** » ; non voyant à cécité totale, un véritable père et chef de famille, enseignant passionné et par vocation, un homme à part entière, dont l'intelligence dépassait et émerveillait parfois le commun des normaux, celui qui malgré sa cécité totale, m'a élevé, éduqué, et forgé des ailes solides pour me permettre de prendre mon envol, mais qui malheureusement n'est plus.*

***Ma mère, Madame veuve TSOLEFACK, née KANA Julienne Flor**, mais communément appelée « **Maa 'Agnès** » c'est-à-dire « **la mère d'Agnès** » ; véritable femme au foyer, épouse des plus parfaites aux valeurs africaines et bamiléké, dotée d'une très forte spiritualité, et dont la simplicité s'avoisine à de l'innocence, sereine et très calme, ma mère qui m'a mise au monde, m'a consolée, encouragée et m'a toujours appris à rêver grand.*

***A la sœur Marie-Agathe Pillet**, fille de la **congrégation des sœurs de la charité de Saint Vincent de Paul**, la grand-mère grâce à qui tout a été possible, et qui m'a été d'un soutien des plus indispensable depuis mon enfance, sur le plan religieux, social et financier.*

CITATIONS

« L'apparence n'est pas trompeuse ; ce sont nos préjugés qui nous trompent. » **Teddy Kélian**

« Les apparences sont souvent trompeuses, c'est pourquoi il ne faut jamais se presser de juger en mal ». **Félicité de Genlis**

« L'apparence, sous le masque trompeur de la vérité dont elle est la sœur bâtarde, a commis des maux sans nombre, et souvent des torts irréparables ; nous savons cela, et cependant elle nous trompe encore ». **Chauvot de Beauchêne**

« Tout homme qui agit avec prudence ne se fie jamais à l'apparence. »
Max Alexis.

« Les préjugés font plus de mal à l'espèce humaine que la raison ne lui sert, parce que l'ignorance est plus générale que le savoir ». **Pierre-Jules Stahl**

« Les plus petits esprits ont les plus gros préjugés. » **Victor Hugo**

« Les préjugés font plus de malheureux que le savoir ne fait d'heureux »
Pierre-Jules Stahl

« Le grand nombre est malheureux par les préjugés, un des plus grands fléaux affligeant l'espèce humaine ». **Pierre-Jules Stahl**

« L'orgueil relève de l'opinion que nous avons de nous-mêmes, la vanité, de ce que nous voudrions que l'on pensât de nous ».
Jane Austen

REMERCIEMENTS

Je ne saurais débiter cette rubrique sans remercier **L'Energie universelle et originelle qui régule tout, le grand architecte de l'univers**, le Seigneur Dieu tout puissant, pour sa Grâce divine, qui me permet de rester fort quelques soient les difficultés, et de me relever, chaque fois que je tombe.

J'adresse mes sincères remerciements aux équipes pédagogiques et administratives de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour l'accueil, l'accompagnement et le suivi de ma formation pendant ces 3 dernières années.

Je remercie également tous les professeurs et enseignants-chercheurs du département du Génie Électrique, Énergétique et Industriel (GEEI), à travers son chef de département, le **Dr Y. Moussa SORO**, pour leurs enseignements, leurs conseils, et leurs disponibilités.

J'adresse également l'expression de ma profonde gratitude et ma haute reconnaissance à :

M. Francis SEMPORE, mon encadreur académique, pour sa disponibilité ainsi que le soutien et la patience dont il a fait preuve dans le suivi et l'encadrement, et cela malgré la crise du COVID-19 et ses multiples occupations.

Mme Kadidiatou HAEZEBROUCK, Directrice de la Société Energy and Services SARL, pour m'avoir offert l'opportunité de faire ce stage au sein de son entreprise, et pour m'avoir transmise sa passion du projet sur lequel j'ai travaillé, tout en me faisant réaliser les enjeux du projet.

M. Bertrand HAEZEBROUCK, mon encadreur professionnel, pour son suivi et ses conseils, lui qui malgré ses nombreuses responsabilités et occupations quotidiennes en tant qu'administrateur de l'entreprise, m'a accordé du temps et surtout de la confiance tout au long du travail.

M. Mohamed BELEMA employé et technicien en automatismes, pour sa disponibilité et son engagement dans la réalisation des descentes sur le terrain, et des travaux d'installation et de maintenance des équipements Victron Energy.

Mes remerciements à tous mes frères, sœurs, et amis, notamment mes 02 grandes sœurs, **Agnès et Pamela TEZANO**, pour leur soutien moral et financier, celles qui ont toujours souhaitées mon bonheur, afin que je devienne un homme puissant, charismatique, et riche.

RESUME

Afin de réaliser une étude de faisabilité technico-économique pour l'alimentation à l'énergie solaire photovoltaïque d'un système de climatisation, une simulation a été réalisée sur un ensemble de locaux à usage résidentiels de type F1 à F6, avec pour matériaux de construction principaux le parpaing de ciment creux et le BTC, tout en différenciant les locaux sans isolation de ceux avec isolation. A travers le local pilote F3, les résultats de l'étude réalisée grâce à une simulation des données de l'habitat et des ménages dans la ville de Ouagadougou permettent de confirmer que, pour un local en parpaing de ciment creux d'épaisseur 15 cm, associé à un isolant thermique d'épaisseur 20 cm et de résistance thermique $5,10 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$, il est possible d'effectuer une climatisation solaire photovoltaïque avec onduleur et stockage par batteries pour un coût d'investissement de 19 501 181 FCFA et un coût d'exploitation moyen annuel de 852 690 FCFA sur la base d'un temps de retour sur investissement de 03 ans et 202 jours, le tout sur une durée de vie de l'installation photovoltaïque de 25 ans, rentabilisable à un taux de 60%. Le local pilote nécessite 03 climatiseurs monosplit inverter de 2,5 kW pour la chambre 1, 2,2 kW pour la chambre 2, 3,3kW pour la cuisine et 5 kW de puissance frigorifique pour le séjour et la salle à manger. Par ailleurs, l'étude confirme que le coût annuel de l'énergie fournie par le réseau électrique qui s'élève à 2 469 619 FCFA est légèrement inférieur à celui du solaire photovoltaïque qui s'élève à 2 685 742 FCFA. Le coût global de la climatisation solaire photovoltaïque pour un local non isolé qui s'élève à 19 501 180 FCFA est en moyenne 70% plus élevé que celui d'un local isolé qui s'élève à 15 765 744 FCFA. Par ailleurs, une climatisation solaire associée à une isolation thermique est techniquement et financièrement faisable car l'écart entre les coûts liés à une climatisation solaire d'un local non isolé (19 501 180 FCFA contre 23 494 987 FCFA pour un local avec isolation) est de l'ordre de 5% pour le local en parpaing et 3% pour le local en BTC, ce qui est abordable.

Mots clés :

-
- 1 –Climatisation**
 - 2 -Confort thermique**
 - 3 – Energie solaire photovoltaïque**
 - 4 -Isolation thermique**
 - 5 –Rentabilité économique**
-

ABSTRACT

In order to carry out a technico-economic feasibility study for the supply of photovoltaic solar energy to an air conditioning system, a simulation was carried out on a set of residential premises of type F1 to F6, with materials of main construction hollow cement block and BTC, while differentiating the premises without insulation from those with insulation. Through the pilot room F3, the results of the study carried out thanks to a simulation of data from housing and households in the city of Ouagadougou confirm that, for a room made of hollow cement block 15 cm thick, associated with a thermal insulation 20 cm thick and thermal resistance 5, $10 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$, it is possible to carry out photovoltaic solar air conditioning with an inverter and battery storage for an investment cost of 23,494,987 FCFA and an average annual operating cost of 852,690 FCFA on the basis of a return time on investment of 07 years, all over a lifetime of the photovoltaic installation of 25 years, profitable at a rate of 30%. The pilot room requires 03 monosplit inverter air conditioners of 2.5kw for bedroom 1, 2.2 kW for bedroom 2, 3.3kW for the kitchen and 5 kW of cooling power for the living room and the dining room. In addition, the study confirms that the annual cost of energy supplied by the electricity network, which amounts to 2 469 619 FCFA, is 02 times higher than that of solar photovoltaic which amounts to 536 081 FCFA. The overall cost of photovoltaic solar cooling for an uninsulated space that amounts to 19,501,180 CFA francs on average 70% higher than that of an isolated room which amounts to 15 765 744 FCFA. In addition, solar air conditioning combined with thermal insulation is technically and financially feasible because the difference between the costs associated with solar air conditioning of an uninsulated room (19,501,180 FCFA against 23,494,987 FCFA for a room with insulation) is around 5% for the local concrete block and 3% for the local BTC, which is affordable.

Keywords :

-
- 6 –Air conditionning**
 - 7 -Thermal comfort**
 - 8 - Photovoltaic solar energy**
 - 9 -Thermal insulation**
 - 10 –Economic profitability**

SOMMAIRE

DEDICACES	2
CITATIONS	3
REMERCIEMENTS	4
RESUME	5
SOMMAIRE	7
LISTE DES ABREVIATIONS	9
LISTE DES TABLEAUX	.11
LISTE DES FIGURES.....	13
I. INTRODUCTION.....	15
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL ET DE LA ZONE D’ETUDE	17
III. PRESENTATION DU PROJET :	18
1. Contexte et justification	18
2. Diagnostic et état des lieux	20
I.1.1 Revue bibliographique sur la climatisation solaire dans sa globalité	20
II.1.1 La climatisation solaire au Burkina Faso	22
III.1.1 Le secteur du bâtiment et des ménages au Burkina Faso.....	23
IV.1.1 Revue bibliographique sur l’isolation des bâtiments	26
3. Présentation des données de base.....	27
V.1.1 Présentation d’un climatiseur monobloc individuel	27
VI.1.1 Données de base sur l’habitat et les ménages au Burkina Faso	27
VII.1.1 Recensement des types de locaux résidentiels en fonction des dimensions et des caractéristiques physiques dans la ville de Ouagadougou	29
IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION	31
V. ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE D’UN SYSTEME DE CLIMATISATION ALIMENTE A L’ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR DES LOCAUX DE TYPE RESIDENTIELS	32
1. Calcul du bilan thermique	32
VIII.1.1 Evaluation des besoins et hypothèses de calcul :	32

IX.1.1	Bilan thermique locaux sans isolation	33
X.1.1	Bilan thermique locaux avec isolation	39
2.	Choix des climatiseurs, bilan de puissance et dimensionnement de l'alimentation solaire	39
XI.1.1	Choix des climatiseurs	39
XII.1.1	Bilan de puissance	40
XIII.1.1	Dimensionnement du système solaire photovoltaïque	41
VI.	ETUDE DE FAISABILITE FINANCIERE POUR LA CLIMATISATION ALIMENTEE A L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR DES LOCAUX DE TYPE RESIDENTIELS	47
1.	Introduction et définition des paramètres financiers utiles	47
2.	Calcul et détermination des paramètres financiers	49
XIV.1.1	Coût d'investissement initial d'acquisition des équipements solaires photovoltaïques	49
XV.1.1	Coût d'investissement initial de l'isolation thermique extérieure	50
XVI.1.1	Calcul du LCOE, du TRI et du coût d'exploitation	50
VII.	ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS DE L'ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE	54
1.	Analyse technique :	54
2.	Analyse financière	56
3.	Synthèse des résultats	57
VIII.	IMPACT ENVIRONNEMENTAL :	58
IX.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	59
	BIBLIOGRAPHIE	61
	ANNEXES :	63

LISTE DES ABREVIATIONS

λ_i : conductivités thermiques
 ρ : Résistivité $^{\circ}\text{C}$: degré Celsius α : coefficient d'absorption A : Ampères
AC : Courant alternatif
Btu : British thermal unit
BLT : Brique Latéritique Taillée
BTC : Brique de Terre Comprimée
Cm : Centimètres
CFCs : Chlorofluorocarbones
COVID-19 : Coronavirus souche 19
CV : Puissance Chevaux Vapeur
CE : Coût d'Exploitation
CO₂ : Dioxyde de Carbone
CII : Coût d'Investissement Initial
DC : Direct Current
F : Coefficient d'inertie des murs
FCFA : Franc des Colonies Françaises Africaines g : Facteur solaire vitre
G : Rayonnement solaire global
Gt : Gigatonne
H : Coefficient d'échange global h : Heure
 h_i : Coefficient de convection interne h_e : Coefficient de convection externe
 Δh : Ecart d'enthalpie
HCFCs : hydrochlorofluorocarbones
HFCs : Hydrofluorocarbures
I : Inensité
INSD : Institut Nationale de la Statistique et de la Démographie
ITE : Isolation Thermique par l'Extérieure
K : Kelvin kWc : kilowatt crête kWh : kilowatt heures

L : Longueur

LCOE : Levelized Cost of Energy

LiBr : LithiumBromure

m : mètres

m² : mètres carré

mm : millimètres

MWc : MégaWatt crête

PV : Photovoltaïque

Ql : chaleur latente

Qs : Chaleur sensible

Qt : Chaleur totale

qv: débit volumique

RDC : Rez de chaussée

S(m²) : Surface

S(mm²) : Section de câbles

SONABEL : Société Nationale Burkinabè d'Electricité

t : tonnes

TVA : Taxes sur la Valeur Ajoutée

ΔT : Ecart de température

ΔT_f : Ecart de température fictive

TRI (%) : Taux de Rentabilité Interne

TRI : Temps de retour sur investissement

V : Volts

ΔV : Chutte de tension

ΔV_{admiss} : Chutte de tension admissible

W : watts

Δx : Ecart de masse d'air sec

:

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : comparatif des types d'isolation du bâtiment

Tableau 2 : Appareils électriques et puissance

Tableau 3 : différentes surfaces et éclairages à considérer dans un habitat

Tableau 4 : Caractéristiques thermos physiques des matériaux constituant les locaux

Tableau 5 : Coefficients de convection h interne et externe des murs externes

Tableau 6 : Composition des murs externes

Tableau 7 : coefficient d'échange global des murs externes locaux sans isolation

Tableau 8 : Composition des fenêtres

Tableau 9 : La chaleur sensible et latente dues aux personnes en fonction de l'activité

Tableau 10 : Gains de chaleur dus aux équipements électriques

Tableau 11 : Renouvellement d'air en fonction des locaux

Tableau 12 : Gains sensibles infiltration et renouvellement d'air

Tableau 13 : Gains latents infiltration et renouvellement d'air

Tableau 14 : Tableau des valeurs du facteur correctif g

Tableau 15 : Bilan thermique locaux sans isolation

Tableau 16 : Récapitulatif du bilan thermique des locaux avec isolation

Tableau 17 : Tableau de correspondance des puissances de climatiseurs

Tableau 18 : Données d'ensoleillement du site obtenu sur Retscreen

Tableau 19 : Caractéristique du convertisseur Phoenix 48/3000/5000 -230V V.E Bus

Tableau 20 : Compatibilité du convertisseur avec les modules PV

Tableau 21 : Critères de choix des batteries

Tableau 22 : Ratios de vérification des batteries

Tableau 23 : Economies d'énergies après isolation extérieure des locaux en parpaing de ciment creux

Tableau 24 : Gain de chaleur après isolation extérieure des locaux en BTC

Tableau 25 : : Récapitulatif des coûts d'investissements initiaux du matériel solaire pour les locaux sans isolation :

Tableau 26: récapitulatif des coûts d'investissements initiaux du matériel solaire pour les locaux avec isolation

Tableau 27 : Calcul du coût d'achat net du panneau d'isolant METISSE en FCFA

Tableau 28 : Récapitulatifs du coût d'achat nécessaires de l'isolant pour nos différents locaux

Tableau 29 : Récapitulatif du calcul du LCOE local F3

Tableau 30 : Valeurs des paramètres pour le calcul du TRI

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Localisation de la zone d'étude, siège de ENERGY&SERVICES à Ouagadougou,
- Figure 2 : Situation géographique du Burkina Faso
- Figure 3 : Ensoleillement moyen du Burkina Faso
- Figure 4 : Climatisation solaire thermique à absorption
- Figure 5 : Esquisse d'un système de climatisation solaire
- Figure 6 : Maisons en parpaing
- Figure 7 : construction en adobe
- Figure 8 : Maison construite en BTC
- Figure 9 : Maison en BLT
- Figure 10 : Quelques indicateurs sur les conditions de vie des ménages au Burkina Faso
- Figure 11 : Climatiseur mobiles type monobloc
- Figure 12 : Climatiseur fenêtre (Windows),
- Figure 13 : Climatiseurs monoblocs à eau
- Figure 14 Climatiseur à éléments séparés
- Figure 15 : Armoire de climatisation,
- Figure 16 : Installation d'un split avec unité extérieure de type cassette
- Figure 17 : Proportion des ménages dont le mur du bâtiment est précaire
- Figure 18 : Ménages selon la nature du mur du bâtiment
- Figure 19: Ménages selon la nature du mur de la tôle
- Figure 20 : Maisons de type F1 à droite et F2 à gauche
- Figure 21 : Maisons de type F4,F5,F6
- Figure 22 : Bâtiments R+1, R+2
- Figure 23 : Sections des câbles en fonction des courants admissibles
- Figure 24 : Proportions des postes de consommation énergétiques dans un local de type F3 en parpaing de ciment creux non isolé.
- Figure 25 : Proportions des postes de consommation énergétiques dans un local de type F3 en parpaing de ciment creux isolé.
- Figure 26 : Evolution de la puissance crête et des besoins thermiques des locaux en BTC avec isolation
- Figure 27 : Evolution de la puissance crête et des besoins thermiques des locaux en BTC sans isolation

Figure 28 : Comparaison du coût d'investissement du matériel solaire pour la climatisation entre les locaux isolés et non isolés

Figure 29 : comparaison de ces coûts cumulés, par rapport aux coûts d'investissement des locaux non isolés en parpaing de ciment creux

Figure 30 : Comparaison de ces coûts cumulés, par rapport aux coûts d'investissement des locaux non isolés en BTC

I. INTRODUCTION

Le monde vit depuis quelques mois déjà, une réalité bien inattendue qui contraint l'humanité à adopter de nouvelles mentalités et habitudes de vie, dues à l'avènement de la pandémie du COVID-19, qui ne cesse de faire des ravages jusqu'à lors. Cela plonge tout le système mondial dans un désordre moral et psychologique, faisant planer une incertitude significative des politiques économiques et commerciales du système mondial.

Alors que tous les regards et attentions sont perpétuellement tournés vers l'évolution de la pandémie, une autre problématique majeure qui retenait les attentions avant l'arrivée de la pandémie, demeure : Le réchauffement climatique.

Les effets des changements climatiques sont réels et ne cessent de s'intensifier.

Cependant, l'activité humaine qui est la cause majeure ces changements climatiques impacte inégalement les pays. C'est le cas du Burkina Faso, pays situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, qui est durement affecté par le réchauffement climatique. Avec un climat sec tropical, le pays fait face à des variations de températures extrêmes qui ont des effets négatifs sur l'environnement, et les populations. Avec la croissance démographique croissante et un fort exode rural vers les villes, le confort thermique des populations devient un aspect très important et indispensable pour leur santé, car il se doit d'être encore plus efficace. Ceci fait donc appel au concept d'efficacité énergétique. En effet, l'amélioration du confort thermique des populations dépend fortement du potentiel énergétique du pays. Pourtant, le déficit énergétique dans le pays est encore significativement élevé, car, à ce jour, seul 21,8% de la population urbaine du Burkina Faso a accès à l'énergie électrique (1). Pour un pays importateur d'hydrocarbures comme le Burkina Faso dont l'électricité produite en 2017 est à 73% d'origine thermique et 37% importée des pays voisins en interconnexion (1), l'accès à l'énergie électrique reste encore un prestige. D'autre part, il n'en reste pas moins de l'urbanisation dégradante avec des habitats qui ne respectent pas les normes d'efficacité énergétique (2), dus à des méthodes de construction souvent inappropriées. La tôle est le matériau qui constitue la toiture des bâtiments de la majorité des ménages burkinabè ; plus de six ménages sur dix (64,3%) (3) l'ont utilisé pour faire la toiture de leur bâtiment principal. Ce manque criard d'efficacité énergétique dans les habitats contraint les populations à utiliser des machines de production de froid très énergivores. De ce fait, 60% de la consommation électrique des bâtiments dans la ville de Ouagadougou est liée aux systèmes de climatisation (4).

Face à ces problématiques, il va sans dire que, dans un contexte d'urgence climatique, il est indispensable d'accélérer l'implémentation des nouvelles technologies d'énergies renouvelables telles que : l'énergie solaire, l'énergie issue de la biomasse, l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, et l'énergie géothermique. Au Burkina Faso, l'énergie solaire est une source d'énergie à fort potentiel mais pas totalement exploitée à son juste potentiel (5).

C'est dans cette optique que l'entreprise ENERGY&SERVICES s'est donnée pour mission d'offrir un nouveau service économique et rentable pour l'alimentation électrique des systèmes de climatisation des bâtiments à usage résidentiel à travers l'énergie solaire photovoltaïque, pour les ménages de la ville de Ouagadougou. Ainsi, l'objectif de notre stage consiste à réaliser une étude de faisabilité technico-économique pour l'alimentation électrique des systèmes de climatisation à travers l'énergie solaire photovoltaïque, tout en réalisant une étude comparative des coûts de climatisation solaire photovoltaïque entre des locaux avec isolation thermique et ceux sans isolation.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

Le stage a été effectué au sein de l'entreprise ENERGY&SERVICES de Ouagadougou, distributeur agréé des produits du fabricant d'équipements solaires Victron Energy sis au Burkina Faso. C'est une société à responsabilité limitée (SARL), née en 2012, qui offre des services dans les domaines de l'énergie solaire, l'énergie conventionnelle, la sécurité du bâtiment, le pompage solaire, le froid et la climatisation, et les équipements industriels. Elle a été fondée par **Mme Kadidiatou HAEZEBROUCK**, agissant en qualité de directrice générale et **M. Bertrand HAEZEBROUCK** agissant en qualité d'administrateur de l'entreprise. La structure organisationnelle de l'entreprise est disponible en Annexe 2. Elle dispose de deux sièges dans le pays, l'un à Ouagadougou, et l'autre à Bobo Dioulasso. L'entreprise s'appuie sur un réseau de partenaires et de fournisseurs reconnus de qualité, pour pouvoir offrir des meilleures technologies. C'est ainsi qu'ENERGY&SERVICES distribue les produits des marques CITEL Parafoudres, JA SOLAR, Fronius, BAE Reliable Energy, SYNCHRONIC sécurité électronique et Victron Energy Blue power.

La réalisation de l'étude a été effectuée au siège principal de l'entreprise à Ouagadougou, située plus précisément dans la zone de Pissy, sur la rue Boassa. La **Figure 1** ci-après est une localisation précise de la zone d'étude obtenue grâce à Google map.



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude, siège de ENERGY&SERVICES à Ouagadougou,

Source : Google map

III. PRESENTATION DU PROJET :

1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION

Le Burkina Faso est situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest. Avec une superficie de 274 000 km², il partage ses frontières avec 6 pays, à savoir le Mali au nord et à l'Ouest, le Niger au nord et à l'est, le Bénin au sud-est, le Ghana et le Togo au sud, la Côte-d'Ivoire à l'ouest et au sud.



Figure 2 : Situation géographique du Burkina Faso

Source : BURKINA FASO : Pays des hommes intègres, GUIDE D'INFORMATIONS

Le Burkina Faso a un climat intertropical. On distingue deux saisons à durée inégale : Une saison des pluies de 3 à 4 mois (juin à septembre) et une saison sèche de 8 à 9 mois (octobre à mai) (1). L'ensoleillement moyen est de 300 jours par an et la variation climatique oscille en moyenne entre 16°C et 41°C à l'ombre. Les températures moyennes restent comprises entre 28°C et 42°C. Mais les maximas absolus peuvent parfois atteindre 46°C.

L'énergie solaire constitue la ressource endogène la plus abondante au Burkina Faso, avec un ensoleillement moyen journalier de 5,5kWh/m² pendant 3000 à 3500 heures par an. Le gisement solaire est uniformément réparti sur le territoire national avec un productible moyen estimé à 1620 kWh/kWc. Cependant le potentiel énergétique de cette ressource est très peu exploité et la quasi-totalité des installations existantes sont de faibles tailles (inférieures à 250 Wc). La technologie solaire photovoltaïque est la plus répandue avec une puissance installée en 2015 d'environ 4 MWc. La présente une répartition de l'ensoleillement moyen au Burkina Faso.

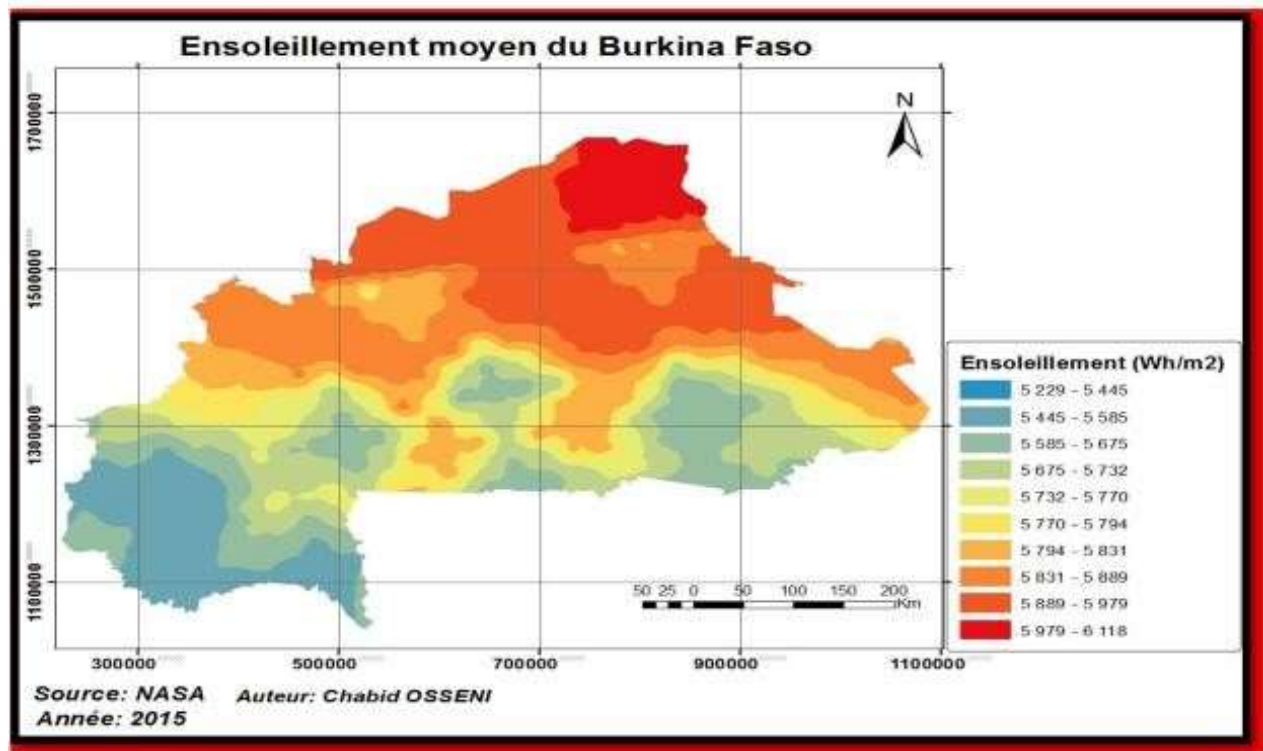


Figure 3 : Ensoleillement moyen du Burkina Faso

Source : mémoire BAMBARA Blandine, Atlas des énergies renouvelables du Burkina Faso

Le Burkina Faso est un pays faiblement urbanisé, mais fait face à un fort taux d'accroissement des aires urbaines. En deux décennies la population des zones urbaines a triplé pendant que la population totale a doublé. Dans la ville de **Ouagadougou**, l'habitat est en pleine mutation, passant du type traditionnel au type moderne du fait de l'introduction de nouveaux matériaux et techniques de construction. (6) En ce qui concerne le secteur du bâtiment, 60% de la consommation énergétique est liée à la climatisation (5). Cela suggère un potentiel important en termes de froid solaire. L'énergie produite au Burkina Faso n'est pas toujours utilisée de façon efficiente. Les principaux facteurs explicatifs résident dans la mauvaise conception architecturale, le choix des matériaux inadaptés associés à des systèmes de climatisation inappropriés, et le comportement non rationnel des consommateurs. Ce qui concourt à un manque criard d'efficacité énergétique.

