



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieure Et De La Recherche
Scientifique

Université Mouloud MAMMERI De Tizi-Ouzou

Faculté de génie de construction

Département mécanique

MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention de diplôme de master en Electromécanique

Option: Maintenance industrielle

**Thème : Etude expérimentale d'un module thermoélectrique avec
réalisation d'une application à effet Peltier**

Réalisé par :

BOURENANE Menad

CHENDER Samir

Encadré par :

M FOUCHANE

Année universitaire : 2020-2021

Dépose-le : 13/01/2022

Dédicaces

A nos parents

Pour tous les sacrifices qu'ils ont faits et pour tout le soutien qu'ils ont offert tout au long de nos études.

J'espère qu'ils puissent trouver dans ce modeste travail un témoignage d'amour et d'affection envers eux.

A nos amis et nos collègues

Pour leur encouragement et pour tous les bons moments qu'on a vécus ensemble.

J'espère que notre amitié durera éternellement.

Remerciement

Au terme de ce travail,

Nous tenons en premier lieu à remercier le bon dieu pour le courage et la patience qu'il nous a donnée à fin de mener ce projet a terme.

Nous remercions nos enseignants et encadreur Mr FOUCHANE qui nous a vraiment aidés dans la conception de ce projet,

Nous remercions également nos parents et tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin, nos remerciement vont à tous ceux qui, de loin ou de prêt ont aidé à l'élaboration de ce mémoire.

Table des matières

Introduction générales	5
Chapitre I: Généralités sur la production du froid	
I.1 Introduction.....	6
I.2 Réfrigération naturelle	7
I.3 Refroidissement par évaporation.....	8
I.4 Refroidissement par les solutions salines.....	8
I.5 La naissance du froid artificiel.....	8
I.6 Réfrigération artificielle.....	9
I.7 Les utilisations de la réfrigération artificielle	10
I.8 Systèmes de réfrigération domestiques	10
I.9 Fonctionnement du circuit frigorifique	11
I.10 Echanges thermiques, conduction, rayonnement, convection.....	12
I.11 Changement d'état de la matière frigorifique.....	13
I.12 Changement d'état physique.....	14
I.13 Systèmes de réfrigération thermoélectriques	15
Chapitre II : introduction a la thermoélectricité	
II.1 Introduction.....	18
Historique	19
II.2 La Thermoélectricité.....	20
II.3 Phénomène thermoélectrique.....	21
II.3.1 Effet Seebeck	21
II.3.1.1 L'effet Seebeck dans les thermomètres	22
II.3.1.2 L'effet Seebeck dans la production d'électricité.....	22
II.3.1.3 Domaine d'Applications Effet Seebeck.....	22
II.3.2 Effet Peltier	23
II.3.2.1 Domaine d'Applications Effet Peltier.....	23
II.3.2.2 Avantages et inconvénients de l'effet Peltier	24
II.3.3 L'effet Thomson.....	24
II.3.3.1 Domaine d'Applications Effet Thomson.....	25
II.4 Produire du froid avec l'électronique	25
II.5 Le thermocouple	26
II.6 Module thermoélectrique.....	27
Conclusion.....	28

Chapitre III: Le module Peltier a semi-conducteurs

III.1 Le module Peltier à semi-conducteurs	29
III.1.1 Les Semi-conducteurs P et N	30
III.2 Le fonctionnement du module Peltier	30
III.3 Structure principal d'un dispositif de refroidissement	31
III.3.1 Structure et processus de l'élément Peltier	31
III.3.2 Exigences de fonctionnement de l'élément Peltier	33
III.4 Caractéristiques de l'élément Peltier.....	34
III.5 La supériorité du refroidissement thermoélectrique sur la réfrigération traditionnelle.....	35
• Calcul du flux de chaleur circulant dans chaque patte	36
• Calcul de la Puissance thermique.....	37
• Le coefficient de performance: COP.....	39
• Conditions de fonctionnement nominal.....	40
• Exemple de calcul du courant et de l'absorption thermique	40
• Déterminer le courant de fonctionnement et l'absorption thermique.....	41
III.6 Fatigue thermique dans les modules Peltier	41
III.7 Les applications actuelles du module Peltier.....	44
III.8 Les applications futures du module Peltier.....	44
III.9 Solutions existantes à base d'éléments Peltier	44
III.9.1 Domaines de mise en œuvre.....	45
Conclusion.....	46
CHAPITRE IV Réalisation d'une machine à refroidissement / chauffage d'eau a module Peltier	47
IV.1 Matériel utilisé	47
IV.2 Construire une unité de refroidissement.....	55
IV.3 Méthodologie de conception.....	56
IV.3.1 Calculs de la charge de refroidissement : théorique.....	56
IV.3.2 Sélection du nombre de modules Peltier	56
IV.4 Assemblage du system de refroidissement thermoélectrique.....	57
IV.4.1 Expérimentation	57
IV.4.2 Précautions	58
IV.5 Resultats obtenues	58
Conclusion générales	28
Annexes : photos du prototype.....	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure I.1 fonctionnement du circuit frigorifique.....	11
Figure I.2 Conduction.....	12
Figure I.3 Rayonnement.....	13
Figure I.4 les changements d'états	14
Figure I.5 Schéma d'un système de réfrigération thermoélectrique	16
Figure II.1 Publications de littérature ouverte sur la base de données Web of Science avec le mot clé "thermoélectrique" en pourcentage de toutes les publications sur la base de données pour chaque année de 1955 à 2003.	20
Figure II.2 Un diagramme montrant l'effet Seebeck. La différence de température entre les deux jonctions est ΔT . α : Seebeck coefficient (thermopower)	21
Figure II.3 Un diagramme expliquant l'effet Peltier.....	23
Figure III.4 Schéma (simplifié) d'un thermocouple.....	26
Figure II.5 alternance de jonction chaude et froide.....	26
Figure II.6 constitution du module thermoélectrique	27
Figure III.1 Schéma d'un module thermoélectrique muni de jonctions de type « p » et « n ».....	29
Figure III.2 Dopages N (avec l'électron en trop) et P (avec le déficit d'électron).....	30
Figure III.3 fonctionnement d'un module Peltier.....	31
Figure III.4 Schéma d'un refroidisseur thermoélectrique typique. Copié de Warren M. Rohsenow.....	32
Figure III.5 Processus de l'effet Peltier. Copié de Nat Bowers	32
Figure III.6 Structure et fonctionnement de l'élément Peltier/ Assemblage avec l'élément Peltier.....	33
Figure III.7 Exemple de courbe d'élément Peltier représentant la dépendance entre la différence de température (ΔT) et la tension appliquée (V).....	34
Figure III.8 Conditions de référence utilisées	40
Figure III.9 Calcul du paramètre à l'aide des schémas fonctionnels de la fiche technique	41
Figure III.10 Liaisons de soudure et de frittage d'un module Peltier conventionnel.....	41
Figure III.11 Les améliorations de la structure arcTEC augmentent la fiabilité et les performances thermiques	42
Figure III.12 Répartition améliorée de la température dans les modules à structure TEC (bas) par rapport aux modules conventionnels (haut)	43
Figure III.13 Évaluation de la fiabilité en surveillant les changements de résistance	43
Figure IV.1 Variation de la température en fonction du temps (sans charge).....	42
Figure IV.2 Variation de la température en fonction du temps (charge).....	58
Figure IV.3 l'effet réfrigérant	61
Figure IV.4 chauffage de 500 ml d'eau pour maintenir la température entre 20°C et 22°C	64
Figure IV.5 refroidissement à l'air ambiant (.....	67
Figure IV.6 refroidir et maintenir la température d'eau entre 18°C et 20°C	68

Listes des tableaux

Tableau 1 Variation de la température en fonction du temps (sans charge).....	59
Tableau 2 refroidir l'eau à la température initiale de 32°C.....	60
Tableau 3 calcul de l'effet réfrigérant	63
Tableau 4 calculs coefficient de performance COP	64
Tableau 5 chauffage de 500 ml d'eau pour maintenir la température entre 20°C et 22°C.....	66
Tableau 6 l'effet réfrigérant.....	67
Tableau 7 réchauffer l'eau à partir de 20°C	69
Tableau 8 Refroidir et maintenir la température entre 18°C et 20°C Température de l'eau 27 °C.....	70

INTRODUCTION GENERALE

Les basses températures sont une nécessité partout dans le monde, à un titre ou à un autre. Leur utilisation varie du stockage des médicaments aux questions de la vie quotidienne comme l'eau potable. Avec l'évolution de la technologie, les moyens de produire ces basses températures ont également changé. De la récolte de la neige et de la glace aux climatiseurs et aux échangeurs de chaleur, nous avons en effet parcouru un long chemin. Cependant, chaque système a ses propres problèmes et effets néfastes. Le refroidissement thermoélectrique est une nouvelle méthode qui peut être utilisée pour obtenir les résultats souhaités avec moins d'inconvénients.

Les premières études concernant le refroidissement thermoélectrique remontent à 1823, lorsqu'on a découvert qu'un courant électrique circulait en permanence dans un circuit composé de deux métaux dissemblables si les jonctions de ces métaux étaient maintenues à deux températures différentes. Un scientifique allemand, Thomas Seebeck, est à l'origine de cette observation. Sur la base de ce concept, Jean Peltier a découvert l'inverse de cet effet, à savoir qu'une différence de température serait produite si un courant constant passait dans un circuit similaire. C'est sur le principe de cette découverte que fonctionne le refroidissement thermoélectrique. Grâce aux développements ultérieurs dans ce domaine par Emil Lenz et Altenkirch, on a appris que cet effet pouvait même geler l'eau et que les matériaux thermoélectriques devaient avoir certaines propriétés telles qu'un coefficient Seebeck élevé, une conductivité électrique élevée, une faible conductivité thermique, etc. De plus, la direction du flux thermique dépend de la direction du courant électrique appliqué et du coefficient Seebeck relatif des deux matériaux. En outre, la direction du flux de chaleur dépend de la direction du courant électrique appliqué et du coefficient de Seebeck relatif des deux matériaux. Sur cette base, un module Peltier ou module thermoélectrique a été conçu. Il s'agit d'une pompe à chaleur active à l'état solide qui consiste en un certain nombre de couples de semi-conducteurs de type p et n connectés électriquement en série et thermiquement en parallèle, pris en sandwich entre deux substrats thermiquement conducteurs et électriquement isolés.

Objectif de ce travail :

Dans ce travail, nous avons réalisé une machine de refroidissement (chauffage) de l'eau à l'aide d'un module de Peltier (3 modules), qui nous a garanti à assurer le refroidissement de l'eau courante et la congélation (sans charge), nous avons fait plusieurs essais sans avec charge (eau), nous avons évacué la chaleur à l'aide d'un échangeur de chaleur tubulaire muni d'ailettes et de ventilateurs, sur lequel nous avons fait des capteurs de température à l'entrée et à la sortie, ce qui nous a permet de calculer les COP de notre machines.

Nous avons commencé par des généralités sur la production du froid ensuite nous avons abordé le deuxième chapitre par une introduction à la thermoélectricité, dans le troisième chapitre on a fait le module Peltier à semi-conducteurs, dans le Chapitre IV Réalisation d'une machine de refroidissement/ chauffage d'eau

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA PRODUCTION DE FROID

Résumé

Le changement climatique étant une réalité et les températures grim pant en flèche, l'eau à basse température est une nécessité partout. Puisque les moyens de refroidissement de l'eau ne sont pas facilement disponibles pour toutes les sections de la société, une méthode alternative pour le faire est le besoin de l'heure. Un système de refroidissement basé sur l'effet Peltier utilise très peu d'énergie et est portable. Il utilise un module thermoélectrique très fin à travers lequel le transfert de chaleur requis peut être réalisé.

I.1 Introduction

La réfrigération peut être définie comme le processus consistant à atteindre et à maintenir une température inférieure à celle de l'environnement, l'objectif étant de refroidir un produit ou un espace à la température requise. L'une des applications les plus importantes de la réfrigération est la conservation des produits alimentaires périssables en les stockant à basse température. Les systèmes de réfrigération sont également largement utilisés pour assurer le confort thermique des êtres humains par le biais de la climatisation. Le conditionnement de l'air désigne le traitement de l'air de manière à contrôler simultanément sa température, sa teneur en humidité, sa propreté, son odeur et sa circulation, en fonction des besoins des occupants, d'un processus ou des produits présents dans l'espace. Le sujet de la réfrigération et de la climatisation a évolué à partir du besoin humain de nourriture et de confort, et son histoire remonte à plusieurs siècles. L'histoire de la réfrigération est très intéressante car tous ses aspects, la disponibilité des fluides frigorigènes, les moteurs principaux et les développements des compresseurs et de la technologie de la réfrigération, ont été étudiés.

