

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana



Faculté des Science et de la Technologie
Département de Technologie

Mémoire de fin d'études

En Vue de l'obtention du diplôme de Master
Filière : Génie mécanique /Spécialité : Energétique

Thème :

**Amélioration des performances d'un système de
refroidissement à effet Peltier**

Présenté par :

- ✚ GOUTAL Mohamed Amine
- ✚ RALEM AHMED Youcef

Encadré par :

- ✚ Dr. Bilal ABDEREZZAK

Année Universitaire 2019/2020

Dédicace

Je dédie ce travail :

*A ceux qui attendent patiemment les fruits de leur bonne
éducation et de leur dévouement*

*Aux deux personnes qui ont changé la nuit en jour pour
m'assurer les bonnes conditions*

A mes Chers parents

*À mon très cher ami et binôme qui m'a accompagné pendant
la durée de ce travail*

Goutal Mohamed Amine

*À tous ceux qui ont participé et aidé à la réalisation de ce
travail*

A tous ceux que je n'ai pas nommés, mais qui se reconnaîtront

Ralem Ahmed Youcef

Dédicace

Je dédie ce travail :

Au soleil qui éclaire mes journées et la lune qui guide mes pas dans l'obscurité de la vie sans vous je ne serai pas qui je suis aujourd'hui et j'espère de tout mon cœur que du haut de mes 25ans j'ai pu vous rendre fière je le dit pas souvent mais je vous aime du plus profond de mon être, et merci d'avoir été toujours là pour moi

Mes chers parents

A mes deux raisons de vivre ma grande sœur ainsi que ma petite sœur pour tout leur amour leur soutiens indéfectible et leur aide précieuse j'espère être le petit frère et le grand frère idéal malgré mes défauts, je vous porte dans mon cœur à jamais et je n'oublierai jamais tout ce que vous avez fait pour moi merci.

Dr. Kenza et M^{lle} Amira Goutal

A mon très cher ami et binôme grâce à qui j'aurais de très bons souvenirs toute ma vie, merci pour ton aide ton sérieux ton dévouement envers l'aboutissement de notre travail je te souhaite le meilleur pour la suite

Realm Ahmed Youcef

Goutal Mohammed amine

Remerciements

Louanges à DIEU tout puissant de nous avoir guidé sur le droit chemin tout au long de nos études de nous avoir donné la force, et de nous avoir accordé sa miséricorde, sans qui ce travail n'aura pas abouti

On remercie notre encadreur Dr.ABDEREZZAK Bilal, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour ses encouragements ses conseils avisés et son aide précieuse tout au long de la réalisation de ce mémoire, tous les mots de la terre ne suffiront pas pour vous témoigner toute notre reconnaissance.

Nous tenons à remercier le président du jury, ainsi que ses membres

Nous voudrions remercier profondément tous nos enseignants du département de science et technologie pour leur efforts tout au long de notre parcours universitaire.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

La thermoélectricité est une science qui a apparue au début du 19eme siècle, donnant naissance à des systèmes de refroidissement thermoélectrique grâce à l'effet Peltier. L'objectif de cette étude est la conception et l'amélioration d'un système de refroidissement à effet Peltier, qui par ces limitations nous poussent à faire des recherches sur la manière de procéder à son amélioration, afin d'obtenir une meilleure puissance frigorifique générée.

Dans ce contexte, on veut améliorer la capacité à refroidir au sein de notre dispositif en optimisant le temps de refroidissement de l'objet à refroidir, par le biais d'une nouvelle configuration dans le dispositif thermoélectrique. A partir des résultats obtenus dans ce mémoire, nous concluons que l'amélioration des composants des systèmes de refroidissement à effet Peltier, peut effectivement révéler le potentiel des modules Peltier donnant ainsi des résultats bien au-dessus d'autres systèmes de refroidissement thermoélectrique. Ainsi, des recherches ultérieures dans ce domaine devraient permettre à la création de dispositifs plus efficaces.

Abstract

Thermoelectricity is a science that appeared at the beginning of the 19th century, giving birth to thermoelectric cooling systems due to Peltier effect. The purpose of this study is the design and the improvement of a thermoelectric cooling system. Technical limitations of Peltier elements pushed us to investigate how such a system can be improved in order to obtain a better cooling power. In this context, we are looking to improve the cooling capacity of our device by optimizing the cooling time of the object we are trying to cool thanks to a novel thermoelectric configuration. From the obtained results, we conclude that improving the components of Peltier cooling systems can indeed reveal the potential of Peltier modules giving results far above other thermoelectric cooling systems and therefore further research in this field should lead to the creation of more efficient devices.

المخلص

الكهرباء الحرارية علم ظهر في بداية القرن التاسع عشر، و ذلك من خلال إنشاء أنظمة تبريد كهروحرارية، ولكن بالرغم من ظهور هذه الأنظمة، إلا أن قدرة التبريد لوحدها المستخدمة كمنتج تبريد كانت محدودة بسبب عدم قدرة مكونات الجهاز نفسه على نشر أقصى سعة تبريد مما يؤدي إلى متوسط الأداء من حيث وقت التبريد، و لكن نتيجة لإستبدال وتحسين المكونات المشكلة لهذا النوع من الأنظمة، يمكن أن تؤدي إلى تحسين في الأداء.

الغرض من هذه الدراسة هو تصميم وتحسين نظام تبريد بتأثير بلتير، و لأسباب تقنية دفعنا إلى إجراء بعض الأبحاث حول كيفية تحسين مثل هذا النظام من أجل الحصول على طاقة تبريد أفضل. في إطار هذا السياق، قمنا بزيادة قوة التبريد من خلال تحسين وقت التبريد المستغرق للعنصر المراد تبريده بواسطة الجهاز. إستناداً إلى هذه النتائج، نستخلص أن تحسين مكونات نظام التبريد الكهروحراري يمكن أن يُظهر بالفعل الأداء الحقيقي لوحدة البلتير بإعطاء نتائج أفضل بكثير من أنظمة التبريد الكهروحرارية الأخرى، وبإجراء المزيد من البحوث حول هذا الموضوع يمكن أن نتوصل إلى إنشاء أجهزة أكثر كفاءة.

Sommaire

<i>Introduction Générale</i>	14
<i>Chapitre I :Généralités sur la thermoélectricité</i>	3
1.1 Introduction	4
1.2 Définition de la thermoélectricité	5
1.3 Les effets thermoélectriques	5
1.3.1 L'effet Seebeck	5
1.3.2 Effet Peltier	6
1.3.3 Effets Thomson	7
1.3.4 Relation entre les coefficients Seebeck, Thomson et Peltier	8
1.4 Le dispositif thermoélectrique	8
1.5 Génération et refroidissement thermoélectrique	9
1.5.1 Générateur de courant (TEG).....	9
1.5.2 Refroidissement thermoélectrique	10
1.5.3 Les équations de la thermo réfrigération	11
1.5.4 Exemples d'applications	13
1.5.4.1) génération d'électricité	13
A) Les petits réchauds à bois	13
1.5.4.2 pour la réfrigération thermoélectrique	13
a) Réfrigération thermoélectrique petites enceintes	13
<i>Chapitre II : Conception et mise en œuvre du système</i>	15
2.1 Introduction	16
2.2 Présentation et fonctionnement du système	17
2.4 Etude théorique des constituants génériques et la recherche d'alternative d'amélioration	19
2.4.1 Le module Peltier	19
2.4.2 Système d'extraction de chaleur et de distribution de froid	20

2.4.3 L'alimentation	24
2.4.4 Système d'acquisition de donnée	25
2.4.5 Boitier	25
2.5 Conception et dimensionnement et choix d'éléments	27
2.5.1 Le module Peltier	27
2.5.2 Systèmes de dissipation de chaleur et de distribution de froid	29
2.5.2.1 le système de dissipation de chaleur	29
2.5.2.2 le système de distribution de froid	32
2.5.3 Acquisition et affichage de données	33
2.5.3.1 Broches d'alimentation	34
2.5.3.2 breadboard	35
2.5.3.3 la sonde de température	36
2.5.4 Système de distribution électrique	36
2.5.5 Le boitier	38
2.5.6 Système photovoltaïque	39
2.6 Etapes de conception	40
2.6.1 Conception du prototype de refroidissement	40
2.6.2 Dimensionnement et confection du boitier	42
2.6.3 installation du système d'acquisition de données avec capteurs et sondes.....	47
2.6.4 Mise en place du système d'alimentation	48
2.6.5 rendue finale du dispositif	49
Chapitre III : Résultats et discussion	50
3.1 Introduction	51
3.2 Résultats et discussions	52
3.3 Partie expérimentale	53
3.4 Évaluation de performance	56
3.5 Comparaisons des résultats obtenus pour les 2 dispositifs	58

3.5.1 Exposition des résultats antérieurs	58
3.5.2 la comparaison	60
<i>Conclusion Générale</i>	61

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Tableau de spécification du module TEC1-12706	28
Tableau 2.2 :Tableau de spécification du cooler master ma610p	31
Tableau 2.3 :Tableau de spécification du cooler master hyper T200.....	33
Tableau 2.4 :Tableau de spécification de l'alimentation.....	38
Tableau 3.2 :tableau de résultats expérimental obtenu par le dispositif antérieur	58
Tableau 3.1 :évolution de la température froide et température chaude du module thermoélectrique.....	66

Liste des figures

Figure 1.1 :Effet Seebeck	6
Figure 1.2: Effet Peltier	6
Figure 1.3: illustration Effet Thomson	8
Figure 1.4: schéma de principe d'un dispositif thermoélectrique	9
Figure 1.5: (a) refroidissement thermoélectrique, (b) génération de courant électrique	10
Figure 1.6: schéma illustrant l'effet thermoélectrique de refroidissement.....	11
Figure 1.7 :un petit réchaud à bois (biolite)	13
Figure 1.8 :réfrigérateur thermoélectrique (Peltier)	14
Figure 2.1: schéma du principe d'un thermocouple	17
Figure 2.2: schéma du principe d'un élément thermique (série de thermocouples).....	18
Figure 2.3: illustration sur les composants d'un module Peltier	20
Figure 2.4: graph montrant la variation de l'échange thermique en fonction de la longueur de l'ailette.....	22
Figure 2.5: Principe du caloduc.....	23
Figure 2.6: photos de l'intérieur et l'extérieur d'une alimentation	24
Figure 2.7: image du module Peltier TEC1-12706	27
Figure 2.8: dissipateur pour l'extraction de la chaleur MA610P	29
Figure 2.9: Base du dissipateur thermique	30
Figure 2.10: Ventilateur (120 mm) connecté aux ailettes de dissipateur	31
Figure 2.11: vu de face et de bas du Cooler master hyper T200	32
Figure 2.12: Arduino Uno	34
Figure 2.13: composants d'Arduino Uno	35
Figure 2.14: breadboard	35
Figure 2.15: sonde de température DS18B20	36
Figure 2.16: image montrant le constituant interne de l'alimentation	37
Figure 2.17: image montrant l'intérieur et l'extérieur de notre alimentation.....	37
Figure 2.18: prototype de refroidissement	41
Figure 2.19: illustration de la séparation entre les deux dissipateurs.....	41
Figure 2.20: vu sur l'emplacement de l'hyper t200 au sein du boîtier.....	42
Figure 2.21: châssis en bois.....	43
Figure 2.22: bois de construction et équerre pour la fixation des parois.....	43
Figure 2.23: panneaux en polystyrène expansé.....	44

Figure 2.24: rendu primaire des parois.....	44
Figure 2.25: feuille d'aluminium de 0,02 mm d'épaisseur	45
Figure 2.26: colle adhésive.....	45
Figure 2.27: rendu primaire du boîtier	46
Figure 2.28: système d'acquisition de données.....	47
Figure 2.29: système de distribution électrique.....	48
Figure 2.30: rendu final	49
Figure 3.1: Graphique de l'évolution des températures coté froid et coté chaud du système..	54
Figure 3.2: Graphique de la Comparaison entre les deux coté des Peltier le chaud et le froid de l'étude précédente.....	59

Nomenclature

abréviation	Description	Unité
S_{ab}	Coefficient de Seebeck	$(V.K^{-1})$
S_a	Coefficient Seebeck du matériau a	$(V.K^{-1})$
S_b	Coefficient Seebeck du matériau b	$(V.K^{-1})$
Π	Coefficient de Peltier	(V)
τ	coefficient de Thomson	$(V.K^{-1})$
ZT	Facteur de mérite	Adimensionnelle
I	Intensité du Courant électrique	(A)
σ	la conductivité électrique	$(\Omega^{-1}.m^{-1})$
λ	la conductivité thermique	$(W.K^{-1}.m^{-1})$
α	le coefficient Seebeck	$(V.K^{-1})$
R	résistance électrique	(Ω)
K	conductance thermique	$(W.K^{-1})$
ΔT	Différence de température	$(^{\circ}C)$
T_f	Température côté chaud	$(^{\circ}C)$
T_c	Température côté froid	$(^{\circ}C)$
Q_f	Puissance absorbé coté froid	W
Q_c	Puissance généré coté chaud	W
P_e	Puissance électrique	W

h	Coefficient d'échange par convection	$(W/m^2.k)$
ρ	La masse volumique	kg/m^3
C_p	Chaleur spécifique	$(J/kg.k)$
V	volume	M^3
S	surface	M^2
τ	La constante du temps	S^{-1}
T_0	Température ambiante	$(^{\circ}C)$
$T_{\text{souhaitée}}$	Température souhaitée	$(^{\circ}C)$
T_{∞}	Température a l'intérieur de la chambre froide	$(^{\circ}C)$
V	La vitesse d'écoulement de l'air	(M/S)
μ	La viscosité dynamique du l'air	$Pa.S$
V	Voltage	V

Introduction
Générale

Introduction générale

Depuis la fin du 19^{ème} siècle, l'objectif principal du monde industriel était centré sur l'exploitation du charbon comme source d'énergie primordiale, mais avec le passage du temps cette exploitation a menée à un excès de consommation de ces réserves d'énergie. D'où le mécontentement de la communauté mondiale, qui est devenue de plus en plus retissant et contre le fait de continuer d'exploiter uniquement cette source d'énergie. Cela a poussé le monde à devenir plus désireux d'avoir de nouvelles technologies alimentées par des sources d'énergie alternatives renouvelables. En conséquence, ceci a engendré un changement de comportements qui était devenu nécessaire, qui a eu lieu en créant des moyens mettant en œuvre des solutions nouvelles capable d'exploiter ses ressources énergétiques propre et inoffensif envers l'être humain et son environnement, ainsi qu'en évitant au maximum l'utilisation des gaz néfastes à la couche d'ozone, comme il a été convenu dans le protocole de Montréal.[1], [2].

En partant de ce principe, notre étude est de concevoir un système qui va générer du froid sans recourir aux fluides frigorigènes et ainsi répondre au protocole de Montréal qui visait l'élimination des fluides frigorigènes à long termes. Un système de refroidissement a été réalisé sans recours aux fluides frigorigènes dans une étude précédente, ayant lu leurs travaux et surtout les perspectives d'amélioration mentionnées dans leurs conclusion, nous avons ainsi pu soulever des questionnements qui ont suscitées notre intérêt pour le sujet, et les touches d'améliorations possible que nous pouvons apporter dans ce domaine.

Afin de crédibiliser les recherches dans le domaine de la thermoélectricité, il fallait développer des dispositifs thermoélectriques efficaces, qui peuvent devenir une base solide pour la conception de prototype de systèmes thermoélectriques permettant d'approfondir les recherches dans ce domaine, permettant ainsi à la thermoélectricité d'être un moyen complémentaire aux nouvelles sources d'énergies renouvelables. Les modules thermoélectriques sont des dispositifs énergétiques indépendants, ne nécessitant aucun fluide ou autre éléments composant les réfrigérateurs classique pour fonctionner.

Ces modules ont deux fonctionnalités principales, qui sont la conversion d'énergie thermique en énergie électrique mais aussi, convertir l'électricité afin d'obtenir de la chaleur et du froid dans un seul et même module. En général, les éléments thermoélectriques sont fiables, et ne nécessitent aucune maintenance et sont remplacés facilement et rapidement en cas de panne, avantage par leur petite taille qui leur a permis d'avoir l'exclusivité dans un domaine d'applications spécifiques, à savoir le développement d'appareils portables très compact à des fins de refroidissement, ou de chauffage qui ne nécessitent pas une grande puissance de chauffe ou de refroidissement. Contrairement aux systèmes de refroidissement domestiques, tel que les réfrigérateurs qui produisent une grande puissance froide afin de subvenir aux besoins pour lequel elles ont été créés et pour arriver justement à produire une telle puissance de refroidissement.

Ces appareils utilisent des fluides frigorigènes qui à leur tour représente un réel danger et contribuent beaucoup à l'effet de serre en appauvrissant la couche d'ozone. Elles représentent aussi des risques pour la santé humaine.

Après avoir survolé les notions de bases les plus importants de la thermoélectricité, on a résumé son fonctionnement à travers les modules thermoélectriques en deux majeurs applications. D'une part, la génération de courant à travers la conversion de flux de chaleur perdu ou gaspillé n'ayant pas trouvé une utilité à ce dernier, D'autre part, le refroidissement thermoélectrique ou plus précisément la génération de froid, qui consiste à exploiter des modules thermoélectriques en leur fournissant du courant afin de produire du froid.

Cette application de la thermoélectricité est très répandue et très utilisée notamment pour la fabrication des petites glacières, ou bien de caisson compact pour le refroidissement.

Un modèle académique a d'ailleurs été conçu au cours des dernières années au sein de notre université, et comme tout prototype académique ce modèle souffre de quelques limitations techniques dues principalement aux éléments qui le composent et la manière dont il a été conçu. Nous avons ainsi proposé d'apporter des améliorations à ce système de refroidissement thermoélectrique afin d'accroître son efficacité et sa puissance de refroidissement.

Cette problématique a été traitée en plusieurs étapes. D'abord on cible en une partie théorique les principaux composants d'un tel système et de quelle manière on améliore ses composants afin d'obtenir le plus de gains possible en puissance, ensuite on commence la conception par l'assemblage des divers composants. Et enfin, on soumet notre système à des tests expérimentaux afin d'être sûr que nos efforts ont abouti à un gain réel en puissance par l'amélioration.

Dans ce travail on va donc fabriquer un système de refroidissement à effet Peltier amélioré, sous divers aspects en commençant par le système de distribution de froid et le système de dissipation de chaleur lié au module thermoélectrique, ainsi que l'alimentation du dispositif et tout l'aspect électrique ajoutant un système d'acquisition de données automatique tout ça dans un caisson optimisé en dimensions pour aller avec la puissance que propose notre système de refroidissement.

Afin d'atteindre cet objectif, et répondre proprement et plus précisément à la problématique autour duquel est bâtie cette étude

Nous commencerons dans un premier temps par la présentation générale de la thermoélectricité, en mettant en avant ces principaux effets de cette dernière. Nous poursuivons par une explication approfondie sur les modes et les applications issues de ce phénomène physique sans oublier par quel procédé se manie cette dernière.

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation des protocoles de synthèse et de mise en forme du dispositif. Il sera consacré à la conception aux étapes de réalisation de mise en marche et à l'explication du phénomène de refroidissement thermoélectrique et les équations gouvernantes.

Le troisième et dernier chapitre se focalisera sur la dernière étape de ce processus d'amélioration, à savoir les tests expérimentaux aux quels notre appareil sera soumis pour connaître les résultats qu'ont pu apporter nos améliorations en terme de temps de refroidissement, les analyser et ainsi pouvoir tirer une conclusion.

Chapitre I
Généralités sur la thermoélectricité

1.1 Introduction :

Découverte au cours du 19^{ème} siècle, la thermoélectricité a été connue grâce aux travaux de Seebeck, Peltier ou encore Lord Kelvin, et a connu deux principales périodes de développement une de 1821 à 1851, une seconde de la fin des années 1930 au début des années 1960.[3]

En effet, l'époque, entre 1821 et 1851 fut marquée par la découverte de Seebeck, lorsque ce dernier observe le champ magnétique dans un circuit fermé constitué par deux matériaux différents, dont les jonctions sont à des températures différentes Il conclut erronément que le phénomène est d'origine magnétique, essayant d'expliquer le magnétisme terrestre à partir de la différence de température entre les pôles et la région équatoriale, plus tard, en 1834, le physicien Peltier a mis en évidence des variations de température autour d'une jonction formée de deux matériaux différents lorsque celle-ci est traversée par un courant électrique.