C'est dans cette optique que l'entreprise ENERGY&SERVICES s'est donnée pour mission d'offrir un nouveau service économique et rentable pour l'alimentation électrique des systèmes de climatisation des bâtiments à usage résidentiel à travers l'énergie solaire photovoltaïque. Ainsi, le projet consiste à réaliser une étude de faisabilité technico-économique pour

l'alimentation électrique des systèmes de climatisation à travers l'énergie solaire photovoltaïque, tout en réalisant une étude comparative des coûts de climatisation solaire photovoltaïque entre des locaux avec isolation thermique et des locaux sans isolation.

Il s'agira donc de simuler les conditions de vie des ménages dans la ville de Ouagadougou, et les bâtiments résidentiels types, afin de recueillir les hypothèses utiles pour effectuer l'étude. Pour ce faire, un diagnostic des états des lieux a été effectué sur la climatisation solaire dans la ville de Ouagadougou, les conditions d'habitat des ménages, et la structure des bâtiments résidentiels, en termes d'isolation thermique, et de matériaux de construction.

2. DIAGNOSTIC ET ETAT DES LIEUX

I.1.1 Revue bibliographique sur la climatisation solaire dans sa globalité

La climatisation vise à la création des conditions satisfaisantes pour le confort humain dans les habitats, les bureaux, les centres commerciaux, les usines, les transports, les voitures, etc. Le marché mondial des systèmes de climatisation a connu un élan remarquable en enregistrant une forte augmentation du volume des ventes. Dans le monde et plus particulièrement en Afrique, les systèmes de climatisation commercialisés sont pour la plupart des machines à compression de vapeur (7). Bien que leurs performances frigorifiques soient toujours en nette amélioration, ils consomment pour leur fonctionnement, des quantités élevées d'énergie électrique. La consommation d'énergie pour les systèmes de climatisation a récemment été estimée à 45% de l'ensemble de l'énergie consommée par les bâtiments résidentiels et tertiaires (7).

L'expression **climatisation solaire** désigne l'ensemble des moyens de climatiser en utilisant comme ressource énergétique primaire le soleil. La technologie de climatisation solaire consiste à capter le rayonnement solaire à partir de capteurs solaires pour le transformer soit en électricité (photovoltaïque), soit en énergie solaire thermique pour les besoins de fonctionnement d'un groupe de froid ou de rafraîchissement de l'air. La climatisation solaire porte le principal intérêt de pouvoir fournir le plus de froid quand il y a le plus de soleil, ce qui correspond généralement aux périodes plus chaudes.

Il existe deux différentes techniques de production du froid à partir de l'énergie solaire :

- Utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour alimenter en électricité un climatiseur à compression mécanique ;

- Utilisation de l'énergie solaire thermique pour alimenter une machine à froid dite "à sorption" (absorption ou adsorption) ;

D'après le bilan 2019 du cahier sectoriel de l'action climat par secteur de l'observatoire mondial de l'action climat non-étatique publié par l'association climate chance, la climatisation solaire par absorption représente plus de 82% des technologies de climatisation solaire utilisées dans le monde (8).

La climatisation par absorption utilise des cycles d'absorption et désorption d'une solution (souvent du bromure de lithium) pour créer du froid à partir d'une source chaude, ici le soleil. Elle est composée de 4 éléments : l'évaporateur, le condenseur, l'absorbeur et le désorbeur ainsi que d'un fluide réfrigérant. Le couple binaire eau-bromure de lithium (LiBr-) est souvent adopté. L'eau étant le réfrigérant. Dans l'évaporateur, le réfrigérant s'évapore en prélevant des calories à un circuit d'eau. C'est cette eau refroidie qui sert à climatiser. Elle est dirigée vers un ventilo-convecteur pour pulser de l'air frais dans la maison. Mais le fonctionnement ne s'arrête pas là car une fois qu'il est totalement évaporé, le réfrigérant n'est plus efficace. Il faut donc le condenser pour recommencer le cycle. Pour cela, la vapeur est absorbée par la solution dans le bloc absorbeur. Une fois saturée en vapeur, cette solution se régénère dans le désorbeur, cela consiste à réchauffer la solution pour que l'eau s'évapore. C'est ici qu'intervient la chaleur du soleil, elle permet de chauffer la solution. Une fois l'eau évaporée, la solution est régénérée et peut retourner dans l'absorbeur. Quant à la vapeur produite, elle se dirige ensuite dans un condenseur pour devenir liquide puis retourne dans l'évaporateur pour recommencer le cycle depuis le début.

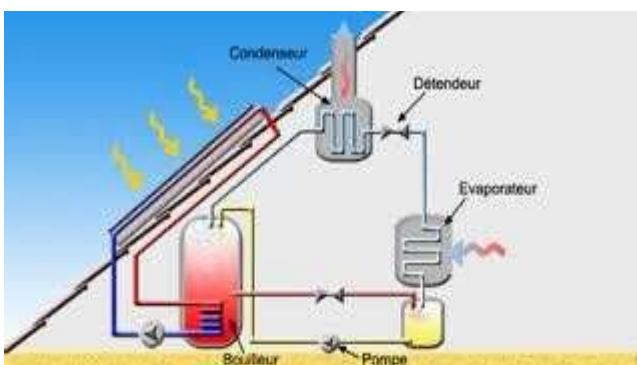


Figure 4 : Climatisation solaire thermique à absorption

Source : fr.solarpedia.com

Cependant, dans le cadre de notre projet, il est nécessaire de décrire les différentes technologies de climatisation solaire photovoltaïque existantes

La **Figure 5** ci-dessous est une esquisse de 02 systèmes de climatisation à l'énergie solaire photovoltaïque.

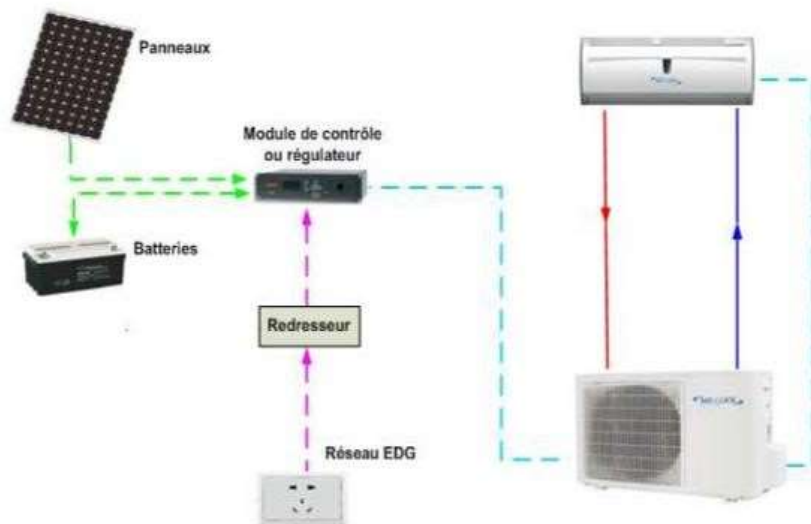


Figure 5 : Esquisse d'un système de climatisation solaire avec redresseur

Source : Mémoire 2iE, TCHATCHOUANG NYAH Jéhu, master spécialisé en génie électrique énergétique et énergies renouvelables



Figure 6 : Esquisse d'un système de climatisation solaire avec un contrôleur de charge et un onduleur

La technologie photovoltaïque solaire est essentiellement constituée du système à compression pour lequel les panneaux photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en énergie électrique ; cette énergie sert ensuite à alimenter un compresseur électrique.

II.1.1 La climatisation solaire au Burkina Faso

D'après une étude réalisée par le consultant LINGANI Bakary, le gouvernement Burkinabè a mis en œuvre un programme visant à développer les stratégies d'efficacité énergétique dans le pays depuis 2017 (3). Il s'agit entre autres de :

- Développer et diffuser de nouvelles technologies de conditionnement d'air (climatisation solaire, climatisation par évaporation) permettant de maintenir les journées continues pour le travail des fonctionnaires dans l'administration publique. Ces projets prioritaires et en recherche de financement pour réduire les charges de climatisation de l'administration publique qui représente 60% de la consommation d'électricité dans les bâtiments dans la ville de Ouagadougou (3).
- Réaliser une climatisation solaire avec stockage thermique de 10 000 bureaux des principaux bâtiments administratifs du Burkina Faso (3).

III.1.1 Le secteur du bâtiment et des ménages au Burkina Faso

Au Burkina Faso, la majorité des bâtiments sont en terre avec une toiture en tôle. Pour les grandes villes telles que Ouagadougou, les logements sont dans leur majorité en parpaing de ciment surmontés de toitures en tôles. Les matériaux modernes sont plus répandus dans les zones urbaines, où les revenus sont plus élevés que dans les zones rurales (9). Cependant, on peut noter que l'utilisation des matériaux provenant de la construction traditionnelle (utilisation des matériaux traditionnels sans le savoir-faire vernaculaire) est encore élevée. Cela est dû aux moyens financiers limités qui conduisent une grande partie de la population à adopter la tôle (matériau moderne le moins cher) tout en gardant une maçonnerie en matériau traditionnel. Les principaux matériaux de construction utilisés dans la région sont les suivants :

- **La brique alvéolée de ciment (annexe..)** communément appelé parpaing de ciment creux. Le ciment permet d'avoir un bâtiment qui ne se détériorera pas dans le temps à cause des intempéries. Il est très résistant et apprécié pour sa facilité de pose.

- **La brique d'adobe (annexe)** : est une brique de terre moulée (dans un moule en bois) à la main et séchée à l'air quelques jours. La maison conventionnelle, avec des murs d'adobe et une toiture en tôle se fait systématiquement sans fondations et sans mesures de protection du pied du mur. Cette négligence introduite lors d'une étape de modernisation engendre des maisons en adobe moins durables.
- **Les BTC (Les blocs de terre comprimée)** sont obtenus par le compactage dans une presse d'une terre latéritique adéquate pour donner un bloc régulier aux arêtes vives. L'ajout d'un stabilisant (ciment, chaux ou bitume) rend les BTC résistants à l'abrasion et moins sensibles aux effets érosifs de l'eau. Le compactage leur permet d'acquérir la résistance mécanique nécessaire à leur utilisation.
- **Les blocs de latérites taillés (BLT)** sont extraits des nombreuses carrières de latérites disponibles au Burkina Faso. La latérite est une roche rouge ou brune qui se trouve sur des sols riches en fer et en aluminium dans les régions tropicales humides.

En ce qui concerne les ménages à Ouagadougou ; au niveau national, moins de trois ménages sur dix (28,1%) habitent dans des zones loties contre sept ménages sur dix (71,9%) qui habitent dans des zones non loties (10). La région du Centre particulièrement dominée par la capitale Ouagadougou, a plus de huit ménages sur dix (81,1%) qui habitent dans les zones loties, (10). **La figure 8** de l'annexe () est une présentation des conditions de vie des ménages dans le pays.

IV.1.1 Revue bibliographique sur l'isolation des bâtiments

Il existe deux types d'isolation des bâtiments à savoir l'isolation thermique intérieure et l'isolation thermique extérieure. Le tableau de l'Annexe 1 ci-dessous est une comparaison des deux modes d'isolation.

L'isolation par l'extérieur ou **ITE** s'opère soit au niveau de la façade, soit au niveau du toit. Selon la configuration de la maison, la surface à isoler peut varier du simple au double. En effet, pour une maison individuelle, tous les murs sont en contact avec l'extérieur et nécessitent potentiellement de faire l'objet d'une isolation par l'extérieur. En revanche, si la maison est semi-individuelle ou mitoyenne, certains murs communiquent directement avec la maison voisine. Dans ce cas, la surface à isoler est évidemment réduite. On distingue entre autres plusieurs isolants thermiques de nature diverse (voir tableau Annexe 4)

3. PRESENTATION DES DONNEES DE BASE

V.1.1 Présentation d'un climatiseur monobloc individuel

La climatisation individuelle couvre une gamme d'équipements très variés parmi lesquels nous avons les climatiseurs à éléments séparés (split system ou multi split) dont les productions frigorifiques vont de 2 à 15 kW (**annexe...**).

Dans les pays chauds en développement tels que le Burkina Faso, la climatisation individuelle est essentiellement assurée par des climatiseurs individuels à condensation par air (9). Dans le cadre de cette étude, le choix des appareils de climatisation a été limité aux climatiseurs à éléments séparés monosplit inverter.

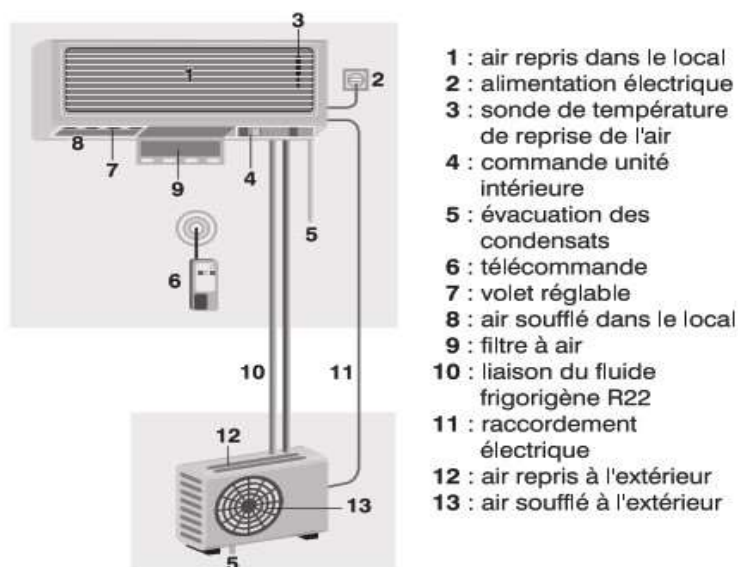


Figure 13 : Installation d'un split avec unité extérieure de type cassette

VI.1.1 Données de base sur l'habitat et les ménages au Burkina Faso

Les logements des ménages burkinabè sont composés en moyenne de 3 pièces. Les logements à plus grand nombre de pièces se retrouvent dans les villes (3,7 pièces en moyenne) (9).

Au Burkina Faso, les matériaux non définitifs ou non durables pour le mûr sont : la terre, la paille, le bois. La majorité des ménages burkinabè ont le mur de leur bâtiment principal constitué de matériaux non définitifs. Dans l'ensemble, trois ménages sur quatre (76,5%) habitent dans cette situation (4). La région du Centre (Ouagadougou) s'illustre avec la plus faible présence de bâtiments dont le mur est constitué de matériaux non définitifs (35,8% des

ménages). La **figure 10 de l'annexe ()** présente la proportion des ménages dont le mur du bâtiment est précaire.

Cependant, selon la nature des matériaux du mur, le banco est le matériau le plus utilisé par les ménages pour la construction de leurs bâtiments. Il est beaucoup plus utilisé en milieu rural (81,5% des ménages) qu'en milieu urbain (27,9% des ménages). Le second matériau le plus utilisé par les ménages est le ciment (briques en parpaing ou béton). Toutefois, 49% des ménages urbains et 92% des ménages ruraux habitent dans des maisons en murs d'adobe. (9)

La tôle est le matériau qui constitue la toiture des bâtiments de la majorité des ménages burkinabè ; plus de six ménages sur dix (64,3%) l'ont utilisé pour faire la toiture de leur bâtiment principal (9).

Les principaux matériaux qui constituent le sol des logements des ménages burkinabè sont : la chape de ciment, la terre battue, le sable et le carreau (9). Par la suite, il est nécessaire de réaliser un recensement des types de locaux résidentiels précisément dans la zone d'étude du projet, la ville de Ouagadougou.

VII.1.1 Recensement des types de locaux résidentiels en fonction des dimensions et des caractéristiques physiques dans la ville de Ouagadougou

L'identification de l'architecture standard des bâtiments et locaux d'habitation dans la ville de Ouagadougou est faite à partir de plans que nous avons pu obtenir de promoteurs immobiliers de la ville de Ouagadougou. Sur la base des catégories de permis de construire du Burkina Faso, différents types de bâtiments ont été identifiés à savoir :

- **Catégorie A** : Elle concerne les maisons d'habitation en RDC ne comprenant pas de dalle, dont la superficie totale du bâtiment à construire est inférieure ou égale à 150 m² ; exemple : maison F1 (une pièce), F2 (Chambre + salon), F3 (2chambres+salon), etc.



Figure 17 : Maisons de type F1 à droite et F2 à gauche

Source : Abdoul-services-international

- **Catégorie B** : Pour les maisons d'habitation en RDC ne comprenant pas de dalle, dont la superficie totale du bâtiment à construire est supérieure ou égale à 150 m² ; exemple : villa F4 (3 Chambre+ salon), F5 (4chambres+salon), F6.....Fn. Pour les maisons à usage autre que d'habitation en RDC dont la surface totale du bâtiment à construire est inférieure ou égale à 150 m² ; exemple : villa F4, F5, F6, ..., Fn.



Figure 18 : Maisons de type F4,F5,F6

Source : BTM IMMO, le batisseur.net

- **Catégorie C** : Pour les bâtiments à niveau à usage d'habitation et autre que d'habitation, exemple : R+1, R+2, ..., R+n ; Pour les maisons à usage autre que d'habitation en RDC dont la superficie totale du bâtiment à construire est supérieure à 150 m² ; exemple : station d'essence, magasin de stockage, lieux de cultes, écoles, ERP, etc.



Figure 19 : Bâtiments R+1, R+2

Source : www.immoburkina.com, www.afrimalin.bf

Par ailleurs, malgré les multiples variétés de matériaux de construction disponibles au Burkina Faso, nous nous sommes limités aux matériaux les plus utilisés, plus particulièrement dans la ville de Ouagadougou (population urbaine), mais offrant également des ouvertures économiques sur l'évolution du marché des matériaux locaux dans le pays. Ainsi, dans le cadre de cette étude, après la synthèse bibliographique bien établie et conformément au cahier des charges, le choix des matériaux a été limité aux maisons construites en **parpaing de ciment creux et en BTC**

IV. METHODOLOGIE DE CONCEPTION

Dans cette partie, nous allons détailler l'étude de l'alimentation électrique d'un système de climatisation d'un local à usage d'habitation (résidentiel) via l'énergie solaire photovoltaïque, en suivant une méthodologie cohérente, dont **les objectifs spécifiques** sont les suivants :

L'identification des paramètres physiques du local tels que la superficie totale, le type et l'épaisseur et les paramètres thermo-physiques des différents matériaux de construction utilisés.

Choix et justification du type d'isolation et de l'isolant choisis

La réalisation du bilan thermique du local, tout en différenciant le local sans isolation, de celui avec isolation ;

Choix de la machine de production de froid (du climatiseur) nécessaire correspondante à chaque scénario (local avec isolation et local sans isolation), et recueil des informations techniques utiles pour dimensionner le système d'alimentation électrique nécessaire.

Réalisation du bilan de puissance du local

Dimensionnement du système solaire photovoltaïque pouvant couvrir les différentes puissances de climatisation respectives. A noter que nous préconiserons des climatiseurs classiques fonctionnant en CA (Courant alternatif), plus précisément des **climatiseurs monosplit inverter**.

La réalisation d'une étude comparative technico-économique afin de comparer le coût d'investissement, d'exploitation, et le TRI de l'alimentation électrique d'un système de

climatisation à l'énergie solaire photovoltaïque à celle d'une alimentation électrique classique via le réseau électrique.

La réalisation d'une étude comparative des coûts de climatisation solaire photovoltaïque entre le local avec isolation thermique et sans isolation.

Les objectifs globaux à atteindre sont de montrer que :

L'alimentation électrique d'un système de climatisation à l'énergie solaire photovoltaïque est plus économique ou rentable qu'une alimentation électrique classique.

L'intégration d'une isolation thermique extérieure sur les maisons et bâtiments diminue significativement les besoins en climatisation, ce qui réduit la facture énergétique des systèmes de climatisation dans les locaux résidentiels, et donc, réduit également le coût d'investissement initial de l'alimentation solaire photovoltaïque du système de climatisation

V. ETUDE DE FAISABILITE TECHNIQUE D'UN SYSTEME DE CLIMATISATION ALIMENTE A L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR DES LOCAUX DE TYPE RESIDENTIELS

1. CALCUL DU BILAN THERMIQUE

VIII.1.1 Evaluation des besoins et hypothèses de calcul :

Plusieurs méthodes permettent d'effectuer le calcul du bilan thermique. **La méthode détaillée (méthode CARRIER)** a été choisie, car, comme son nom l'indique, elle détaille les calculs. Cette méthode contrairement aux autres (la méthode des surfaces, et méthode des logiciels), prend en compte tous les paramètres et offre la possibilité de différencier la chaleur sensible de la chaleur latente.

Pour ce faire, nous allons considérer le plan de l'Erreur ! Source du renvoi introuvable correspondant à celui d'une villa de **type F3** (considéré comme local pilote), qui représente la grande partie des constructions dans les zones sahéliennes (17). L'évaluation des besoins est basée sur les hypothèses de configuration et de modèles standards (les plus répandus des bâtiments résidentiels ou tertiaires de la ville de Ouagadougou) suivantes :

- La température et l'humidité de confort voulu à l'intérieur des différents locaux à climatiser : **26°C et 50%.**

- Les grandeurs pour l'extérieur ont été fixées tout en choisissant des valeurs pour le cas le plus défavorable ici au Burkina Faso, plus précisément à Ouagadougou. Ces valeurs de température et d'humidité sont respectivement **40°C et 30%**.
- Le nombre de personnes occupant chaque type de villa est fixé à un maximum de **7 personnes**. En effet, la taille moyenne des ménages urbains à Ouagadougou est pratiquement de 6 personnes/ménages (9). Les ménages ruraux comptent en moyenne deux personnes de plus que les ménages urbains.
- La façade principale sera considérée comme orientée côté Sud.
- Les portes seront métalliques, et les fenêtres en double vitrage clair avec rideaux intérieurs, de superficie standards **2,5 m²** et **1,44 m²** respectivement.
- Le plancher sera en **béton**, en contact direct avec le sol pour les locaux sans étage
- Les murs externes seront respectivement en **BTC**, et **Parpaing de ciment creux** de surfaces moyennes respectives de **35 m²** pour les faces Nord et sud, et **25 m²** pour les faces Ouest et Est.
- Le plafond sera constitué de béton de gravillons plein d'épaisseur **15 cm** avec enduit inférieur en plâtre sous comble non ventilé.
- Les toitures plates en tôles galvanisées ondulées et ensoleillées, sans doublage intérieur
- Type d'éclairage : tubes fluorescents, et ampoules LED
- Le nombre d'appareils électriques standards considérés comme sources de chaleurs internes dans une maison de type F3 est référencé dans le tableau de **l'Annexe 44**

Le tableau de **l'Annexe 45** présente les différentes surfaces à considérer pour un habitat moyen de Type F3. Les caractéristiques thermos physiques des matériaux constituant les locaux sont répertoriés dans le tableau de **l'Annexe 48**. Le bilan thermique s'effectue pièce par pièce conformément au plan du local.

IX.1.1 Bilan thermique locaux sans isolation

Calcul des gains de chaleur par conduction par les murs externes :

. Ce gain s'obtient à partir de la formule suivante :

$$Q = H * S * \Delta T \quad \text{Équation (1)}$$

Avec :

✦ Q est le gain de chaleur en W ;

- ✦ S la surface d'échange à savoir celle du mur considéré en m² ;
- ✦ ΔT l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur du local en K ;
- ✦ H le coefficient d'échange global du mur externe considéré en W· m⁻²· K⁻¹.

Les murs sont constitués de plusieurs couches de matériaux avec des épaisseurs et des conductivités thermiques différentes. Ainsi ; le calcul du coefficient d'échange global des murs, s'obtient avec la relation suivante :

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e} \quad \text{Équation (2)}$$

Avec :

- ✦ H : le coefficient d'échange global (W· m⁻²· K⁻¹) ;
- ✦ H_i : le coefficient de convection interne (W· m⁻²· K⁻¹) ;
- ✦ h_e : le coefficient de convection externe (W· m⁻²· K⁻¹) ;
- ✦ e_i : les différentes épaisseurs des couches qui composent le mur en m ; ✦ λ_i : les conductivités thermiques de ces différentes couches W·m·K⁻¹.

Les coefficients de convection internes et externes sont des valeurs standards à choisir dans le **Tableau 18** de l'**Annexe 59** :

Pour ce qui est de l'épaisseur des murs, nous avons à faire à des murs de façades (**épaisseur de 15 cm**), et des murs en cloison (**épaisseur de 10 cm**). En ce qui concerne les murs en BTC, la dimension usuelle des BTC est de 29.5 x 14 x 9 cm. Le BTC a **une épaisseur de 14 cm**. Les types d'enduits les plus communément utilisés dans les constructions existantes et les constructions neuves sont principalement du **plâtre en intérieur** et du **ciment en extérieur**. Les murs externes sont composés de plusieurs couches répertoriées dans le **Tableau 19** de l'**Annexe 59**

Ainsi, à l'aide de l'**Équation (2)**, on détermine le coefficient d'échange global des murs externes pour chaque local en fonction du matériau principal. Les valeurs obtenues sont semblables pour chaque local, mais différent en fonction du matériau. Elles sont répertoriées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : coefficient d'échange global des murs externes locaux sans isolation, et résultats des bilans thermiques

Coefficient d'échange global des murs externes H ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)		
	Parpaing non isolé	BTC non isolé
Mur Nord	2.376	3.176
Mur Sud	2.376	3.176
Mur Est	2.118	2.732
Mur Ouest	2.118	2.732

Calcul des gains de chaleur par conduction par les fenêtres et portes :

Les gains de chaleur par conduction et convection par les fenêtres et les portes s'obtiennent à partir de l'**Équation (1)**. De même, le coefficient d'échange global des fenêtres s'obtient en utilisant **Équation (2)** avec les valeurs similaires de coefficients de convection internes et externes. La composition structurale des fenêtres est disponible dans le **Tableau 20** en **Annexe 59**.

