

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE.
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE.**

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA.

FACULTE DES SCIENCES TECHNOLOGIQUES.

DEPARTEMENT : MECANIQUE.



**Mémoire pour l'obtention
Du diplôme Master en Génie Mécanique**

Filière: Energétique

Spécialité : Optimisation des Systèmes Energétiques

THEME

**Production du froid par effet Peltier
dans une salle informatique**

Présenté par :

**TROUZZIT Mohamed
MIDEGUE Oussama**

Encadreur :

Mr. HAMID Abdelkader

Promotion 2015/2016

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Avant tout, Nous remercions ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné la volonté et la patience de mener à terme ce modeste travail.

Nos remerciements à notre promoteur le Dr. Hamid Abdelkader, enseignant au département mécanique université de Blida qui par ses conseils et ses orientations tout au long de cette période.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance.

Enfin, nous adressons nos vives reconnaissances à tous nos collègues, et aussi à tous ceux qui, tout au long de ces années d'études, nous ont encadré, observé, aidé, conseillé et même supporté surtout les enseignants du département de mécanique.

Dédicace

Ce travail est dédié à mes parents que Dieu les protège

❖ A Mes frères , Mes sœurs et à tous les membres de ma grande famille à qui je souhaite tant de succès Dans la vie

❖ A tous mes amis , sans exception.

*❖ Tous les membres du groupe Optimisation des Systèmes
Énergétique, promotion 2015/2016*

.....T . MOHAMED

Dédicaces

*Je profite de l'opportunité qui m'est offerte pour dédier
Le fruit de mes efforts à :*

- ❖ Mes parents, à qui je dois ma réussite,*
- ❖ Mes frères et sœurs à qui je souhaite tant de succès Dans la
vie,*
- ❖ Mes oncles et tantes ainsi que toute la famille MIDEGUE*
- ❖ Enfin à tous mes amis et collègues.*

.....OUSSAMA

Résumé :

L'objectif de notre travail consiste au refroidissement par effet de Peltier, "un phénomène thermoélectriques". Après le calcul du bilan thermique de la salle d'informatique au département mécanique. Une simulation par logiciel Pleiades+Comfie est faite pour déterminer la puissance et les besoins de climatisation. Le meilleur mode de production du froid est choisi à partir des évolutions de la température interne et externe de la salle. Notre étude nous à démontré que le refroidissement par les modules Peltier sont plus adaptables pour les petites puissances froides alors que la compression mécanique convient pour les grandes puissances.

Abstract:

We do work on refroidissement by Peltier effect, talking about different thermoelectric phenomena and calculate the heat balance of the computer room in the mechanical department, solar cooling and simulation under Pleiades + Comfie software to get results on power and cooling needs, the temperature changes inside and outside the room and choose the best cold production. at the end we come to say that the Peltier modules are suitable for low cold powers and mechanical compression to the great powers.

:

التبريد من تأثير بلتيير (Peltier) والحديث عن الظواهر الحرارية المختلفة وحساب التوازن الحراري

لغرفة الحاسوب في قسم الميكانيكية والتبريد الشمسي والمحاكاة تحت برنامج PLEIADES+COMFIE نتائج احتياجات الطاقة والتبريد، والتغيرات في درجات الحرارة داخل وخارج الغرفة واختيار أفضل طريقة للتبريد.

نهاية نصل إلى القول بأن وحدات بلتيير هي مناسبة لتبريد الصغيرة ، أما الوحدات التي تعمل

الميكانيكي فهي مناسبة لتبريد الكبيرة.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE(1)

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE FROID

I-1 Historique de la production du froid(2)

I-2 Introduction(2)

I-3 Applications industrielles du froid(3)

I-4 Les techniques de la production du froid(6)

I-4-1 Par compression mécanique(6)

I-4-1-1 Les avantages(6)

I-4-1-2 Les inconvénients(7)

I-4-2 Machine à absorption(7)

I-4-2-1 Les avantages(8)

I-4-2-2 Les inconvénients(8)

I-4-3 Machine à adsorption(9)

I-4-3-1 Les avantages(10)

I-4-3-2 Les inconvénients(10)

I-4-4 Cycle de Brayton inverse(11)

I-4-5 Thermoélectrique à l'effet Peltier(12)

I-4-5-1 Les avantages(12)

I-4-5-2 Les inconvénients(13)

I-5 Systèmes de la production du froid par voie solaire(13)

I-5-1 Les procédés électriques(13)

I-5-2 Les procédés thermiques(13)

I-5-2-1 Les procédés thermomécaniques(14)

I-5-2-2 Les procédés thermodynamiques(14)

I-6 Cycle de Carnot(15)

I-7 Définitions caractéristiques du cycle Carnot	(15)
I-7-1 Source froide	(15)
I-7-2 Source chaude	(16)
I-8 Coefficient de performance	(16)
I-9 Rendement du cycle	(16)

CHAPITRE II : LES PHENOMENES

THERMOELECTRIQUES

II-1 Histoire de refroidissement thermoélectrique	(17)
II-2 Introduction	(18)
II-3 Les effets thermoélectriques	(19)
II-3-1 Effet Seebeck	(19)
II-3-1-1 Définition	(19)
II-3-1-2 Schéma de principe	(20)
II-3-1-3 Explication du phénomène	(20)
II-3-2 Effets Thomson	(21)
II-3-2-1 Définition	(21)
II-3-3 Effet Peltier	(21)
II-3-3-1 Définition	(21)
II-3-3-2 Schéma de principe	(22)
II-3-3-3 Explication du phénomène	(23)
II-3-3-4 Formules descriptives du phénomène	(24)
II-4 Coefficients thermoélectriques	(26)
II-5 Conclusion	(28)

CHAPITRE III : LES CHARGES DE CLIMATISATION ET

CLIMATISATION SOLAIRE

PREMIER PARTIE : LES CHARGES DE CLIMATISATION

III-1 Les caractéristiques du local	(29)
III-1-1 Les données climatiques	(29)
III-1-2 Description du local	(30)
III-2 Le bilan thermique	(31)
III-2-1 Les charges externes	(31)
III-2-1-1 Déperdition par les parois	(31)
III-2-1-1-1 La paroi extérieure (OUEST)	(31)
III-2-1-1-2 Les parois intérieures (EST, NORD et SUD)	(32)
III-2-1-1-3 Le toit	(34)
III-2-1-1-4 Le sol	(34)
III-2-1-2 Déperdition par la porte et les fenêtres	(35)
III-2-1-2-1 La porte	(35)
III-2-1-2-2 Les fenêtres	(36)
III-2-1-3 Déperdition par Renouvellement d'air	(37)
III-2-2 Les charges internes	(38)
III-2-2-1 Apports dus aux occupants	(38)
III-2-2-2 Apports dus à l'éclairage	(39)

III-2-2-3 Apports dus aux appareils (micro-ordinateur)	(40)
III-2-3 Les charges thermiques	(41)
III-3 Détermination la surface d'èchange du thermoélectrique à l'effet Peltier	(42)
III-4 Les modules thermoélectriques à l'effet Peltier	(43)

DEUXIEME PARTIE : CLIMATISATION SOLAIRE

III-5 Climatisation solaire	(44)
III-5-1 Introduction	(44)
III-5-2 Les technologies de climatisation solaire	(45)
III-5-2-1 L'avantage des systèmes de rafraîchissement solaire	(45)
III-5-2-2 Description des technologies de climatisation solaire	(46)
III-5-2-3 Existence dans le marché	(47)
III-5-3 Dimensionnement du champ de modules photovoltaïques	(48)
III-5-3-1 Méthodologie	(48)
III-5-3-2 Technologie des panneaux	(50)
III-5-3-3 Orientation et L'inclinaison des modules	(50)
III-5-3-4 Conclusion	(51)

CHAPITRE IV : LA SIMULATION PAR LE LOGICIEL

PLEIADES + COMFIE

IV.1 Introduction	(52)
IV.2 Le logiciel PLEIADES + COMFIE	(52)
IV.2.1 Les étapes du calcul dans le PLEIADES+COMFIE	(52)
IV.2.2 Interprétation des résultats (sans consigne thermostat)	(56)
IV.2.3 Interprétation des résultats (avec consigne thermostat)	(57)
IV.2.4 Discussion des résultats	(58)
CONCLUSION	(59)

Liste des figures

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE FROID

Figure (I-1) : conservation des produits médicaux	(3)
Figure (I-2) : conservation des aliments	(3)
Figure (I-3) : liquéfaction des gaz	(4)
Figure (I-4) : machine a glace	(4)
Figure (I-5) : climatiseur	(4)
Figure (I-6): conservation des produits chimiques	(5)
Figure (I-7) : la glace carbonique	(5)
Figure (I-8) : schéma frigorifique à compression mécanique	(6)
Figure (I-9) : machine à absorption	(7)
Figure (I-10) : machine à absorption	(9)
Figure (I-11) : le cycle de Brayton inverse	(11)
Figure (I-12) : l'effet Peltier	(12)
Figure (I-13) : le cycle de Carnot	(15)

CHAPITRE II : LES PHENOMENES

THERMOELECTRIQUES

Figure (II-1) : Premier dispositif expérimental décrit par Seebeck	(19)
Figure (II-2) : Principe de l'effet Seebeck	(20)
Figure (II-3) : Schéma descriptif des modules Peltier	(22)
Figure (II-4) : Exemple de modèle de module commercialisé	(23)
Figure (II-5) : Schéma de principe du fonctionnement de module Peltier	(24)

CHAPITRE III : LES CHARGES DE CLIMATISATION ET CLIMATISATION SOLAIRE

Figure (III.1) : plan 2D de la salle d'informatique	(29)
Figure (III.2) : plan 3D de la salle d'informatique	(30)
Figure (III.3) : schéma explicatif de la technique de froid solaire	(44)
Figure (III.4) : Adéquation entre la présence du soleil et le besoin en climatisation pour un bureau à Madrid	(45)
Figure (III.5) : Schéma énergétique des machines frigorifiques solaires	(46)
Figure (III.6) : Installations de climatisation solaire par type	(47)
Figure (III.7) : Schéma de l'installation	(48)

CHAPITRE IV : LA SIMULATION PAR LE LOGICIEL PLEIADES + COMFIE

Figure (IV.1) : Remplissage des données de construction	(53)
Figure (IV.2) : le schéma 2D de la salle	(53)
Figure (IV.3) : l'exportation des données du salle	(54)
Figure (IV.4) : Détermination le nombre d'occupants	(54)
Figure (IV.5) : Insertion la température du consigne	(55)
Figure (IV.6) : Insertion la puissance dissipée	(55)
Figure (IV.7) : Evolution de température à l'intérieur et l'extérieur de la salle sans consigne thermostat	(56)
Figure (IV.8) : Evolution de température à l'intérieur et l'extérieur de la salle avec consigne thermostat	(57)
Figure (IV.9) : la puissance et les besoins de climatisation du salle	(58)

Liste des tableaux

Tableau (III.1) : débit de renouvellement d'air nécessaire dans les locaux climatisés	(37)
Tableau (III.2) : la chaleur dégagée par les personnes	(38)
Tableau (III.3) : les gains du chaleur des appareils électriques	(40)
Tableau (III.4) : les ordres du coefficient de convectif	(42)
Tableau (III.5) : Inclinaison des modules photovoltaïques	(51)

Nomenclature :

Symbole	Description	Unité
C O P	coefficient de performance	...
Q _f	puissance absorbée	W
Q _c	puissance dégagée	W
W	travail électrique fourni au compresseur	W
T _f	température froide	°K
T _c	température chaude	°K
	rendement	...
S _{ab}	coefficient Seebeck	V/K
	facteur de Thomson	V/K
I	intensité du courant électrique	A
	coefficient Peltier	J/A
	le pouvoir thermoélectrique	V/K
R	la résistance électrique	
K	la conductance thermique	W/K
V	la tension électrique	Volt
P _{elec}	la puissance électrique	W
	la conductivité électrique	1/ m
ZT	facteur de mérite	...
U	coefficient de transmission thermique	W/m ² °K
S	la surface d'échange	m ²
e	l'épaisseur de la surface d'échange	m
T	la différence de température	°K

R_{th}	résistance thermique	$m^2\text{°K/W}$
	la conductivité thermique	$W/m\text{°K}$
h	coefficient de convectif	$W/m^2\text{°K}$
q_v	débit volumique de ventilation	m^3/h
Q_{Abs}	la puissance du climatisation	W
C_j	la consommation journalière	Wh/j
E_i	l'énergie incidente sur le plan des modules	$kWh/m^2/j$
n_s	nombre de module en série	...
n_B	nombre de branche	...
P_c	la puissance crête	W

CHAPITRE I :

GENERALITES SUR LE FROID

INTRODUCTION GENERALE :

La production d'énergie est assurée essentiellement par les combustibles fossiles (pétrole, gaz) qui semblaient inépuisable et qui ont jusque là étanché la soif inextinguible d'énergie. Toutefois, ces combustibles sont en voie d'épuisement, en témoigne la flambé des prix du pétrole. La consommation de l'énergie va augmenter de façon considérable d'ici 2050. Il est d'ores et déjà évident qu'une telle augmentation ne pourra se faire sur le modèle actuel, basé essentiellement sur ces énergies fossiles, dont l'utilisation conduit par ailleurs à des émissions massives de CO2 responsables d'un changement climatique de grande ampleur.

Ainsi, le développement de nouvelles sources d'énergie non polluantes est retenu comme stratégie incontournable pour relever ces défis énergétiques et environnementaux, quels que soient les efforts que la communauté internationale pourra faire dans la maîtrise de la demande d'énergie. La conversion thermoélectrique comme d'autres sources alternatives (énergie éolienne, énergie solaire) peut jouer un rôle important dans ce double combat. Elle permet en fait la génération d'électricité à partir de la chaleur disponible, par le biais de dispositifs de conversions thermoélectriques (effet Seebeck) et apparaît donc comme l'un des procédés alternatifs de production d'énergie propre.

La conversion thermoélectrique a déjà fait ses preuves, notamment comme production d'énergie électrique pour les sondes spatiales lointaines. Outre cet aspect d'apport d'électricité, les matériaux thermoélectriques sont utilisés pour la réfrigération (effet Peltier) avec de nombreuses applications dans le domaine de l'électronique. Compte tenu des différents problèmes ci-dessus énumérés, l'une des voies alternatives de climatisation est l'utilisation de l'énergie solaire.

Pour parvenir à nos fins, notre travail est développé suivant 4 chapitres :

- Dans le premier chapitre on doit parler sur les domaines d'application du froid et les différentes modes de production de ce dernier.
- Le deuxième chapitre les phénomènes thermoélectrique et le refroidissement par effet de Peltier.
- Le troisième chapitre les charges et le dimensionnement du système de climatisation, et la climatisation solaire couplé au thermoélectrique.
- Dans le quatrième chapitre on a fait une simulation sous logiciel Pleiade + Comfie .

Dans ce chapitre, nous ferons premièrement une revue bibliographique sur le froid et citerons les différents systèmes de climatisation. Il sera question pour nous dans ce chapitre de mettre en exergue les avantages et les inconvénients des différents systèmes de production du froid, à la fin de ce chapitre nous parlerons du cycle de Carnot.

I-1 Historique de la production du froid :

- 1857 - Ferdinand Carre réalise la première machine frigorifique à compression, la première machine à absorption à fonctionnement continu (1860). Il est également le premier à utiliser l'ammoniaque comme fluide frigorifique.

-1876 - Charles Tellier aménagea le premier navire à cales réfrigérées, qui réussit à transporter sur le trajet Rouen Buenos Aires des viandes conservées en parfait état.

