

**COMBINAISON DU SOLAIRE ET DE MODULES
PELTIER POUR PRODUCTION DE FROID AU SAHEL**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER SPECIALISE EN
GENIE ELECTRIQUE ET ENERGIES RENOUVELABLES
OPTION : ENERGIES RENOUVELABLES**

Présenté et soutenu publiquement par :

Astrid Brigitte MEDJO NOUADJE

Travaux dirigés par :

Dr André TALLA

Enseignant chercheur à l'ENSP
UTER : L.E.E.E

Dr Yao AZOUMAH

Enseignant chercheur au 2IE
UTER : L.E.S.E.E

PROMOTION 2010/2011

REMERCIEMENTS

Mes sincères remerciements s'adressent à :

- L'**Eternel Dieu** tout puissant sans qui tout ceci n'aurait été possible
- A l'**Institut International de l'Eau et de l'Environnement**, qui après ma sélection m'a permis de bénéficier de la bourse de l'Union Européenne
- L'**Union Européenne** qui m'a permis de faire cette formation en m'octroyant une bourse
- L'**Agence Universitaire de la Francophonie** qui m'a permis de me déplacer et de vivre au Burkina Faso durant ma formation ceci au travers de la bourse qu'elle m'a octroyé
- Au **Dr Yao AZOUMAH**, mon encadreur académique au sein de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement pour avoir accepté de m'encadrer tout au long de ce travail.
- Au **Dr André TALLA**, mon encadreur de stage au sein de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Yaoundé, qui a travers ces encouragements et ses apports m'a permis d'élaboration de ce travail.
- Au **Pr Pierre MEUKAM**, Responsable du laboratoire d'Energétique de l'Eau et de l'Environnement de l'Ecole Supérieure Polytechnique de Yaoundé, pour avoir accepté que je puisse faire mon stage au sein de son laboratoire.
- Tous les enseignants de Master Spécialisé Génie Electrique et Energies Renouvelables pour toutes les connaissances qu'ils m'ont transmis durant cette formation.
- Mes frères et ma maman pour tout le soutien qu'ils ont su m'apporter.
- Mon fils et à son papa pour tout le soutien qu'ils ont su m'apporter.
- Mes camarades de promotion avec lesquels j'ai partagé des moments agréables et chaleureux.

Je ne saurais terminer sans m'excuser auprès de tous ceux que j'ai oublié de citer car il m'est sincèrement difficile de remercier tout le monde.

LISTE DES ABREVIATIONS

A : Ampère

CC : courant continu

COP : coefficient de performance

CFC : chlorofluorocarbone

°C : degré Celsius

d: coefficient d'amortissement en régime variable

f_1 : facteur de simultanéité

f_2 : facteur de chaleur résiduelle (non évacuée par l'air repris)

fs: facteur solaire de la paroi

G : rapport de la section des éléments semi-conducteurs à leur longueur en mètre.

hg : coefficient global de transmission en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

I : intensité du courant électrique en A

i_a : enthalpie d'air neuf

i_i : enthalpie d'air intérieur

J : Joule

°K : degré Kelvin

kW: kilo Watt

kWf : kilo Watt frigorifique

K : conductance thermique (W/K) d'un couple thermoélectrique ou coefficient global de déperdition surfacique de la paroi

L.E.S.E.E : Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie

L.E.E.E : Laboratoire d'Energétique de l'Eau et de l'Environnement

\dot{m}_a : Débit massique d'air neuf

M_{th} : chaleur du métabolisme (fonction de l'activité)

Npers : nombre de personne

N : semi conducteur de type N

P : semi conducteur de type P

Q : quantité de chaleur en J

Q_f : chaleur dégagée par la source froide en J

Q_m : chaleur calorifique fournie par une source externe en J

R : résistance électrique d'un couple thermoélectrique (Ω)

S : Surface de la paroi concernée (m^2)

s : facteur de simultanéité

t_s : température fictive équivalente relative au soleil

T_f : température froide en °K

T_c : température chaude en °K

T_m : température de la source calorifique en °K

V.A.N : valeur ajoutée nette

W : travail électrique fourni au compresseur en J

SYMBOLES GRECS

α : pouvoir thermoélectrique d'un couple thermoélectrique (V/K)

η = rendement du moteur

λ : conductivité thermique en W/m.K

θ_e : température ambiante extérieure (°C)

θ_i : température ambiante intérieure (°C)

Π_{12} : coefficient Peltier entre les conducteurs 1 et 2.

ρ : résistivité respective en $\Omega.m$

ABSTRACT

In the context of ameliorating air conditioner which is a real problem for the inhabitant of Sahel area, we propose in this study a cold production system using Peltier module and photovoltaic panel. Photovoltaic panel produce continuous current which switch on the Peltier module. For the realization of such system, we firstly chose two kind of local with particularity of the town of Maroua (typical Sahel region). The first kind of local used is an office and the second kind of local used is a room in a family house. Secondly we evaluate the cold production power need; we obtain **4465, 40 Wf** for the local 1 and **7485 Wf** the local 2. Next, the design of Peltier module gives us **15** modules for the first local and **21** modules for the second local which will evacuate the cold power calculate. The design of the photovoltaic system gives us **162** solar panels for local 1 and **171** solar panels for local 2. These will permit to switch on Peltier module. To end, the cost of the project that we calculate give us **146 247 935 FCFA** for local 1 and **159 326 392 F CFA** for local 2. This cost results give us negative V.A.N, which makes us said that this system is not suitable for such cold power compare to classic cold system.

Key Word: *solar cooling, Peltier module, photovoltaic panel, Sahel area.*

RESUME

Dans le cadre de l'amélioration du confort thermique qui pose un réel problème pour les habitants des zones sahéliennes, nous proposons dans cette étude un système de climatisation à base de modules Peltier et de panneaux photovoltaïques. Les panneaux photovoltaïques servent à alimenter les modules Peltier en courant continu. Pour la réalisation d'un tel système, nous choisissons premièrement deux locaux types présentant les caractéristiques de la ville de Maroua (zone sahélienne choisie). Le local type 1 est à usage de bureau et le local type 2 est la chambre à coucher d'une maison familiale. Deuxièmement, nous évaluons les charges de climatisation et nous obtenons des puissances froides respectives de **4465,40 Wf** pour le local 1 et **7485 Wf** pour le local 2. Ensuite, le dimensionnement des modules Peltier donne **15** modules Peltier pour le premier local et **21** modules Peltier pour le second local qui serviront à évacuer les puissances froides calculées. Le dimensionnement du système photovoltaïque donne **162** panneaux solaires pour le local 1 et **171** panneaux solaires pour le local 2, qui serviront à alimenter les modules Peltier. Enfin, le coût d'investissement est de **146 247 935 FCFA** pour le local 1 et de **159 326 392 F CFA** pour le local 2. Ces coûts obtenus conduisent à des V.A.N négatives. Ce qui nous permet de dire qu'un tel système n'est pas approprié pour les puissances froides obtenues comparativement au système de climatisation classique.

Mots clés : *climatisation solaire, modules Peltier, panneaux photovoltaïques, zone sahélienne.*

SOMMAIRE

I- INTRODUCTION GENERALE	11
<i>I.1 CONTEXTE</i>	<i>11</i>
<i>I.2 PROBLEMATIQUE.....</i>	<i>11</i>
<i>I.3 OBJECTIFS.....</i>	<i>12</i>
II- PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET THEORIE SUR LES MODULES PELTIER	13
Introduction	13
CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA PRODUCTION DE FROID	13
1.1 SYSTEMES DE PRODUCTION DE FROID PAR COMPRESSION MECANIQUE.....	13
1.1.1 Avantages des systèmes à compression mécanique.....	13
1.1.2 Inconvénients des systèmes à compression mécanique.....	14
1.2 SYSTEMES DE PRODUCTION DE FROID PAR VOIE SOLAIRE.....	14
1.2.1 LES PROCEDES ELECTRIQUES.....	14
1.2.1.1 Les systèmes à compression mécanique	14
1.2.1.2 Les systèmes à effet Peltier.....	14
1.2.1.2.1 Avantages	15
1.2.1.2.2 Inconvénients	15
1.2.2 LES PROCEDES THERMIQUES.....	15
1.2.2.1 Les procédés thermomécaniques	16
1.2.2.2 Les procédés thermodynamiques.....	16
1.2.2.2.1 Les procédés à absorption.....	17
1.2.2.2.1.1 Avantages.....	17
1.2.2.2.1.2 Inconvénients.....	18
1.2.2.2.2 Les procédés à adsorption.....	18
1.2.2.2.2.1 Avantages.....	19
1.2.2.2.2.2 Inconvénients.....	19
1.2.2.2.3 Les procédés à dessiccation.....	19
CHAPITRE 2 : THEORIE SUR LES MODULES PELTIER.....	21
2.1 DEFINITION	21
2.2 DESCRIPTION.....	21
2.3 PRINCIPE	23
2.4 FORMULES DESCRIPTIVES DU PHENOMENE.....	24
2.5 APPLICATIONS.....	25
Conclusion.....	26
III- DEUXIEME PARTIE : CLIMATISATION EN ZONE SAHALIENNE PAR COUPLAGE SOLAIRE/MODULES PELTIER27	
Introduction	27

CHAPITRE 3 : CHARGES DE CLIMATISATION.....	27
3.1 <i>CARACTERISTIQUES DES LOGEMENTS DANS LE CONTEXTE D'ETUDE.....</i>	27
3.1.1 Description des constructions	28
3.1.1.1 Constructions en agglomérées creux	28
3.2.1.2 Constructions en briques de terre comprimées	30
3.2 <i>DESCRIPTION DES LOCAUX DE REFERENCE.....</i>	31
3.3 <i>PROPOSITION ET CARACTERISTIQUES DES LOCAUX "TYPES", SUPPORT DE L'ETUDE</i>	32
3.3.1 <i>CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES.....</i>	32
3.4.2 <i>DONNEES CLIMATIQUES.....</i>	34
3.5 <i>CALCUL DES CHARGES DE CLIMATISATION.....</i>	34
3.5.1 <i>Méthodologie.....</i>	34
3.5.2 <i>Résultats de calcul.....</i>	37
CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE CLIMATISATION.....	42
4.1 <i>SYSTEME DE MODULES PELTIER.....</i>	42
4.1.1 <i>DIMENSIONNEMENT DES MODULES PELTIER.....</i>	42
4.1.2 <i>CHOIX DES ECHANGEURS DE CHALEUR.....</i>	44
4.1.3 <i>EQUIPEMENTS DE PROTECTION.....</i>	45
4.2 <i>GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE.....</i>	45
4.2.1 <i>DIMENSIONNEMENT DU CHAMP DE MODULES PHOTOVOLTAIQUES.....</i>	46
4.2.1.1 <i>METHODOLOGIE.....</i>	46
4.2.1.2 <i>CHOIX DU MODULE PHOTOVOLTAIQUE.....</i>	47
4.2.1.2.1 <i>SURFACE DISPONIBLE.....</i>	47
4.2.1.2.2 <i>TECHNOLOGIE DES PANNEAUX.....</i>	47
4.2.1.3 <i>RESULTAT DU DIMENSIONNEMENT.....</i>	48
4.2.1.4 <i>ORIENTATION, INCLINAISON ET EMPLACEMENT DES MODULES.....</i>	49
4.2.1.4.1 <i>ORIENTATION DES MODULES.....</i>	49
4.2.1.4.2 <i>INCLINAISON DES MODULES.....</i>	49
4.2.1.4.3 <i>EMPLACEMENT DES MODULES.....</i>	49
4.2.2 <i>CHOIX DU REGULATEUR.....</i>	50
4.2.3 <i>CHOIX DE LA BATTERIE.....</i>	51
4.2.4 <i>EQUIPEMENT DE PROTECTION.....</i>	52
4.3 <i>CABLES DE CONNEXION.....</i>	52
4.4 <i>MISE EN OEUVRE.....</i>	53
CHAPITRE 5 : ETUDES ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL.....	56
5.1 <i>ETUDE ECONOMIQUE.....</i>	56
5.2 <i>ETUDE ENVIRONNEMENTAL.....</i>	58
Conclusion.....	59
IV- CONCLUSION GENERALE.....	60
BIBLIOGRAPHIES.....	61
ANNEXES.....	63

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma descriptif des modules Peltier	22
Figure 2 : Exemple de modèle de module commercialisé	22
Figure 3: Schéma de principe	23
Figure 4 : Constructions en agglomérées creux et toitures en tôle aluminium	28
Figure 5 : Plafond recouvert de paille	28
Figure 6 : Différentes portes	29
Figure 7 : Différentes fenêtres	29
Figure 8 : Habitations en briques de terre comprimées et en pierres	30
Figure 9 : Porte en tôle peinte	30
Figure 10 : Exemple de bureau	31
Figure 11 : Exemple de maisons.....	32
Figure 12 : Plan du local type 1	33
Figure 13 : Plan du local type 2	34
Figure 14 : Vue en coupe du local 1	37
Figure 15 : Vue en coupe du local 2	39
Figure 16 : Dispositif pour le système de modules Peltier	42
Figure 17 : Agencement série- parallèle des modules Peltier.....	44
Figure 18 : Configuration du générateur photovoltaïque	46
Figure 19 : Mode d'agencement des modules pour le local type 1	50
Figure 20 : Mode d'agencement des modules pour le local type 2	50
Figure 21 : Schéma synoptique de l'installation	54
Figure 22 : Schéma unifilaire de l'installation	54

LISTE DES TABLEAUX

Tab 1.1 : Résultat des apports par ensoleillement au niveau du vitrage	38
Tab 1.2 : Résultat des apports par ensoleillement au niveau des parois opaques	38
Tab 1.3: Résultat des apports par transmission au travers les parois.....	38
Tab 1.4: Résultat des apports dûs au renouvellement d'air	38
Tab 1.5: Résultat des apports dûs aux occupants	38
Tab 1.6: Résultat des apports dûs à l'éclairage	39
Tab 1.7: Résultat des apports dûs aux machines	39
Tab 1.8: Résultat du calcul de la puissance frigorifique	39
Tab 2.1 : Résultat des apports par ensoleillement au niveau des parois opaques	40
Tab 2.2: Résultat des apports par transmission au travers les parois.....	40
Tab 2.3: Résultat des apports dûs au renouvellement d'air	40
Tab 2.4: Résultat des apports dûs aux occupants	40
Tab 2.5: Résultat du calcul de la puissance frigorifique	41
Tab 3 : Données de calcul.....	43
Tab 4 : Résultats de calcul	43
Tab 5 : Données caractéristiques du module choisi.....	43
Tab 6 : Caractéristique d'agencement des modules	43
Tab 7 : Mode d'agencement des ventilateurs.....	44
Tab 8 : Mode d'agencement des dissipateurs thermiques	45
Tab 9: Surface disponible	47
Tab 10: Caractéristique du panneau choisi	48
Tab 11: Mode d'agencement des panneaux solaires.....	48
Tab 12: Inclinaison des modules photovoltaïques [JAUTARD et BOUDOL, 2000].....	49
Tab 13: Mode d'agencement des batteries	51
Tab 14: Résultat investissement pour le local 1.....	57
Tab 15: Résultat investissement pour le local 2.....	57
Tab 16: Résultat de la quantité de CO ₂ évitée et du gain obtenu	59

I- INTRODUCTION GENERALE

I.1 CONTEXTE

Tout être vivant a besoin de se sentir à l'aise dans le milieu dans lequel il se trouve. Cependant, les habitants des régions sahéliennes en particulier sont sujets à d'énormes problèmes d'inconfort généralement en période chaude. En effet, la plupart des pays sahéliens sont situés dans la ceinture solaire où l'ensoleillement normal direct excède les 2000 kWh/m²/an. En plus, les températures moyennes journalières de ces régions avoisinent les 35°C avec des maxima de l'ordre de 45°C. Le soleil brille en moyenne 8 heures par jour et le taux d'humidité relative moyen est d'environ 48%.