Ainsi, on obtient pour les fenêtres un coefficient global d'échange identique pour chaque local mais différent en fonction du matériau principal. On obtient un coefficient de $1,631 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ pour le local en BTC non isolés, et $1,692 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ pour le local en parpaing non isolé.

Calcul du gain de chaleur par les murs de séparation ou cloison :

La formule utilisée est également celle de l'**Équation (2)**. Cependant cette fois-ci, il faut faire attention selon que la salle contigüe soit climatiser ou non. Si le local contigu est climatisé, le gain de chaleur est nul. Sinon, la température à considérer est celle de **l'extérieur moins 3 degrés**, donc à savoir **37°C**. Concernant le coefficient global d'échange des cloisons, il se détermine de la même façon avec la formule de l'équation (2). En prenant les coefficients de convection interne et externe égal à $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, on obtient un coefficient d'échange global des cloisons identique pour tous les locaux, quel que soit le matériau, de $2,242 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Toutefois, il convient de multiplier ce coefficient obtenu par le nombre de murs cloisonnés en fonction de chaque pièce, tel que décrit dans la feuille Excel de calcul en **annexe 5**

Calcul des gains de chaleur par les plafonds et les planchers :

Pour le calcul des gains de chaleur par les planchers, il est considéré que la chaleur provenant du sol est nulle. Nous n'allons donc pas la considérer. Pour le calcul des gains de chaleur par

les plafonds ou dans notre cas le toit, il s'effectue de la même manière que celle des murs avec la formule de l'**Équation (1)**. De par sa même configuration que les murs externes, le toit à pour coefficient global d'échange de $1,921 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Calcul du gain calorifique dû aux personnes :

Les différentes valeurs de ces chaleurs en fonction de l'activité sont consignées dans le **Tableau 2 de l'Annexe 43** :

Calcul du gain de chaleur dus aux équipements électriques :

Le calcul de ces gains peut se ramener à la somme des puissances électriques :

$$Q = \sum P_i * n_i \quad \text{Équation 3}$$

Avec :

- P_i la puissance nominale de l'équipement électrique considéré en W ;
- n_i le nombre d'équipement électrique ayant pour puissance P_i .

Il convient de souligner que seuls les équipements qui dégagent de la chaleur ont été pris en compte tels que décrit dans le tableau de **l'Annexe 59** On obtient ainsi les gains de chaleur qui diffèrent en fonction du type de local, mais identique quel que soit le matériau principal utilisé

Calcul des gains par infiltration et renouvellement d'air :

Les formules suivantes ont été utilisées :

$$Q_s = 0,29 * q_v * \Delta T \quad \text{Équation (4)}$$

$$Q_l = 0,710 * q_v * \Delta x \quad \text{Équation (5)}$$

$$Q_t = 1,18 * q_v * \Delta h \quad \text{Équation (6)}$$

Avec :

- Q_s la chaleur sensible en kcal/h ;
- Q_l la chaleur latente en kcal/h ;
- Q_t la chaleur totale en kcal/h ;
- q_v le débit volumique d'air renouvelé m^3/h ;
- ΔT , Δx et Δh respectivement les écarts de température, de masse d'air sec et d'enthalpie.

Le **Tableau 3 de l'Annexe 43** présente les débits volumiques d'infiltration et de renouvellement d'air à considérer en fonction de l'activité des personnes. Le débit volumique nécessaire est donné pour tous les locaux à climatiser. Le choix effectué est de **18 m^3/h** pour un débit volumique uniforme d'air de **5,5 $\text{m}^3/\text{h}/\text{mètre de cadre}$** . On obtient ainsi les gains sensibles et latents résumés dans les tableaux suivants :

Tableau 8 : Gains sensibles infiltration et renouvellement d'air

	Gains sensibles			
Locaux	Chambre principale	Chambre secondaire	Cuisine	Séjour+salle à manger
Infiltration d'air à travers les portes et fenêtres(W)	307,88	359,99	567 ,93	1193,17
Renouvellement d'air(W)	189,47	378,93	473,67	663,13

Tableau 9 : Gains latents infiltration et renouvellement d'air

	Gains latents			
Locaux	Chambre principale	Chambre secondaire	Cuisine	Séjour+salle à manger
Infiltration d'air à travers les portes et fenêtres(W)	268.95	314.47	496.11	1042.29
Renouvellement d'air(W)	165.51	331.02	413.77	579.28

Calcul du gain solaire dû aux parois vitrées : On pose le gain de chaleur :

$$Q = g * F * S * G$$

Équation (7)

Avec :

- S la surface de la fenêtre m² ;
- G le rayonnement global consultable en **Annexe 2** ;
- F est un facteur correctif dû aux rideaux : F=1/3 pour les rideaux extérieurs et F=2/3 pour les rideaux intérieurs ;

- g est appelé facteur solaire de la vitre (sans protection). Il s'obtient dans le **Tableau 4 de l'Annexe 43**. Les résultats récapitulatifs du bilan thermique sont répertoriés dans le **Tableau** suivant :

Tableau 10 : Bilan thermique local de type F3 sans isolation

Locaux non isolés	Besoins thermiques locaux en parpaing de ciment creux (W.m ⁻²)	Besoins thermiques locaux en BTC (W.m ⁻²)
Chambre principale	2108.34	2166.98
Chambre secondaire	1779.77	1800.65
Cuisine	1767.65	1804.77
Séjour+salle à manger	3809.24	3870.03

X.1.1 Bilan thermique locaux avec isolation

Le choix de l'isolant s'est porté sur des isolants thermiques importés, fait à base de coton recyclé, plus précisément l'isolant thermique **Métisse le Relais** du fabricant français « **LE RELAIS** », qui dispose d'une usine locale de recyclage de textiles sis au Burkina Faso, plus précisément à KOUDOUGOU.

En suivant la méthodologie similaire à celle des locaux sans isolation, tout en intégrant les épaisseurs et conductivités thermiques des différents isolants dans nos calculs, on obtient les résultats du **Tableau 6** suivant :

Tableau 11 : Récapitulatif du bilan thermique du local avec isolation

Local avec isolation extérieure	Besoins thermiques Parpaing de ciment creux (W.m ⁻²)	Besoins Thermiques BTC (W.m ⁻²)
Chambre principale	851.12	847.69
Chambre secondaire	822.093	818.75
Cuisine	1051.86	1017.4
Séjour + salle à manger	2466.5	2434.38

2. CHOIX DES CLIMATISEURS, BILAN DE PUISSANCE ET DIMENSIONNEMENT

DE L'ALIMENTATION SOLAIRE

XI.1.1 Choix des climatiseurs

Le choix des climatiseurs correspondants aux besoins thermiques de chaque pièce à climatiser du local est effectué en considérant la correspondance des puissances chevaux en puissance froid. Sachant que :

$$1CV = 0,735499 \text{ kW de puissance électrique utile} = 2544.43 \text{ btu/}$$

h de puissance frigorifique correspondante

(Source **Annexe 42**) Équation (8)

Soit :

$$1 \text{ btu/h} = 0,0002930710386 \text{ kWfroid}$$

$$\text{Donc : } 1CV = 0,75 * 10^{-3} \text{ kWfroid}$$

Le tableau 17 ci-dessous représente le récapitulatif des correspondances des puissances qui ont été calculées. La puissance électrique nécessaire pour l'alimentation d'un climatiseur, correspond à la puissance électrique absorbée de celui-ci, disponible sur la fiche technique du climatiseur en **Annexe 10**. Pour des raisons économiques, de disponibilité, et d'accessibilité sur le marché local, et conformément au cahier des charges du projet, il a été choisi les types **monosplit inverter** de la marque **SAMSUNG**, modèles muraux AR5500 et AR7500. Les fiches techniques dans lesquelles les différents climatiseurs ont été choisis sont disponibles en **Annexe 10** et en **Annexe 12**.

Tableau 12 : Tableau de correspondance des puissances de climatiseurs

Puissance en CV	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5
Puissance électrique absorbée froid (kW)	0,67	1,06	0,97	1,28	2	2,06	2,89	5
Puissance frigorifique(kW)	0-2,6	2,7-3,5	3,6-4	4,1-5,3	5,4-7	7,1-8	8,1-9,4	9,5-14,1

En rapport à notre local pilote F3, il a été choisi 3 climatiseurs de puissance 1 CV (soit 1,8 et 2,2 kW de puissance frigorifique) respectives, dont un climatiseur par chambre, et un climatiseur pour la cuisine ; 01 climatiseur de puissance 2 CV (soit 4 kW de puissance frigorifique) pour le séjour et la salle à manger. Les formules utilisées lors des calculs du bilan de puissance sont les suivantes :

➤ **Puissance électrique absorbée** : Elle se calcule par les relations

$$P_{abs} = \frac{P_u}{\eta} = UI \cos(\phi) \quad \text{Équation (11)}$$

Avec :

- P_u : La puissance utile de l'appareil en W ;
- η : Le rendement électrique de l'appareil en % ;
- U : La tension entre phase en V ;
- I : Le courant électrique absorbé en A ;
- $\cos(\phi)$: Le facteur de puissance.

➤ **La puissance de l'installation** : La puissance de l'installation est la puissance réellement demandée par un circuit électrique. Elle prend en compte la simultanéité et la fréquence d'utilisation des appareils. Elle se calcule par la relation suivante.

$$P_{inst} = P_{abs} \times k_u \times k_s \quad \text{Équation (12)}$$

➤ **La puissance réactive** :

. Elle se calcule par la formule.

$$Q = P_{inst} \times \tan(\phi) = UI \sin(\phi) \text{ (VAR)} \quad \text{Équation (13)}$$

➤ **La puissance apparente** :

La puissance apparente est la puissance totale fournie à l'installation. Elle se mesure en voltampères (VA) et correspond à la somme vectorielle de la puissance active et de la puissance réactive du circuit.

$$S = ke \times \sqrt{(\sum Q)^2 + (\sum P_{inst})^2} = UI \quad \text{Équation (14)}$$

➤ Le courant d'emploi de l'installation :

Le courant d'emploi est le courant correspondant à la puissance apparente de l'installation, donc le courant estimatif maximal que peut consommer l'installation. Il se détermine par l'équation suivante.

$$I_e = \frac{S}{U} = \frac{P_{abs}}{U \cos(\phi)} \quad \text{Équation (15)}$$

➤ Le facteur de simultanéité des prises de courant :

Pour les prises de courant, il se détermine par l'équation suivante :

$$K_s = 0,1 + \frac{0,9}{N} \quad \text{Équation (16)}$$

Avec :

N : Le nombre de prise par circuit.

Pour les facteurs d'utilisation et les facteurs de simultanéité des récepteurs, voir Annexe 50

Les résultats du bilan de puissance disponibles en Annexe 51 permettent d'obtenir une puissance à installer de **15205 W, soit 15,21kW**

XIII.1.1 Dimensionnement du système solaire photovoltaïque

Il a été uniquement considéré le dimensionnement des équipements solaires photovoltaïques nécessaires pour l'alimentation électrique du climatiseur du local pilote de type F3 en parpaing de ciment creux, sans isolation. Les résultats des autres types de locaux ont été obtenus suivant la méthodologie similaire.

➤ **Ensoleillement du site d'implantation :**

Les données sur l'ensoleillement du site ont été obtenues à partir du logiciel **Retscreen** et sont détaillées dans le tableau de l'**Annexe 52**. L'ensoleillement qui sera utilisé pour le dimensionnement est l'ensoleillement le plus faible à savoir celui du mois d'Août (5,15 kWh.m⁻². j⁻¹) histoire de se placer dans le cas le plus défavorable.

➤ **Dimensionnement du champ photovoltaïque et de l'onduleur :**

✓ Choix des modules photovoltaïques :

Le dimensionnement du système photovoltaïque pour l'alimentation électrique du local de **type F3**, nécessite une puissance du champ PV de **15205 Wc**, soit **15,21 kWc**. Afin d'obtenir une configuration optimale de notre champ PV, les modules **blue power Polycristallin 2600 W** du constructeur **Victron Energy** ont été choisis. Les caractéristiques sont répertoriées la fiche technique du module qui est disponible en **Annexe 13**.

Le nombre total de module PV s'obtient à partir de la formule suivante :

$$Nm = \frac{Po}{Pmpp} \quad \text{Équation (17)}$$

Avec :

- N_m le nombre de module à utiliser ;
- P_0 la puissance totale du champ ;
- P_{mpp} la puissance d'un module PV.

Nous devons utiliser au total **59 modules PV de 330 W** pour atteindre la puissance désirée du champ PV qui est de **15,21 kWc**. Notre champ PV aura donc une configuration de 05 sous champs constitués respectivement de 02 strings. Chaque string sera constitué de 06 modules en série. Chaque sous-champ délivrera une puissance de **3042Wc**. Les détails des calculs sont disponibles en **Annexe 11**.

✓ Choix de l'onduleur d'un sous-champ :

L'onduleur à choisir doit respecter certains critères :

- Il doit pouvoir supporter à l'entrée (DC) la puissance $P_{cc} = 3,04 \text{ kWc}$
- Supporter 2 ou plusieurs strings ;
- Fournir une tension de 250V entre phase en sortie.

En référence au catalogue **Victron Energy**, l'un des spécialistes en la matière, nous choisissons le **Convertisseur Phoenix compact 48/3000/5000 -230V V.E Bus** dont quelques caractéristiques sont présentées dans la fiche technique, de **l'Annexe 15**. La compatibilité à l'entrée d'un string sera considérée comme identique aux autres, du fait de leurs caractéristiques similaires. Le tableau suivant présente les ratios de vérification de la compatibilité du convertisseur avec les modules PV

Tableau 13 : Compatibilité du convertisseur avec les modules PV

	Ratios de vérification	
	Calcul	Spécification
Ratio de puissance (Puissance entrée onduleur/puissance unitaire sous champ PV)	1.22	Compris entre 0,9 et 1,1: Non
Tension Vmpp du générateur PV/tension entrée min onduleur	186.5	> Umin entrée onduleur=38V
Courant d'entrée max onduleur/courant CC	19.14	<Ientrée_onduleur=59A
Tension Voc du générateur PV/tension max entrée onduleur	223.6	<Umax_entrée_onduleur=1000V

➤ **Choix du régulateur du sous champ** : Le régulateur doit respecter les critères de choix suivants :

- Tension nominale du régulateur (égale à la tension nominale du système du champ PV) de 48 V
- Tension PV maximale Voc admissible en circuit ouvert du champ PV : 250 V
- Courant maximal de court-circuit Icc admissible du champ PV(A) : 70 A

En référence au catalogue Victron Energy, nous choisissons le **contrôleur de charge Smart Solar MPPT 250/70-Tr Victron Energy** qui autorise une puissance maximale de sortie du champ PV de **3440 W**, à la tension du système 48V. Les détails techniques sont disponibles en **Annexe 16**

➤ **Dimensionnement et choix des batteries** : Le choix des batteries devra respecter les critères récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Critères de choix des batteries

Tension Vsyst nominale du générateur PV en (V)	48
Profondeur de décharge DM	0,5
Besoins journaliers Bj majorés correspondant à ceux de l'ensemble des 5 Climatiseurs (Wh/j)	3425
Rendement batterie Rbat	0,8
Capacité minimale Cbat du parc de batteries (Ah)	178
Nombre de jours d'autonomie (Jraut)	1

Cependant, il est primordial de calculer les facteurs indispensables afin d'effectuer le choix adéquat. Pour ce faire, nous allons commencer par évaluer la capacité minimale de la batterie d'accumulateur. Elle s'obtient grâce à la formule :

$$C_{batmin} = \frac{Bj * Jraut}{Vsyst * Rbat * DM} \quad \text{Équation (18)}$$

Avec Bj, Jraut, Vsyst, Rbat, DM, décrit dans le tableau **de l'Annexe 53** . On obtient donc la valeur de Cbat min :

$$C_{batmin} = 3538 * \frac{1}{(48 * 0,8 * 0,5)} = 184Ah$$

L'autonomie des batteries est de 01 jour en fonction du temps de fonctionnement journalier des climatiseurs, ceci afin d'optimiser la capacité totale du parc de batterie, car les coûts des batteries sont relativement élevés. En référence au catalogue public des produits Victron Energy en vente par l'entreprise ENERGY&SERVICES, le choix s'est porté sur les batteries AGM Deep Cycle Batt. 12V/220Ah. On en déduit, donc les capacités et la configuration du parc de batteries. Le nombre de batteries en série et en parallèle s'obtient grâce aux formules :

$$Nbats = Vsyst / \text{tension nominale de la batterie choisie} \quad \text{Équation (19)}$$

$$Nbatp = Cbat \text{ min} / \text{capacité de la batterie choisie} \quad \text{équation (20)}$$

$$Nbats = \frac{48}{12} = 4 ; \quad Nbatp = \frac{178}{220} = 0,809$$

On en déduit la capacité totale du parc de batteries :

$$Cbat \text{ totale} = Nbats * Nbatp * Cbat \text{ choisie} \quad \text{équation (21)}$$

$$Cbat \text{ totale} = 4 * 1 * 220 = 880 \text{ Ah}$$

En somme nous obtenons un parc de 4 batteries AGM Deep Cycle Batt.12V/220Ah en séries. Toutefois, il convient de calculer les ratios de vérification afin que le dimensionnement et le choix des batteries soit conforme aux critères. Le tableau suivant présente les ratios de vérification des batteries. Les différentes formules utilisées afin de déterminer ces ratios sont les suivantes :

$$\text{D gr  de d chage quotidien} : Ddq = \frac{Bj}{Cbat \text{ totale} * Vsyst * Rbat} \leq \frac{DM}{Jraut} \quad \text{équation (22)}$$

*

Ratio 1 : Aptitude du champ PV à couvrir les besoins journaliers(R1) :

$$\frac{Pc * Hi * Rgen * Rbat}{Bj} > 1 \quad \text{équation (23)}$$

Ratio 2 : Aptitude du champ PV à recharger les batteries pour un nombre d'heure soleil

$$\text{compris entre 20 et 40(R2)} = \frac{Cbat}{Iccmod * Nbatp} \quad \text{équation (24)}$$

➤ Dimensionnement des équipements de protection, et des câbles

✦ Fusibles :

La protection des modules contre les risques de surintensité est assurée par des **fusibles**. Le calibre In du fusible et sa tension de fonctionnement sont obtenus grâce aux équations (27) et (28) :

$$1.5 \times I_{sc,(stc)} \leq CAL_{pro}(fusible) \leq 2 \times I_{sc,(stc)} \quad \text{Équation (25)}$$

$$U_n \geq 1.15 \times V_{oc,(stc)} \quad \text{Équation (26)}$$

Dans notre cas (local F3), les valeurs suivantes pour la tension et l'intensité au niveau de chaque string d'un sous champ sont :

$$V_{oc}(stc) = 5 \times 44,72 = 223,6V$$

$$I_{sc}(stc) = 2 \times 9,57 = 19,14 A$$

Le fusible choisi doit donc être caractérisé par :

$$\left\{ \begin{array}{l} 28,71 A \leq CAL_{pro}(fusible) \leq 38,28 A \\ U_n \geq 257,14 V \end{array} \right.$$

Le fusible choisi est un fusible photovoltaïque de 10 x 38 mm marque **Bussmann-EATON** de référence **PV-30A10F85L** avec **$I_n = 30 A$** et **$U_f (V) = 268 V$** . dont les fiches techniques sont disponibles en Annexe 20, Annexe 19 et Annexe 18

Malgré la disponibilité des fusibles au niveau des onduleurs ; la protection de cette partie amont (du module aux boîtiers de raccordement) est également importante et les boîtes de jonction en **Annexe 41** qui ont été utilisées sont déjà munies de sectionneurs porte-fusibles.

- ✦ **Protection contre les surtensions** : La protection des modules contre les risques de surtensions induites dans les circuits de la partie continue est généralement assurée par des parafoudres. Le **Convertisseur Phoenix 48/3000/5000** dont la fiche technique est disponible à l'Annexe 15 possède un parafoudre intégré contre les surtensions au niveau du côté DC.
- ✦ **Dimensionnement des câbles électriques** : On distingue les câbles qui relient le souschamp à la boîte de jonction, la boîte de jonction au régulateur, du régulateur à la batterie, et enfin, de la batterie à l'onduleur et ceux reliant les batteries à l'onduleur

Les canalisations doivent se conformer aux spécifications suivantes :

$$I_{cal} \leq I_{admissible\ cable} \quad \text{Équation 27}$$

$$2 \times \rho \times L \times I_{sc}$$

$$\Delta V = \frac{\rho \cdot L \cdot I^2}{S} \leq 2\% V_{mpp \text{ string}}$$

La résistivité qui sera considérée ici est celle du cuivre et la chute de tension admissible est évaluée en pourcentage à 2% de la tension au niveau des strings du générateur (V_{mpp}). La longueur doit être la plus courte possible pour éviter une chute de tension trop grande au niveau de l'onduleur. On a donc :

- S : section du câble (mm^2) ;
- ρ : $0,0183 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$: résistivité du cuivre;
- ΔV_{admi} : Chute de tension admissible ;
- L : longueur du câble ;
- I : intensité maximale circulant dans la chaîne ;

La section est choisie en fonction du calibre de l'élément protecteur et il faut ensuite vérifier si les conditions précédemment énumérées sont satisfaites. Le tableau de **la figure 23** suivante donne la section en fonction du courant admissible.

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

Figure 20 : Sections des câbles en fonction des courants admissibles

Source : Conception et dimensionnement d'un système PV avec stockage, par Dr. Y. Moussa SORO

➤ Entre un sous-champ PV et l'onduleur :

Le courant maximal qui peut traverser les câbles de la chaîne à l'onduleur est $I_{sc} = 19,14 \text{ A}$. Le calibre du fusible nécessaire pour sa protection choisi plus haut ($I_{cal} = 30 \text{ A}$) doit être inférieur ou égal au courant admissible du câble, donc $I_{adm} > 30 \text{ A}$ ce qui nous amène par conséquent à prendre une section de 6mm^2 qui nous donne un $I_{adm} = 21 \text{ A}$. Pour une longueur maximale de canalisation entre l'onduleur et le sous champ le plus éloigné de 10 m , on peut vérifier la chute de tension des modules à l'onduleur :

$$\Delta V = \frac{2 \times 0,0183 \times 10 \times 8,76}{2,5} = 1,28 \text{ V}$$

Vérifions à présent si cette chute de tension est inférieure à la chute de tension admissible :

$$\Delta V_{\text{admissible}} = 0.02 \times 186,5 = 3,73 \text{ V} \quad \text{d'où } \Delta V \leq \Delta V_{\text{admissible}}$$

On voit que la chute de tension admissible est bien supérieure à celle que nous avons au niveau de nos canalisations quittant les modules pour l'onduleur.

➤ Entre les batteries et l'onduleur :

Le courant maximum qui traversera les câbles est le courant de charge et de décharge des batteries maintenu égal à 56 A par l'onduleur. On choisit donc une section de 16 mm² sachant que sa longueur est estimée à L = 3 m on a :

Calcul de la chute de tension :

$$\Delta V_{\text{cables 2}} = \frac{2 \times 0.0183 \times 3 \times 56}{4} = 1,537 \text{ V}$$

$$1,537 \text{ V} \leq 3,73 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad \Delta V_{\text{cables}} \leq \Delta V_{\text{admissible}}$$

✓ Choix des câbles :

Idéalement, nous devons retenir les sections de câbles que nous avons trouvées après le dimensionnement. Cependant, les fiches techniques des modules blue power, des régulateurs MPPT et des convertisseurs imposent des sections de câbles de type AWG adaptés à la technologie Victron Energy. Ces sections se trouvent dans le catalogue de câblage disponible en **Annexe 18** Les fiches techniques des équipements qui ont été utilisées pour établir les devis des autres locaux sont également disponibles en **Annexe 24, Annexe 25, Annexe 26, Annexe 27, et Annexe 28**

Par la suite, il est donc indispensable d'effectuer une étude financière, afin d'estimer les coûts d'investissements nécessaires et la rentabilité d'un tel système, pour évaluer si le projet est financièrement faisable.

VI. ETUDE DE FAISABILITE FINANCIERE POUR LA CLIMATISATION ALIMENTEE A L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE POUR DES LOCAUX DE TYPE RESIDENTIELS

1. INTRODUCTION ET DEFINITION DES PARAMETRES FINANCIERS UTILES

L'étude de faisabilité financière permet d'évaluer si un projet est financièrement viable, s'il vaut le coût d'être financé, ceci grâce à des éléments d'analyse financière qui permettent de donner des indicateurs économiques plus précis, tels que le coût d'investissement initial (CII), le Taux de Rentabilité Interne d'un projet, ou le Temps de Retour sur Investissement (TRI), et le LCOE (Levelized Cost Of Energy ou Coût moyen actualisé de production de l'énergie), pour l'évaluation du coût de l'énergie solaire produite annuellement par un système solaire). La connaissance de chacun des paramètres financiers utiles pour la réalisation d'une étude financière de qualité est donc indispensable :

- **Le coût d'investissement** : C'est le montant financier total nécessaire pour mettre en œuvre ce projet. Il est appelé coût d'investissement ou capital
- **Le coût d'exploitation** : Le coût d'exploitation constitue les frais de fonctionnement de la l'installation photovoltaïque. Il est essentiellement composé des coûts d'opération, des coûts de maintenances et d'entretien, des coûts d'assurance, taxes et impôts, etc. Ce sont des frais qui sont associés à l'exploitation du système.
- **La valeur résiduelle** : C'est un coût estimatif de la centrale lorsque la durée du projet est épuisée. Elle est souvent donnée en pourcentage du coût d'investissement et représente la valeur restante des composants non amortit au terme du projet.
- **Le coût de démantèlement** : Ce coût représente le coût nécessaire pour le démantèlement de la centrale à la fin du projet.
- **Les incitations** : Les incitations sont les aides, les subventions ou de réductions faites sur un projet. Ces différentes faveurs peuvent être prises dans le calcul du LCOE. Ces incitations peuvent être aussi des crédits d'impôts, des exonérations de TVA etc. (12).
- **Actualisation des coûts** : Le coût total de cycle de vie d'une installation s'obtient en faisant la somme de tous les cash-flows (flux de trésorerie) actualisés de l'installation et du capital initial. L'actualisation des coûts sert à compenser les conséquences de l'inflation dans les contrats. Elle nécessite la connaissance des taux financiers du marché grâce à la valeur nette actuelle (VAN) qui se définit de la façon suivante (12) :

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

Le calcul de la VAN s'effectue en utilisant la formule suivante :

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_o \quad \text{Équation (28)}$$

Dans cette expression n est la durée du projet et r **le taux d'actualisation** qui se calcule grâce aux taux d'intérêt nominal, le taux d'inflation et le taux d'indexation et les CF_t représentent les coûts annuels. **Le taux d'actualisation** est le taux qui permet d'estimer la valeur actuelle nette d'une somme d'argent future à l'état actuel. Le choix de ce taux d'actualisation est une étape clé dans l'estimation du LCOE.