I-2 Introduction :

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agroalimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte...) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges. On a pu estimer que dans certaines régions du monde, 50% des denrées alimentaires disponibles se perdent entre la période qui s'écoule entre le moment de la production et celui de la consommation. Ainsi, dans le domaine alimentaire, l'objectif du froid est de maintenir la qualité originale des produits en limitant (ou en supprimant) les altérations liées au développement des microorganismes, altérations très rapides dans les pays chauds à cause des conditions climatiques (température, humidité relative) qui sont favorables à la prolifération des bactéries, levures et moisissures. [1]

En production animale, le froid permet la conservation longue durée du sperme destiné à l'insémination artificielle ou encore la conservation des sérums et des vaccins destinés à enrayer les épidémies frappant les animaux. L'avancée technologique de nos jours qui autorise un contrôle plus précis de la température et de l'humidité permet d'améliorer la production du froid.

Les traitements thermiques à basse température (le froid) seront étudiés dans le cadre de ce cours. On distingue dans le domaine du froid deux domaines distincts :

- la réfrigération qui consiste à produire et maintenir une température inférieure à la température ambiante.
- la cryophysique, qui est la science des propriétés de la matière à très basse température (quelques K).

La distinction entre réfrigération et cryophysique diffère selon l'usage.

Dans l'industrie la réfrigération s'arrête souvent à la liquéfaction de l'air (-190 °C environ).

I-3 Applications industrielles du froid :

- **Domaine médical** : cryochirurgie, conservation de certains produits, organes...



Figure (I-1) : conservation des produits médicaux. [2]

- **Industries alimentaires** : conservation des aliments, pasteurisation des liquides...



Figure (I-2) : conservation des aliments. [16]

- **Industries chimiques et pétrochimiques** : liquéfaction des gaz pour le transport, déparaffinage, débenzolage...



Figure (I-3) : liquéfaction des gaz. [16]

- **Génie civil** : refroidissement des bétons, congélation des sols aquifères...



Figure (I-4) : machine a glace. [2]

- **Conditionnement des locaux** : rafraichissement de l'air, conditionnement des patinoires, canons à neige...



Figure (I-5) : climatiseur. [2]

- **Laboratoires d'essai et de recherche** : étude des matériaux et comportement de la matière à très basse température...



Figure (I-6): conservation des produits chimiques. [2]

- **Production de neige carbonique** : maintien du froid à basse température ($-80\text{ }^{\circ}\text{C}$)



Figure (I-7) : la glace carbonique. [16]

I-4 Les techniques de la production du froid :

I-4-1 Par compression mécanique :

Les systèmes de production du 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 du froid. [2]

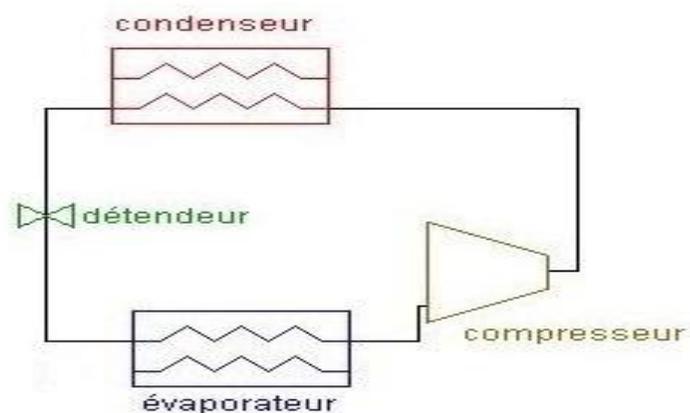


Figure (I-8) : schéma frigorifique à compression mécanique. [2]

Le coefficient de performance de ces systèmes est donné par:

$$C O P = \frac{Q}{W} \dots\dots\dots (I.1)$$

Avec :

COP : coefficient de performance.

Qf : chaleur absorbée au niveau de l'évaporateur.

W : travail électrique fourni au compresseur.

I-4-1-1 Les avantages :

- Technologies maîtrisées.
- Procédés répandus sur le marché.
- Meilleure performance énergétique.

I-4-1-2 Les inconvénients :

- Usages par certains des fluides frigorigènes de type chlorofluorocarbone (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.

I-4-2 Machine 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 construite 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. [1]

Ces procédés fonctionnent à des températures de 80 à 100°C et utilisent des capteurs à tubes sous vide. [3]

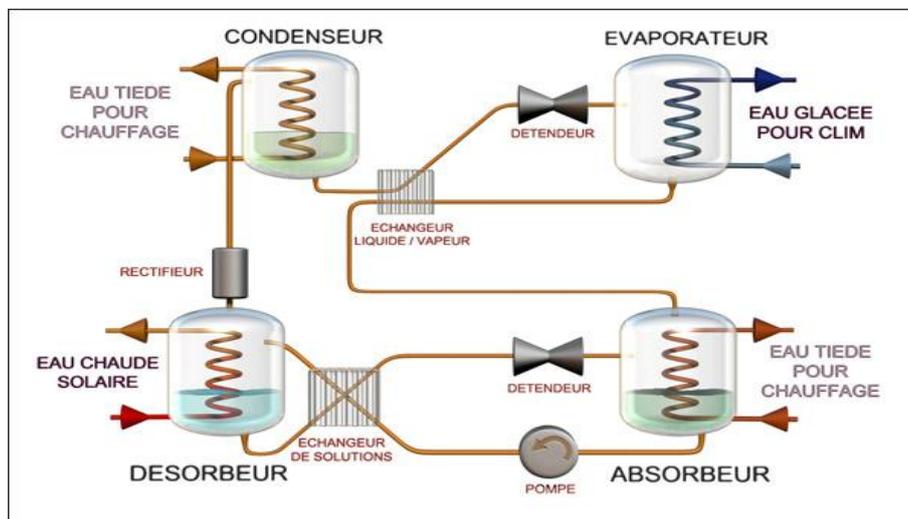


Figure (I-9) : machine à absorption. [1]

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. [2]

I-4-2-1 Les 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).

I-4-2-2 Les inconvénients :

- Rendement énergétique faible de l'ordre de 0,5 à 0,8.
- Nécessité de grande surface de captation.
- 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.

I-4-3 Machine 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_{in} au générateur et une restitution de chaleur Q_c au milieu extérieur dans le condenseur, lorsque le gaz se condense. [1]

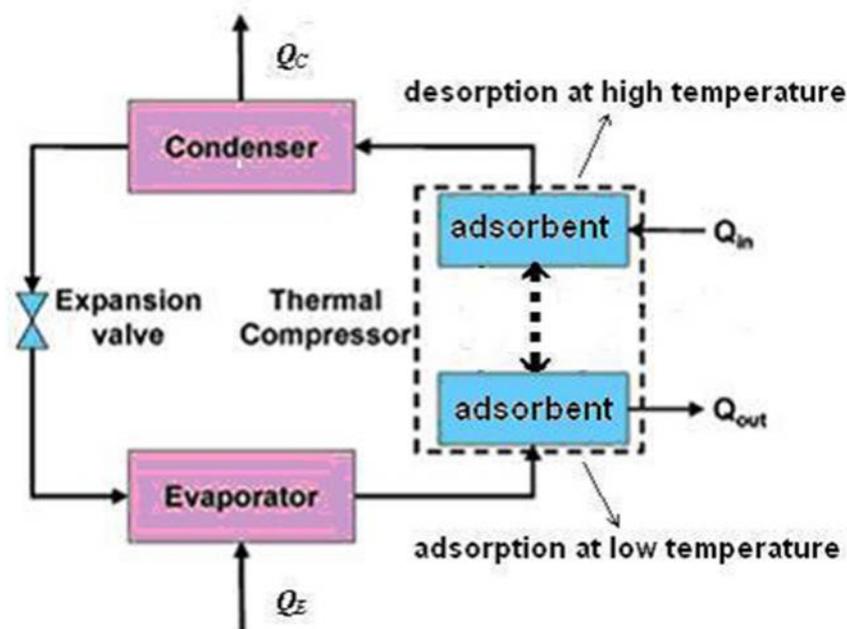


Figure (I-10) : machine à adsorption. [1]

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_{out} 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_{in} 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_{out} 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. [4]

Ces procédés fonctionnent à des températures de 55 à 90°C et utilisent des capteurs plans et à tubes sous vide. [3]

I-4-3-1 Les avantages :

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

I-4-3-2 Les 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.

I-4-4 Cycle de Brayton inverse :

Un cycle de Brayton inverse réalise un effet frigorifique en inversant le cycle de Brayton, c'est-à-dire celui de la turbine à gaz, un gaz est comprimé, refroidi et détendu puis chauffé. La température de fin de détente étant basse, ce gaz peut être utilisé pour refroidir une enceinte, soit par contact direct, notamment s'il s'agit d'air, soit par l'intermédiaire d'un échangeur. [5]

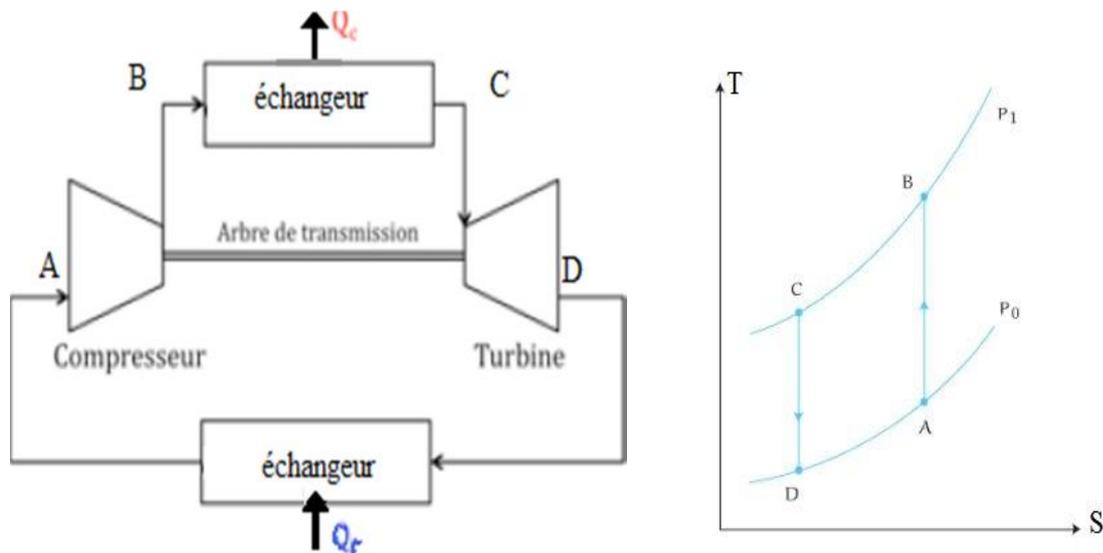


Figure (I-11) : le cycle de Brayton inverse.

Considérons à titre d'exemple un cycle de Brayton inverse ouvert utilisé pour climatiser l'habitacle d'une automobile afin de limiter les émissions de CO₂. Le fluide de travail est de l'air qui subit les transformations suivantes :

(1-2) Compression adiabatique : le compresseur qui augmente la pression et la température d'air à partir de la plus basse à la valeur la plus élevée.

(2-3) Refroidissement isobare : dans l'échangeur, la température élevée de l'air est réduite, mais la pression reste constante (rejet de la chaleur vers le milieu extérieur).

(3-4) Détente adiabatique : dans la turbine, la pression et la température de l'air est réduite.

(4-1) Chauffage isobare : l'échangeur qui augmente la température de l'air à pression constante (absorbe la chaleur du milieu extérieur).

I-4-5 Thermoélectrique à l'effet Peltier :

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. [6] C'est le côté froid qui est utilisé pour faire de la climatisation. Ces systèmes seront décrits plus amplement au chapitre suivant.

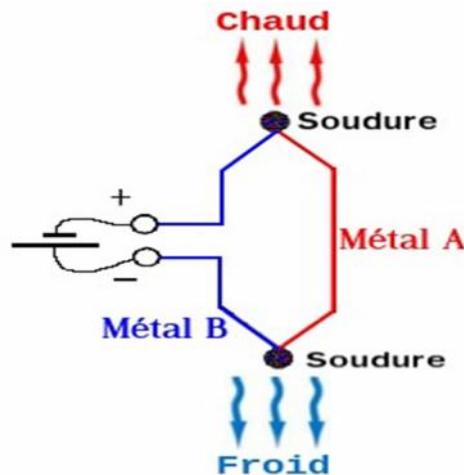


Figure (I-12) : l'effet Peltier. [6]

I-4-5-1 Les 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.

I-4-5-2 Les Inconvénients :

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

I-5 Systèmes de la production du froid par voie solaire :

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

- Les procédés électriques.
- Les procédés thermiques.

I-5-1 Les procédés 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.

I-5-2 Les procédés 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 : [2]

$$\text{C O P} = \frac{Q}{Q} = \frac{T}{T - T} = \frac{T - T}{T} \dots\dots\dots (I.2)$$

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.

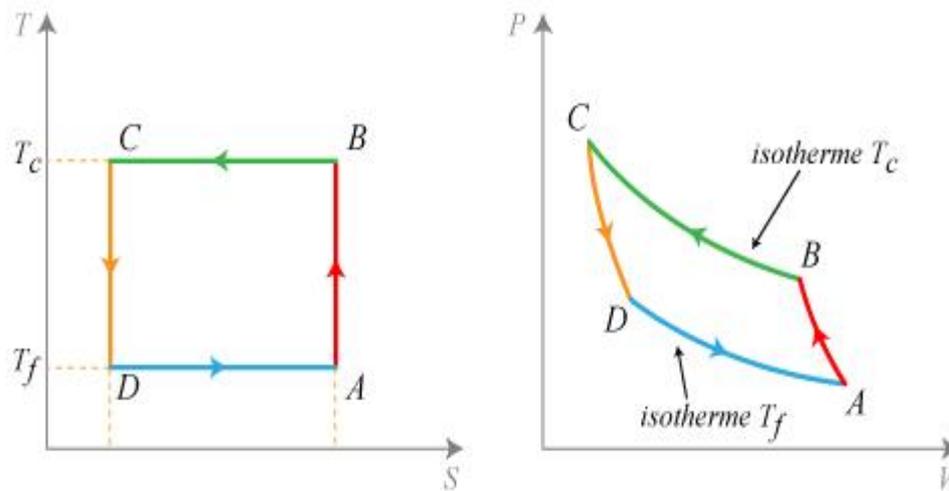
I-5-2-1 Les procédés thermomécaniques :

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.

I-5-2-2 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.

I-6 Cycle de Carnot :**Figure (I-13) : le cycle de Carnot. [7]**

Le cycle de Carnot est composé de deux isothermes et de deux adiabatiques. [7]

$$1^{\text{er}} \text{ principe : } W + Q_2 + Q_1 = 0$$

$$2^{\text{eme}} \text{ principe : } Q_2 = T_f (S_A - S_D)$$

$$Q_1 = T_c (S_C - S_B)$$

$$S_A = S_B \text{ et } S_C = S_D \quad \text{soit :} \quad W = - (Q_2 + Q_1)$$

$$W = - (T_f (S_A - S_D) + T_c (S_C - S_B))$$

$$= - (T_f (S_B - S_C) + T_c (S_C - S_B))$$

$$= (S_B - S_C) (T_c - T_f)$$

$$S_C < S_B \text{ et } T_f < T_c \text{ et donc : } W > 0$$

Le système reçoit le travail W , prend la chaleur Q_2 à la source froide et cède la quantité de chaleur Q_1 à la source chaude.