I.2 PROBLEMATIQUE

Du fait de ces températures élevées et de ce fort ensoleillement, les plafonniers et les ventilateurs utilisés par la classe moyenne ne suffisent pas toujours à procurer une sensation de bien être aux usagers en période très chaude. C'est pourquoi pour palier à ce problème, la plupart des bureaux administratifs de ces régions et certains domiciles familiaux utilisent des climatiseurs. Cependant, les climatiseurs d'une part coûtent très chers sur le marché de l'ordre de 200 000 F CFA pour une puissance d'un cheval vapeur, ce qui n'est pas à la portée de tous ; d'autre part, ils consomment d'énormes quantités d'énergie électrique. C'est ainsi qu'au Burkina Faso par exemple, près de 50% (annexe1) de toute l'électricité produite dans la ville de Ouagadougou est utilisée pour des fins de climatisation et les coûts liés au conditionnement d'air des bureaux représentent aujourd'hui près de 80% (annexe 1) des coûts d'exploitation dans les bâtiments publics / gouvernementaux. La facture d'électricité des bâtiments publics de cette région représente quelque 20 millions de dollars US par an (annexe 1). Ce coût élevé peut être extrapolé à presque toutes les régions sahéliennes qui ont un réel besoin de confort thermique. Par ailleurs, ces climatiseurs sont approvisionnés en électricité provenant dans certains cas des énergies fossiles. Ces énergies fossiles ont pour la plupart une durée de production très courte dans le temps et ils sont aussi à l'origine des problèmes environnementaux entre autres :

- les inondations,
- les pluies acides,
- la fonte des glaciers,
- le réchauffement planétaire.

Enfin, certains climatiseurs en Afrique utilisent encore des chloro-fluoro-carbones (CFC) comme fluides frigorigènes. Ce qui concourt, à la destruction de la couche d'ozone.

I.3 OBJECTIFS

Compte tenu des différents problèmes ci-dessus énumérés, l'une des voies alternatives de climatisation est l'utilisation de l'énergie solaire qui abonde dans ces régions. Cependant l'on se rend compte qu'à l'état actuel, les procédés de froid solaire sont lourds d'investissement pour des petites unités de l'ordre de 5 à 10 kWf qui sont des niveaux de puissance rencontrés plus souvent chez les particuliers. Une autre piste est d'explorer les modules Peltier pour la production de froid. En effet, les premières applications de réfrigération par procédés thermoélectriques ont été abordées par Altenkirch au début du XX^e siècle. Toutefois, ces applications sont longtemps restées marginales en raison des faibles efficacités. Elles ont principalement été réservées au secteur militaire pour lequel le prix de l'énergie est accessoire, et pour des applications nécessitant une faible demande énergétique. L'enjeu de ce travail est de voir si une combinaison solaire et module Peltier peut permettre de faire une production de froid de puissance de l'ordre de 5 à 10 kWf et à un coût abordable (inférieure au coût du kWf actuel).

Pour parvenir à nos fins, notre travail est développé suivant deux grands axes. Le premier axe porte sur la revue bibliographique comportant deux chapitres dont :

- Les généralités sur les systèmes de production de froid
- La revue des modules Peltier.

Le deuxième axe porte sur l'étude de la possibilité d'utiliser des systèmes Peltier pour la climatisation des locaux en zone sahélienne, et comporte trois chapitres dont :

- Les charges de climatisation,
- Le dimensionnement du système de climatisation
- L'étude des coûts.

II- PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET THEORIE SUR LES MODULES PELTIER

Introduction : Dans cette première partie subdivisée en deux chapitres, nous ferons premièrement une revue bibliographique des différents systèmes de climatisation. Il sera question pour nous dans ce chapitre de mettre en exergue les avantages et les inconvénients de ces différents systèmes. Ensuite dans le second chapitre, nous ferons une revue bibliographique sur les modules Peltier ce qui nous permettra de connaître les principes qui régissent le fonctionnement de ces derniers.

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA PRODUCTION DE FROID

Nous allons présenter dans ce chapitre, les différents systèmes de production de froid tout en faisant ressortir leurs avantages et leurs inconvénients.

1.1 SYSTEMES DE PRODUCTION DE FROID PAR COMPRESSION MECANIQUE

Les systèmes de production de froid par voie mécanique fonctionnent de la manière suivante : A l'aide d'un compresseur, le fluide frigorigène à l'état vapeur est comprimé et ensuite condensé dans le condenseur. Au sortir de ce dernier, le fluide liquide est détendu et après passage de celui-ci dans un évaporateur il y a production de froid.

Le coefficient de performance de ces systèmes est donné par:

$$COP = \frac{Q_f}{W} \quad (1)$$

Avec :

COP : coefficient de performance

Q_f : chaleur absorbée au niveau de l'évaporateur

W : travail électrique fourni au compresseur

Ces systèmes possèdent les avantages et les inconvénients.

I.1.1 Avantages des systèmes à compression mécanique

- Technologies maîtrisées
- Procédés répandus sur le marché

- Meilleure performance énergétique

1.1.2 Inconvénients des systèmes à compression mécanique

- Usages par certains des fluides frigorigènes de type chlorofluorocarbure (CFC) à l'origine de graves problèmes environnementaux (trous dans la couche d'ozone, émissions de gaz à effet de serre)
- Nuisances sonores lors du fonctionnement pour certains
- Forte consommation électrique

1.2 SYSTEMES DE PRODUCTION DE FROID PAR VOIE SOLAIRE

Il existe deux grands types de procédés de production de froid par voie solaire :

- Les procédés électriques
- Les procédés thermiques

1.2.1 LES PROCÉDES ÉLECTRIQUES

Ils utilisent le courant électrique produit à partir des panneaux photovoltaïques pour la production de froid. On distingue :

- Les systèmes à compression mécanique
- Les systèmes à effet Peltier.

1.2.1.1 Les systèmes à compression mécanique

Ces systèmes utilisent l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques pour alimenter le moteur électrique du compresseur. Le cycle décrit est celui de la production de froid par compression mécanique. Il présente donc les mêmes avantages et inconvénients que ces derniers.

1.2.1.2 Les systèmes à effet Peltier

Ici le courant continu produit par les panneaux photovoltaïques est utilisé par les modules Peltier pour produire le froid. En effet, lorsqu'un courant électrique continu passe à travers la jonction reliant deux conducteurs de nature différente, on observe un dégagement de chaleur ou une absorption de chaleur selon le sens du courant. La chaleur dégagée est froide

sur l'une des faces du module et chaude sur l'autre. C'est le côté froid qui est utilisé pour faire de la climatisation. Ces systèmes seront décrits plus amplement au chapitre suivant.

Ces systèmes possèdent les avantages et les inconvénients ci-dessous.

1.2.1.2.1 Avantages

Les systèmes de productions de froid à l'aide des modules Peltier possèdent les avantages suivants :

- Usage de pièces non mobiles, donc peu de maintenance,
- Durée de vie de l'ordre de 100 000 heures de fonctionnement en régime stationnaire,
- Pas de fluides frigorigènes néfastes pour l'environnement,
- Taille et poids réduits,
- Systèmes silencieux,
- Simples d'utilisation,
- Mise en route rapide et contrôle facile,
- Systèmes réversibles : permettent de refroidir ou chauffer selon le sens du courant appliqué,
- Utilisables dans des environnements très hostiles, très sensibles ou très petits pour des systèmes conventionnels,
- Fonctionnement indépendant de leur position,
- Alimentation en courant continu compatible avec une alimentation photovoltaïque.

1.2.1.2.2 Inconvénients

- Puissance de froid développé faible
- Faible rendement (le coefficient de performance du système est de 0,4)
- Condensation sur la face froide

1.2.2 LES PROCÉDES THERMIQUES

Ces procédés fonctionnent suivant un cycle tritherme où la troisième source de chaleur provient des capteurs solaires. On a ainsi :

- Une source froide (Q_f) à la température T_f
- Une source chaude (Q_c) à la température T_c

- Une source fournissant l'énergie calorifique (Q_m) à la température T_m

Le coefficient de performance de ces systèmes est donné par [LEDUCQ, 2009] :

$$COP = \frac{Q_f}{Q_m} = \frac{T_f}{T_c - T_f} \frac{T_m - T_c}{T_m} \quad (2)$$

Avec :

COP : coefficient de performance

Q_f : chaleur dégagée par la source froide en J

Q_m : chaleur calorifique fournie par une source externe en J

T_f : température froide en °K

T_c : température chaude °K

T_m : température de la source calorifique °K

Parmi ces procédés on distingue : Les procédés thermomécaniques et les procédés thermodynamiques

1.2.2.1 Les procédés thermomécaniques

L'énergie solaire est utilisée comme source de chaleur grâce à des capteurs solaires thermiques dans une machine produisant un travail mécanique lequel est à son tour utilisé pour produire le froid. Ces procédés sont encore à la phase expérimentale et comprennent :

- **Le cycle de Rankine** : la chaleur récupérée met en mouvement un fluide qui lui-même actionne une turbine produisant de l'électricité. L'électricité ainsi produite peut être utilisée dans un cycle classique à compression. [VITTE, 2007]
- **Cycle à jet de vapeur** : la chaleur est utilisée pour produire un jet de vapeur à très grande vitesse. Ce jet provoque dans son entourage un vide puissant qui permet de vaporiser de l'eau à faible température dans l'évaporateur et de refroidir l'ambiance. [VITTE, 2007]

1.2.2.2 Les procédés thermodynamiques

Ces procédés utilisent la chaleur produite par des capteurs solaires pour alimenter un cycle thermodynamique pour la production de froid. On distingue :

- Les procédés à absorption
- Les procédés à adsorption

- Les procédés à dessiccation

1.2.2.2.1 Les procédés à absorption

Ces procédés fonctionnent grâce à la faculté qu'ont certains liquides (absorbant) d'absorber et de désorber une vapeur (fluide frigorigène). Les couples eau/ bromure de lithium et eau/ ammoniac sont généralement utilisés. Par ailleurs, le procédé à absorption est le procédé de production de froid le plus ancien, il a été mis au point en 1777. La première machine frigorifique à vide fonctionnant à l'eau (fluide frigorigène) et acide sulfurique (absorbant) a été construit en 1810 par LESLIE. En 1859, Ferdinand CARRE réussit une découverte fondamentale concrétisée par la mise au point d'une installation frigorifique à absorption travaillant en continu à partir du mélange binaire ammoniac-eau. [SEMPORE, 2006]

Ces procédés fonctionnent à des températures de 80 à 100°C et utilisent des capteurs à tubes sous vide. [AZOUMAH, 2010]

Le cycle de fonctionnement des procédés à absorption peut être vu comme un cycle à compression dont la compression est réalisée de manière thermique. Ainsi on retrouve les principaux composants déjà cités, condenseur, détendeur, évaporateur.

Le compresseur est par contre remplacé par l'ensemble de composants constitué d'un absorbeur, d'une pompe et d'un bouilleur.

Le fonctionnement de ce "compresseur thermique" peut être décrit de la manière suivante :

1. Le réfrigérant à l'état vapeur à la sortie de l'évaporateur est envoyé dans l'absorbeur où il est absorbé partiellement par le liquide. Ceci est un processus exothermique, il faut donc extraire de la chaleur de l'absorbeur
2. Une solution riche en réfrigérant est alors pompée de l'absorbeur vers le bouilleur (on passe alors de la basse pression à la haute pression, avec une consommation électrique très inférieure à ce que l'on aurait avec un compresseur)
3. La solution est chauffée par une source de chaleur à haute température afin de désorber le réfrigérant de la solution (phénomène endothermique). Les vapeurs libérées sont alors entraînées vers le condenseur. [LEDUCQ, 2009]

Ces systèmes présentent les avantages et les inconvénients ci après.

1.2.2.2.1.1 Avantages

Les principaux avantages des machines à absorption sont :

- Pas de fluide frigoporteur nocif pour l'environnement ;
- Pas de compression mécanique (et peu de pièces en mouvement) donc limitation du bruit et des vibrations ;
- Maintenance simplifiée ;
- Coût énergétique intéressant par rapport à l'électricité
- Fiabilité et durée de vie (les machines à absorption ont une durée de vie estimée de 25 à 30 ans, ce qui est largement supérieur à la durée de vie des machines à compression mécanique).

1.2.2.2.1.2 Inconvénients

- Rendement énergétique faible de l'ordre de 0,5 à 0,8
- Nécessité de grande surface de captation
- Existence d'une température seuil minimum de fonctionnement
- Coût d'investissement important à cause de la cherté des capteurs à haute performance
- Utiliser à l'heure actuelle uniquement pour produire des grandes puissances frigorifiques

1.2.2.2.2 Les procédés à adsorption

Les procédés à adsorption fonctionnent grâce à la faculté qu'ont certains solides (adsorbant) d'adsorber et de désorber une vapeur (fluide frigorigène). Le couple zéolithe (solide adsorbant)/ eau (fluide frigorigène) est généralement utilisé par les machines à adsorption. Les machines à adsorption comprennent :

- Un générateur contenant l'adsorbant solide
- Un condenseur qui reçoit la phase désorbée liquide
- Un évaporateur en contact avec le liquide formé dans le condenseur.

Elles fonctionnent comme suit :

A l'équilibre le système est tout entier à la température ambiante et le générateur est saturé en sorbant (solide adsorbant). Lorsque le générateur est chauffé, il y a désorption du fluide qui migre vers le condenseur sous l'effet de sa propre pression. Le liquide condensé sera recueilli dans une bouteille réceptrice. Du point de vue énergétique cette opération est rendue possible

par un apport calorifique Q_g au générateur et une restitution de chaleur Q_c au milieu extérieur dans le condenseur, lorsque le gaz se condense.

La mise en contact de la bouteille accumulatrice avec le générateur via l'évaporateur provoque le mouvement inverse de l'adsorbat. Pendant cette phase une quantité de chaleur Q_e est prise au milieu ambiant pour évaporer le liquide en créant le froid. Au cours de cette étape il y a libération de chaleur Q_a au générateur au profit du milieu extérieur. Lorsque le système est refroidi convenablement pendant la phase d'adsorption. Tout le système peut être ramené dans son état initial. On retrouve alors l'équilibre initial ou le générateur a repris la même quantité de fluide frigorigène après le cycle et après échange de quatre chaleurs:

- Q_g est la chaleur échangée avec la source chaude pendant le chauffage du générateur.
- Q_e est la chaleur échangée avec la source froide à l'évaporation (production de froid).
- Q_c et Q_a sont échangées par le milieu ambiant à la température dite intermédiaire T_i avec le condenseur et le générateur quand celui-ci est en phase de refroidissement.

[COULIBALY, 2000]

Ces procédés fonctionnent à des températures de 55 à 90°C et utilisent des capteurs plans et à tubes sous vide. [AZOUMAH, 2010]

Les principaux avantages et inconvénients de ces systèmes sont :

1.2.2.2.1 Avantages

- Pas de fluide frigoporteur nocif pour l'environnement ;
- Silencieuses

1.2.2.2.2 Inconvénients

- Rendement énergétique plus faible que celui des procédés à absorption
- Systèmes volumineux
- Existence d'une température seuil minimum de fonctionnement
- Coût d'investissement plus élevé que celui des procédés à absorption
- Utiliser à l'heure actuelle uniquement pour produire de très grandes puissances frigorifiques

1.2.2.2.3 Les procédés à dessiccation

Ces procédés se basent sur un rafraîchissement par évaporation car l'évaporation d'eau dans un air sec conduit à une diminution de la température (et une augmentation d'humidité) de l'air. Ces procédés utilisent deux roues dont l'une permet de déshumidifier et l'autre permet de réchauffer. En effet, la roue dessiccante contient un produit hygrophile (gel de silice) qui absorbe la vapeur d'eau et assèche l'air dans le conduit entrant. Il est régénéré (desséché) par chauffage dans le conduit sortant. L'échangeur thermique est une roue métallique en nid d'abeilles qui refroidit l'air dans le conduit entrant, et est refroidi par l'air dans le conduit sortant.

Ces systèmes utilisent des capteurs plans liquides et à air pour régénérer le liquide ou le sel, ils fonctionnent à des températures de l'ordre de 60°C ont un coefficient de performance sensiblement égal aux valeurs comprises entre 0.5 et supérieure à 1. Ils sont utilisés pour produire du froid dans la gamme de puissance de l'ordre de 20 à 350 kW [CHEILAN, 2004].

Ces systèmes comme les précédents utilisent un fluide frigorigène qui n'est pas nocif pour l'environnement et une source de chaleur renouvelable (soleil).