- **Le LCOE** : Le calcul du LCOE doit se faire en tenant compte des principaux éléments suivants : Le type de technologie, le coût d'investissement, le coût d'exploitation annuel, la productivité énergétique. Le LCOE ne donne pas le coût d'achat de l'énergie du consommateur final mais passe en revue tous les coûts entrant dans la production de l'énergie, il représente donc le coût minimal du kWh d'énergie que le producteur pourra adopter. (12).
- **Le TRI (Taux de Rentabilité Interne)** : La rentabilité permet de connaître la performance globale de l'investissement. En effet, déterminer la rentabilité vous permettra de savoir si un projet vaut la peine d'être étudié en profondeur. Le calcul du TRI prend en compte les éléments suivants :
 - Les flux de trésorerie actualisés et cumulés annuels, aussi appelé le cash-flow ;
 - Le taux de rendement brut (de frais) et net (de frais et d'impôts) annuels ;
 - Le taux d'actualisation ;

2. CALCUL ET DETERMINATION DES PARAMETRES FINANCIERS

. Concrètement, l'objectif global est de parvenir à évaluer le TRI, facteur indispensable qui renseignera sur la viabilité du projet. Pour ce faire, il faut au préalable évaluer le LCOE, qui lui-même dépend principalement du cout d'investissement initial du projet, du coût total du cycle de vie (coût de possession) de l'installation photovoltaïque, en plus des paramètres complémentaires présentés plus haut.

Il est à noter que notre calcul du coût d'investissement initial prend uniquement en compte tout le matériel solaire nécessaire de l'installation solaire photovoltaïque, le coût d'achat de l'isolant thermique, sans prendre en compte le coût des appareils de climatisation ni celui de

la main d'œuvre pour l'installation et la pose des panneaux, conformément au cahier des charges qui nous a été soumis.

XIV.1.1 Coût d'investissement initial d'acquisition des équipements solaires photovoltaïques

Nous avons évalué le coût de chaque équipement nécessaire pour l'alimentation solaire photovoltaïque du système de climatisation en fonction de chaque type de local. Le devis du matériel de notre local pilote F3 se trouvant en **Annexe 38**, et les prix de chaque équipement provenant du catalogue public des prix du matériel solaire Victron Energy, proposé par l'entreprise ENERGY&SERVICES (Annexe 30, Annexe 31, Annexe 32, Annexe 33, Annexe 34). **Les tableaux suivants** représentent un récapitulatif des coûts d'investissements initiaux pour les locaux sans isolation et les locaux avec isolation.

Tableau 15 : récapitulatif des coûts d'investissements initiaux du matériel solaire pour le local avec isolation

	CII local sans isolation (FCFA)	CII local avec isolation (FCFA)
Parpaing	19 501 181	15765744
BTC	26636552	15825744

XV.1.1 Coût d'investissement initial de l'isolation thermique extérieure

Le tableau de l'**Annexe 36** est une présentation des prix de panneaux isolants thermiques METISSE^R en coton recyclé, que nous avons pu obtenir de la part du siège de l'entreprise LE RELAIS à Toulouse, en France.

Pour obtenir les coûts nets des panneaux isolants à partir des prix originaux, il faut ajouter au prix initial, un taux de 38% (16) du prix initial, lié aux frais de transport et de douane pour l'acheminement des panneaux depuis Toulouse jusqu'à Ouagadougou. Donc le coût final réel d'acquisition du panneau isolant au m² s'obtient grâce à la formule :

$$CF = \text{Prix initial} + 0,38 * \text{Prix initial}$$

Equation (31)

Le **Tableau 14** de _ renseigne sur les valeurs prises en compte afin d'obtenir le coût d'achat total de l'isolant thermique nécessaire pour notre local pilote F3 en parpaing de ciment

creux avec isolation. Ainsi, les récapitulatifs du coût d'achat nécessaires de l'isolant pour nos différents locaux, sont présentés dans le **Tableau 15** en **Annexe 57**.

XVI.1.1 Calcul du LCOE, du TRI et du coût d'exploitation

- **Calcul du LCOE** : Comme défini plus haut, de façon générale le LCOE se calcule en faisant le rapport entre le coût total du cycle de vie et l'énergie totale produite durant ce cycle de vie. Donc de façon globale, le LCOE se calcule de la façon suivante :

$$LCOE = \frac{\text{Coût total de cycle de vie}(FCFA)}{\text{Energie totale sur la durée de vie}(kWh)} \quad \text{Equation (32)}$$

Où le LCOE s'exprime en **FCFA/kWh**. Le coût total de cycle de vie de l'installation photovoltaïque est encore communément appelé le coût de possession. L'énergie totale produite au cours de la durée de vie de la centrale est aussi actualisée en utilisant le même taux d'actualisation que les cash-flows.

Le coût total de cycle de vie de l'installation s'obtient par la formule :

$$\text{Coût total de cycle de vie} = \text{Coût d'investissement initial}(FCFA) + (\text{durée de vie de l'installation} * \text{frais d'entretien annuels de l'installation})$$

Equation (24)

Où la durée de vie de l'installation s'exprime en (années) et les frais d'entretien en (FCFA/an).

Les frais d'entretien annuels sont estimés à **2% de l'investissement initial (12)**. La durée de vie de l'installation est fonction de la durée de vie des panneaux solaires disponibles sur la fiche technique en **Annexe 13**. Elle est de 25 ans. Conformément au dimensionnement de notre local pilote (F3 en parpaing de ciment non isolé), le coût d'investissement initial est de 8 569 256 FCFA et les frais d'entretien s'élèvent à 85 683 FCFA par an.

L'énergie totale produite sur la durée de vie de l'installation PV s'obtient en appliquant **un facteur de dépréciation** de l'électricité produite par le système solaire. Ce facteur renseigne sur la capacité du champ PV à fournir la même quantité d'énergie, sur sa durée de vie. En fonction de l'orientation, de la zone géographique et des besoins journaliers du local, et le

rendement des panneaux solaires, nous avons obtenu un facteur de dépréciation de 50%. Ainsi, l'énergie totale sur la durée de vie s'obtient grâce à la formule suivante :

$$\text{Energie totale sur la durée de vie(kWh)} = \text{durée de vie de l'installation} *$$

$$\text{Energie totale annuelle produite(kWh)} * \text{facteur de dépréciation de l'énergie électrique}$$

Equation (33)

De même, l'énergie totale annuelle produite par le champ PV s'obtient par la formule :

$$\text{Energie totale annuelle produite(kWh)} = 365 * PR * Pc * Hi$$

Equation (34)

Avec :

- PR : Ratio de performance de l'installation
- Pc : La puissance crête de l'installation (Wc)
- Hi : Le rayonnement solaire moyen (kWh.m⁻².j⁻¹)

Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des résultats du LCOE de notre local pilote F3.

58 : Résultats LCOE et TRI

Tableau 16 : Récapitulatif du calcul du LCOE local F3

Coût d'investissement initial (FCFA)	19 501 181 FCFA
Durée de vie de l'installation(ans)	25
Frais d'entretien annuels en (FCFA/an).	390 024
L'énergie totale annuelle produite par le champ PV (kWh)	21 443, 25
L'énergie totale produite sur la durée de vie(kWh)	268 041
Coût total de cycle de vie (FCFA)	33 571 770
LCOE(FCFA/kWh)	125,25

➤ **Calcul du TRI :**

Il s'agit de calculer le taux de rentabilité interne en pourcentage (%) et en déduire le temps de retour sur investissement en années. Le TRI est le taux d'actualisation pour lequel la VAN d'un projet est nulle. Il permet d'établir le taux de rendement d'un projet à long-terme. Le calcul du TRI d'un projet de T périodes s'obtient par l'équation suivante :

$$VAN = I_o + \frac{C_1}{1+TRI} + \frac{C_2}{(1+TRI)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+TRI)^T} = 0 \quad (18)$$

On accepte le projet dont le TRI est supérieur au coût d'opportunité du capital ($TRI > r$). Le **taux d'actualisation** des installations solaires au Burkina Faso est pris à **8%**. Le coût annuel de l'énergie électrique fournie par l'installation photovoltaïque de notre local pilote s'obtient grâce à la formule suivante :

Coût annuel de l'énergie électrique fournie par le champ PV

= Energie totale annuelle produite par le champ PV (kWh)

** LCOE (FCFA/kWh)*

Equation (35)

De même, pour le calcul des flux de trésorerie, nous avons utilisé les formules suivantes :

Flux de trésorerie annuel non actualisé (FCFA) =

coût de la première année de l'énergie fournie par le champ PV **Equation (38)**

Flux de trésorerie annuel actualisé (FCFA)

= Flux de trésorerie annuel actualisé

** (1 - taux de rendement net de frais de gestion)*

Equation (39)

Les valeurs de ces paramètres sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Valeurs des paramètres pour le calcul du TRI

Coût annuel de l'énergie électrique fournie par le champ PV	2 685 742
Flux de trésorerie annuel non actualisé 1 ^{ère} année (FCFA)	2 685 742
Flux de trésorerie actualisé 1 ^{ère} année (FCFA)	2 470 882
Taux de rentabilité interne (%)	60
Temps de retour sur investissement	3 ans 202 jours

A partir de tous ces paramètres, nous obtenons donc un taux de rentabilité interne de 60%, pour un temps de retour sur investissement qui est atteint exactement au bout de 3 ans et 202 jours. Le tableau 18 nous donne un récapitulatif du TRI du projet sur 7 ans. Nous pouvons remarquer que le TRI est égal à **60 %**. Cette valeur représente le taux d'actualisation pour lequel la VAN = 0. Cela signifie que si le projet est actualisé à un coût du capital inférieur au TRI, la VAN du projet sera positive, au cas contraire elle sera négative

On accepte le projet si la VAN est positive. Comme nous pouvons le constater dans le tableau 18, nous avons une VAN d'environ **59 154 031 > 0**. Donc le projet est acceptable suivant nos hypothèses. Les détails des calculs des flux de trésorerie et de la VAN sont disponibles dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Calcul des flux de trésorerie et du TRI de l'investissement pour le local de type F3

Période j	Flux Fj(FCFA)				
		Année	Flux trésorerie annuel non actualisé (FCFA)	Flux trésorerie annuel actualisé (FCFA)	Flux trésorerie annuel actualisé cumulé (FCFA)
0	-19501180				
1	2 470 882	1	2 685 742	2 470 882	2 470 882
2	7 214 976	2	5 156 624	4 744 094	7 214 976
3	14 050 425	3	7 429 836	6 835 449	14 050 425
4	22 809 920	4	9 521 190	8 759 495	22 809 920
5	33 339 538	5	11 445 237	10 529 618	33 339 538
6	45 497 668	6	13 215 359	12 158 131	45 497 668
7	59 154 031	7	14 843 872	13 656 362	59 154 031
TRI (%)	60%				

- **Calcul du coût d'exploitation** : Pour effectuer ce calcul, les coûts liés aux taxes et impôts ne seront pas pris en compte, relativement à la politique de défiscalisation pour l'importation et la vente du matériel solaire au Burkina Faso (14).

Après la première année de l'installation, le coût d'exploitation prend en compte le coût d'installation et de la pose (coût d'opération) des équipements solaires, et les coûts d'entretien (maintenance). A partir de la deuxième année, le coût d'exploitation est réduit uniquement au coût d'entretien, qui est lui-même fonction du flux de trésorerie annuel de la première année. Le schéma est reproduit jusqu'au bout de la durée de vie du projet qui s'étale sur 25 ans.

Cependant, il est à noter que le coût d'entretien sera pondéré du coût de remplacement des batteries choisies, dont la durée de vie est de 8 ans. Donc après 8 ans d'exploitation, le coût d'entretien correspondant à l'année 8 sera ajouté au coût de remplacement des batteries qui s'élève à 1 440 000 FCFA, et ce sur la durée de vie de l'installation qui est de 25 ans. Soit un coût total de remplacement des batteries de 4 320 000 FCFA sur la durée de vie du système.

Afin de visualiser et de comparer le coût d'exploitation par rapport au coût d'investissement, l'évaluation du coût d'exploitation est effectuée sur 7 ans, conformément au TRI. Les coûts d'installation et de pose ont été obtenus à l'entreprise (auprès des techniciens). Les formules suivantes ont été utilisées pour effectuer les calculs :

$$\text{Coût d'entretien année 1} = 2\%CII \quad \text{Equation (40)}$$

$$\text{Equation (41)}$$

$$\text{Coût d'entretien année } i = 2\%F_{ai} \quad i \text{ allant de 2 à 7}$$

Les F_{ai} représentent les flux de trésorerie annuels actualisés.

$$\begin{aligned} \text{Coût d'opération} &= \text{cout installation} + \text{coût pose} \\ &= 30\%CII \end{aligned} \quad \text{Equation (42)}$$

$$\text{Coût installation} = 10\%CII \quad \text{Equation (43)}$$

$$\text{Cout pose} = 20\% CII \quad \text{Equation (44)}$$

$$\begin{aligned} \text{Coût d'exploitation année 1} &= \text{Coût d'opération} + \\ \text{Coût d'entretien année 1} &= 32\%CII \end{aligned} \quad \text{Equation (45)}$$

Ces différents calculs font ressortir le lien entre le CE et le CII. Le tableau de l'**Annexe 60**, est un récapitulatif des coûts d'exploitation de l'installation photovoltaïque liée au local pilote F3, en parpaing isolé et non isolé, puis en BTC isolé et non isolé, sur 07 ans.

➤ **Calcul du rapport entre le coût annuel de l'énergie électrique fournie par le champ PV et celui de l'énergie électrique fournie par le réseau électrique national :**

Le coût annuel de l'énergie électrique fournie par le réseau électrique de la SONABEL s'obtient grâce à la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Coût annuel énergie fournie par le réseau électrique (FCFA/an)} = \\ \text{Coût moyen de vente du kWh électrique (SONABEL) (FCFA/kWh)} * \\ \text{Energie totale annuelle produite par le champ PV (kWh)} \end{aligned}$$

Equation (46)

Conformément au dimensionnement de notre local pilote, on obtient :

$$\begin{aligned} \text{Coût annuel énergie fournie par le réseau électrique} &= 115,17 * 21443.25 = \\ &2\,469\,619 \text{ FCFA/an} \end{aligned}$$

On en déduit alors le rapport :

$$\begin{aligned} R &= \frac{\text{coût annuel électricité du champ solaire PV}}{\text{coût annuel électricité réseau électrique}} && \text{Equation (47)} \\ R &= \frac{2\,685\,742}{2\,469\,619} = 1.09 \end{aligned}$$

D'où, le coût annuel de l'énergie fournie par le réseau électrique est légèrement inférieur à celui du solaire photovoltaïque, de l'ordre de 200 000 FCFA de moins que le coût de l'énergie fournie par le champ PV.

VII. ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS DE L'ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE

1. ANALYSE TECHNIQUE :

L'étude de faisabilité technique ci-dessus réalisée vient concrétiser les objectifs spécifiques qui ont été fixées. Il était question d'identifier les paramètres physiques du local tels que la superficie totale, le type et l'épaisseur et les paramètres thermo-physiques des différents matériaux de construction utilisés. Ensuite, faire le choix justifié du type d'isolation et de l'isolant thermique adéquat, effectuer la réalisation du bilan thermique des locaux, tout en différenciant les locaux sans isolation de ceux avec isolation. Par la suite, nous avons fait le choix de la machine de production de froid (du climatiseur) nécessaire correspondante à chaque scénario (local avec isolation et local sans isolation), tout en recueillant les informations techniques utiles pour dimensionner le système d'alimentation électrique nécessaire. Le dimensionnement du système solaire photovoltaïque pouvant couvrir les différentes puissances de climatisation respectives a ainsi été réalisé, afin d'estimer le matériel solaire nécessaire pour l'alimentation électrique des unités de climatiseurs et du local

. Le graphe de la **Figure 21** présente les proportions majeures des postes de consommation énergétique dans la salle à manger. Le graphique permet d'identifier les postes les plus sensibles aux déperditions thermiques (39%) par les murs et le toit, et solaires (22%) par les fenêtres et les portes. Cependant, en appliquant l'isolation extérieure, on peut observer les économies d'énergies réalisées à travers les **Tableau 11** et **Tableau 12** en **annexe 55**, mais aussi, la variation des postes de déperditions énergétiques. Le graphe de la **Figure 22** montre l'effet de l'isolation sur notre local pilote toujours en parpaing de ciment creux, mais avec isolation. On constate que les déperditions thermiques par les murs et le toit chutent de 39% à 5%. Toutefois, l'isolation demeure efficace puisqu'elle agit prioritairement sur les postes de déperditions les plus élevés, que sont le toit et les murs extérieurs.

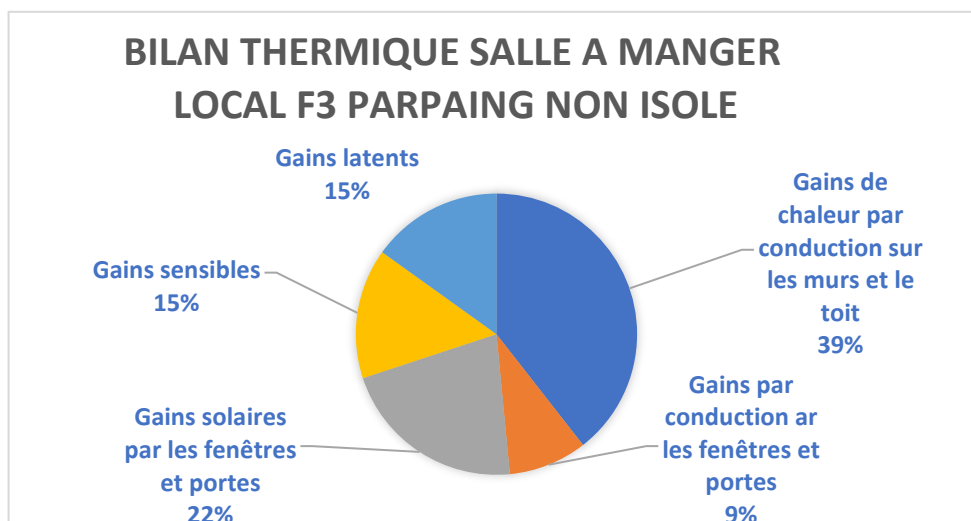


Figure 21 : Proportions des postes de consommation énergétiques dans un local de type F3 en parpaing de ciment creux non isolé.

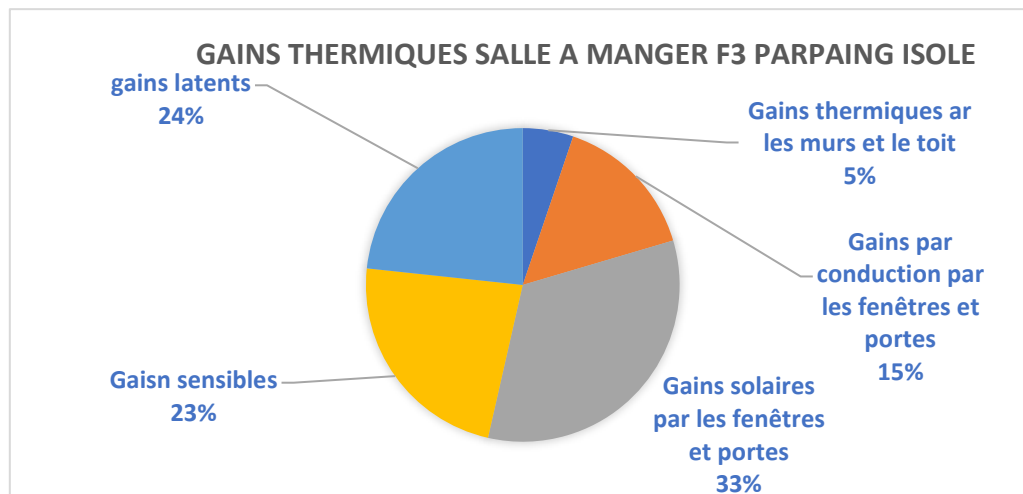


Figure 22 : Proportions des postes de consommation énergétiques dans un local de type F3 en parpaing de ciment creux isolé.

Enfin, il a été effectué une comparaison de l'effet de l'isolation sur les besoins en climatisation par rapport aux matériaux en parpaing et en BTC afin d'identifier le matériau qui offre le plus d'économie d'énergie sous l'effet de l'isolation extérieure. **L'Annexe 40** présente cette comparaison. Il en résulte que, dans les conditions et hypothèses similaires, les besoins en climatisation des locaux en parpaing de ciment sont moindres par rapport aux locaux en BTC. De même, l'application d'un isolant thermique extérieur de 20 cm d'épaisseur et de résistance $R = 5,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ permet de réaliser des économies d'énergies significatives, de l'ordre de 20712 W pour le local en parpaing de ciment creux, contre 12826 W par rapport à ceux en BTC.

2. ANALYSE FINANCIERE

Le tableau de l'Annexe 56 met en évidence l'écart entre le coût d'investissement total nécessaire pour l'alimentation solaire photovoltaïque du local en parpaing non isolé, et du local en parpaing isolé. Il est fort de constater que le CII pour le local non isolé est en moyenne 70% plus élevé que celui d'un local isolé. Ce qui fait ressortir une économie financière réalisable de 3 735 436 FCFA sur la facture énergétique de la climatisation pour un local avec une isolation extérieure optimale.

D'autre part, les résultats des calculs font ressortir un taux de rentabilité interne de 60% de l'investissement initial, rentabilisable au bout de 3 ans et 202 jours, pour un CII de 19 501 181

FCFA, et un coût d'exploitation (CE) de 6 240 318 FCFA après la première année de l'installation. En moyenne, on obtient un coût d'exploitation de 852 690 FCFA sur 07 ans, extensible sur la durée de vie du système qui est de 25 ans maximum.

Cela s'explique par le fait que nous avons utilisés le maximum de paramètres utiles à prendre en compte afin d'obtenir un LCOE maximal, car il existe plusieurs formules du LCOE qui diffèrent en fonction des paramètres pris en compte. Un tel investissement vaut le coût.

Par ailleurs, la comparaison du coût annuel de l'énergie électrique fournie par le champ PV

(2 685 742 FCFA) à celui de l'énergie électrique fournie par le réseau électrique national de la SONABEL (2 469 619 FCFA) évalué par le rapport R, montre que le CE du réseau électrique sera toujours supérieur à celui du PV sur 7 ans, car l'investissement initial est rapidement rentabilisable au bout de 4 ans maximum. Le rapport R varie en fonction de la taille des locaux, plus les locaux sont de grande taille, plus le rapport est élevé. C'est le cas du local de taille F6, dont le coût annuel de l'énergie fournie par le réseau électrique est 04 fois supérieur à celui du solaire photovoltaïque, contre 2 pour le local de type F3, quel que soit le matériau de construction utilisé.

Cependant, nous avons évalué le coût cumulé (isolation + climatisation solaire photovoltaïque) de l'investissement total nécessaire pour un particulier qui souhaiterait isoler sa maison, et la climatiser ensuite grâce à l'énergie solaire photovoltaïque. Le tableau de l'Annexe 37 montre que les coûts sont relativement élevés. Nous avons effectué également une comparaison de ce coût cumulé, par rapport au coût d'investissement du local non isolé. Il faut en tout 3 993 806 FCFA en plus du CII du local sans isolation (19 501 181 FCFA). Cet écart n'est pas assez élevé et démontre que l'association d'un isolant extérieure vaut le coût, pour un TRI de 65%, soit 4 ans et 186 jours. Une isolation accompagnée d'une climatisation solaire est financièrement faisable, car l'écart entre les CII est relativement faible, de l'ordre de 5%. Cela est encore plus observable sur les locaux en BTC, pour lequel les écarts entre les coûts d'investissement sont de l'ordre de 3 à 1%.

3. SYNTHESE DES RESULTATS

L'étude de faisabilité technique et financière effectuée, nous avons donc fait ressortir un bilan de l'interprétation des différents résultats. L'analyse du bilan thermique, le choix des climatiseurs et le dimensionnement du système solaire photovoltaïque pour l'alimentation électrique des climatiseurs, révèlent que le projet est techniquement faisable. D'autre part,

l'interprétation des résultats de l'étude financière permet de compléter l'étude de faisabilité technique, grâce à une rentabilité satisfaisante, malgré les coûts d'investissements relativement élevés. La figure ci-après est une visualisation du CII et du CE sur une durée de 07 ans.

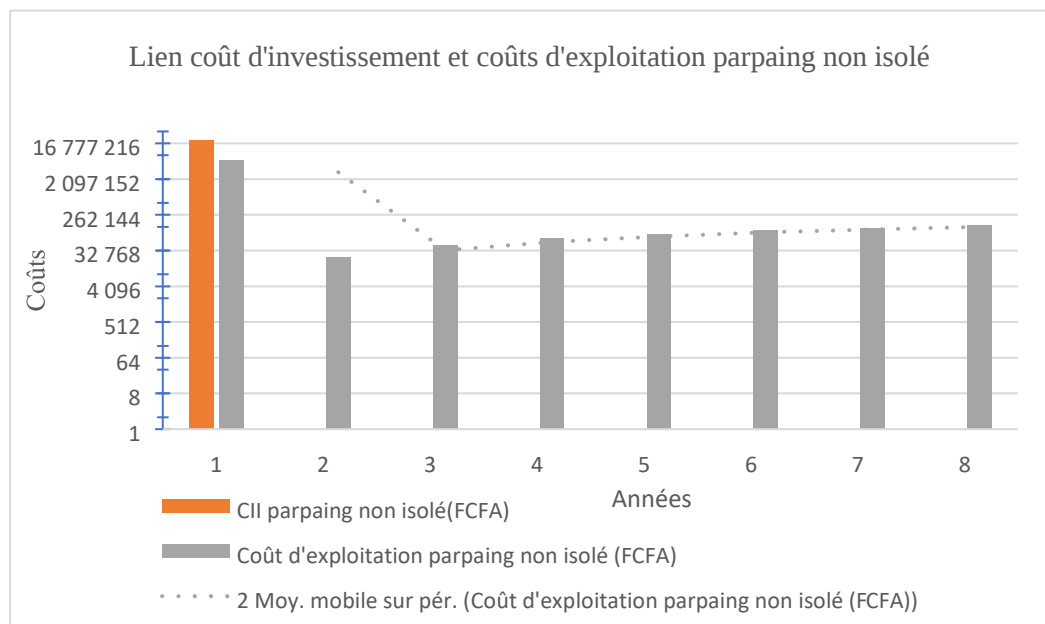


Figure 23 : Evolution du CE par rapport au CI sur une durée de 7 ans

Ce graphe montre que les CE sont quasiment constants à partir de la deuxième année. Le CE élevé (6 240 318 FCFA) de la première année est dû aux coûts d'opération liés à l'installation, et la pose (5 850 354 FCFA), et aux coûts d'entretien qui sont fonction du CII (390 024 FCFA) Il est retenu alors que, pour un local en parpaing de ciment creux d'épaisseur 15 cm, associé à un isolant thermique d'épaisseur 20 cm et de résistance thermique 5, 10 W.m².K⁻¹, il est possible d'effectuer une climatisation solaire photovoltaïque pour un CII de 23 494 987 FCFA rentabilisable à un taux de 30%, sur une durée maximale de 6 ans et 22 jours, et CE moyen de

852 690 FCFA en 07 ans, le tout sur une durée de vie de l'installation photovoltaïque de 25 ans.