Cet effet n'a été pourtant correctement expliqué qu'en 1838 par Lenz, où ce dernier conclut que l'absorption ou le dégagement de chaleur dans une jonction dépend du sens du courant, ce qu'il a démontré en gelant de l'eau autour d'une jonction de Bismuth-Antimoine, et en la décongelant en inversant le sens du courant, en 1844 Joule a découvert un effet irréversible sur les conducteurs, de la chaleur dégagée proportionnellement au carré du courant injecté, ainsi le développement de la thermodynamique a suscité l'intérêt par toute forme de conversion d'énergie, y compris la thermoélectricité, En 1851, la relation entre les coefficients Seebeck et Peltier ayant été établis par William Thomson (Lord Kelvin), ou il prédit l'existence d'un troisième effet, l'effet Thomson qu'il observa par la suite.[4]

Ce n'est qu'à la fin des années trente, avec le développement de la physique du solide et l'acquisition de semi-conducteurs synthétiques, que la deuxième phase du développement de la thermoélectricité a commencé suscitant ainsi un intérêt renaissant. Car en 1947, Telkes a construit un générateur d'une efficacité de 5%, et deux ans plus tard, Ioffe a développé sa théorie des composants thermiques semi-conducteurs, et a également prouvé en 1956 qu'en fabriquant des alliages avec des éléments ou des composés isomorphes, la conductivité thermique des semi-conducteurs peut être encore réduite. L'inertie générée par ces découvertes s'est poursuivie jusqu'aux années 70 où le tellure de bismuth devient le matériau thermoélectrique par excellence. Sachant que les meilleurs matériaux possèdent à l'époque un facteur de mérite entre 0,75 et 1.[4]

Avec l'émission de nouvelles théories sur la thermoélectricité, cette dernière est devenue une source croissante de recherche pour la communauté scientifique. Les recherches sur ce phénomène physiques de reproduction des énergies renouvelables c'est multiplier dans la génération d'électricité, à travers des cheminées brûlantes, des poêles ménagers, ou encore des tuyaux d'échappement de voiture, mais aussi dans le domaine du refroidissement ou du chauffage aussi bien à petite échelle qu'à grande échelle où les recherches ambitieuses se sont multipliées, Remplaçant donc les mécanismes de refroidissement conventionnels fonctionnant aux fluides frigorigènes.[5]

Dans ce chapitre, nous proposerons une présentation générale sur la thermoélectricité, son principe de fonctionnement, les effets liés à cette dernière, et les diverses applications possibles grâce à la thermoélectricité.

1.2 Définition de la thermoélectricité :

La thermoélectricité est un phénomène physique à double sens qui lie le flux de chaleur traversant certains matériaux thermoélectriques au courant électrique qui les parcourt contribuant ainsi à la conversion d'énergie.

La thermoélectricité est caractérisée soit par une production d'électricité en présence d'une différence de température entre deux côtés d'un matériau thermoélectrique (générateur thermoélectrique) représentant ainsi un moyen de conversion d'énergie efficace pour récupérer la chaleur perdue, ou bien la création d'une différence de température entre ses deux côtés par l'application d'un courant électrique à travers ce matériau (Réfrigération thermoélectrique) produisant ainsi du froid instantanément.[3]

Grâce à ses deux applications la thermoélectricité a attiré la curiosité de plusieurs scientifiques suscitant ainsi l'intérêt d'entamer un bon nombre de recherches sur cette dernière avec l'apparition de plusieurs effets thermoélectriques.

1.3 Les effets thermoélectriques :

1.3.1 L'effet Seebeck :

C'est un Allemand nommé Seebeck qui a remarqué en 1821 qu'une aiguille métallique est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de natures différentes et soumis 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. 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 de thermocouples.

Soit deux matériaux a et b de nature différente reliés entre eux par deux jonctions de température différentes, l'une à la température T_c et l'autre à la température T_1 tel que « $T_1 = T_c + \Delta T$ ». Une différence de tension apparaît alors entre les jonctions froide et chaude. Considérant a et b comme des semi-conducteurs de type n et de type p, l'effet Seebeck s'explique donc par la diffusion de porteur de charge, e^- (électrons) ou e^+ (gap) du côté chaud vers le côté froid. Pour un circuit ouvert les e^- (électrons) se massent dans la partie froide du matériau de type n alors que les e^+ (gap) se massent dans la partie froide du matériau de type (p). La partie froide du semi-conducteur (n) sera donc polarisée négativement et celle du semi-conducteur p positivement, on obtient donc une différence de charges qui a pour effet de créer une différence de potentiel ΔV entre les deux extrémités froides de ces matériaux.

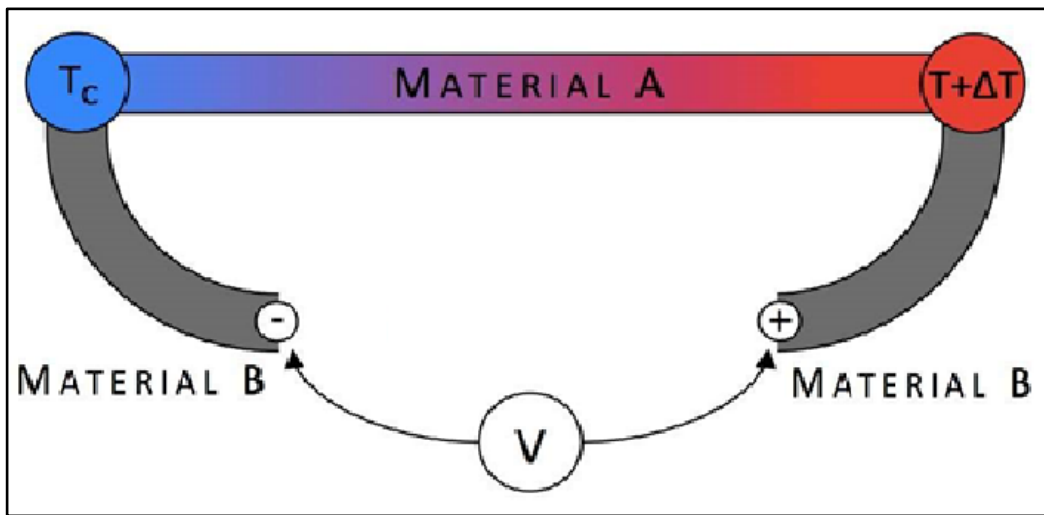


Figure 1.1 : Effet Seebeck

L'effet Seebeck est caractérisé par la constante de proportionnalité qui constitue le coefficient Seebeck elle est donné par[6] :

$$\alpha_{ab} = S_{ab} = \frac{dv}{dt} \quad (1.1)$$

Ou:

$$S_{ab} = S_a - S_b \quad (1.2)$$

1.3.2 Effet Peltier :

En 1834, le physicien Français Jean PELTIER découvrit le second effet thermoélectrique : une différence de température apparaît aux jonctions de deux matériaux de nature différente (matériau type n et matériau type p) soumis à un courant électrique, un matériau thermoélectrique permettra donc de générer du froid ou de la chaleur par l'application d'un courant électrique.

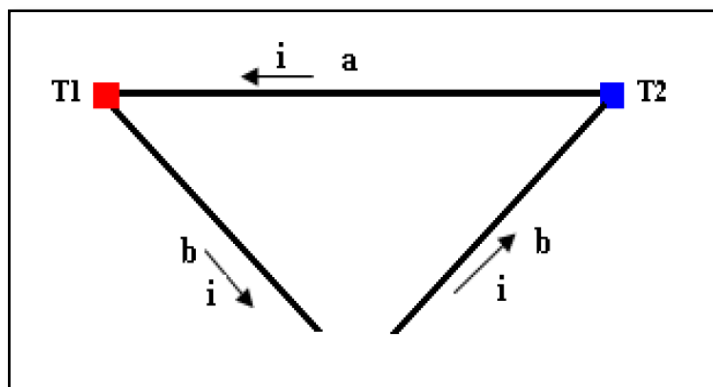


Figure 1.2 : Effet Peltier

Dans l'effet Peltier, la quantité de chaleur absorbée (Q) ou générée est proportionnelle au courant électrique (I). La constante de proportionnalité Π est le coefficient Peltier :

$$\Pi = \frac{Q}{I} \quad (1.3)$$

En effet, lorsque les porteurs de charge passent d'un niveau de basse énergie à un niveau d'énergie plus élevée (par exemple lors du passage d'un matériau de type p à un matériau de type n), ils reçoivent de l'énergie de la part du système avec lequel ils interagissent, or ce système ne peut être que le réseau cristallin sur lequel ils effectuent des collisions. Ainsi, le réseau cristallin cède de l'énergie aux porteurs de charge et par conséquent l'effet Peltier se traduit par un refroidissement de la jonction. Si au contraire, les porteurs de charge passent d'un niveau de haute énergie à un niveau de basse énergie quand ils traversent une jonction, l'énergie perdue est cédée au réseau et l'effet Peltier se traduit par un échauffement de la jonction, c'est donc la différence de nature entre les matériaux a et b et le sens du courant qui les traverse qui sont les causes d'un gradient de température, le couplage entre les phénomènes électriques et thermiques ouvre la voie à deux applications possibles comme on l'a cité précédemment, à savoir la réfrigération et la génération électrique. La réfrigération est rendue possible par le flux de chaleur qui s'établit suite à l'imposition de courant électrique aux bornes d'un matériau. Ce flux permet d'évacuer la chaleur d'un Corps à réfrigérer vers une zone où la chaleur est dissipée vers le milieu ambiant. La génération de courant peut se produire quand une chaleur extérieure impose une différence de température aux extrémités du matériau. Une tension électrique s'établit et elle peut être exploitée pour générer un courant dans une résistance de charge.[7]

1.3.3 Effets Thomson :

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

Lorsque le courant circule dans le sens opposé de la différence de température, il absorbe de la chaleur dans l'environnement extérieur. Inversement, si le matériau est soumis à des gradients de température et à des flux de chaleur, un courant sera généré. La différence fondamentale avec les deux premiers effets est que ce dernier n'implique qu'un seul matériau et ne nécessite pas de connexion. En d'autres termes, l'effet Thomson définit la quantité de chaleur absorbée ou dégagée par unité de temps lorsque le courant I traverse une région de matériau avec un gradient de température. Dans chaque segment dx du matériau.[5]

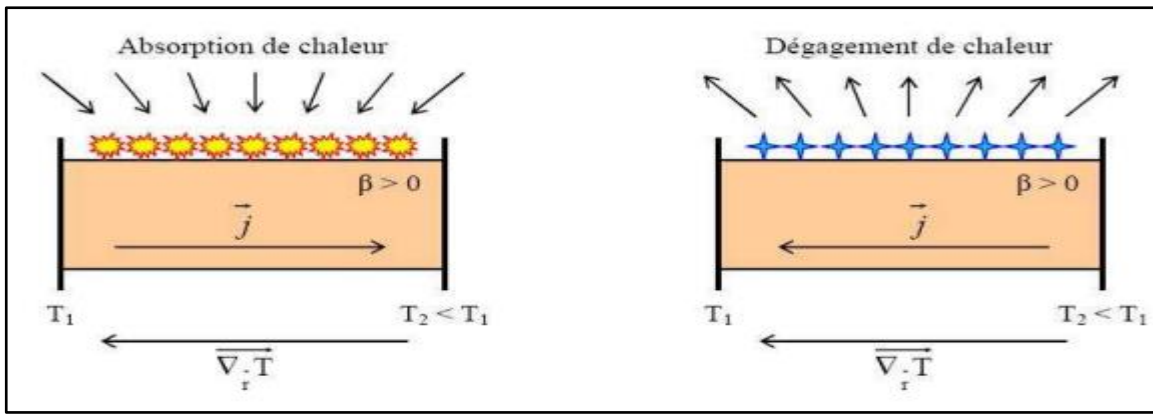


Figure 1.3 : illustration Effet Thomson

Le gradient de flux thermique est donnée par :

$$\frac{dQ}{dx} = \tau * I * \frac{dT}{dx} \quad (1.4)$$

1.3.4 Relation entre les coefficients Seebeck, Thomson et Peltier :

Ces trois effets (Peltier, Seebeck et Thomson) ne font pas référence à des phénomènes réellement distincts et ils s'avèrent être reliés. Thomson (devenu Lord Kelvin) a ainsi établi deux relations entre les coefficients de Seebeck, Peltier et Thomson. Ces dernières, vérifiées expérimentalement, sont connues sous le nom de relation de Kelvin et s'expriment de la manière suivante :

$$\pi_{a/b} = T(S_a - S_b) \quad (1.5)$$

$$\tau_a - \tau_b = T \frac{dS_{ab}}{dT} \quad (1.6)$$

Ces relations marquent donc bien la dépendance entre les trois coefficients[8]

1.4 Le dispositif thermoélectrique:

Un module thermoélectrique se compose de deux matériaux thermoélectriques associés électriquement en série et thermiquement en parallèle, l'un dopé n (riches en électrons) et l'autre dopé p (riche en trous).

Par conséquent, le module thermoélectrique est un assemblage composé de nombreuses puces semi-conductrices P et N, et ces éléments semi-conducteurs sont placés électriquement en série. Et thermiquement en parallèle. La disposition géométrique signifie que toutes les jonctions PN sont d'un côté et toutes les jonctions NP de l'autre côté.

Les deux matériaux constituant le module thermoélectrique doivent impérativement avoir des propriétés physiques proches pour que la géométrie des branches soit similaire et que les deux matériaux soient compatibles entre eux, l'ensemble de ces éléments est monté entre deux fins substrats céramiques métallisés qui procurent une intégrité structurelle, isolent électriquement les éléments des surfaces de montage extérieur tout en conduisant bien la chaleur et offrent des surfaces de contact planes. Comme le montre ci-dessous.[9]

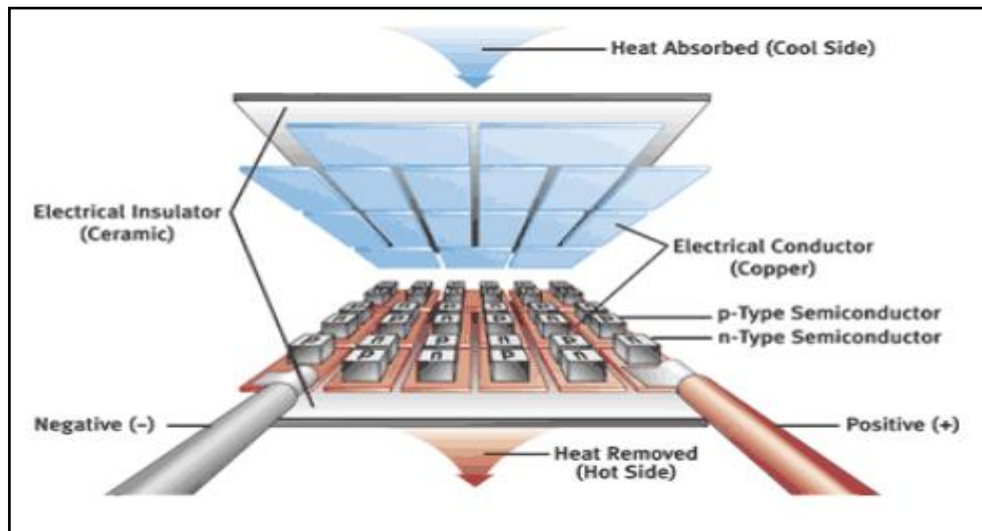


Figure 1.4: schéma de principe d'un dispositif thermoélectrique

1.5 Génération et refroidissement thermoélectrique :

Les applications thermoélectriques peuvent être subdivisées par la direction de la conversion d'énergie. Alors que l'effet Peltier est utilisé dans les dispositifs de refroidissement/chauffage thermoélectriques (TEC), l'effet Seebeck est responsable de la conversion des gradients de température en tension électrique, la génération du courant (TEG).

1.5.1 Générateur de courant (TEG) :

En d'autres termes la production d'électricité, les machines à grande échelle qui émettent de la chaleur perdue peuvent utiliser des générateurs thermoélectriques pour convertir l'énergie thermique en énergie électrique en réintroduisant l'énergie thermique dans le système, améliorant ainsi l'efficacité. Par conséquent, le potentiel électrique (effet Seebeck) peut être généré en appliquant un gradient de température à travers le matériau. Il est constitué de paires thermoélectriques, qui sont des circuits composés de deux semi-conducteurs différents connectés en chaîne. Types de semi-conducteurs n et p. Le semi-conducteur n contient des électrons en excès et est classé comme ayant une énergie thermique négative. Les semi-conducteurs de type P manquent d'électrons (trous en augmentation) et sont classés comme ayant une énergie thermique positive. Lorsque différentes intersections de semi-conducteurs sont maintenues à différentes températures (T_c et T_h), le résultat de l'existence d'un potentiel de différence (ΔV) Créez un flux de résultats (I). En effet, le module thermoélectrique est

obtenu en se connectant toujours en série d'un point de vue électrique et en connectant toujours plusieurs thermocouples en parallèle d'un point de vue thermique, ce qui permet d'augmenter encore le potentiel électrique et donc le courant. Par conséquent, ces modules sont utilisés pour produire des générateurs thermoélectriques TEG (générateurs thermoélectriques).

Les avantages de la génération d'électricité par l'effet thermoélectrique sont la fiabilité, la durabilité et la faible dimension des dispositifs. À cause de la dimension ajustable du générateur thermoélectrique, il est facile de générer de l'électricité en utilisant des sources de chaleur existantes inutilisées[10].

1.5.2 Refroidissement thermoélectrique :

Le dispositif de refroidissement thermoélectrique (TEC), dépend dans son fonctionnement de l'effet Peltier décrit dans l'introduction. Un flux de courant qui circule dans un circuit fermé de deux matériaux différents provoque un gradient de température à travers les jonctions. Dans les refroidisseurs thermoélectriques en vrac, le matériau semi-conducteur est placé entre deux plaques conductrices. Les porteurs de charge sont responsables du processus de transfert de chaleur, en raison des différentes énergies nécessaires à leur mouvement dans le matériau semi-conducteur et le matériau conducteur. Le courant thermique est dans la même direction que les porteurs de charge, comme la montre la figure ci-dessous.

Et pour avoir une bonne compréhension du principe. La figure ci-dessous montre quand le courant (I) passe du semi-conducteur de type n au semi-conducteur de type p. La température de la jonction froide (T_c) diminue et l'environnement environnant absorbe la chaleur. Étant donné que les électrons passent d'un niveau d'énergie inférieur dans le semi-conducteur de type P à un niveau d'énergie supérieur dans le semi-conducteur de type n, une absorption de chaleur (refroidissement) se produit. La chaleur absorbée par le matériau semi-conducteur à la liaison thermique (T_h) est générée par le transport d'électrons. Ensuite, lorsque les électrons reviennent au niveau d'énergie inférieur du type P semi-conducteur, la chaleur est dissipée[10].

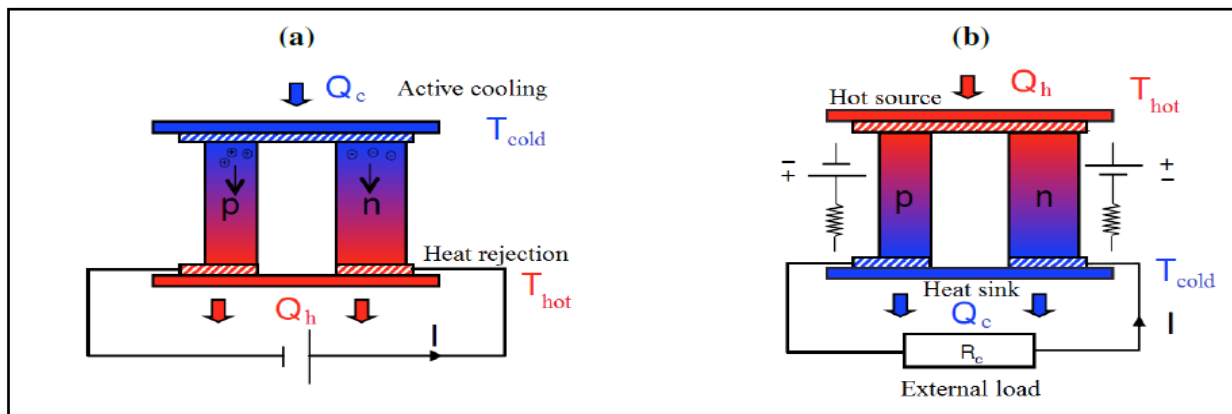


Figure 1.5 : (a) refroidissement thermoélectrique, (b) génération de courant électrique

1.5.3 Les équations de la thermo réfrigération :

Fonctionnant comme expliqué précédemment sous l'effet Peltier notre dispositif est donc régi par les équations suivantes qui caractérisent le comportement thermoélectrique en refroidissement d'un system TEC « thermoelectric cooling »[14] :

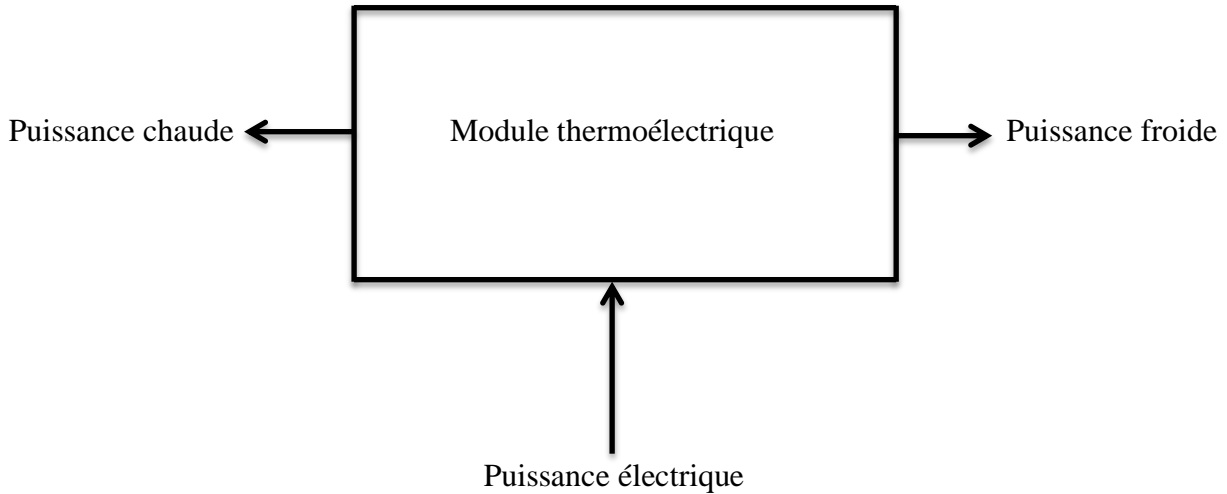


Figure 1.6 : schéma illustrant l'effet thermoélectrique de refroidissement

Par conséquent, TEC agit comme un dispositif solide qui peut pomper la chaleur d'une jonction à l'autre jonction lorsqu'un courant est appliqué, Les flux de chaleur $\alpha I T_c$ et $\alpha I T_f$ provoqués par l'effet Peltier sont absorbés à la jonction froide et libérés de la jonction chaude, respectivement. Le chauffage de Joule $\frac{1}{2} R I^2$ dû au flux de courant électrique à travers le matériau est généré à la fois à l'intérieur des pieds TEC et au niveau des surfaces de contact entre les pieds TEC et les deux substrats. Le TEC fonctionne entre les températures T_c et T_f , de sorte que la conduction thermique $k (T_c - T_f)$ se produit à travers les jambes TEC d'après la lois de Ioffe .[15][16]

Puissance généré coté chaud : le côté chaud du Peltier est caractérisé par l'équation suivante

$$Q_c = \alpha I T_c + \frac{1}{2} R I^2 - k (T_c - T_f) \quad (2.1)$$

Puissance absorbé coté froid : le côté froid du Peltier est caractérisé par l'équation suivante

$$Q_f = \alpha I T_f - \frac{1}{2} R I^2 - k (T_c - T_f) \quad (2.2)$$

Puissance électrique : la puissance consommée par le module thermoélectrique

$$P_e = P_c - P_f = \alpha I(T_c - T_f) + R I^2 \quad (2.3)$$

Le COP est défini comme le rapport entre la chaleur absorbée à la jonction froide et la puissance totale absorbée par le TEC il est donné par :

$$COP = \frac{Q_f}{P_e} = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \quad (2.4)$$

1.5.4 Exemples d'applications :

1.5.4.1) génération d'électricité :

Les générateurs thermoélectriques (TEG) basés sur le principe décrit ci-dessus sont utilisés depuis longtemps pour la génération de puissance électrique, allant de basses puissances (microwatts) jusqu' aux hautes puissances (quelques kilowatts), à partir de sources de chaleur.