Au terme de ce chapitre, on se rend compte qu'il existe plusieurs voies de production de froid avec de nombreux avantages et inconvénients. Cependant, seuls les systèmes à effet Peltier seront étudiés dans la suite.

CHAPITRE 2 : THEORIE SUR LES MODULES PELTIER

Nous allons premièrement dans ce chapitre définir et décrire les modules Peltier. Ensuite, nous donnerons le principe de fonctionnement et les applications des modules Peltier.

2.1 DEFINITION

Les modules Peltier sont des pompes à chaleur qui fonctionnent suivant l'effet Peltier. Cet effet a été découvert en 1834 par le physicien Jean-Charles Athanase PELTIER. Il est l'un des trois effets thermoélectriques existant dont les deux autres sont l'effet Seebeck et l'effet Thomson. L'effet Peltier est un phénomène physique de production de chaleur au niveau de la jonction de 2 conducteurs de nature différente parcouru par un courant continu. En effet, lorsqu'un courant électrique continu passe à travers la jonction reliant deux conducteurs de nature différente, on observe un dégagement de chaleur ou une absorption de chaleur selon le sens du courant. Ceci est traduit par l'équation suivante :

$$Q = \pi_{1,2} \times I \quad (3)$$

Avec :

Q = quantité de chaleur en J

I = intensité du courant électrique en A

Π_{12} = coefficient Peltier entre les conducteurs 1 et 2.

2.2 DESCRIPTION

Les modules Peltier sont composés de plusieurs couples thermoélectriques élémentaires connectés électriquement. Chaque couple est constitué d'un matériau semi-conducteur de type P et d'un matériau semi-conducteur de type N réunis par un pont métallique conducteur dont le pouvoir thermoélectrique est supposé nul. Les semi-conducteurs utilisés sont fabriqués à base de différents matériaux entre autre : l'alliage d'antimoine et de tellure (Sb_2Te_3), l'alliage de plomb et de tellure ($PbTe$) et l'alliage de bismuth et de tellure (Bi_2Te_3). Cependant, seul le dernier est utilisé dans la fabrication des modules Peltier pour la réfrigération.

Ensuite, les deux branches (P et N) du couple et tous les autres couples composant le module sont connectés en série électriquement et en parallèle thermiquement afin d'optimiser le flux

de chaleur qui traverse le module et sa résistance électrique. Les couples sont maintenus solidaires par deux plaques de céramique qui assurent l'isolation électrique tout en garantissant de bons transferts thermiques [COSNIER, 2008 ; YANG et al, 2008]. La figure ci-dessous donne une représentation des modules Peltier.

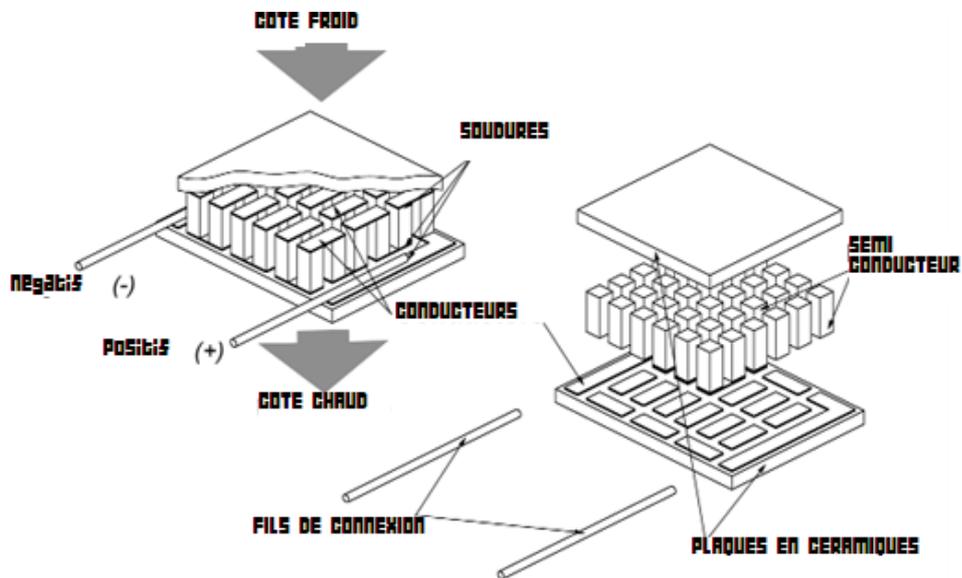


Figure 1 : Schéma descriptif des modules Peltier

Les modules Peltier commercialisés existent sous différentes tailles et sous différents étages. Cependant, la taille maximale est de 62 cm et la figure 2 ci-dessous illustre un type de module Peltier commercialisé.

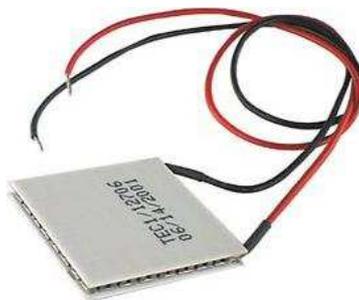


Figure 2 : Exemple de modèle de module commercialisé

2.3 PRINCIPE

Pour passer de la soudure métallique vers le semi conducteur de type N, les électrons doivent vaincre une barrière énergétique caractérisée par la différence d'énergie entre la bande de conduction et le niveau de Fermi. Ce sont donc les électrons de plus grande énergie, ou les électrons les plus « chaud » qui sont les plus propices pour surpasser cette barrière énergétique et entrer dans le matériau de type N.

Ces électrons vont ensuite traverser l'élément de type N puis passer dans la soudure opposée sans rencontrer d'autre barrière énergétique. Il en résulte donc un transfert des électrons de plus haute énergie d'un côté à l'autre de l'élément de type N et donc un transfert de chaleur. Le courant électrique est ainsi accompagné d'un flux thermique qui va s'opposer à la conduction thermique. Dans les éléments de type P, les porteurs de charges majoritaires sont les trous. De la même manière, il existe un transfert des trous de plus haute énergie d'un côté à l'autre de l'élément de type P et donc un transfert de chaleur.

Dans les modules thermoélectriques, le circuit électrique est conçu en reliant en série alternativement des éléments de type P et de type N, de telle sorte que toutes les jonctions P-N soient situées sur une face tandis que les jonctions N-P sont sur l'autre face. Ainsi le transfert des trous et des électrons de haute énergie est unidirectionnel, il y a donc un transfert de chaleur d'une face à l'autre.

Si le sens du courant est inversé, les jonctions P-N deviennent des jonctions N-P, l'absorption de chaleur se fera sur la face opposée. [COSNIER, 2008].

La figure ci-dessous illustre le principe de fonctionnement des modules.

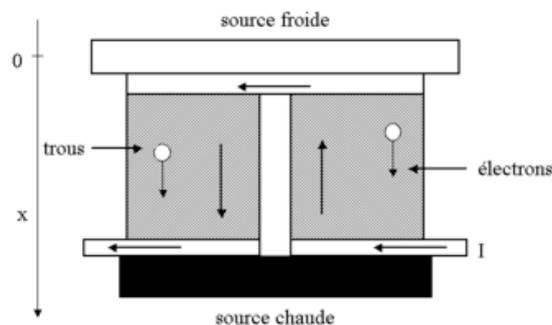


Figure 3: Schéma de principe

2.4 FORMULES DESCRIPTIVES DU PHENOMENE

Pour un module composé de N couples thermoélectriques, la puissance absorbée sur la face froide, Q_f , se calcule selon l'équation suivante :

$$Q_f = 2N \left[\alpha I T_f - \frac{1}{2} R I^2 - K (T_c - T_f) \right] \quad (4)$$

Avec I le courant appliqué (A), T_f et T_c les températures respectives de la face froide et de la face chaude (K). Les coefficients α , R et K sont respectivement le pouvoir thermoélectrique (V/K), la résistance électrique (Ω) et la conductance thermique (W/K) d'un couple thermoélectrique définis par :

$$\alpha = \alpha_P - \alpha_N \quad (5)$$

$$R = \frac{\rho_P + \rho_N}{G} \quad (6)$$

$$K = (\lambda_P + \lambda_N)G \quad (7)$$

Avec ρ_P et ρ_N les résistivités respectives de l'élément de type P et N ($\Omega.m$), λ_P et λ_N les conductivités thermiques respectives des éléments de type P et N (W/m.K) et G le rapport de la section des éléments semi-conducteurs à leur longueur (m). Ces coefficients varient selon le type de matériaux et sa température.

Le premier terme de droite de l'équation (4) correspond à la puissance effectivement absorbée par effet Peltier. Le second correspond à la moitié de la puissance dégagée par effet Joule au sein des semi-conducteurs. On suppose ici que la puissance produite par effet Joule est également répartie vers la jonction froide et chaude des modules. Le dernier terme désigne la puissance reçue par la face froide par conduction de la chaleur de la face chaude à la face froide au sein des semi-conducteurs. Ces deux derniers effets rendent le processus irréversible.

La tension électrique aux bornes d'un module Peltier dépend de la différence de température entre ses faces et est donnée par :

$$V = 2 N \left[\alpha (T_c - T_f) + R I \right] \quad (8)$$

La puissance électrique consommée par le module est donnée par :

$$P_{elec} = V I \quad (9)$$

Le coefficient de performance des modules Peltier est donné par :

$$COP = \frac{\alpha I T_f - \frac{1}{2} R I^2 - K(T_c - T_f)}{\alpha I (T_c - T_f) + R I^2} \quad (10)$$

2.5 APPLICATIONS

Les modules à effet Peltier sont utilisés dans plusieurs secteurs entre autres :

- ✓ Le secteur militaire (aérospatial) où ils sont utilisés pour le refroidissement des composants électroniques, le refroidissement des capteurs infrarouge.
- ✓ Le secteur scientifique où ils sont utilisés pour le refroidissement des diodes lasers, des circuits intégrés
- ✓ Le secteur médical où ils sont utilisés dans les containers de transport des organes à transplanter
- ✓ L'industrie où ils permettent la stabilisation de la température d'encre des photocopieurs et imprimantes.

L'utilisation des modules Peltier pour le conditionnement d'air est très peu répandu, cependant la société Melcor a mis sur pied un système thermoélectrique pour le conditionnement d'air des armoires électriques. Il est aussi reporté le refroidissement d'un local de 2,5 m³ simultanément avec production d'eau chaude sanitaire. Ceci relève des applications de petits espaces, cependant pour les grands espaces on note la climatisation de wagon de train ceci dans les années 1980. Dans les années 1990, on note la climatisation des TGV à base des modules Peltier. Ce système peut produire 700 à 900 W de puissance froide avec 48 modules Peltier et un COP inférieur à 0,4 pour un débit d'air de 150 m³/h. Une pompe à chaleur à base de 24 modules Peltier a également été conçue pouvant fournir jusqu'à 300 W de puissance froide et 2,4 kW de puissance chaude [COSNIER, 2008].

Au terme de ce second chapitre, il ressort que les modules Peltier sont des dispositifs de très petites tailles utilisés aussi bien en production de froid qu'en production d'électricité. Pour la production de froid, il ressort qu'ils sont majoritairement utilisés pour le refroidissement de petites enceintes ne demandant que de très faibles puissances froides.

Conclusion : Au terme de cette première partie il ressort de façon générale que:

- Les systèmes à effet Peltier sont les mieux adaptés pour la production de froid à faibles puissances.
- Les modules Peltier ont longtemps été utilisés dans divers secteurs, cependant dans le secteur de la climatisation ils sont utilisés pour le refroidissement de petites enceintes.

III- DEUXIEME PARTIE : CLIMATISATION EN ZONE SAHALIENNE PAR COUPLAGE SOLAIRE/MODULES PELTIER

Introduction : Dans cette partie, il sera question pour nous d'utiliser les modules photovoltaïques pour la production de courant continu qui servira à l'alimentation de nos modules Peltier. Pour ce faire, nous allons faire une étude caractéristique de la zone sahélienne à choisir. Ensuite nous nous fixerons un local type qu'en fonction des paramètres ci-contre :

- ✓ Le sens vers lequel est orienté le local
- ✓ Les dimensions du local
- ✓ Le matériau utilisé pour la construction du local
- ✓ L'usage auquel est réservé le local
- ✓ La couleur des murs.

Nous allons dimensionner pour pouvoir connaître la quantité de chaleur à extraire. Après quoi nous procéderons au dimensionnement de notre système de climatisation (système de modules Peltier et système de modules photovoltaïques). Nous terminerons par l'analyse économique et environnementale.

CHAPITRE 3 : CHARGES DE CLIMATISATION

Dans ce chapitre, avant de présenter le "local type", support de notre étude, nous allons tout d'abord présenter les caractéristiques des bâtiments de la région de l'Extrême Nord du Cameroun (particulièrement ceux de la ville de Maroua), zone sahélienne "échantillon" support de nos travaux de calcul de la charge de climatisation.

3.1 CARACTERISTIQUES DES LOGEMENTS DANS LE CONTEXTE D'ETUDE

Les logements que nous présentons ici, sont ceux de la ville de Maroua. Cette ville est située dans la région de l'Extrême Nord du Cameroun qui, est une zone ayant un climat tropical de type sahélien. La ville de Maroua est recouverte dans sa majeure partie de sable ceci parce qu'elle est située aux confins de deux cours d'eaux saisonniers (le Kalliao et le Tsanaga). La ville est construite sous forme de damier dont les différentes allées sont

parsemées d'arbre. Les constructions de Maroua sont très peu variées. En effet, on y rencontre principalement deux types de construction :

- Les constructions en agglomérées creux,
- Les constructions en briques de terre comprimées.

3.1.1 Description des constructions

3.1.1.1 Constructions en agglomérées creux

On rencontre ce type de constructions principalement en plein centre urbain. Ils sont revêtus d'enduit ciment et peints pour la plupart avec des couleurs claires, entre autres le bleu clair, le jaune clair, le rose et le blanc. Les toitures de ces constructions sont pour la plupart en tôle aluminium non peinte (voir figure 4).

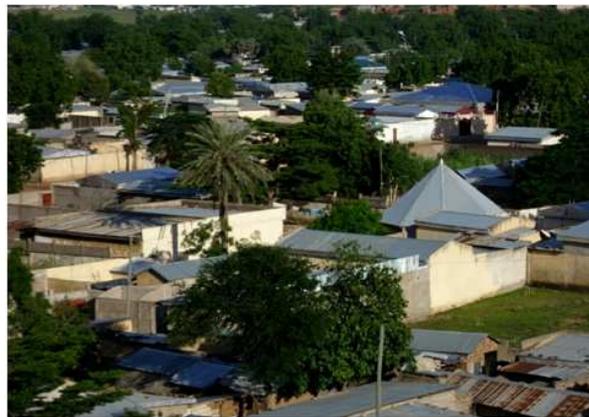


Figure 4 : Constructions en agglomérées creux et toitures en tôle aluminium
A l'intérieur de ces constructions, les plafonds sont faits en contre plaqué et recouvert pour certains de paille (Voir figure 5).



Figure 5 : Plafond recouvert de paille

Les portes sont métalliques avec vitrage (voir figure 6), et les encadrements de ces portes sont en métal. Cependant, les portes intérieures de certains habitats sont faites en contre plaqué mais les encadrements sont métalliques.

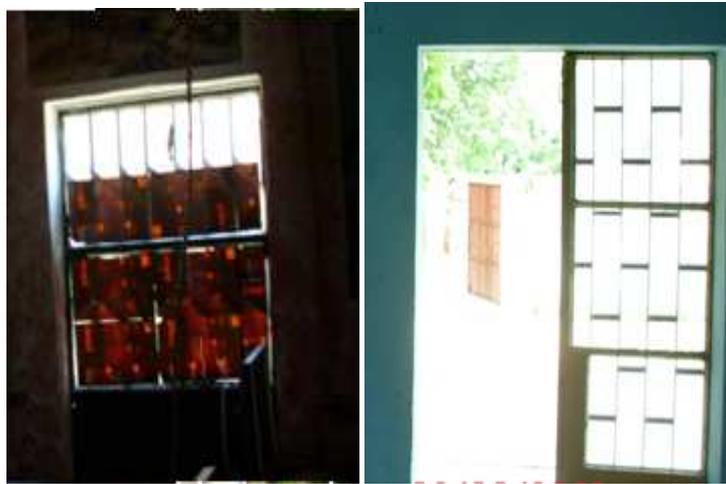


Figure 6 : Différentes portes

Les fenêtres des habitats et des bureaux de Maroua sont métalliques avec vitrage simple et encadrement en métal (voir figure 7).