VIII. IMPACT ENVIRONNEMENTAL :

L'énergie électrique utilisée par les systèmes de climatisation actuels au Burkina Faso est produite pour la plupart à partir des combustibles fossiles ce qui contribue activement au réchauffement climatique de la terre, auquel le monde fait face aujourd'hui, en plus des températures naturellement très élevées de la ville de Ouagadougou.

Très gourmande en électricité et employant des fluides frigorigènes qui contribuent très fortement à l'effet de serre en cas de fuite, la climatisation a une empreinte carbone qui s'élève

à 1Gt eq CO₂ des GES (Delmastro et al. 2020). A l'échelle mondiale, la climatisation est responsable de 12% des émissions dans les secteurs résidentiels et tertiaires, d'après l'AIE. (Agence Internationale des Energies).

Conformément au cahier des charges qui a été mis à notre disposition, il nous a été recommandé de ne travailler qu'avec des climatiseurs monosplit inverter muraux, de la marque SAMSUNG. Cependant, les modèles AR5500 et AR7500 que nous avons choisis, dont les fiches techniques sont disponibles en Annexe 10 et Annexe 12, sont les seuls climatiseurs muraux monosplit disponibles émanant du catalogue de climatisation le plus récent (2016-2017) de la marque SAMSUNG. Ces modèles fonctionnent grâce au R410 A, un fluide frigorigène très nocif pour l'environnement, bien qu'il soit encore très présent dans la plupart des systèmes de climatisation du Burkina Faso(13).

L'impact de ces machines frigorifiques à compression de vapeur sur l'environnement peut être évalué de façon directe. En effet, les importations totales au Burkina Faso en tonne ODP de 1986 à 2019 des réfrigérants ont atteint 806,10 tonnes, avec une répartition de 59,3% en CFCs et 40,7% pour les HFCFs. Ces gaz contribuent à l'appauvrissement de la couche d'ozone et à l'augmentation de l'effet de serre de l'ordre de 1,1%, car ayant un potentiel de réchauffement global (PRG) sur 100 ans, qui pour certains, vont jusqu'à 14 000 fois celui du CO₂. Afin de respecter les obligations de l'Amendement de Kigali au Protocole de Montréal qui exige aux pays l'utilisation des fluides frigorigènes à faible PRG, ces derniers ont laissé place aux fluides frigorigènes naturels tels que les hydrocarbures, le dioxyde de carbone et le gaz ammoniac. Par ailleurs, les préoccupations environnementales grandissantes conduisent à réexaminer les performances des systèmes classiques de production et de consommation d'énergie afin d'apporter des améliorations. L'économie d'énergie réalisée après l'isolation du local pilote est de l'ordre de 4273,43W, soit 4,27 kW. Donc sur une durée de 24 heures (une journée) cette puissance provient d'une énergie de 120,48 kWh. Donc l'isolation à elle seule permet de réduire 10,25 kg de CO₂, sachant qu'un kWh électrique produit environ 0,1 kg équivalent CO₂, soit 10 000 kWh pour produire 1Gt eq CO₂.

Ainsi, la climatisation des habitats à partir de la chaleur du soleil, qui est une source d'énergie naturelle semble être plus économique à long terme et moins polluante. Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire au Burkina Faso est lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossiles diminueront), mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejet polluant (fumées contenant du CO₂ et des NO_x par les centrales thermiques de la

SONABEL. D'autre part, le choix d'un isolant fait à base de coton recyclé vient accroître le caractère écologique du projet

IX. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Au terme de notre étude, nous avons atteint les objectifs spécifiques et globaux qui ont été fixées. Il était question d'identifier les paramètres physiques du local tels que la superficie totale, le type et l'épaisseur et les paramètres thermo-physiques des différents matériaux de construction utilisés. Ensuite, faire le choix justifié du type d'isolation et de l'isolant thermique adéquat, effectuer la réalisation du bilan thermique des locaux, tout en différenciant les locaux sans isolation de ceux avec isolation. Par la suite, nous avons fait le choix de la machine de production de froid (du climatiseur) nécessaire correspondante à chaque scénario (local avec isolation et local sans isolation), tout en recueillant les informations techniques utiles pour dimensionner le système d'alimentation électrique nécessaire. Le dimensionnement du système solaire photovoltaïque pouvant couvrir les différentes puissances de climatisation respectives a ainsi été réalisé, afin d'estimer le matériel solaire nécessaire pour l'alimentation électrique du local.

Il est retenu que, pour un local en parpaing de ciment creux d'épaisseur 15 cm, associé à un isolant thermique d'épaisseur 20 cm et de résistance thermique $5, 10 \text{ W.m}^2.\text{K}^{-1}$, il est possible d'effectuer une climatisation solaire photovoltaïque pour un CII de 23 494 987 FCFA rentabilisable à un taux de 30%, sur une durée maximale de 6 ans et 22 jours, et CE moyen de 852 690 FCFA en 07 ans, le tout sur une durée de vie de l'installation photovoltaïque de 25 ans.

Ainsi, les objectifs globaux visés ont été atteints, conformément au cahier des charges mis à notre disposition. Cependant, bien que notre étude soit faisable, elle fait ressortir des limites liées aux coûts d'investissements initiaux qui sont très élevés pour une population à revenus modestes. Pour des habitats de type F5 et F6 dont les coûts cumulés d'isolation et de climatisation solaire demeurent très élevés, il est préférable d'opter à une climatisation par évaporation pour des locaux déjà existants, et pour des locaux en construction, une conception bioclimatique utilisant des matériaux locaux tels que le BLT favorable pour une climatisation passive. Ces types de locaux (F5 et F6) ne sont pas beaucoup très répandus dans la ville de Ouagadougou, mais avec la croissance de la classe moyenne, ce type d'habitat est en plein développement.

RECOMMANDATIONS

A l'issue de cette étude, les recommandations suivantes devront être prises en compte :

- L'étude réalisée a pour but de mettre sur pied un nouveau service offert par l'entreprise ENERGY&SERVICES, qui consiste à proposer des kits de climatisation solaire (offre consultable à travers les catalogues **en** Erreur ! Source du renvoi introuvable aux ménages de la ville de Ouagadougou, en fonction du type de local d'habitation. Ainsi, il serait judicieux de réaliser des audits énergétiques sur le terrain au préalable, pour un client intéressé par le service, afin de recueillir les données réelles qui constitueront des hypothèses de calcul réalistes et actualisés.
- Les hypothèses et les données utilisées pour effectuer nos calculs proviennent certes d'une revue bibliographique assez pertinente, mais elles ne tiennent pas compte des données actualisées sur l'habitat et les ménages dans la ville de Ouagadougou.
- Il faudra également réaliser une véritable étude d'impact environnemental et social plus approfondie, et une ACV (Analyse du Cycle de Vie) de l'installation, afin de faire ressortir les comparaisons des empreintes carbone d'une climatisation solaire photovoltaïque par rapport à quelques sources d'alimentation fréquemment utilisées telles que le réseau électrique, mais surtout par rapport à la climatisation solaire à absorption

BIBLIOGRAPHIE

1. Ministère de l'énergie du Burkina Faso, STRATÉGIE DANS LE DOMAINE DEL'ÉNERGIE 2019-2023 (2018).
2. A. Autorité de Régulation du Secteur de l'Energie Burkina Faso, RAPPORT ANNUEL D'ACTIVITES 2017 (2017).
3. L. Bakary, LES STRATÉGIES DE DÉVELOPPEMENT DURABLE EN EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE AU BURKINA FASO (2017).
4. Institut national de la statistique et de la démographie, Enquête multisectorielle continue (EMC) 2014, Habitat, assainissement et accès à l'eau potable, (2015).
5. Dr. N'TSOUKPOE Kokouvi Edem et al, FICHE TECHNIQUE, RAPPORT DE L ÉTUDE DE MARCHÉ DU SOLAIRE THERMIQUE: , (2015).
6. Madi Kaboré, Enjeux de la simulation pour l'étude des performances énergétiques des bâtiments en Afrique sub-saharienne (2015).
7. Agnimoan Constant et al, Climatisation solaire à absorption, mode de fonctionnement et description des différents éléments d'une unité de climatisation solaire dans le monde : Revue de littérature.
8. « cahier sectoriel » - bilan 2019 de l'action climat par secteur. Observatoire mondial de l'action climat non-étatique. Publié par l'association climate chance, Édition revue et corrigée - décembre 2019 (2019).
9. EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA CLIMATISATION EN REGION TROPICALE, TOME 2 : EXPLOITATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES.
10. INSD, ANNUAIRE STATISTIQUE Burkina Faso 2018 (2019).
11. Laure pédot, Diébédo Francis Kéré à Gando, comment sa recherche architecturale introduit-t-elle un questionnement climatique en Afrique ? (2013).
12. S. Sidiki, ETUDE COMPARATIVE DE LA VIABILITE DES TECHNOLOGIES DE PRODUCTION D'ELECTRICITE EN AFRIQUE DE L'OUEST EN UTILISANT LE LCOE : CAS DU BURKINA FASO (2014).
13. COMMUNICATION NATIONALE DU BURKINA FASO ADOPTÉE PAR LE GOUVERNEMENT (2001).

14. M. de l'énergie Ministère des infrastructures et du développement, ministère du commerce, de l'industrie et de l'artisanat, ARRETE MINISTERIEL NUMERO 2020-033/ME/MINEFID/MCIA, portant conditions d'éligibilité et modalités de jouissance de l'exonération de la taxe sur la valeur ajoutée sur les importations et les ventes de matériel solaire.
15. Locaux d'habitation, Etude thermique et isolation (1995).

Sites internet :

www.isover.com www.allotoiture.com

www.amazone.fr

www.immoburkina.com

www.alibaba.com

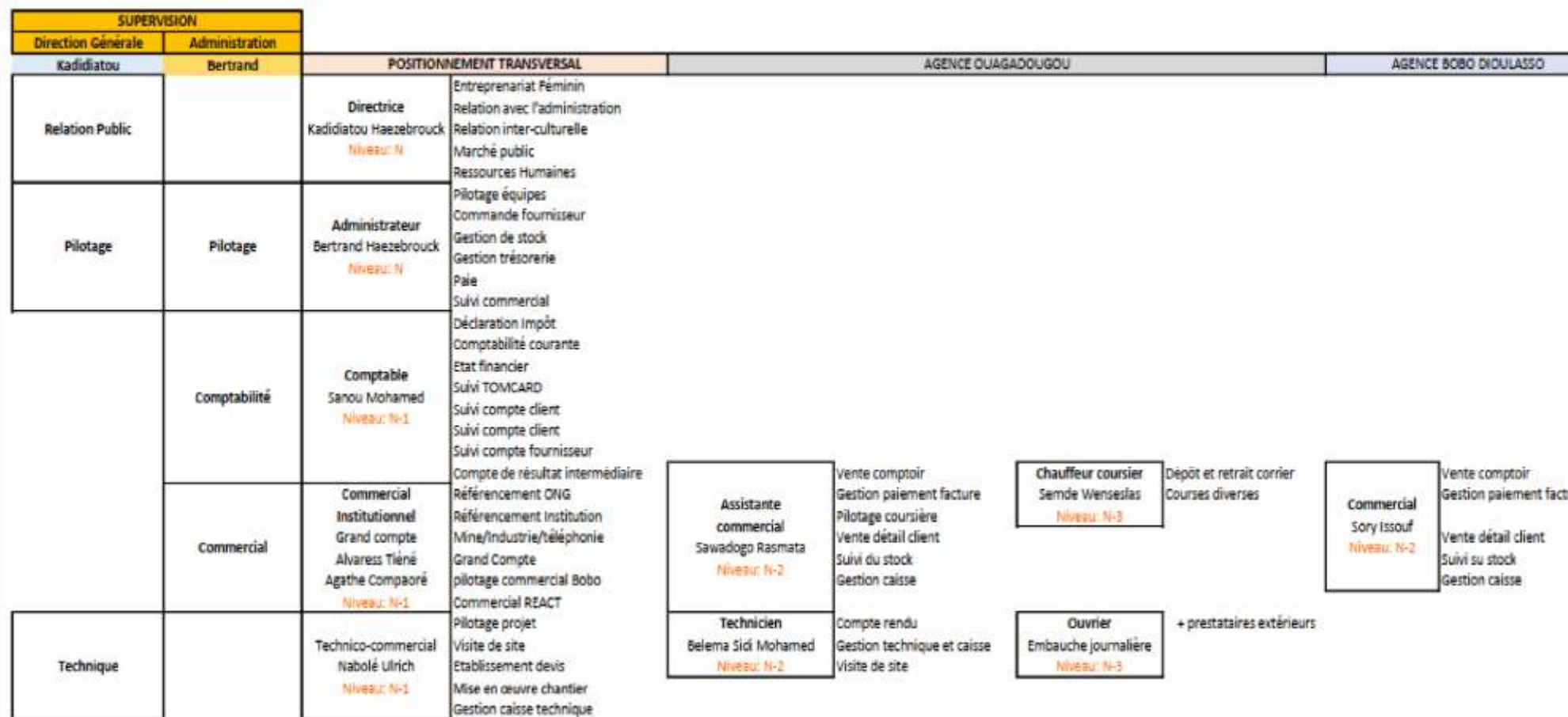
ANNEXES

Annexe 1 : Comparaison des types d'isolation thermique

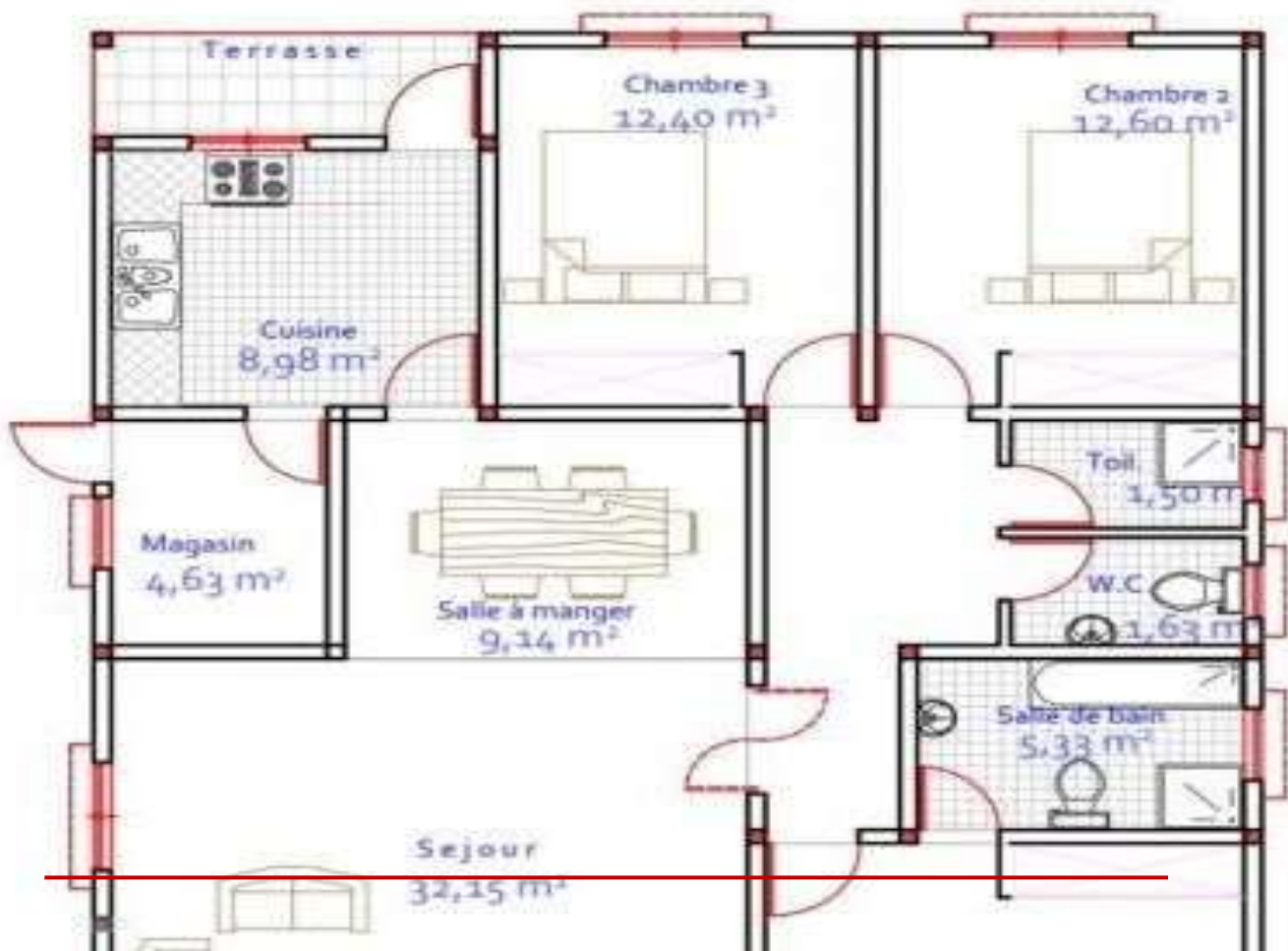
Type d'isolation	Avantages	Inconvénients
Isolation intérieure	• Bon marché • Grand choix de matériaux • Facile à mettre en œuvre en construction neuve	• Difficile à réaliser en rénovation (nécessite de quitter les lieux le temps des travaux) • Réduit la surface habitable
Isolation extérieure	• Meilleure performance d'isolation • Forte réduction des ponts thermiques • Aucune réduction de surface habitable • Réalisation possible sans avoir à quitter les lieux le temps des travaux • Plus-value à la revente	• Exige une autorisation de l'urbanisme • Prix élevé • Mise en œuvre plus compliquée (selon les conditions climatiques et solution choisie) la toiture doit parfois être allongée, pour déborder de nouveau, la luminosité peut diminuer un peu en fonction de l'épaisseur de l'isolation : tableaux

		et appuis de fenêtres sont plus profonds, • Les volets battants doivent être modifiés.
--	--	---

Annexe 2 : Structure organisationnelle de l'entreprise ENERGY&SERVICES



Annexe 3 : Plan de métré local (villa) de type F3



Annexe 4 : Les types d'isolants thermiques et leur nature

Les isolants végétaux :
✦ Laine de chanvre, laine de coco ✦ Laine de lin, laine de coton : ✦ Laine de bois : ✦ Liège ✦ Fibre de bois ✦ Chènevotte : ✦ Paille : ✦ Fibragglo.
Les isolants d'origine animale :
✦ Laine de mouton : peut absorber 1/3 de son poids en eau et, une fois sèche, retrouver son gonflant. Nécessite un parement anti-feu et un traitement antimite. ✦ Plumes d'oie ou plumes de canard : excellent pouvoir hygroscopique, non toxiques, bonne isolation acoustique et thermique, insensibles aux rongeurs, peuvent se tasser verticalement, exigent un parement coupe-feu.
Les isolants issus du recyclage
✦ Métisse : isolant fabriqué à partir de vieux tissus. Insensible aux rongeurs, non toxique, bonne isolation acoustique et thermique, sensible au feu et à l'humidité (poser un frein-vapeur). ✦ Ouate de cellulose : isolant issu du recyclage des prospectus et du papier journal. Insensible aux rongeurs, aux insectes (traitée au sel de bore) et au feu, bonne isolation acoustique et thermique, bon pouvoir hygroscopique, peut se tasser, sensible à l'humidité (poser un parement frein-vapeur). Idéale pour les combles perdus.
Les isolants minéraux

✦ **Laine de verre** : Pas chère, la laine de verre est légère, souple, facile à poser, épouse les irrégularités des supports, bonne isolation acoustique, insensible à l'humidité (mais exige un pare-vapeur), durée de vie peu longue, nonhygroscopique, sensible aux rongeurs, incombustible naturellement.

✦ **Laine de roche** : La laine de roche est fabriquée à partir de roche volcanique.

Les isolants synthétiques

✦ **Le polystyrène expansé** : Comme avantage, il est idéal, disposé sous la forme de panneaux isolants sous la dalle de fondation ou pour isoler une enveloppe de bâtiment, car non biodégradable (comme le sont certains matériaux plus naturels (cellulose, chanvre, paille, etc.). Il est également recyclable Parmi les panneaux à base de plastique, qui sont très peu respectueux de

L'environnement, il s'agit de l'isolant qui est tout de même le plus écologique et intéressant car il est également moins nocif pour la santé des occupants que le polystyrène extrudé (15). Cependant, il est désavantageux sur le plan énergétique. Le ratio d'énergie grise pour le produire est trente fois plus élevé que celui de la cellulose, pour la fabrication d'un pied carré d'isolant. Il est à éviter dans l'isolation des murs car, comme le polystyrène extrudé, il est très inflammable.

✦ **Le polystyrène extrudé** : Il permet d'agir comme pare-vapeur (qui empêche toute circulation d'air et de perspiration. Sur le plan écologique, il constitue un isolant à bannir, autant pour le niveau d'énergie grise encouru pour sa production (plus encore que la version expansée) que pour les gaz toxiques qu'il relâche dans l'atmosphère. Il est plus coûteux et plus toxique que la version expansée et perdra un degré de valeur de résistance thermique sur les deux premières années. Il est à éviter dans l'isolation des murs car, comme la version expansée, il est très inflammable.

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Bilan thermique chambre 1-parpaing non isolé							
Données	Te(°C)	Ti(°C)	Hre(%)	Hri(%)	Hi(kcal/kgAS)	He(kcal/kgAS)	ΔH(kcal/kgAS)
	40	26	30	50	8.37	12.79	4.42
	Xe(g/kgAS)	Xi(g/kgAS)	ΔX(g/kgAS)	Superficie du local(m²)	superficie fenêtre(m²)	Superficie portes(m²)	
	14	9.4	4.6	13.23	1.44	2.5	
Gains de chaleur par conduction	Murs+plancher+plafond		H(W/m²/K)	Surface(m²)	ΔT(°C)	Gains(W)	
	Mur Nord(avec fenêtre)		2.376	10.227	14	340.112	
	Mur Sud(séparation + porte)		2.376	9.167	11	239.532	
	Mur Est(séparation)		2.118	8.333	11	194.131	
	Mur Ouest		2.118	8.333	14	247.076	
	Plafond+toit		1.921	13.230	14	355.825	
	Total gains de chaleur par conduction par les murs						1376.677
	Fenêtres+portes		Surface(m²)	ΔT(°C)	H(W/m²/K)	Gains(W)	
	1 fenêtre Nord		1.440	14.000	1.631	32.87	
	Total gains de chaleur par conduction par les fenêtres et portes						32.87
Gains par rayonnement solaire	vitres+portes		Surface(m²)	g*F	G(W/m²)	Gains(W)	
	1 fenêtre Nord		1.44	0.201	198	57.31	
	Total gains solaires par les vitres et portes						57.31
Apports internes sensibles	Nature		Quantité	Débit volumique d'air renouvelé (m³/h)	Qv	ΔT(°C)	Gains(W)
	Occupants		2	/	/		110
	tube fluorescent		1				229,17
	brasseur		1	/	/		70
	Infiltration d'air à travers les portes et		/	36		14	170.52
	Renouvellement d'air		/	36		14	170.52
	Total des gains sensibles internes						521.04
Apports latents	Nature		Quantité	Débit volumique d'air renouvelé (m³/h)	Qv	ΔX(g/kgAS)	Gains(W)
	Occupants		2	/	/		142.00
	Infiltration d'air à travers les portes et		/	36		4.6	148.96
	Renouvellement d'air		/	36		4.6	148.96
	Total des gains latents						439.91
Total bilan thermique	Total des gains du local(W)						2427.814
	Total des gains du local(W/m²)						183.51
	Total bilan thermique(kW/m²)						0.18

Annexe 6 : Rayonnement solaire tombant sur les parois verticales et horizontales d'un édifice (10 à 15° de latitude nord) Unités : (W/m²)

Janv.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		Fev.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H	49	257	481	687	809	869	835	766	602	380	139		H	52	243	473	671	787	827	823	717	555	395	172
S	79	253	395	497	562	589	578	530	444	293	145		S	81	226	349	442	503	530	522	480	405	285	158
SO	46	89	125	160	300	439	554	619	611	426	205		SO	52	97	135	166	244	393	520	600	610	459	253
O	46	89	125	154	174	183	312	445	505	391	200		O	52	97	135	166	186	196	327	475	551	453	262
NO	46	89	125	154	174	183	181	168	188	209	133		NO	52	97	135	166	186	196	195	182	262	270	179
N	46	89	125	154	174	183	181	168	145	140	94		N	52	97	135	166	186	196	195	182	158	151	106
NE	76	188	204	154	174	183	181	168	145	140	94		NE	102	249	281	231	186	196	195	182	158	151	106
E	121	394	507	488	383	225	181	168	145	140	94		E	152	442	557	534	420	251	195	182	158	151	106
SE	122	421	587	633	596	499	368	227	145	140	94		SE	143	433	586	622	576	471	332	182	158	151	106
Mars	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		Avril	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H	87	298	549	735	900	953	922	765	644	409	190		H	135	361	573	790	867	921	921	774	585	380	166
S	83	181	275	351	403	425	418	380	315	236	141		S	106	145	165	220	257	273	263	231	180	175	132
SO	65	109	148	179	199	327	462	552	575	455	270		SO	81	124	161	191	209	243	375	465	492	421	270
O	65	109	148	179	199	209	356	514	596	502	307		O	81	124	161	191	209	217	392	543	617	516	316
NO	65	109	148	179	199	209	207	288	367	348	231		NO	81	124	161	191	209	217	304	419	481	403	245
N	65	109	148	179	199	209	207	193	168	160	113		N	81	124	161	191	209	217	213	198	172	162	115
NE	168	341	382	332	225	209	207	193	168	160	113		NE	245	422	488	435	327	217	213	198	172	162	115
E	230	509	606	568	440	258	207	193	168	160	113		E	338	567	627	566	425	236	213	198	172	162	115
SE	195	444	563	577	514	396	249	193	168	160	113		SE	281	453	494	478	396	270	213	198	172	162	115
Mai	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		Juin	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
H	161	362	594	716	838	847	829	710	589	383	173		H	152	321	527	713	780	819	766	710	574	395	213
S	167	237	270	284	290	292	291	286	273	247	173		S	194	280	324	345	354	357	355	348	329	287	203
SO	89	129	164	192	209	263	397	501	552	467	303		SO	87	127	161	187	204	301	431	532	582	491	332
O	89	129	164	192	209	216	393	537	607	509	324		O	87	127	161	187	204	211	375	519	593	505	339
NO	89	129	164	192	209	216	283	374	407	349	224		NO	87	127	161	187	204	211	222	314	356	320	219
N	89	129	164	192	209	216	211	196	170	163	118		N	87	127	161	187	204	211	207	193	169	165	122
NE	236	364	407	378	292	216	211	196	170	163	118		NE	211	321	356	325	240	211	207	193	169	165	122
E	376	570	614	548	408	224	211	196	170	163	118		E	370	557	601	540	405	228	207	193	169	165	122
SE	348	518	558	510	407	276	211	196	170	163	118		SE	363	540	588	548	453	326	207	193	169	165	122