A) Les petits réchauds à bois :

En 2011, la compagnie Biolite a commencé à vendre de petits poêles à bois haute performance avec une structure donnée, L'appareil génère 2 W de puissance à 5 V.[11]



Figure 1.7 : un petit réchaud à bois (biolite)

1.5.4.2 pour la réfrigération thermoélectrique :

a) Réfrigération thermoélectrique petites enceintes :

Généralement, il existe des types d'équipements de réfrigération thermoélectrique : par exemple les réfrigérateurs thermoélectriques portables. Les réfrigérateurs domestiques et portables ont été largement étudiés. Bien que l'efficacité thermodynamique du réfrigérateur thermoélectrique ne soit que de 1%, et l'efficacité thermodynamique du système de réfrigération à compression de vapeur n'est que de 14%, le réfrigérateur thermoélectrique présente les avantages suivants : le système est plus respectueux de l'environnement, plus silencieux, plus fort et plus précis dans le contrôle de la température. Les réfrigérateurs thermoélectriques peuvent être intégrés dans une unité avec un espace limité. Les refroidisseurs thermoélectriques portables ont de larges perspectives d'application en extérieur et peuvent être utilisés avec des batteries ou des panneaux solaires photovoltaïques.[12]



Figure 1.8 : réfrigérateur thermoélectrique (Peltier)

Chapitre II :
Conception et mise en œuvre du système

2.1 Introduction :

Utilisé dans plusieurs domaines, la thermoélectricité a deux applications qui sont générer du courant ou bien un gradient de température et ceux en fournissant soit de la chaleur pour la premier application ou bien du courant pour la deuxième au dispositif thermoélectrique.

Prenant avantage de la deuxième application de la thermoélectricité à savoir le refroidissement qui est nécessaire dans la vie quotidienne des personnes, car il entre dans de nombreuses applications, allant de la conservation des aliments frais, et des boissons, puis il impose également sa présence dans de nombreux domaines et industries, le dispositif qui applique le phénomène de refroidissement est le réfrigérateur, cependant, certains réfrigérateurs utilisent des systèmes à pression, par exemple, des réfrigérateurs ménagers, ce système de compression contient de gros composants et consomme beaucoup d'énergie.

Depuis la découverte et le début de la fabrication des appareils de réfrigération à pression de vapeur conventionnels, les chercheurs ou les producteurs ont toujours travaillé à l'amélioration ou plutôt au remplacement de ces systèmes, même s'ils sont efficaces, car ils ne sont pas dans l'intérêt de la santé environnementale, ou dans l'intérêt de la santé humaine, qui ont souffert et souffrent toujours en conséquence, à cause des émissions toxiques causées par les gaz réfrigérants qui entrent dans le travail de ces systèmes avec de nouveaux systèmes qui ont peu ou pas de taux de pollution comme premier point positif. En plus du budget le plus bas possible en termes de fabrication d'une part, et en termes de facilité d'entretien d'autre part comme deuxième point positif, et avec le développement de la science et de la technologie depuis près de deux décennies dans la création de nouveaux phénomènes largement utilisés dans les méthodes de réfrigération.

Outre cela, les constructeurs proposent leur systèmes de refroidissement thermoélectrique a des prix très attrait pour les consommateurs se qui a valu le succès marketing de plusieurs de ses systèmes notamment les réfrigérateurs thermoélectrique portable qu'on peut trouver sur les grandes surfaces, encourageant ainsi d'avantage de gens à adopter ses solution de refroidissement thermoélectrique et aussi d'autre constructeurs afin qu'ils puissent aussi proposer des système de refroidissement thermoélectrique moins nocifs pour l'environnement que l'utilisation de fluides frigorigènes mais hélas la thermoélectricité n'as peut su encore trouver sa place dans les applications à grande échelle telle que les frigidaire grand format les climatiseurs split et d'autres.

Dans ce chapitre nous allons donc décrire notre système de refroidissement a effet Peltier introduisant en premier temps l'effet Peltier et le module Peltier cités précédemment expliquant ensuite les équations qui régissent cet effet, passant aussi par les étapes par laquelle nous avons dû passer afin de concevoir et réaliser ce système abordant les principales améliorations qu'on a apportées par rapport à d'autre réalisation qui ont déjà étai faites dans domaine enfin nous allons décrire brièvement les phases de test qu'on va expliquer en détails lors du chapitre III.

2.2 Présentation et fonctionnement du système :

Tenant une nouvelle approche avec un regard neuf sur la thermoélectricité et ses applications le refroidissement pour être plus précis, nous avons procédé d'une manière un peu différente de ceux qui ont précédemment travaillé sur ce sujet afin de concevoir et réaliser notre dispositif de refroidissement et apporter divers améliorations à l'ensemble des composés par rapport à ce qui a été fait auparavant dans ce domaine avec l'objectif principal d'obtenir le meilleur temps de refroidissement possible améliorant ainsi le système mécanique la distribution du froid au sein de la chambre froide.

Le principal élément dans notre système de refroidissement n'est autre que le module Peltier, le dispositif thermoélectrique qui se caractérise par la différence de température qu'il peut maintenir entre ses faces en lui fournissant un courant électrique c'est ce que on appelle l'effet Peltier.

Le module Peltier se compose d'un thermocouple qui est le plus petit composant d'un élément thermique. Il se compose de deux conducteurs électriques de coefficients Seebeck très différents afin de générer une tension thermoélectrique la plus haute possible. Les matériaux utilisés sont généralement des blocs de semi-conducteurs connectés à leurs extrémités avec du cuivre. Jusqu'à présent, le matériau le plus adapté à température ambiante est le tellure de bismuth avec dopages de type N et P.

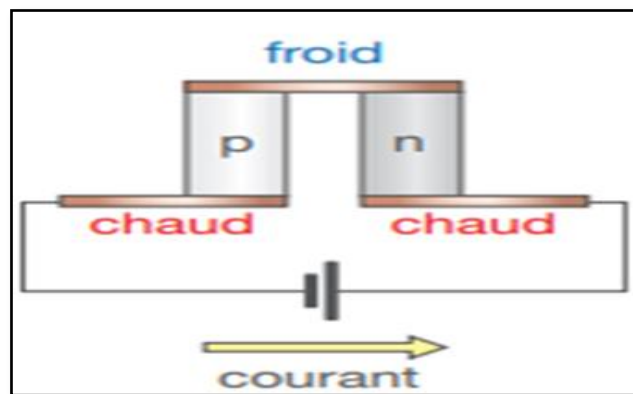


Figure 2.1 : schéma du principe d'un thermocouple

Les générations actuelles d'éléments Peltier sont constituées d'une multitude de thermocouples connectés électriquement en série par des ponts de cuivre. Les ponts de cuivre sont isolés thermiquement de chaque côté par des plaques de céramiques (en général de l'oxyde d'aluminium), mais isolés électriquement les uns des autres. Lorsque des semi-conducteurs avec dopage de type N et P sont utilisés, la principale réflexion ne porte pas sur le „matériau semi-conducteur“ au sens propre du terme comme pour les diodes à semi-conducteur. Dans ce cas, les deux semi-conducteurs doivent être en contact direct pour forcer le courant électrique à circuler dans un sens. Alors que pour l'effet Peltier, ceci n'est d'aucune aide et les différents semi-conducteurs sont connectés par des ponts métalliques. Les semi-conducteurs sont donc préférés aux autres matériaux conducteurs en raison de leur tension thermoélectrique élevée permettant une excellente conductivité électrique tout en étant isolés thermiquement.

C'est ainsi que le côté refroidi peut être efficacement séparé du côté chaud et produire une différence de température utilisable.

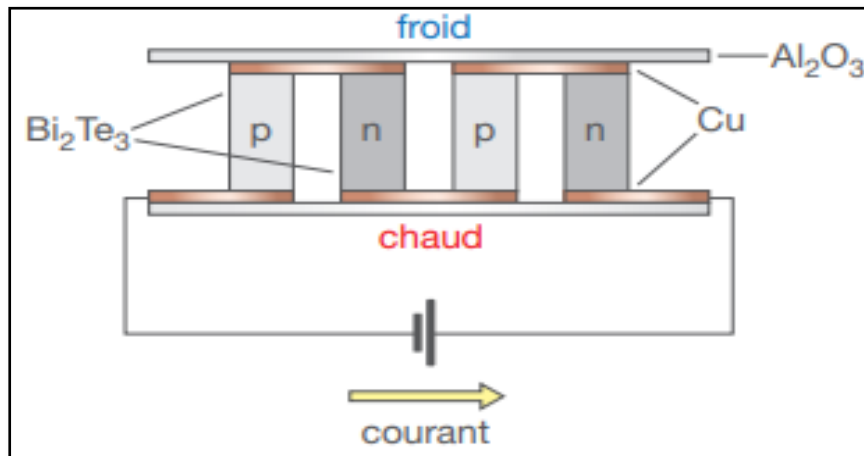


Figure 2.2 : schéma du principe d'un élément thermique (série de thermocouples)

Quand on fait circuler un courant dans le module, les gap du P sont tirés vers la borne négative et les électrons du N sont poussés vers la borne positive. Ils quittent donc tous les deux une jonction et se dirigent vers l'autre côté du module.

Arrivés de l'autre côté, le trou recombine avec un électron et l'électron avec un autre trou. Ces recombinaisons sont exothermiques : ils libèrent de la chaleur. Sur l'autre côté (le froid), la tension appliquée va forcer certains électrons à sortir de leur gap : on obtient alors un électron libre et un gap (qui vont alors migrer, etc.). Cette création de paires électrons trous est endothermique : elle requiert de la chaleur, qu'elle va puiser dans le module et va donc le refroidir.

Pour résumer, à cause de l'arrangement des liaisons NP et PN, ainsi que de la nature des semi-conducteurs N et P, l'application d'un courant va produire des paires électrons-trous d'un côté et va le refroidir, et recombinaison des électrons libres et les trous de l'autre, et ainsi libérer de la chaleur et donc chauffer ce côté.[13]

Se basant sur tout ce que on vient d'expliquer ci-dessus et sur les précédents travaux fait sur ce sujet nous avons tenté de concevoir un système de refroidissement thermoélectrique a effet Peltier plus effectif en apportant des améliorations au divers aspect de ce dernier « mécanique électrique thermique esthétique » afin qu'il sied à divers applications dans le domaine du refroidissement d'un part et qu'il soit aussi un point de départ d'autre études ouvrant ainsi d'autre perspective sur le refroidissement thermoélectrique les manière de l'exploiter et aussi d'autre perspective d'amélioration.

Notre système de refroidissement thermoélectrique utilisera donc l'unité Peltier qui est le cœur battant de notre système de refroidissement. Muni de système servant à exploiter le froid produit d'un côté et un système afin d'évacuer la chaleur générée de l'autre côté, spécialement conçus pour être appliqués dans son installation a module Peltier il se compose aussi d'un interrupteur d'alimentation (le boîtier de distribution électrique pour tous les composants de l'appareil), et dépend de la source d'alimentation (système de refroidissement) sur deux options, la première est soit sur une prise électrique ou sur Panneau photovoltaïque comme deuxième option. En plus de cela, il dispose d'un indicateur de température numérique connecté à un régulateur.

Le système sera conçu donc de tel sorte que la puissance frigorifique de l'unité Peltier soit exploité au maximum avec le moins de pertes possible placée en utilisant des systèmes très efficace pour disperser la quantité de chaleur générée par la face chaude du Peltier vers des zones éloignées de l'appareil. Et un autre système qui a pour objectif de souffler la quantité d'air froid requise dans l'espace qui recueille les choses à refroidir à l'intérieur de l'appareil. Les capteurs de température numérique sont connectés à l'intérieur de l'espace froid pour surveiller et montrer l'évolution de la température de l'air froid dans notre chambre froide. Pour ce qui est de l'alimentation, on utilise une alimentation (230 VAC) est convertie en sortie 12V 20A DC via un interrupteur ou un boîtier de connexion électrique.

2.4 Etude théorique des constituants génériques et la recherche d'alternative d'amélioration :

Tous les systèmes ont des composés qui les constituent et les systèmes de refroidissement a effet Peltier ne dérogent pas à cette règle et afin de mieux expliquer les aspects d'amélioration qu'on a apporté à notre dispositifs nous allons commencer par décrire tous les constituant nécessaire afin d'obtenir un système de refroidissement thermoélectrique tout en donnant nos alternative à chaque constituant en justifiant en quoi chaque 'un de nos choix va apporter une amélioration.

2.4.1 Le module Peltier :

Comme cité précédemment, un module Peltier est donc un assemblage de semi-conducteur P et N afin de former des jonctions PN d'un côté et des jonctions NP sont de l'autre.

Quand on fait circuler un courant dans le module, les gap du P sont tirés vers la borne négative et les électrons du N sont poussés vers la borne positive. Ils quittent donc tous les

deux une jonction et se dirigent vers l'autre côté du module, ainsi le gap se recombine avec un électron et l'électron avec un autre gap ces recombinaisons libèrent ainsi de la chaleur.

Pour résumer, à cause de l'arrangement des liaisons de jonctions NP et PN, ainsi que leur nature c'est-à-dire la nature des semi-conducteurs N et P, l'application d'un courant au sein d'un module Peltier va le refroidir d'un côté, et le chauffer d'un autre.[9]

Sachant que si on peut maintenir sa face chaude à une température presque similaire à la température ambiante en extrayant la chaleur produite en continu on peut obtenir de très basse température de sa face froide voilà pourquoi nous avons opté pour l'utilisation d'une seule plaque Peltier afin de réduire la consommation électrique mais aussi faire en sorte de nous faciliter la tâche afin qu'on puisse l'exploiter au maximum et en prendre avantage.

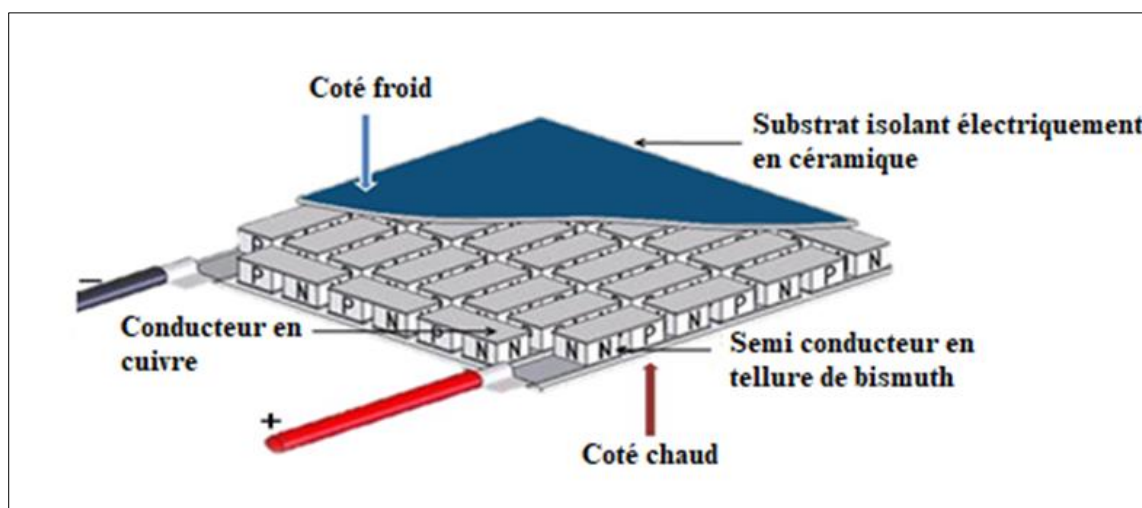


Figure 2.4 : illustration sur les composants d'un module Peltier

2.4.2 Système d'extraction de chaleur et de distribution de froid :

Afin d'avoir un refroidisseur thermoélectrique et pour un bon fonctionnement, c'est-à-dire un bon refroidissement, il est nécessaire de fournir une compatibilité thermique et un couplage efficaces entre l'unité thermoélectrique et la zone ou l'espace à connecter thermiquement d'une part et d'autre part avec le système de transfert de chaleur. Le but du système de transfert de chaleur est de dissiper la chaleur du joint chaud ou d'émettre le froid du joint froid de l'élément thermoélectrique. Les quatre principaux types de systèmes de transfert de chaleur sont :

- de l'air des deux côtés,
- air côté froid et liquide côté chaud,
- air côté chaud et liquide côté froid
- liquide des deux côtés

Comme déjà mentionné, le système de transfert de chaleur dissipe la chaleur des unités thermoélectriques (unités Peltier). Dans notre appareil, l'un de ces trois principaux types de

systèmes de transfert de chaleur est utilisé, qui est représenté par le système de transfert de chaleur de l'air des deux côtés, et il est considéré comme l'une des technologies les plus simples. Étant donné que la simplicité est essentielle au problème en question, nous avons choisi ce système malgré sa simplicité, mais il est efficace et non pollué (il n'utilise pas de liquides ou de gaz toxiques).

Le fonctionnement normal de tout refroidisseur thermoélectrique dépend dans une large mesure de l'efficacité du système de transfert de chaleur. Le choix d'un système de transfert de chaleur qui dépend de la construction de l'appareil et des conditions environnantes pour son application dépend d'une série de facteurs :

- ✓ la baisse de température admissible entre le radiateur et l'air ambiant.
- ✓ la chaleur dégagée par la face chaude de l'élément thermoélectrique, qui doit être dissipée par le radiateur
- ✓ le coefficient de transfert de chaleur radiateur-air.

Pour notre dispositif de refroidissement nous avons choisi d'utiliser deux systèmes de refroidissement à base de dissipateurs de chaleur à ailette de caloducs et de ventilateurs l'un d'eux pour dissiper la chaleur produite par la face chaude du Peltier et l'autre pour distribuer le froid produit par le Peltier au sein de ce que on appelle chambre froide.

Pour mieux comprendre notre choix nous allons brièvement retracer l'évolution des systèmes de refroidissement à dissipateurs de chaleur et comment chaque génération a atteint ses limites en termes de performances.

Au tout début il y'avait de simple dissipateur de chaleur a ailette en aluminium de petit dimension souvent accompagner de petit ventilateur destiner a refroidir des micro puces tels que les processeur d'ordinateur et malgré leur simplicité de conception et leur petit taille ils ont sur montrer leur efficacité et pendant longtemps ils sont restés la solution d'extraction de chaleur et de refroidissement la plus fiable, mais avec l'avancement de la technologie les micro puces devenait plus puissante produisant ainsi plus de chaleur nécessitant l'extraction pour garder ces dernier a une température acceptable et éviter les dommage lié à un mauvais refroidissement alors les ingénieur ont essayer de modifier cette solution de refroidissement

En augmentant les dimensions des ailettes et du ventilateur afin d'obtenir une meilleur dissipation de chaleur mais malheureusement c'était sans succès car en tant que thermicien on sait que à cause de la baisse de température graduel au long de l'ailette la région de l'ailette la plus éloigner de la source de chaleur ne contribue pas vraiment au transfert de chaleur et ainsi augmenter la longueur de l'ailette ne va en rien augmenter l'extraction de chaleur[17].