Figure 7 : Différentes fenêtres

Les constructions en agglomérées creux sont destinées à divers type d'usage dont : bureaux, hôtels, habitations, activités commerciales. Dans le secteur résidentiel, la plupart des maisons sont non climatisées et les usagers de ces maisons utilisent des ventilateurs. Cependant, on rencontre aussi des ménages qui possèdent des climatiseurs et ces derniers ne climatisent généralement qu'une seule pièce (la chambre). Dans le secteur tertiaire, la plupart des locaux administratifs sont climatisés, de même que les hôtels. Cependant, certains bureaux et petites entreprises utilisent des plafonniers pour leur confort thermique.

3.21.2 Constructions en briques de terre comprimées

Ce type de constructions est rencontré beaucoup plus au niveau de la périphérie. Cependant, on y rencontre aussi très rarement des maisons en pierres (voir figure 8). Les toitures des maisons en briques de terre comprimées sont en tôle ou en paille. (Voir figure 8)



Figure 8 : Habitations en briques de terre comprimées et en pierres

La plupart de ces constructions servent d'habitats. Les murs ne sont revêtus pour la plupart, d'aucun enduit et non peints aussi.

Les portes sont faites en tôle peinte avec encadrement en bois (voir figure 9). Les fenêtres quant à elles sont pour la plupart de petites dimensions et faites en tôle avec encadrement en bois comme les portes. De manière générale, ces habitations n'ont pas de plafond.



Porte en tôle peinte

Figure 9 : Porte en tôle peinte

3.2 DESCRIPTION DES LOCAUX DE REFERENCE

Les locaux d'étude que nous envisageons climatiser sont les bureaux et les maisons d'habitations situées à la périphérie de la ville de Maroua.

⇒ **Les bureaux :** ils sont pour la plupart climatisés surtout les bureaux administratifs. Cependant, dans le secteur privé très peu de bureaux sont climatisés et la plupart de ces bureaux sont équipés de plafonniers. Ils ont pour la plupart une superficie d'au moins 12 m² et sont généralement occupés par plus d'une personne. L'éclairage est fourni dans ces bureaux pour la plupart par des lampes fluorescentes. Les appareils rencontrés dans ces bureaux sont généralement des ordinateurs (le nombre est fonction du nombre d'occupants), des imprimantes, des fax, des téléviseurs et des téléphones fixes tout ceci en fonction du type d'activité exercé dans le bureau. Ils possèdent pour la plupart des plafonds faits en contre plaqué sous une toiture en tôle non peinte. Les murs de ces bureaux sont majoritairement construits en agglomérés creux. La figure 10 ci-dessous illustre un exemple de bureau.



Figure 10 : Exemple de bureau

⇒ **Maisons d'habitations situées à la périphérie :** Ces maisons ont des dimensions très variables et sont occupées par plus d'une personne. Les toitures sont en paille pour la plupart, mais on rencontre aussi des toitures en tôle. A l'intérieur des maisons aux toitures en tôle, il n'existe pas de plafond. Les fenêtres ont de très petites dimensions. Ces habitats sont non électrifiés pour la plupart. Elles sont construites en briques de terre comprimées et n'ont généralement pas d'enduits (extérieur et intérieur).



Figure 11 : Exemple de maisons

3.3 PROPOSITION ET CARACTERISTIQUES DES LOCAUX “TYPES”, SUPPORT DE L'ETUDE

Dans cette section nous présentons les différents paramètres caractéristiques des locaux types sur lesquels nous envisageons mener notre étude.

3.3.1 CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISES

LOCAL 1 : Le local type 1 sera à usage de bureau dont les murs seront faits en agglomérés creux (conductivité thermique $\lambda = 0,67$ W/m. K [IEPF, 2002]) d'une épaisseur de 15 cm. La superficie sera de 14 m^2 . Le plafond est fait en contre plaqué (conductivité thermique $\lambda = 0,14$ W/m. K [IEPF, 2002]). Le bureau peut être occupé par deux personnes non fumeurs. Il peut abriter une imprimante d'une puissance de 200W, un ordinateur d'une puissance de 65W. L'éclairage est fourni par une lampe fluorescente non encastré de 36 W. Le bureau est occupé environ 10 h de temps par jour.

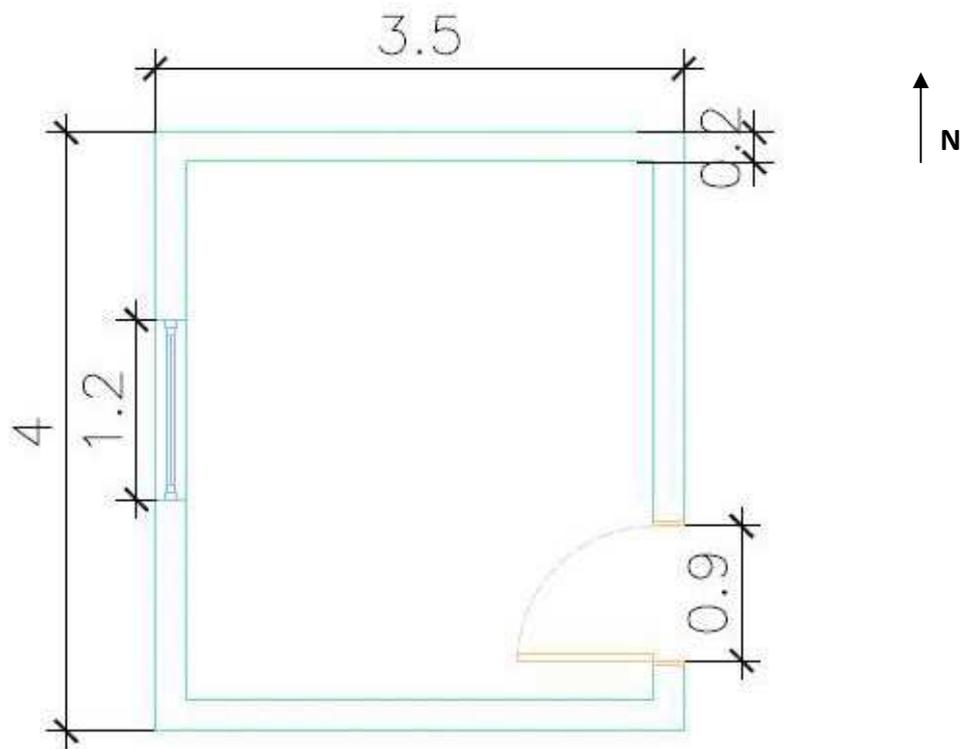


Figure 12 : Plan du local type 1

Les murs Est et Sud sont en contact avec un local non climatisé et les murs Ouest et Nord sont en contact avec l'extérieur. La hauteur des murs sous plafond est de 3 m. La hauteur de la porte possédant un vitrage est de 2m et celle de la fenêtre (baie vitrée) est de 1m. L'encadrement des portes et des fenêtres est métallique.

LOCAL 2 : Le local type 2 sera la chambre à coucher parental (2 personnes) d'un habitat traditionnel dont les murs, d'une épaisseur de 11 cm, sont faits en brique de terre pleine de coefficient de conductivité thermique $\lambda = 0,85 \text{ W/m. K}$ [IEPF, 2002]. Le toit est en tôle de conductivité thermique $\lambda = 70 \text{ W/m. K}$ [IEPF, 2002]. Le Plafond est en paille de conductivité thermique $\lambda = 0,12 \text{ W/m.K}$ [IEPF, 2002]. Les murs Sud et Est sont en contacts avec l'extérieur, et les murs Nord et Ouest sont en contact avec l'intérieur non climatisé. La hauteur de la porte faite en contre-plaqué est de 2m, celle de la fenêtre faite en tôle est de 1m. La hauteur du mur sous plafond est de 3m. Les encadrements des portes et des fenêtres sont en bois. Le local d'une superficie de 12 m^2 ne possède aucun appareil et est éclairé le soir par une lampe à pétrole. Le plan du local est donné par la figure ci-après.

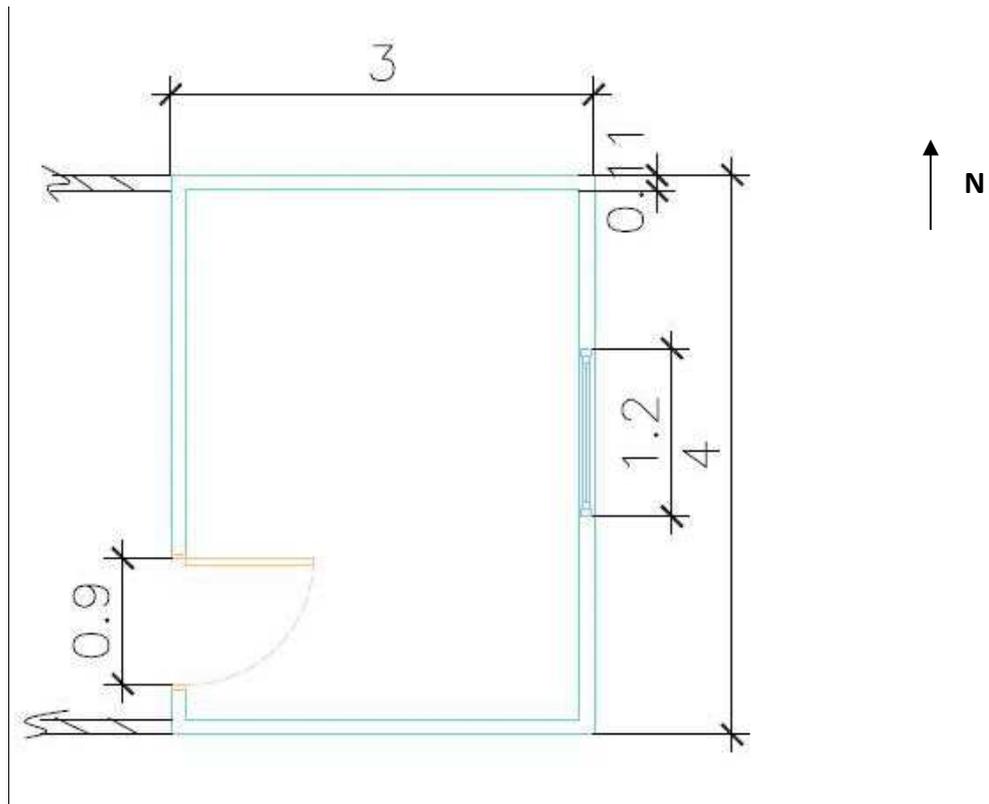


Figure 13 : Plan du local type 2

3.4.2 DONNEES CLIMATIQUES

Nous considérons que nous sommes au mois d'Avril et qu'on a une température extérieure de 40°C avec une humidité relative de 48%. Nous souhaitons atteindre une température intérieure de 32°C avec une humidité relative de 52% dans le cas du local 1. Pour le cas du local 2, nous avons une température nocturne de 28°C (cette température est prise en tenant compte du fait qu'en zone sahélienne la température nocturne est inférieure à 30°C) et nous voulons atteindre une température intérieure de 22°C.

3.5 CALCUL DES CHARGES DE CLIMATISATION

3.5.1 Méthodologie

Pour effectuer nos calculs nous allons utiliser les formules définies ci-dessous tirées de la référence [TALLA, 2008]:

1. Apports par ensoleillement des vitrages

$$\varphi_{ensV} = S[f_S E + k(t_e - t_i)] \quad (11)$$

Avec $f_S = \frac{k\alpha}{h_e} + \tau$, le facteur de soleil de la paroi

2. Apports par ensoleillement des parois opaques

$$\varphi_{ensO} = SK(t_s - t_i) \quad (12)$$

$$\text{Avec } K = \left[\frac{1}{h_e} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{h_i} \right]^{-1}$$

$$\text{et } t_s = \frac{\alpha E}{h_e} + t_e$$

t_s : température fictive équivalente relative au soleil

K : coefficient global de déperdition surfacique de la paroi

3. Apports par transmission au travers les parois

$$\varphi_{trans} = h_g S (\theta_e - \theta_i) \cdot d \quad (13)$$

$$h_g = \left[\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right) \right]^{-1}$$

Avec h_g = coefficient global de transmission ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

S = Surface de la paroi concernée (m^2)

θ_e = température ambiante extérieure ($^\circ C$)

θ_i = température ambiante intérieure ($^\circ C$)

d = coefficient d'amortissement en régime variable

4. Apports dûs au renouvellement d'air

$$\varphi_{ren} = \dot{m}_a (i_a - i_i) \quad (14)$$

Où \dot{m}_a = débit massique d'air neuf

i_a = enthalpie d'air neuf

i_i = enthalpie d'air intérieur

5. Apports de chaleur dûs aux occupants

$$\varphi_{occ} = N_{pers} M_{th} \quad (15)$$

Avec N_{pers} = nombre de personne

M_{th} = chaleur du métabolisme (fonction de l'activité)

6. Apports de chaleur dûs à l'éclairage

$$\varphi = \frac{\sum_i^n P_i}{f_1 \cdot f_2} \quad (16)$$

Avec P_i = puissance de la lampe i

f_1 = facteur de simultanéité

f_2 = facteur de chaleur résiduelle (non évacuée par l'air repris)

On peut aussi utiliser la relation simplifiée : $Q_{ecl} = \sum_i^n P_i t$ (en kWh) (17)

Avec P_i = puissance de la lampe i en (kW) et t_i = durée de fonctionnement de la lampe i (en h).

7. Apports de chaleur dûs aux machines

$$\varphi = \sum_i^n \frac{P_i s f}{\eta} \quad (18)$$

Avec n = nombre de moteurs

P_i = puissance du moteur i

s = facteur de simultanéité

η = rendement du moteur

En général, on peut estimer ces apports par la relation :

$$Q_{mac} = \sum_i^n P_i t_i \quad (\text{en kW}) \quad (19)$$

Avec P_i = puissance du moteur i (en kW)

t_i = durée de fonctionnement de la lampe i (en h)

8. Autres Apports ou déperditions : Ponts thermiques

$$\varphi = KL(\theta_e - \theta_i) \quad (20)$$

Avec K = coefficient de transmission linéique ($W/m^\circ C$)

L = longueur intérieure de chaque liaison (m)

$\Delta\theta = \theta_e - \theta_i$ = différence de température entre les deux ambiances que sépare la paroi pont thermique.

8. 1. Parois à isolation extérieure ou intérieure

$$k = 0.6h_g \cdot e \quad (21)$$

h_g = coefficient global de transport

e = épaisseur de la liaison

8.2. Apports à travers les parois en contact avec le sol

$$\varphi = kL(\theta_e - \theta_i) \quad (22)$$

k = coefficient de transmission linéique de l'ouvrage concernée

L = pouvoir extérieure de l'ouvrage

8.3. Apports à travers une liaison planche-mur

$$\varphi = 2kL(\theta_e - \theta_i) \quad (23)$$

Pour notre calcul, nous allons négliger les ponts thermiques.