I-7 Définitions caractéristiques du cycle Carnot :

I-7-1 Source froide :

Q_2 : chaleur absorbée par le fluide au cours d'un cycle.

Q_{2m} : chaleur absorbée par kg de fluide.

Q_{2v} : chaleur absorbée par m^3 de fluide.

I-7-2 Source chaude :

Q_1 : chaleur cédée par le fluide au cours d'un cycle.

Q_{1m} : chaleur cédée par kg de fluide.

Q_{1v} : chaleur cédée par m^3 de fluide.

Soit M la masse de fluide qui traverse le système au cours d'un cycle.

Soit V_a le volume massique du fluide à l'aspiration.

I-8 Coefficient de performance :

Par définition :

$$= (Q_2/W) = (q_{2m}/w_m) = (q_{2v}/w_v)$$

Remarque :

a) $< > 1$

b) $= K_{2sp}$ Si on dépense un travail de 1 (kWh) on recueille une quantité de froid de K_{2sp} [kWh].

I-9 Rendement du cycle :

En pratique il apparaît toujours des phénomènes irréversibles. Le travail W_{irr} nécessaire pour réaliser l'effet frigorifique Q_0 est toujours supérieur au travail calculé théoriquement

(Carnot) : $(Q_2/W_{irr}) < (Q_2/W_{th})$; $irr < rev$

Rendement du cycle :

$$= (irr / rev)$$

CHAPITRE II :

LES PHENOMENES THERMOELECTRIQUE

Nous allons on premier parler dans ce chapitre généralement des phénomènes thermoélectrique. Ensuite, définir et décrire le module Peltier et aussi nous donnerons le principe de fonctionnement et les applications de ces modules.

II-1 Histoire de refroidissement thermoélectrique :

Les principes physiques sur lesquels les refroidisseurs thermoélectriques modernes sont basés, datent effectivement du début des années 1800 , bien que les thermoélectriques n'étaient pas disponibles, leur apparition a vu le jour les années 1960.

La première découverte importante relative à la thermoélectricité a eu lieu en 1821 quand un scientifique allemand, Thomas Seebeck, a trouvé qu'en injectant un courant électrique en continu dans un circuit fermé composé de deux métaux différents, il a obtenu deux températures différentes. Seebeck n'a pas vraiment compris la base scientifique de sa découverte, vu sa fausse supposition, ou la chaleur produit le même effet que le courant circulant électrique. [8].

En 1834, un physicien horloger Français, appelé Jean Peltier, alors qu'il étudiait le "Seebeck Effect", a constaté qu'il y avait un phénomène inverse dans lequel l'énergie thermique peut être absorbée à une jonction métal différent et déchargé à l'autre jonction lorsqu'un courant électrique circule dans le circuit fermé. Vingt ans plus tard, William Thomson plus tard Lord Kelvin ont publié une explication compréhensive des effets Seebeck et Peltier et ont décrit leurs interrelations. A cette époque , ce phénomène était encore considéré comme une curiosité de laboratoire et était sans application pratique. [8].

Pendant les années 1930 , les scientifiques russes ont commencé à étudier certains des travaux thermoélectriques afin de construire des générateurs de puissance pour leur utilisation dans des endroits éloignés à travers le pays. Cet intérêt russe en thermoélectricité a finalement attiré l'attention du reste du monde et a inspiré le développement de modules thermoélectriques pratiques. Aujourd'hui, les réfrigérateurs thermoélectriques font usage de la technologie des semi-conducteurs modernes moyennant un matériau semi-conducteur dopé qui prend la place des métaux différents utilisés dans les expériences thermoélectriques.

II-2 Introduction :

Réfrigérateur thermoélectrique parfois appelé un module de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier ou de refroidissement est un élément semi-conducteur à base électrique qui fonctionne comme une petite pompe à chaleur. En appliquant une source de courant continu à basse tension d'alimentation à un module de refroidissement thermoélectrique, la chaleur sera déplacé à travers le module d'un côté à l'autre. [9]

Une face du module, par conséquent, sera refroidi tandis que la face opposée simultanément est chauffé. Les deux réfrigérateurs thermoélectriques et les réfrigérateurs mécaniques sont régies par les mêmes lois fondamentales de la thermodynamique et les deux systèmes de réfrigération; bien que très différents dans la forme, fonctionner selon les mêmes principes. Dans une unité de réfrigération mécanique, le compresseur augmente la pression d'un fluide frigorigène et le fluide frigorigène circule à travers le système. Dans l'enceinte réfrigérée, et suivant le processus de changement le réfrigérant se transforme en une vapeur chaude, le réfrigérant absorbe la chaleur provoquant la chambre pour se refroidir. La chaleur absorbée dans la chambre est déplacée vers le condenseur où elle est transférée à l'environnement du réfrigérant de condensation.

Dans un système de refroidissement thermoélectrique, un matériau semi-conducteur dopé prend essentiellement la place du réfrigérant, le condenseur est remplacé par un dissipateur de chaleur à ailettes, et le compresseur est remplacé par un courant continu d'alimentation. L'application de courant continu l'alimentation des modules de refroidissement thermoélectrique amène les électrons de se déplacer à travers le matériau semi-conducteur. [9]

A l'extrémité froide du matériau semi-conducteur, la chaleur est absorbée par le mouvement des électrons, déplacé à travers le matériau, et expulsé à l'extrémité chaude. Etant donné que l'extrémité chaude du matériau est physiquement attaché à un dissipateur de chaleur, la chaleur est transmise à partir du matériau du dissipateur de chaleur, puis à son tour transférée à l'environnement.

II-3 Les effets thermoélectriques :

L'effet thermoélectrique est un phénomène physique caractéristique de certains matériaux contribuant à la conversion de l'énergie. Un matériau thermoélectrique permet de transformer directement de la chaleur en électricité (génération d'électricité) ou de déplacer des calories par l'application d'un courant électrique (application de réfrigération).

II-3-1 Effet Seebeck :

II-3-1-1 Définition :

En 1821, le physicien Allemand THOMAS SEEBECK remarqua qu'une aiguille métallique est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de natures différentes et soumise à un gradient de température. Plus tard, on expliquera le phénomène par l'apparition d'une différence de potentiel à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température (**Figure II-1**). Un matériau thermoélectrique va donc permettre de transformer directement la chaleur en électricité. L'utilisation la plus connue de cet effet est la mesure de la température à l'aide d'un thermocouple.

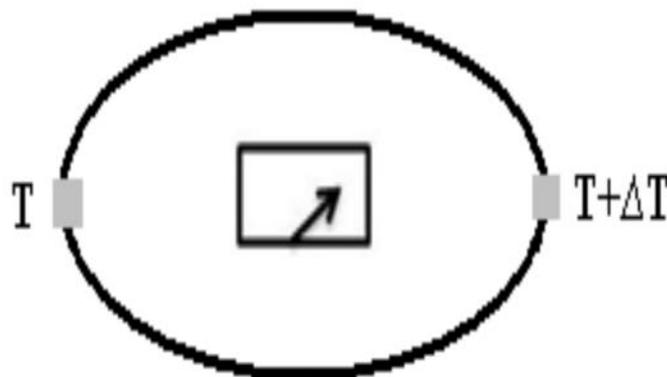


Figure (II-1) : Premier dispositif expérimental décrit par Seebeck. [9]

II-3-1-2 Schéma de principe :

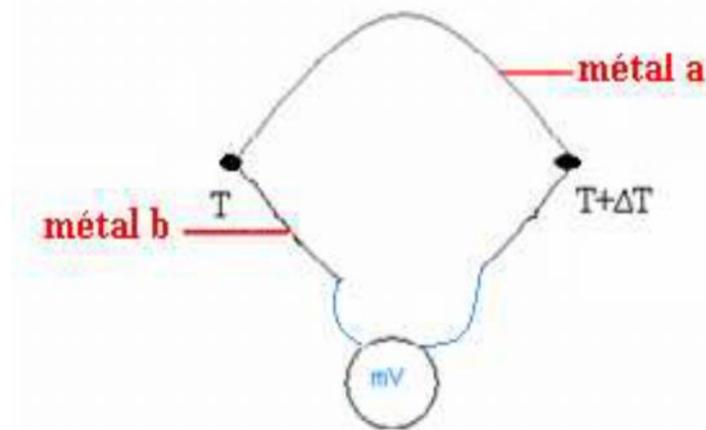


Figure (II-2) : Principe de l'effet Seebeck. [9]

Un gradient de température (dT) appliqué aux extrémités d'un barreau conducteur engendre spontanément une différence de potentiel (dV) proportionnelle à la différence de température. La constante de proportionnalité constitue le coefficient Seebeck.

$$S_{ab} = S_{ab} = (dV/dT) \dots\dots\dots (II.1)$$

II-3-1-3 Explication du phénomène :

Lorsqu'un métal est soumis à un gradient de température T , l'énergie moyenne des électrons étant plus élevée du côté chaud que du côté froid, il en résulte un gradient énergétique. Celui-ci va donner naissance à une force qui va entraîner la diffusion des électrons du côté chaud vers le côté froid. Cette diffusion entraîne la polarisation du matériau (accumulation des porteurs majoritaires négatifs du côté froid et les porteurs majoritaires positifs du côté chaud) qui induit un champ électrique E dont l'effet est d'aider les électrons froids à diffuser vers le coté chaud. [9]

II-3-2 Effets Thomson :

II-3-2-1 Définition :

En 1851, le physicien William Thomson montra que les effets Seebeck et Peltier sont liés. On met cette correspondance en évidence lorsqu'on applique simultanément un gradient de température et un courant électrique. La différence fondamentale avec les deux premiers effets est que ce dernier ne concerne qu'un seul matériau et ne nécessite pas la présence d'une jonction en d'autre terme, l'effet Thomson définit une chaleur absorbée ou dégagée par unité de temps lorsqu'un courant électrique I traverse une région d'un matériau ayant un gradient de température. [9]

Dans chaque segment **dX** du matériau, le gradient du flux thermique est donné par :

$$(dQ/dX) = I \cdot (dT/dX) \dots\dots\dots (II.2)$$

où **X** est la coordonnée spatiale et τ le facteur de Thomson, donné par la relation :

$$\tau = T \cdot (dS_{ab}/dT) \dots\dots\dots (II.3)$$

Les trois coefficients absolus S , τ et π sont liés par la relation :

$$\pi = S \cdot T \dots\dots\dots (II.4)$$

II-3-3 Effet Peltier :

II-3-3-1 Définition :

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 deux 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 :

$$Q = \pi_{1,2} \cdot I \dots\dots\dots (II.5)$$

Avec :

Q = quantité de chaleur en (J).

I = intensité du courant électrique en (A).

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

II-3-3-2 Schéma de principe :

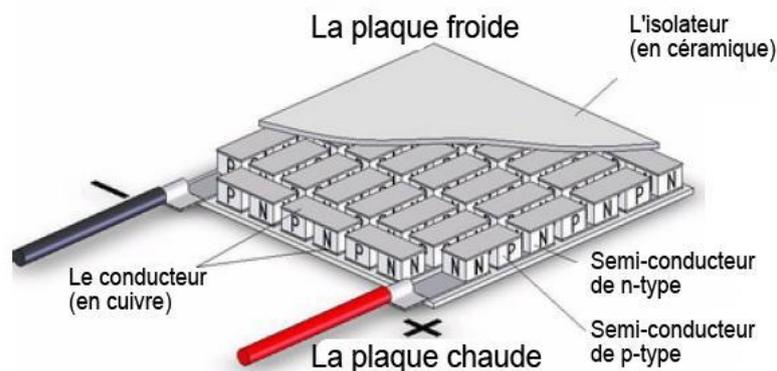


Figure (II-3) : Schéma descriptif des modules Peltier. [10]

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_2T_3), l'alliage de plomb et de tellure (PbTe) et l'alliage de bismuth et de tellure (Bi_2T_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. [10]

Les modules Peltier commercialisés existent sous différentes tailles et sous différents étages. Cependant, la taille maximale est de 62 cm et **la figure (II-4)** est présente un type de module Peltier commercialisé.

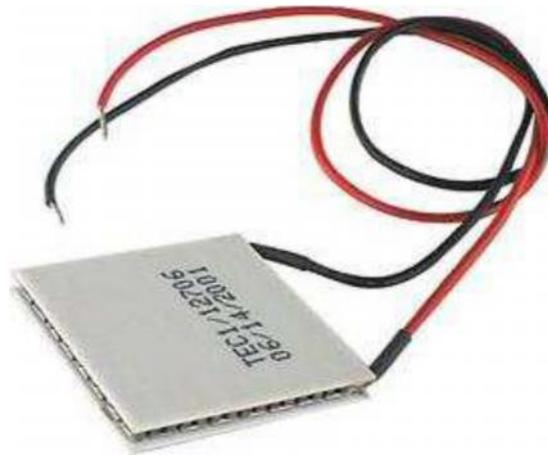


Figure (II-4) : Exemple de modèle de module commercialisé. [10]

II-3-3-3 Explication du phénomène :

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. [6]

La figure (II-5) est expliquée le principe du fonctionnement des modules.

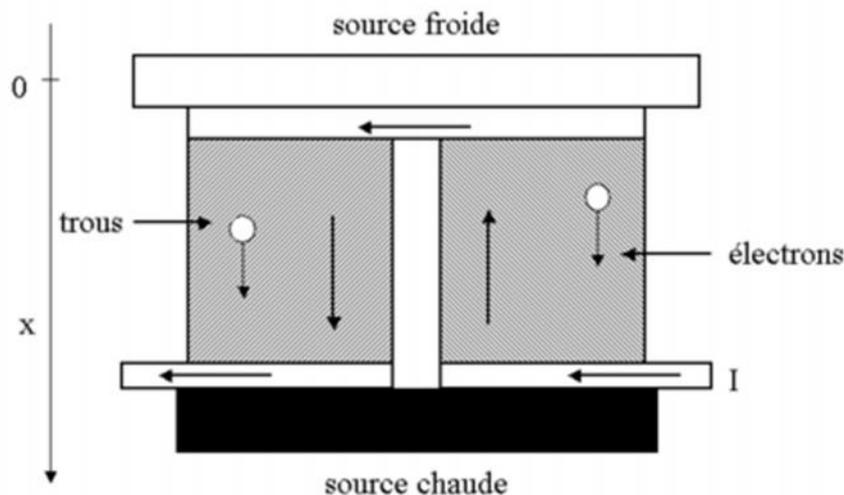


Figure (II-5) : Schéma de principe du fonctionnement de module Peltier. [10]

II-3-3-4 Formules descriptives du phénomène :

Pour un module composé de N couples thermoélectriques, la puissance absorbée sur la face froide Q_f , se calcule selon l'équation suivante : [6]

$$Q = 2 \left(\alpha \cdot I \cdot T - \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - K(T - T_c) \right) \dots \dots \dots (I.6)$$

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 : [6]

$$\alpha = \mu_p - \mu_n \dots \dots \dots (II.7)$$

$$R = (\mu_p + \mu_n) / G \dots \dots \dots (II.8)$$

$$K = (\mu_p + \mu_n) G \dots \dots \dots (II.9)$$

Avec ρ_P et ρ_N les résistivités respectives de l'élément de type P et N (Ω.m), κ_P et κ_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 (II.6) 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 : [6]

$$V = 2 (\alpha (T_c - T_f) + R \cdot I) \dots \dots \dots (II.1)$$

La puissance électrique consommée par le module est donnée par :

$$P_{elec} = V \cdot I \dots \dots \dots (II.11)$$

Le coefficient de performance des modules Peltier est donné par :

$$C = \frac{\alpha \cdot I \cdot T_c - K(T_c - T_f) - \frac{1}{2} R \cdot I^2}{\alpha \cdot I (T_c - T_f) + R \cdot I^2} \dots \dots \dots (II.1)$$

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 répandue, 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. [6]

II-4 Coefficients thermoélectriques :

Les matériaux thermoélectriques sont caractérisés par trois paramètres :

- Le coefficient Seebeck (V/K).
- La conductivité électrique (σ , m⁻¹).
- La conductivité thermique (W/m.K).