I.2 Réfrigération naturelle

Autrefois, la réfrigération était obtenue par des moyens naturels tels que l'utilisation de glace ou le refroidissement par évaporation. Dans les temps anciens, la glace était soit :

- Transporté à partir de régions plus froides,
- Récolté en hiver et stocké dans des glaciers pour être utilisé en été ou, fabriqué pendant la nuit par le refroidissement de l'eau par rayonnement dans la stratosphère.

En Europe, en Amérique et en Iran, un certain nombre de glaciers ont été construits pour stocker la glace. Des matériaux comme la sciure ou les copeaux de bois étaient utilisés comme matériaux isolants dans ces glaciers. Plus tard, le liège a été utilisé comme matériau isolant. La littérature révèle que la glace a toujours été disponible pour l'aristocratie qui pouvait se la permettre. En Inde, les empereurs moghols étaient très friands de glace pendant les rudes étés à Delhi et Agra, et il semble que la glace était fabriquée par refroidissement nocturne.

En 1806, Frederic Tudor (que l'on a appelé plus tard le "roi de la glace") a commencé le commerce de la glace en la coupant dans le fleuve Hudson et les étangs du Massachusetts et en l'exportant vers différents pays, dont l'Inde. En Inde, la glace de Tudor était moins chère que la glace fabriquée localement grâce au refroidissement nocturne. Le commerce de la glace en Amérique du Nord était un commerce florissant. La glace était transportée vers les États du sud de l'Amérique dans des compartiments de train isolés par 0,3 m de liège. Le commerce de la glace était également populaire dans plusieurs autres pays comme la Grande-Bretagne, la Russie, le Canada, la Norvège et la France. Dans ces pays, la glace était soit transportée depuis des régions plus froides, soit récoltée en hiver et stockée dans des glaciers pour être utilisée en été. Le commerce de la glace a atteint son apogée en 1872, lorsque les États-Unis ont exporté à eux seuls 225 000 tonnes de glace vers divers pays, jusqu'à la Chine et l'Australie. Cependant, avec l'avènement de la réfrigération artificielle, le commerce de la glace a progressivement décliné.

I.3 Refroidissement par évaporation

Comme son nom l'indique, le refroidissement par évaporation est le processus consistant à réduire la température d'un système par évaporation de l'eau. Les êtres humains transpirent et dissipent leur chaleur métabolique par refroidissement par évaporation si la température ambiante est supérieure à la température de la peau. Les animaux tels que l'hippopotame et le buffle s'enduisent de boue pour se refroidir par évaporation. Le refroidissement par évaporation est utilisé en Inde depuis des siècles pour obtenir de l'eau froide en été en stockant l'eau dans des pots en terre. L'eau pénètre à travers les pores du récipient en terre jusqu'à sa surface extérieure où elle s'évapore dans l'environnement, absorbant en partie sa chaleur latente du récipient, ce qui refroidit l'eau. On dit que l'université de Patliputra, située sur la rive du Gange, avait l'habitude d'aspirer l'air refroidi par évaporation du fleuve. Des cheminées judicieusement placées dans les pièces augmentaient le flux ascendant d'air chaud, qui était remplacé par de l'air frais. Le refroidissement par évaporation en plaçant des paillasons humides sur les fenêtres est également très courant en Inde. Le tapis de paille fabriqué à partir de "khus" ajoute également son parfum inhérent à l'air. Aujourd'hui, les refroidisseurs du désert sont utilisés dans les régions chaudes et sèches pour rafraîchir l'air en été.

I.4 Refroidissement par les solutions salines

Certaines substances telles que le sel ordinaire, lorsqu'elles sont ajoutées à l'eau, se dissolvent dans l'eau et absorbent la chaleur de solution de l'eau (processus endothermique). Cela réduit la température de la solution (eau+sel). Le sel de chlorure de sodium (NaCl) peut donner des températures allant jusqu'à -20°C et le chlorure de calcium (CaCl_2) jusqu'à -50°C dans des récipients correctement isolés. Cependant, en l'état, ce procédé a une application limitée, car le sel dissous doit être récupéré de sa solution par chauffage.

I.5 La naissance du froid artificiel

Après avoir constaté que les aliments se conservaient mieux en hiver, l'Homme a longtemps cherché à reproduire les températures hivernales afin de préserver ses denrées même en été. C'est comme cela qu'au fil des siècles, les Hommes furent amenés à créer de la glace et du froid artificiel.

Il aura fallu attendre la découverte du microscope pour s'apercevoir que les températures inférieures à 10°C ne tuaient pas les microbes mais empêchaient leur développement. Ce fut alors évident que conserver les denrées alimentaires en utilisant du froid était beaucoup plus intéressant que d'utiliser des méthodes ancestrales comme le séchage, le fumage ou le salage.

C'est en 1862 lors de l'exposition universelle que Ferdinand Carré fit découvrir au monde entier sa machine produisant d'énormes blocs de glace. Sa machine suscita l'étonnement général du public du fait qu'elle produisait de la glace grâce à la chaleur. La première machine à absorption était alors destinée à un usage industriel. Un modèle portatif permettait à l'époque d'améliorer le confort quotidien de ses contemporains. Le frère de Ferdinand, Edmond Carré, conçut un appareil offrant la possibilité de rafraîchir les carafes d'eau ou de vin.

La première armoire conservatrice fût inventée par Charles Tellier. Pour démontrer l'efficacité de son procédé de réfrigération devant les membres de l'Académie des Sciences, il fit partir de France un navire, nommé le Frigorifique, rempli de carcasses de viande et de volailles vers l'Amérique du Sud. Une fois le voyage retour achevé, tout le monde pu constater que la cargaison était intacte. Cette expérience fut reproduite deux ans plus tard avec un chargement de 80 tonnes de viandes congelées à -30°. Les chambres froides étaient alimentées grâce à des machines frigorifiques à absorption.

I.6 Réfrigération artificielle

La réfrigération telle qu'on la connaît aujourd'hui est produite par des moyens artificiels. Bien qu'il soit très difficile de distinguer clairement la réfrigération naturelle de la réfrigération artificielle, il est généralement admis que l'histoire de la réfrigération artificielle a commencé en 1755, lorsque le professeur écossais William Cullen a fabriqué la première machine frigorifique, qui pouvait produire une petite quantité de glace en laboratoire. Sur la base du principe de fonctionnement, les systèmes de réfrigération peuvent être classés en systèmes à compression de vapeur, systèmes à absorption de vapeur, systèmes à cycle de gaz, etc.

I.7 Les utilisations de la réfrigération artificielle

Le froid artificiel a bouleversé le monde de l'industrie dans de nombreux domaines :

- Durée de conservation rallongée de la viande, des légumes et produits de la pêche grâce à la réfrigération puis à la congélation dans l'industrie alimentaire,
- Transformation des opérations d'assemblage pour l'industrie de la métallurgie, mécaniques, chimiques, atomiques et spatiales.
- Fabrication à l'échelle industrielle de l'oxygène liquide.
- Changement des procédés des industries chimiques et pétrochimiques avec la liquéfaction du chlore, fabrication de matières plastiques, liquéfaction du gaz naturel pour en faciliter son transport, etc...
- Fabrication des médicaments et conservation des produits utilisés.

Ce n'est qu'au XX^{ème} siècle que la réfrigération s'est imposée dans nos maisons avec l'arrivée des premiers réfrigérateurs. De nombreux inventeurs s'attribuent l'invention du réfrigérateur car cette technologie a mis beaucoup de temps à se développer. Le chlorure de méthyle fut le premier gaz frigorigène utilisé dans les réfrigérateurs ménagers puis il fut remplacé par des composés halogénés (R 12) après la deuxième guerre mondiale.

Enfin pour un confort appréciable en été, c'est en 1902 que sont arrivés les premiers systèmes d'air climatisé avec Willis Carter. La climatisation naturelle était déjà présente dans l'Antiquité mais c'est seulement depuis plus d'un siècle que nous possédons des systèmes performants.

I.8 Systèmes de réfrigération domestiques

Le réfrigérateur domestique utilisant de la glace naturelle (glacière domestique) a été inventé en 1803 et a été utilisé pendant près de 150 ans sans grande modification. La glacière domestique était fabriquée en bois avec une isolation appropriée. La glace était conservée dans la partie supérieure de la glacière, et de basses températures étaient produites dans la glacière en raison du transfert de chaleur de la glace par convection naturelle. Une lèchefrite est utilisée pour recueillir l'eau formée par la fonte de la glace. La boîte doit être remplie de glace fraîche une fois que toute la glace a fondu. Bien que le concept soit assez simple, la glacière domestique présentait plusieurs inconvénients.

L'utilisateur doit réapprovisionner la glace au fur et à mesure qu'elle fond dès qu'elle est consommée, et les températures les plus basses qui pourraient être produites à l'intérieur du compartiment sont limitées. En outre, il semble que les hivers chauds aient

provoqué une grave pénurie de glace naturelle aux États-Unis. C'est pourquoi, à partir de 1887, des efforts ont été faits pour développer des réfrigérateurs domestiques utilisant des systèmes mécaniques. Les premiers réfrigérateurs mécaniques domestiques étaient coûteux, pas complètement automatiques et peu fiables. Cependant, le développement de réfrigérateurs domestiques mécaniques à grande échelle a été rendu possible par la mise au point de petits compresseurs, de contrôles automatiques du réfrigérant,

I.9 Fonctionnement du circuit frigorifique

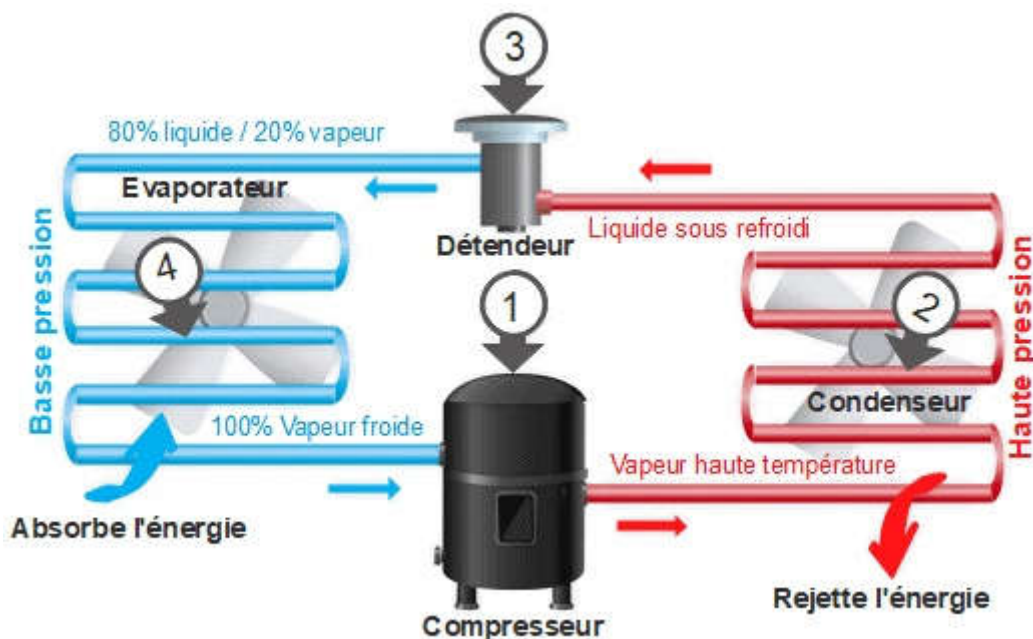


Figure I. 1 fonctionnement du circuit frigorifique

1:Compression

Le compresseur aspire le fluide à basse pression et à basse température, l'énergie mécanique de la compression va permettre une élévation de la pression et de la température. La différence de pression va permettre au fluide de circuler dans le circuit frigorifique.

Ici le fluide est à l'état gazeux.

2:Condensation

Les gaz chauds haute pression et haute température venant du compresseur se dirigent vers le condenseur, le condenseur est un échangeur qui va permettre au fluide de se condenser par échange avec un fluide extérieur (l'eau, l'air..) à température et pression constante, c'est la

phase de condensation, la vapeur se transforme progressivement en liquide.

3:Détente

Le liquide sous refroidi est vaporisé partiellement par abaissement brusque de la pression au passage de l'orifice calibrée du détendeur. Il assure la modulation du débit du fluide dans l'évaporateur.

4: Évaporation

L'évaporateur est lui aussi un échangeur de chaleur, le fluide liquide provenant du détendeur va entrer en ébullition ou évaporation dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur au fluide extérieur, (l'eau, l'air..) c'est la phase d'évaporation (changement d'état liquide /vapeur). Le fluide est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.

I.10 Echanges thermiques, conduction, rayonnement, convection

En climatisation comme en froid, il est important de comprendre les phénomènes qui régissent les propriétés de l'air.