3.5.2 Résultats de calcul

a) LOCAL 1

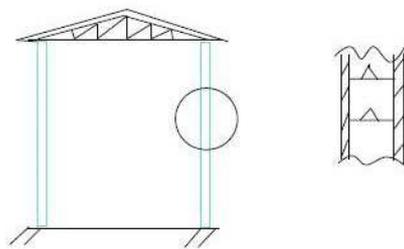


Figure 14 : Vue en coupe du local 1

Tab 1.1 : Résultat des apports par ensoleillement au niveau du vitrage

APPORTS PAR ENSOLEILLEMENT											
Vitrage	L (m)	l (m)	S (m ²)	fs ¹	K ² (W/m ² °C)	te (°C)	ti (°C)	E (W/m ²)	pensv (W)	t (h)	Qensv (Wh)
Porte	0,9	0,5	0,45	0,99	5,8	40	32	700	332,73	10	3327,3
Fenêtre	1,2	1	1,2	0,6	5,8	40	32	700	559,68	10	5596,8
Total											8924,1

Tab 1.2 : Résultat des apports par ensoleillement au niveau des parois opaques

APPORTS PAR ENSOLEILLEMENT											
Parois opaques	L (m)	l (m)	S (m ²)	K (W/m ² °C)	he (W/m ² °C)	α	te (°C)	ts (°C)	penso (W)	t (h)	Qenso (Wh)
Sud	3,5	3	10,5	2,2	9	0,4	37	68,11	834,17	0	0
Nord	3,5	3	10,5	2,2	16,7	0,4	40	56,77	572,11	10	5721,05
Ouest	4	3	10,8	2	16,7	0,4	40	56,77	534,96	10	5349,56
Est	4	3	11,55	2	9	0,4	37	68,11	834,17	0	0
toiture	4	3,5	14	4,64	16,7	0,4	43	59,77	1803,71	10	18037,10
TOTAL											29107,71

Tab 1.3: Résultat des apports par transmission au travers les parois

APPORTS PAR TRANSMISSION AU TRAVERS LES PAROIS											
Parois	S (m ²)	hi (W/m ² °C)	he (W/m ² °C)	Ri	hg (W/m ² °C)	te (°C)	ti (°C)	ρ trans (W)	t (h)	Q trans (Wh)	
Sud	10,5	9	9	0,28	1,99	37	32	104,54	10	1045,35	
Nord	10,5	9	16,7	0,28	2,22	40	32	186,26	0	0	
Ouest	10,8	9	16,7	0,28	2,22	40	32	191,58	0	0	
Est	11,55	9	9	0,28	1,99	37	32	114,99	10	1149,89	
Plafond	14	11,1	20	0,04 3	5,47	43	32	841,12	0	0	
TOTAL										2195,24	

Tab 1.4: Résultat des apports dûs au renouvellement d'air

APPORTS DUS AU RENOUELEMENT D'AIR			
\dot{m}_a (kg/h)	i_a (Kj/kgAs)	i_i (Kj/kgAs)	Q_{ren} (Wh)
4,88	98	72	126,98

Tab 1.5: Résultat des apports dûs aux occupants

APPORTS DUS AUX OCCUPANTS			
N	Mth en W	T en h	Qocc en Wh
2	125	10	2500

¹ Les valeurs de fs ont été prise de [TALLA, 2008]

² Les valeurs de K proviennent de [IEPF, 2002]

Tab 1.6: Résultat des apports dûs à l'éclairage

APPORTS DUS A L'ECLAIRAGE			
N	P (W)	t (h)	Qecl (Wh)
1	36	10	360

Tab 1.7: Résultat des apports dûs aux machines

APPORTS DUS AUX MACHINES			
N	P (W)	t (h)	Qmac (Wh)
1	200	2	400
2	65	8	1040
		TOTAL	1440

Tab 1.8: Résultat du calcul de la puissance frigorifique

CALCUL PUISSANCE FRIGORIFIQUE								
Qensv en Wh	Qenso en Wh	Qtrans en Wh	Qren en Wh	Qocc en Wh	Qecl en Wh	Qmac en Wh	Tfunc en h	Pf en W
8924,10	29107,71	2195,24	126,98	2500	360	1440	10	4465,40

b) LOCAL 2

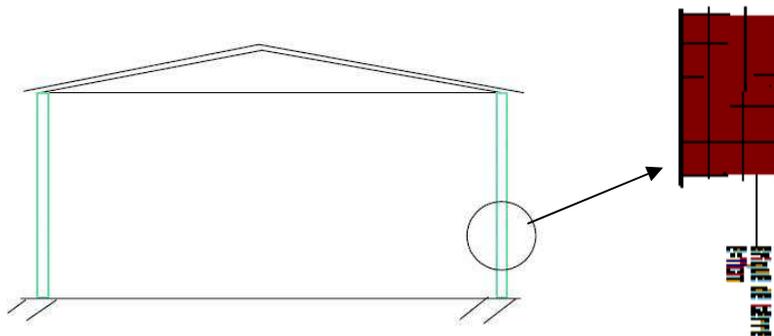


Figure 15 : Vue en coupe du local 2

Tab 2.1 : Résultat des apports par ensoleillement au niveau des parois opaques

APPORTS PAR ENSOLEILLEMENT											
Parois opaques	L (m)	l (m)	S (m ²)	K (W/m ² °C)	he (W/m ² °C)	α	te (°C)	ts (°C)	penso (W)	t (h)	Qenso (Wh)
Sud	3	3	9	2,84	9	0,7	28	82,44	1544,96	10	15449,6
Nord	3	3	9	3,33	16,7	0,7	25	54,34	969,27	0	0
Ouest	4	3	10,2	3,33	16,7	0,7	25	54,34	1098,51	0	0
Est	4	3	10,8	2,84	9	0,7	28	82,44	1853,95	10	18539,52
Toiture	4	3	12	4,64	16,7	0,4	31	47,77	1434,68	10	14346,77
Fenêtre	1,2	1	1,2	2,00	16,7	0,7	28	57,34	84,82	10	848,19
Porte	2	0,9	1,8	1,72	9	0,7	25	79,44	177,85	0	0
TOTAL											49184,08

Tab 2.2: Résultat des apports par transmission au travers les parois

APPORTS PAR TRANSMISSION AU TRAVERS LES PAROIS											
Parois	S (m ²)	hi (W/m ² °C)	he (W/m ² °C)	Ri	hg (W/m ² °C)	te (°C)	ti (°C)	ρ trans (W)	t (h)	Qtrans (Wh)	
sud	9	9	9	0,13	2,84	28	22	153,31	0	0	
nord	9	9	16,7	0,13	3,32	25	22	89,70	10	897,04	
ouest	10,2	9	16,7	0,13	3,32	25	22	101,66	10	1016,64	
est	10,8	9	9	0,13	2,84	28	22	183,97	0	0	
Plafond	12	11,1	20	0,17	3,22	31	22	348,29	0	0	
Fenêtre	1,2	9	16,7	0,33	2,00	28	22	14,37	0	0	
Porte	1,8	9	9	0,36	1,72	25	22	9,27	10	92,75	
TOTAL										2006,42	

Tab 2.3: Résultat des apports dus au renouvellement d'air

APPORTS DUS AU RENOUVELLEMENT D'AIR			
\dot{m}_a (kg/h)	i_a (Kj/kgAs)	i_i (Kj/kgAs)	Q_{ren} (Wh)
5,98	98	72	155,48

Tab 2.4: Résultat des apports dus aux occupants

APPORTS DUS AUX OCCUPANTS			
N	Mth en W	T en h	Qocc en Wh
2	75	7	1050

Tab 2.5: Résultat du calcul de la puissance frigorifique

CALCUL PUISSANCE FRIGORIFIQUE					
Qenso en Wh	Qtrans en Wh	Qren en Wh	Qocc en Wh	Tfunc en h	Pf en W
49184,08	2006,42	155,48	1050	7	7485,14

Au terme de ce chapitre, nous obtenons pour nos deux locaux types respectivement les charges de climatisation ci-après :

- **Local 1 : 4465,40 W**
- **Local 2 : 7485,14 W**

Cependant, Il est à noter que ces charges peuvent être réduites si les parois et le vitrage sont convenablement isolés. Connaissant cette charge de climatisation, il est maintenant question pour nous de dimensionner le système de climatisation qui nous permettra de répondre à cette demande.

CHAPITRE 4 : DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE CLIMATISATION

Dans ce chapitre, il est question pour nous de dimensionner et de choisir tous les composants qui entrent dans la réalisation de notre système de climatisation.

4.1 SYSTEME DE MODULES PELTIER

Ce système est constitué des modules Peltier, des échangeurs de chaleur, des équipements de contrôle et de protection.

Et peut être illustré par la figure ci-dessous.

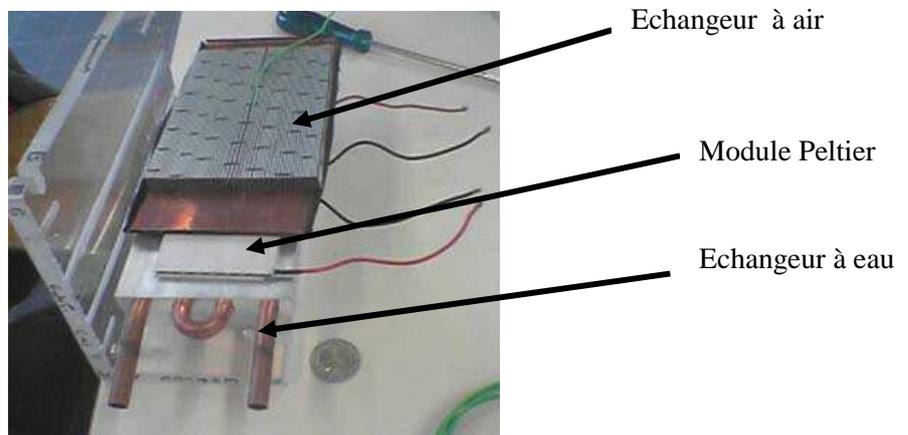


Figure 16 : Dispositif pour le système de modules Peltier

4.1.1 DIMENSIONNEMENT DES MODULES PELTIER

Pour choisir nos modules, nous allons tout d'abord déterminer l'intensité du courant qu'on doit imposer au module. A partir de la formule (4) de la section 2.4, on obtient l'équation du second degré en I ci-dessous.

$$\frac{1}{2}RI^2 - \alpha T_f I + K(T_C - T_F) + \frac{Q_f}{2N} = 0 \quad (24)$$

La résolution de cette équation nous donne la valeur de l'intensité, ensuite nous déterminons la tension et la puissance électrique à fournir au module en fonction des équations (5) et (6) de la section 2.4.

Sachant que la plupart des matériaux utilisés dans les modules pour la production du froid est du tellure de Bismuth [OTEY et MOSKOWITZ, 2001] dont les caractéristiques sont les suivants : $\alpha=200 \mu\text{V/K}$; $\rho=10\mu\Omega\text{m}$ et $\lambda=1,5\text{W/m k}$. [STOCKHOLM, 2002]. Nous avons le tableau de données suivant :

Tab 3 : Données de calcul

Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	N	Tf (°C)	Tc (°C)	α en $\mu\text{V/K}$	ρ en $\mu\Omega\text{m}$	λ en W/m K	Qf1 en W	Qf2 en W
62	62	4,8	127	32	40	200	10	1,5	4465,40	7485,14

Après calcul, on obtient les résultats consignés dans le tableau 4.

Tab 4 : Résultats de calcul

	Intensité en A	Tension en V	Puissance électrique en W
Local 1	162,24	86,26	13995,06
Local 2	198,76	105,59	20986,44

Connaissant l'intensité d'alimentation du module, nous choisissons un module chinois de marque TEC 1-12730 dont les caractéristiques sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Tab 5 : Données caractéristiques du module choisi

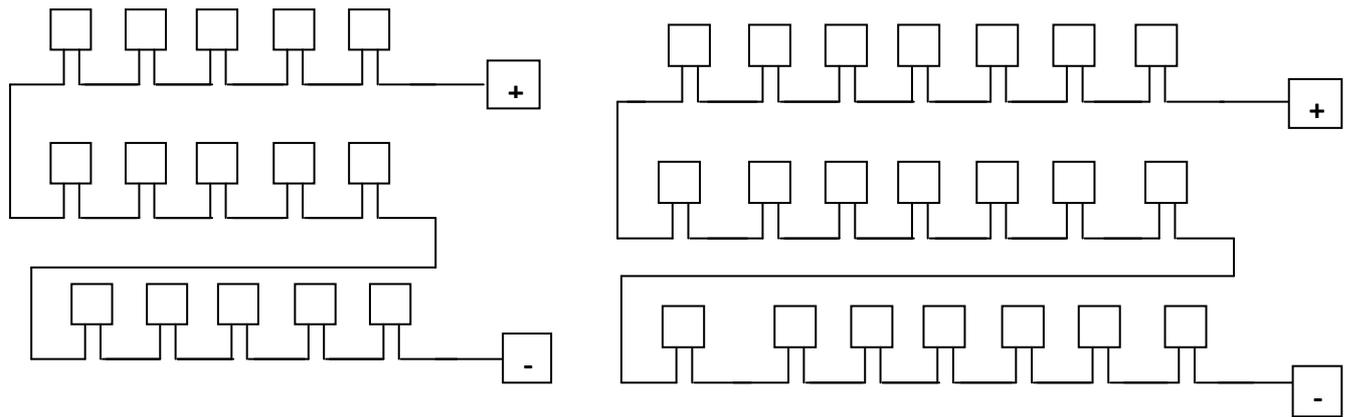
Longueur en mm	Largeur en mm	Hauteur en mm	Intensité max en A	Tension max en V	Puissance froide max en W	Nombre de couple N	ΔT_{max} en °C	Résistance en Ω	Poids en g
62	62	4,8	30,7	15,4	350	127	67	0,35	90

Le tableau 6 ci-dessous donne le mode d'agencement de nos modules choisis pour les deux locaux types.

Tab 6 : Caractéristique d'agencement des modules

	Intensité en A	Tension en V	Puissance froide en W	Nombre de module en série	Nombre de branche	Nombre total de module Peltier	Surface totale des modules Peltier en Cm^2
Local 1	162,24	86,26	4465,40	5	3	15	5,77
Local 2	198,76	105,59	7485,14	7	3	21	8,07

La figure 17 ci-dessous donne le mode d'agencement des modules Peltier pour les deux locaux respectivement.



a) agencement des MP du local 1

b) agencement des MP du local 2

Figure 17 : Agencement série- parallèle des modules Peltier

4.1.2 CHOIX DES ECHANGEURS DE CHALEUR

Lors du fonctionnement des modules Peltier on a besoin des échangeurs de chaleur pour dissiper la chaleur rejetée par ces derniers. Pour choisir nos échangeurs de chaleur, nous allons tenir compte de la surface disponible après agencement des modules Peltier. Ainsi :

- 🔧 Au niveau du local 1 : nous disposons d'une surface de 310 mm X 186 mm
- 🔧 Au niveau du local 2 : nous disposons d'une surface de 434 mm X 186 mm

Sur la partie froide des modules, nous allons utiliser des ventilateurs RADIAUX FLATPACK de taille 220 mm X 220 mm X 56 mm dont les caractéristiques sont données en annexe 2.

Pour nos deux montages nous avons donc les agencements donnés dans le tableau 7.

Tab 7 : Mode d'agencement des ventilateurs

	Nombre de ventilateurs en série	Nombre de ventilateurs en parallèle	Nombre total de ventilateurs	Surface totale des ventilateurs
Local 1	2	1	2	440 mm X 220 mm
Local 2	3	1	3	660 mm X 220 mm

Sur la partie chaude, nous allons utiliser des dissipateurs thermiques LUXEON de taille 154,43 mm X 152,40 mm X 44,45 mm dont les caractéristiques sont données en annexe 3.

Pour nos deux montages nous avons donc les agencements donnés dans le tableau 8.

Tab 8 : Mode d'agencement des dissipateurs thermiques

	Nombre de dissipateurs en série	Nombre de dissipateurs en parallèle	Nombre total de dissipateurs	Surface totale des dissipateurs
Local 1	2	2	4	308,86 ³ mm X 304,8mm
Local 2	3	2	6	463,29 mm X 304,8 mm

4.1.3 EQUIPEMENTS DE PROTECTION

- ✓ Contrôleur de température : nous allons utiliser un contrôleur de marque UWE de référence UETR-PT24V16A dont les caractéristiques sont données en annexe 4.
- ✓ Thermostats : nous allons utiliser des thermostats de marque UWE de référence UETS-WDC-380W dont les caractéristiques sont données en annexe 5.
- ✓ Fusible DC

4.2 GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE

Notre générateur photovoltaïque est constitué :

- ❖ Du champ de modules photovoltaïques,
- ❖ Du régulateur,
- ❖ De la batterie.

Ceci, car nous optons pour un système avec batterie pour la génération du courant des deux locaux. La figure 18 donne la configuration synoptique de ce système.