Annexe 7 : Bilan thermique chambre 2 local type F3 sans isolation en Parpaing

Bilan thermique chambre 2-parpaing non isolé							
Données	Te(°C)	Ti(°C)	Hre(%)	Hri(%)	Hi(kcal/kgAS)	He(kcal/kgAS)	ΔH(kcal/kgAS)
	40	26	30	50	8.37	12.79	4.42
	Xe(g/kgAS)	Xi(g/kgAS)	ΔX(g/kgAS)	Superficie du local(m²)		superficie fenêtre(m²)	Superficie portes(m²)
	14	9.4	4.6	10.2		1.44	2.5
Gains de chaleur par conduction	Murs+plancher+plafond		H(W/m²/K)	Surface(m²)	ΔT(°C)	Gains(W)	
	Mur Nord(avec fenêtre)		2.376	10.227	14	340.112	
	Mur Sud(séparation + porte)		2.376	9.167	11	239.532	
	Mur Est(séparation)		2.118	8.333	11	194.131	
	Mur Ouest(local contigue climatisé)		2.118	8.333	0	0.000	
	Plafond+toit		1.92	10.2	14	274.332	
	Total gains de chaleur par conduction par les murs						1048.108
	Fenêtres+portes		Surface(m²)	ΔT(°C)	H(W/m²/K)	Gains(W)	
	1 fenêtre Nord		1.44	14	1.631	32.874	
	Total gains de chaleur par conduction par les fenêtres et portes						32.87
Gains par rayonnement solaire	vitres+portes		Surface(m²)	g*F	G(W/m²)	Gains(W)	
	1 fenêtre Nord		1.44	0.201	198	57.30912	
	Total gains solaires par les vitres et portes						57.309
Apports sensibles							
	Occupants	2	/	/	110		
	tube fluorescent	1			229,17		
	brasseur	1	/	/	70		
	Infiltration d'air à travers les portes et	/	36	14	170.52		
	Renouvellement d'air	/	36	14	170.52		
	Total des gains sensibles internes						521.04
Apports latents	Nature		Quantité	Débit volumique d'air renouvelé Qv	ΔX(g/kgAS)	Gains(W)	
	Occupants		2	/	/	142.00	
	Infiltration d'air à travers les portes et		/	36	4.6	148.96	
	Renouvellement d'air		/	36	4.6	148.96	
	Total des gains latents						439.91
Total bilan thermique	Total des gains du local(W)						2099.246
	Total des gains du local(W/m²)						205.81
	Total bilan thermique(kW/m²)						0.21

Annexe 8 : Bilan thermique cuisine local type F sans isolation en Parpaing

Bilan thermique chambre 2-parpaing non isolé							
EFFICACITE CLIMATISANTION	TECHNIQUE : CONFORTE (°C)	RECHERME (°C)	MOU ET EN (°C)	NERGIE (kWh)	HAUTEUR (m)	APR (kgAS)	ES (kgAS)
	26	30	50	8.37	12.79	4.42	
Données							
	Xe (g/kgAS)	Xi (g/kgAS)	ΔX(g/kgAS)	Superficie du local(m²)	superficie fenêtre(m²)	Superficie portes(m²)	
	14	9.4	4.6	7	1.44	2.5	
Gains de chaleur par conduction	Murs+plancher+plafond		H(W/m²/K)	Surface(m²)	ΔT(°C)	Gains(W)	
	Mur Nord(avec 1 fenêtre+1 porte)		2.376	7.727	14	256.969	
	Mur Sud(séparation + 2 portes)		2.376	6.667	11	174.205	
	Mur Est(local contigu climatisé)		2.118	5.550	0	0.000	
	Mur Ouest		2.118	5.550	14	164.552	
	Plafond+toit		1.92	7	14	188.267	
	Total gains de chaleur par conduction par les murs					783.994	
	Fenêtres+portes		Surface(m²)	ΔT(°C)	H(W/m²/K)	Gains(W)	
	1 fenêtre Nord		1.44	14	1.631	32.874	
	Total gains de chaleur par conduction par les fenêtres et portes					32.87	
Gains par rayonnement solaire	vitres+portes		Surface(m²)	g°F	G(W/m²)	Gains(W)	
	1 fenêtre Nord		1.44	0.201	198	57.30912	
	1 porte Nord		2.5	0.201	198	99.495	
	Total gains solaires par les vitres et portes					57.309	
Apports sensibles							
	Occupants		4	/	/	220	
	tube fluorescent		1			229,17	
	brasseur		1	/	/	70	
	Infiltration d'air à travers les		/	72	14	341.04	
	Renouvellement d'air		/	72	14	341.04	
	Total des gains sensibles internes					972.08	
Apports latents	Nature		Quantité	Débit	ΔX(g/kgAS)	Gains(W)	
	Occupants		4	/	/	284.00	
	Infiltration d'air à travers les		/	72	4.6	297.91	
	Renouvellement d'air		/	72	4.6	297.91	
	Total des gains latents					879.83	
Total bilan thermique	Total des gains du local(W)					2726.086	
	Total des gains du local(W/m²)					389.44	
	Total bilan thermique(kW/m²)					0.39	

Annexe 9 : Bilan thermique séjour + salle à manger local F3 sans isolation en Parpaing

CLIMATISATION							
Données	Te(°C)	Ti(°C)	Hre(%)	Hri(%)	Hi(kcal/kgAS)	He(kcal/kgAS)	ΔH(kcal/kgAS)
	40	26	30	50	8.37	12.79	4.42
	Xe(g/kgAS)	Xi(g/kgAS)	ΔX(g/kgAS)	Superficie du local(m²)		superficie fenêtre(m²)	Superficie portes(m²)
	14	9.4	4.6	20		1.44	2.5
Gains de chaleur par conduction	Murs+plancher+plafond		H(W/m²/K)	Surface(m²)	ΔT(°C)	Gains(W)	
	Mur Nord(local contigu		2.376	7.727	0	0.000	
	Mur Sud		2.376	20.833	14	692.863	
	Mur Est		2.118	13.790	0	0.000	
	Mur Ouest(séparation)		2.118	11.670	11	271.861	
	Plafond+toit		1.92	20	14	537.907	
	Total gains de chaleur par conduction par les murs					1502.630	
	Fenêtres+portes		Surface(m²)	ΔT(°C)	H(W/m²/K)	Gains(W)	
	3 fenêtres Est		4.32	14	1.631	98.6211	
	1 porte Est		2.5	14	1.631	57.0724	
	2 portes Ouest		5	11	1.631	89.6852	
	3 fenêtres Ouest		4.32	14	1.631	98.6211	
	Total gains de chaleur par conduction par les fenêtres et portes					344.00	
Gains par rayonnement solaire	vitres+portes		Surface(m²)	g*F	G(W/m²)	Gains(W)	
	3 fenêtres Est		4.32	0.201	198	171.92736	
	1 porte Est		2.5	0.201	198	99.495	
	2 portes Ouest		5	0.201	543	545.715	
	3 fenêtres Ouest		4.32	0.201	543	471.49776	
	Total gains solaires par les vitres et portes					817.137	
Apports sensibles							
	Occupants	6	/	/	330		
	tube fluorescent	2			229,17		
	brasseur	2	/	/	70		
	Infiltration d'air à travers les	/	36	14	170.52		
	Renouvellement d'air	/	36	14	170.52		
	Total des gains sensibles internes					741.04	
Apports latents	Nature		Quantité	Débit volumique d'air renouvelé Qv (m3/h)	ΔX(g/kgAS)	Gains(W)	
	Occupants		6	/	/	426.00	
	Infiltration d'air à travers les		/	108	4.6	446.87	
	Renouvellement d'air		/	108	4.6	446.87	
	Total des gains latents					1319.74	
	Total des gains du local(W)					4724.551	

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Total bilan thermique	Total des gains du local(W/m²)	236.23
	Total bilan thermique(kW/m²)	0.24

Annexe 10 : Fiche technique climatiseur SAMSUNG AR5500 2,5 CV



SAMSUNG			AR5500			
Unité intérieure			AR09KSW5BWKNET	AR12KSW5BWKNET	AR18KSW5BWKNET	AR24KSW5BWKNET
Unité extérieure			AR09KSW5BWKXET	AR12KSW5BWKXET	AR18KSW5BWKXEU	AR24KSW5BWKXEU
Unité intérieure compatible Mono/Multi			Oui	Oui	Oui	Oui
Table						
Puissance	Froid	KW (min / std / max)	1,3 / 2,5 / 3,3	1,3 / 3,5 / 4	1,6 / 5 / 6	1,8 / 6,8 / 8
	Chaud à +7°C	KW (min / std / max)	1,1 / 3,2 / 4,15	1,1 / 3,8 / 4,65	1,2 / 6 / 8	1,3 / 7,8 / 8,2
	Chaud à -5°C	KW	3,07	3,56	5,69	7,26
	Chaud à -10°C	KW	2,63	3,08	4,77	6,74
Performances énergétiques						
Performances	Froid	SEER	6,1 / A+	6,1 / A+	6,7 / A++	6,1 / A++
	Chaud	SCOP	4 / A+	4 / A+	3,8 / A	3,8 / A
	Froid	Consommation kWh/an	823	823	1437	1658
	Chaud	EER (W/W)	3,73	3,73	3,5	3,01
Déshumidificateur	Froid	COP (W/W)	3,72	3,73	3,61	3,12
	Chaud	l/hr.	0,9	1,2	1,8	2,4
Débit d'air max.	Unité Intérieure	m³/h	660	720	1140	1140
	Unité Extérieure	m³/h	1920	1920	2880	3540
Puissance acoustique	Unité Intérieure	dB(A)	54	56	58	62
	Unité Extérieure	dB(A)	59	62	65	67
Pression sonore	Unité Intérieure (FV / GV)	dB(A)	19 / 37	19 / 38	25 / 41	26 / 43
	Unité Extérieure	dB(A)	45	46	51	52
Données électriques						
Alimentation			220 ~ 240 / 50 / 1			
Puissance absorbée	Froid	W	670	1060	1450	2250
	Chaud	W	860	1020	1660	2500
Intensité nominale	Froid	A	3,6	5	6,8	10
	Chaud	A	4,4	5	7,8	11
Section de câble	Alimentation UE*	Φ / mm	362,5	362,5	362,5	362,5
	Interconnexion électrique UI*	Φ / mm	361,5	361,5	361,5	361,5
	Interconnexion de communication (bus)	Φ / mm	260,75	260,75	260,75	260,75
Disjoncteur*			A			
Dimensions et poids						
Dimensions nettes (L x H x P)	Unité Intérieure	mm	826 x 261 x 261	826 x 261 x 261	1065 x 301 x 294	1065 x 301 x 294
	Unité Extérieure	mm	720 x 548 x 265	720 x 548 x 265	880 x 638 x 310	880 x 793 x 310
	Unité Intérieure	kg	9,5	9,5	13	13,5
Poids net	Unité Extérieure	kg	28,5	28,5	43,5	52,5
Informations techniques						
Réfrigérant	Type		R410A	R410A	R410A	R410A
	Charge d'usine (pour 5 m)	g	950	950	1150	1450
	Charge additionnelle	g / m	15	15	15	15
Diamètre de raccordement	Liquide	pouces	1 / 4	1 / 4	1 / 4	1 / 4
	Gaz	pouces	3 / 8	3 / 8	1 / 2	5 / 8
Longueur de raccordement	Min / Max	m	5 / 15	5 / 15	5 / 30	5 / 30
	Dérivée	m	8	8	15	15
Evacuation des condensats						
Diamètre tuyau			ØD 20 / ID 18			

Annexe 11 : Feuille excel du dimensionnement PV du local de type F3

			Dimensionnement PV				
Champ PV							
Puissance crête(kWc)	60	60000			Rayonnement solaire moyen(kWh/ m²/j)	5.15	
Caractéristiques des modules PV							
Poid(kg)	Puissance nominale en (W)	Tension Vmpp en (V)	Tension en circuit ouvert Voc (V)	Imp (A)	Courant de court-circuit Isc (A)	Superficie du panneau(m²)	Tension nominale du module(V)
22.5	330	37.3	44.72	8.86	9.57	1.94	/
Configuration du champ PV							
Nombre total de modules du champ PV	Nombre de modules en série par sous champ	Nombre de strings par Sous champ	Nombre total de strings du champ PV	Puissance délivrée par sous champs (Wc)	Tension nominale par sous champ PV(Vsyst)	Intensité maximale de CC ar string PV(A)	Nombre de sous champ
182	4	3	48	3750.00	48	9.57	16
Surface totale du champ PV avec espace de circulation(m²)	Tension maximale en circuit ouvert(V)	Intensité maximale de courtcircuit du champ PV(A)	Ratio de performance(PR)	Puissance crête du champ après choix des modules et du nombre(Wc)			
459	178.88	28.71	0.75	60060			
Caractéristiques des onduleurs							

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Tension nominale d'entrée du système en (V)	Tension d'entrée max. en (V)	Puissance (s) max en sortie (VA)	Tension(s) d'entrée min en (V)	courant d'entrée DC max en (A)	Tension d'entrée nominale max en (V)	Puissance (s) entrée onduleur(W)	Rendement(s) onduleur
48	1000	5000	38	59	66	3895	0.95
	Choix de(s) l'onduleur		Convertisseur Phoenix 48/3000/5000 -230V V.E Bus				
Batteries							
Coefficient de sécurité pour batteries	Tension V _{syst} nominal e du générate ur PV en (V)	Profonde ur de décharge DM	Courant total des équipements (récepteurs DC et AC) en (A)	Besoins journaliers majorés(W h/j)	Rendement batterie	Nombre de batteries en série par strings(N _s)	Nombre de strings de batteries(N _p)
	48	0.5		19693	0.8	4	4
Nombre de jours d'autonomie	Capacité de Cbat de la batterie choisie(Ah)	Capacité totale du parc de batteries après choix(Ah)	Tension nominale de la batterie choisie(V)	Capacité minimale Cbat du parc de batteries(Ah)	Type de batterie(constructeur)		
1	265	1060	12	1026	12V/220Ah AGM Deep Cycle Batt.		

Régulateur						
Courant nominal du régulateur (I _{nr}) en A	Tension nominale du régulateur (égale à la tension nominale du champ PV) en V	Tension PV max Voc admissible de circuit ouvert du champ PV	Courant de court-circuit I _{cc} admissible du champ PV (A)	Rendement	Choix du régulateur	
60	48	250	35	0.99	Contrôleur de charge SmartSolaMPPT 250/60-Tr victron energy	

Annexe 12 Fiche technique climatiseur SAMSUNG AR7500:

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION



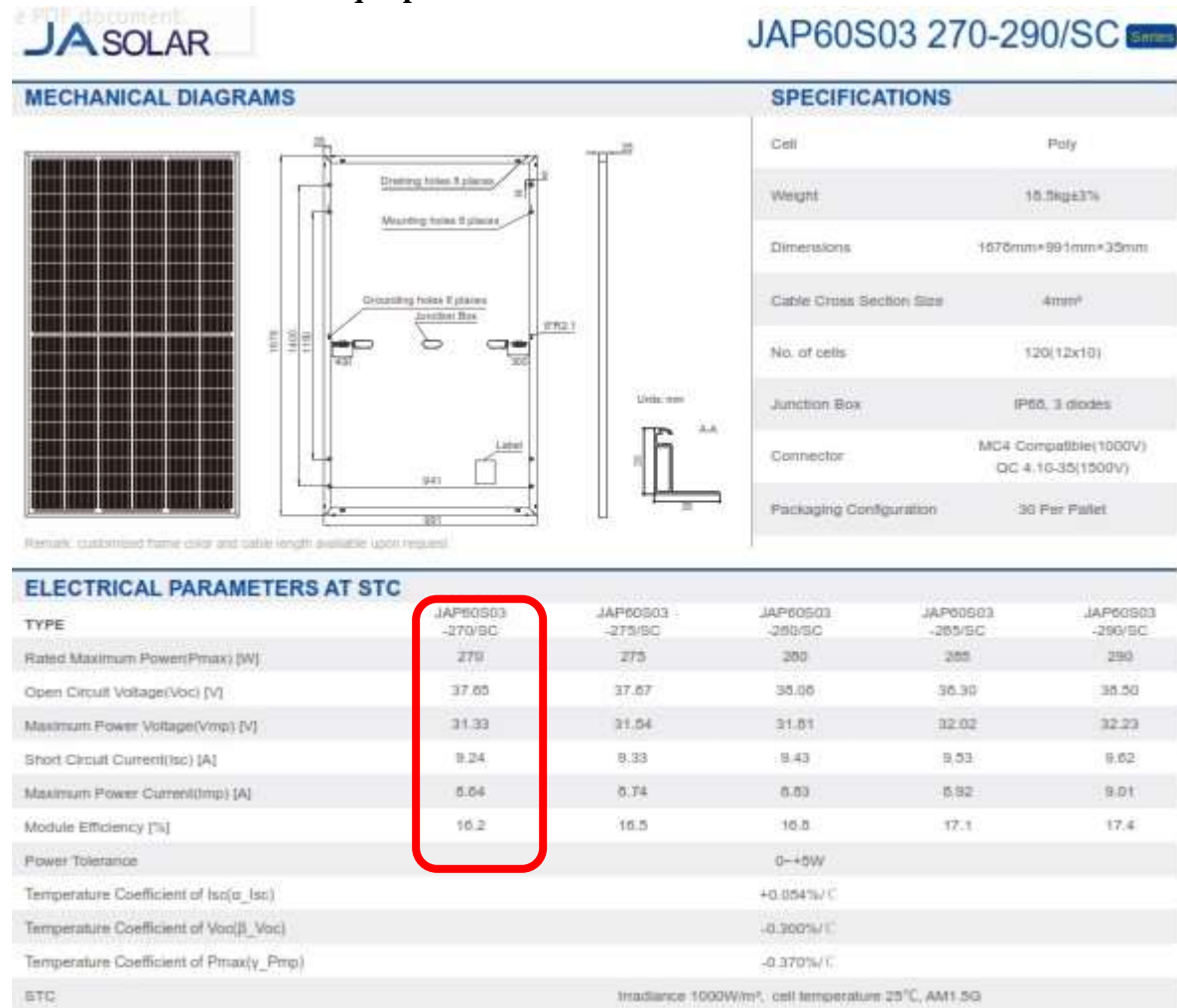
Gamme			AR7500			
Unité Intérieure			AR09KSP0BWKKEU	AR12KSP0BWKKEU	AR18KSP0BWKKEU	AR24KSP0BWKKEU
Unité Extérieure			AR09KSP0BWKKEU	AR12KSP0BWKKEU	AR18KSP0BWKKEU	AR24KSP0BWKKEU
Unité Intérieure compatible Mono/Mini			Out	Out	Out	Out
Table						
Puissance	Froid	KW (min / std / max)	0,97 / 2,5 / 3,3	0,97 / 3,3 / 4	1,6 / 5 / 7	2,2 / 6,8 / 8
	Chaud à +7°C	KW (min / std / max)	0,97 / 3,2 / 5,4	0,97 / 4 / 5,8	1,2 / 6 / 8	1,9 / 8 / 10
	Chaud à -5°C	KW	3,35	3,88	5,87	7,85
	Chaud à -10°C	KW	2,68	3,16	5,09	7,03
Performances énergétiques						
Performances	Froid	SEER	7,1 / A++	6,7 / A++	7 / A++	7 / A++
		Consommation kWh/an	123	183	250	340
	Chaud	SCOP	4,6 / A++	4,6 / A++	4 / A+	4 / A+
		Consommation kWh/an	730	863	1575	1575
Dés humidificateur	Froid	EER (W/W)	4,24	3,61	3,9	3,3
	Chaud	COP (W/W)	4,1	3,61	4,11	3,31
Débit d'air max.	Unité Intérieure	l/h	0,9	1,2	1,8	2,4
	Unité Extérieure	m³/h	660	720	1080	1140
Puissance acoustique	Unité Intérieure	dB(A)	56	58	58	62
	Unité Extérieure	dB(A)	59	62	65	67
Pression sonore	Unité Intérieure (Pv / Gv)	dB(A)	16 / 38	16 / 40	25 / 42	26 / 43
	Unité Extérieure	dB(A)	43	46	51	52
Données électriques						
Alimentation		V / Hz / Φ	220-240 / 50 / 1	220-240 / 50 / 1	220-240 / 50 / 1	220-240 / 50 / 1
Puissance absorbée	Froid	W	590	870	1280	2060
	Chaud	W	780	1050	1460	2280
Intensité nominale	Froid	A	3,2	4,8	6	9
	Chaud	A	3,6	5	6,8	10,8
Section de câble	Alimentation UE*	Φ / mm	362,5	362,5	362,5	362,5
	Interconnexion électrique UI*	Φ / mm	361,5	361,5	361,5	361,5
	Interconnexion de communication (bus)	Φ / mm	260,75	260,75	260,75	260,75
Disjoncteur*		A	6	10	12	20
Dimensions et poids						
Dimension nettes (L x H x P)	Unité Intérieure	mm	826 x 261 x 261	826 x 261 x 261	1065 x 301 x 294	1065 x 301 x 294
	Unité Extérieure	mm	790 x 545 x 285	790 x 545 x 285	880 x 793 x 310	880 x 793 x 310
Poids net	Unité Intérieure	kg	10,2	10,2	15,5	15,5
	Unité Extérieure	kg	34,5	34,5	52,5	52,5
Informations techniques						
Régulateur	Type		R410A	R410A	R410A	R410A
	Charge d'usine (pour 5 m)	g	1100	1100	1500	1500
	Charge additionnelle	g / m	15	15	15	15
Diamètre de raccordement	Gaz	pouces	1 / 4	1 / 4	1 / 4	1 / 4
	Liquide	pouces	3 / 8	1 / 2	5 / 8	5 / 8
Longueur de raccordement	Min / Max	m	5 / 15	5 / 15	11079,0	5 / 30
	Dévié	m	8	8	15	15

Annexe 13 : Fiche technique module blue power victron energy

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Référence de l'article	Description	Poids net	Données électriques sous STC (1)							
			Puissance nominale	Tension de puissance	Courant de puissance	Tension de circuit ouvert	Courant de court-circuit			
			Pmax	Vmax	Impp	Voc	Isc			
		Kg	W	V	A	V	A			
SPP040201200	20W-12V Poly 440 x 350 x 25mm séries 4a	1.9	20	18.4	1.09	21.90	1.18			
SPP040301200	30W-12V Poly 655 x 350 x 25mm séries 4a	2.8	30	18.2	1.66	21.80	1.80			
SPP040451200	45W-12V Poly 425 x 668 x 25mm séries 4a	3.1	45	19.1	2.36	22.90	2.55			
SPP040601200	60W-12V Poly 545 x 668 x 25mm séries 4a	4	60	19.3	3.12	23.10	3.37			
SPP040901200	90W-12V Poly 780 x 668 x 30mm séries 4a	6.1	90	19.5	4.61	23.44	4.98			
SPP041151200	115W-12V Poly 1015 x 668 x 30mm séries 4a	8	115	18.94	6.08	22.73	6.56			
SPP041751200	175W-12V Poly 1485 x 668 x 30mm séries 4a	12	175	18.3	9.56	21.9	10.24			
SPP032602000	260W-20V Poly 1640 x 992 x 40mm séries 3a	17	260	30	8.66	36.75	9.30			
SPP042702000	270W-20V Poly 1640 x 992 x 35mm séries 4a	18.4	270	31.7	8.52	38.04	9.21			
SPP043302400	330W-24V Poly 1950 x 992 x 40mm séries 4a	22.5	330	37.3	8.86	44.72	9.57			
Module	SPP 040201200	SPP 040301200	SPP 040451200	SPP 040601200	SPP 040901200	SPP 041151200	SPP 041751200	SPP 032601200	SPP 042702000	SPP 043302400
Puissance nominale (± 5 % tolérance)	20W	30W	45W	60W	90W	115W	175W	260W	270W	330W
Type de cellule	Polycristalline									
Nombre de cellules en série	36							60	60	72
Tension de système maximale(V)	1000 V									
Coefficient de température de Pmax (%)	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.45/°C	-0.47/°C	-0.45/°C
Coefficient de température de Voc (%)	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.35/°C	-0.34/°C	-0.35/°C
Coefficient de température de Isc (%)	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.04/°C	+0.045/°C	+0.04/°C
Gamme de température	-40 °C à +85 °C									
Capacité de charge maximale en surface	200 kg/m²									
Résistance à l'agression chimique	23 m/s, 7,53 g									
Type de fiche de connexion	PV-LH0805	PV-LH0806			PV-LH0801	PV-LH0808			PV-LH0812	
Longueur de câble / Connecteur	Pas de câble						900 mm / MC4			

Annexe 14 : Fiche technique panneau solaire JA solar



Annexe 15 : Fiche technique convertisseur Phoenix compact

Convertisseur Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Fonctionnement en parallèle et triphasé	Oui				
CONVERTISSEUR					
Plage de tension d'entrée (V CC)	9,5 – 17 V 19 – 33 V 38 – 66 V				
T sortie	Tension de sortie : 230 VAC ± 2 % Fréquence : 50 Hz ± 0,1 % (1)				
Puissance de sortie du convertisseur à 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Puissance du convertisseur à 25 °C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Puissance du convertisseur à 40 °C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Puissance du convertisseur à 65 °C (W)	600	800	1000	1700	3000
Puissance de pointe (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Efficacité maxi 12/ 24 / 48 V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Puissance de charge zéro 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Puissance de charge zéro en mode AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Puissance de charge zéro en mode recherche (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GÉNÉRALITÉS					
Relais programmable (3)	Oui				
Protection (4)	a – g				
Port de communication VE.Bus	Pour un fonctionnement en parallèle ou triphasé, suivi à distance et intégration du système				
Interrupteur marche/arrêt à distance	Oui				
Caractéristiques communes	Température de fonctionnement : -40 à +65 °C (refroidissement par ventilateur) Humidité (sans condensation) : maxi 95 %				
BOÎTIER					
Caractéristiques communes	Matériau et couleur : aluminium (bleu RAL 5012) Degré de protection : IP21				
Battery-connection	Câbles batterie de 1,5 mètres inclus		Écrous M8	2+2 Écrous M8	
230 V AC-connection	Fiche G-ST18I		Pince à ressort	Bornes à vis	
Poids (kg)	10		12	18	30
Dimensions (HxLxP en mm)	375 x 214 x 110		520 x 255 x 125	362 x 258 x 218	444 x 328 x 240