La conduction :

Quand une différence de température dans un même corps solide se produit, le mode de transfert thermique s'appelle la conduction.

La chaleur se transmet petit à petit par un mouvement des électrons libres (agitation thermique des molécules), cette chaleur se propage avec plus ou moins de facilité suivant la nature des matériaux, il est à noter que les bons conducteurs de chaleur sont aussi de bons conducteurs électriques.

D'après la loi de Fourier plus la différence de température à l'intérieur d'un même corps est importante plus rapidement la chaleur se déplacera.

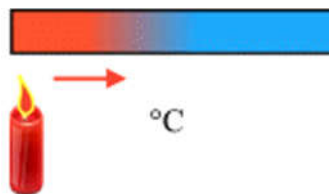


Figure I.2 Conduction

Le rayonnement :

La différence du rayonnement vis-à-vis des autres transferts de chaleur est que les substances considérées qui échangent de la chaleur n'ont pas besoin d'être en contact l'une avec l'autre.

Tout élément émettant de la chaleur par rayonnement vers des éléments plus froids se fait indifféremment à travers l'air, le vide, et même le vide spatial, un exemple commun de ce phénomène est le rayonnement solaire. Plus précisément le rayonnement solaire se fait grâce à l'émission et au transport d'énergie des ondes électromagnétique.

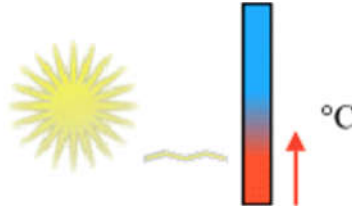


Figure I.3 Rayonnement

La convection :

La convection est un type de transfert au sein d'un même fluide liquide ou gazeux, lorsqu'une différence de température se produit dans ce fluide il y a modification de la densité produisant un mouvement de brassage, les parties plus chaudes auront tendance à s'élever et les parties plus froides à descendre. On peut donc dire que le changement de température d'un fluide modifie sa masse volumique.

Ce phénomène en climatisation est souvent rencontré où les couches d'air les plus chaudes d'un bâtiment de grande hauteur se retrouvent confinées dans la partie haute du bâtiment et s'appelle la stratification.

Deux types de convection existent, la convection naturelle et la convection forcée qui est générée par une circulation artificielle (chauffage électrique par exemple).

I.11 Changement d'état de la matière frigorigène

Les changements d'états sont des transformations physiques de la matière en fonction de la température et de la pression à laquelle cette matière est soumise.

Le fonctionnement du cycle frigorigène est basé sur le principe de deux changements d'états, en comprimant ou en détendant un fluide ont effectué des changements d'états qui s'accompagnent soit d'un rejet, soit d'une absorption de chaleur. L'eau contenue dans l'air qui se condense sur l'évaporateur (surface froide) est un autre exemple.

Les différents états de la matière dépendent de la façon dont les molécules s'agencent les unes par rapport aux autres, par exemple pour l'eau à l'état solide les molécules sont ordonnées et compactes, à l'état liquide les molécules sont désordonnées et agitées, à l'état gazeux les molécules sont désordonnées, espacées et très agitées.

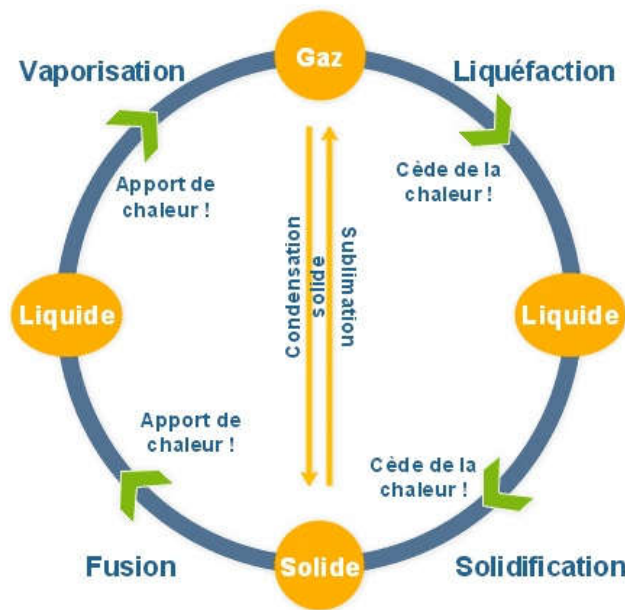


Figure I.4 les changements d'états

I.12 Changement d'état physique

Liquéfaction : phénomène physique de changement d'état de la matière qui passe d'un état gazeux à un état liquide.

Solidification : c'est la transformation d'un liquide à l'état solide.

Fusion : c'est le passage d'un corps de l'état solide vers l'état liquide.

Vaporisation : passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux, peut prendre la forme d'une évaporation ou d'une ébullition.

Sublimation : c'est le passage d'un corps de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide

I.13 Systèmes de réfrigération thermoélectrique

En 1821, le physicien allemand T.J. Seebeck a signalé que lorsque deux jonctions de métaux dissemblables sont maintenues à deux températures différentes, une force électromotrice (emf) se développe, entraînant un flux de courant électrique. La force électromotrice produite est proportionnelle à la différence de température. En 1834, un Français, J. Peltier, a observé l'effet inverse, c'est-à-dire le refroidissement et le réchauffement de deux jonctions de matériaux différents lorsqu'un courant continu les traverse, le taux de transfert de chaleur étant proportionnel au courant. En 1838, H. Lenz a congelé une goutte d'eau par l'effet Peltier en utilisant de l'antimoine et du bismuth (il a été découvert plus tard que Lenz pouvait congeler de l'eau car les matériaux utilisés n'étaient pas des métaux purs mais contenaient quelques impuretés). En 1857, William Thomson (Lord Kelvin) a prouvé par une analyse thermodynamique que l'effet Seebeck et l'effet Peltier étaient liés et il a découvert un autre effet appelé effet Thomson d'après son nom. Selon cet effet, lorsque le courant circule dans le conducteur d'un thermocouple qui présente un gradient de température initial, le taux de transfert de chaleur par unité de longueur est proportionnel au produit du courant et de la température. Lorsque le courant traverse le matériau thermoélectrique, il s'échauffe en raison de sa résistance électrique. C'est ce qu'on appelle l'effet Joulean. De plus, le transfert de chaleur par conduction de la jonction chaude à la jonction froide transfère la chaleur. Ces deux taux de transfert de chaleur doivent être compensés par l'effet Peltier pour produire un refroidissement utile. Pendant longtemps, le refroidissement thermoélectrique basé sur l'effet Peltier est resté une curiosité de laboratoire car la différence de température que l'on pouvait obtenir en utilisant des métaux purs était trop faible pour être d'une quelconque utilité pratique. Les matériaux isolants donnent de mauvaises performances thermoélectriques en raison de leur faible conductivité électrique, tandis que les métaux ne sont pas bons en raison de leur grande conductivité thermique. Cependant, avec la découverte des matériaux semi-conducteurs en 1949-50, la chute de température disponible a pu être considérablement augmentée, donnant lieu à la commercialisation de systèmes de réfrigération thermoélectriques. Figure I.5 montre le schéma d'un système de réfrigération thermoélectrique basé sur des matériaux semi-conducteurs. Le scientifique russe A. F. Ioffe est l'un des pionniers dans le domaine des systèmes de réfrigération thermoélectrique utilisant des semi-conducteurs. Plusieurs réfrigérateurs domestiques

basés sur l'effet thermoélectrique ont été fabriqués en URSS dès 1949. Cependant, depuis les années 1960, ces systèmes sont principalement utilisés pour le stockage de médicaments, de vaccins, etc. et pour le refroidissement électronique. Le développement a également eu lieu dans de nombreux autres pays. Aux États-Unis, des réfrigérateurs domestiques, des climatiseurs, des refroidisseurs d'eau, des combinaisons de plongée climatisées, etc. ont été fabriqués.

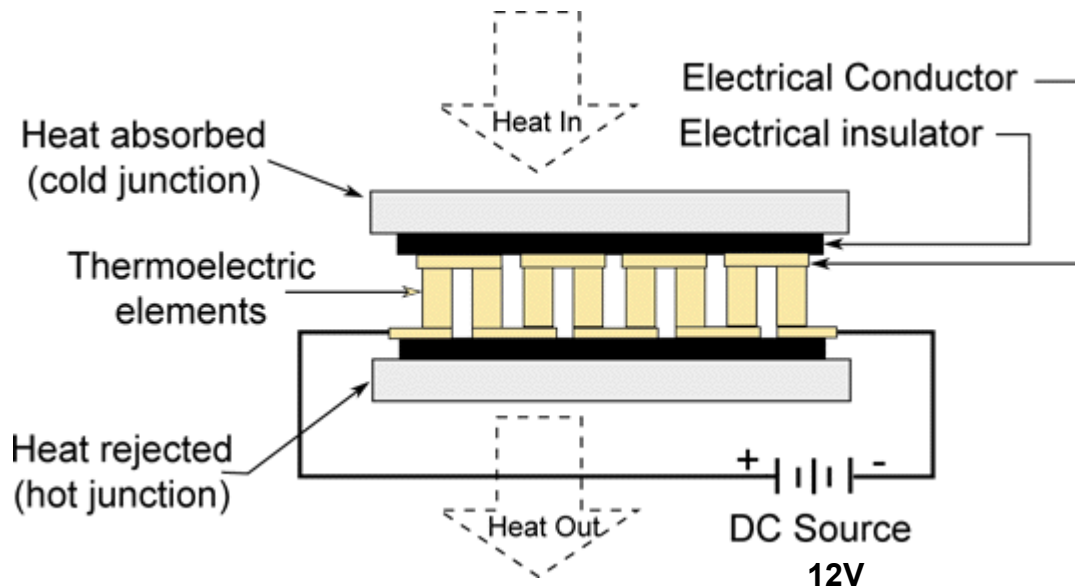


Figure I.5 Schéma d'un système de réfrigération thermoélectrique

En utilisant ces effets. Les capacités des systèmes étaient généralement faibles en raison d'une mauvaise efficacité. Cependant, certains systèmes de grande capacité de réfrigération, tels qu'un climatiseur de 3000 kcal/h et un entrepôt frigorifique d'une capacité de 6 tonnes, ont également été développés. L'utilisation de plusieurs étapes a permis d'obtenir des températures aussi basses que -145°C . En raison de leurs performances limitées (limitées par les matériaux), ces systèmes ne sont plus utilisés que dans certaines applications de niche telles que le refroidissement électronique, les refroidisseurs mobiles, etc. Des efforts ont également été faits pour associer des systèmes thermoélectriques à des cellules photovoltaïques en vue de développer des réfrigérateurs thermoélectriques solaires.

Conclusion

Après avoir vus les différents systèmes de réfrigération et l'historique du froid artificielle on a abordé sur notre sujet la réfrigération artificielle ainsi que son utilisation, on a appris le mode de fonctionnement du circuit frigorifique classique.

CHAPITRE II : Introduction à la thermoélectricité

Nous allons premièrement dans ce chapitre définir et décrire la thermoélectricité.

Ensuite, nous donnerons le principe de fonctionnement et domaine d'Applications des Phénomène thermoélectrique

II.1 Introduction

L'énergie solaire, l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique s'ajoutent aux sources d'énergie actuellement utilisées. Parmi ces différentes sources d'énergie, la thermoélectricité apparaît actuellement comme une source d'énergie alternative commune et prometteuse pour l'avenir.

Les matériaux thermoélectriques ont la capacité spécifique de convertir un flux de chaleur en énergie électrique (effet Seebeck) et vice versa (effet Peltier). Leur utilisation suscite de plus en plus d'intérêt, car ils offrent l'avantage de recycler l'énergie résiduelle. Il s'agit de transformer la chaleur issue de l'industrie ou du transport routier en électricité, ce qui permet d'augmenter l'efficacité des systèmes et de diminuer les coûts d'exploitation et la pollution de l'environnement. Pour citer un exemple de la chaleur impliquée, la température des gaz d'échappement émis par les moteurs des véhicules, les systèmes de combustion de la biomasse et le milieu poreux stabilisé par une matrice combustion peut atteindre 500 °C, tandis que la température de fonctionnement des cycles de puissance des micro-turbines peut s'élever à 600 °C, et même à 900 °C dans le cas d'un récepteur d'énergie solaire. Les dispositifs thermoélectriques sont particulièrement fiables, silencieux et ne génèrent pas de vibrations puisque leur fonctionnement ne nécessite pas l'apport d'énergie mécanique. Pour ces raisons, des efforts importants ont été réalisés, en utilisant de nouveaux matériaux, pour développer la technologie des systèmes thermoélectriques. C'est dans les années 60 que les programmes de recherche les plus importants, utilisant des matériaux semi-conducteurs, ont été menés dans ce domaine.