³ On a une longueur inférieure à la longueur voulue car nous tenons compte du fait que la longueur du dissipateur n'a aucun impact sur la dissipation de chaleur (facteur de 1 [RADIO SPARES, 2008])

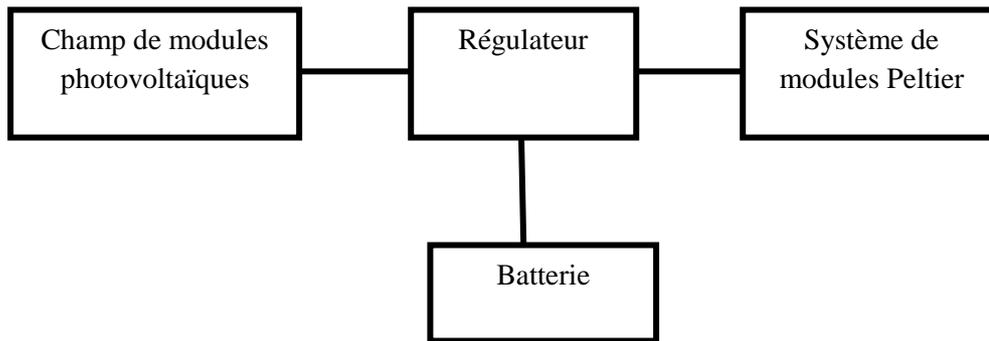


Figure 18 : Configuration du générateur photovoltaïque

4.2.1 DIMENSIONNEMENT DU CHAMP DE MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

4.2.1.1 METHODOLOGIE

Pour effectuer le dimensionnement du champ de modules photovoltaïques nous allons utiliser la méthode simplifiée suivante [KOALAGA, 2010] :

- Détermination de la puissance crête donnée par la formule $P_c = \frac{C_j}{K E_i}$ (25)

Où C_j est la consommation journalière en (Wh/j), K est un facteur de correction englobant les divers rendements ainsi qu'un coefficient de sécurité, E_i^4 est l'énergie incidente sur le plan des modules (kWh/m²/j)

- Détermination du nombre de module en série donnée par la formule

$$n_s = \frac{\text{tension d'utilisation}}{\text{tension du module}} \quad (26)$$

- Détermination du nombre de branche donnée par la formule

$$n_{//} = \frac{P_c}{P_{c\text{module}}} \times \frac{1}{n_s} \quad (27)$$

- Détermination de la puissance à installer $P_{cinst} = n_s n_{//} P_{c\text{module}}$ (28)

- Détermination de la tension de fonctionnement du générateur photovoltaïque: la tension nominale est fonction de la puissance crête obtenue par celle-ci suivant la relation :

⁴ $E_i = 4,46\text{kWh/m}^2$ pour la ville de Maroua [ESMAP, 2007]

- ✓ 12 V pour $P_c < 150 W_c$,
- ✓ 24 V pour $150 W_c < P_c < 1000 W_c$,
- ✓ 48 V pour $P_c > 1000 W_c$

4.2.1.2 CHOIX DU MODULE PHOTOVOLTAIQUE

Pour le choix des panneaux solaires nous allons tenir compte des deux critères principaux suivants :

- Surface disponible
- Technologie du panneau

4.2.1.2.1 SURFACE DISPONIBLE

Nous supposons que les toitures des deux locaux type sont inclinées de 15° par rapport à l'horizontal. Le tableau ci-dessous donne les surfaces disponibles pour nos deux locaux.

Tab 9: Surface disponible

	Surface disponible sur la toiture
Local 1	$45,74 \text{ m}^2$
Local 2	$112,33 \text{ m}^2$

4.2.1.2.2 TECHNOLOGIE DES PANNEAUX

Il existe plusieurs technologies de panneaux solaires sur le marché dont :

- Les panneaux solaires monocristallins fabriqués à base de cristaux de silicium très pur fondu et ensuite refroidi, offrent le meilleur rendement (15 à 18% [PACER 1997]) actuel sur le marché. Le coût de vente des modules monocristallins est très élevé. Ils ont un faible rendement sous un éclairage peu intense mais sont mieux adaptés pour des systèmes de grande puissance.
- Les panneaux solaires polycristallins fabriqués à base des déchets provenant de la fabrication des panneaux monocristallins, ils ont un coût relativement moins cher par rapport aux panneaux monocristallins et possèdent pratiquement les mêmes caractéristiques que ces derniers mais avec un rendement plus bas.

- Les panneaux amorphes fabriqués à base d'une mince couche de gaz de silicium, ont un rendement très faible (5 à 9% [PACER 1997]) et un meilleur rendement sous éclairage peu intense. Ils constituent la technologie la plus moins cher sur le marché actuel.
- Les panneaux hybrides HIT sont constitués de plaquettes hybrides monocristallines recouvertes d'une fine couche de silicium amorphe. Ils ont un bon rendement, mais leur coût est plus élevé que ceux des panneaux amorphes.

En fonction de la puissance du panneau, de la tolérance du module, de la durée de vie, de la température nominale d'utilisation des cellules, du rendement du module, du coefficient de puissance du module, de la garantie et de la certification du module, nous choisissons le panneau solaire ci-dessous et dont les caractéristiques sont données en annexe 6.

Tab 10: Caractéristique du panneau choisi

Technologie	Constructeur	Modèle	Puissance	Tension	surface
Monocristallin	SUNPOWER	SPR-315-WHT-I	315W	54,7V	1559 X 1046 mm ²

4.2.1.3 RESULTAT DU DIMENSIONNEMENT

Le tableau ci-dessous donne la puissance crête, le nombre de modules en série, le nombre de branche et la surface totale occupée par ces modules.

Tab 11: Mode d'agencement des panneaux solaires

	Tension du MP en V	Puissance crête Wc	ns	n//	Nombre totale de panneaux	Puissance à installée (Wc)	Surface totale des panneaux en m ²
Local 1	86,26	51272,97	2	81	162	51030	264,18
Local 2	105,59	53820,85	3	57	171	53865	278,85

COMMENTAIRE :

On se rend compte que la puissance de notre générateur est très grande et aussi que l'implantation des panneaux solaires pour alimenter les modules Peltier nécessite une très grande surface. Hors nous ne disposons pas de cette surface sur les toitures de nos locaux. Il nous faudrait trouver un espace au sol pour monter le reste de panneau, ce qui devient difficile car nous ne disposons pas d'un tel espace. De ce fait un tel projet n'est pas envisageable, cependant, nous faisons les considérations ci-dessous :

1. L'énergie produite par les panneaux solaires servira à alimenter les autres charges du bâtiment d'habitation en particulier (éclairage, télévision, ...) qui ont une charge relativement faible par rapport à la charge de climatisation.
2. Nous supposons que nous disposons des bâtiments de type T3 ou T4, ce qui nous permettrons de disposer d'un plus grand espace sur la toiture pour les deux locaux.

4.2.1.4 ORIENTATION, INCLINAISON ET EMPLACEMENT DES MODULES

4.2.1.4.1 ORIENTATION DES MODULES

L'orientation des modules est fonction de l'hémisphère dans lequel on se trouve. Ainsi :

- ✓ Pour les sites de l'hémisphère Nord, les modules sont orientés plein Sud.
- ✓ Pour les sites de l'hémisphère Sud, ils sont orientés plein Nord.

Dans notre cas, nous sommes situés géographiquement Nord donc les modules seront orientés plein Sud.

4.2.1.4.2 INCLINAISON DES MODULES

L'inclinaison des panneaux est fonction de la latitude du lieu [PACER, 2007 ; RICAUD, 2008 ; JAUTARD et BOUDOL, 2000] et est regroupé dans le tableau ci-dessous.

Tab 12: Inclinaison des modules photovoltaïques [JAUTARD et BOUDOL, 2000]

LATITUDE	INCLINAISON
$L < 10^\circ$	$I = 10^\circ$
$10^\circ < L < 30^\circ$	$I = L$
$30^\circ < L < 40^\circ$	$I = L + 10^\circ$
$L > 40^\circ$	$I = L + 15^\circ$

Pout notre cas, la ville de Maroua étant à une latitude de $10^\circ 8'$ nos modules seront inclinés de 11° .

4.2.1.4.3 EMPLACEMENT DES MODULES

Les panneaux seront agencés comme le montre les figures 19 et 20 et montés sur la toiture avec un espacement de 0, 1 m pour chacun des deux systèmes.

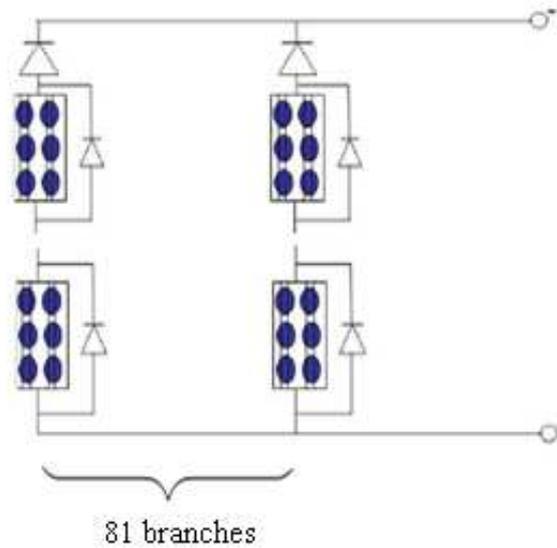


Figure 19 : Mode d'agencement des modules pour le local type 1

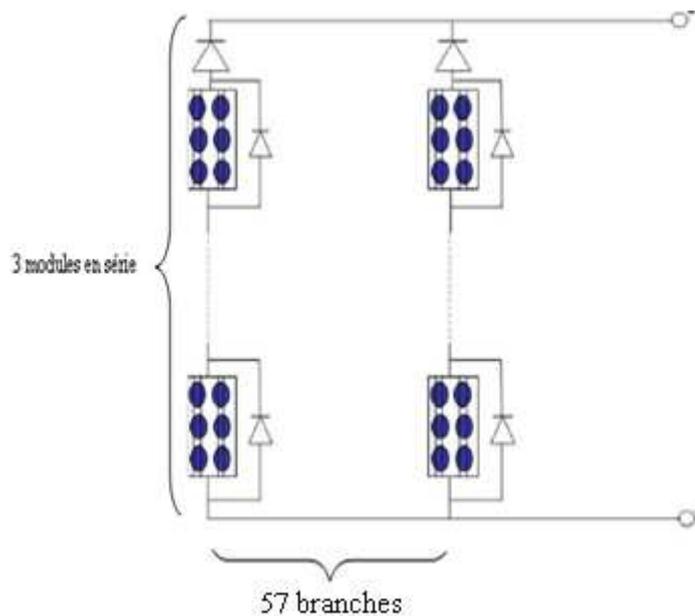


Figure 20 : Mode d'agencement des modules pour le local type 2

4.2.2 CHOIX DU REGULATEUR

Pour le choix de notre régulateur solaire, nous allons tenir compte du fait que l'intensité de court circuit du régulateur doit être supérieure à celle du produit de l'intensité de court circuit du panneau par le nombre de branches. Nous allons aussi tenir compte du fait que

les régulateurs MPT sont mieux adaptés pour les zones chaudes [PACER 1997]. Ainsi, nous allons utiliser un régulateur solaire de marque POWER TAROM 4140 dont les caractéristiques sont en annexe 7. Pour le local 1 : nous allons agencer 5 régulateurs en parallèle et pour le local 2 : nous allons monter 4 régulateurs en parallèle.

4.2.3 CHOIX DE LA BATTERIE

Le choix de la batterie est fonction de la capacité du système et de la technologie de la batterie.

- **Capacité de la batterie** : elle est donnée par la formule 29.

$$C = \frac{C_j N_{jr}}{U_{acc} \eta_{bat} DM} \quad (29)$$

Où C_j est la consommation journalière, N_{jr} est le nombre de jour d'autonomie, U_{acc} est la tension de fonctionnement, η_{bat} est le rendement de la batterie et DM le coefficient de décharge profonde.

- **La technologie** : il existe plusieurs principaux types de batterie pour les installations solaires :

- ❖ Les batteries au plomb qui sont mieux adaptées pour les installations autonomes ont le plus souvent un rendement de 85%.
- ❖ Les batteries nickel-cadmium qui sont utilisés pour les systèmes à l'échelle industrielle et dont le coût est plus élevé comparativement à la batterie au plomb.

Nous allons utiliser des batteries OPZV de caractéristiques :

- Tension : 2 V
- Capacité : 3000Ah
- Courant de court circuit : 14 964 A
- Dimension en mm : 212(longueur) X 576(largeur) X 820(hauteur)
- Poids : 240 kg

Tab 13: Mode d'agencement des batteries

	N _{jr}	DM	C (Ah)	Nombre de branche	Nombre de batteries en série	Nombre total de batteries
Local 1	3	0,6	9543,69	3	43	129
Local 2	3	0,6	8183,99	3	53	159

4.2.4 EQUIPEMENT DE PROTECTION

Comme équipement de protection nous envisageons utiliser :

- ❖ un parafoudre DC de type 2 assemblé par A.I.G.E.R de caractéristiques :
 - ✓ Cartouche débrochable
 - ✓ Tension maximum de service permanent : 1000 VDC
 - ✓ Courant nominal de décharge : 20 kA
 - ✓ Courant maximum de décharge : 40 kA
 - ✓ Niveau de protection sous le courant nominal : 1,8 kV
 - ✓ Courant de fuite : < 1 mA
 - ✓ Temps de réponse : < 25 ns
 - ✓ Capacité de raccordement : 4-35 mm²
 - ✓ Température de service : -20°C à +80°C
 - ✓ Déconnexion thermique intégrée
 - ✓ Conforme à la norme IEC-61643-1

- ❖ un sectionneur DC.

4.3 CABLES DE CONNEXION

La détermination de la longueur des câbles sera arbitraire. Cependant, la section du câble sera déterminée en fonction de l'intensité du courant et de la chute de tension.

Le câblage comprendra :

- La connexion des panneaux au boîtier de connexion des modules : nous allons utiliser des câbles unipolaires de section 16 mm² (même section pour les deux locaux) de type U1000-R02V âme en cuivre de longueur 130 m pour le local 1 et 100 m pour le local 2.
- La connexion du boîtier avec le régulateur : nous allons utiliser des câbles en cuivre de section 25 mm² et de longueur 10 m ceci pour nos deux locaux.
- La connexion du régulateur avec la batterie aura la même section de câble que précédemment soit 25 mm².
- La connexion du régulateur avec les dispositifs de protection

- La connexion des dispositifs de protection avec le système de MP : nous allons utiliser des câbles de section 25 mm^2 et de longueur 5 m.

4.4 MISE EN OEUVRE

Pour la mise en œuvre de notre système nous aurons :

Au niveau de l'alimentation CC:

- ⇒ **Le champ de modules photovoltaïques** : agencement série parallèle de 162 modules pour le local 1 et 171 modules pour le local 2.
- ⇒ **Le régulateur** : agencement parallèle de 5 régulateurs pour le local 1 et de 4 régulateurs en parallèle pour le local 2.
- ⇒ **La batterie** : agencement en série/parallèle de 129 batteries pour le local 1 et de 159 batteries pour le local 2.
- ⇒ **Equipements de protection** : un sectionneur DC et un parafoudre DC.

Le système de refroidissement comprendra :

- ⇒ **Les modules Peltier** : agencement série parallèle de 15 modules Peltier pour le local 1 et 21 modules Peltier pour le local 2.
- ⇒ **Dissipateur de chaleur** : Nous allons utiliser 4 dissipateurs agencés en série/parallèle pour le local 1 et 6 dissipateurs pour le local 2.
- ⇒ **Ventilateur** : nous allons raccorder 2 ventilateurs et 3 ventilateurs pour le local 1 et 2 respectivement.
- ⇒ **Les thermostats** : nous allons utiliser 4 thermostats pour chacun des locaux.
- ⇒ **Contrôleur de température** : nous utiliserons un contrôleur de température pour chacun des systèmes.

Ayant fait tout cet agencement nous avons la figure synoptique ci-dessous.



Figure 21 : Schéma synoptique de l'installation

Le schéma unifilaire de l'installation est donné par la figure 22.