Annexe 16 : Fiche technique contrôleur de charge MPPT smart solar

Contrôleur de charge SmartSolar	250/60	250/70	250/85	250/100
Tension de la batterie	12 / 24 / 48	Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)		
Courant de charge nominal	60A	70A	85A	100A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	860W	1000W	1200W	1450W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Puissance nominale PV, 36V 1a, b)	2580W	3000W	3600W	4350W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	35 A (30 A max. par connex. MC4)	70 A (30 A max. par connex. MC4)		
Tension PV maximale de circuit ouvert	250 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 245 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement			
Efficacité maximale	99 %			
Autoconsommation	Moins de 35mA @ 12V / 20 mA @ 48 V			
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)			
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)			
Tension de charge « d'égalisation »	Configuration par défaut : 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (réglable)			
Algorithme de charge	Algorithme adaptatif à étages multiples (huit algorithmes préprogrammés) ou algorithme défini par l'utilisateur.			
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protection	Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe			
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40 °C)			
Humidité	95 %, sans condensation			
Altitude maximale	5000 m (sortie nominale complète jusqu'à 2000 m)			
Conditions environnementales	Intérieur, sans climatisation			
Niveau de pollution	PD3			
Port de communication de données	VE.Direct ou Bluetooth			
On/off à distance.	Oui (connecteur à deux pôles)			
Relais programmable	DPST Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC			
Fonctionnement en parallèle	Oui			
BOÎTIER				
Couleur	Bleu (RAL 5012)			
Bornes PV 3)	35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Deux paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)		35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Trois paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)	
Bornes de batterie	35 mm² / AWG2			
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)			
Poids	3 kg		4,5 kg	
Dimensions (h x l x p en mm)	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 mm Modèles MC4 : 215 x 250 x 95 mm		Modèles Tr : 216 x 295 x 103 Modèles MC4 : 246 x 295 x 103	

Annexe 17 : Catalogue des prix des batteries AGM Deep cycle

 BATTERIE	
Batterie AGM:	
Désignation	Prix Unitaire
AGM Deep Cycle	
6V/240Ah AGM Deep Cycle Batt.	207 500
12V/8Ah AGM Deep Cycle Batt.	16 250
12V/14Ah AGM Deep Cycle Batt.	28 750
12V/22Ah AGM Deep Cycle Batt.	38 750
12V/38Ah AGM Deep Cycle Batt.	91 250
12V/60Ah AGM Deep Cycle Batt.	105 000
12V/66Ah AGM Deep Cycle Batt.	143 750
12V/90Ah AGM Deep Cycle Batt.	152 500
12V/110Ah AGM Deep Cycle Batt.	193 750
12V/130Ah AGM Deep Cycle Batt.	227 500
12V/165Ah AGM Deep Cycle Batt.	288 750
12V/220Ah AGM Deep Cycle Batt.	360 000
12V/90Ah AGM Deep Cycle Batt. (M6)	152 500
12V/110Ah AGM Deep Cycle Batt. (M8)	140 000
12V/130Ah AGM Deep Cycle Batt. (M8)	227 500
12V/165Ah AGM Deep Cycle Batt. (M8)	288 750
12V/220Ah AGM Deep Cycle Batt. (M8)	360 000
12V/240Ah AGM Deep Cycle Batt. (M8)	382 500
AGM SuperCycle	
12V/12,5Ah AGM Super Cycle Batt.	25 000
12V/25Ah AGM Super Cycle Batt. (M5)	41 250
12V/38Ah AGM Super Cycle Batt. (M5)	80 000
12V/60Ah AGM Super Cycle Batt. (M5)	107 500
12V/100Ah AGM Super Cycle Batt. (M6)	193 750
12V/125Ah AGM Super Cycle Batt. (M8)	245 000
12V/170Ah AGM Super Cycle Batt. (M8)	311 250
12V/230Ah AGM Super Cycle Batt. (M8)	398 750
AGM Telecom	



Annexe 18 : Spécifications des câbles AWG



Spécifications de l'AWG

Spécifications de l'AWG

Tableau: UL486E

Grosueur du fil		Ampérage nominal maximal
AWG ou kcmil	mm ²	A
30	0.05	0.5
28	0.08	0.8
26	0.13	1
24	0.20	2
22	0.32	3
20	0.52	5
18	0.82	7
16	1.3	10
14	2.1	15
12	3.3	20
10	5.3	30
8	8.4	50
6	13.3	65
4	21.2	85
3	26.6	100
2	33.6	115
1	42.4	130
1/0	53.5	150
2/0	67.4	175
3/0	85.0	200
4/0	107	230
250	127	255
300	152	285
350	177	310
400	203	335
500	253	380
600	304	420
700	355	460
750	380	475
800	405	490
900	456	520
1000	507	545
1250	633	590
1500	760	625

L'ampérage versus la grosseur du fil

Tableau: UL486E -- Ampérage nominal maximal versus la grosseur de fil pour les conducteurs de cuivre. Ces valeurs sont pour un maximum de trois conducteurs par un chemin de roulement ou câbles (référence: Code Électrique National, ANSI/NFPA 70-1999).

Grosueur de fil et surface de section

Lien approximatif entre la surface de section des conducteurs en mm² et la grosseur des fils (AWG) utilisé en Amérique du Nord (référence: IEC 998-1).

Surface de section mm ²	Grosueur du fil (AWG)
0.5	20
0.75	18
1.0	16
1.5	14
2.5	12
4	10
6	8
10	6
16	4
25	2
35	

Annexe 19 : Fusibles pour PV BUSSMAN EATON

6 — Photovoltaic fuses, holders and blocks

EATON **BUSSMANN**
SERIES

PV 1500 Vdc 10x85mm PV fuses

A range of 10x85mm PV fuses specifically designed for protecting and isolating photovoltaic strings. These fuse links are capable of interrupting low overcurrents associated with faulted PV systems (reverse current, multi-array fault).

Mounts in Bussmann series CHPV15L85 DIN-Rail holder. See page 6-10.



RoHS
COMPLIANT

Agency information

- UL 248-19
- IEC 60269
- RoHS compliant

Features

- Designed for fast-acting protection under low fault current conditions associated with PV systems
- UL and IEC photovoltaic standards for global product acceptance
- Low watts loss for greater PV system efficiency

Typical applications

- Combiner boxes, wire harnesses

Ratings

- Volts 1500 Vdc
- Amps 2.25-30 A
- IR 30 kA, 1 ms

Operating class

- gPV

20 : Fiche technique Fusibles pour PV 30 A

Catalog no.	Amps	P _t (A ² s)		Watts loss (W)	
		Pre-arcing	Total at 1500 Vdc	0.8 I _n	I _n
PV-2.25A10F85L	2.25	3	10	1.4	2.4
PV-2.5A10F85L	2.5	4	10	1.3	2.1
PV-3A10F85L	3	7	20	1.3	2.2
PV-3.5A10F85L	3.5	10	20	1.6	2.6
PV-4A10F85L	4	15	30	1.7	2.8
PV-5A10F85L	5	33	60	1.7	2.8
PV-12A10F85L	12	19	240	2.1	3.5
PV-15A10F85L	15	42	300	2.2	3.6
PV-16A10F85L	16	48	350	2.1	3.5
PV-20A10F85L	20	108	800	2.7	4.5
PV-25A10F85L	25	190	1400	3.4	5.6
PV-30A10F85L	30	268	1090	4.0	6.6

Data sheet no. 10658

PV15M-4A-CT 1500 Vdc in-line PV fuse with crimp terminals

The Hussmann series PV15M-4A-CT is a 1500 Vdc in-line photovoltaic fuse with crimp terminals for use in wire harnesses and other applications where an in-line PV fuse is desirable.

This in-line fuse can be electrically insulated with customer-supplied thermomolding or approved heat-shrink.

atings

- Volts 1500 Vdc
- Amps 4 A
- IR 15 kA DC
- Time constant 3 ms max.



Agency information

UL Recognized, 248-19, File E484317 Vol. 1 Sec. 1, CSA pending, RoHS compliant

Catalog number

- PV15M-4A-CT

Conductor

- Single PV stranded 75/90°C Cu

Operating temperature range

-40°C to 90°C

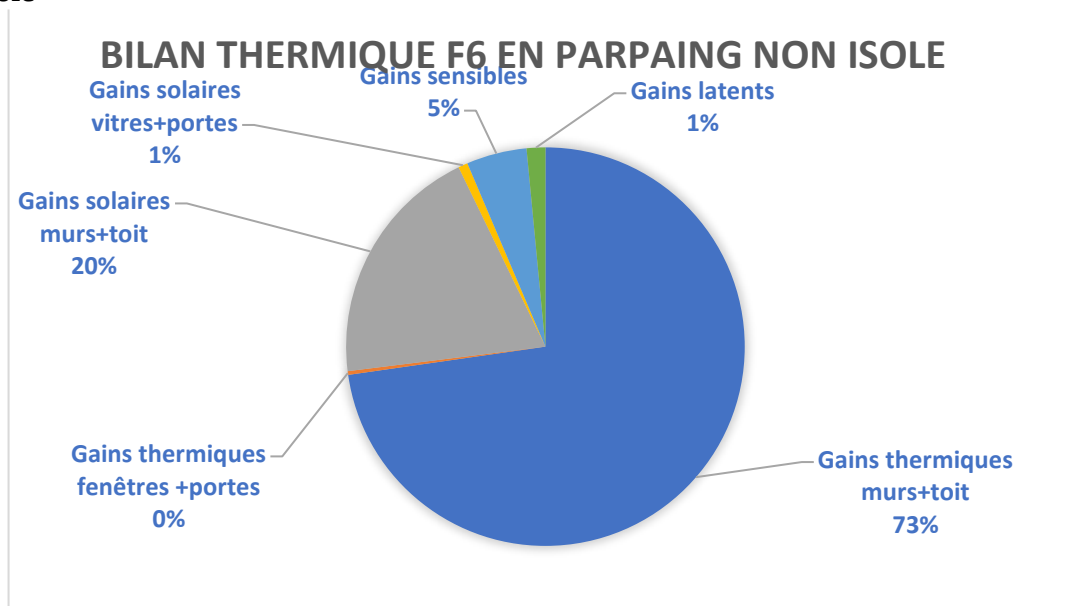
Materials

- Copper terminals with ceramic fuse body

Features

- Crimp terminals eliminate the need for a fuse holder or block
- 1500 Vdc rating is ideally suited for today's efficient, higher-voltage PV systems

Annexe 21 : Figure postes de déperditions du bilan thermique local F6 en parpaing non isolé



Annexe 22 : Fiche technique convertisseur Multiplus chargeur

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

MultiPlus	12 volts 24 volts 48 volts	C 12/900/35 C 24/900/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/90 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
CONVERTISSEUR							
Plage de tension d'entrée (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 60V						
Sortie	Tension de sortie : 230 VCA ± 2% Fréquence : 50 Hz ± 0,1% (1)						
Puissance de sortie du convertisseur à 25°C (VA) (3)	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)	1000	2400	3000	4000	6000	10,000	
Efficacité maximale (%)	92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95	
Puissance de charge zéro (W)	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	15 / 15 / 20	25 / 30	
Consommation à vide en mode recherche (W)	2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15	
CHARGEUR							
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						
GÉNÉRAL							
Sortie auxiliaire (5)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Oui (16 A)	Oui (30 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 +55°C (refroidissement par ventilateur) Humidité (sans condensation) : 95% max.						
BOÎTIER							
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-ST18)			Pince à ressort	Vis bornes 13 mm/10 AWG)		
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	562 x 258 x 218	444 x 328 x 240	

Annexe 23 : Fiche technique isolant METISSE^R



> L'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE PAR EXCELLENCE

Le panneau semi-rigide Metisse[®] est indiqué pour un pose en cloisons et contre-cloisons.

Le produit idéal pour diminuer les nuisances sonores !

PRODUIT

M+ (épaisseur mm)	LARGEUR (m)	LONGUEUR (m)	Valeur R spécifiée
30	0,6	1,2	R=1,28
100			R=2,56
120			R=3,08
140			R=3,72
180			R=5,13

Autres largeurs sur demande :

COMPOSITION

85% coton recyclé

- 15% liant polyester
- Traitement à cœur avec des adjuvants : ignifuges, anti-fongiques et anti-bactériens (1%)

PERFORMANCES

Thermique	Conductivité thermique : $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$
	Chaleur spécifique : $C_p = 1000 \text{ J/kg.K}$ (et règles TH-U)
	Déphasage : 6 à 8h*
Comportement à l'eau	Capacité d'absorption d'eau (EN 1609 - C378) : Wp = 4,08 kg/m²
	Diffusion de la vapeur d'eau (EN 12096 - C378) : $\mu = 2,2$
	Humidification partielle (norme ACETEM) : $\Delta = 0\text{mm}$ (soit aucune variation d'épaisseur constatée)
Mécanique	Résistance traction parallèle (EN 1606-C378) : 173,1 N (10,46 kPa)
	Résistance traction perpendiculaire (EN 1607-C378) : 17,2 N (1,1 kPa)
	Reprise d'épaisseur après compression : 100% après 1 h
Biologique	Résistance fongique (EN ISO 846 - Corrosal) : Classe 0 (Inerte) (le milieu n'est pas propice au développement de moisissures)
Acoustique	Absorption acoustique (EN ISO 954) : $\alpha_w = 0,85$
	Affaiblissement acoustique (cloison 72/98) : Rw = 42 dB (-3,-9)
	Produit seul : Euroclasse E (EN 13501-1 : 2007 CORFAC)
	Produit dans les conditions finales d'utilisation

Annexe 23 : Fiche technique contrôleur de charge MPPT blue solar 100/30/50

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 100/30	MPPT 100/50
Tension de la batterie	Sélection automatique 12/24 V	
Courant de charge nominal	30A	50A
Puissance nominale PV, 12 V (1a, b)	440W	700W
Puissance nominale PV, 24V (1a, b)	880W	1400W
Tension PV maximale de circuit ouvert	100V	100V
Max. PV courant de court-circuit (2)	35A	60A
Efficacité maximale	98%	98%
Autoconsommation	12 V : 30 mA 24 V : 20 mA	
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 V/28,8 V (réglable)	
Tension de charge « float »	Configuration par défaut : 13,8 V/27,6 V (réglable)	
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples	
Compensation de température	-16 mV / °C resp. -32 mV / °C	
Température d'exploitation	-30 à +60°C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40°C)	
Humidité	95 %, sans condensation	
Port de communication de données	VEDirect Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web	
BOÎTIER		
Couleur	Bleu (RAL 5012)	
Bornes de puissance	16 mm² / AWG6	
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)	
Poids	1,3 kg	1,3 kg
Dimensions (h x l x p)	130 x 186 x 70 mm	130 x 186 x 70 mm

Annexe 24 : Fiche technique contrôleur de charge MPPT blue solar 150/35

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 150/35
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)
Courant de charge nominal	35 A
Puissance nominale PV 1a,b)	12 V : 500 W / 24 V 1000 W / 36 V 1500 W / 48 V 2000 W
Max. PV courant de court-circuit 2)	40 A
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement
Efficacité maximale	98 %
Autoconsommation	12 V : 20 mA 24 V : 15 mA 48 V : 10mA
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable)
Tension de charge « float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable)
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C
Protection	Polarité inversée PV Court-circuit en sortie Surchauffe
Température d'exploitation	-30 à +60°C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40°C)
Humidité	95 %, sans condensation
Port de communication de données	VE.Direct Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web
BOÎTIER	
Couleur	Bleu (RAL 5012)
Bornes de puissance	16 mm ² / AWG6
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)
Poids	1,25 kg
Dimensions (h x l x p)	130 x 186 x 70 mm

Annexe 25: Fiche technique contrôleur de charge MPPT Blue Solar 150/45/60/70/100

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Contrôleur de charge BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/100 VE.Can
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 30 V)			
Courant de charge nominal	45A	60A	70A	100A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	650W	800W	1000W	1450W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1300W	1720W	2000W	4350W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	2600W	3440W	4000W	5800W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	50A	50A	50A	70A
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement			
Efficacité maximale	98 %			
Autoconsommation	10 mA			30 mA
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable)			
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable)			
Algorithme de charge	adaptative à étapes multiples			
Compensation de température	-10 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protection	Polarité inversée de la batterie (fusible, non accessible par l'utilisateur) Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe			
Température d'exploitation	-30 à +60°C (puissance nominale en sortie jusqu'à 40°C)			
Humidité	95 %, sans condensation			
Port de communication de données et allumage/arrêt à distance	VEDirect (Consultez notre livre blanc concernant les communications de données qui se trouve sur notre site Web) 150/100 uniquement : VE.Can			
Fonctionnement en parallèle	Oui (pas synchronisé) 150/100: 25 unités maxi.			
BOÎTIER				
Couleur	Bleu (RAL 5012)			
Bornes PV 3)	35 mm² / AWG2 (Modèles Tr), Deux ensembles de connecteurs MC4			
Bornes de batterie	35 mm² / AWG2			
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)			
Poids	3kg			
Dimensions (h x l x p) mm	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 mm Modèles MC4 : 215 x 250 x 95 mm			Tr seulement 210 x 295 x 103

Annexe 26 : Fiche technique contrôleur de charge MPPT Smart Solar 150/45/60/70/100

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Contrôleur de charge SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)				
Courant de charge nominal	45 A	60 A	70 A	85 A	100 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	650 W	860 W	1000 W	1200 W	1450 W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1300 W	1720 W	2000 W	2400 W	2900 W
Puissance nominale PV, 36V 1a, b)	1950 W	2580 W	3000 W	3600 W	4350 W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	2600 W	3440 W	4000 W	4900 W	5800 W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	50 A (30 A max. par connex. MC4)			70 A (30 A max. par connex. MC4)	
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement				
Efficacité maximale	98 %				
Autoconsommation	Moins de 35mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V				
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)				
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)				
Tension de charge « d'égalisation »	Configuration par défaut : 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (réglable)				
Algorithme de charge	Algorithme adaptatif à étapes multiples (huit algorithmes préprogrammés) ou algorithme défini par l'utilisateur.				
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protection	Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe				
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40 °C)				
Humidité	95 %, sans condensation				
Altitude maximale	5000 m (sortie nominale complète jusqu'à 2000 m)				
Conditions environnementales	Intérieur, sans climatisation				
Niveau de pollution	PD3				
Port de communication de données	VE.Direct ou Bluetooth				
On/off à distance.	Oui (connecteur à deux pôles)				
Relais programmable	DPST Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC				
Fonctionnement en parallèle	Oui (pas synchronisé)				
BOÎTIER					
Couleur	Bleu (RAL 5012)				
Bornes PV 3)	35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Deux paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)			35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Trois paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)	
Bornes de batterie	35 mm² / AWG2				
Degré de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)				
Poids	3 kg			4,5 kg	
Dimensions (h x l x p en mm)	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 mm Modèles MC4 : 215 x 250 x 95 mm			Modèles Tr : 216 x 295 x 103 Modèles MC4 : 246 x 295 x 103	

Annexe 28 : Fiche technique contrôleur de charge MPPT Smart Solar 150/70/85/100

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Contrôleur de charge SmartSolar avec interface VE.Can	150/70 VE.Can	150/85 VE.Can	150/100 VE.Can (également disponible sans Bluetooth)
Tension de la batterie	12/24/48 V Sélection automatique (36 V : sélection manuelle)		
Courant de charge nominal	70 A	85 A	100 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	1000 W	1200 W	1450 W
Puissance nominale PV, 24 V 1a, b)	2000 W	2400 W	2900 W
Puissance nominale PV, 36 V 1a, b)	3000 W	3600 W	4350 W
Puissance nominale PV, 48 V 1a, b)	4000 W	4900 W	5800 W
Courant max. de court-circuit PV 2)	50 A (30 A max. par connexion MC4)		70 A (30 A max. par connexion MC4)
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V : maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V : maximum au démarrage et en fonctionnement		
Efficacité maximale	98 %		
Autoconsommation	Moins de 35 mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V		
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)		
Tension de charge « maintien »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VE.Direct ou Bluetooth)		
Tension de charge « d'égalisation »	Configuration par défaut : 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (réglable)		
Algorithme de charge	Algorithme adaptatif à étapes multiples (huit algorithmes préprogrammés) ou algorithme défini par l'utilisateur.		
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Protection	Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe		
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40 °C)		
Humidité	95 %, sans condensation		
Altitude maximale	5000 m (sortie nominale complète jusqu'à 2000 m)		
Conditions environnementales	Intérieur, sans climatisation		
Niveau de pollution	PD3		
Communication de données	VE.Can, VE.Direct et Bluetooth		
On/off à distance	Oui (connecteur à deux pôles)		
Relais programmable	DPST - Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A - Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 V DC, 1 A jusqu'à 60 V DC		
Fonctionnement en parallèle	Oui, fonctionnement synchronisé en parallèle avec VE.Can ou Bluetooth		
BOÎTIER			
Couleur	Bleu (RAL 5012)		
Bornes PV 3)	35 mm² / AWG2 (modèles Tr) Deux paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)	35 mm² / AWG2 (modèles Tr) Trois paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)	
Bornes de batterie	35 mm² / AWG2		
Niveau de protection	IP43 (composants électroniques), IP22 (zone de connexion)		
Poids	3 kg	4,5 kg	
Dimensions (h x l x p) en mm	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 Modèles MC4 : 215 x 250 x 95	Modèles Tr : 216 x 295 x 103 Modèles MC4 : 246 x 295 x 103	

29 : Modèles et sections de câbles pour MPPT smart solar

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Contrôleur de charge SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tension de la batterie	12 / 24 / 48 V Sélection automatique (outil logiciel nécessaire pour sélectionner 36 V)				
Courant de charge nominal	45 A	60 A	70 A	85 A	100 A
Puissance nominale PV, 12 V 1a, b)	650 W	860 W	1000 W	1200 W	1450 W
Puissance nominale PV, 24V 1a, b)	1300 W	1720 W	2000 W	2400 W	2900 W
Puissance nominale PV, 36V 1a, b)	1950 W	2580 W	3000 W	3600 W	4350 W
Puissance nominale PV, 48V 1a, b)	2600 W	3440 W	4000 W	4900 W	5800 W
Courant maxi. de court-circuit PV 2)	50 A (30 A max. par connex. MC4)			70 A (30 A max. par connex. MC4)	
Tension PV maximale de circuit ouvert	150 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 145 V maximum pour le démarrage et le fonctionnement				
Efficacité maximale	98 %				
Autoconsommation	Moins de 35mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V				
Tension de charge « d'absorption »	Configuration par défaut : 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (réglable avec : sélecteur rotatif, écran, VEDirect ou Bluetooth)				
Tension de charge « Float »	Configuration par défaut : 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (réglable : sélecteur rotatif, écran, VEDirect ou Bluetooth)				
Tension de charge « d'égalisation »	Configuration par défaut : 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (réglable)				
Algorithme de charge	Algorithme adaptatif à étapes multiples (huit algorithmes préprogrammés) ou algorithme défini par l'utilisateur.				
Compensation de température	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protection	Polarité inversée PV / Court-circuit de sortie / Surchauffe				
Température d'exploitation	-30 à +60 °C (puissance nominale en sortie complète jusqu'à 40 °C)				
Humidité	95 %, sans condensation				
Altitude maximale	5000 m (sortie nominale complète jusqu'à 2000 m)				
Conditions environnementales	Intérieur, sans climatisation				
Niveau de pollution	PD3				
Port de communication de données	VEDirect ou Bluetooth				
On/off à distance.	Oui (connecteur à deux pôles)				
Relais programmable	DPST	Puissance nominale CA : 240 VCA / 4 A		Puissance nominale CC : 4 A jusqu'à 35 VCC, 1 A jusqu'à 60 VCC	
Fonctionnement en parallèle	Oui (pas synchronisé)				
BOÎTIER					
Couleur	Bleu (RAL 5012)				
Bornes PV 3)	35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Deux paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)			35 mm² / AWG2 (Modèles Tr) Trois paires de connecteurs MC4 (modèles MC4)	
Bornes de batterie	35 mm² / AWG2				
Degré de protection	IP 95 (composants électroniques), IP 22 (zone de connexion)				
Poids	3 kg			4,5 kg	
Dimensions (h x l x p en mm)	Modèles Tr : 185 x 250 x 95 mm Modèles MC4 : 215 x 250 x 95 mm			Modèles Tr : 216 x 295 x 103 Modèles MC4 : 246 x 295 x 103	

30 : Catalogue des prix pour contrôleurs de charge MPPT

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Bluesolar MPPT:

Désignation	Prix Unitaire
BlueSolar MPPT 75/10	47 000
BlueSolar MPPT 75/15	53 000
BlueSolar MPPT 100/15	63 000
BlueSolar MPPT 100/30	119 000
BlueSolar MPPT 150/35	175 000
BlueSolar MPPT 100/50	175 000
BlueSolar MPPT 150/45-Tr ou MC4	295 000
BlueSolar MPPT 150/60-Tr ou MC4	315 000
BlueSolar MPPT 150/70-Tr ou MC4	345 000
BlueSolar MPPT 150/70 CAN-bus	413 000
BlueSolar MPPT 150/85 CAN-bus	500 000
VE.Direct Bluetooth Smart dongle	38 136 6 864 45 000



Smartsolar MPPT:

Désignation	Prix Unitaire
SmartSolar MPPT 75/10	63 000
SmartSolar MPPT 75/15	70 000
SmartSolar MPPT 100/15	80 000
SmartSolar MPPT 100/20	90 000
SmartSolar MPPT 100/20 48V	95 000
SmartSolar MPPT 100/30	145 000
SmartSolar MPPT 100/50	200 000
SmartSolar MPPT 150/35	200 000
SmartSolar MPPT 150/45-Tr ou MC4	315 000
SmartSolar MPPT 150/60-Tr ou MC4	345 000
SmartSolar MPPT 150/70-Tr ou MC4	375 000
SmartSolar MPPT 150/85-Tr ou MC4	440 000
SmartSolar MPPT 150/100-Tr ou MC4	500 000
SmartSolar MPPT 250/60-Tr ou MC4	410 000
SmartSolar MPPT 250/70-Tr ou MC4	465 000
SmartSolar MPPT 250/85-Tr ou MC4	535 000
SmartSolar MPPT 250/100-Tr ou MC4	590 000
SmartSolar Pluggable Display	36 017 6 483 42 500



31 : Catalogue des prix pour Batteries GEL

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

12V/230Ah AGM Super Cycle Batt. (M8)	398 750
AGM Telecom	
12V/115Ah AGM Telecomm Batt. (M8)	212 500
12V/165Ah AGM Telecomm Batt. (M8)	296 250
12V/200Ah AGM Telecomm Batt. (M8)	341 250

Batterie GEL:

Désignation	Prix Unitaire
12V/60Ah Gel Deep Cycle Batt.	117 500
12V/66Ah Gel Deep Cycle Batt.	148 750
12V/90Ah Gel Deep Cycle Batt.	155 000
12V/110Ah Gel Deep Cycle Batt.	196 250
12V/130Ah Gel Deep Cycle Batt.	230 000
12V/165Ah Gel Deep Cycle Batt.	250 000
12V/220Ah Gel Deep Cycle Batt.	350 000
12V/265Ah GEL Deep Cycle Batt. (M8)	512 500



Dispo en stock

Dispo en stock

Sur commande

Prix variable en fonction des quantités; nous consulter.