D'un point de vue qualitatif, on comprend aisément qu'un bon matériau thermoélectrique doit posséder un bon coefficient Peltier ou Seebeck pour générer les effets attendus. Sa résistivité électrique (ρ) doit être faible pour minimiser les pertes de chaleur par effet joule, et il doit présenter une faible conductivité thermique (κ) pour maintenir une différence de température appréciable aux bornes du matériau. Les qualités d'un matériau thermoélectrique

se mesurent par un nombre sans dimensions, appelé facteur de mérite **ZT** donné par la relation :

$$ZT = T \cdot S^2 \cdot (\sigma / \kappa) \dots\dots\dots (II.13)$$

où :

- **T** la température absolue (K).
- **S** le pouvoir thermoélectrique ou coefficient de Seebeck (V.K⁻¹)
- σ la conductivité électrique (Ω⁻¹.m⁻¹).
- κ la conductivité thermique (W/m.K).

Les récentes études qui ont été faites sur les matériaux massifs, ont conduit à conclure qu'il existe un coefficient Seebeck optimal qui varie de 130 à 187 μV/K, et que les recherches doivent s'orienter vers la conductivité électrique afin d'augmenter la valeur du facteur de mérite (**ZT**). [11]

Le rendement de la thermogénération (η_g), et le coefficient de performance en mode réfrigération (COP_r) sont directement liés à la valeur de **ZT**. (η_g) est définie comme le rapport de la puissance électrique (**W**) générée par le module, qui doit être la plus élevée possible, et la puissance thermique **Q_c** absorbée du côté chaud que l'on souhaite minimiser :

$$\eta_g = \frac{W}{Q_c} = \frac{T_c - T_f}{T_c} \times \frac{\sqrt{1+Z} - 1}{\sqrt{1+Z} + \frac{T_c}{T_f}} \dots\dots\dots (II.14)$$

(COP_r) est caractérisé par le rapport de la puissance thermique émise du coté froid **Q_f**, que l'on essaye de maximiser et la puissance électrique (**W**) fournie au module que l'on souhaite minimiser.

$$COP_r = \frac{Q_f}{W} = \frac{T_c}{T_c - T_f} \times \frac{\sqrt{1+Z} - \frac{T_c}{T_f}}{\sqrt{1+Z} + 1} \dots\dots\dots (II.15)$$

avec :
$$Z = \frac{T_c + T_f}{2}$$

Z : le facteur de mérite.

T_c : température coté chaud.

T_f : température coté froid.

II-5 Conclusion :

- Les systèmes à effet Peltier sont les mieux adaptés pour la production du 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.

CHAPITRE III :

LES CHARGES DE CLIMATISATION

ET CLIMATISATION SOLAIRE

Dans la première partie, avant de présenter le local, support de notre étude, nous allons tout d'abord présenter les caractéristiques de la salle d'informatique. Ensuite, nous faisons un bilan thermique pour obtenir la puissance nécessaire de la climatisation.

III-1 Les caractéristiques du local :

Le local d'étude que nous envisageons climatiser est la salle d'informatique à la faculté du mécanisme dans l'université de SAAD DAHLEB à Blida.

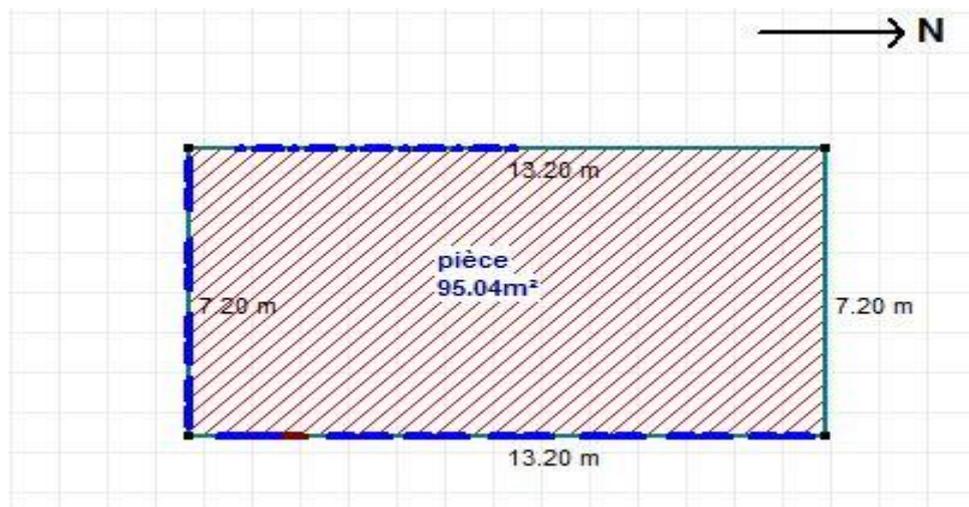


Figure (III.1) : plan 2D de la salle d'informatique.

III-1-1 Les données climatiques :

Le local que nous présentons ici, est celui de l'université de SAAD DAHLEB à Blida, cette ville est située au Nord de L'ALGERIE, sur la bordure Sud de la plaine de la Mitidja à 22 km de la mer. L'Atlas tellien protège la ville des vents secs du sud en provenance des Hauts Plateaux, cette protection permet à la région de bénéficier d'un climat méditerranéen propice à l'agriculture. [12]

Nous supposons que pendant les mois d'Avril, Mai et Juin la température moyenne extérieure est de 33°C et 28°C dans le département mécanique, nous souhaitons refroidir la salle concernée jusqu'à la température égale à 24°C.

III-1-2 Description du local :

Les dimensions de la salle d'informatique est **95 m²** (13,2*7,2) est occupée par plus d'une personne (**17 personnes**). Elle peut abriter des ordinateurs (**17 éléments**), L'éclairage est fourni par des lampes fluorescentes (**46 lampes**), La toiture est en plâtre, béton, ciment et carrelage, il en est de même pour Le sol , Les murs sont construits en brique, ciment et plâtre, La hauteur des murs est de **3 m**, Le mur Ouest est en contact avec l'extérieur et les murs Est, Nord et Sud sont en contact avec l'intérieur non climatisé. Les fenêtres sont de petites dimensions, La hauteur de la porte faite en métal est de **2,2 m**, Les encadrements de porte et des fenêtres sont en bois.

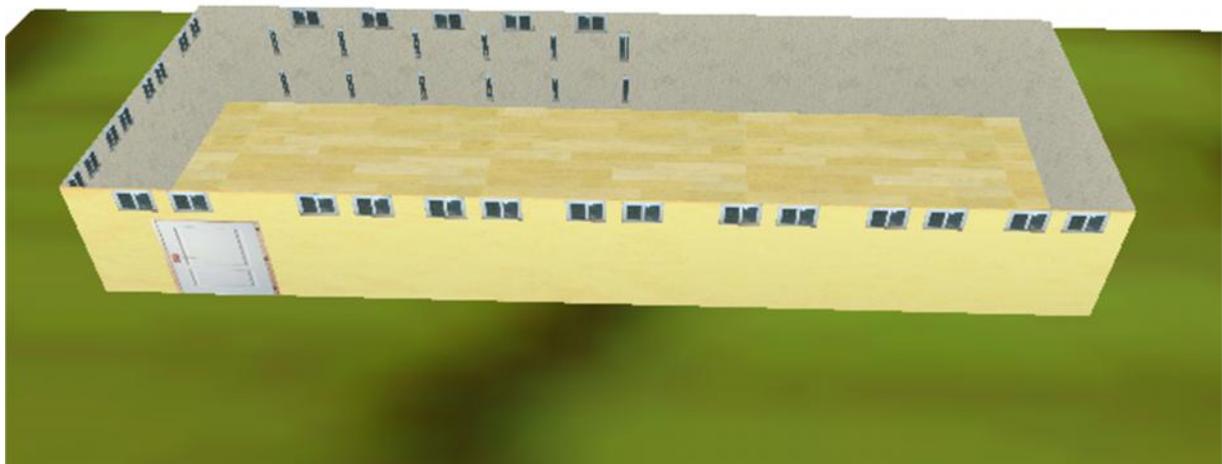


Figure (III.2) : plan 3D de la salle d'informatique.

Pour placer un thermoélectrique à l'effet Peltier dans la salle d'informatique, il faut déterminer la puissance nécessaire pour refroidir la salle en se basant sur le bilan thermique de cette dernière.

III-2 Le bilan thermique :

III-2-1 Les charges externes :

Apport de chaleur par transmission à travers les parois (murs, toit, et plancher et les vitrages).

III-2-1-1 Déperdition par les parois :**III-2-1-1-1 La paroi extérieure (OUEST) :**

Il est composé par (ciment, brique et plâtre) :

$$Q_{P \text{ Exter}} = U_{P \text{ ext}} \cdot S_{P \text{ ext}} \cdot T$$

$U_{P \text{ ext}}$ = coefficient de transmission thermique de la paroi extérieure ($W/m^2\text{°C}$)

$S_{P \text{ ext}}$ = surface de la paroi extérieure (m^2)

T = différence de température entre les deux faces de la paroi extérieure [°C]

- coefficient de transmission thermique ($U_{P \text{ ext}}$):

$$U_{P \text{ ext}} = (1/R_{\text{th}}) \quad ; \quad R_{\text{th}} = (1/h_{\text{air ext}}) + (e/\lambda) + (1/h_{\text{air int}})$$

$$(e/\lambda) = (e/\lambda_{\text{ciment}}) + (e/\lambda_{\text{brique}}) + (e/\lambda_{\text{plâtre}})$$

- la surface de la paroi extérieure ($S_{P \text{ ext}}$):

$$S_{P \text{ ext}} = S - (S_F \cdot n)$$

R_{th} = résistance thermique ($m^2\text{°C}/W$)

$h_{\text{air ext}}, h_{\text{air int}}$ = coefficient de convectif d'air extérieur et d'air intérieure ($W/m^2\text{°C}$)

λ = coefficient de conductivité de la paroi ($W/m\text{°C}$)

e = l'épaisseur de la surface d'échange (la paroi) (m)

$$R_{\text{th}} = (1/16) + (0,01/1,22) + (0,20/0,76) + (0,01/0,30) + (1/9) = \mathbf{0,4783 [m^2\text{°C}/W]}$$

$$U_{P \text{ ext}} = (1/R_{\text{th}}) = (1/0,4783) = \mathbf{2,0907 [W/m^2\text{°C}]}$$

$$S_{P \text{ ext}} = (13,2*3) - (0,57*0,51*5 + 0,92*0,08*12) = \mathbf{37,2633 [m^2]}$$

$$Q_{P \text{ Exter}} = U_{P \text{ ext}} \cdot S_{P \text{ ext}} \cdot T$$

$$Q_{P \text{ Exter}} = (2,0907) \cdot (37,2633) \cdot (33-24) = \mathbf{701,16 [W]}$$

III-2-1-1-2 Les parois intérieures (EST, NORD et SUD) :

Il est composé par (plâtre, brique et plâtre) :

$$Q_{P \text{ Inter}} = U_{P \text{ int}} \cdot S_{P \text{ int}} \cdot T$$

$U_{P \text{ ext}}$ = coefficient de transmission thermique de la paroi intérieure ($W/m^2\text{°C}$)

$S_{P \text{ ext}}$ = surface de la paroi intérieure (m^2)

T = différence de température entre les deux faces de la paroi intérieure [°C]

- coefficient de transmission thermique ($U_{P \text{ int}}$):

$$U_{P \text{ int}} = (1/R_{th}) \quad ; \quad R_{th} = (1/h_{air \text{ ext}}) + (e/) + (1/h_{air \text{ int}})$$

$$(e/) = (e/ \text{ plâtre}) + (e/ \text{ brique}) + (e/ \text{ plâtre})$$

- la surface des parois intérieures ($S_{P \text{ int}}$):

la paroi EST à l'intérieure : $S_{P \text{ int EST}} = S - (S_F \cdot n + S_P)$

la paroi NORD à l'intérieure : $S_{P \text{ int NORD}} = S$

la paroi SUD à l'intérieure : $S_{P \text{ int SUD}} = S - (S_F \cdot n)$

R_{th} = résistance thermique ($m^2\text{°C}/W$)

$h_{air \text{ ext}}, h_{air \text{ int}}$ = coefficient de convectif d'air extérieur et d'air intérieure ($W/m^2\text{°C}$)

= coefficient de conductivité de la paroi ($W/m\text{°C}$)

e = l'épaisseur de la surface d'échange (la paroi) (m)

$$R_{th} = (1/10) + (0,01/0,30) + (0,10/0,76) + (0,01/0,30) + (1/9) = \mathbf{0,4093 [m^2\text{°C}/W]}$$

$$U_{P \text{ int}} = (1/R_{th}) = (1/0,4093) = \mathbf{2,4432 [W/m^2\text{°C}]}$$

- la paroi EST à l'intérieure :

$$S_{P \text{ int EST}} = (13,2*3) - (0,57*0,51*14 + 2,2*1,4) = \mathbf{32,45 [m^2]}$$

$$Q_{P \text{ Inter EST}} = U_{P \text{ int}} \cdot S_{P \text{ int EST}} \cdot T$$

$$Q_{P \text{ Inter EST}} = (2,4432) \cdot (32,45) \cdot (28-24) = 317,13 \text{ [W]}$$

- la paroi NORD à l'intérieure :

$$S_{P \text{ int NORD}} = (7,2 \cdot 3) = 21,6 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q_{P \text{ Inter NORD}} = U_{P \text{ int}} \cdot S_{P \text{ int NORD}} \cdot T$$

$$Q_{P \text{ Inter NORD}} = (2,4432) \cdot (21,6) \cdot (28-24) = 211,09 \text{ [W]}$$

- la paroi SUD à l'intérieure :

$$S_{P \text{ int SUD}} = (7,2 \cdot 3 - 0,57 \cdot 0,51 \cdot 8) = 19,27 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Q_{P \text{ Inter SUD}} = U_{P \text{ int}} \cdot S_{P \text{ int SUD}} \cdot T$$

$$Q_{P \text{ Inter SUD}} = (2,4432) \cdot (19,27) \cdot (28-24) = 188,32 \text{ [W]}$$

$$Q_{P \text{ Inter}} = Q_{P \text{ Inter EST}} + Q_{P \text{ Inter NORD}} + Q_{P \text{ Inter SUD}}$$

$$Q_{P \text{ Inter}} = 716,54 \text{ [W]}$$

III-2-1-1-3 Le toit : il est composé par (carrelage, ciment, béton et plâtre).

$$Q_T = U_T \cdot S_T \cdot T$$

U_T = coefficient de transmission thermique de toit (W/m²°C)

S_T = surface de toit (m²)

T = différence de température entre les deux faces de toit [°C]

- coefficient de transmission thermique (U_T):

$$U_T = (1/R_{th}) \quad ; \quad R_{th} = (1/h_{air\ ext}) + (e/\lambda) + (1/h_{air\ int})$$

$$(e/\lambda) = (e/\lambda_{carrelage}) + (e/\lambda_{ciment}) + (e/\lambda_{béton}) + (e/\lambda_{plâtre})$$