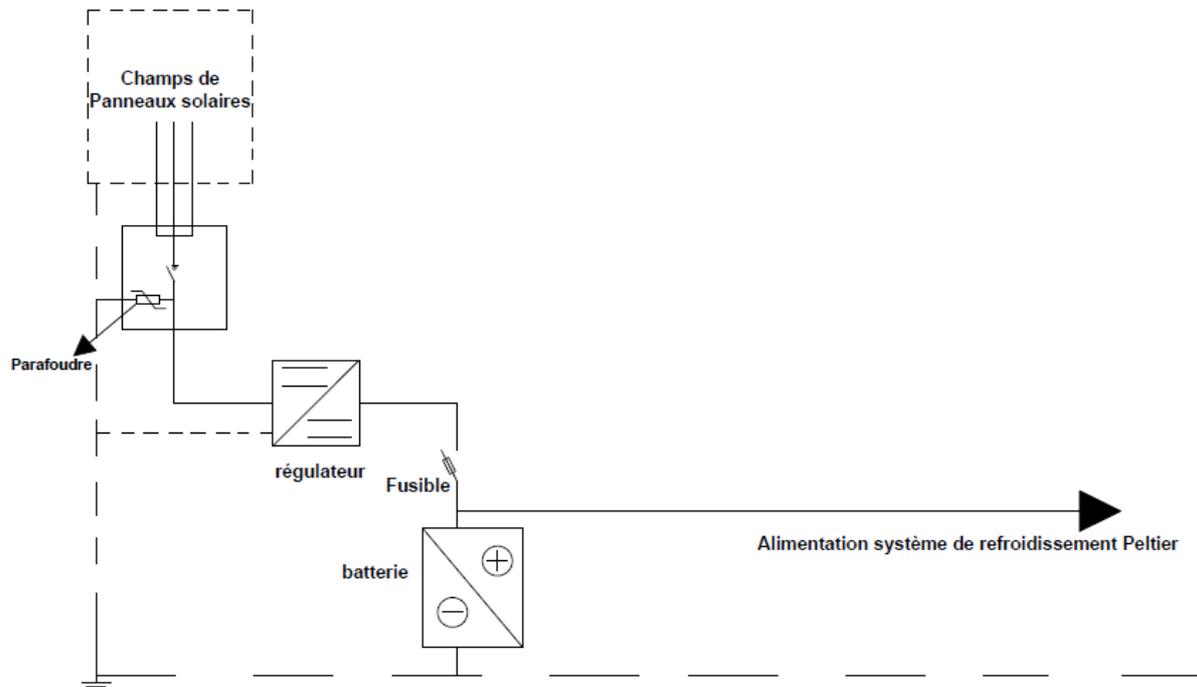


Figure 22 : Schéma unifilaire de l'installation

Au terme de ce chapitre, il ressort que les modules Peltier sont gourmands en consommation énergétique. On se rend aussi compte que l'énergie fournie par les panneaux solaires servirait à alimenter l'éclairage d'une maison ayant un climatiseur classique.

CHAPITRE 5 : ETUDES ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL

5.1 ETUDE ECONOMIQUE

Il sera question pour nous dans cette sous section de déterminer :

- ⇒ L'investissement initial du projet qui comprendra le montant total des équipements achetés pour la mise sur pied du projet et le montant des imprévus qui représentera 10% de l'investissement.
- ⇒ L'investissement net qui sera la somme de l'investissement initial et du coût total de renouvellement des équipements.
- ⇒ Le temps de retour sur investissement qui est donné par la formule :

$$\text{Retour sur investissement} = \frac{\text{Investissement net}}{V.A.N} \quad (30)$$

Avec la V.A.N qui est donnée par la formule :

$$V.A.N = -I_{net} + \sum_{k=1}^n B_k \times (1+i)^{-k} \quad (31)$$

Où : B_k est le bénéfice ou le cash flow à l'année k ; i est le taux d'actualisation du projet (ici 10%) ; n est la durée du projet et I_{net} représente l'investissement net du projet.

Hypothèses :

1. Nous allons considérer que la durée du projet est de 25 ans.
2. Nous allons déterminer le cash-flow en considérant :
 - Des frais de maintenance (charge fixe) de 21 000 FCFA/an pour chacun des locaux.
 - Des recettes qui seront déterminées en considérant notre système de refroidissement comme un climatiseur usuel de même puissance frigorifique que les modules Peltier alimentés par le réseau électrique (le prix du kWh est considéré égal à 80 FCFA).

Tab 14: Résultat investissement pour le local 1

DESIGNATION	QUANTITE	PRIX UNITAIRE HT (FCFA)	PRIX TOTAL HT (FCFA)
Modules Peltier	15	15 322,44	229 836,6
Ventilateur	2	69 550	139 100
Dissipateur	4	13 097,5	52 390
Thermostat	4	7 800	31 200
Contrôleur de température	1	13 000	13 000
Modules photovoltaïques	162	556 926,5	90 222 093
Régulateur	5	700 000	3 500 000
Batterie	129	150000	19 350 000
Câble de connexion 16mm2	100	4 608,5	460 850
Câble de connexion 25 mm2	20	5 000	100 000
Parafoudre	1	100 737	100 737
Fusible	1	5 252	5 252
Sectionneur	1	51 000	51 000
Installation module photovoltaïque			9 022 209,3
Installation batterie			9 675 000
INVESTISSEMENT INITIAL			146 247 935
INVESTISSEMENT NET			154 192 262
V.A.N			-149 990 559

Tab 15: Résultat investissement pour le local 2

DESIGNATION	QUANTITE	PRIX UNITAIRE HT en FCFA	PRIX TOTAL HT en FCFA
Modules Peltier	21	15 322,44	321 771,24
Ventilateur	3	69 550	208 650
Dissipateur	6	13 097,5	78 585
Thermostat	4	7 800	31 200
Contrôleur de température	1	13 000	13 000
Modules photovoltaïques	171	556 926,5	95 234 431,5
Régulateur	4	700 000	2 800 000
Batterie	159	150 000	23 850 000
Câble de connexion 16mm2	130	4 608,5	599 105
Câble de connexion 25 mm2	20	5 000	100 000
Parafoudre	1	100 737	100 737
Fusible	1	5 252	5 252
Sectionneur	1	51 000	51 000
Installation module photovoltaïque			9 523 443,15
Installation batterie			11925000
INVESTISSEMENT INITIAL			159 326 392
INVESTISSEMENT NET			168 264 705
V.A.N			-163 303 961

COMMENTAIRE :

D'après les résultats obtenus dans les tableaux précédant, on se rend compte que :

- ✓ Les coûts d'investissements pour nos deux projets sont très élevés alors que notre système de production de froid ne couvre même pas une surface d'un mètre carré.
- ✓ Les V.A.N de nos deux projets sont négatives ce qui nous amène à conclure que ces projets ne sont pas rentables.

Nous pouvions déjà nous attendre à ces résultats car [STOCKHOLM, 1995] :

- ⇒ Le refroidissement avec les modules Peltier est meilleur pour une puissance froide de 50 Wf,
- ⇒ Les systèmes de refroidissements Peltier consomment 3 fois plus d'électricité qu'un système à compression de fluide,
- ⇒ Leur coût est plus élevé au Wf qu'un système à compression de fluide.

5.2 ETUDE ENVIRONNEMENTAL

Le système de refroidissement Peltier lors de son fonctionnement ne rejette aucun gaz nocif pour l'environnement comme un système classique fonctionnant avec du CFC. Ce gaz a une durée de vie de 130 ans dans l'atmosphère et un PRG (pouvoir de réchauffement global) allant de 3500 à 7300 [SEMPORE, 2006] ceci en prenant comme référence le CO₂. Nous allons donc évaluer uniquement la quantité de CO₂ évitée lors de l'utilisation des panneaux solaires pour l'alimentation du système de refroidissement Peltier. En effet, la société de distribution d'électricité utilise majoritairement des centrales thermiques au diesel pour la production d'électricité. Nous allons utiliser la formule :

$$téqCO_2 = \frac{0,74^5 téqCO_2}{GJ} * \text{Quantité d'énergie actualisée sur 25ans} \quad (32)$$

Le gain possible obtenu par la vente du CO₂ évitée est donnée par la formule ci-dessous.

⁵ La combustion dans un groupe électrogène produit 74 kg de CO₂ par GJ (d'après www.riaed.net/spip.php?article227)

$$\text{gain} = 10 * 650 * \text{téqCO}_2 \quad (33)$$

Tab 16: Résultat de la quantité de CO₂ évitée et du gain obtenu

	QUANTITE DE CO ₂ EVITEE SUR 25 ANS EN TONNES	GAINS PROVENANT DE LA VENTE DU CO ₂ EVITEE EN FCFA
LOCAL 1	2018,34	13 119 213,14
LOCAL 2	2118,64	13 771 152,66

Au terme de ce chapitre, nous pouvons dire que l'installation d'un système de climatisation à partir des modules Peltier et des panneaux solaires est très lourde d'investissement comparativement à un système classique. Bien que la vente du CO₂ évitée si elle est faite, représente une somme considérable sur les 25 ans.

Conclusion : A la fin de cette partie, il ressort que les modules Peltier sont très peu encombrant et qu'ils ne polluent pas l'environnement comme les climatiseurs classiques. Cependant, ces derniers lors de leur fonctionnement demandent d'énorme quantité d'énergie pour la production de froid. Ce qui est à l'origine de l'emploi d'une très grande quantité de panneau solaire pour l'alimentation du système. D'où le prix d'investissement élevé.

IV- CONCLUSION GENERALE

Au terme de ce travail sur la combinaison du solaire et des modules Peltier pour la production de froid au Sahel, il ressort après une étude bibliographique des différents systèmes de production de froid que le meilleur système jusqu'à l'heure actuelle est le système à compression mécanique car ayant le meilleur rendement. Cependant, parmi les autres systèmes seuls les modules Peltier présentent une aptitude à être utilisés pour des petites puissances froides. Ensuite, l'étude bibliographique sur les modules Peltier met en exergue le fait que ces derniers ont été utilisés depuis longtemps dans divers domaines. Ces modules outre leur petitesse, leur robustesse et leur bonne fiabilité, sont très utilisés dans la réfrigération des petits espaces à faible puissance où ils offrent de bons résultats. Cependant, dans le cas de la réfrigération de grandes puissances les applications sont plutôt rares. Après le calcul de la charge de climatisation et le dimensionnement des modules Peltier, on se rend compte que les modules Peltier sont très peu encombrants et ont un coût relativement bas sur le marché. Cependant, ils demandent une grande énergie à cause de leur faible rendement. C'est ainsi que le dimensionnement du système d'alimentation DC conduit à une quantité énorme de panneaux solaires à installer. Connaissant la cherté des panneaux solaires sur le marché, on aboutit donc à un coût d'investissement exorbitant. Ce qui rend donc le projet non rentable, malgré le fait que ces systèmes offrent un énorme avantage dans le domaine environnemental car non polluant. Aussi, l'usage des panneaux solaires permet d'éviter le rejet d'une quantité considérable de CO₂ dans l'atmosphère. Tout ceci ne suffit pas pour remplacer les climatiseurs classiques.

Toutefois, si ces systèmes Peltier sont alimentés avec l'énergie produite par la société d'électricité, on pourrait dire que leur utilisation pour la climatisation est envisageable. Ceci en sachant bien que cela n'est pas possible à cause de la pollution et de la raréfaction des énergies fossiles. Aussi, ils seraient préférables d'améliorer le rendement des modules Peltier pour favoriser leurs applications à puissances moyennes (de l'ordre de 5 kWf) ce qui est en cours de recherche actuellement. Et enfin, il faudrait envisager la combinaison des modules Peltier avec les autres systèmes de climatisation (système à absorption et à adsorption) pour améliorer le rendement de ces derniers.

BIBLIOGRAPHIES

❖ COURS POLYCOPIES

André TALLA (2008), Climatisation et Acoustique. Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (Yaoundé- Cameroun).

Francis SEMPORE (2006), Techniques frigorifiques. Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE- Burkina Faso).

Zacharie KOALAGA (2010), Electricité solaire photovoltaïque. Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE- Burkina Faso).

Yao AZOUMAH (2010), Thermique solaire. Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE- Burkina Faso).

Denis LEDUCQ (2009), Froid et Environnement, cemagref.

❖ THESES

Matthieu COSNIER (2008), Etude expérimentale d'un système thermoélectrique destiné au rafraîchissement des bâtiments, thèse, Ecole doctorale de l'Université de Savoie SISEO

Thibaut VITTE (2007), Chapitre 1 : Généralités et état de l'art à propos de la climatisation solaire thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Yezouma COULIBALY (2000), Contribution à la réduction des charges de production frigorifique par adsorption et la réduction des apports solaires dans les locaux, thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université CHEIKH ANTA DIOP de Dakar.

❖ OUVRAGES ET ARTICLES

- Bao YANG, Herwin AHUYA et Thanh N. TRAN. (2008), Thermoelectric technology assessment: application to air conditioning and refrigeration, *review article, volume 14 number 5 HVAC&R Research*
- ESMAP (2007) Cameroun : plan d'action national énergie pour la réduction de la pauvreté, *technical paper 117/07 FR.*
- PACER (1996), Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projet, ISBN 3-905232-26-X.
- IEPF (2002), Efficacité Energétique de la climatisation en région tropicale, *Tome 1.*
- J.G. STOCKHOLM (2002), Générateur thermoélectrique, *Energie potable : autonomie et intégration dans l'environnement humain 21-22 Mars 2002-Cachan-Journées électrotechniques du club EEA.*
- J.G. STOCKHOLM (1995), La thermoélectricité, applications et perspectives. *Revue des sciences 95-3 Juillet 1995.*
- Robert OTEY et Barry MOSKOWITZ (2001), Thermoelectric coolers offer efficient solid-state heat management options, *oe magazine.*
- Yves JAUTARD et Thierry BOUDOL (2000), L'électricité photovoltaïque.

❖ CATALOGUES

- A.I.G.E.R pour les parafoudres.
- CHINOIS (2011), Peltier thermoelectric cooling modules.
- DISTERNER (2010) pour panneaux solaires.
- RADIOSPARES S.A.G (2008), Gestion thermique.
- UEW ELECTRONIC

ANNEXES

ANNEXE 1 : TERME DE REFERENCE DU STAGE

Lieu (UTER/Laboratoire) :	Laboratoire d’Energétique, Ecole Normale Supérieure Polytechnique (Yaoundé- Cameroun)
Numéro d’identification	M1109
Thème de stage	Combinaison du solaire et de modules Peltier pour production du froid au sahel
Encadrement :	Yao AZOUMAH (yao.azoumah@2ie-edu.org), André TALLA (andre-talla@yahoo.fr)
Gratification :	

1. Contexte

La raréfaction des énergies fossiles entraînant leur cherté pose de sérieux problèmes de croissance économique et de développement à tous les pays du monde mais encore plus à ceux d’Afrique subsaharienne. En effet, la plupart de ces pays sont des importateurs nets d’hydrocarbures. En conséquence, leurs économies sont étroitement liées à la disponibilité de ces ressources dont ils n’ont pas du tout la maîtrise. Autrement dit ces pays sont doublement pénalisés : la raréfaction des ressources énergétiques fossiles freinent leur développement économique et ils sont loin d’avoir leur indépendance énergétique ; gage de tout développement. Cependant, l’Afrique fait partie des régions les plus ensoleillées au monde. Presque tout le Maghreb, les pays sahéliens et l’Afrique australe sont dans la ceinture solaire (régions du monde où l’ensoleillement normal direct excède 2000 kWh/m²/an). Cette ressource n’est pas du tout exploitée ou l’est très marginalement. Le fort ensoleillement fait que la plupart des pays au sud du Sahara, comme le Burkina Faso, ont des températures extrêmement élevées toute l’année.

Par exemple, au Burkina, les températures moyennes journalières sont autour de 35,5 °C avec un maximum absolu d’environ 46,2 °C. L’humidité relative moyenne est de 48%. Le soleil brille en moyenne 8,6 heures par jour. Dans ces conditions climatiques le conditionnement d’air est requis dans les immeubles de bureaux à plein temps. Les coûts liés au conditionnement d’air des bureaux représente aujourd’hui près de 80% des coûts d’exploitation dans les bâtiments publics / gouvernementaux. Jusqu’à près de 50% de toute l’électricité produite dans la ville de Ouagadougou est utilisée pour des fins de climatisation. La facture d’électricité des bâtiments publics représentent quelque 20 millions de dollars US par an. L’approvisionnement en énergie conventionnelle ne satisfait pas la demande qui croît rapidement. La production actuelle d’électricité est basée sur des combustibles fossiles (95%) et hydroélectrique ainsi que d’électricité importée des pays voisins (interconnexion). Aucun ne peut être durablement et suffisamment étendu dans le contexte actuel des changements climatiques (inondation, pluies acides, réchauffement planétaire...) et la crise des combustibles fossiles.