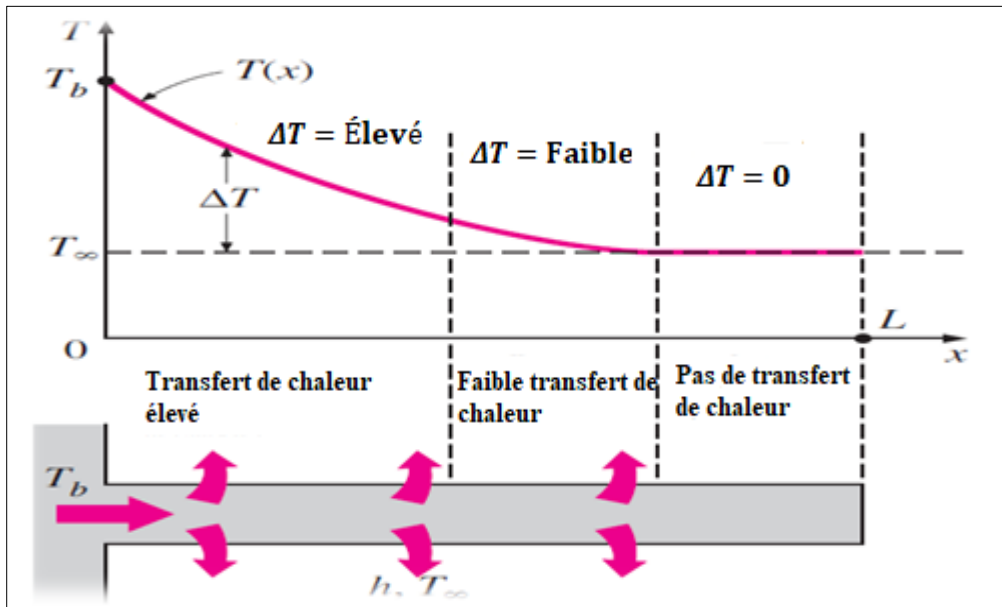


Figure 2.5 : graph montrant la variation de l'échange thermique en fonction de la longueur de l'ailette

Alors les ingénieurs se sont tournés vers une méthode plus efficace qui est les dissipateurs de chaleur à ailettes munis de caloducs « heat pipes ». Un caloduc est un dispositif de transfert de chaleur avec une conductivité thermique extrêmement élevée. C'est un tube étanche vide à l'intérieur et partiellement rempli avec un fluide. Les caloducs transfèrent la chaleur par l'évaporation et la condensation du fluide. Lorsque la chaleur est absorbée par l'évaporateur, le fluide est vaporisé, créant un gradient de pression dans le tuyau. Ce gradient de pression oblige la vapeur à s'écouler le long du tuyau vers la section plus froide où elle se condense, abandonnant sa chaleur latente de vaporisation. Le fluide de travail est ensuite renvoyé à l'évaporateur par les forces capillaires développées dans la structure qu'on appelle « wick » pour être plus explicite un caloduc ne va pas apporter plus de refroidissement à notre solution fait en cuivre avec une conductivité thermique de 388 W/m.k ce qu'il va faire c'est transporter la chaleur plus efficacement que le métal seul ayant un fluide à l'intérieur sous les conditions d'opération normale le fluide contenu à l'intérieur va bouillir au contact de la source de chaleur (évaporateur) et va monter à l'intérieur de ce qu'on appelle chambre à vapeur jusqu'au (condenseur) où il se liquéfie et retourne à la source de chaleur via une couche intérieure en métal fritté appelé « wick ».

Les caloducs n'ont pas une conductivité thermique définie comme les matériaux solides en raison du transfert de chaleur en deux phases. Au lieu de cela, la conductivité thermique efficace s'améliore avec la longueur. Contrairement aux matériaux solides, la conductivité thermique effective d'un caloduc changera également avec la quantité d'énergie transférée et avec les tailles d'évaporateur et de condenseur. Pour un caloduc bien conçu, la conductivité thermique effective peut varier de 10 à 10 000 fois la conductivité thermique effective du cuivre en fonction de la longueur du caloduc.

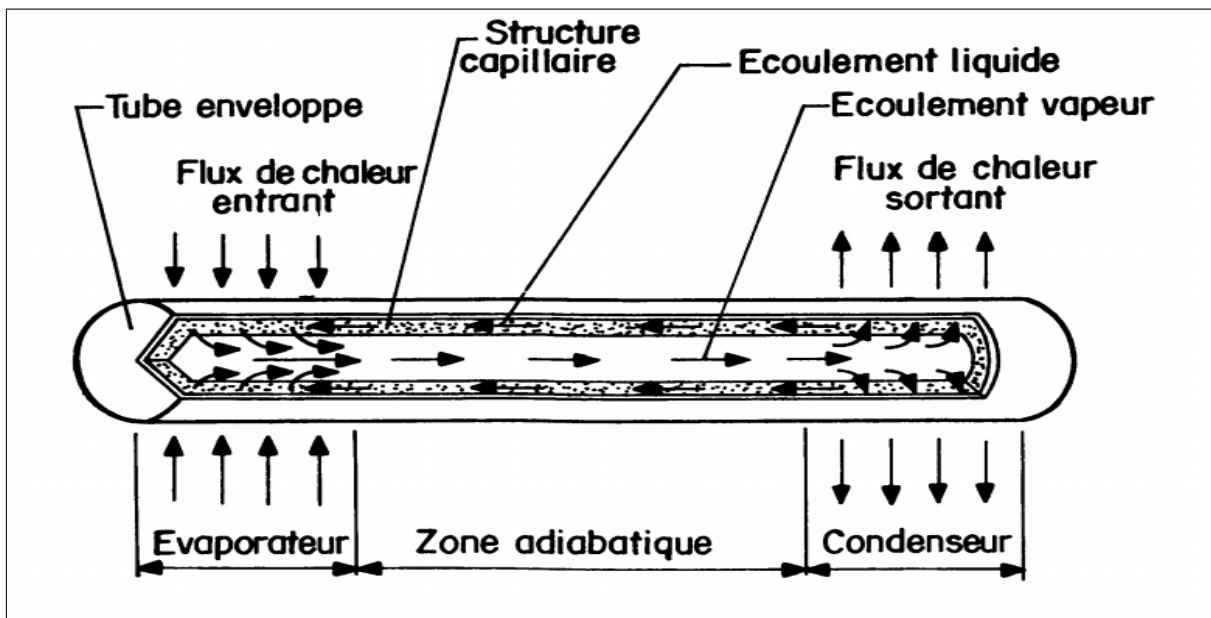


Figure 2.6 : Principe du caloduc

Ayant recours à des matériaux utilisant cette méthode de refroidissement nous allons bénéficier de conduction et de convection de chaleur en même temps dans un seule et même système afin d'extraire la chaleur du Peltier et distribuer le froid au sein de notre dispositifs ainsi l'utilisation de cette méthode va prodiguer une solution de refroidissement a air très efficace tout en effaçant tous les inconvénients lié au refroidissement a eau à savoir un gros risque de fuites dans les tubes qui transporte le fluide, l'obligation d'intégrer un radiateur pour refroidir le fluide caloporteur qu'utilise généralement ses installations afin de refroidir la face chaude des modules Peltier ce qui va augmenter le poids de notre dispositif et un composant de plus à maintenir en cas de fuite à son niveau et enfin la plus part des installations avec refroidissement/dissipation a eau doivent disposer d'une source interne d'eau ce qui réduit grandement l'amovibilité du dispositif avec l'obligation d'installer des pompes ce qui ajoute au prix de l'installation mais aussi à la maintenance, et c'est pour ses raisons la que on a opté pour un refroidissement/dissipation a air.[18]

2.4.3 L'alimentation :

Au vu de concevoir un système de refroidissement à effet Peltier comment l'alimenter est sans doute l'une des étapes les plus cruciales de cette conception, bien choisir l'alimentation revient à réduire considérablement les problèmes électriques qui peuvent se produire lors de la mise en marche du système en revanche une mauvaise alimentation revient à exposer le système à des dommages irréparables et constituera même un danger pour le concepteur (risque d'incendie et d'électrocution).

Plusieurs études précédentes ont opté pour une alimentation à découpage pour ordinateur pour alimenter un système thermoélectrique comme le nôtre ce type d'alimentation est très puissant et fiable dans le domaine de l'informatique néanmoins il présente beaucoup d'inconvénients pour une utilisation dans ce type de dispositifs.

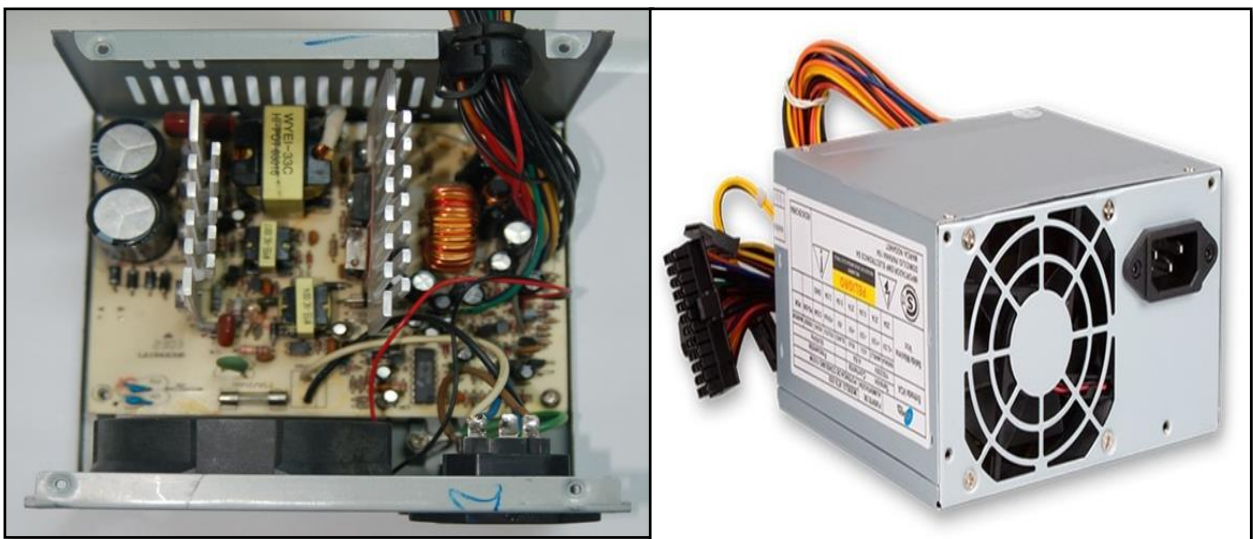


Figure 2.7 : photos de l'intérieur et l'extérieur d'une alimentation

En effet ces block d'alimentation ou PSU (power supply unite) sont exclusivement produites pour des ordinateurs ce qui fait que pour les rendre compatibles avec un système comme le nôtre on doit opérer plusieurs modifications notamment au niveau câbles vu qu'elles possèdent des fiches uniquement réservées au composé électronique des ordinateurs (fiche sata-pwm pour disque dur et autres périphériques et d'autres fiches pour l'alimentation de la carte mère et autre composé), il faut donc modifier afin d'obtenir un interrupteur artificiel parce qu'une alimentation PC ne se met en marche que lorsque le câble 24pin est relié à la carte mère mais aussi joindre les fils et les relier avec des dominos afin d'obtenir des sorties pour relier nos différents composants ce qui est déjà très périlleux car une fausse manœuvre et tout le système sera voué à des dommages irréversibles mais aussi au niveau du block trop imposant on doit donc le démonter afin de séparer les composants électroniques du boîtier en aluminium et lui trouver ensuite un socle où elle peut tenir pour alimenter notre dispositif sans oublier les inconvénients liés à la nuisance sonore créée par le gros ventilateur qui sert à refroidir ses composants.

Prenant en compte tous ses inconvénients notre objectif ici est d'opter pour une meilleure solution d'alimentation qui soit plus adéquate au système que nous voulons concevoir qui aura des sorties pour brancher nos composants sans devoir altérer ou modifier ses câbles qui nous permettra d'être mieux organisé que les autres conceptions déjà réalisées mais le plus important c'est qu'elle dispose de protocoles de sécurité afin de nous protéger et protéger les composants de notre dispositif et avoir des conditions d'opérations plus fiables.

2.4.4 Système d'acquisition de données :

Un système d'acquisition de données, comme son nom l'indique, est des procédés utilisés pour recueillir des informations afin de documenter ou d'analyser un phénomène, comme notre cas de figure afin d'analyser et d'observer le temps de refroidissement de notre dispositif afin de le comparer à des résultats obtenus théoriquement à l'aide d'équations mais aussi afin de le comparer avec les travaux antérieurement faits sur ce sujet. Dans sa forme la plus simple, un technicien qui enregistre la température de refroidissement relevée à l'aide d'une sonde de température reliée à un afficheur et immergée dans la denrée alimentaire ou/et placée au sein du système de refroidissement.[19]

Mais avec le progrès de la technologie, ce type de processus a été simplifié et rendu plus précis, polyvalent et fiable grâce à l'équipement électronique. L'équipement varie en allant des enregistreurs simples à des systèmes informatiques sophistiqués. Représentant ainsi une interface très pratique entre ses capteurs et l'ordinateur rendant ainsi l'acquisition de données plus facile mais aussi plus précise et c'est ce qui nous a poussés à utiliser un système d'acquisition de données automatisé dans l'optique d'améliorer encore plus notre système de refroidissement et lui apporter une autonomie car l'acquisition de données peut maintenant se faire sans forcément exiger une attention sans faille de notre part tout en obtenant des résultats nets et précis de la variation de température de refroidissement en fonction du temps.

2.4.5 Boîtier :

Concernant le boîtier, qui est l'un des éléments les plus importants d'un dispositif car il a un double rôle de un c'est le réceptacle du système de refroidissement donc du câblage et tout le reste d'un autre côté il constitue en quelque sorte l'environnement dans lequel va opérer le système (chambre de refroidissement) imposant donc certaines contraintes sur le système de refroidissement de par certains facteurs qui sont les dimensions et ses constituants mais aussi il faut tenir compte de la bonne conception et de la finition du boîtier.

Tous ses facteurs qu'on vient de citer ont un impact tonitruant sur le bon fonctionnement du système mais aussi sur les résultats qu'on pourra obtenir lors des tests de refroidissement.

Et pour ses deux majeurs raisons sans même recourir à une comparaison avec les études précédentes nous sommes partie d'une idée et nous avons déjà un objectif en ce qui concerne le boîtier qui est une bonne conception solide avec de bonne finition sur mesure bénéficiant d'une bonne isolation afin que notre système de refroidissement puisse opérer dans les meilleures conditions, l'idée c'était de fournir à notre système un environnement adéquat qui respecte au maximum les normes de la réfrigération thermoélectrique et des dimensions optimales pour qu'on puisse bénéficier

de toute la puissance frigorifique que pourra fournir notre système sans pertes avec une bonne isolation et tout ceci basé sur nos recherches et nos études théoriques sur les modules Peltier et leur efficacité. En d'autres termes on s'est basé sur la puissance frigorifique que peut fournir un système de refroidissement thermoélectrique lambda afin de fournir un environnement idéal dans lequel notre système pourra exprimer tout son potentiel vu que notre système de refroidissement est plus avancé au vu des améliorations qu'on lui a apportées sur ce point.

Ayant repéré un certain nombre de défaillances au sein de certains boîtiers qui appartenaient à des études et des conceptions antérieures à la nôtre ce qui nous a le plus interpellé c'est le poids, lié sans doute au type de matériau choisi pour la conception mais aussi aux dimensions qui ont contribué à la création d'un grand volume induisant l'utilisation de plus de matériau et qui n'est pas vraiment adapté à la puissance frigorifique que fournit leur système de refroidissement ce qui impacte négativement le refroidissement de la denrée alimentaire. Mais aussi le format des boîtiers et leur finition qui n'avait pas l'air des plus travaillés nous a poussé à croire que certains ont négligé cet aspect au profit du système de refroidissement pensant que ça n'allait pas impacter l'aspect scientifique du dispositif alors que c'est tout le contraire le format du boîtier est sans doute un aspect du dispositif à ne surtout pas négliger car en fonction de la puissance que fournit notre système de refroidissement des dimensions adéquates assure son exploitation au maximum obtenant ainsi de meilleurs résultats, quant à la finition du boîtier contribuera à baisser le facteur de perte ce qui nous permet de bénéficier de la quasi-totalité de la puissance que fournit notre système, Et c'est ce qui nous a poussé à nous focaliser sur notre idée et en se basant sur notre objectif ayant acquis une certaine expérience de par les conceptions faites par nos prédécesseurs que la vision qu'on avait du boîtier pour notre dispositifs commençait à se concrétiser nous permettant de commencer la fabrication.

2.5 Conception et dimensionnement et choix d'éléments :

Ayant le bagage nécessaire de par l'étude théorique qu'on a fait ci-dessus et sachant exactement les démarches à suivre afin de concevoir notre système de refroidissement amélioré on a pu entamer les étapes de réalisation tout d'abord en choisissant le matériel adapté :

2.5.1 Le module Peltier :

Les éléments Peltier sont des composants thermoélectriques à l'intérieur qui contiennent des semi-conducteurs connectés aux deux extrémités de l'unité, c'est-à-dire les côtés, qui sont deux parois de composants en céramique de l'unité. Il est connu que ce sont des pompes à chaleur qui pompent une quantité de chaleur d'un côté à l'autre en fonction de la direction du courant électrique traversant le semi-conducteur. Le côté chauffant est souvent attaché à un dissipateur de chaleur afin que l'appareil puisse être utilisé pour le refroidissement.

La construction thermoélectrique Bi₂Te₃ aide les modules Peltier de la série TEC1 à transférer l'énergie avec une efficacité extrême, la garniture des éléments haute densité permet l'utilisation d'éléments plus courts, créant un profil compact que les autres modules Peltier ne peut pas atteindre, et des normes de fabrication rigoureuses garantissent le strict respect des normes de température de recherche.

Proposant des plaques Peltier avec un prix très attrayant et une grande disponibilité en Algérie Hebel Yuxiang Electronics Co., Ltd est un fabricant et exportateur spécialisé dans la recherche, le développement et la production de module de refroidissement thermoélectrique qui constitue une nouvelle technologie de refroidissement et de réfrigération de moindre volume, un poids très léger, non-pollution, quasiment aucun bruit lors de son exploitation, initiative verte, voilà pourquoi nous avons choisi d'Achter des plaques Peltier modèle TEC1-12706 de cette marque.[20]

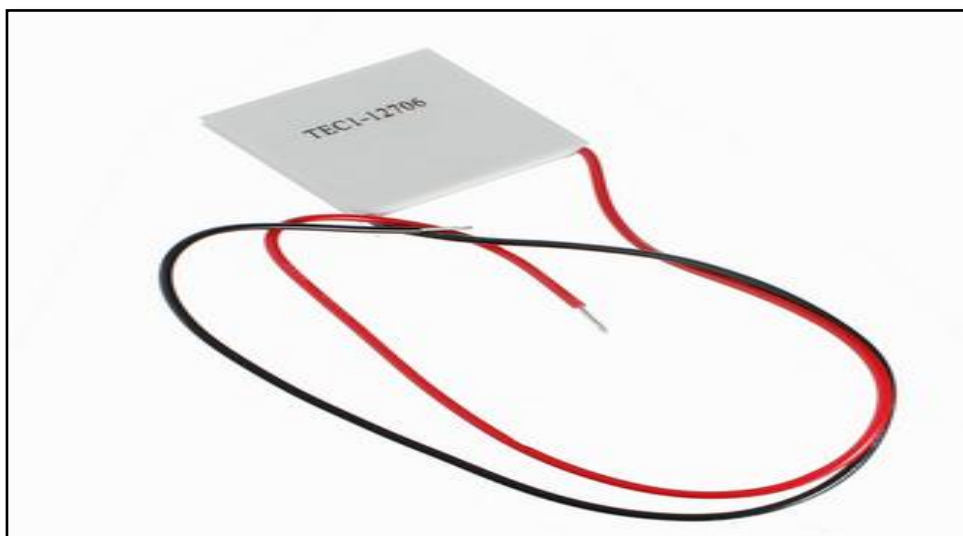


Figure 2.8 : image du module Peltier TEC1-12706

Les modules TEC1 Peltier fournissent des écarts de température inégalés dans les applications de refroidissement ou de chauffage qui sont propice au système qu'on veut concevoir répondant ainsi largement à nos besoins en terme de génération de froid avec des températures allant jusqu'à -10c°. [21]

Tableau 1.1 : Tableau de spécification du module TEC1-12706

Constructeur	Hebei
Poids	27g
Résistance	27g
Matériau céramique	(Al ₂ O ₃)
Longueur des fils	150mm
Taille des fils	18awg
Matériau d'isolation des fils	téflon
Type d'élément Peltier	TEC (refroidissement thermoélectrique)
Température maximale de fonctionnement	138 C°
Voltage maximale	15.4v
Courant maximal	6.4A
Différence de température maximale (ΔT_{max})	68C°
Nombre de jonctions P-N	127 couples
Dimensions	40 x40x3.8mm

Dans ce tableau figure les spécifications de l'unité Peltier TEC1-12706 que nous avons utilisé Cependant il y'a certains condition d'opération et des notions de sécurité à respecter lors du maniemment de ses module qui sont :

Conditions d'opération :

- Ne pas excéder le voltage maximal et le courant maximal lors de l'utilisation
- Ne pas excéder la température maximale de fonctionnement à savoir 138C°
- Le chauffage ou le refroidissement avec le même module est possible seulement en inversant la polarité, Le côté en lettres des modules étant le "côté chaud"
- Le temps de vie d'un module Peltier est généralement de 200,000 heures mais il faut prendre en compte le taux d'échec lors des tests à long terme qui est de 0.2%

Notions de sécurité :

- N'essayez pas d'utiliser les modules TEC1 Peltier sans ventilateur ni dissipateur thermique refroidi par liquide
- En raison des écarts de température ΔT_{max} extrêmes, des dommages au module un incendie ou des blessures de l'opérateur peuvent se produire lorsqu'une résistance thermique suffisante n'est pas présente.
- Pour votre sécurité, utilisez les modules TEC1 Peltier avec prudence et précaution et seulement si vous posséder les connaissances requise pour le maniemment de ce module.