R_{th} = résistance thermique ($m^2\text{°C/W}$)

$h_{air\ ext}$, $h_{air\ int}$ = coefficient de convectif d'air extérieur et d'air intérieur ($W/m^2\text{°C}$)

λ = coefficient de conductivité de toit ($W/m\text{°C}$)

e = l'épaisseur de la surface d'échange (le toit) (m)

$$R_{th} = (1/20) + (0,02/2,6) + (0,02/1,22) + (0,10/1,75) + (0,01/0,30) + (1/11) = \mathbf{0,2554 [m^2\text{°C/W}]}$$

$$U_T = (1/R_{th}) = (1/0,2554) = \mathbf{3,9154 [W/m^2\text{°C}]}$$

$$Q_T = U_T \cdot S_T \cdot T$$

$$Q_T = (3,9154) \cdot (13,2 \cdot 7,2) \cdot (28-24) = \mathbf{1488,48 [W]}$$

III-2-1-1-4 Le sol : il est composé par (plâtre, béton, ciment et carrelage)

$$Q_S = U_S \cdot S_S \cdot T$$

U_S = coefficient de transmission thermique de toit ($W/m^2\text{°C}$)

S_S = surface de toit (m^2)

T = différence de température entre les deux faces de toit [°C]

- coefficient de transmission thermique (U_S):

$$U_S = (1/R_{th}) \quad ; \quad R_{th} = (1/h_{air\ ext}) + (e/\lambda) + (1/h_{air\ int})$$

$$(e/\lambda) = (e/\lambda_{plâtre}) + (e/\lambda_{béton}) + (e/\lambda_{ciment}) + (e/\lambda_{carillage})$$

R_{th} = résistance thermique ($m^2\text{°C/W}$)

$h_{air\ ext}$, $h_{air\ int}$ = coefficient de convectif d'air extérieur et d'air intérieur ($W/m^2\text{°C}$)

λ = coefficient de conductivité de sole ($W/m\text{°C}$)

e = l'épaisseur de la surface d'échange (de sole) (m)

$$R_{th} = (1/20) + (0,01/0,30) + (0,10/1,75) + (0,02/1,22) + (0,02/2,6) + (1/5,75) = \mathbf{0,3384 [m^2\text{°C/W}]}$$

$$U_S = (1/R_{th}) = (1/0,3384) = \mathbf{2,9550 [W/m^2\text{°C}]}$$

$$Q_S = U_S \cdot S_S \cdot T$$

$$Q_S = (2,9550) \cdot (13,2 \cdot 7,2) \cdot (28-24) = 1123,37 [W]$$

III-2-1-2 Déperdition par la porte et les fenêtres :

III-2-1-2-1 La porte : elle est composé par (acier)

$$Q_P = U_P \cdot S_P \cdot T$$

U_P = coefficient de transmission thermique de la porte ($W/m^2\text{°C}$)

S_P = surface de la porte (m^2)

T = différence de température entre les deux faces de la porte [°C]

- coefficient de transmission thermique (U_P):

$$U_P = (1/R_{th}) \quad ; \quad R_{th} = (1/h_{air\ ext}) + (e / \text{acier}) + (1/h_{air\ int})$$

R_{th} = résistance thermique ($m^2\text{°C}/W$)

$h_{air\ ext}$, $h_{air\ int}$ = coefficient de convectif d'air extérieur et d'air intérieur ($W/m^2\text{°C}$)

= coefficient de conductivité du la porte ($W/m\text{°C}$)

e = l'épaisseur de la surface d'échange (la porte) (m)

$$R_{th} = (1/10) + (0,02/70) + (1/9) = 0,2113 [m^2\text{°C}/W]$$

$$U_P = (1/R_{th}) = (1/0,2113) = 4,7326 [W/m^2\text{°C}]$$

$$Q_P = U_P \cdot S_P \cdot T$$

$$Q_P = (4,7326) \cdot (2,2 \cdot 1,4) \cdot (28-24) = 58,3056 [W]$$

III-2-1-2-2 Les fenêtres : elles sont composé par (le verre)

$$Q_F = U_F \cdot S_F \cdot n \cdot T$$

U_F = coefficient de transmission thermique de la fenêtre ($W/m^2\text{°C}$)

S_F = surface de la fenêtre (m^2)

n = les nombres des fenêtres

T = différence de température entre les deux faces de la fenêtre [°C]

- coefficient de transmission thermique (U_F):

$$U_F = (1/R_{th}) \quad ; \quad R_{th} = (1/h_{air\ ext}) + (e/verre) + (1/h_{air\ int})$$

R_{th} = résistance thermique ($m^2\text{°C/W}$)

$h_{air\ ext}$, $h_{air\ int}$ = coefficient de convectif d'air extérieur et d'air intérieur ($W/m^2\text{°C}$)

= coefficient de conductivité du la fenêtre ($W/m\text{°C}$)

e = l'épaisseur de la surface d'échange (la fenêtre) (m)

$$R_{th} = (1/10) + (0,02/0,23) + (1/9) = \mathbf{0,2980 [m^2\text{°C/W}]}$$

$$U_F = (1/R_{th}) = (1/0,2980) = \mathbf{3,3557 [W/m^2\text{°C}]}$$

$$Q_F = U_F \cdot S_F \cdot T \cdot n$$

$$Q_{F\ ext} = (3,3557) \cdot (0,92 \cdot 0,08) \cdot (33-24) \cdot 12 = \mathbf{26,6738 [W]}$$

$$Q_{F\ int} = (3,3557) \cdot (0,57 \cdot 0,51) \cdot (28-24) \cdot 27 = \mathbf{105,3542 [W]}$$

$$Q_F = Q_{F\ ext} + Q_{F\ int} = (26,6738) + (105,3542) = \mathbf{132,028 [W]}$$

III-2-1-3 Déperdition par Renouvellement d'air :

$$Q_V = 0,34 \cdot q_v \cdot T \quad [13]$$

$0,34$ = chaleur volumique de l'air en (Wh/m^3k)

q_v = débit volumique de ventilation en (m^3/h)

T = différence de température [k]

Désignation des locaux	Débit minimum d'air neuf sans fumeur [m ³ /h/personne]	Densité d'occupation [personne/m ²]
Locaux d'enseignement	15 - 18	0,67
Dortoirs, chambres collectives	18	0,25
Bureaux et locaux assimilés	18	0,10
Salles de réunion, spectacle	18	0,31
Boutiques, supermarchés	22	0,08
Cafés, bars, restaurant...	22	0,50
Locaux à usage sportif	18	0,80

Tableau (III.1) : débit de renouvellement d'air nécessaire dans les locaux climatisés. [13]

$$Q_v = 0,34 \cdot q_v \cdot T$$

$$Q_v = 0,34 \cdot (16) \cdot (33 - 24) = 48,96 \text{ [W]}$$

III-2-2 Les charges internes :

III-2-2-1 Apports dus aux occupants :

Elle est donnée en fonction de la température intérieure et du degré d'activités. On distingue deux sortes de gains générés par les occupants : [13]

- Gains sensibles des occupants :

$$Q_{\text{Sen}} = C_{\text{sen}} \cdot N$$

- Gain latente des occupants :

$$Q_{Lat} = C_{lat} \cdot N$$

C_{sen} = chaleur sensible des occupants (W)

C_{lat} = chaleur latente des occupants (W)

N = nombres des occupants

Activités	Application	Température ambiante [°C]						Emission thermique totale [W]
		25 °C		26 °C		27 °C		
		Chaleur sensible [W]	Chaleur latente [W]	Chaleur sensible [W]	Chaleur latente [W]	Chaleur sensible [W]	Chaleur latente [W]	
Assis au repos	Ecole, théâtre	65	37	62	40	60	42	102
Travail léger	Bureau, hôtel, appartement	67	49	63	58	56	60	116
Debout, marche lente	Magasin, boutique	68	63	63	68	57	74	131
Repas	Restaurant	77	84	71	90	64	97	161
Travail facile	Atelier	80	140	72	148	67	153	220
Danse	Boite de nuit	88	161	80	169	75	174	249
Travail difficile	Usine	149	277	142	284	136	290	426

Tableau (III.2) : la chaleur dégagée par les personnes. [13]

- L'expression de ces apports est :

$$Q_{Occ} = Q_{Sen} + Q_{Lat}$$

$$Q_{Occ} = (C_{sen} \cdot N) + (C_{lat} \cdot N) = (C_{sen} + C_{lat}) \cdot N$$

$$Q_{Occ} = (102) \cdot 17 = 1734 [W]$$

III-2-2-2 Apports dus à l'éclairage :

Les appareils d'éclairages constituent une source de chaleur sensible. cette chaleur est dégagée par rayonnement, convection et conduction. a titre d'exemple les lampes à

incandescence transforment en lumière environ 10% de l'énergie électrique absorbée .tandis que le reste est transformé en chaleur dissipée par rayonnement, convection et conduction. Alors que les tubes fluorescents transforment environ de 25% de l'énergie électrique en lumière et 75% en chaleur échangée avec le milieu environnant. [15]

Dans la salle d'informatique on à utiliser les tubes fluorescents que chaque tube absorbe 30 (W) de l'énergie électrique.

Alors la chaleur échangée avec le milieu environnant est :

- Pour un seul tube fluorescent :

$$Q_{\text{Tube}} = 30 \cdot (75\%) = 22,5 \text{ [W]}$$

- Pour tout les tubes fluorescents :

$$Q_{\text{Ecl}} = Q_{\text{Tube}} \cdot n$$

n : nombres des tubes fluorescents.

$$Q_{\text{Ecl}} = 22,5 \cdot 46 = 1035 \text{ [W]}$$

III-2-2-3 Apports dus aux appareils (micro-ordinateur) :

La plupart des appareils constituent à la fois une source de chaleur sensible et latente. Le tableau suivant il donne les apports de chaleur par les machines électrique. Les valeurs de ces tables ont été déterminées d'après les indications de divers fabricants.

Types d'appareils	Puissance nominales [W]	Gain à admettre [W]	
		Chaleur sensible	Chaleur latente
Friteuse 5litres d'huile	2575	464	696
Friteuse 10l d'huile	6954	1102	1653
Chauffe pains	435	319	29
Moules à gaufrettes	2192/719	899/319	609/203
Percolateur 2l	993	394	104
Chauffe eau	146	116	29
Cuisine électrique et machine à laver	3000	1450	1550
Aspirateur	200	50	
Essoreuse	100	15	
Congélateur 200 l	175	500	
Fers à repasser	500	230	270
Chaîne stéréophonique	40	40	0
Téléviseur	175	175	0
Séchoir cheveux	500/1000	175/350	75/250
Plaque de cuisson	500/1000	120/250	130/250
Grill à viande	3000	1200	300
Stérilisateur	150	175	325
Ordinateur	400	250	0
Cafetière	500/3000	750	300
Photocopieuse		750	
Imprimante à jet d'encre		52	
Imprimante laser		15	
fax		62	

Tableau (III.3) : les gains du chaleur des appareils électriques. [13]

- L'expression est :

$$Q_{\text{Micro}} = Q_{\text{ordinateur}} \cdot n$$

$Q_{\text{ordinateur}}$ = chaleur sensible des micro-ordinateurs (W)

n = nombres des micro-ordinateurs

$$Q_{\text{Micro}} = (250) \cdot 17 = 4250 \text{ [W]}$$

III-2-3 Les charges thermiques :

La quantité de chaleur absorbée par le thermoélectrique est la somme de toutes les charges externes et internes (les charges thermique).

$$Q_{Abs} = Q_{Chrgs\ Externes} + Q_{Chrgs\ Internes} \dots\dots\dots (III.1)$$

$$Q_{Chrgs\ Externes} = Q_{P\ Exter} + Q_{P\ Inter} + Q_T + Q_S + Q_P + Q_F + Q_V \dots\dots\dots(III.2)$$

$$Q_{Chrgs\ Externes} = (701,16 + 716,54 + 1488,48 + 1123,37 + 58,30 + 132,03 + 48,96)$$

$$Q_{Chrgs\ Externes} = 4268,84 [W]$$

$$Q_{Chrgs\ Internes} = Q_{Occ} + Q_{Ecl} + Q_{Micro} \dots\dots\dots (III.3)$$

$$Q_{Chrgs\ Internes} = (1734 + 1035 + 4250)$$

$$Q_{Chrgs\ Internes} = 7019 [W]$$

$$Q_{Abs} = Q_{Chrgs\ Externes} + Q_{Chrgs\ Internes}$$

$$Q_{Abs} = (4268,84 + 7019)$$

$$Q_{Abs} = 11287,84 [W]$$

Commentaire :

Il est à noter que ces charges sont très élevées, mais elles 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.

III-3 Détermination de la surface d'échange du thermoélectrique à l'effet Peltier:

L'étude du transfert de chaleur par convection permet de déterminer les échanges de chaleur se produisant entre un fluide et une paroi.

$$Q_{Abs} = h \cdot S \cdot (T_{Air} - T_{Paroi}) \dots\dots\dots (III.4)$$

h : le coefficient d'échange par convection, il s'exprime en (W/m².K)

S : la surface d'échange (m²)

T_{Air} : la température d'air (K)

T_{Paroi} : la température d'une paroi (K)

Mais dans cette cas en à calculer la surface d'échange nécessaire du la face froid d'un thermoélectrique à l'effet Peltier.

$$S = \frac{QA}{h \times (T_A - T_P)} \dots\dots\dots (III.5)$$

Avant le calcul du la surface d'échange consiste à déterminer le coefficient d'échange par convection qui dépend de nombreux paramètres :

- caractéristiques du fluide.
- nature de l'écoulement.
- la température.
- la forme de la surface d'échange.

Le tableau suivant représenter les ordres de grandeur du coefficient h (W/m².K) :

convection libre (air)	5 – 25
convection libre (eau)	100 – 900
convection forcée (air)	10 – 500
convection forcée (eau)	100 - 15 000
convection forcée (huile)	50 - 2 000
convection forcée (métaux fondus)	6 000 - 120 000
convection forcée (eau bouillante)	2 500 - 25 000
condensation de vapeur d'eau	50 000 - 100 000

Tableau (III.4) : les ordres du coefficient de convectif.

Dans ce cas en prend le type de convection est convection forcée :

$$S = \frac{1,8}{1 \times (2 - 2)}$$

$$S = 28,2196 [m^2]$$

Commentaire :

On remarque que la surface d'échange nécessaire pour le refroidissement de la salle d'informatique est très grande.

III-4 Les modules thermoélectriques à l'effet 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 (II.6).

$$Q = 2 \left(\alpha \cdot I \cdot T - \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - K(T - T_c) \right) \dots \dots \dots (I. 6)$$

On obtient l'équation du second degré :

$$\left(\frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - \alpha \cdot I \cdot T + K(T - T_c) \right) + \frac{Q}{2} = 0$$

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 (II.10) et (II.11).

$$V = 2 \left(\alpha (T - T_c) + R \cdot I \right) \dots \dots \dots (II. 1)$$

$$P_{elec} = V \cdot I \dots \dots \dots (II.11)$$

Sachant que la plupart des matériaux utilisés dans les modules pour la production du froid est du tellure de Bismuth [14] dont les caractéristiques sont les suivants : $\alpha = 200 \mu V/K$; $\rho = 10 \mu m$ (pour déterminer R) et $\kappa = 1,5 W/m K$ (pour déterminer K). [15]

Dans cette partie, nous utilisons les modules photovoltaïques pour la production de courant continu qui servira à l'alimentation de nos modules Peltier.