L’une des voies alternatives de climatisation est l’utilisation de l’énergie solaire. Cependant l’on se rend compte qu’à l’état actuel, les procédés de froid solaire sont lourds d’investissement pour des

petites unités de l'ordre de 5 à 10 kWf qui sont des niveaux de puissance rencontrés plus souvent chez les particuliers. Une autre piste est d'explorer les modules Peltier pour la production de froid mais ces modules sont connus pour être limité en puissance froid.

L'enjeu est de voir si une combinaison solaire et module Peltier peut permettre de faire une production de froid de puissance de l'ordre de 5 à 10 kWf et à un coût abordable (inférieure au coût du kWf actuel).

2. Objectifs visés par l'étude

- Etudier la faisabilité de combiner les modules Peltier et le solaire pour la production de froid
- Proposer un modèle si possible et en évaluer son efficacité énergétique

3. Travail à faire

L'étudiant devra :

1. faire une étude bibliographique détaillée sur les systèmes de production de froid par voie solaire et par les modules à effet Peltier en dégagant leurs avantages et inconvénients
2. faire une étude sur la possibilité de combiner solaire/modules Peltier pour la production du froid
3. Proposer éventuellement un modèle combiné et étudier son efficacité énergétique en comparaison avec les systèmes de production de froid pris séparément

4. Pré-requis

Systemes de production de froid par voie solaire, connaissances de l'effet Peltier

ANNEXE 2 : CARACTERISTIQUES DU VENTILATEUR [RADIO SPARES, 2008]

RADIAUX FLATPACK				
Code de référence	Dimensions (mm)	Tension d'utilisation (V)	Débit d'air (m ³ /h)	Puissance (W)
RG 160-28/14N	220X220X56	24	209	20

ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES DU DISSIPATEUR [RADIO SPARES, 2008]

LUXEON			
Code de référence	Dimensions (mm)	Tension d'utilisation (V)	Résistance thermique (°CW)
039011	154,43X152,4X 44,45	24	0,98

ANNEXE 4 : CARACTERISTIQUES DU CONTROLEUR DE TEMPERATURE

Temperature controller for Peltier modules

for heating and cooling - Ref.: UETR - PT24V16A



This temperature controller has been designed for the special requirements of the Peltier modules:

- heating and cooling mode
- 2 digital temperature sensors
- possibility for the user to choose between several control programmes
- LED-display for temperature and failure
- potential-free failure alert contact
- additional connecting terminal for fan
- adjustable follow-up time for hot side fan
- snapable on DIN-rail

Technical Data

- Operating voltage: 24 V DC
- Max. switching capacity (Peltier module): 16 A (by 24 V DC)
- Temperature range: 0 to +60°C
- Measuring and display accuracy: 0,5°C
- Hysteresis for heating and cooling mode: 1,0 to 9,5°C separately adjustable
- Display: 4 Digit 7 Segment LED
- 2 digital Temperature sensors: Sensor type DALLAS 18S20 (1m wire length)
- Failure alert contact: Relay contact (open contact)
- Protection type: IP 40
- Dimensions: 70,5 x 96 x 42 mm

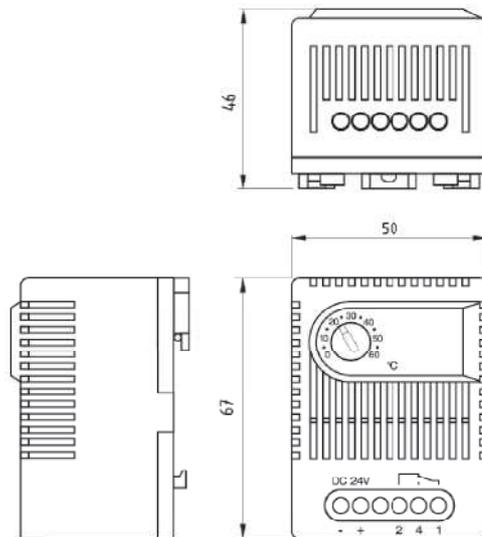
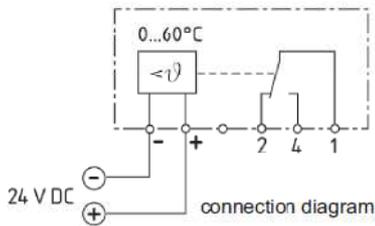
Temperature control

- Mode 1 / 2-points control: sensor 2 for hot and cold side monitoring
- Mode 2 / difference control: sensor 1 is command sensor

Reference: UETR - PT24V16A

ANNEXE 5 : CARACTERISTIQUES DU THERMOSTAT

Thermostat UETS-WDC-380W



Technical Data

order information: UETS-WDC-380W
Adjustable temperature: 0 to +60°C
Switch temperature difference: approx. 3K
Sensor element: PTC
Contact type change-over Service life:
> 100,000 cycles
Max. switching capacity: 28VDC, 16A max.
Connection: 5-pole terminal,
rigid wire: 2.5mm²,
stranded wire (with wire end ferrule): 1.5mm²

Mounting: clip for 35mm DIN rail, EN 60715
Casing: plastic according to UL94 V-0, light grey
Dimensions: 67 x 50 x 46mm
Weight: approx. 80g
Fitting: position vertical
Operating temperature:
0 to +60°C (+32 to +140°F) /
Storage temperature:
-45 to +80°C (-49 to +176°F)
Operating/Storage humidity:
max. 90% RH (non-condensing)
Protection type: IP20

uwe electronic

Inselkammerstraße 10
82008 Unterhaching

Tel: 089-441190-0
Fax: 089-441190-29

E-mail: info@uweelectronic.de
web: www.uweelectronic.de

SUNPOWER

PANNEAU SOLAIRE 315
PERFORMANCE ET RENDEMENT EXCEPTIONNEL

AVANTAGES

Le rendement le plus élevé

Les Panneaux Solaires SunPower® sont les panneaux photovoltaïques les plus performants disponibles sur le marché.

Plus d'énergie

Nos panneaux produisent plus d'énergie par unité de surface: jusqu'à 50% de plus que les panneaux conventionnels et 100% de plus que les panneaux de type couche mince.

Coût d'installation réduit

Le rendement élevé du panneau minimise considérablement le nombre de panneaux par installation. D'où une économie de temps et d'argent.

Conception fiable et résistante

Des matériaux ayant fait leurs preuves, tels que la vitre avant en verre trempé et le cadre anodisé résistant, assurent un fonctionnement optimum du module quelque soit les configurations d'installation.



SPR-315E-WHT-D



Le panneau solaire le plus puissant de la planète.

Le Panneau Solaire SunPower® 315 offre le rendement le plus élevé et les meilleures performances du marché. Les 96 cellules photovoltaïques à contact arrière qui composent le panneau SunPower 315 offrent un rendement de 19,3%. Le coefficient tension-température réduit du panneau, son verre anti-reflets et son excellente performance par faible luminosité lui permet de produire une quantité d'énergie exceptionnelle par watt crête.

L'avantage des panneaux SunPower haut rendement : jusqu'à 100% de puissance en plus.

	Couche mince	Panneau conventionnel	SunPower
Puissance crête / Panneau	65	215	315
Rendement	9,0%	12,8%	19,3%
Puissance crête / m ²	90	128	193

À propos de SunPower

SunPower conçoit, produit et installe une technologie photovoltaïque à haute performance dans le monde entier. Nos cellules photovoltaïques à haut rendement produisent jusqu'à 50% de puissance en plus que les cellules conventionnelles. Nos panneaux, solutions pour toitures et suiveurs solaires produisent une quantité d'énergie nettement supérieure à celle des systèmes concurrents.



SUNPOWER

PANNEAU SOLAIRE 315

PERFORMANCE ET RENDEMENT EXCEPTIONNEL

Caractéristiques électriques

Mesurées dans des conditions de test standard : ensoleillement de 1000W/m², AM 1,5 et température de cellule de 25°C

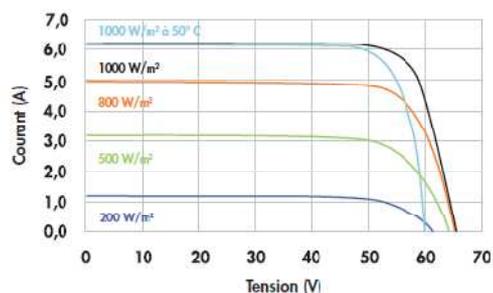
Puissance nominale (+5%/-3%)	P _{nom}	315 W
Tension à puissance maximale	V _{pm}	54,7 V
Courant à puissance maximale	I _{pm}	5,76 A
Tension en circuit ouvert	V _{co}	64,6 V
Courant de court-circuit	I _{cc}	6,14 A
Tension maximale du système	IEC	1000 V
Coefficients de température		
	Puissance	-0,38% / K
	Tension (V _{co})	-176,6mV / K
	Courant (I _{cc})	3,5mA / K
NOCT		45° C +/-2° C
Valeur nominale des fusibles de série		15 A
Limite de courant de retournement (3 strings/rangées)	I _t	15,3 A

Caractéristiques électriques

Valeurs à température nominale d'opération de la cellule (NOCT): ensoleillement de 800W/m², AM 1,5

Puissance nominale	P _{nom}	231 W
Tension à puissance maximale	V _{pm}	50,1 V
Courant à puissance maximale	I _{pm}	4,62 A
Tension en circuit ouvert	V _{co}	60,5 V
Courant de court-circuit	I _{cc}	4,97 A

Courbe courant/tension



Caractéristiques courant/tension en fonction de l'ensoleillement et de la température du module.

Conditions de fonctionnement testées

Température	-40° C à -85° C
Charge maximale	245kg/m ² (2400 Pa) à l'avant et à l'arrière – par ex. pour le vent
Résistance à l'impact	Grêle: 25 mm avec une vitesse de 23 m/s

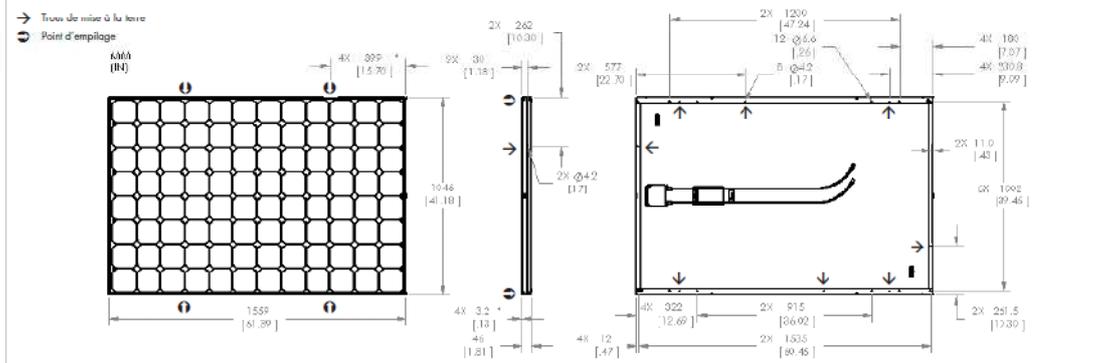
Garanties et certifications

Garanties	Performance: 25 ans Produit: 10 ans
Certifications	IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 (SCII)

Caractéristiques mécaniques

Cellules photovoltaïques	96 cellules monocristallines SunPower à contact arrière	Câbles de sortie	Longueur de 1000 mm/connecteurs MultiContact (MC4)
Vitre avant	Verre trempé avec une couche anti-reflets (AR) pour une haute transmission	Cadre	Alliage d'aluminium anodisé de type 6063 (noir); points d'empilage
Boîtier de connexion	Classé IP-65 avec 3 diodes de dérivation 32 x 155 x 128 (mm)	Poids	10,6 kg

Dimensions



ATTENTION : VEUILLEZ LIRE LES CONSIGNES DE SÉCURITÉ ET LES INSTRUCTIONS D'INSTALLATION AVANT D'UTILISER LE PRODUIT.
Pour plus d'informations, www.sunpowercorp.fr

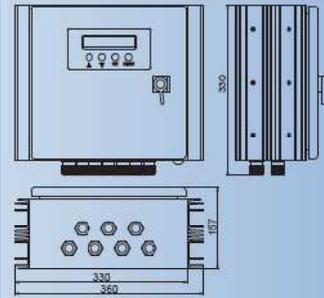
SUNPOWER et le logo SUNPOWER sont des marques commerciales ou marques déposées de SunPower Corporation.
© Mai 2009 SunPower Corporation. Tous droits réservés. Les spécifications fournies dans ce document sont susceptibles d'être modifiées sans préavis.

www.sunpowercorp.fr
Document #001-52307 Rev'A / A4_FR

ANNEXE 7 : CARACTERISTIQUES DU REGULATEUR



Régulateur de charge solaire



Steca Power Tarom

Classe de puissance 55 A - 140 A



2070, 2140, 4055, 4110, 4140

Conçu pour des applications industrielles et en extérieur, les régulateurs de charge Steca Power Tarom sont livrés dans un boîtier en acier pulvérisé de protection IP 65 et sont utilisés pour une large plage de puissance allant jusqu'à 8400 Wc pour trois niveaux de tension (12 V, 24 V et 48 V). Les régulateurs de charge Power Tarom reposent sur la même technologie que celle des régulateurs Steca Tarom. Si vous les raccordez en parallèle sur un bus DC power line normal, plusieurs régulateurs peuvent fonctionner dans un système PV simple ou PV hybride dans une plage allant jusqu'à 20 kWc d'électricité solaire. (Pour de plus amples informations concernant les systèmes hybrides Steca, voir page 10)

Certificats

- répertoriés pour des projets de la Banque mondiale au Népal
- conformes aux standards européens (CE)
- Made in Germany
- fabriqués conformément aux normes
- DIN EN ISO 9001:2000 et
- DIN EN ISO 14001



Régulateur de charge solaire	Power Tarom 2070	Power Tarom 2140	Power Tarom 4055	Power Tarom 4110	Power Tarom 4140
tension de système	12 V / (24 V)		48 V		
courant de court-circuit maximal à l'entrée du panneau solaire	70 A	140 A	55 A	110 A	140 A
courant de sortie maximal du consommateur	70 A	70 A	55 A	55 A	70 A
consommation propre maximale	14 mA				
tension finale de charge (floating)	13,7 V (27,4 V)		54,8 V		
tension de charge rapide	14,4 V (28,8 V)		57,6 V		
charge d'égalisation	14,7 V (29,4 V)		58,8 V		
point de référence de réenclenchement (SOC / IVR)	programmable > 50 % SOC / 12,6 V (25,2 V) / 50,4 V				
déconnexion basse tension (SOC / LVD)	< 30 % SOC / 11,1 V (22,2 V) / 44,4 V				
température ambiante tolérée	-10 °C...+60 °C				
raccord (à fils fins / à un fil)	50 mm ² / 70 mm ²				
classe de protection du boîtier	IP 65				
pois	10 kg				
dimensions L x l x h	330 mm	360 mm	330 mm	360 mm	360 mm
	330 x (l) x 157				

Données techniques à 25 °C / 77 °F

Caractéristiques

- chargement de l'accumulateur shunt: par modulation d'impulsion en largeur (PWM)
- régulation de l'état de charge (SOC) de l'accumulateur
- compteur Ah intégré
- chargement rapide
- charge d'égalisation
- procédé de charge pour la maintenance de la tension finale de charge
- reconexion automatique du consommateur
- sélection automatique de tension (12 V / 24 V)
- compensation de température
- mise à la terre positive
- (ou) négative à l'une des bornes
- paramètres réglables manuellement par quatre touches
- fonction de surveillance de la lumière pendant la nuit
- interface RJ45
- déconnexion manuelle du consommateur
- contact libre de tension

Protections électroniques

- tension finale de charge (floating)
- déconnexion basse tension (LVD)
- déconnexion avant la décharge profonde (DOD)
- polarité inversée des panneaux solaires
- polarité inversée du consommateur et de l'accumulateur
- court-circuit des panneaux solaires
- court-circuit du consommateur
- surtempérature
- surtension
- protection foudre par varistor
- faible interférence électronique (EMC)
- circuit ouvert de la batterie
- courant inverse pendant la nuit

Affichages

- affichage LCD sur deux lignes sur le devant indiquant l'état de charge, Vbat, tous courants, Ah, alarmes, procédure de chargement