Historique

Depuis la découverte de la thermoélectricité (TE) en 1821 par Seebeck, les chercheurs ont essayé de comprendre et de contrôler ce phénomène. C'est ce que fit Peltier en 1834 en découvrant l'effet inverse, et Lord Kelvin en 1851 formula les lois qui lient ces deux phénomènes. Au siècle suivant, en 1909, Edmund Altenkirch calcule correctement, pour la première fois, l'efficacité énergétique d'un générateur thermoélectrique maintenant connue sous le nom du facteur de mérite (ZT), et deux ans plus tard celle de la thermoélectricité en mode refroidissement. En 1912, Altenkirch a inventé un appareil de chauffage et de refroidissement thermoélectrique, auquel ont succédé plusieurs autres prototypes développés par divers scientifiques et entreprises. Malheureusement, ces tentatives de produire un réfrigérateur pratique ont échoué en raison du manque de matériaux appropriés. Il convient de noter qu'un $ZT > 3$ pour la réfrigération et un $ZT > 2$ pour la production d'électricité sont nécessaires pour remplacer un système énergétique conventionnel.

En 1950, Abram Ioffe découvrit les propriétés thermoélectriques des semi-conducteurs, ce qui ouvrit de nouvelles perspectives pour la thermoélectricité avec un facteur de mérite ZT proche de 1. Cette valeur était encore faible, mais suffisamment acceptable pour que certains inventeurs et industriels conçoivent de nouvelles applications à commercialiser. L'une de ces applications était le réfrigérateur thermoélectrique conçu par Becket et al. en 1956. Au cours de la même décennie, l'idée de générateurs thermoélectriques émergea, comme la lampe thermoélectrique de Ioffé en 1957, qui alimentait une radio en récupérant la chaleur dégagée par la lampe.

En 1993, Hicks et Mildred Dresselhaus ont montré que les structures de super-réseaux de puits quantiques (petites dimensions de la matière) pouvaient affecter la thermoélectricité en réduisant la conductivité thermique des phonons, et donc en améliorant le ZT d'un facteur 10.

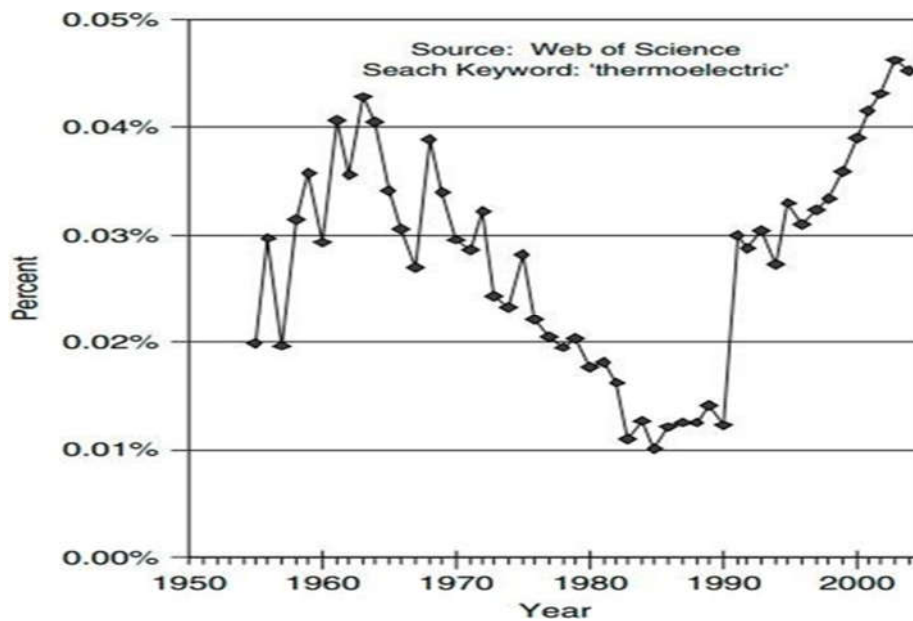


Figure II.1 Publications de littérature ouverte sur la base de données Web of Science avec le mot clé "thermoélectrique" en pourcentage de toutes les publications sur la base de données pour chaque année de 1955 à 2003.

II.2 La Thermoélectricité

L'effet thermoélectrique est un phénomène physique consistant en la conversion directe du courant électrique en chaleur (effet Peltier) ou inversement de la chaleur en énergie électrique (effet Seebeck) sans pièces mécaniques mobiles.

Le faible rendement des dispositifs thermoélectriques a limité leurs applications à certains domaines, tels que la réfrigération, la récupération de chaleur, la production d'énergie et les énergies renouvelables. Cependant, pour des applications spécifiques comme les sondes spatiales, les équipements de laboratoire et les applications médicales, où le coût et l'efficacité ne sont pas aussi importants que la disponibilité, la fiabilité et la prévisibilité, la thermoélectricité offre un potentiel notable. Le défi de faire de la thermoélectricité un futur leader dans la récupération de la chaleur perdue et des énergies renouvelables est intensifié par l'intégration de la nanotechnologie. Cette revue présente l'état de l'art des générateurs thermoélectriques, leurs applications et les progrès récents. Les connaissances fondamentales de l'effet thermoélectrique, les lois de base et les paramètres affectant l'efficacité des matériaux thermoélectriques conventionnels et nouveaux sont abordés. Les applications de la thermoélectricité sont regroupées en trois grands domaines. Le premier groupe traite de l'utilisation de la chaleur émise par un radio-isotope pour alimenter en électricité divers dispositifs. Dans ce groupe, l'exploration spatiale est la seule application pour laquelle la

thermoélectricité a été couronnée de succès. Dans le deuxième groupe, une source de chaleur naturelle pourrait s'avérer utile pour produire de l'électricité, mais comme la thermoélectricité est encore dans une phase initiale en raison du faible rendement de conversion, les applications sont encore au niveau des laboratoires. Le troisième groupe progresse à grande vitesse, principalement parce que les recherches sont financées par les gouvernements et/ou les constructeurs automobiles, l'objectif final étant de réduire la consommation de carburant des véhicules et, en fin de compte, d'atténuer l'effet des émissions de gaz à effet de serre

II.3 Phénomène thermoélectrique

II.3.1 Effet Seebeck

En 1821, Seebeck a observé que : si deux matériaux différents ou dissemblables sont assemblés et que les jonctions entre eux sont maintenues à des températures différentes (T et $T+\Delta T$), alors une différence de tension (ΔV) se développe. On constate que cette tension est proportionnelle à la différence de température (ΔT) ; voir la figure II-2. Ce phénomène est appelé l'effet Seebeck. Le rapport entre la tension générée et le gradient de température est une propriété intrinsèque du matériau, et il est appelé le coefficient Seebeck, S , où $S = -\Delta V / \Delta T$ [1, 2]. La différence de température entraîne le déplacement des porteurs de charge mobiles (électrons ou trous) vers la jonction froide et laisse derrière eux les noyaux immobiles et de charge opposée à la jonction chaude. Le mouvement des charges entraîne l'augmentation d'une tension thermoélectrique

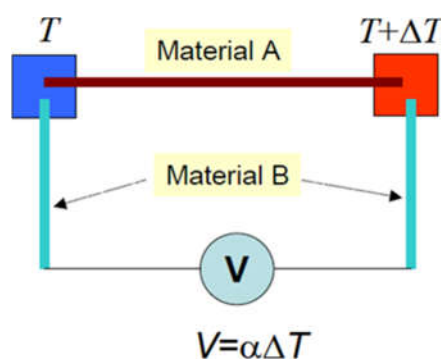


Figure II.2 Un diagramme montrant l'effet Seebeck. La différence de température entre les deux jonctions est ΔT [4]. α : Seebeck coefficient (thermopower)

La tension thermoélectrique (V) générée est donnée par l'équation (1),

$$V = (SA - SB) \Delta T \quad (1)$$

où SA et SB sont les coefficients Seebeck des matériaux A et B, respectivement, et ΔT est la différence de température entre les jonctions

II.3.1.1 L'effet Seebeck dans les thermomètres

L'effet Seebeck est à la base des thermo-éléments et des thermocouples. Avec les thermocouples, il est possible de mesurer la température, et cette technologie est utilisée dans les thermomètres simples.

Le fonctionnement d'un thermomètre est plus clair si on le considère progressivement. Un thermomètre de base se compose d'un thermocouple qui est relié à un voltmètre. Le voltmètre affiche une thermo-tension qui dépend strictement de la différence de température appliquée au thermocouple. En convertissant la tension en une valeur de température, l'utilisateur obtient le résultat de la mesure. Cette conversion peut être effectuée par des calculs manuels, ou par un composant supplémentaire tel qu'un capteur de température, qui met en œuvre une conversion analogique-numérique.

II.3.1.2 L'effet Seebeck dans la production d'électricité

La production d'énergie électrique pour des applications spéciales peut également être réalisée en utilisant l'effet Seebeck. Cela est possible grâce à la diffusion des porteurs de charge après le transfert de chaleur sur le thermo-élément. Cependant, le principal inconvénient de cette application est que la valeur de la puissance générée est généralement très faible en raison d'un faible courant. L'efficacité réelle de ce processus n'est que de 5 à 8 %.

Bien que l'efficacité des générateurs d'énergie basés sur l'effet Seebeck soit si faible, il existe de réelles applications dans l'industrie et la science. La première est d'obtenir de l'énergie de radio-isotopes pour alimenter les vaisseaux spatiaux. La seconde consiste à récupérer et à recycler l'énergie de la chaleur résiduelle des voitures et des machines. Ces applications, néanmoins, ne sont pas des sources d'énergie indépendantes mais sont utilisées uniquement comme technologie de soutien.

II.3.1.3 Domaine d'Applications Effet Seebeck

L'application principale de cet effet est la mesure de température. En effet pour 2 matériaux donnés la différence de tension ne dépend que de la différence de température. On peut donc déduire de la fém mesurée l'écart de température entre les 2 jonctions.

Est celle du thermo générateur, soit un générateur fonctionnant grâce à une différence de température. De telles applications sont utilisées en Russie pour alimenter, grâce à une lampe à pétrole, un poste de radio dans les régions reculées n'ayant pas accès à l'électricité.

II.3.2 Effet Peltier

L'effet Peltier est un autre principe important du phénomène thermoélectrique. Cet effet explique que si un courant électrique traverse la jonction de deux matériaux dissemblables, de la chaleur sera générée ou absorbée, selon la direction du courant ; voir la figure II-3. Cet effet est dû à la différence entre les énergies de Fermi des deux matériaux.

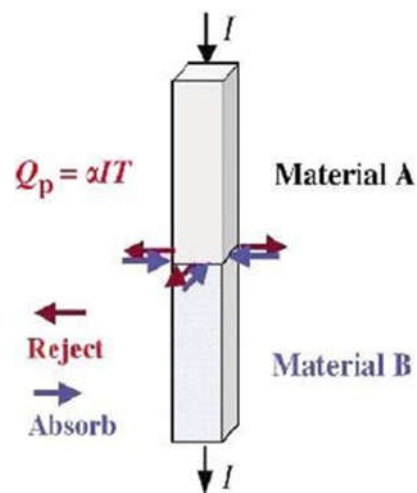


Figure II.2 Un diagramme expliquant l'effet Peltier

La chaleur Peltier, (Q), absorbée ou rejetée par la jonction est donnée par l'équation (2)

$$dQ/dT = (\pi_A \cdot \pi_B) \quad (2)$$

Où π_A et π_B sont appelés le coefficient de Peltier des matériaux A et B, respectivement, et I est le courant qui traverse les matériaux. Le coefficient Peltier représente la quantité de chaleur absorbée par le matériau lorsqu'il est traversé par un courant

Selon le sens du courant, de la chaleur peut être émise ou consommée dans la jonction. Cela conduit soit à une jonction plus chaude, soit à une jonction plus froide. Dans cette figure, α est le coefficient Seebeck

II.3.2.1 Domaine d'Applications Effet Peltier

Les applications les plus intéressantes de cet effet se trouvent dans le domaine de la réfrigération miniature de faible puissance et en particulier dans l'aéronautique et

l'électronique. Les réfrigérateurs thermoélectriques présentent des caractéristiques pour le moins très intéressantes : longue durée de vie, précisions, fiabilité, silence. Ils ont cependant un faible rendement. Toute fois des modèles de glaciers portables fonctionnant sur allume-cigares sont commercialisés par certaine entreprise

II.3.2.2 Avantages et inconvénients de l'effet Peltier

Comme toute technologie, l'effet Peltier présente des avantages et des inconvénients. Ils sont précieux et doivent être évalués dans chaque domaine où l'effet Peltier va être intégré. Cela permet de prévoir si l'utilisation de la technologie est raisonnable ou si une alternative doit être trouvée.