III-5 Climatisation solaire :

III-5-1 Introduction :

La climatisation solaire désigne l'ensemble des techniques de climatisation utilisant l'énergie solaire comme source énergétique primaire. La climatisation solaire est une application relativement nouvelle de la technologie éprouvée de réfrigération thermique et solaire. Si elle semble paradoxale, la climatisation solaire présente un potentiel élevé puisque la demande de climatisation correspond bien à l'accessibilité des ressources solaires.

La climatisation solaire représente un gisement de projets prometteur et un vrai besoin de réponses existe aux questions posées par cette technologie face au développement important des autres technologies solaires.

Cependant, les techniques de froid solaire sont encore au stade de la démonstration du fait de la complexité de la mise en œuvre, essentiellement au niveau de l'optimisation des composants et du système global. De plus, les technologies existantes ne sont pas encore compétitives du point de vue économique comparées aux systèmes classiques utilisant l'électricité.

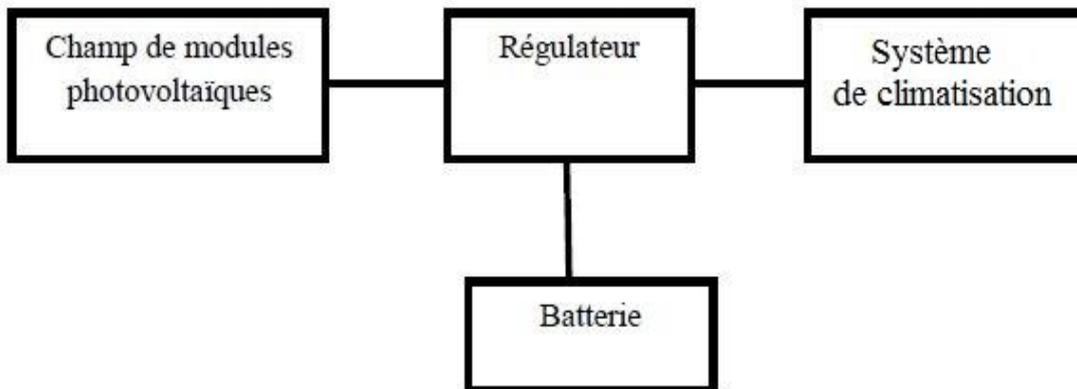


Figure (III.3) : schéma explicatif de la technique de froid solaire. [7]

III-5-2 Les technologies de climatisation solaire :

III-5-2-1 L'avantage des systèmes de rafraîchissement solaire :

Lorsque, malgré une utilisation optimale des techniques passives, un système de climatisation s'avère nécessaire, le rafraîchissement solaire peut être une solution intéressante. En effet, durant l'été, la demande électrique croît fortement du fait d'un usage intensif des

systèmes de climatisation d'où, des pics de consommation à l'origine de la plupart des problèmes d'approvisionnement. La pénurie est encore plus grande les années sèches où les centrales hydroélectriques sont incapables de couvrir une partie de ces pics pour certaines régions du monde. Dans ce contexte, l'utilisation de l'énergie solaire pour le rafraîchissement est un concept séduisant, puisque les besoins en froid coïncident la plupart du temps avec la disponibilité du rayonnement solaire **figure (III.4)**.

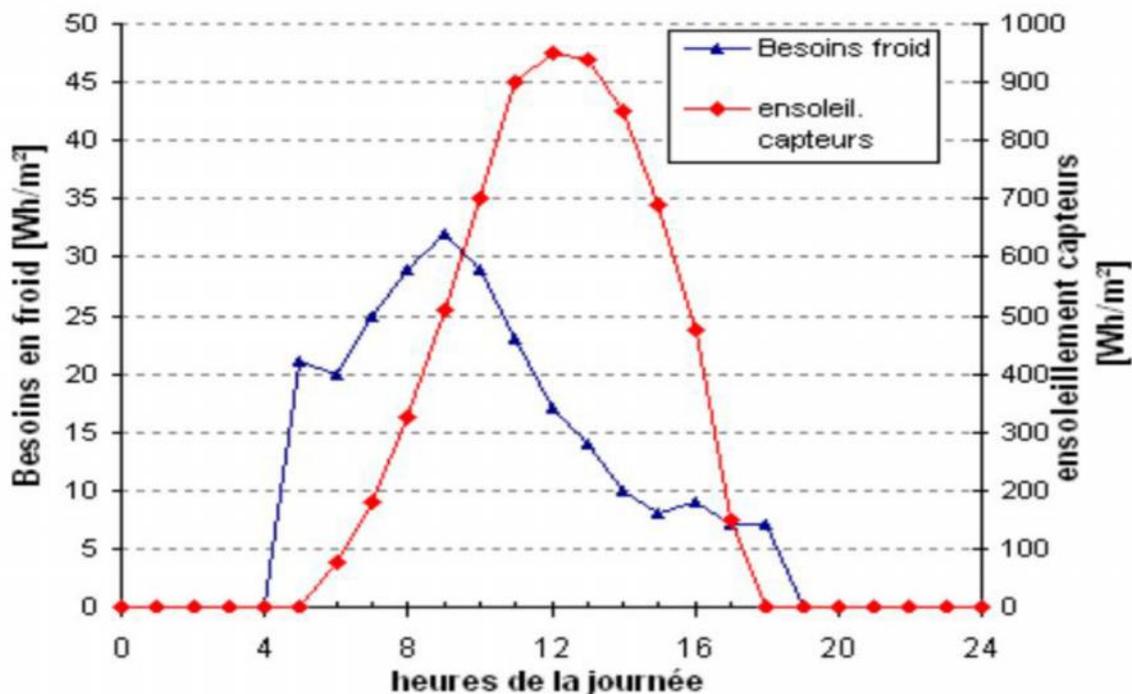


Figure (III.4) : Adéquation entre la présence du soleil et le besoin en climatisation pour un bureau à Madrid. [7]

Les systèmes de rafraîchissement solaire ont l'avantage de supprimer la plupart des nuisances d'une climatisation classique.

La consommation d'électricité peut être jusqu'à 20 fois inférieure à celle d'un système classique à compression.

Les fluides frigorigènes employés sont inoffensifs puisqu'il s'agit d'eau et de solutions salines. La nuisance sonore du compresseur est supprimée. Ces systèmes peuvent être utilisés aussi bien seuls qu'en complément de systèmes classiques de conditionnement d'air. L'objectif principal étant d'utiliser ces technologies « émission zéro » pour réduire la consommation énergétique et les émissions de CO₂.

III-5-2-2 Description des technologies de climatisation solaire :

Un processus de production de froid signifie naturellement une absorption de la chaleur. Elle requiert, dans le cas où on veut descendre en deçà d'un seuil, la mise en œuvre d'un phénomène endothermique s'effectuant à des températures plus basses que la température que doit atteindre le corps à refroidir.

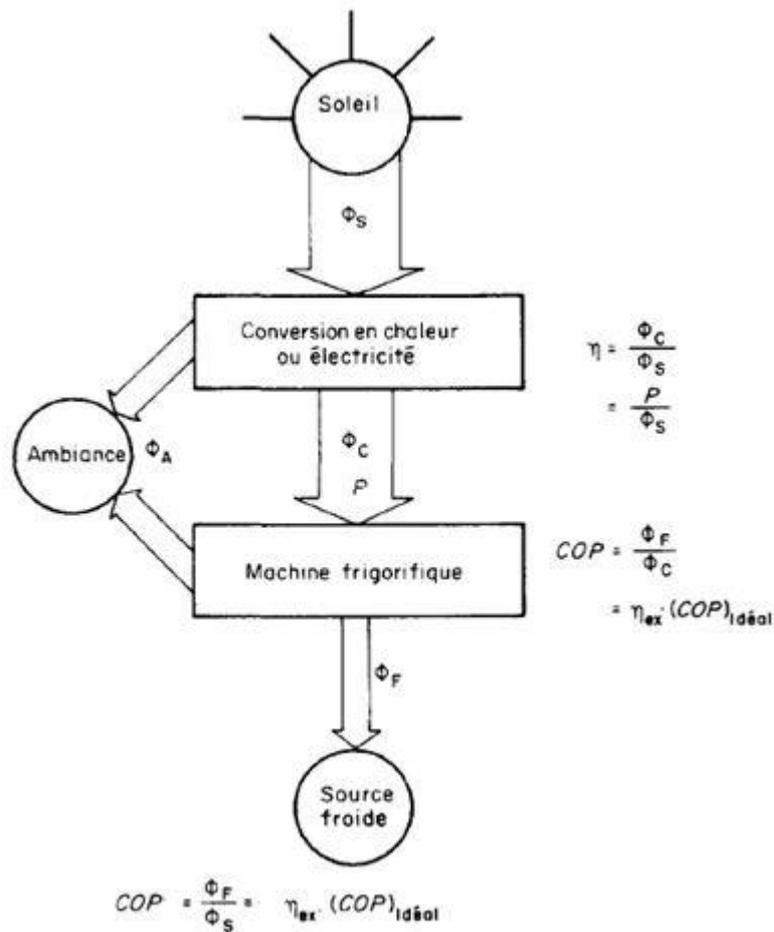


Figure (III.5) : Schéma énergétique des machines frigorifiques solaires.

L'énergie solaire, qui est de la chaleur à très haute température, doit d'abord être convertie, de façon contrôlée, en électricité ou en chaleur. Les machines frigorifiques classiques doivent être ensuite adaptées et intégrées aux équipements correspondants pour former des installations solaires de réfrigération et de conditionnement. **La figure (III.5)** schématise l'évolution de l'énergie depuis le soleil jusqu'à l'utilisation et définit les paramètres

caractéristiques globales de chaque étape. Ces installations doivent en outre répondre aux contraintes d'environnement et d'utilisation. Le caractère essentiellement variable de l'énergie solaire implique d'abord que les machines solaires doivent être adaptées à un fonctionnement perpétuellement transitoire ou intermittent. L'absence d'environnement technique ou logistique suffisant impose en outre une très grande fiabilité.

III-5-2-3 Existence dans le marché :

Dans le cadre du projet international soutenu par l'AIE (Agence internationale de l'Energie), une liste des installations de moyenne et grande taille a été établie. Cette liste fait état de 81 installations, la plupart en Europe. 60% de ces systèmes sont utilisés dans des bureaux, 10% dans des usines, 15% dans des centres éducatifs ou de recherche, et 6% dans des hôtels, le pourcentage restant se répartit entre hôpitaux, cantines, centres sportifs, etc.

Comme le montre la **figure(III.6)**, avec 72% de la puissance installée, la technologie d'absorption est largement majoritaire, suit ensuite la technologie d'adsorption et de dessiccation solide avec respectivement 17% et 10% de la puissance installée. Enfin, la dessiccation liquide est encore quasiment inexistante avec 1% de la puissance installée.

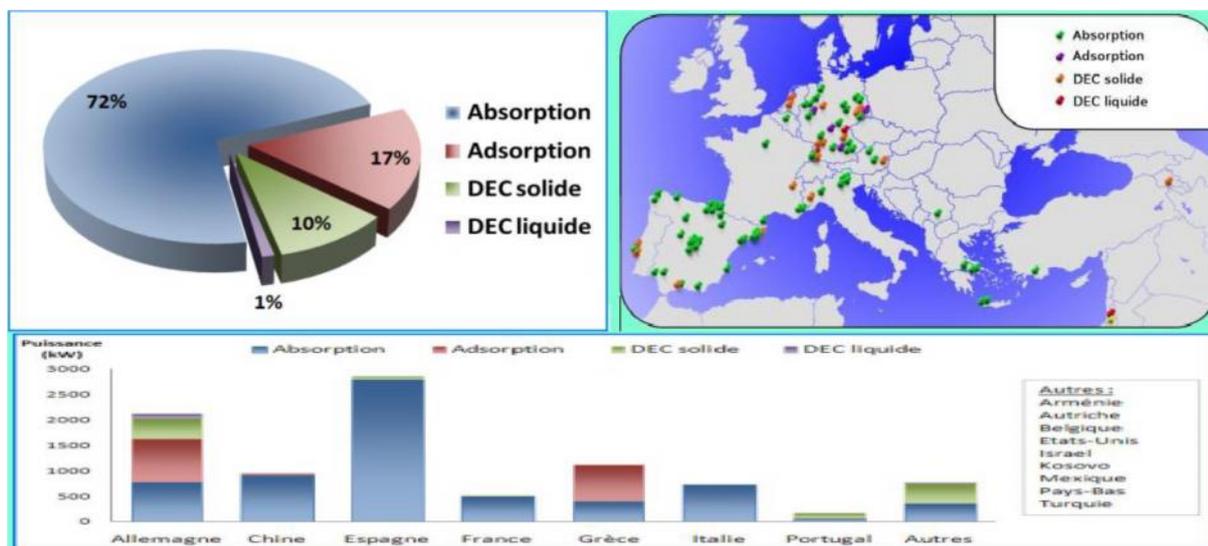


Figure (III.6) : Installations de climatisation solaire par type. [16]

Sur les 9 MW de puissance de froid étudiée, 31% se situe sur des installations espagnoles, suit en suite l'Allemagne avec 23% de la puissance installée, puis la Grèce et la Chine avec 12% et 10% respectivement. [16]

III-5-3 Dimensionnement du champ de modules photovoltaïques :

III-5-3-1 Méthodologie :



Figure (III.7) : Schéma de l'installation.

Pour effectuer le dimensionnement du champ de modules photovoltaïques nous allons utiliser la méthode simplifiée suivante [17] :

- Détermination de la puissance crête donnée par la formule :

$$P_c = \frac{C_j}{K \times E_j} \dots\dots\dots (III.6)$$

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 est l'énergie incidente sur le plan des modules (kWh/m²/j).

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

$$n_s = \frac{t_u}{t_c} \frac{d_u}{d_m} \dots\dots\dots (III.7)$$

- Détermination du nombre de branche donnée par la formule :

$$n_B = \frac{P_c}{P_{cm}} \times \frac{1}{n_s} \dots\dots\dots (III.8)$$

- Détermination de la puissance à installer :

$$P_{ci} = n_s \times n_B \times P_{cm} \dots\dots\dots (III.9)$$

- 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 :

- 12 V pour $P_c < 150$ W
- 24 V pour $150 \text{ W} < P_c < 1000$ W
- 48 V pour $P_c > 1000$ W

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

- Surface disponible.
- Technologie du panneau.

III-5-3-2 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% [18] 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% [18] 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.

III-5-3-3 Orientation et L'inclinaison 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.

L'inclinaison des panneaux est fonction de la latitude du lieu [18 ; 19] et est regroupé dans le tableau :

Latitude	Inclinaison
$L < 10^\circ$	$I = 10^\circ$
$10^\circ < L < 30^\circ$	$I = L$
$30^\circ < L < 40^\circ$	$I = L + 10^\circ$
$L > 40^\circ$	$I = L + 15^\circ$

Tableau (III.5) : Inclinaison des modules photovoltaïques. [19]

Pout notre cas, la ville de Blida étant à une latitude de **36°42'** nos modules seront inclinés de **46°** .

III-5-3-4 Conclusion :

On conclue que la climatisation solaire couplée au module Peltier coute très cher et nécessite une grande surface pour l'installée malgré la diminution de consommation électrique.

CHAPITRE IV :

LA SIMULATION PAR LE LOGICIEL

PLEIADES + COMFIE

Dans ce chapitre on va définir le logiciel PLEIADES + COMFIE, citer les différentes étapes de simulation pour obtenir la puissance et les besoins de climatisation et l'évolution de température intérieure, extérieure de la salle.