2.5.2 Systèmes de dissipation de chaleur et de distribution de froid :

Avec de larges connaissances dans le domaine du refroidissement Cooler Master est une société mondiale de composants thermique et informatiques avec un record exceptionnel dans la commercialisation de produits innovants Depuis sa fondation en 1992 cette société est considérée en tant que pionnier de le refroidissement responsable de la création du tout premier dissipateur thermique a caloducs, depuis ils ont évolué en fabricant des solutions de refroidissement a air mais aussi à eau plus performant les uns que les autres avec des technologies de pointe et des ventilateurs avec le maximum d'innovation, de choix et de contrôle, avec des prix très alléchant, et c'est les facteurs qui nous ont poussé à choisir cette marque pour notre système de dissipation de chaleur mais aussi pour celui de distribution de chaleur [22]

2.5.2.1 le système de dissipation de chaleur :

Dans ce contexte, nous avons choisi l'un des meilleurs dissipateurs d'air thermiques modernes, le Master air 610P, fabriqué par la compagnie Cooler Master, qui est aujourd'hui l'un des leaders de ce type d'industrie.

Le Master air 610P Dans son principe de fonctionnement utilise un refroidissement à air forcé (convection forcée). Il comprend également un mélange de composants connectés les uns aux autres de manière contrôlée. En commençant par la base en aluminium représenté par un dissipateur (heat-sink) soutenue par un radiateur supérieur de six caloducs en cuivre de 6 mm de diamètre, ce qui représente le point fort de sa capacité à transporter et à transférer une grande quantité de chaleur et à la disperser en peu de temps, vers un groupe d'ailettes horizontales reliées par deux ventilateurs.



Figure 2.9 : dissipateur pour l'extraction de la chaleur MA610P

La base du support de tube thermique en cuivre est en contact direct avec Peltier (côté chaud) et utilise la technologie Direct Contact 2.0. Selon le fabricant, il augmente de plus de 40% la surface de contact avec la surface chaude de la pièce Peltier[23]. En principe, cela augmente la possibilité d'éliminer et de transférer la chaleur et donc le refroidissement.



Figure 2.10 : Base du dissipateur thermique

Le caloduc est un récipient cylindrique scellé, il a une structure de mèche (wick), à l'intérieur de laquelle contient un fluide d'équilibrage de vapeur liquide.

Les caloducs sont constitués de l'évaporateur, de la section adiabatique et de la section condensateur. Les fluides de travail sont utilisés pour transférer l'énergie thermique, ces liquides sont composés d'ammonium, d'éthanol ou parfois d'eau distillée. En général, le type de liquide détermine la capacité de transfert de chaleur[24]. Lorsque le caloduc est cuit, c'est-à-dire qu'il est exposé à la chaleur de la surface chaude de l'élément Peltier et cela au niveau de l'évaporateur, cela conduit à l'évaporation du liquide. ce qui signifie changer l'état de son état, puis celui-ci monte à travers les caloducs[25], qui passent à travers les ailettes en aluminium, où les zones de service distribuent la chaleur Dans toute la région pour chaque couche active dans les ailettes en aluminium connectées à deux ventilateurs de 120 mm qui assurent la circulation d'air des deux côtés, ce ventilateur principal est annoncé à une vitesse de rotation de 600 à 1 800 tr / min pour une pollution sonore maximale de 35 dB . Ce qui fonctionne clairement en harmonie avec la poussée et la traction (push and pull)[23].

Ce qui signifie que l'air ambiant (air froid) est aspiré d'un côté à travers le premier ventilateur, qui à son tour passe à travers les ailettes à travers lesquelles passent les tubes thermiques en cuivre (caloducs) et cela dans la section adiabatique, où l'air froid absorbé absorbe la chaleur de la vapeur traversant les caloducs. Le deuxième ventilateur dissipe rapidement l'air chaud transportant cette chaleur de l'autre côté et le jette loin du système.



Figure 2.11 : Ventilateur (120 mm) connecté aux ailettes de dissipateur

Tableau 2.2 : Tableau de spécification du cooler master ma610p

Constructeur	Cooler master
Type de refroidissement	Refroidissement a air
Dimensions	130.9 x112.8x166.5mm
Constituant du dissipateur de chaleur	Ailette en aluminium Caloducs en contact direct
Dimensions du dissipateur de chaleur	116x60x158mm
Poids du dissipateur de chaleur	616g
Nombre de caloducs	6 caloducs
Dimensions des caloducs	6mm
Nombre de ventilateurs	2 ventilateurs
Dimensions des ventilateurs	120x120x25mm
Vitesse de rotation des ventilateurs	600-1800 RPM
flux d'air des ventilateurs	53.38 CFM
Pression de l'air des ventilateurs	1.65mm H2O
Niveau du bruit des ventilateurs	35 dBA
Voltage des ventilateurs	12vdc
Courant nominale des ventilateurs	0.30A
courant de sécurité des ventilateurs	0.37A
Consommation des ventilateurs	4.44W
Garantie	2ans

Dans ce tableau figure les spécifications du Cooler master ma610p

2.5.2.2 le système de distribution de froid :

Dans le cadre de l'obtention du froid dans l'espace interne de l'appareil, qui est l'objectif principal sur lequel cet appareil est construit, nous avons sélectionné le dissipateur de chaleur Hyper T200, qui provient du même fabricant, Cooler Master.

Cet appareil adopte la même technologie de refroidissement à air forcé (convection forcée) que dans l'appareil précédent. Ce dernier est construit à partir d'une base en aluminium qui est un petit dissipateur thermique (heat-sink) soutenu par deux caloducs de 6 mm en diamètre qui sont en contact direct avec la surface de l'élément Peltier (le côté froid). Les deux tubes chauffants permettent au froid de se dissiper rapidement et efficacement.

Hyper T200 est un refroidisseur à haute efficacité et à faible suppression sonore, très facile à installer et à retirer. Il s'applique à merveille avec la plaque Peltier. Ayant ainsi un contact direct avec les caloducs, l'Hyper T200 offre les performances optimisées pour la distribution du froid au sein de notre dispositif. Le cadre du ventilateur est conçu avec un matériau anti-poussière spécial, empêchant efficacement la poussière de s'y incruster, Compact comme il est mais tout aussi puissance bénéficiant de la même technologie de contact direct que le ma610 il nous permet donc une très bonne distribution de froid voilà pourquoi nous avons opté pour ce modèle qui nous donne l'avantage d'être moins intrusive au sein de notre dispositifs de refroidissement tout en exploitant la face froide du Peltier au maximum. [26]

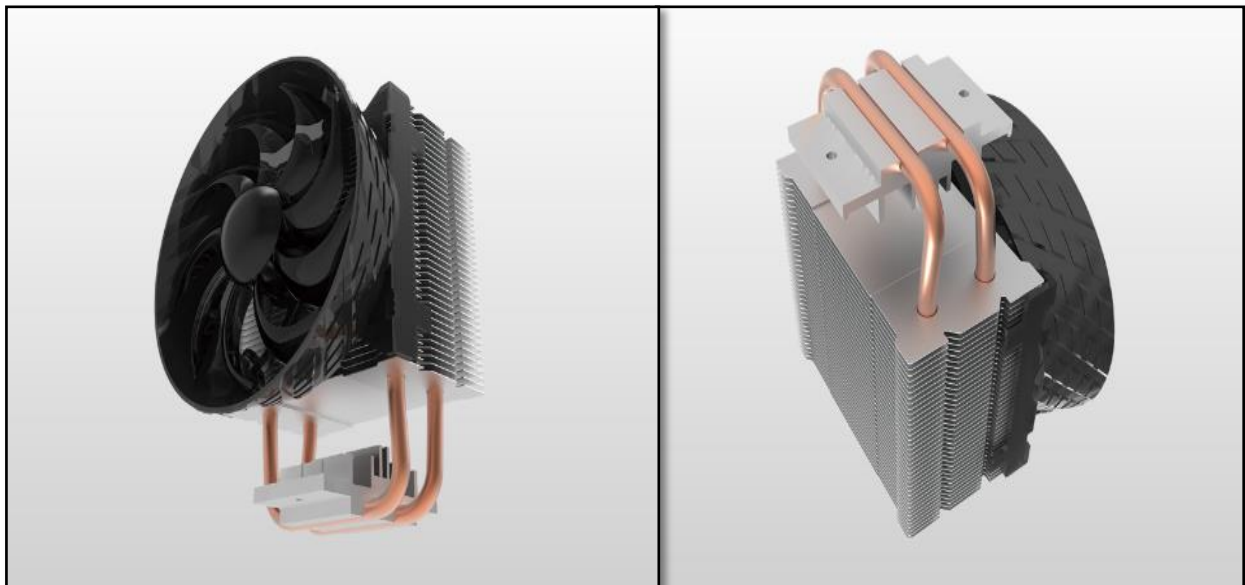


Figure 2.12 : vu de face et de bas du Cooler master hyper T200

Tableau 2.3 : Tableau de spécification du Cooler master hyper T200

Constructeur	Cooler master
Type de refroidissement	Refroidissement a air
Dimensions	112 x 84 x 137 mm
Constituant du dissipateur de chaleur	Ailette en aluminium Caloducs en contact direct
Dimensions du dissipateur de chaleur	90 x 51 x 133 mm
Poids du dissipateur de chaleur	248g
Nombre de caloducs	2 caloducs
Dimensions des caloducs	6mm
Nombre de ventilateurs	1 ventilateur
Dimensions du ventilateur	112.5 x 112.5 x 25 mm
Vitesse de rotation du ventilateur	800-2200 RPM
flux d'air du ventilateur	30 CFM
Pression de l'air du ventilateur	1.2 mm H2O
Niveau du bruit du ventilateur	31 dBA
Voltage du ventilateur	12vdc
Courant nominale des ventilateurs	0.21A

Dans ce tableau figure les spécifications du Cooler master Hyper T200

2.5.3 Acquisition et affichage de données:

Ayant opté pour un système d'acquisition de donnée automatisé et plus sophistiqué de par nos études théorique sur comment améliorer notre dispositif nos recherche ont abouti par l'utilisation d'une carte électronique munie de microcontrôleur appelé Arduino.

Arduino est une société de matériel informatique et de logiciels open source, un projet et une communauté d'utilisateurs qui conçoit et fabrique des microcontrôleurs à carte unique et des kits de microcontrôleurs pour la construction d'appareils numériques et d'objets interactifs capables de détecter et de contrôler des objets dans le monde physique.[27]

Arduino est une carte de prototypage électronique open source basée sur un microcontrôleur qui peut être programmée avec un IDE Arduino facile à utiliser. Arduino se compose à la fois d'une carte de circuit imprimé physique et d'un logiciel Arduino IDE.

Les conceptions de cartes Arduino utilisent une variété de microprocesseurs et de contrôleurs. Les cartes sont équipées de jeux de broches d'entrée / sortie (E / S) numériques et analogiques qui peuvent être interfacées à diverses cartes d'extension (blindages) et autres circuits. Les cartes disposent d'interfaces de communication série, y compris Universal Serial Bus (USB) sur certains modèles, qui sont également utilisées pour charger des programmes à partir d'ordinateurs personnels.

Il existe de nombreux types de cartes Arduino. Dans le cadre de la construction de notre appareil, nous avons sélectionné un seule type d'elle qui est la carte Arduino Uno.



Figure 2.13: Arduino Uno

Arduino Uno est une carte microcontrôleur basée sur l'ATmega 328. C'est la carte la plus populaire et la plus utilisée dans la famille Arduino. "UNO" signifie une en italien et a été nommé pour marquer la sortie d'arduino 1.0.

Arduino Uno possède 6 broches d'E / S analogiques, 20 broches d'E / S numériques dont 6 fournissent une sortie PWM. La tension de fonctionnement est de 5 V et la tension d'entrée est de 7 à 12 V. [28]

2.5.3.1 Broches d'alimentation :

Chacune des 14 broches numériques de l'Uno peut être utilisée comme entrée ou sortie. Ils fonctionnent à 5 volts.

Chaque broche peut fournir et recevoir un maximum de 40 mA et possède une résistance de rappel interne (déconnectée par défaut) de 20 -50komhs.

Arduino Uno a un microcontrôleur ATmega qui fonctionne à une vitesse de 16 mhz, et il a 32 ko de mémoire dont 0,5 ko est utilisé par le chargeur de bateau.

L'Arduino Uno peut être alimenté via la connexion USB ou avec une alimentation externe, la source d'alimentation est sélectionnée automatiquement. [29]

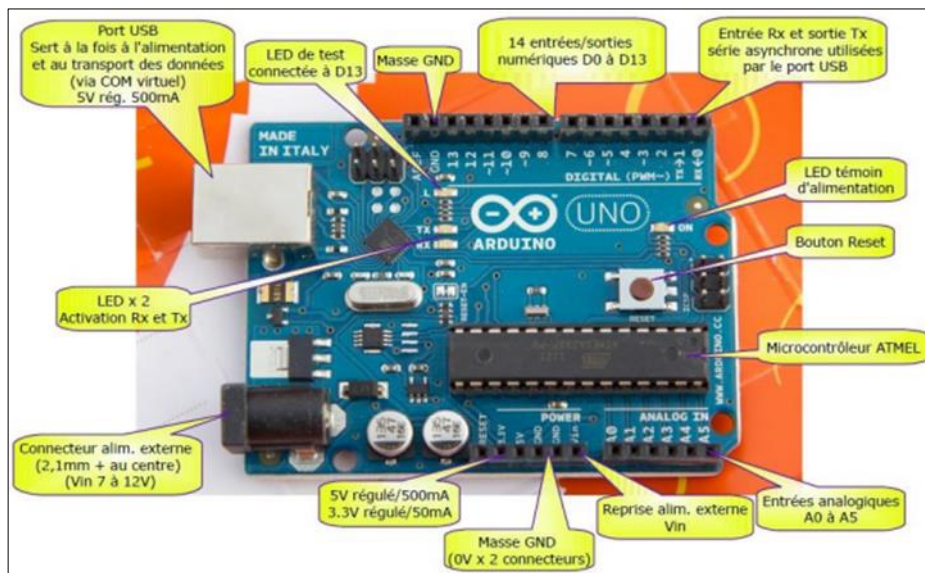


Figure 2.14 : composants d'Arduino Uno

2.5.3.2 breadboard :

La breadboard appelé platine de prototypage électronique est un accessoire très pratique pour prototyper des montages électriques tel que le nôtre, elles sont composées de trous de 2.54mm pour pouvoir insérer des composants ainsi que des fils, ces trous sont organisés en rangées interconnectés afin de relier les composants entre eux, pouvant aisément connecter beaucoup de composants électronique entre eux (arduino, capteurs, résistances), Pour les tester et vérifier que les montages électroniques fonctionnent dans les normes.

La face arrière de cette dernière est équipée d'une mousse adhésive isolante permettant de coller votre breadboard sur la surface de votre choix.[30]

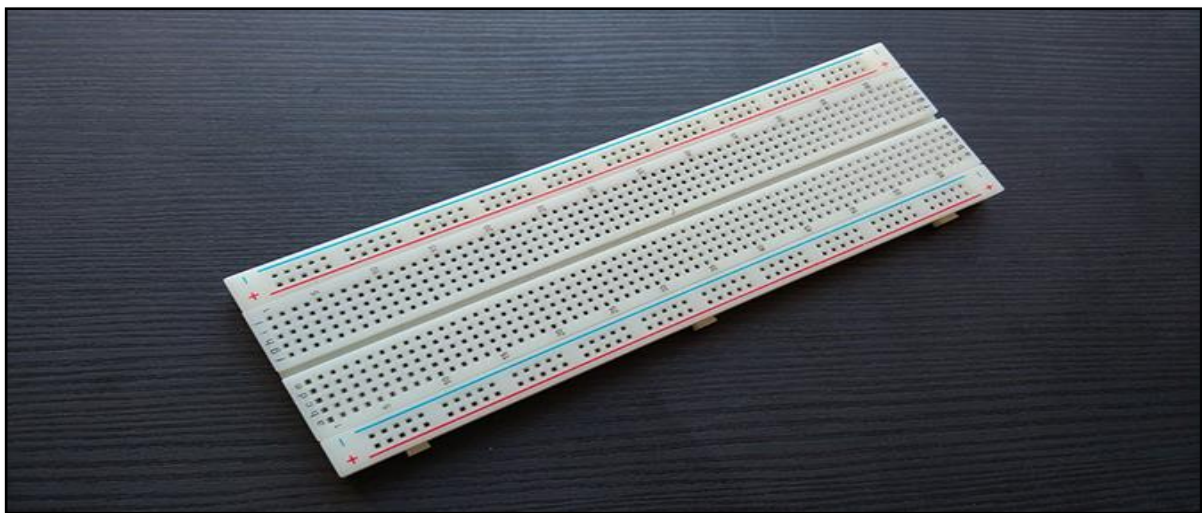


Figure 2.15 : breadboard

2.5.3.3 la sonde de température

Étant relié aussi au capteur de température DS18B20 qui est utilisable avec le bus l'arduino. Ce modèle est une version pré-câblée et étanche Pratique pour des de mesures dans des conditions humides ou comme dans notre cas en immersion dans la denrée alimentaire et dans le système de refroidissement.[31]



Figure 2.16: sonde de température DS18B20

2.5.4 Système de distribution électrique :

Bien que l'énergie requise par le refroidisseur thermoélectrique avec tous ses composants ne soit pas élevée et ne dépasse généralement pas des dizaines de watts, la source d'alimentation choisie devient un problème d'une importance particulière. Selon les conditions de fonctionnement spécifiques de l'équipement thermoélectrique, la prise électrique peut être utilisée comme source de courant d'alimentation électrique, mais le problème est que la sortie génère un courant relativement élevé (220 V) par rapport au courant dû par l'appareil d'une part, et d'autre part le nombre de composants de l'appareil qui doivent être alimentés en courant pour fonctionner et donc fonctionner Appareil. Par conséquent, cela nécessite l'utilisation d'un outil qui est capable d'effectuer une conversion électrique (c'est-à-dire de 220 V à 12 V), Il nécessite également qu'il contienne plusieurs sorties pour la répartition du courant électrique sur tous les composants de l'appareil.

Suite à notre étude théorique qui avait pour objectif l'acquisition d'un nouveau système d'alimentation meilleur que celui utilisé par nos prédécesseurs afin d'améliorer l'alimentation de notre dispositif nous avons opté pour les boîtes d'alimentation cctv qui répondent à nos critères de choix mais aussi à nos besoins d'organisation de sécurité et de versatilité car voyez-vous elles sont Idéales pour alimenter tous les composés de notre dispositifs avec 9 sortie offrant ainsi un bon aspect d'organisation a notre système, ces alimentations fonctionnent en 12V DC, et leur courant de sortie globale s'élève à 10 ampères maximum, ce boîtier d'alimentation offre donc une solution d'alimentation plus professionnelle pour notre dispositif et réduit l'occurrence de pannes ,regroupant toutes les alimentations électriques en un seul emplacement central pour une maintenance facile.

L'outil est confiné à une boîte de distribution électrique de 12 volts. Chaque prise possède un seul fusible PTC pour une réinitialisation automatique, et chaque prise possède également un indicateur LED pour vous indiquer lequel est utilisé. Il y a une protection contre les surintensités et un interrupteur marche / arrêt.[32]



Figure 2.17 : image montrant le constituant interne de l'alimentation

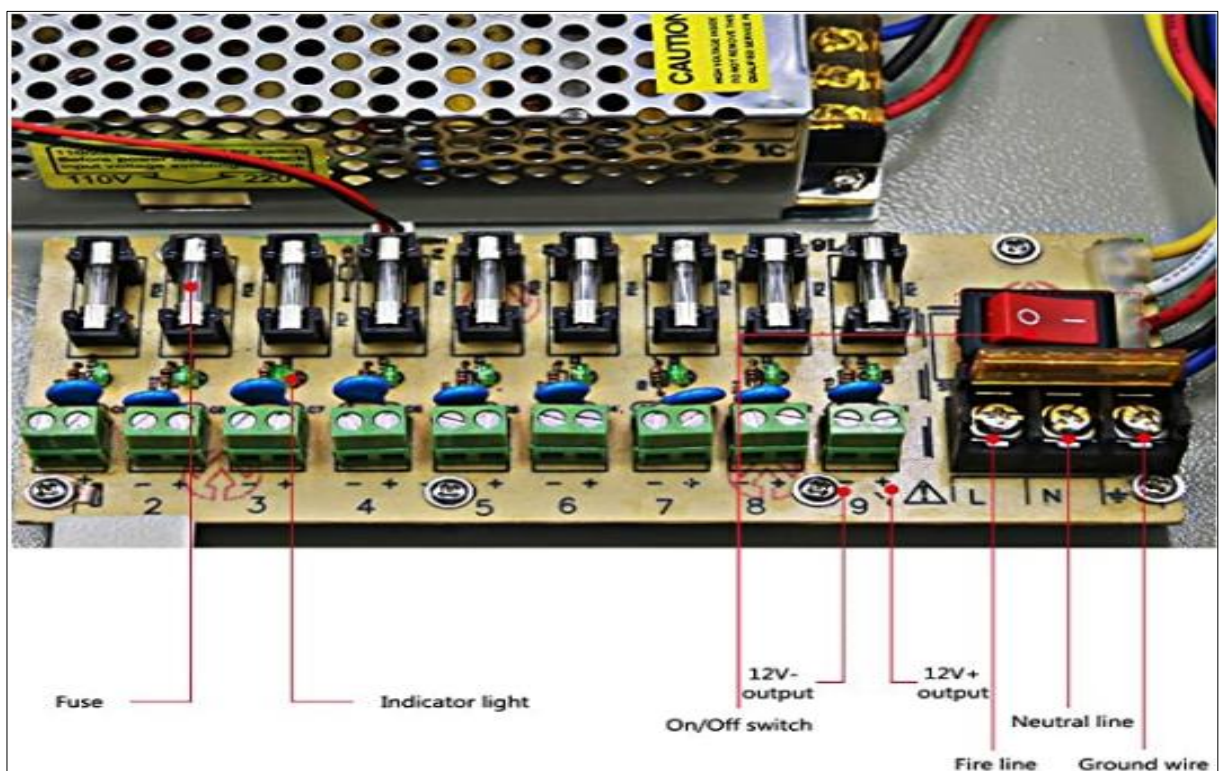


Figure 2.18 : image montrant l'intérieur et l'extérieur de notre alimentation

Ceci dit il faut tenir compte de certaines instructions et recommandations lors de la manipulation et l'utilisation de ce type d'alimentation qui sont :

- des dommages éventuels peuvent être causés par une utilisation contraire aux dispositions de sécurité.
- Le montage, la maintenance et les réparations doivent être réalisés avec précaution et seulement si vous possédez de connaissances en électricité qui vous permettent de manier ce type de matériel en toute sécurité.
- il faut Veiller à une bonne ventilation de l'alimentation afin d'éviter la surchauffe et des dommages irréversible sur les composé électronique.
- Utiliser du câble de 2,5 mm²

Tableau 2.4 : Tableau de spécification de l'alimentation

Marque	Haili
Type d'alimentation	AC/DC
Type de connecteur	Filaire
Tension d'entrée	AC110/220v 50/60 Hz
Tension de sortie	DC 12V
Courant de sortie	10A max
Puissance de sortie	120W
Canaux de sortie	9 canaux
Matériel	Fer
Dimensions	205 x 235 x 53 mm
Poids	1.5 kg

Dans ce tableau vous trouverez les diverses spécifications du notre système d'alimentation

2.5.5 Le boîtier :

Ainsi ayant pour mots d'ordre solidité compacité légèreté et isolation optimale nous avons cherché à concevoir un boîtier à la fois robuste bien isolé mais aussi léger et compacte ce qui nous a amené à faire des recherches poussé sur divers matériaux de construction tenant compte de leur épaisseur et leur robustesse pour un boîtier régie et lege nous avons opté pour du bois et du contreplaqué et leur conductivité thermique Pour ce qui est des matériaux isolant afin d'incorporer le matériau choisi dans les mure la bas et la toiture pour ainsi obtenir un boîtier totalement isolé à l'intérieur permettant de garder le froid au maximum nous permettant ainsi d'exploiter notre système au maximum ce qui nous a poussé vers le polystyrène expansé et l'aluminium industrielle.