L'effet Peltier est mis en œuvre par le biais d'un élément Peltier, qui sera présenté dans la section 3. Cependant, les principaux inconvénients et avantages doivent être mentionnés à ce stade pour comprendre les principaux problèmes à traiter. Tout d'abord, l'élément Peltier nécessite une grande quantité de courant et de puissance, alors que la production de chaleur n'est pas énorme. Un autre inconvénient est la condensation. La condensation est évidente lorsque le refroidissement d'un côté de l'élément est fort, tandis que l'autre côté devient excessivement chaud. L'apparition d'eau peut provoquer des situations potentiellement dangereuses, comme un court-circuit, qui est le plus souvent destructeur pour l'électronique.

Tous les points négatifs mis à part, l'effet Peltier a un potentiel pertinent en tant que technologie. Il est très fiable car les éléments Peltier n'ont pas de pièces mobiles et ne nécessitent donc aucune maintenance. En outre, les éléments Peltier sont très faciles à transporter. En outre, leur prix est abordable, et se situe entre 20 et 100 euros selon l'efficacité et la puissance produite.

II.3.3 L'effet Thomson

L'effet Thomson est une combinaison des effets Seebeck et Peltier. Cet effet a été découvert par William Thomson en 1854. Il stipule que tout conducteur parcouru par un courant et présentant une différence de température entre deux points absorbe ou émet de la chaleur en fonction du matériau. La chaleur absorbée ou émise est appelée chaleur de Thomson (Q) et est donnée par l'équation (3),

$$Q = \rho J^2 - \mu^* J dT/dx \quad (3)$$

Où ρ est la résistivité du matériau et dT/dx est le gradient de température le long du conducteur,

J est la densité de courant et μ est le coefficient de Thomson. Le terme ρJ^2 est désigné par le terme Joule. (Irréversible) et le second terme est le chauffage de Thomson dont le signe change avec la direction du courant.

II.3.3.1 Domaine d'Applications Effet Thomson

Un matériau soumis à un gradient de température et à un courant électrique échange de la chaleur avec le milieu extérieur. Soit une absorption de la chaleur du milieu extérieur quand le courant circule dans le sens inverse de la différence de température, et un dégagement de chaleur quand le courant circule dans le sens de la différence de température

II.4 Produire du froid avec l'électronique

Parmi la grande diversité de composants électroniques qui existent, certains combinent plusieurs domaines de la science :

- Electrochimique : comme l'électrolyseur (l'électricité produit la réaction chimique) ou la pile (la chimie produit l'électricité) ;
- Photo-électrique, telle que la LED (l'électricité produit la lumière) ou la cellule photoélectrique (la lumière produit l'électricité).
- électromécanique, comme le moteur (l'électricité produit un travail mécanique) et l'alternateur (une action mécanique produit l'électricité).

Dans ces trois cas, les deux exemples donnés sont réciproques à chaque fois.

Il y a plein de composants reliant plusieurs domaines, mais celui qui nous intéresse est celui qui combine l'électricité et la thermodynamique, c'est à dire l'étude de la chaleur et des transferts thermiques.

On connaît l'appareil où c'est l'électricité qui est transformée en chaleur : c'est une résistance chauffante. Mais connaissez-vous un système thermoélectrique qui fait soit réversible, et donc capable de produire un courant électrique à partir de chaleur ? Pas sûr...

Pourtant ce composant existe : on l'appelle le thermocouple.

II.5 Le thermocouple

En 1821 ce composant est fait de métaux différents soudés entre eux, par exemple le chrome avec le constantan (deux alliages métalliques). Les deux fils sont soudés et il y a donc une zone où les deux se rejoignent.

Il se trouve que si l'on chauffe cette jonction, il apparaît une tension électrique au bout des fils, et donc un potentiel à produire de l'électricité : On utilise ces composants comme thermomètre : selon la température de la jonction, une tension bien précise apparaît et on peut déduire l'une de l'autre. Cet effet thermoélectrique est appelé effet Seebeck, du nom de la personne qui l'a étudié

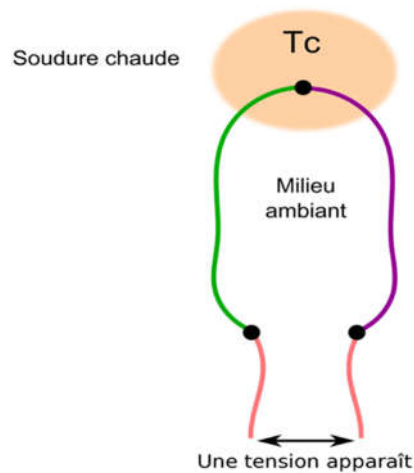


Figure II.4 Schéma (simplifié) d'un thermocouple

De façon notable, le thermocouple peut fonctionner dans l'autre sens : quand on le met sous tension, la jonction se met à chauffer alors que les autres points d'attache du thermocouple refroidissent ! Cet effet inverse est appelé effet Peltier (1834).

Maintenant, si l'on construit un fil avec une grande quantité de sections soudées entre elles, on aura une alternance de jonctions chaudes et de jonctions froides :

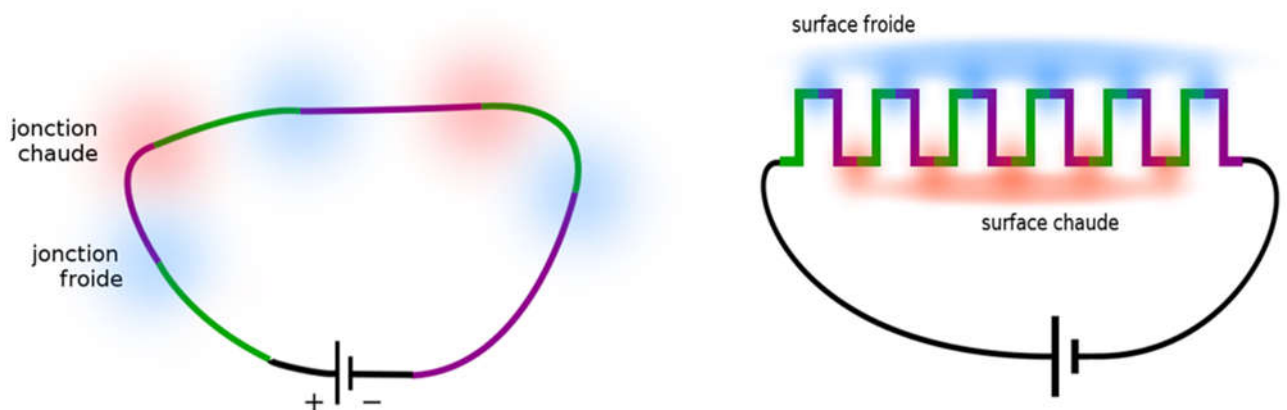


Figure II.5 alternance de jonction chaude et froide

Ceci peut devenir très intéressant, puisqu'il suffit de faire ceci : et l'on obtient alors un module qui, une fois sous tension, peut produire un côté chaud et un côté froid.

Mieux, on peut aussi choisir de faire fonctionner dans l'autre mode : en chauffant un côté et en refroidissant l'autre, on obtient un module qui produit un courant relativement conséquent

Ce module-là, c'est un module Peltier !

II.6 Module thermoélectrique

Le module thermoélectrique est constitué de paires de thermo éléments semi-conducteurs de type P et de type N formant des thermocouples qui sont connectés électriquement en série et thermiquement en parallèle. Un module standard est constitué de thermocouples connectés en série et pris en sandwich entre deux plaques de céramique. En appliquant un courant au module, une plaque de céramique est chauffée tandis que l'autre est refroidie. Le sens du courant détermine quelle plaque est refroidie. Le nombre et la taille des thermocouples ainsi que les matériaux utilisés dans la fabrication déterminent la capacité de refroidissement. La capacité de refroidissement varie de quelques fractions de watts à plusieurs centaines. Les différents types de modules TEC sont les modules à un étage, à deux étages, à trois étages, à quatre étages, à trou central, etc.

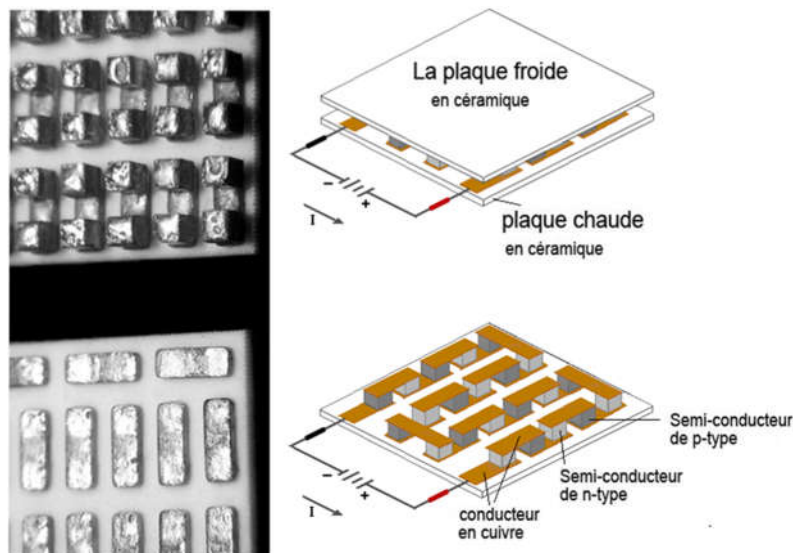


Figure II.6 constitutions du module thermoélectrique

Conclusion

Après avoir dressé un bref historique de la thermoélectricité nous avons décrit les 3 principes la régissant (effet Seebeck, Peltier et Thomson)

Pour refermer ce sujet nous avons fait un point sur le peu d'applications qui existent actuellement mais nous en avons déduit qu'au vu des recherches engagées sur ce sujet les applications futures devraient être très prometteuses

CHAPITRE III : Le module Peltier à semi-conducteurs

Nous allons premièrement dans ce chapitre définir et décrire les modules Peltier.

Ensuite, nous donnerons le principe de fonctionnement et les applications des modules Peltier.

III.1 Le module Peltier à semi-conducteurs

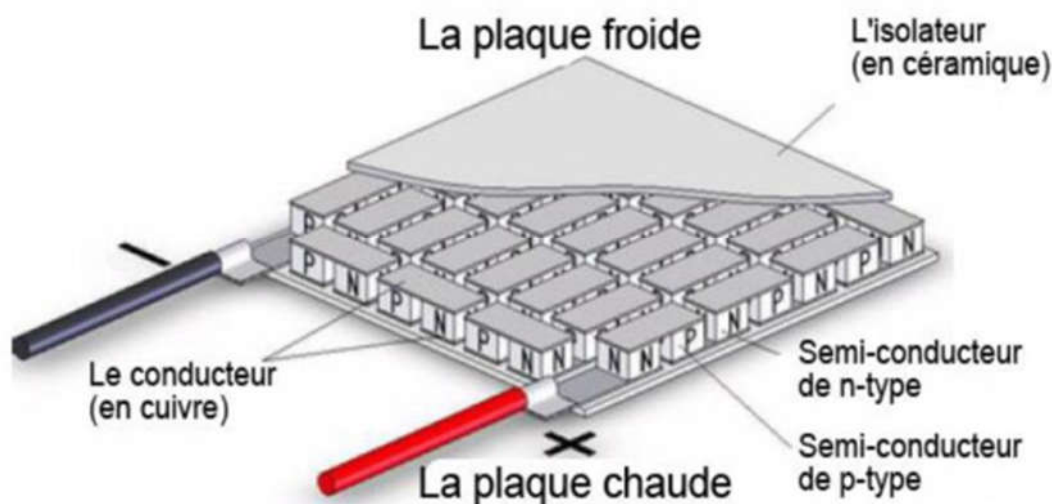


Figure III.1 Schéma d'un module thermoélectrique muni de jonctions de type « p » et « n »

Un module Peltier se caractérise par la différence de température qu'il peut maintenir entre ses faces. Si cette différence est de 30 °C, alors si une face est maintenue à température ambiante de 20 °C grâce à un système de refroidissement, alors l'autre face peut descendre à -10 °C.

On utilise ces modules dans les petites glacières de camping, là où un système pompe/compresseur typique des réfrigérateurs conventionnels est bien trop gros et gourmand en énergie.

Aujourd'hui, les modules Peltier comportent un très grand nombre de jonctions de deux types de semi-conducteurs — N et P —, placés en sandwich entre deux plaques de céramique. Le composant obtenu présente donc deux faces : l'une qui va devenir froide et l'autre qui sera chaude. On peut ensuite exploiter la chaleur et la froideur de ces deux plaques.

Pour aller plus loin dans la compréhension de cet effet, il faut revoir brièvement ce que sont des semi-conducteurs, et plus précisément à quoi correspondent les types-P et type-N.