IV.1 Introduction :

Ce logiciel est le produit de la collaboration entre IZUBA énergies et le Centre d'énergétique de l'école des Mines de Paris. L'ensemble du logiciel PLEIADES + COMFIE permet la conception de projets bioclimatiques en régime dynamique, l'analyse des performances et des ambiances, la formation et l'enseignement sur le comportement thermique de l'habitat.

PLEIADES + COMFIE intègre plusieurs bibliothèques de données thermiques sur les matériaux et les éléments constructifs, les menuiseries, les états de surface, les albédos et les écrans végétaux. Le logiciel comprend aussi des bibliothèques de modes de gestion du bâtiment étudié selon un scénario horaire pour une semaine-type (occupation, apports internes, températures de consigne de chauffage ou de climatisation, gestion des occultations). L'interface PLEIADES, par sa rapidité et son apprentissage intuitif, permet enfin aux architectes de pouvoir calculer un projet bioclimatique dès la phase d'esquisse et d'avant-projet. Il est également adapté aux calculs thermiques des bureaux d'études ou des chercheurs en phase de conception, de dimensionnement ou de contrôle des ambiances. « mémoire bioclimatisation et confort thermique »

IV.2 Le logiciel PLEIADES + COMFIE :

IV.2.1 Les étapes du calcul dans le PLEIADES+COMFIE :

On doit calculer les besoins de climatisation classique de notre local et faire une comparaison avec les résultats obtenus du froid avec l'effet de Peltier.

Avant cela on doit choisir la période comprise entre la 13^{ème} et la 26^{ème} semaines (la première semaine d'avril jusqu'à la dernière semaine de juin) et les courbes de température obtenus dans la semaine la plus chaude de l'année de 21 au 28 juin pour la climatisation du local.

On a choisi Blida comme station et en prenant compte toutes les données de construction : paroi, plancher toiture, porte et fenêtre dans logiciel alcyone.

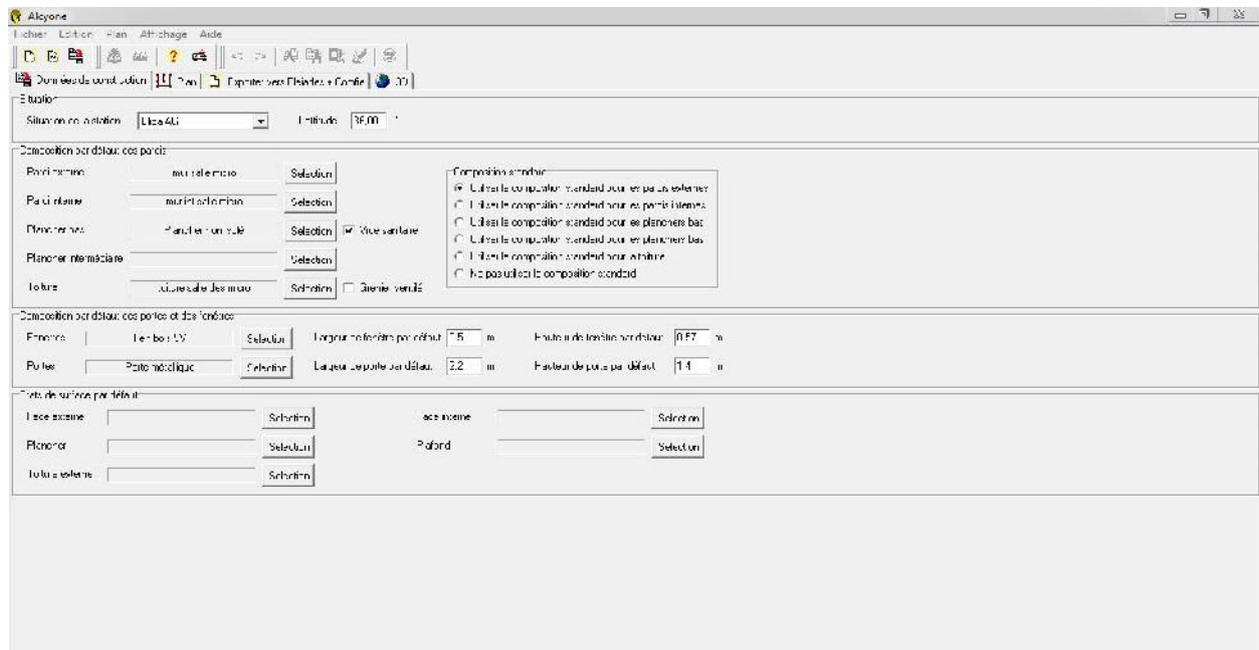


Figure (IV.1) : Remplissage des données de construction.

Nous avons fait un schéma 2D avec les différentes longueurs largeurs hauteurs positionnement du nord, éditer les portes et les fenêtres de notre local.

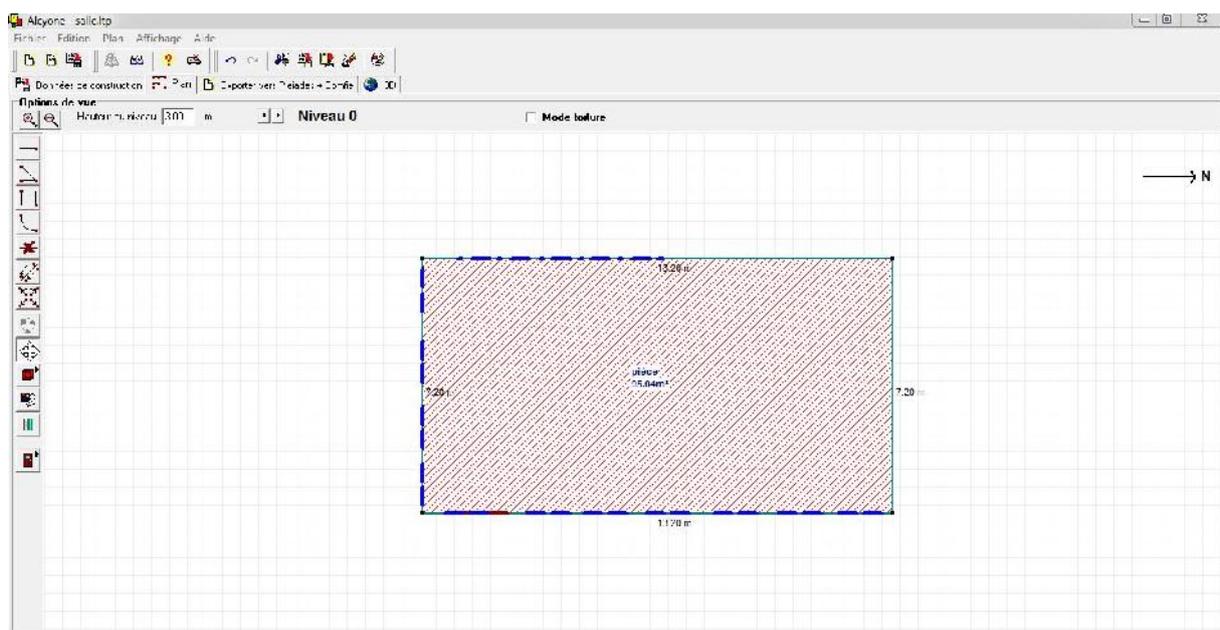


Figure (IV.2) : le schéma 2D de la salle.

Faire une exportation des données qui contient Alcyone pour ouvrir dans Pleiades.

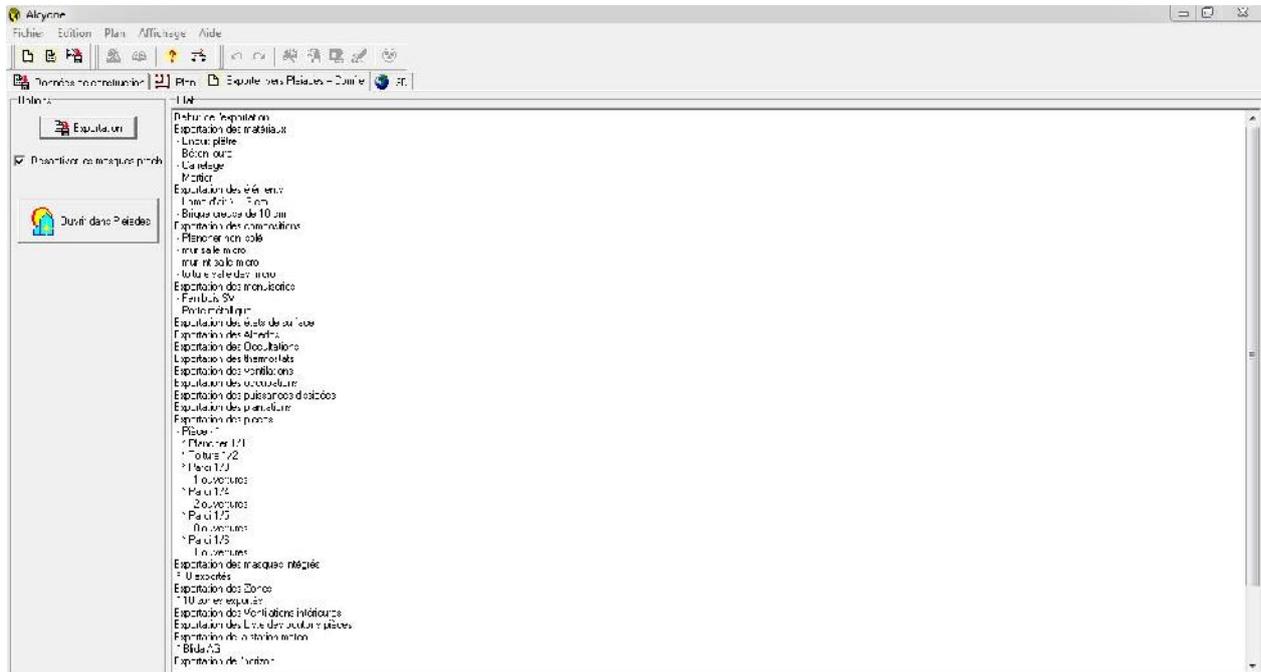


Figure (IV.3) : l'exportation des données du salle.

Déterminer le nombre d'occupants avec le pourcentage et l'intervalle de présence dans la salle.

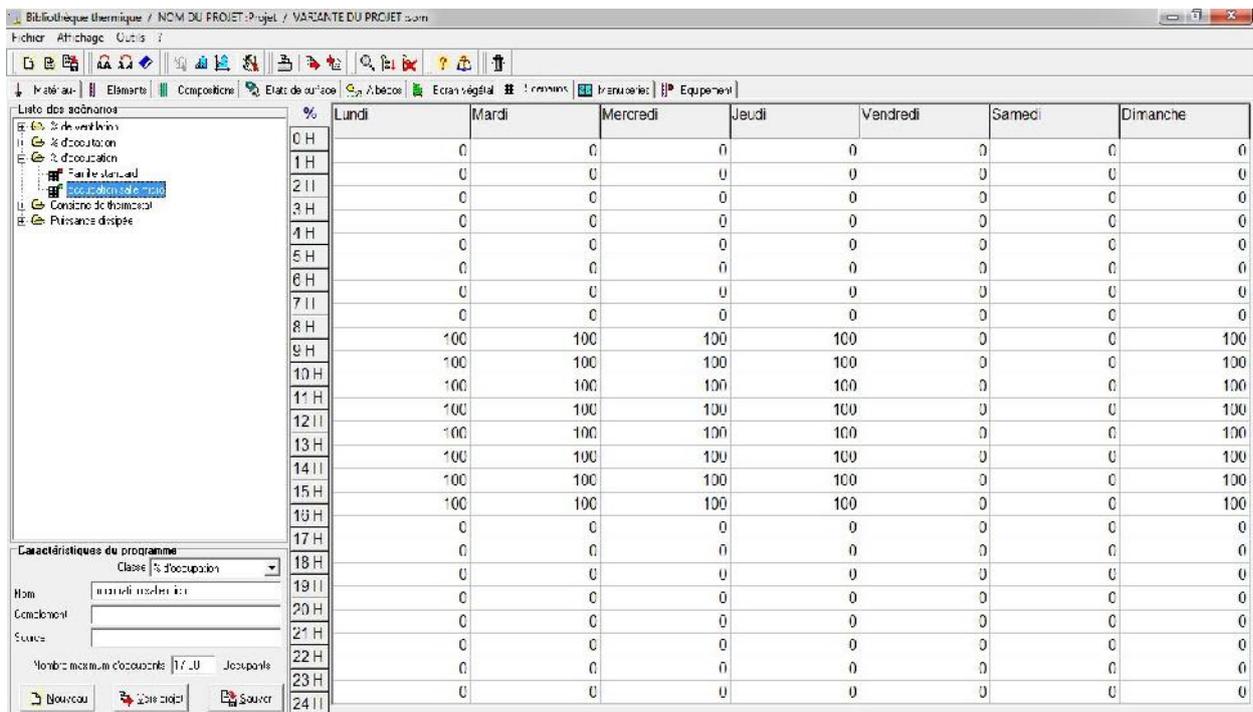


Figure (IV.4) : Détermination le nombre d'occupants.

Préciser la température du consigne de thermostat pour climatiser notre local.

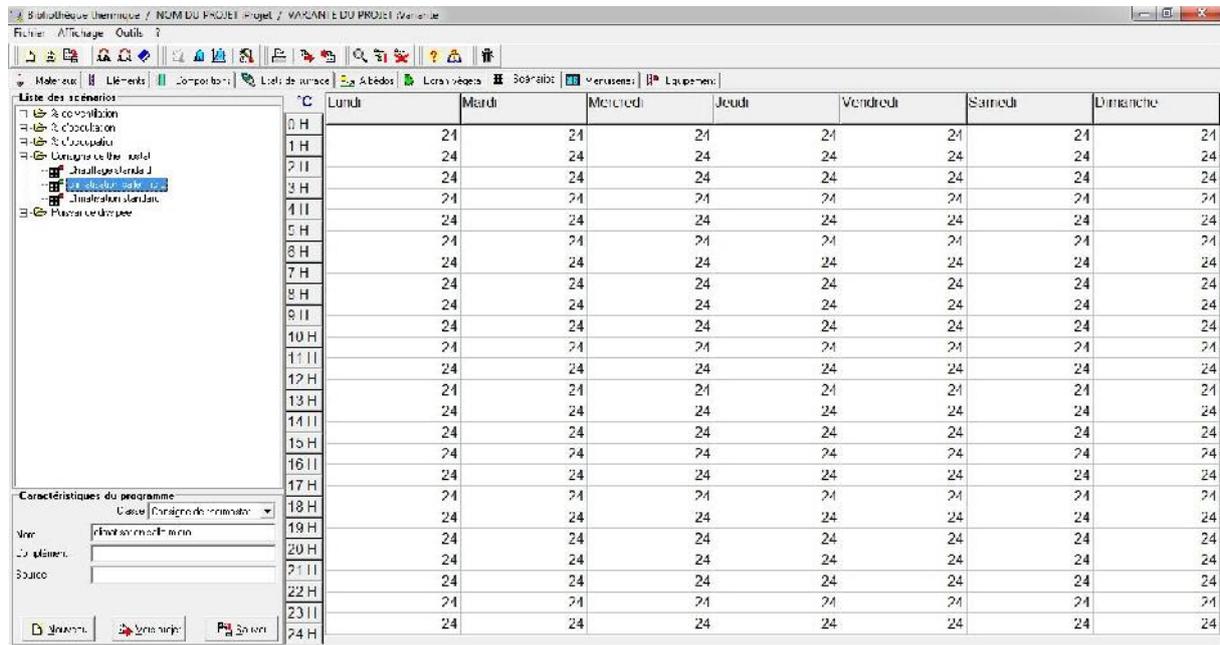


Figure (IV.5) : Insertion la température du consigne.