2.5.6 Système photovoltaïque :

En ce qui concerne la deuxième source d'énergie pour l'appareil afin de lui fournir de la puissance électrique issue d'une source renouvelable, s'appuyant sur le soleil connue pour être une source d'énergie renouvelable, on utilise un système photovoltaïque conçu l'année passée au sein de notre université grâce auquel nous avons pu nous pencher dans notre étude sur la possibilité de joindre un tel système à notre dispositif afin de servir de source d'énergie renouvelable pour alimenter notre système et qui nous a aidé à atteindre parfaitement l'un de nos objectifs qui consistait en la création d'un système totalement inoffensif envers l'environnement.

Il s'agit là d'un kit opérationnel qui peut alimenter n'importe quel appareil électrique fonctionnant avec un courant continu ou un courant alternatif, La puissance installée est modulable entre 100 et 400Wc. Tandis que l'énergie qui peut être fournie par son convertisseur dépasse les 300Wh ce qui est assez pour pouvoir alimenter notre système de refroidissement thermoélectrique.

2.6 Etapes de conception :

A l'issue de notre étude théorique durant laquelle nous avons acquis beaucoup de connaissances notamment en ce qui concerne la méthode de fonctionnement du refroidisseur thermoélectrique, et une maîtrise de la conception de ses dispositifs approprié et pratique, nous avons réussi à réunir tous nos composants et éléments structurels, ce qui nous permet d'entamer maintenant l'étape finale, qui est la phase de construction de cette appareil qui se divise en plusieurs sous-étapes.

Scinder en quatre parties afin de concevoir notre dispositif de refroidissement a effet Peltier amélioré ayant déjà ciblé les lacunes majeur de dispositifs antérieur et chercher des solutions de substitution a tout l'aspect de notre système afin d'effacer ses lacunes et de l'améliorer lors de notre études théoriques sur les composants d'un dispositif de refroidissement et les alternatives proposé afin de l'améliorer et maintenant que on dispose des matériaux adéquats nous pouvons commencer la conception.

2.6.1 Conception du prototype de refroidissement:

Cette partie consiste en la mise en place du prototype de refroidissement composé principalement du module Peltier TEC-12706 du Cooler Master MA610P fixé du coté chaude du module afin d'évacuer l'excédent de chaleur crée par ce dernier et le Cooler Master hyper t200 fixé avec la face froid du module afin de distribuer le froid au sein de notre dispositif ce processus est effectué en deux étapes, dans la première étape, nous allons fixer le système de distribution du froid (HYPER T 200) avec la face froide du Peltier le tout assemblé avec la face intérieur du toit du boîtier qui lui est destinée c'est-à-dire une sorte de cavité crée au sein de la toiture afin de fixer aussi le dissipateur de chaleur qui va se mettre au-dessus c'est la face extérieur du toit de notre boîtier le tout attaché avec un serrage composé d'écrous et de boulons ainsi que des circlips formant ainsi un bon serrage qui ajouté a une patte thermique bien étalé sur les deux surface du module afin d'éliminer les gapd'air qui peuvent nuire au transfert thermique au sein de ce dispositif tout en assurant d'avoir une bonne séparation entre le chaude et le froid assuré aussi via le boîtier qu'on va construire aussi évitant ainsi de crée par erreur un pont thermique, tout en réduisant les vibrations au maximum.

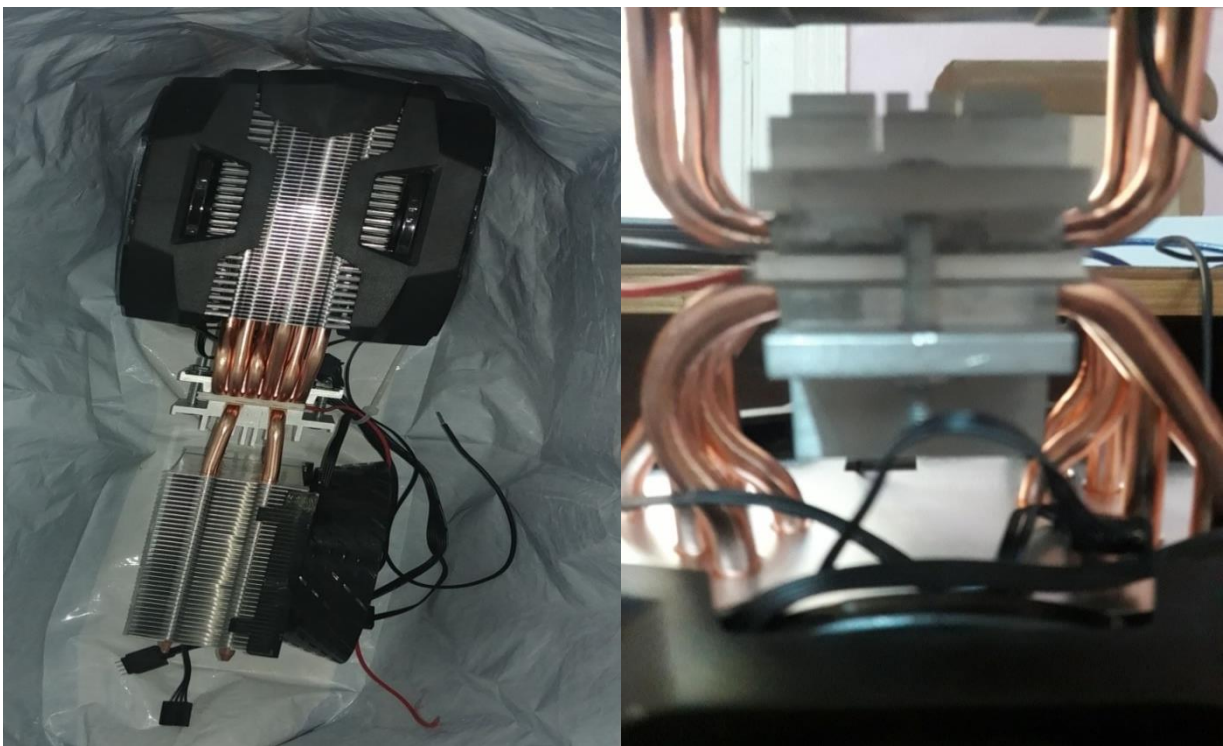


Figure 2.24: prototype de refroidissement

Ainsi ayant terminé l'accordage nous mettons également une éponge comme filtre à air le long du périmètre de la cavité séparant les deux dissipateurs de notre prototype qui sera encastré sur le toit de la boîte, ce qui augmente l'isolation d'une part et permet à de l'air d'entrer et de circuler à l'intérieur de la pièce, tout en laissant un jeu afin d'éviter les problèmes pour crée une dépressurisation au sein de la pièce à refroidir pour éviter tout dommage matériel tel que les déformations des parois et avoir ainsi toujours de l'air en circulation.

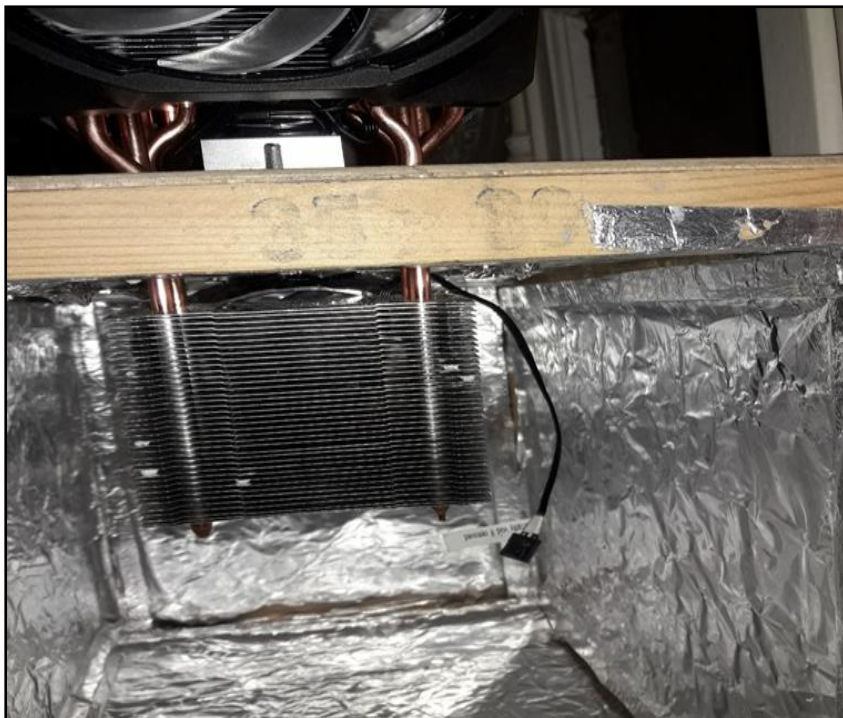


Figure 2.25: illustration de la séparation entre les deux dissipateurs

Pour qu'au final ce prototype soit incéré au sein de son emplacement dans le boitier dans notre système de refroidissement dont on va expliquer la conception ci-dessous.



Figure 2.26: vu sur l'emplacement de l'hyper t200 au sein du boitier

2.6.2 Dimensionnement et confection du boitier :

Ayant terminé l'étape du choix des composants de l'unité de réfrigération au choix de la conception appropriée et pratique pour le refroidisseur, nous pouvons maintenant passer à la deuxième étape, qui est l'étape de sélection des éléments structurels appropriés qui contribuent en grande partie à la réalisation de l'amélioration et de la conception du caisson.

Un châssis en bois auquel on incorpore des parois en contreplaqué afin d'obtenir 5 face qui rattachées entre eux vont nous donner une première structure solide et légère ainsi qu'une isolation additionnelle a notre système c'est-à-dire des parois latérales, y compris la partie supérieure, la base ainsi que la porte de l'appareil. Nous avons choisi le bois pour plusieurs raisons, notamment la facilité d'installation et de démontage, le poids léger ainsi qu'une longue durée de vie, en plus de sa disponibilité, en s'appuyant également sur d'autres accessoires tels que des charnières des poignées de porte pour la fonction d'ouverture et de fermeture, ainsi que des vis pour compléter la fixation de tous les côtés structurels les uns avec les autres.



Figure 2.27 : châssis en bois

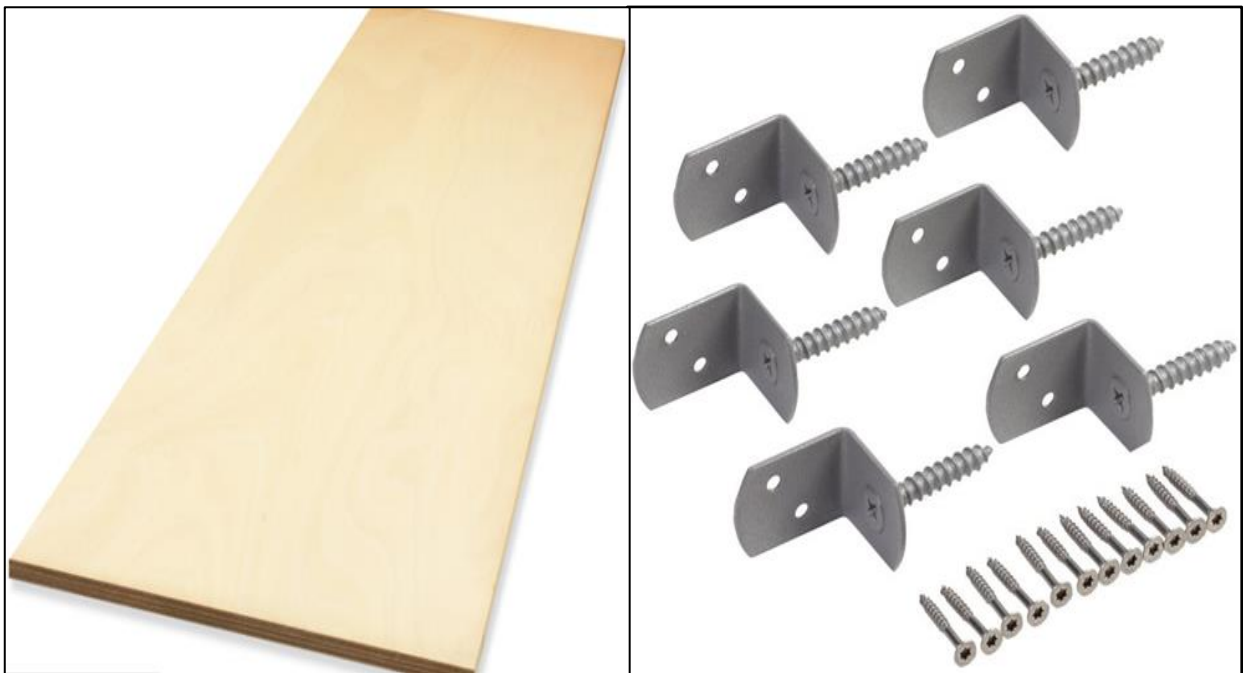


Figure 2.28 : bois de construction et équerre pour la fixation des parois

On a ensuite remplie les parois interne creuse comme vous pouvez le voir sur la figure au-dessus avec des panneaux en polystyrène expansé qui a l'avantage d'être léger et peut être aisément scié ou découpé donc faciles à manier et à travailler, qui ne s'affecte pas par l'humidité ou la moisissure et résiste à la compression et ne se tasse pas, avec une très basse conductivité thermique de 0,030 à 0,040 W/m.K qui fait de lui un très bon isolant avec un prix abordable et une longue durée de vie sans perdre ses caractéristiques isolantes.[33]



Figure 2.29 : panneaux en polystyrène expansé

Pour obtenir les résultats qui est montré sur ces figures :



Figure 2.30: rendu primaire des parois

et recouvert le tout par une fine feuille d'aluminium d'environ 0,02 mm d'épaisseur comme deuxième couche d'isolation complétant la première couche, qui offrent certains avantages qui vont dans le sens de l'amélioration, nous mentionnons le degré d'efficacité de l'isolation de cette dernière ainsi que sa résistance aux basses températures, en plus de son poids qui est très léger, et sa disponibilité ainsi que sa facilité de traitement, formant ainsi une très bonne isolation qui va aider à la préservation du froid généré par notre système.



Figure 2.31 : feuille d'aluminium de 0,02 mm d'épaisseur

Réduisant considérablement les pertes que peuvent engendrer des fuites ou une mauvaise isolation, voilà pourquoi nous avons ajouté un processus de collage et de construction, par le biais de la colle adhésive.



Figure 2.32 : colle adhésive

Lorsque l'unité de refroidissement est complètement installée, et qu'on finit d'assembler le toit avec le reste des deux parois latérales, nous fixerons la porte, avec le plafond à l'aide de charnière et un système d'ouverture qui sera placés au plafond, lequel permettra d'ouvrir la porte vers le bas afin de conserver le froid de notre système, tandis que les deux charnière de porte seront rattaché à la base de la boîte, concluons ainsi la phase de construction de la structure de base de l'appareil en attachant la paroi arrière, le tout va former le boîtier de 30 x 30 x 24 cm de dimensions qui va accueillir notre système de refroidissement et va faire disposer d'une pièce qui fera officie de chambre froide avec un volume de 0.0216m^3 optimisé pour la puissance froide produite par notre système afin l'élément à refroidir puissent bénéficier de tout cette puissance selon nos études évitant ainsi de fournir un trop grand espace qui va causer un éparpillement du froid contrairement à notre boîtier qui lui vise a concentré le froid de tel sorte que l'élément à refroidir puissent en bénéficier au maximum.



Figure 2.33 : Vue générale du boîtier

2.6.3 installation du système d'acquisition de données avec capteurs et sondes:

En ce qui concerne le système d'acquisition de données comme nous l'avion cité précédemment on s'est basé sur la carte Arduino uno qu'on a programmé via le logiciel Arduino avec un scripte qui nous permet essentiellement de commander a cette carte de prélevé la température froide et chaude de notre prototype via des sondes DS18B20 placé chaque une sur le dispositif de dissipation de chaleur et sur le système de distribution de froid chaque 10seconde que va ensuite traduire l'ordinateur sur Excel à l'aide du plug-in plx-daq (data acquisition software) sous forme de tableau qu'on va nous même traduire sur Excel par un graphe d'évolution de température en fonction du temps qu'on verra au chapitre III

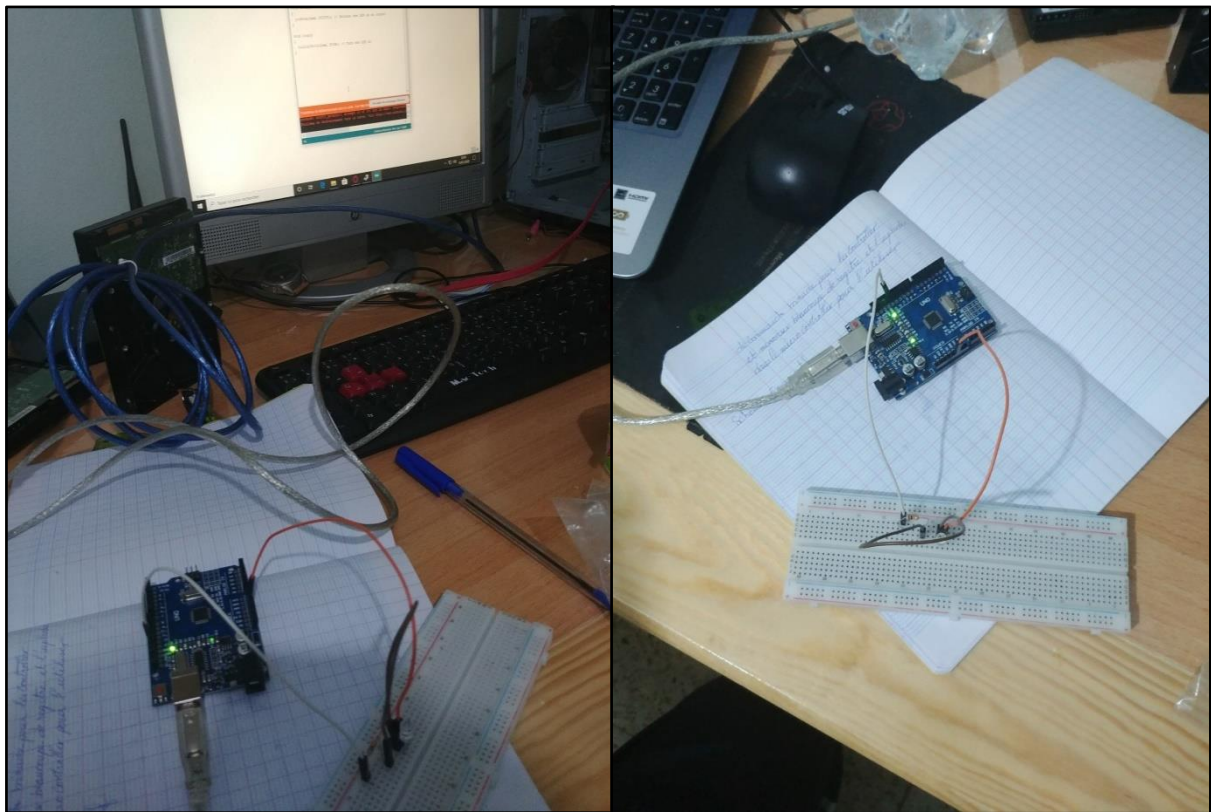


Figure 2.34 : système d'acquisition de données

2.6.4 Mise en place du système d'alimentation:

Enfin pour l'alimentation nous avons démonté notre système d'alimentation du boîtier comme suit afin de nous faciliter la tâche de l'incorporer sur la toiture de notre système et ainsi avoir une bonne gestion des câbles et pouvoir profiter du dispositif de dissipation d'air chaud pour la refroidir un tant soit peu



Figure 2.35 : système de distribution électrique

2.6.5 rendue finale du dispositif :

Après cette phase de conception ayant réuni au cours de son processus tous les éléments composant notre système de refroidissement à effet Peltier nous entamons la phase d'isolement externe de la structure du boîtier en plaçant et en collant le couvercle isolant sur tout le périmètre et tous les côtés de l'appareil et dans le contexte de cette dernière étape nous installons le système d'acquisition de données représenté par la carte Arduino Uno sur le toit du caisson où elle est légèrement relevée sur la surface de ce dernier, puis nous installons tout le système de distribution électrique également sur la surface du toit, afin que ses composants soient proches les uns des autres, pour une gestion de câblage facile tout en étant dans le sens du flux d'air du dissipateur thermique afin de les refroidir donnant ainsi le rendu finale de notre dispositif avant d'entamer la phase de tests.