III.1.1 Les Semi-conducteurs P et N

Définition : un semi-conducteur se place entre les isolants et les conducteurs sur l'échelle de conduction électrique. Contrairement aux conducteurs, tels que les métaux, ils n'ont pas d'électrons libres. Mais contrairement aux isolants, il suffit d'appliquer une tension relativement faible pour que des électrons deviennent libre et se mettent à conduire le courant.

Pour contrôler de façon le seuil de conduction, on lui incorpore des éléments chimiques. On parle précise de « dopage » du semi-conducteur.

Avec du phosphore, le semi-conducteur qu'est le silicium possède maintenant un électron libre en plus par rapport au silicium pur.

Avec du bore on se retrouve à l'inverse avec un électron en moins à un endroit que l'on appelle « trou ». L'application d'une tension va alors pousser un électron à remplir ce trou, laissant un autre trou derrière lui. Ce trou est ensuite comblé par un autre électron et ainsi de suite. De cette façon, c'est alors comme si le trou se déplaçait, et dans le sens inverse des électrons.

Dans les deux cas, on dit que l'électron du phosphore (négatif : N) et le trou (absence de négativité de l'électron, donc positif : P) du bore sont les porteurs de charges. N et P sont les deux types de semi-conducteurs :

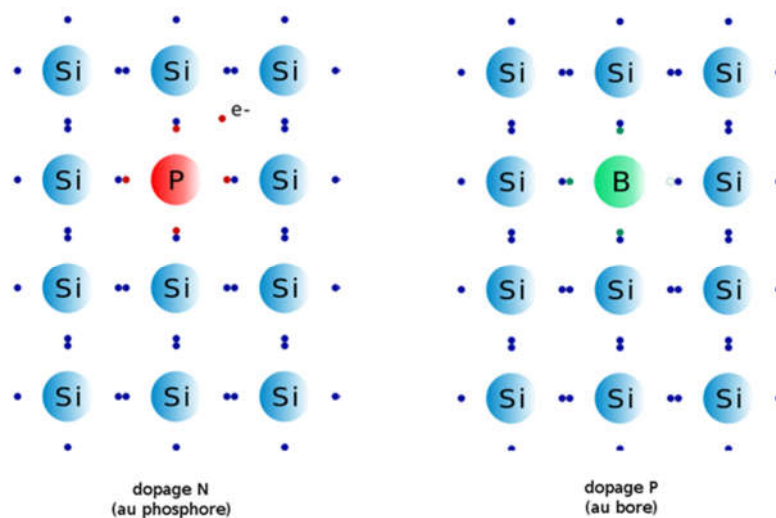


Figure III.2 Dopages N (avec l'électron en trop) et P (avec le déficit d'électron)

Dans un module Peltier à semi-conducteur, pour les deux-métaux nécessaires à l'effet Seebeck, on utilise deux semi-conducteurs : un semi-conducteur P et un semi-conducteur N.

III.2 Le fonctionnement du module Peltier

Un module Peltier est donc un assemblage de plein de morceaux de semi-conducteur P et N. Électriquement, ces éléments de semi-conducteurs sont placés en série.

Quand on met le module sous tension, en raison de la disposition des éléments P et N, le sens de déplacement des trous, d'une plaque à l'autre, est identique à celui des électrons : les porteurs de charge vont tous d'une même plaque vers la même autre plaque.

Or, ces porteurs de charges transportent de la chaleur (c'est une question d'entropie du système qui est modifié par le déplacement des électrons, mais en pratique ça se traduit par un transfert de chaleur). Si maintenant la quantité de chaleur véhiculée par les porteurs de charges est supérieure au transfert de chaleur dû à la conductivité thermique des matériaux, alors on assiste à un phénomène contre-intuitif : la chaleur se déplace du côté froid vers la face chaude.

La conduction thermique se fait toujours du corps chaud (doté de beaucoup de chaleur) vers le corps froid (doté de peu de chaleur). En revanche, sous l'effet d'une action extérieure, on peut forcer la chaleur à se déplacer dans le sens que l'on veut. Dans un frigo, ceci est obtenu grâce à un fluide transporteur de chaleur — un fluide caloporteur — entraîné par une pompe. Pour le module Peltier, le rôle de caloporteur est assuré par les électrons et les trous, entraînés par la force d'une tension électrique.

Du coup, la surface d'où la chaleur est prise perd sa chaleur et se refroidit et l'autre face, qui l'accumule, devient chaude. Ce transfert de chaleur véhiculé par des porteurs de charges mis en mouvement par l'application d'une tension électrique, c'est l'effet Peltier, et c'est exactement elle qui est mise à profit dans les modules Peltier.

Il est intéressant de voir que dès que l'on coupe l'alimentation d'un module Peltier, les porteurs de charges cessent de se déplacer, et donc de véhiculer de la chaleur. Les seuls transferts de chaleurs qu'on observe est donc dû à la conductivité thermique et les températures des deux faces du module Peltier se rééquilibrent (et de manière très rapide : une seconde ou deux suffisent, même s'il y avait une différence de température de 30 °C !).

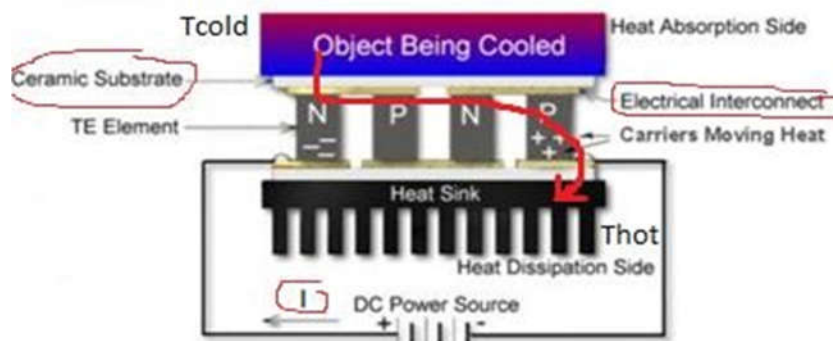


Figure III.3 fonctionnements d'un module Peltier

III.3 Structure principal d'un dispositif de refroidissement

III.3.1 Structure et processus de l'élément Peltier

En général, un module de refroidissement thermoélectrique est constitué de deux ou plusieurs parties en matériau semi-conducteur. Ces parties, ou éléments, sont reliées électriquement en série, et thermiquement en parallèle, par des plaques conductrices de chaque côté (Figure III 4). Normalement, des substrats en céramique sont placés au-dessus de ces connexions pour isoler le système.

La soudure est appliquée pour connecter ensemble les éléments semi-conducteurs et le couvercle en céramique. Cette structure est nécessaire, d'une part, pour assurer une stabilisation mécanique et, d'autre part, pour isoler électriquement les éléments les uns des autres et des autres surfaces.

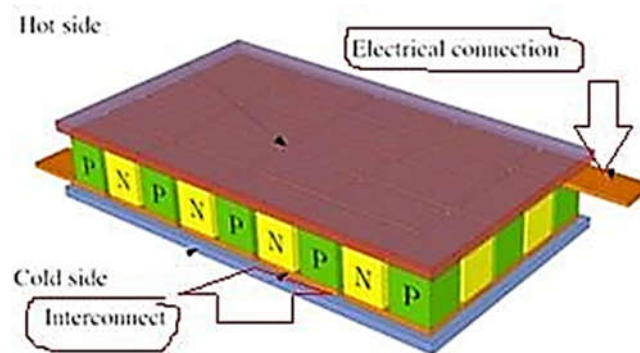


Figure III.4 Schéma d'un refroidisseur thermoélectrique typique. Copié de Warren M. Rohsenow

La taille des éléments Peltier varie en fonction de la puissance du module. En général, les dimensions d'un module rectangulaire sont de 2,5-50 mm² et de 2,5-5 mm de hauteur.

Le nombre de parties semi-conductrices dans l'élément Peltier dépend de la taille de l'élément. Cependant, pour le processus thermoélectrique, il doit être au minimum de deux : un de type n, et un de type p.

Le transfert de chaleur se produit par le biais du transfert de particules de type n et de type p à l'intérieur du matériau d'interconnexion. Le type n a un excès d'électrons qui transportent l'énergie thermique vers les "trous" du matériau de type p, qui a un manque d'électrons. Ainsi, la chaleur se déplace dans une direction (du n négatif au p positif), tandis que le courant se déplace dans une direction opposée (de la connexion positive à la connexion négative).

La figure III-5 montre précisément comment se produit le transfert de chaleur. Un petit modèle de l'élément Peltier est représenté.

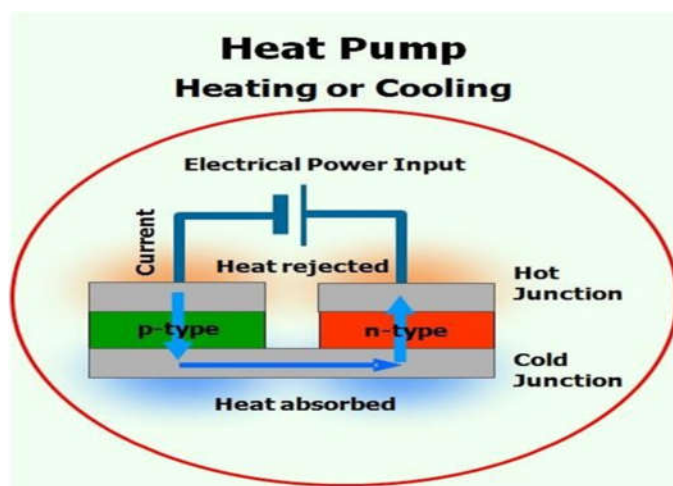


Figure III.5 Processus de l'effet Peltier.

Le courant appliqué circule depuis l'entrée de puissance via des interconnexions de type p- et n-, extrayant la chaleur de l'environnement et la transférant d'une jonction à l'autre. Les interconnexions sont reliées électriquement en série et thermiquement en parallèle. Ce processus définit le fonctionnement de l'élément Peltier.

III.3.2 Exigences de fonctionnement de l'élément Peltier

La différence de température sur le module Peltier peut atteindre plus de 50°C, ce qui peut provoquer la rupture du dispositif. La raison en est que la température de fonctionnement de la plupart des dispositifs thermoélectriques est d'environ 80°C. Cette limite est définie en raison de la soudure appliquée entre les parties semi-conductrices et le couvercle en céramique. A la température supérieure à 80°C après une exposition prolongée, la soudure commence à se défusionner dans les matériaux thermoélectriques, ce qui n'est pas approprié pour un fonctionnement normal.

La figure III-6 montre la distribution de la chaleur et du froid lors du fonctionnement de l'élément Peltier, qui a déjà été décrit. Lorsque le courant circule, la chaleur est absorbée sur le côté froid du module Peltier et transférée sur le côté chaud. Par conséquent, il est nécessaire de fournir une dissipation de chaleur sur le côté chaud pour éviter la surchauffe. Cela peut être fait avec un dissipateur thermique. Pour une dissipation encore plus efficace, le ventilateur doit être fixé au dissipateur thermique. Il générera un flux d'air, et par conséquent un transfert de chaleur plus intense.

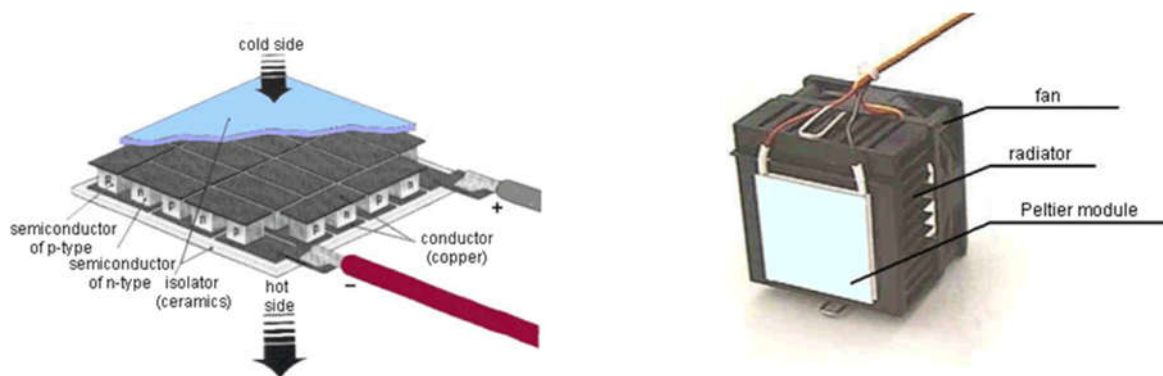


Figure III.6 Structure et fonctionnement de l'élément Peltier/ Assemblage avec l'élément Peltier. Copié du projet Web Physics 212

Les éléments Peltier peuvent être utilisés dans un principe inverse - l'effet Seebeck. Si la différence de température est appliquée aux deux côtés de l'élément (froid et chaud simultanément), la différence de tension s'établit entre les deux côtés, et le courant électrique commence à circuler. La tension peut être mesurée par un multimètre ordinaire fixé aux fils de l'élément Peltier. Dans ce cas, l'élément Peltier joue le rôle d'un générateur thermoélectrique. Cependant, l'efficacité de cette utilisation à rebours est très faible car la puissance générée ne dépasse pas quelques milliwatts

III.4 Caractéristiques de l'élément Peltier

Après avoir considéré tous les éléments constitutifs de la structure et du fonctionnement de l'élément Peltier, il est nécessaire de définir les principales caractéristiques du dispositif. Celles-ci sont utiles lors du choix d'un module thermoélectrique et de la conception du système basé sur celui-ci.