Préciser la puissance dissipée de toute les machines qui se trouve dans le local.

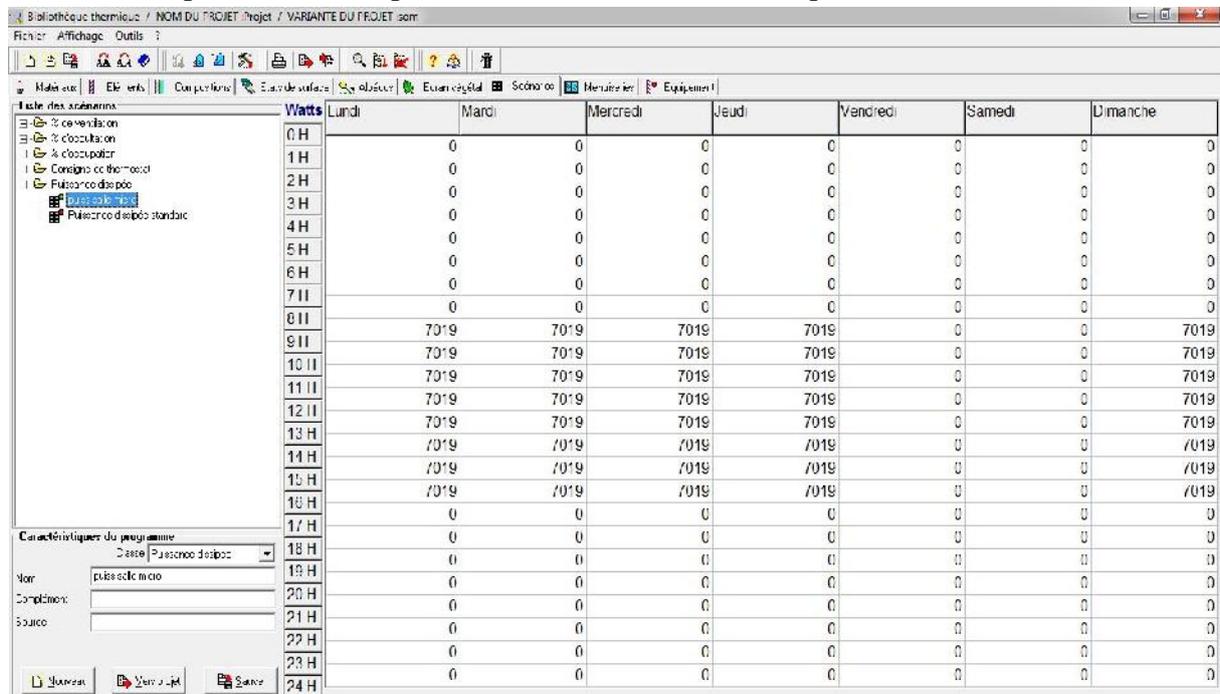


Figure (IV.6) : Insertion la puissance dissipée.

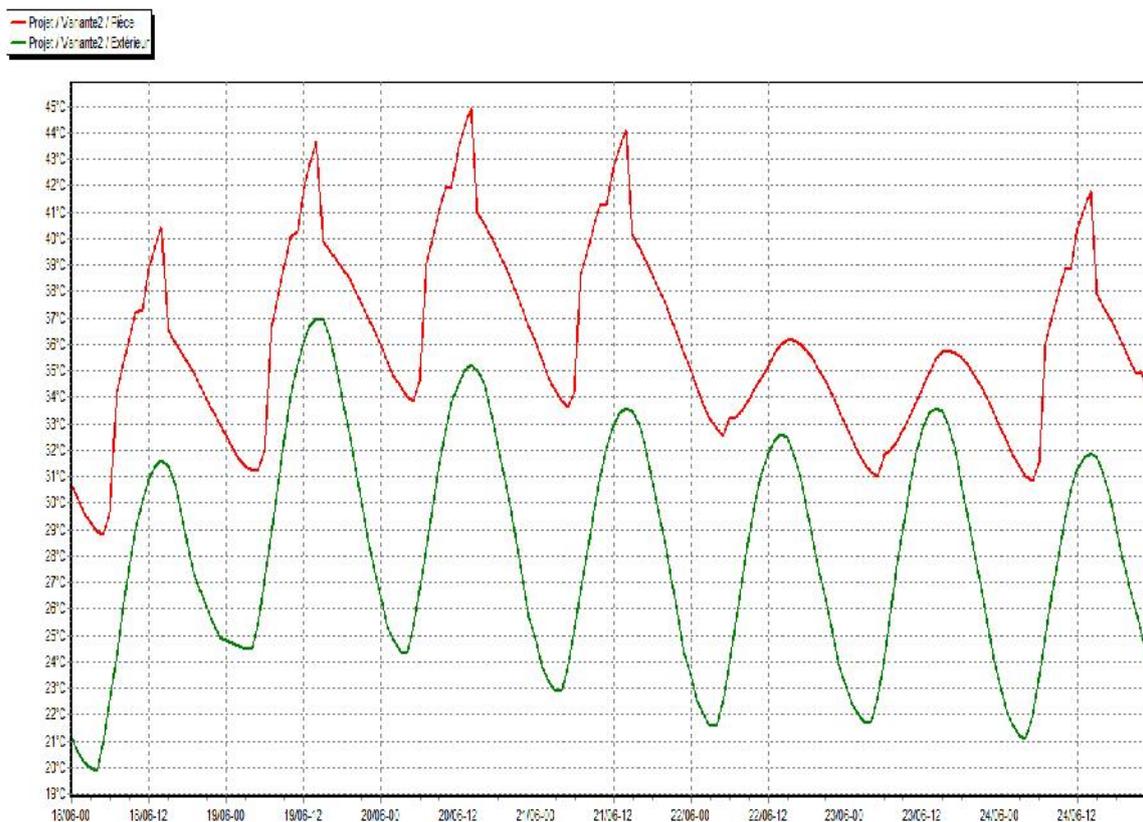


Figure (IV.7) : Evolution de température à l'intérieur et l'extérieur de la salle sans consigne thermostat.

IV.2.2 Interprétation des résultats (sans consigne thermostat) :

On remarque que les températures extérieures et intérieures ont presque les mêmes évolutions avec un écart important jusqu'à 10 °C.

Pour les journées du week-end on remarque que les écarts sont faibles à cause des machines qui sont à l'arrêt et il n'y a pas d'occupants.

La courbe de température à l'intérieur est supérieure par rapport à l'extérieur puisque il y a des gains de chaleur appartenant aux occupants, l'éclairage et les micros.

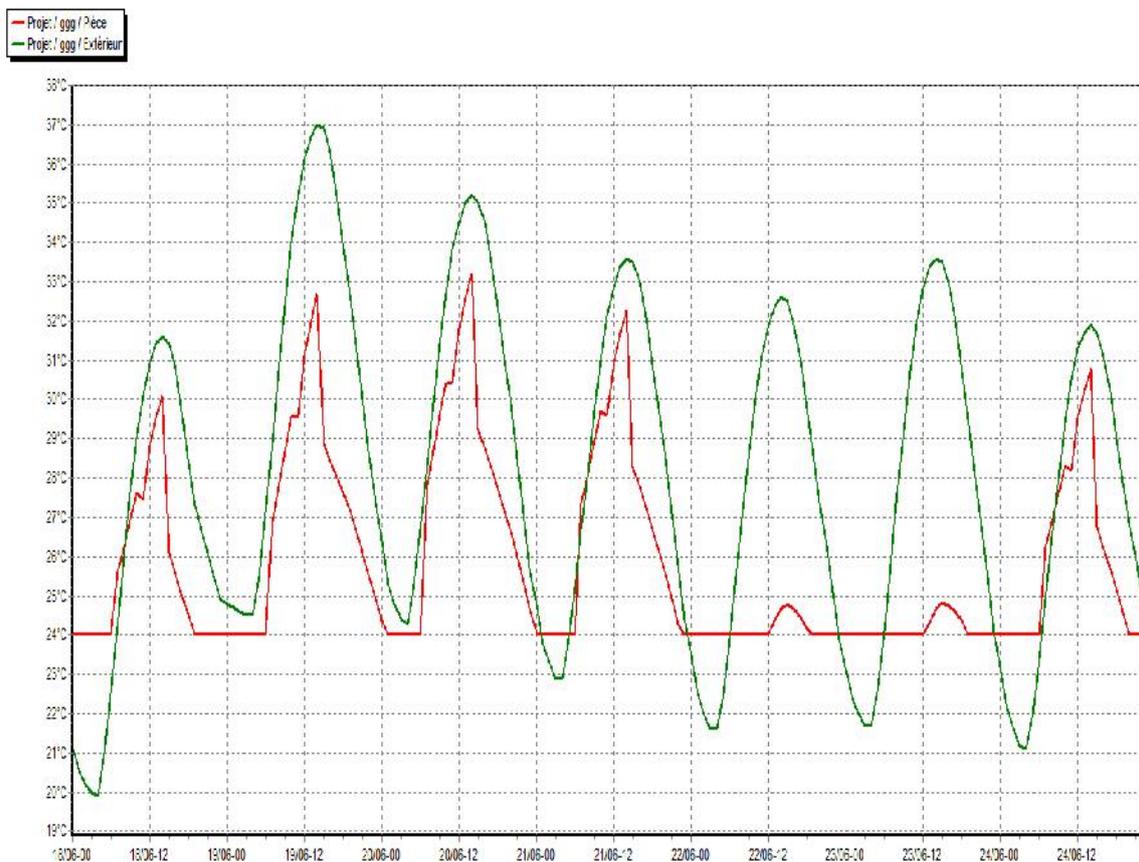


Figure (IV.8) : Evolution de température à l'intérieur et l'extérieur de la salle avec consigne thermostat.

IV.2.3 Interprétation des résultats (avec consigne thermostat) :

On remarque que la courbe de température dans la salle est inférieure par rapport à l'extérieur puisque il ya un consigne thermostat « climatisation ».

Les températures intérieures et extérieures ont un écart minimal de 2 à 3°C pendant toute la semaine, sauf les jours du week-end ou on a un écart maximal presque 10°C puisque il ya arrêt des machines.

A la fin on a trouvé les besoins de climatisation des machines et la puissance de climatisation dans cette salle.

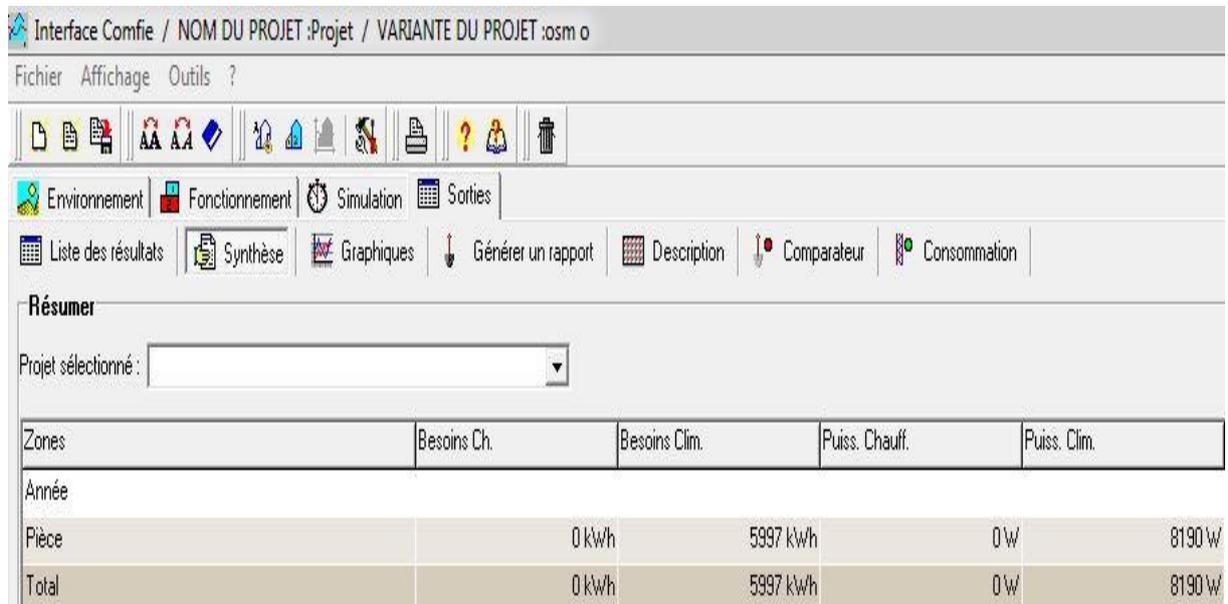


Figure (IV.9) : la puissance et les besoins de climatisation du salle.

IV.2.4 Discussion des résultats :

On remarque que la puissance de climatisation est inférieure par rapport à la puissance calculé théoriquement et les résultats obtenus sous Pleiades bien précis avec une bonne isolation donc le meilleur mode de production du froid pour les grandes surfaces c'est la climatisation classique.

CONCLUSION :

Au terme de ce travail sur la production de froid par les modules Peltier, 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 sur tout pour les grandes puissances car ayant le meilleur rendement. Cependant, parmi les autres systèmes seuls les modules Peltier présentent une aptitude à être utilisé 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 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.

La surface d'occupation par l'installation des modules de Peltier est très grande si en comparant avec la surface occupé par la climatisation classique.

Les références

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

[2] : Denis LEDUCQ (2009), Froid et Environnement, cemagref.

[3] : Yao AZOUMAH (2010), Thermique solaire. Institut International de l'Eau et de l'Environnement.

[4] : 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.

[5] : M. S. BHATTI, Open Air Cycle Air Conditioning System for Motor Vehicles, Society of Automotive Engineers, SAE Technical Papers, Document Number 980289, 1998.

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

[7] : 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.

[8] : N.Takagi, Y.Sato « Growth and structural properties of Mg₂Si and Ca₂Si bulk crystals ».Applied surface science 244, 330-333, 2005.

[9] : D.BOUDEMAGH « Synthèse et étude de matériaux thermoélectriques du système Mg₂Si_{1-x}Sn_x » thèse de Doctorat à l'université Josef Fourier de Grenoble, France, 2010.

[10] : 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.

[11] : L.Wang, X.Y.Qin « The effect of mechanical milling on the formation of nanocrystalline Mg₂Si through solid-state reaction ». Scripta Materialia 49, 243-248,2003.

[12] : Daniel Babo, Algérie, Éditions le Sureau, coll. « Des hommes et des lieux » (ISBN 978-2-911328-25-1), p. 30.

[13] : Méthode du charge thermique, pdf.

[14] : Robert OTEY et Barry MOSKOWITZ (2001), Thermoelectric coolers offer efficient solidstate heat management options, oe magazine.

[15] : 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.

[16] : W.Sparber et al. «State of the art on existing solar heating and cooling systems.» Task38.Solar Air Conditioning and refrigeration, Nouvomber 2009: 1-19.

[17] : Zacharie KOALAGA (2010), Electricité solaire photovoltaïque. Institut International de l'Eauet de l'Environnement.

[18] : PACER (1996), Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projet, ISBN 3-905232-26-X.

[19] : Yves JAUTARD et Thierry BOUDOL (2000), L'électricité photovoltaïque.