Figure 2.36 : Aperçu global du système

Chapitre III :
Résultats et discussion

3.1 Introduction :

Le développement de la science au fil du temps est caractérisé par l'ingénierie et l'innovation de nombreux appareils utilisés dans divers types de domaines et de secteurs, et au cours des dernières années, soit environ les 50 dernières années pour être plus précis, le secteur de la réfrigération a connu une phase de développement énorme consistant dans la création de machines produisant du froid appelées réfrigérateurs à compresseur qui ont su répondre à presque toutes les exigences d'antan.

Successivement Au fil des années , les recherches dans le génie frigorifique n'ont cessé de croître avec la découverte de la thermoélectricité au 19^{ème} siècle et la possibilité de l'exploiter dans le domaine du refroidissement et réfrigération n'ayant pas trouvé place dans les applications à grande échelles tous les efforts se sont donc concentré dans les applications à petite échelle afin d'occuper un marché de la réfrigération par petite enceinte qui ne cessait de croître avec le temps ce qui a eu pour effet d'ouvrir un horizon large pour d'autres chercheurs afin d'exploiter cette technologie qui est le refroidissement thermoélectrique dans le but de créer de nouveaux systèmes de réfrigération moderne compact et puissant.

La réfrigération étant l'une des deux applications de la thermoélectricité plusieurs études et conceptions ont été faites dans ce domaine et n'ayant pas pour objectif de recréer un système déjà disponible nous nous sommes inspirés de leurs travaux et de leurs résultats afin de concevoir un système de refroidissement reprenant les mêmes bases du refroidissement thermoélectrique mais avec des composants différents résultant de nos recherches qui nous ont permis d'améliorer notre système pratiquement dans tous ses aspects et obtenir un système plus performant sous tous les angles afin de répondre à nos attentes qui étaient une meilleure exploitation du module thermoélectrique par dissipation de chaleur plus efficace et une meilleure distribution du froid généré au sein du dispositif une meilleure conception et dimensionnement qui convenait parfaitement à la puissance frigorifique générée et ses améliorations afin d'augmenter la capacité de refroidissement par l'augmentation de son coefficient de performance (COP) qui est extrêmement important car il permet de connaître la puissance de l'appareil, ainsi un COP élevé est synonyme d'une efficacité de refroidissement très grande et que avec un COP élevé un système est capable de produire du froid même dans des conditions difficiles.

Ce dernier chapitre sera donc consacré à un rappel de notre système de refroidissement thermoélectriques avec les améliorations apportées à ce dernier donnant une perspective théorique ce qu'elle peuvent nous apporter comme plus au niveau énergétique et au différentes tests auquel on va soumettre notre dispositif afin de déterminer le temps de refroidissement de notre système déterminer ses limites ainsi que comparé les résultats obtenus avec les résultats qu'on a obtenus théoriquement via un modèle mathématique.

3.2 Résultats et discussions :

En ce qui concerne les résultats obtenues au sein de ce chapitre nous avons une partie expérimentale qui est plus concentré sur la mise en marche de notre système passant par à l'acquisition de données qui s'est faites numériquement via l'utilisation de la carte Arduino qui est placée sur la toiture du caisson et qui est connectée à tous les éléments via ce qu'on appelle une breadboard, pour analyser toutes les informations relatives à l'appareil, tels que la température interne de la chambre froide, ce qui va nous donner un tableau d'évolution de la température en fonction du temps qui va être interpréter par des courbes graphiques qu'on pourra observer sur Excel lors de la connexion de l'Arduino à l'ordinateur.

Sachant que l'alimentation de notre système est garantie par la boîte de distribution qui contient de nombreuses sorties pour répondre à la demande de tous les composants, et pour une gestion facile des câbles afin de pouvoir alimenter proprement tous les éléments elle fournit également un système de protection qui aide à éviter les chocs électriques cette alimentation de par sa versatilité peut être soit connecté avec une source d'électricité fixe (prise), ou bien être raccorder à une source d'énergie renouvelable au moyen d'un système qui dépend des panneaux photoélectriques qui convertissent la lumière du soleil en énergie électrique alimentant l'appareil.

Au final nous avons comparé les deux résultats obtenue via notre dispositif et un dispositif conçu antérieurement pour mieux comprendre le comportement de notre système de refroidissement dans des conditions de test réels par rapport à un dispositif antérieur ce qui nous a permis de comprendre la différence qu'apporte un refroidissement a air comparé a un refroidissement a eau en terme de dissipation de chaleur et un système de distribution de froid a caloduc comparé à un système composé d'un dissipateur en aluminium accompagné d'un ventilateur.

Cette comparaison des expérimentations en temps réel de notre système et d'un autre système de refroidissement conçu précédemment nous a permis donc de connaitre l'apport qu'ont apporté nos améliorations en terme de performance a notre dispositifs dans les conditions qui ne sont pas prise généralement en compte dans les études théorique et on a appris que dans des conditions de test réel plus facteurs sont à prendre en compte tels que les pertes mais aussi les limites technique lié à la conception du système qui influe sur les résultat obtenue.

3.3 Partie expérimentale :

Afin de démarrer l'aspect expérimental du dispositif, il est nécessaire, dans un premier temps, de fournir toutes les conditions et outils d'expérimentation d'une part, d'autre part il faut prendre toutes les précautions nécessaires.

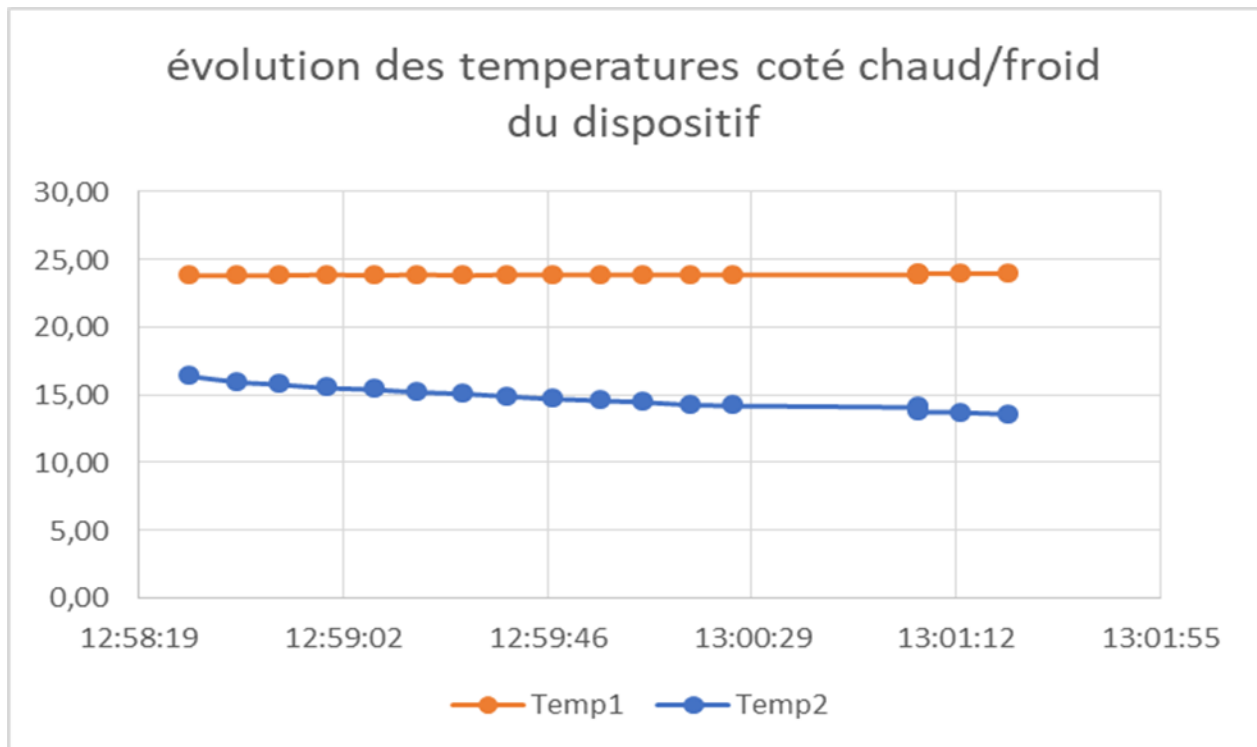
Parmi les priorités à atteindre est la configuration d'unité de contrôle (Arduino Uno), pour être prête à recevoir les signaux entrants de l'appareil et à les transférer en données à l'aide d'un ordinateur. Et pour ce faire la carte Uno est connectée par un câble USB à l'ordinateur cette dernière est automatiquement alimentée par ce câble, ou le voyant d'alimentation vert s'allume indiquant que UNO est connecté à l'ordinateur.

Après avoir connecté l'Arduino Uno. On installe sur l'ordinateur les drivers nécessaires pour la faire fonctionner en mode hors ligne, pour ce faire, vous devez d'abord installer Arduino Desktop puis la programmation Uno en utilisant le programme d'environnement de développement intégré, à travers lequel le programme est téléchargé. Dans l'environnement, qui prend quelques secondes, lorsque le téléchargement est terminé, la LED sur le panneau commence à clignoter en orange, ce qui indique que le script a bien été transféré vers l'Arduino Uno.

Et comme nous l'avons mentionné au début, il faut d'abord vérifier que tous les composants installés de l'appareil sont dans la position appropriée et sont bien connectés à la source d'alimentation pour éviter tout dysfonctionnement possible, deuxièmement chaque composant est connecté à la carte expérimentale, cette dernière à son tour, est également liée à la carte Uno par des fils de câbles la carte Arduino Uno est reliée à l'ordinateur à l'aide d'un câble USB comme cité précédemment, donc une chaîne de fonctionnement interconnectée est formée, (éléments de l'appareil - carte pilote - Arduino Uno - ordinateur).

En ce qui concerne cette partie pratique nous allons observer et analyser le temps de refroidissement d'une canette de $T=22^{\circ}\text{C}$ à $T=10^{\circ}\text{C}$ par le système de refroidissement qu'on a conçu afin de connaître ses performances via l'expérimentation et ceci en mettant en marche notre système, les résultats sont directement prélevés et affichés sur l'ordinateur via notre système d'acquisition de données qu'est l'Arduino avec un intervalle de 10 secondes ce qui nous a permis d'observer avec précision l'évolution du temps de refroidissement de notre système et qui nous a donné une première idée sur les performances délivrées par notre système mais aussi l'évolution de l'extraction de chaleur du côté chaud du module thermoélectrique ce qui nous a donné aussi une idée sur la puissance de notre système de dissipation de chaleur et sa contribution dans l'obtention d'un ΔT qui nous a permis d'avoir ses résultats que vous allez voir ci-dessous en refroidissement.

A partir du tableau 3.1 nous avons obtenu les graphs ci-dessous :



Graphique 3.1 : évolution des températures coté froid et coté chaud du système

Dans ce graphique expérimental, qui traduit les chiffres indiqués dans le tableau ci-dessus en deux courbes, la courbe rouge représente les changements thermiques pour l'extraction de chaleur du côté chaud tandis que la courbe bleue représente le côté froid, c'est-à-dire la dissipation du froid, et ceci en termes d'évolution temporelle.

Le graphe 3.2 représente deux courbes d'évolution de température l'une qui concerne le côté chaud et l'autre le côté froid du module thermoélectrique au sein de notre système en fonction du temps

En premier lieu on constate que la courbe (temp1) qui représente la courbe d'évolution de la température générée par le côté chaud du module thermoélectrique en fonction du temps, a une allure constante ce qui se traduit par l'efficacité de notre système de dissipation de chaleur qui a très bien dissipé la chaleur produite par le côté chaud du module le gardant à une température quasi constante de 24°C contribuant à créer le ΔT nécessaire afin d'obtenir le résultat dont nous avons besoin.

Ensuite la deuxième courbe représente l'évolution de la température générée par le côté froid du module thermoélectrique en fonction du temps, on constate dès l'allumage de notre système la génération d'une température de 16°C inférieure à la température ambiante et évoluant avec le temps cette température baisse jusqu'à atteindre les 10°C en moins de 25 minutes un résultat très satisfaisant obtenu en partie grâce au système de distribution de froid et qui nous démontre l'impact qu'a eu l'amélioration qu'on a apportée sur l'efficacité de notre système.

Pour conclure les résultats qu'on peut voir dans le graphique 3.2 c'est-à-dire l'évolution de température des deux coté du module Peltier nous a permis d'obtenir un gradient de température conséquent qui nous a permis d'obtenir une puissance de refroidissement important avec 10°C au sein de notre système rapidement en moins de 40min et ceux ayant fait les tests le 13 mai 2020 à midi, une journée relativement chaude avec un pic de 29°C ce qui témoigne de l'important des améliorations qu'ont apporté à notre système qui ont grandement contribuer à l'obtention de très bon résultats même sous des conditions difficile .

et avec une séquence temporelle, d'environ 22 minutes, la courbe représentant la température interne qui continue de descendre progressivement, indiquant la continuité de la baisse en degrés jusqu'à la portée approximative de 10 °C, où cette dernière est fixée à cette valeur, ce qui confirme l'arrivée de la température interne à une valeur minimale souhaité d'une part, et d'autre part le début du refroidissement de la canette de boisson qui atteint ce même degré de température 10 °C, mais en prenant bien plus de temps environ 18 minutes supplémentaires, en prenant alors un temps de refroidissement total de 40 minutes, et de cela nous avons atteint notre objectif grâce aux performances de refroidissement de notre système dans ces conditions expérimentales, Alors que la deuxième courbe celle qui représente le chaleur évacué de notre système, reste constante en changement, c'est-à-dire au même rythme que l'augmentation précédente, cela explique que la dispersion externe fonctionne efficacement en maintenant la température entourant l'appareil à la même échelle de température ambiante habituelle ce qui au finale avec la comparaison entre ses résultats et les calculs théorique nous permet de conclure que le coefficient d'échange de notre système est supérieur à $25\text{w/m}^2.\text{k}$

3.4 Évaluation de performance :

D'après les tests expérimentaux que vous avez pu voir ci-dessus on constate que la température intérieur du dispositif a étai réduite de 22°C à 10.5°C en 21 minutes On peut calculer le coefficient de performance de notre système en assumant que notre système peut refroidir une canette d'eau de 0.5l, l'amenant de 22°C à 10°C en moins de 40minutes ayant remplie la canette avec de l'eau on va se baser sur ses propriétés pour effectuer le calcul du COP.

a/-Calcul du coefficient de performance COP :

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{froide}}}{\sum P_i} \quad (3.12)$$

a.1/-Calcul de la puissance totale consommée :

$$\sum P_i = P_{\text{Peltier}} + P_{F_1} + P_{F_2} \quad (3.13)$$

La puissance du Peltier : $P_{\text{Peltier}} = V \times I = 13,8 \times 3,95 = 54,51 \text{ (W)}$

La puissance des deux dissipateurs thermiques : $P_{F_1} + P_{F_2} = 3,6 + 2,7 = 6,3 \text{ (W)}$

La puissance totale consommée est : $P_{\text{totale}} = 54,51 + 6,3 = 60,81 \text{ (W)}$

Dans notre cas, les performances du réfrigérateur thermoélectrique amélioré sont testées en refroidissant une canette de 0,5 litre de boisson, de 22°C à 10°C en 40 minutes. Dans ces calculs, on a supposé que les propriétés des boissons en conserve étaient les mêmes que celles de l'eau

$$m = \rho \times V \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{froide}} = m \times C_p \times \Delta T = m \times C_p \times (T_{\text{amb}} - T_{\text{int}}) \quad (3.15)$$

A.N :

1) la masse :

$$m = 1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{L}} \right) \times 0.6 \text{ (L)} = 0.6 \text{ (kg)}$$

2) puissance froide :

$$Q_{\text{froide}} = 0,5 \times 4185 \times (22 - 10) = 25110 \text{ (j)}$$

$$Q_{\text{froide}} = \frac{Q_{\text{froide}}}{\Delta t} = \frac{25110}{40 * 60} = 10,4625 \text{ (W)}$$

3) puissance électrique :

$$P_e = (13,8 \times 3,95) + (2,7 + 3,6) = 60,81 \text{ (W)}$$

4) coefficient de performance :

$$\text{COP} = \frac{10,4625}{60,81} = 0,1720$$

3.5 Comparaisons des résultats obtenus pour les 2 dispositifs :

3.5.1 Exposition des résultats antérieurs :

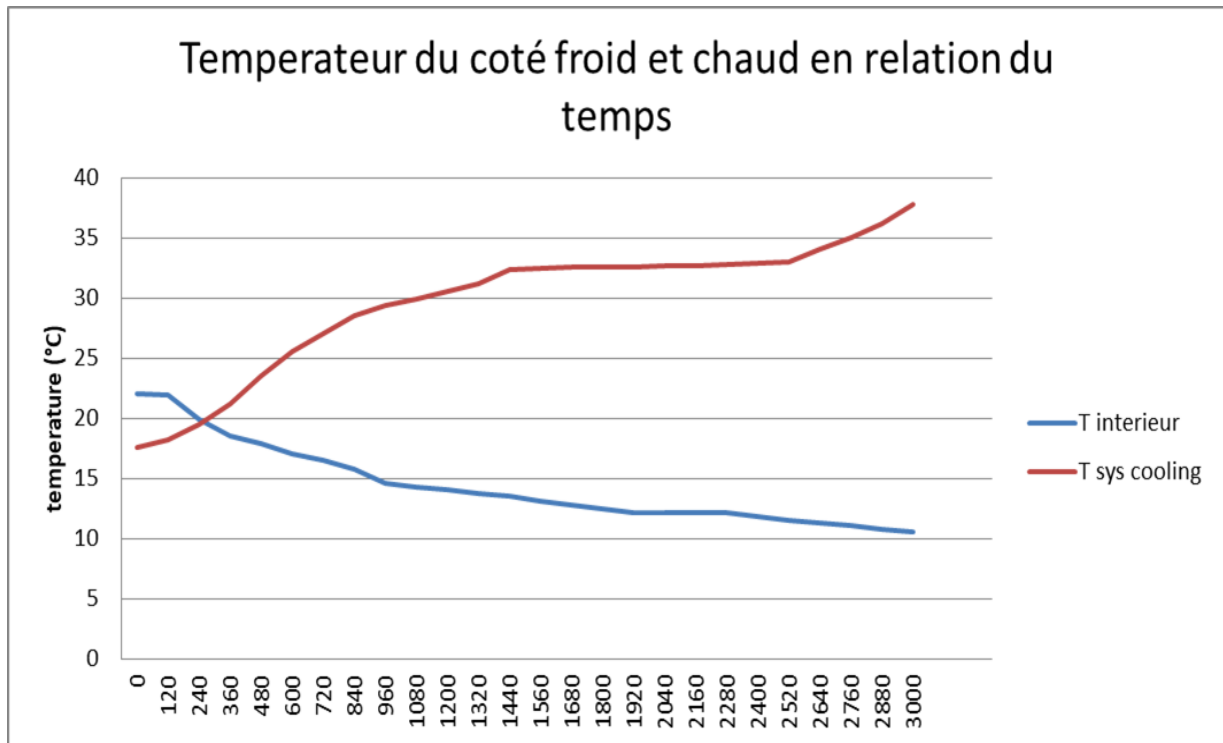
Les résultats ci-dessous ont été obtenus lors de la phase de test d'un dispositif de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier conçu précédemment dans le cadre d'une étude scientifique identique à la nôtre le système est constitué de 4 plaques Peltier un système de dissipation de chaleur à eau muni d'un radiateur et une source d'eau permanent afin d'évacuer la chaleur produite par le côté chaud des plaques Peltier et un système de distribution de froid (heat sink-fan) dissipateur de chaleur et ventilateur des deux côtés des plaques Peltier afin de distribuer le froid généré au sein de la chambre où la denrée alimentaire est placée pour être refroidie, un très bon travail qui a permis d'obtenir de très bons résultats avec des observations qui nous ont orientées et confortées dans notre démarche d'amélioration qui nous a valu aussi d'obtenir de bons résultats comme vous avez pu observer précédemment.