Le fonctionnement du dispositif Peltier est défini par plusieurs caractéristiques importantes telles que la charge thermique maximale (Q_{max} , la quantité de charge thermique à l'intensité maximale, en Watts) ; la différence de température maximale (ΔT_{max} , à l'intensité maximale, en $^{\circ}C/K$) ; la tension maximale qui provoque la différence de température maximale à l'intensité maximale (U_{max} , en Volts) ; et le courant continu maximal (I_{max} , en Ampères) auquel la différence de température la plus élevée est obtenue.

ΔT est atteint. La différence de température dépend de la tension, et par conséquent de la puissance appliquée au module. La tension n'est pas une valeur standard et varie d'un module à l'autre en fonction du fabricant et de l'application visée. Pour une comparaison entre différents éléments Peltier, les courbes température-tension et température-puissance sont normalement fournies dans les fiches techniques. Un exemple de courbes température-tension VS est montré sur la Figure III.7

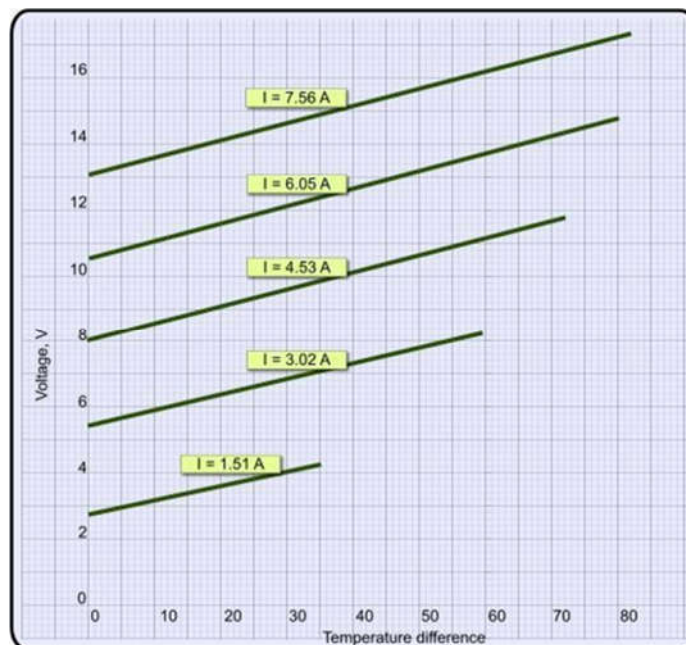


Figure III.7 Exemple de courbe d'élément Peltier représentant la dépendance entre la différence de température (ΔT) et la tension appliquée (V).

Comme le montre la figure III-7, un certain élément Peltier non spécifié fournit une différence de température différente de $0^{\circ}C$ à $83^{\circ}C$ dans la plage de tension de $2,3V$ - $17,6V$. Par exemple, si la tension fournie à cet élément est de $2,3V$ ou $13V$, la différence de température maximale est respectivement de $35^{\circ}C$ ou $82^{\circ}C$. En comparant de telles

caractéristiques de différents modules Peltier, la bonne sélection de l'appareil sera fournie correctement.

Une autre valeur de comparaison importante est le coefficient de performance (COP) qui définit l'efficacité d'un dispositif Peltier. Le COP est un rapport qui correspond à la division de la chaleur absorbée du côté froid et de la puissance consommée (équation 3).

$$\text{COP} = Q_{\text{Cold}} / P_{\text{Peltier}} \text{ [W / W]} \quad (3)$$

Le COP définit l'efficacité du dispositif Peltier et permet de comparer différents modules. Un COP maximal signifie que la puissance d'entrée est minimale et que, par conséquent, le dissipateur thermique doit rejeter un minimum de chaleur. Cependant, pour sélectionner correctement un dissipateur thermique, une autre caractéristique doit être prise en compte.

La résistance thermique est le taux de la quantité de chaleur transférée du dispositif à l'air. Dans le cas où le dissipateur thermique est attaché à l'élément Peltier, cette quantité de chaleur est transférée par le dissipateur thermique. L'équation 4 montre comment la résistance thermique est calculée.

$$R = \frac{T_{\text{cas_max}} - T_{\text{in_max}}}{P_{\text{dissipation}}} \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \right] \quad (4)$$

$T_{\text{cas_max}}$ [°C] est la température maximale, qui peut être atteinte sans endommager l'élément Peltier. $T_{\text{in_max}}$ [°C] est la température d'entrée la plus élevée atteinte. $P_{\text{dissipation}}$ [W] définit la quantité de puissance à dissiper du dispositif

Habituellement, les fiches techniques des modules Peltier fournissent la résistance thermique de l'élément, il n'est donc pas nécessaire de le faire manuellement. En fonction de cette valeur, on peut choisir le bon dissipateur thermique. La résistance thermique du dissipateur doit être égale ou inférieure à celle du module Peltier. Une résistance thermique plus petite donne un meilleur refroidissement

III.5 La supériorité du refroidissement thermoélectrique sur la réfrigération traditionnelle

De nos jours, la plupart des systèmes de réfrigération sont basés sur des compresseurs et des réfrigérants. Cependant, les conceptions basées sur les modules thermoélectriques deviennent une alternative raisonnable pour ces systèmes, dans des circonstances particulières. Il y a plusieurs considérations pour ce remplacement, qui expliquent pourquoi les éléments Peltier ont été utilisés dans ce projet, au lieu de tout système de réfrigération traditionnel.

Si l'on considère la maintenance et la sécurité des systèmes basés sur des modules thermoélectriques, certains avantages doivent être mentionnés :

- Pas de pièces mobiles
- Conception intégrée de la puce
- Pas d'émissions dangereuses pour l'homme (alors que cela est possible pour les réfrigérants)
- Fonctionnement à faible bruit
- Taille compacte (par exemple, pas besoin d'énormes compresseurs).

Dans l'ensemble, les modules thermoélectriques sont utiles pour remplacer les réfrigérateurs lorsque de petites zones (points locaux) doivent être refroidies et qu'un travail de gestion minimal est requis.

L'exploitation présente également certains avantages :

- Fiabilité (plus de 100 000 heures de fonctionnement)
- Haute précision (+/- 0,1 degré Celsius)
- Mécanisme de commutation facile entre le refroidissement et le chauffage (inversion du courant)
- Faibles exigences en matière de tension continue
- Réponse immédiate au changement de température en ajustant le courant.

Compte tenu de tous les points mentionnés, la technologie thermoélectrique peut être utilisée dans des applications où un refroidissement précis et fiable est nécessaire. Les modules thermoélectriques se maintiennent simplement, c'est pourquoi ils sont utiles dans des processus très scrupuleux. En raison de ces propriétés, les modules Peltier ont été choisis comme technologie principale dans ce projet.

- **Calcul du flux de chaleur circulant dans chaque patte:** sont présentés par les équations

$$Q_p = \pi_p I - \lambda_p \frac{A_p}{L} \Delta T - \frac{1}{2} I^2 \rho_p \frac{L}{A_p}$$

$$Q_n = \pi_n I - \lambda_n \frac{A_n}{L} \Delta T - \frac{1}{2} I^2 \rho_n \frac{L}{A_n}$$

(5)

où : α_n , λ_n , π_n et ρ_n sont respectivement la section de la tige, la conductivité thermique, le coefficient Peltier et la résistivité électrique du matériau de type n. La notation est similaire pour le matériau de type p.

En utilisant la relation de Thomson : $\pi_{ab} = \alpha_{ab} \cdot T$

Nous aurons alors

$$\begin{aligned} Q_p &= \alpha_p IT - \lambda_p \frac{A_p}{L} \Delta T - \frac{1}{2} I^2 \rho_p \frac{L}{A_p} \\ Q_n &= \alpha_n IT - \lambda_n \frac{A_n}{L} \Delta T - \frac{1}{2} I^2 \rho_n \frac{L}{A_n} \end{aligned} \quad (6)$$

Donc le flux total dans les deux matériaux n et p s'écrit :

Avec :

$$\begin{aligned} Q &= Q_p + Q_n = (\alpha_p - \alpha_n) IT - \lambda \Delta T - \frac{1}{2} I^2 R \\ \lambda &= \lambda_p \frac{A_p}{L} + \lambda_n \frac{A_n}{L}; \quad R = \rho_p \frac{L}{A_p} + \rho_n \frac{L}{A_n} \end{aligned} \quad (7)$$

- **Calcul de la Puissance thermique**

On distingue trois types d'échanges de chaleur :

- Un flux thermique généré par effet Peltier sur chaque face Q_c peltier et Q_f peltier, produit par la circulation d'un courant électrique à la jonction de deux matériaux de nature différente. C'est cet effet qui nous permet de faire fonctionner notre système en mode «pompe à chaleur».
- Un flux thermique par effet Joule, avec Q_j la quantité de chaleur supposée équitablement répartie entre les jonctions froide et chaude du module.
- Un flux thermique par conduction, noté Q_{cond} et qui a lieu au sein du matériau thermoélectrique depuis la jonction chaude vers la jonction froide.

Dans notre cas, on suppose que le coefficient de Seebeck (α) est constant dans les plages de températures étudiées. L'effet Thomson ne doit alors plus apparaître dans les équations. Le fonctionnement du module TE sera donc décrit à partir des effets Joule, Peltier et la conduction thermique, modèle donnant des résultats satisfaisants [Fraisie2013].

Nous allons par la suite modéliser le fonctionnement thermoélectrique du module. Nous devons pour cela définir le système d'équations régissant le fonctionnement du module TE, selon le modèle proposé par Ioffe [Ioffe 1956]

- Les puissances Peltier absorbées aux jonctions froide et chaude sont respectivement définies par:

$$Q_f = \alpha \cdot I \cdot T_f$$

$$Q_c = \alpha \cdot I \cdot T_c$$

- La puissance thermique apportée par effet Joule est :

$$Q_{\text{Joule}} = R \cdot I^2$$

- Enfin, la puissance thermique échangée par conduction se s'écrit :

$$Q_{\text{cond}} = K \cdot \Delta T$$

Avec :

$$\Delta T = T_c - T_f$$

En établissant les bilans de flux thermiques de part et d'autre du module, on peut en déterminer le comportement global. En mode chauffage, les puissances chaudes Q_c et froide Q_f du système peuvent être établies en fonction du nombre de paires de jambes (n) du module thermoélectrique:

$$Q_f = Q_f^{\text{peltier}} - Q^{\text{joule}} - Q^{\text{cond}}$$

$$Q_f = 2n \cdot (\alpha \cdot T_f \cdot I - \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - K \cdot \Delta T)$$

$$Q_c = Q_c^{\text{peltier}} + Q^{\text{joule}} - Q^{\text{cond}}$$

$$Q_c = 2n \cdot (\alpha \cdot T_c \cdot I + \frac{1}{2} \cdot R \cdot I^2 - K \cdot \Delta T)$$

T_c et T_h sont respectivement les températures des jonctions sur les faces chaude et froide. n est le nombre de jonctions de type p/n, α (en V.K-1) le coefficient de Seebeck, λ (en W.m-1.K-1) la conductivité thermique du matériau, ρ (en $\Omega \cdot m$) la résistivité électrique du matériau, K (en W.K-1) la conductance thermique, et R (Ω) est la résistance électrique du module. Ces deux derniers termes

S'expriment en fonction des propriétés géométriques des jambes selon :

$$K = \lambda \cdot \frac{S}{L}$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Avec L (en m) la longueur et S (en m^2) la section d'une jambe.

Ces équations de base permettront par la suite de déterminer l'effet des différents paramètres sur les performances du module.