32 : Catalogue des prix pour convertisseurs chargeurs MULTIPLUS

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Convertisseur/chargeur Multiplus:

Désignation	Prix Unitaire
MultiPlus 12 ou 24/500/20-16 230V	300 000
MultiPlus 12 ou 24/800/35-16 230V VE.Bus	305 000
MultiPlus 12 ou 24/1200/50-16 230V VE.Bus	300 000
MultiPlus 12 ou 24/1600/50-16 230V VE.Bus	375 000

Convertisseur/chargeur Multiplus Compact:

Désignation	Prix Unitaire
MultiPlus Compact 12/1200/50-16 230V VE.Bus	625 000
MultiPlus Compact 12/1600/70-16 230V VE.Bus	632 000
MultiPlus Compact 12/2000/80-30 230V VE.Bus	788 000
MultiPlus 12/3000/120-16 230V VE.Bus	988 000
MultiPlus 12/3000/120-50 230V VE.Bus	1 063 000
MultiPlus Compact 24/800/16-16 230V VE.Bus	507 000
MultiPlus Compact 24/1200/25-16 230V VE.Bus	619 000
MultiPlus Compact 24/1600/40-16 230V VE.Bus	632 000
MultiPlus Compact 24/2000/50-30 230V VE.Bus	788 000
MultiPlus 24/3000/70-16 230V VE.Bus	988 000
MultiPlus 24/3000/70-50 230V VE.Bus	1 050 000
MultiPlus 24/5000/120-100 230V VE.Bus	1 563 000
MultiPlus 48/3000/35-16 230V VE.Bus	813 000
MultiPlus 48/3000/35-50 230V VE.Bus	838 000
MultiPlus 48/5000/70-100 230V VE.Bus	1 250 000

Convertisseur/chargeur Multiplus II:

Désignation	Prix Unitaire
MultiPlus-II 48/3000/35-32 230V	750 000
MultiPlus-II 48/3000/35-32 230V GX	950 000
MultiPlus-II 48/5000/70-50 230V	1 250 000



33 : Catalogue des prix pour convertisseurs phoenix

Convertisseur Phoenix Smart:

Désignation	Prix Unitaire
Phoenix Inverter 12/1600 230V Smart	520 000
Phoenix Inverter 12/2000 230V Smart	580 000
Phoenix Inverter 24/1600 230V Smart	500 000
Phoenix Inverter 24/2000 230V Smart	575 000



Convertisseur Phoenix Compact:

Désignation	Prix Unitaire
Phoenix Inverter Compact 24/1200 230V VE.Bus	450 000
Phoenix Inverter Compact 24/1600 230V VE.Bus	525 000
Phoenix Inverter Compact 24/2000 230V VE.Bus	600 000
Phoenix Inverter 24/3000 230V VE.Bus	850 000
Phoenix Inverter 24/5000 230V VE.Bus	1 350 000
Phoenix Inverter 48/3000 230V VE.Bus	775 000
Phoenix Inverter 48/5000 230V VE.Bus	1 250 000



34 : Catalogue des prix pour modules solaire Blue power et JA solar

Panneau solaire Polycristallin

Désignation	Prix Unitaire
Solar Panel 20W-12V Poly 440x350x25mm series 4a	20 000
Solar Panel 30W-12V Poly 655x350x25mm series 4a	24 000
Solar Panel 45W-12V Poly 425x668x25mm series 4a	34 000
Solar Panel 60W-12V Poly 545x668x25mm series 4a	40 000
Solar Panel 90W-12V Poly 780x668x30mm series 4a	58 000
Solar Panel 100W-12V Poly 920x668x30mm series 4a	60 000
Solar Panel 115W-12V Poly 1015x668x30mm series 4a	65 000
Solar Panel 175W-12V Poly 1485x668x30mm series 4a	90 000
Solar Panel 260W-20V Poly 1640x992x40mm series 3a	118 000
Solar Panel 320W-24V Poly 1956x992x45mm series 3a	145 000

Sur commande



JA SOLAR

PANNEAU SOLAIRE

Panneau solaire Polycristallin 270Wc

Désignation	Nombre	Prix Unitaire
Panneau solaire JA Solar Polycristallin 270 Wc		110 000



35 : Plan architecturale local de type F3 à ouagadougou

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

 RH-1224-property  2 Chambres  2 Salles de bain  1 Garage

Chambre 2 : 10,20 m²

Chambre Principale : 13,23 m² /

1.  **Toll : 3,00 m²**

Séjour/Repas : 20,00 m²

<https://www.gisburkina.com/property/plans-types-f3/>

05/05/2020

PLANS TYPES : F3 – Générale Immo et Services

Terrasse d'entrée : 6,47 m²

Terrasse cuisine : 3,22 m²

Cuisine : 7,00 m²

Toll : 3,06 m²

Jardin : 4,56 m²

Espace Garage : 40,02 m²

Jardin : 19,43 m²



 02037 88 88 88



À vendre 8.210.480F CFA - F3

 RH-1224-property  2 Chambres  2 Salles de bain  1 Garage

Chambre 2 : 10,20 m²

Annexe 36 : Liste des prix de panneaux isolants thermiques METISSE^R en coton recyclé

Produit	Epaisseur	Format	Prix / paquet	Prix / m²
Panneau en coton recyclé	80mm (R : 2,05)	600 x 1200 mm	48,38 €	9,60 €
Panneau en coton recyclé	100mm (R : 2,55)	600 x 1200 mm	51,84 €	12,00 €
Panneau en coton recyclé	120mm (R : 3,05)	600 x 1200 mm	52,20 €	14,50 €
Panneau en coton recyclé	200mm (R : 5,10)	600 x 1200 mm	51,84 €	24,00 €
Panneau en coton recyclé	145mm (R : 3,70)	600 x 1200 mm	50,40 €	17,50 €
Panneau en coton recyclé	50mm (R : 1,28)	600 x 1200 mm	64,80 €	7,50 €

37: Coûts d'investissements initiaux cumulés d'une isolation thermique accompagnée d'une climatisation solaire.

Coût d'investissement cumulés avec isolant thermique (FCFA)	
Parpaing	2 349 4987
BTC	2 355 4987

Annexe 38 : Dévis des équipements solaires utiles pour l'installation solaire nécessaire pour alimenter le système de climatisation du local F3 en parpaing non isolé

EFFICACITE ENERGETIQUE : CONFORT THERMIQUE ET ENERGIE SOLAIRE APPLIQUES A LA CLIMATISATION

Designation	Prix unitaire (FCFA)	Quantité	Prix total (FCFA)
module blue solar 260W-20V Poly 1640 x 992 x 40mm séries 3a-victron	118 000	59	6 962 000
Convertisseur Phoenix Inverter 48/5000 -230V V.E Bus	1,250,000	5	6 250 000
Contrôleur de charge SmartSolaMPPT 250/70-Tr victron energy	470,000	5	2 350 000
Boîte de jonction BJ4 PS 4 entrées/2 sorties avec parafoudre-construteur SINES	201,000	5	10 05000
câbles 1,5 mm ² /2m AWG2(Modèles Tr)	364	20	7280
câbles 35mm ² /4 m AWG2(Modèles Tr)	4 704	10	47 040
câbles 35 mm ² /8 m AWG2(Modèles Tr)	18 978	10	189 780
câbles 35mm ² /10m AWG2(Modèles Tr)	9,308	10	93 080
12V/220Ah AGM Deep Cycle Batt.	360 000	4	1 440 000
Fusible FWJ-32A14F	8 000	4	32 000
Rail de fixation PV	9 375	120	1 125 000
Coût total(FCFA)			19 501 180

Annexe 40 : Feuille des calculs financiers

Evaluation de l'énergie annuelle produite par le champ PV(LCOE)							
Irradiation en moyenne par jour sur le plan incliné (kWh/m2/Jour) de la ville de Ouagadougou	Année(jours)	Coût moyen du kWh électrique(SONABEL) en FCFA/kWh	Energie annuelle produite par l'installation PV(kWh)	Puissance crête de l'installation (kWc)	Ratio de Performance (%)	Frais d'entretien(FCFA/an) année 0	Investissement initial(FCFA)
5,36	365	115,17	21443,25	15,21	0,75	390024	19501180
Durée de vie du projet(ans)	Puissance à vie(kWh)	Coût total de possession(FCFA)	LCOE (FCFA/kWh)	Energie journalière produite par le champ PV (kWh/jour)	coût de remplacement des batteries sur la durée de vie de l'installation (FCFA)	Durée de vie des batteries (an)	
25	268041	33571770	125,25	58,7	4320000	8	
Calcul du temps de retour sur investissement et comparaison coût solaire PV/coût réseau électrique							
TRI(Temps de retour sur investissement alimentation solaire photovoltaïque(ans))	Coût annuel de alimentation au PV(FCFA/an)	Coût annuel alimentation réseau électrique(FCFA/an)	Rapport coût Réseau électrique/ solaire PV	Taux de rendement brut annuel(%)	Taux de rendement net de frais de gestion annuel(%)	Taux d'actualisation(%)	
3 ans 209 jours	2685742	2469619	1	13,77220045	11,77220045	8	

41 : Boîtes de jonctions sines

Boite de jonction sur-mesure

SINES propose des boîtes de jonction solaire avec ces éléments au choix :

- Coffret de jonction solaire 12V, 24V, 48V, 150V, 250V, 600V et 1000V
- Sectionneur 32 ampères, 40 ampères...
- Fusibles
- Parafoudres 24Vdc à 1200Vdc
- Disjoncteur DC jusqu'à 100 ampères

Exemples de boite de jonction pour installation solaire :

Boite de jonction 2 strings 12/24V + sectionneur 32A
Boite de jonction 2 strings 12V + sectionneur 32A + Parafoudre
Boite de jonction 2 strings 24V + sectionneur 32A + Parafoudre
Boite de jonction 3 strings 12/24V + sectionneur 32A
Boite de jonction 3 strings 12V + sectionneur 32A + Parafoudre
Boite de jonction 3 strings 24V + sectionneur 32A + Parafoudre
Boite de jonction 4 strings 12/24V + sectionneur 32A
Boite de jonction 4 strings 12V + sectionneur 32A + Parafoudre
Boite de jonction 4 strings 24V + sectionneur 32A + Parafoudre
Boite de jonction 4 strings 12/24V + sectionneur 40A
Boite de jonction 4 strings 12V + sectionneur 40A + Parafoudre
Boite de jonction 4 strings 24V + sectionneur 40A + Parafoudre

Boite de jonction MPPT :

Boite de jonction MPPT 150Voc - 2 entrées à 6 entrées
avec fusibles, sectionneur (et parafoudre en option)

42 : Tableau de correspondance des puissances de climatisation

unité >	vaut	W	kW	kcal/h	ch	BTU/h
1 WATT	W	1	0,001	0,86	$1,36 \cdot 10^{-3}$	3,412
1 KILOWATT	kW	1000	1	860	1,36	3412
1 KILOCALORIE/H	kcal/h	1,163	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	$1,56 \cdot 10^{-3}$	3,968
1 CHEVAL VAPEUR	ch	735,35	0,735	632,42	1	2509,62
1 BTU/H	BTU/h	0,293	$0,29 \cdot 10^{-3}$	0,252	$3,89 \cdot 10^{-4}$	1

43 : Tableaux des chaleurs sensibles et latentes dues aux personnes, et renouvellement d'aire

Tableau 2: La chaleur sensible et latente dues aux personnes en fonction de l'activité

Source : Cours de thermique du bâtiment YEZOUMA Coulibaly

Activité des personne	28°C		26°C		24°C	
	Q_s	Q_l	Q_s	Q_l	Q_s	Q_l
Assis au repos	44	44	53	35	58	30
Assis travail leger	45	55	54	46	60	40
Debout	45	81	55	71	64	62
Travail pénible	113	252	122	243	132	233

Tableau 3 : Renouvellement d'air en fonction des locaux

Source : Cours de thermique du bâtiment YEZOUMA Coulibaly

Désignation des locaux	sans fumeurs (m3/h/personne)	avec fumeurs (m3/h/personne)
locaux d'enseignement	15 à 18	25
dortoirs, chambres collectives	18	25
Bureaux et locaux assimilés	18	25
salles de réunion, spectacles...	18	30
boutiques, supermarchés	22	30
cafés, bars, restaurants...	22	30
locaux à usage sportif	18	30

44 : Appareils électriques et puissance, et facteur solaire correctif g

Désignation	Puissance électrique(W)
01 Réfrigérateur	200
01 téléviseur	80
01 fer à repasser	1000
01 cafetière	700
01 Moulinex	500
01 poste radio	80
03 Ventilateurs (brasseur)	210
06 tubes fluorescent	929.18
03 ordinateurs portables	180

Source : Mémoire Roosevelt TCHOUATEU Etude et développement d'un éco habitat sahélien à haute efficacité énergétique,

Tableau 4 : Tableau des valeurs du facteur correctif g

Source : Cours de thermique du bâtiment YEZOUMA Coulibaly

VITRAGE TEINTE	FACTEUR DE CORRECTION g =
Vitre peinte en teinte claire	0,3
Vitre peinte en teinte moyenne jaune	0,4
Vitre peinte en teinte sombre	0,5
Vitre teintée :	
marron	0,7
rouge sombre	0,55
bleu de Prusse	0,6
vert sombre	0,35
gris-vert	0,45
opalescent clair	0,43
opalescent moyen	0,4

Annexe 45 : différentes surfaces et éclairages à considérer dans un habitat

Désignation	Surfaces en m ²	Eclairages en lux
Chambres parents	11 à 13	300
Chambres enfants	9 à 10,50	300
Séjour	20 à 30	500
Salle à manger	6 à 10	500
Salle de bain	1,5 à 2,5	250
Cuisine	2 à 2,5	500
Magasin	2 à 2,5	150
Dégagement	5 à 8	200
WC	1,5 à 2	250
Terrasse	4 à 6	300

Source : Mémoire Roosevelt TCHOUATEU Etude et développement d'un éco habitat sahélien à haute efficacité énergétique,

Annexe 48 : Caractéristiques thermos physiques des matériaux constituant les locaux

Désignation	Matériau	Paramètres thermo-physiques				
		Conductivité thermique en (W/m ² .K)	Chaleur spécifique en (MJ/m ³ .K)	Masse volumique En (Kg/m ³)	Diffusivité thermique 10 ⁻⁶ (m ² /s)	Effusivité thermique En (J.K-1.m-2.s-1/2)
Murs	BTC	1,05	3,21	1900	0,32	1830
	BLT	0,7	3,9	2100	0,18	1649
	PARPAING	0,67	1,05 *	1200	0,63	826
Toiture	Tôle aluminium	160	2,46	2800	71	18931
	en béton	1,6	1,09	2300	0,99	1604
Plancher	Béton	1,6	1,09	2300	0,99	1604
Fenêtre	Vitrage	0,04	0,3	250	0,13	109
Porte	Métallique	45,28	0,5	7824	11,5	13309

Source : Mémoire Roosevelt TCHOUATEU Etude et développement d'un éco habitat sahélien à haute efficacité énergétique

Annexe 50 : Facteurs de simultanéité et d'utilisation

Les facteurs de simultanéité correspondants aux circuits

Nombre de récepteurs	Facteurs de simultanéité k_s
1 à 3	0.9
4 à 5	0.8
5 à 9	0.7
10 et plus	0.6

Les facteurs d'utilisation correspondant aux appareils

Utilisation	Facteurs d'utilisation k_u
Eclairage, conditionnement d'air	1
Chauffage électrique, chauffe-eau	1
Prise de courant (n: nombre de prise de courant alimenté par le même circuit)	$0.1 + (0.9/n)$si $n < 6$ 0.6.....si $n > 6$
Moteur électrique	0.75

Annexe 51 : Résultats du bilan de puissance local F3 en parpaing non isolé

[illegible]

Annexe 52: Données d'ensoleillement du site obtenu sur Retscreen

Mois	Rayonnement solaire quotidien –horizontal (kWh.m ⁻² . J ⁻¹)	Rayonnement solaire quotidien – incliné de 15°C (kWh.m ⁻² .j ⁻¹)
Janvier	5,47	6,18
Février	6,36	6,90
Mars	6,45	6,61
Avril	6,39	6,21
Mai	6,20	5,79
Juin	6,10	5,60
Juillet	5,72	5,31
Août	5,37	5,15
Septembre	5,79	5,80
Octobre	5,93	6,29
Novembre	5,76	6,45
Décembre	5,32	6,09
Moyenne annuel	5,90	6,03

Tableau 7 : Caractéristique du convertisseur Phoenix 48/3000/5000 -230V V.E Bus

Puissance(s) max en sortie (VA)	5000
Tension d'entrée max. en (V)	1000
Tension(s) d'entrée min en (V)	38
Courant d'entrée DC max en (A)	59
Tension d'entrée nominale max en (V)	66
Puissance(s) entrée onduleur(W)	3895
Rendement(s) onduleur	0.95

Puissance(s) de sortie(W)	3700
---------------------------	------

Annexe 53 : Compatibilité du convertisseur, critère de choix des batteries,

55 : Tableaux des économies d'énergies réalisées en W du local pilote F3, en parpaing et BTC

Tableau 11 : Economies d'énergies après isolation extérieure du local F3 en parpaing de ciment creux

Pièce	Parpaing isolé	Parpaing non isolé	Economies d'énergie(w)
chambre 1	851.12	2108.34	1257.22
Chambre 2	822.093	1779.77	957.68
cuisine	1051.86	1767.65	715.79
Séjour+salle à manger	2466.5	3809.24	1342.74
Total	5191.573	9465.00	4273.43

De même pour les locaux en BTC, nous obtenons le tableau suivant :

Tableau 12 : Gain de chaleur après isolation extérieure du local F3 en BTC

Pièce	BTC isolé	BTC non isolé	Economies d'énergie(w)
chambre 1	847.69	2166.98	1149.58
Chambre 2	818.75	1800.65	981.90
cuisine	1017.4	1804.77	787.37
Séjour+salle à manger	2434.38	3870.03	1435.65
Total	5118.22	9642.44	4354.51

Annexe 57 : Coût d'achat de l'isolant thermique METISSE

Tableau 14 : Calcul du coût d'achat net du panneau d'isolant METISSE en FCFA

Designation	Prix unitaire initial/m² (FCFA/m²)	Frais de douane (FCFA)	Frais de transport (FCFA)	prix reel (FCFA/m²)	Superficie (m²)	Montant total (FCFA)
METISSE RT 20kg/m3 - Panneau isolant coton recyclé	15719.6	4715.9	1257.6	21693.1	49.56	1 075 109
					46	989 638
					70.56	1 530 663
					70.56	1 530 663
					120	2 603 169
Coût total (FCFA)						7 729 243

Tableau 15 : Récapitulatifs du coût d'achat nécessaires de l'isolant pour nos différents locaux

Locaux	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Coût d'achat isolant (FCFA)	3 083 020	5 185 947	7 729 243	13 980 753	33 365 992	45 177 396

Annexe 58: Tableaux des coefficients de convection, composition des murs et fenêtres, et équipements électriques

Tableau 18 : Coefficients de convection h interne et externe des murs externes

Valeurs standards des coefficients de convection internes et externes				
Sans flux de matière	Murs externes		Cloisons	
	hi	he	hi	he
Ascendant	11,1	20	10	10
Descendant	6	20	6	6

Tableau 19 : Composition des murs externes

Composant	Épaisseur (cm)	Conductivité ($\text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$)	Résistance ($\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$)
Enduit Intérieur	1,5	1,15	0,01
Parpaing	15	1,05	0,19
Enduit extérieur	1,5	1,15	0,01

Tableau 20 : Composition des fenêtres

Couches	Vitres	Air	Vitres
Épaisseurs (cm)	0,25	10	0,25
Conductivités thermiques ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	0,779	0,26	0,779

Tableau 21 : Gains de chaleur dus aux équipements électriques

Locaux	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Gains dus aux équipements électriques(W)	2919,19	3278,34	3879,18	5733,78	6398,37	8202,14

60 : Coûts d'investissement et coûts d'exploitation sur 7 ans local pilote en parpaing et en BTC

Année	CII parpaing non isolé (FCFA)	Coût d'exploitation parpaing non isolé (FCFA)
0	19501180	6240378
1		22465
2		44032
3		64736
4		84612
5		103693
6		122011

7	139596
Moyenne	852690

Année	Coût d'exploitation BTC non isolé (FCFA)
0	5064238
1	18231
2	35733
3	52535
4	68665
5	84150
6	99015
7	113286
Moyenne	691982
Local F3	

Année	Coût d'exploitation parpaing isolé(FCFA)	CII parpaing isolé(FCFA)
0	5045038	15765744
1	18162	
2	18162	
3	52336	
4	68405	
5	83831	
6	98640	
7	112856	
Moyenne	687179	

Annexe 61 : matériaux de construction principaux au Burkina Faso



Figure 7 : Maisons en parpaing

Source : www.futura-sciences.com



Figure 8 : construction en adobe

Source : www.ndfk.com



Figure 9 : Maison construite en BTC

Source : www.abidjansolution.biz



Figure 10 : Maison en BLT

Source : www.ndfk.com

	ménages vivant en Zone Lotie	ménages vivant en promiscuité (plus de 3 personnes par pièce)	ménages dont le Mur du bâtiment principal est en matériaux non définitifs	ménages dont la toiture du bâtiment principal est en matériaux non définitifs	ménages dont le logement principal est en matériaux non définitifs	ménages utilisant principalement les Combustibles solides (bois et dérivés) comme source d'énergie	Accès à l'eau potable	Accès à l'assainissement (Latrine améliorée)
NATIONAL	28,1	27,8	76,5	34,8	77,0	90,1	76,3	8,1
MILIEU DE RESIDENCE								
Urbain	82,8	19,4	38,6	5,0	39,5	68,2	93,5	18,8
Rural	6,5	31,1	91,5	46,5	91,9	98,7	69,6	3,9
REGION								
Boucle du Mouhoun	10,6	31,8	89,7	52,6	91,2	98,7	57,4	2,1
Cascades	28,8	14,6	72,8	26,4	73,0	96,3	88,2	5,8
Centre	81,1	20,5	35,8	3,1	37,0	58,9	96,6	25,1
Centre Est	11,4	52,2	71,6	36,7	72,9	98,0	77,8	9,1
Centre Nord	8,2	27,0	94,9	38,1	95,1	97,3	83,6	5,3
Centre Ouest	16,8	13,9	89,8	34,4	89,9	95,3	65,8	4,0
Centre Sud	9,4	26,3	87,2	24,2	87,3	98,1	86,1	2,0
Est	10,2	30,4	94,2	65,6	94,2	97,8	68,4	1,4
Hauts Bassins	45,9	23,1	66,8	20,1	67,0	91,8	65,7	3,6
Nord	14,0	37,4	93,2	36,1	93,5	96,5	69,3	1,7
Plateau Central	9,1	13,6	88,1	24,2	88,1	97,8	90,2	17,5
Sahel	3,6	60,5	98,4	85,5	98,5	99,1	64,9	2,6
Sud Ouest	14,5	10,9	88,1	54,1	88,3	97,8	70,8	2,3

Figure 11 : Quelques indicateurs sur les conditions de vie des ménages au Burkina Faso

Source : INSD, annuaire statistique 2018



Figure 12 Climatiseur à éléments séparés monosplit avec unité intérieure et extérieure

Source : www.plusquepro.fr

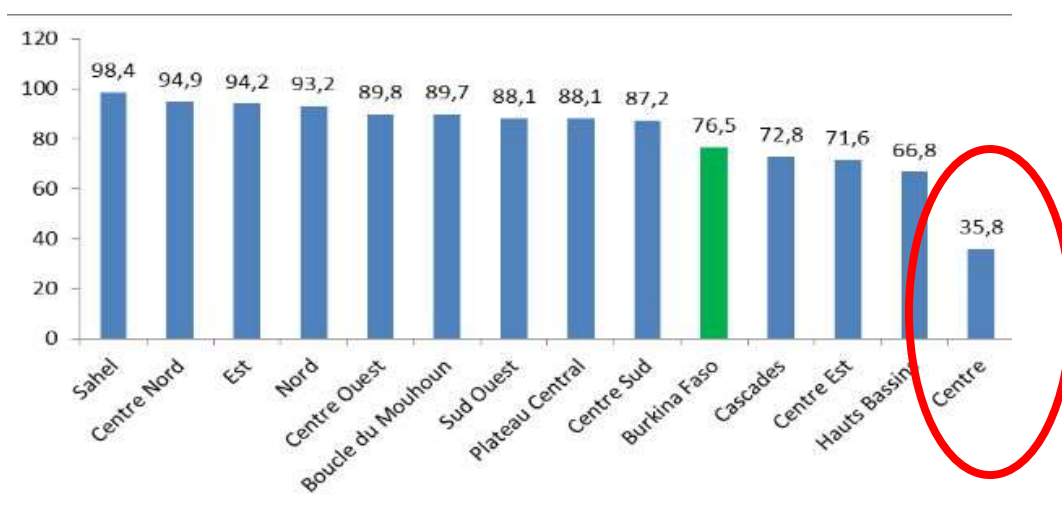


Figure 14 : Proportion des ménages dont le mur du bâtiment est précaire

Source : Enquête multisectorielle continue (EMC) 2014, Habitat, assainissement et accès à l'eau potable, INSD

	Ciment/béton	Pierre	Brique (cuite)	Banco amélioré	Banco (briques de terre)	Paille	Autre à préciser
SEXE DU CHEF DU MENAGE							
Homme	18,3	1,4	2,7	7,3	67,1	3,0	0,2
Femme	26,8	0,8	2,7	7,6	61,1	1,0	0,1
MILIEU DE RESIDENCE DU MENAGE							
Urbain	52,1	2,0	7,3	10,5	27,9	0,1	0,1
Rural	6,6	1,0	0,9	6,0	81,5	3,8	0,2
NATIONAL	19,5	1,3	2,7	7,3	66,3	2,7	0,2

Figure 15 : Ménages selon la nature du mur du bâtiment

Source : Enquête multisectorielle continue (EMC) 2014, Habitat, assainissement et accès à l'eau potable, INSD

	Paille/ chaume	Terre	Tôle	Dalle	Tuile	Autre
SEXE DU CHEF DE MENAGE						
Homme	19,8	15,7	63,4	0,7	0,3	0,1
Femme	15,6	13,6	70,0	0,1	0,6	0,2
MILIEU DE RESIDENCE DU MENAGE						
Urbain	2,6	2,3	92,1	2,1	0,8	0,2
Rural	25,8	20,6	53,3	0,0	0,1	0,1
NATIONAL	19,2	15,4	64,3	0,6	0,3	0,1

Figure 16: Ménages selon la nature du mur de la tôle

Source : Enquête multisectorielle continue (EMC) 2014, Habitat, assainissement et accès à l'eau potable, INSD