Tableau 3.2 : tableau de résultats expérimental obtenu par le dispositif antérieur

Temps (s)	T intérieur (°C)	T sys cooling (°C)
0	22	17,6
120	21,9	18,2
240	19,9	19,5
360	18,5	21,2
480	17,9	23,5
600	17,1	25,6
720	16,5	27,1
840	15,8	28,6
960	14,6	29,4
1080	14,3	29,9
1200	14,1	30,6
1320	13,8	31,2
1440	13,5	32,4
1560	13,1	32,5
1680	12,8	32,6
1800	12,5	32,6
1920	12,1	32,6
2040	12,1	32,7
2160	12,1	32,7
2280	12,1	32,8
2400	11,8	32,9
2520	11,5	33
2640	11,3	34,1
2760	11,1	35
2880	10,8	36,2
3000	10,5	37,8

Ce tableau montrer l'évolution des températures de l'air intérieur de la boîte, et du système d'extraction de chaleur des faces chaude des module Peltier

A partir de ce graphe on constate que la température du coté chaude augmente :



Graphique 3.2 : Comparaison entre les deux coté des Peltier le chaud et le froid de l'étude précédente

proportionnellement avec la température du coté froid c'est-à-dire que plus la température coté froid du module Peltier baisse plus le coté chaud génère de la chaleur ce qui se traduit par une augmentation de chaleur du fluide dans le système destiné à évacuer la chaleur du module Peltier ce qui implique l'implémentation d'un radiateur dans le système qui est principalement conçu pour refroidir l'eau venu de la source afin d'obtenir une eau assez froid pour évacuer l'excès de chaleur génère par la face chaude de la plaque Peltier car avec le temps plus cette température baisse plus celle du coté chaud augmente avec une allure plus rapide et d'après les tests fait en amont plus elle va augmenter plus elle influencera le coté froid.

3.5.2 la comparaison :

A partir de ses résultats et nos résultats obtenus par l'expérimentation nous pouvons entamer la comparaison des résultats des deux systèmes de refroidissement thermoélectrique :

Comme vous pouvez le voir pour la comparaison on s'est basé sur les mêmes tests expérimentales que notre système c'est-à-dire l'évolution des températures du refroidissement ainsi que la dissipation du chaud généré par l'autre face du module thermoélectrique en fonction du temps.

En examinant les résultats des deux appareils, on remarque en ce qui concerne le fonctionnement des deux systèmes qu'avec le passage du temps la température de refroidissement au sein de ses deux systèmes commence à descendre comme le montre la courbe en bleu des deux indiquant que le système de refroidissement fonctionne correctement dans les deux systèmes ce qui est interprété par une baisse de température, alors que l'on remarque la température de dissipation thermique traduite par la courbe représentée en rouge s'accroît graduellement, indiquant le début du processus de dissipation thermique, ainsi avec le passage de plus de temps, la courbe bleue continue de descendre, c'est-à-dire que la température interne continue de diminuer pour les deux appareils, jusqu'à ce qu'elle atteigne environ 10 °C, et cela dans un laps de temps d'environ 50 minutes dans l'ancien dispositif, alors qu'elle atteint le même degré dans les 22 minutes pour le nouveau système, et c'est comme un premier point positif, tandis que dans le même intervalle de temps pour l'ancien caisson, la température de dispersion thermique continue d'augmenter jusqu'à environ 38 °C, ce qui est une température assez élevée et inconfortable, par rapport au nouveau système qui dissipe de la chaleur, en maintenant la température entourant l'appareil à la même température ambiante, qui est estimée à 24 °C.

Donc pour conclure cette comparaison de l'évolution des températures de distribution de froid et extraction de chaleur entre deux systèmes de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier on a pu vérifier par l'expérimentation et par la comparaison avec les résultats obtenus par un système antérieur que nos améliorations ont un réel impact sur l'efficacité du système de refroidissement et ont vraiment apporté un gain de puissance ainsi nous pouvons dire que l'objectif du processus d'amélioration a été atteint en ayant réussi à obtenir le temps de refroidissement le plus bas possible ce qu'on attendaient comme résultats de notre système lors des études théoriques menées au chapitre II.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Ce mémoire avait pour objectif la conception et l'amélioration d'un système de refroidissement à effet Peltier ayant pour problématique comment procéder pour apporter de nouveaux composants à un tel système afin d'obtenir un gain réel en puissance et accentuer ses performances en réduisant le temps de refroidissement.

En premier, il nous a fallu revoir les bases de la thermoélectricité acquérant ainsi des connaissances en ce qui concerne les concepts et les principes sur lesquels elle est basée, se focalisant principalement sur la deuxième application de cette dernière à savoir le refroidissement, étudiant ainsi les systèmes de refroidissement à effet Peltier afin d'examiner de près et de cibler les principaux composants de ses dispositifs, et ainsi avoir une idée de comment procéder pour améliorer chaque aspect de ce dispositif en apportant des composants hautement efficaces et fiables qui vont nous permettre de construire et d'obtenir notre système de refroidissement, qui va non seulement reprendre l'idée principale sur laquelle sont basés généralement les systèmes de refroidissement thermoélectrique classique tout en respectant la vision qu'on a de notre dispositif, via le processus d'amélioration qui va le moderniser et le rendre plus efficace, avec un système d'acquisition de données automatisé via une carte Arduino ce qui nous a permis d'avoir des résultats très précis en seulement quelques clics sur ordinateur, et enfin un système d'alimentation assez puissant afin d'assurer une bonne distribution d'énergie et une protection pour tous les composants de notre dispositif ce dernier ayant la faculté d'être lié soit à une source d'énergie fixe, ou une source d'énergie renouvelable issue d'un système photovoltaïque solaire, afin d'obtenir les résultats escomptés dont nous étions très satisfaits d'atteindre au cours de la phase d'expérimentation de notre mémoire qui est principalement une température basse de 10.5°C au sein du dispositif en moins de 21 minutes, comparé à d'autres dispositifs qui reflètent l'impact qu'ont apportés nos améliorations à notre système de refroidissement thermoélectrique, car par le biais de ses améliorations nous avons effectivement pu augmenter l'efficacité et la puissance frigorifique générée de notre système de par l'utilisation des deux systèmes de refroidissement à air l'un pour évacuer la chaleur produite par la face chaude du module Peltier tâche qu'il a accomplie efficacement car lors des tests on a vu que la température de la face chaude est restée constante et l'autre pour distribuer le froid une réussite aussi car notre dispositif a pu atteindre une température basse en un temps record.

Nous nous sommes aussi penchés sur l'amélioration d'ingénierie structurelle en ce qui concerne les faces interne et externe de ce qui va être le réceptacle du système de refroidissement qui ajouté avec le reste des composants vont former notre dispositif avec des matériaux structurels caractérisés par la légèreté, la rigidité et une isolation élevée, fournissant ainsi de bons emplacements pour tous les systèmes de refroidissement afin qu'il puisse déployer toute sa puissance de refroidissement dans les meilleures conditions, et cela dans le but d'obtenir les résultats souhaités. Et ainsi atteindre l'objectif pour lequel on a entamé cette étude.

Ce travail vise principalement l'amélioration des performances d'un système de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier et ceux par l'amélioration des éléments qui composent de tels systèmes afin d'obtenir des temps de refroidissement très bas obtenant des résultats qui sont très prometteurs pour de futures améliorations tel que l'amélioration des jonctions composant les modules, l'interface thermique, ou bien opter pour d'autres technologies de dissipateurs thermiques grâce à qui l'amélioration du COP pourra être possible. En outre on peut envisager l'idée d'inclure plus de modules afin pour couvrir une plus grande surface de la boîte de réfrigération, et future conception de dispositifs de refroidissement thermoélectrique permettant ainsi la production l'amélioration de plus en plus de produits existants dans ce type de domaine, et pourquoi ne pas faire une opération de commercialisation à grande échelle dans un futur proche.

Références bibliographiques:

- [1] in le Groupe JFP, “Protocole de Montréal.” <https://www.climatisationjfp.com/lexicon/protocole-de-montreal/> (accessed Mar. 17, 2020).
- [2] La préfecture et les services de l’État en région Grand Est, “Information sur les risques des fluides frigorigènes: contrôles réglementaires de la DREAL Grand-Est.” https://www.prefectures-regions.gouv.fr/grand-est/Actualites/_A-TRIER-Merci-de-placer-correctement-vos-articles-dans-leur-rubrique/Information-sur-les-risques-des-fluides-frigorigenes-controles-reglementaires-de-la-DREAL-Grand-Est (accessed Mar. 17, 2020).
- [3] EDF, “Explained: Thermoelectricity | MIT News.” <http://news.mit.edu/2010/explained-thermoelectricity-0427> (accessed Jun. 11, 2020).
- [4] L. D. P. López, “Caractérisation des propriétés thermoélectriques des composants en régime harmonique : Techniques et Modélisation.,” UNIVERSITE BORDEAUX 1 Ecole, 2004.
- [5] J. Roux-Briffaud, “La Thermoélectricité,” *IUT Saint-Nazaire*. p. 23, 2008.
- [6] D. Boudemagh, “Synthèse et Etude de Matériaux Thermoélectriques du Système Mg₂Si_{1-x}Sn_x,” Université de Grenoble, 2010.
- [7] S. Ibtissem, “Étude et Modélisation d ’ un Générateur Thermoélectrique,” Université Abou Bekr Belkaid -, 2013.
- [8] P. C. P. GALLAIS and C. D. K. G. J.-B. MOUSSARD, “Etude du module thermoélectrique à effet Peltier,” 2008. [Online]. Available: <https://moodle.insa-rouen.fr>.
- [9] T. van Neerden, “Produire du froid avec l’électronique : comment fonctionne un module Peltier ?,” *Couleur-Science*, 2018. <https://couleur-science.eu/?d=8d149a--produire-du-froid-avec-lelectronique-comment-fonctionne-un-module-peltier> (accessed Jun. 11, 2020).
- [10] E. S. Kolesar, “Thermoelectric cooling: Review and application,” 1981.
- [11] M. Ilyas, “La structure électronique et les propriétés de transport des matériaux TiX₂ (X = S , Se et Te),” UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF, 2017.
- [12] D. Zhao and G. Tan, “A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 66, no. 1–2, pp. 15–24, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.01.074.
- [13] J. L. Bower and C. M. Christensen, “Les technologies de refroidissement.”
- [14] S. A. Abdul-Wahab *et al.*, “Design and experimental investigation of portable solar thermoelectric refrigerator,” *Renew. Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 30–34, 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.04.026.
- [15] M. Siahmargoi, N. Rahbar, H. Kargarsharifabad, S. E. Sadati, and A. Asadi, “An Experimental Study on the Performance Evaluation and Thermodynamic Modeling of a Thermoelectric Cooler Combined with Two Heatsinks,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1038/s41598-019-56672-9.
- [16] Y. H. Cheng and W. K. Lin, “Geometric optimization of thermoelectric coolers in a confined volume using genetic algorithms,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 25, no. 17–18, pp. 2983–2997, 2005, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2005.03.007.
- [17] Y. A.çengel, *Thermodynamics and heat transfer 2nd Edition*, Second Edi. McGraw-Hill, 2004.
- [18] S. Chaudourne, “Echangeurs à caloducs pour la récupération de chaleur dans les processus industriels,” 1982.
- [19] O. E. Limited, “A quoi ser un système d’acquisition de données.”

- <https://www.omega.fr/prodinfo/acquisition-de-donnees.html> (accessed May 17, 2020).
- [20] Thermonamic, “Specification of Thermoelectric Module TEC1-12706,” [Online]. Available: [Www.thermonamic.com](http://www.thermonamic.com).
- [21] Electron, “Peltier Module Hebei TEC1-12706.” <https://www.electron.com/peltier-module-hebei-tec1-12706-p357/> (accessed Jun. 12, 2020).
- [22] C. Master, “About Cooler Master.” <https://www.coolermaster.com/fr/fr-fr/about-cooler-master/> (accessed May 15, 2020).
- [23] C. Master, “MasterAir MA610P.” <https://www.coolermaster.com/catalog/coolers/cpu-air-coolers/masterair-ma610p/> (accessed May 15, 2020).
- [24] I. Advanced Cooling Technologies, “How Heat Pipe Technology Works & Applications,” 2018. <https://www.1-act.com/resources/heat-pipe-resources/> (accessed May 10, 2020).
- [25] Horyax, “Comment fonctionne un caloduc ?” <http://horyax.fr/comment-fonctionne-un-caloduc.html> (accessed May 10, 2020).
- [26] C. Master, “Hyper T200.” <https://www.coolermaster.com/catalog/coolers/cpu-air-coolers/hyper-t200/> (accessed May 15, 2020).
- [27] ARDUINO, “Qu’est-ce que Arduino ? - Arduino France.” <https://www.arduino-france.com/tutoriels/quest-ce-que-arduino/> (accessed May 20, 2020).
- [28] H. B. Wafaa and B. Asma, “Conception et réalisation d’un prototype d’un système de refroidissement à panneau solaire pour une glacière,” 2017.
- [29] ARDUINO, “Arduino - Introduction,” 2020. <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction> (accessed May 22, 2020).
- [30] R. Maker, “Breadboard micro.” <https://www.robot-maker.com/shop/composants/119-breadboard-micro-119.html> (accessed Jun. 12, 2020).
- [31] Moussasoft, “Capteur de Température Digital avec Sonde DS18B20,” 2014. <https://www.moussasoft.com/product/capteur-de-temperature-digital-avec-sonde-ds18b20> (accessed Jun. 12, 2020).
- [32] Sewosy, “Alimentation CCTV à découpage 12VDC 5 A - ADCCTV1205-08 | SEWOSY.” <https://www.sewosy.com/fr/accessoires/alimentations/alimentation-cctv-decoupage-12vdc-5> (accessed Jun. 12, 2020).
- [33] Buildit, “Panneau en polystyrène expansé (PSE) : Avantages, applications et prix,” 2020. <https://www.isolation-expert.be/panneaux-isolants/polystyrene-expanse> (accessed Jun. 12, 2020).

ANNEXE

Tableau 3.1 : évolution de la température froide et température chaude du module thermoélectrique

Time	Temp1	Temp2
12:58:30	23,81	16,37
12:58:40	23,81	15,94
12:58:49	23,81	15,75
12:58:59	23,87	15,5
12:59:09	23,81	15,38
12:59:18	23,87	15,19
12:59:28	23,81	15,06
12:59:37	23,87	14,88
12:59:47	23,87	14,69
12:59:57	23,87	14,56
13:00:06	23,87	14,44
13:00:16	23,87	14,25
13:00:25	23,87	14,19
13:01:04	23,87	14,06
13:01:04	23,87	14
13:01:04	23,94	13,88
13:01:04	23,94	13,75
13:01:13	23,94	13,69
13:01:23	23,94	13,56
13:01:32	23,87	13,5
13:01:42	23,87	13,38
13:01:52	23,87	13,31
13:02:01	23,87	13,25
13:02:11	23,94	13,19
13:02:20	23,94	13,06
13:02:30	23,94	13,06
13:02:40	23,87	13
13:02:49	23,87	12,94
13:02:59	23,81	12,81
13:03:08	23,87	12,75
13:03:18	23,81	12,75
13:03:28	23,87	12,63
13:03:37	23,87	12,63
13:03:47	23,87	12,63
13:03:56	23,81	12,5
13:04:06	23,87	12,5
13:04:16	23,87	12,44
13:04:25	23,87	12,44
13:04:35	23,87	12,44
13:04:44	23,81	12,31
13:04:54	23,81	12,31
13:05:04	23,87	12,25
13:05:13	23,81	12,19

13:05:23	23,81	12,13
13:05:32	23,81	12,13
13:05:42	23,81	12,06
13:05:52	23,81	12,06
13:06:01	23,81	12,06
13:06:11	23,81	12
13:06:20	23,81	12
13:06:30	23,81	11,94
13:06:40	23,81	11,94
13:06:49	23,81	11,94
13:06:59	23,81	11,88
13:07:08	23,81	11,81
13:07:18	23,81	11,75
13:07:27	23,81	11,75
13:07:37	23,81	11,75
13:07:47	23,81	11,75
13:07:56	23,81	11,75
13:08:06	23,87	11,69
13:08:15	23,81	11,75
13:08:25	23,81	11,56
13:08:35	23,87	11,63
13:08:44	23,87	11,63
13:08:54	23,81	11,56
13:09:03	23,87	11,56
13:09:13	23,87	11,5
13:09:23	23,94	11,44
13:09:32	23,87	11,5
13:09:42	23,87	11,44
13:09:51	23,81	11,44
13:10:01	23,81	11,38
13:10:11	23,81	11,44
13:10:20	23,87	11,38
13:10:30	23,87	11,31
13:10:39	23,94	11,31
13:10:49	23,81	11,31
13:10:59	23,87	11,31
13:11:08	23,87	11,25
13:11:18	23,94	11,31
13:11:27	23,87	11,19
13:11:37	23,94	11,25
13:11:47	23,94	11,19
13:11:56	23,94	11,19
13:12:06	23,94	11,19
13:12:15	23,94	11,13
13:12:25	23,94	11,13
13:12:35	23,94	11,06
13:12:44	23,94	11,13
13:12:54	24,00	11,06

13:13:03	23,94	11,06
13:13:13	23,87	11,06
13:13:23	23,94	11,06
13:13:32	23,87	11
13:13:42	23,87	11
13:13:51	23,87	11,06
13:14:01	23,87	11,06
13:14:10	23,87	11
13:14:20	23,87	11
13:14:30	23,87	10,94
13:14:39	23,87	10,94
13:14:49	23,87	11
13:14:58	23,87	10,94
13:15:08	23,94	10,94
13:15:18	23,87	10,94
13:15:27	23,94	10,94
13:15:37	23,94	10,88
13:15:46	23,87	10,88
13:15:56	23,87	10,81
13:16:06	23,94	10,88
13:16:15	23,94	10,81
13:16:25	23,94	10,75
13:16:34	23,87	10,81
13:16:44	23,94	10,81
13:16:54	23,94	10,75
13:17:03	23,94	10,81
13:17:13	23,94	10,81
13:17:22	23,94	10,81
13:17:32	23,94	10,75
13:17:42	24,00	10,75
13:17:51	23,94	10,75
13:18:01	23,94	10,69
13:18:10	23,87	10,69
13:18:20	23,94	10,69
13:18:30	23,94	10,75
13:18:39	23,94	10,75
13:18:49	23,87	10,69
13:18:58	23,81	10,75
13:19:08	23,87	10,69
13:19:18	23,87	10,63
13:19:27	23,87	10,63
13:19:37	23,87	10,63
13:19:46	23,81	10,69
13:19:56	23,87	10,63
13:20:06	23,94	10,63
13:20:15	23,87	10,56
13:20:25	23,87	10,63
13:20:34	23,94	10,56

13:20:44	23,87	10,56
13:20:53	23,94	10,56
13:21:03	23,94	10,5
13:21:13	23,94	10,5
13:21:22	23,94	10,5
13:21:32	23,94	10,56
13:21:41	23,94	10,56
13:21:51	23,94	10,44
13:22:01	23,94	10,56
13:22:10	23,87	10,44
13:22:20	23,87	10,44
13:22:29	23,94	10,5
13:22:39	23,87	10,44
13:22:49	23,94	10,44
13:22:58	23,94	10,44
13:23:08	23,87	10,5
13:23:17	23,94	10,44
13:23:27	24,00	10,44
13:23:37	23,94	10,44
13:23:46	23,94	10,38
13:23:56	24,00	10,38
13:24:05	23,94	10,38
13:24:15	23,94	10,44
13:24:25	24,00	10,44
13:24:34	24,00	10,44
13:24:44	23,94	10,44
13:24:53	24,00	10,44
13:25:03	23,94	10,38
13:25:13	23,94	10,38
13:25:22	24,00	10,44
13:25:32	24,00	10,38
13:25:41	24,00	10,31
13:25:51	24,00	10,38
13:26:01	24,06	10,38
13:26:10	24,00	10,38
13:26:20	24,00	10,38
13:26:29	24,00	10,38
13:26:39	24,00	10,38
13:26:49	24,00	10,38
13:26:58	24,06	10,38
13:27:08	24,00	10,31
13:27:17	24,00	10,38
13:27:27	24,00	10,38
13:27:36	24,00	10,38
13:27:46	24,00	10,38
13:27:56	24,00	10,31
13:28:05	24,00	10,38
13:28:15	24,00	10,31

13:28:24	24,00	10,31
13:28:34	24,00	10,31
13:28:44	24,00	10,31
13:28:53	24,00	10,31
13:29:03	24,00	10,31
13:29:12	23,94	10,31
13:29:22	23,94	10,31
13:29:32	23,94	10,38
13:29:41	23,94	10,31
13:29:51	24,06	10,31
13:30:00	24,00	10,25
13:30:10	24,00	10,31
13:30:20	24,00	10,31
13:30:29	23,94	10,31
13:30:39	23,94	10,31
13:30:48	24,00	10,31
13:30:58	23,94	10,31
13:31:08	23,94	10,31
13:31:17	23,94	10,31
13:31:27	23,94	10,38
13:31:36	24,00	10,5
13:31:46	24,00	10,63
13:31:56	23,94	10,81
13:32:05	24,00	10,81
13:32:15	23,94	10,88
13:32:24	24,00	10,88
13:32:34	23,94	10,94
13:32:44	24,00	11
13:32:53	24,00	11,06
13:33:03	24,00	11,06
13:33:12	24,00	11,06
13:33:22	24,00	11
13:33:32	24,00	11
13:33:41	24,00	11
13:33:51	24,06	10,94
13:34:00	24,00	10,94
13:34:10	24,00	10,94
13:34:19	24,00	10,88
13:34:29	23,94	10,88