- **Le coefficient de performance: COP**

Les performances du module peuvent être évaluées par le COP – coefficient de performance. Le COP est défini par le rapport de l'énergie transmise par rapport à celle qui est fournie. La valeur maximale du COP correspond au COPCARNOT, qui ne tient pas compte des irréversibilités et des différentes pertes. Le COPCARNOT s'écrit dans notre cas :

$$COP_{CARNOT} = \frac{T_c}{\Delta T}$$

On définit le coefficient de performance thermoélectrique du module COP_m, relatif à chacun des côtés du module (chaud et froid), de la façon suivante :

$$COP_m^c = \frac{Q_c}{P_{elec}} = COP_m^f + 1 = \frac{Q_f}{P_{elec}} + 1$$

On en déduit l'intensité I_{opt} qui correspond à une puissance électrique minimum pour un flux thermique donné. Pour I_{opt}, le COP_m est maximum, et atteint la valeur COP_{opt} qui dépend de la différence de température entre ses faces et du facteur de mérite, Z (en K-1) [Rowe 1995] :

$$I_{opt} = \frac{K\Delta T_{cep}}{\alpha T_m} \left[1 + \sqrt{1 + ZT_m} \right]$$

Et on exprime le COP optimal d'un module thermoélectrique résultant d'une alimentation électrique en fonction de I_{opt}:

$$COP_m^{opt} = \frac{T_m}{\Delta T_{cep}} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 + ZT_m} - 1}{\sqrt{1 + ZT_m} + 1} \right] - \frac{1}{2}$$

Où T_m est la température moyenne du module définie comme suit :

$$T_m = \frac{T_f + T_c}{2}$$

Le COP du module thermoélectrique dépend du facteur de mérite du matériau semi-conducteur. La différence de température entre les deux faces du module dépend des

températures des sources et de la résistance thermique que l'on peut diminuer par l'amélioration de l'efficacité des transferts de chaleur à la surface du module.

Enfin, l'intensité peut être adaptée pour chaque besoin de chauffe pour optimiser le COP

- **Conditions de fonctionnement nominal**

Les conditions de référence définies par la norme [NF EN 14511-2 :2008 01] pour les pompes à chaleur traditionnelles permettent de comparer directement les performances, évaluées à partir du coefficient de performance (COP). Les conditions de référence sont indiquées sur la Figure III-8.

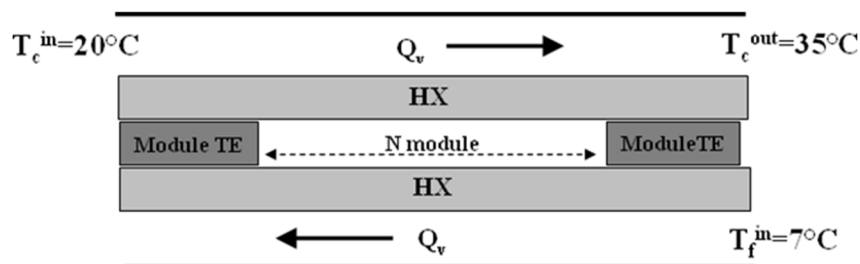


Figure III.8 Conditions de référence utilisées

On fixe la température d'entrée chaude $T_{c,in}$, la température de sortie chaude $T_{c,out}$ et la température d'entrée froide $T_{f,in}$ à 20°C, 35°C et 7°C respectivement.

La résistance thermique des échangeurs côté chaud et côté froid est considérée similaire pour la même géométrie et le même débit Q_v . On fixe également une circulation à contre-courant entre le côté chaud et froid, afin d'homogénéiser la température des modules et d'assurer un écart de température quasi constant entre les deux faces du module thermoélectrique.

Ainsi, on définit un coefficient de performance nominal COP_n intégrant la consommation des auxiliaires de circulation

$$COP_n = \frac{Q_c}{P_{éc} + P_{107}}$$

- **Exemple de calcul du courant et de l'absorption thermique**

Si la différence de température souhaitée et la tension de fonctionnement de l'alimentation sont connues, la dissipation thermique et le courant de fonctionnement peuvent être calculés à partir du module en utilisant les schémas fonctionnels présentés dans la fiche technique.

À titre d'exemple, les schémas fonctionnels représentés dans la Figure III-9 peuvent servir à trouver la chaleur pompée et le courant fourni, pour une température de plaque chaude (T_h) de 50°C, une température de plaque froide de 10°C et une tension fournie de 12 V.

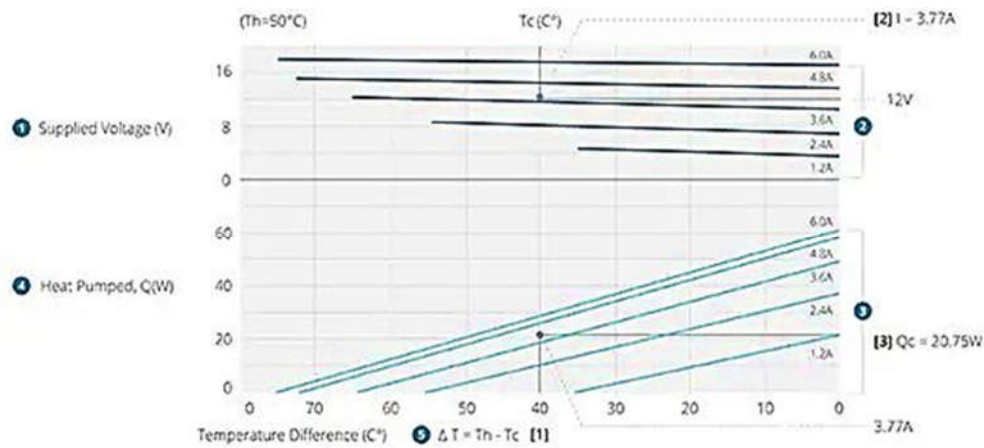


Figure III.9 Calcul du paramètre à l'aide des schémas fonctionnels de la fiche technique

- Déterminer le courant de fonctionnement et l'absorption thermique

1) Trouvez ΔT :

$$\Delta T = T - T - 50^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 40^{\circ}\text{C}$$

2) Utilisez le schéma fonctionnel pour $T = 50^{\circ}\text{C}$ pour trouver le courant pour maintenir $\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$, à la tension fournie :

Sur le schéma, $I = 3,77 \text{ A}$

3) Trouvez la chaleur pompée sur le schéma fonctionnel, à $I = 3,77 \text{ A}$ et $\Delta T = 40^{\circ}\text{C}$:

Sur le schéma, $Q = 20,75 \text{ W}$

III.6 Fatigue thermique dans les modules Peltier

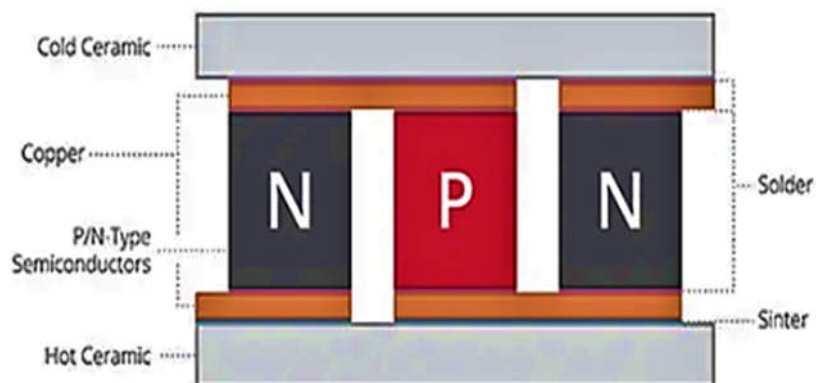


Figure III.10 Liaisons de soudure et de frittage d'un module Peltier conventionnel

Les refroidisseurs thermoélectriques peuvent être sensibles à la fatigue thermique. Les unités fabriquées de manière conventionnelle contiennent des liaisons de soudure ordinaires entre l'élément d'interconnexion électrique (cuivre) et les éléments à semi-conducteurs P/N, ainsi que des liaisons de soudure ou de frittage entre l'interconnexion et le substrat en

céramique (Figure III-10). Bien que ces techniques de liaison créent normalement de fortes liaisons mécaniques, thermiques et électriques, elles sont rigides et peuvent se dégrader et finalement être défaillantes lorsqu'elles sont soumises aux cycles répétés de chauffage et de refroidissement qui sont typiques du fonctionnement normal du module Peltier.

Le CUI a conçu la structure TEC™ pour les modules Peltier afin de lutter contre les effets de la fatigue thermique. La structure TEC remplace la liaison par soudure conventionnelle entre l'interconnexion électrique en cuivre et le substrat en céramique sur le côté froid du module par une résine thermo conductrice. Cette résine fournit une liaison élastique à l'intérieur du module, qui accepte la dilatation et la contraction se produisant lors de cycles thermiques répétés. L'élasticité de cette résine réduit les contraintes au niveau du module, tout en assurant une meilleure connexion thermique et une liaison mécanique supérieure, et ne montre aucune baisse marquée des performances dans le temps.

De plus, une soudure SbSn (antimoine-étain) spéciale remplace la soudure BiSn (bismuth-étain) typiquement utilisée entre les éléments à semi-conducteurs P/N et l'interconnexion en cuivre (Figure III-8). La soudure SbSn présente un point de fusion plus élevé de 235°C, par rapport à 138°C pour BiSn, et offre ainsi des performances de fatigue thermique supérieures et une meilleure résistance au cisaillement.

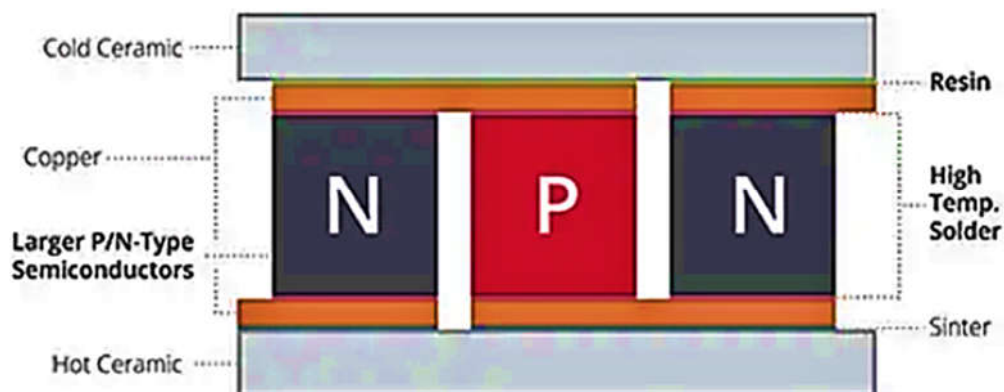


Figure III.11 Les améliorations de la structure arcTEC augmentent la fiabilité et les performances thermiques

Amélioration de la fiabilité et les performances thermiques

Pour améliorer davantage la fiabilité, les éléments P/N des modules à structure TEC sont fabriqués à partir d'un silicium de qualité supérieure et sont jusqu'à 2,7 fois plus grands que ceux utilisés par d'autres modules. Cela garantit des performances de refroidissement plus uniformes, en évitant les températures inégales qui contribuent au risque d'une durée de vie plus courte. La Figure III.11 illustre l'effet sur la répartition de la température en comparant les images infrarouges d'un module Peltier conventionnel (en haut) et d'un module à structure TEC (en bas). Les éléments P/N supérieurs des modules à structure TEC contribuent également à améliorer le temps de refroidissement de plus de 50 %.

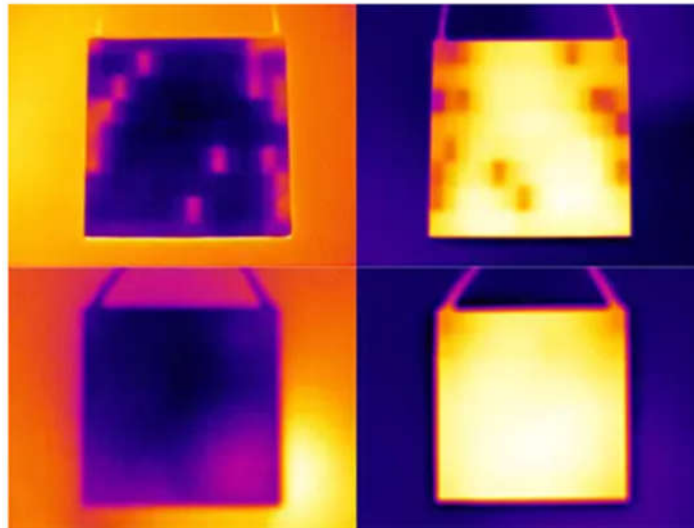


Figure III.12 Répartition améliorée de la température dans les modules à structure TEC (bas) par rapport aux modules conventionnels (haut)

La durée de vie améliorée des modules à structure TEC peut être démontrée en analysant la variation de la résistance interne des modules Peltier exposés au cycle thermique. Étant donné que le changement de résistance au niveau des modules Peltier est étroitement lié à la défaillance des liaisons, l'analyse de la tendance fournit une indication utile de la durée de vie. Les résultats présentés à la Figure -III.12 démontrent en outre l'amélioration significative de la durée de vie attendue rendue possible par la structure TEC

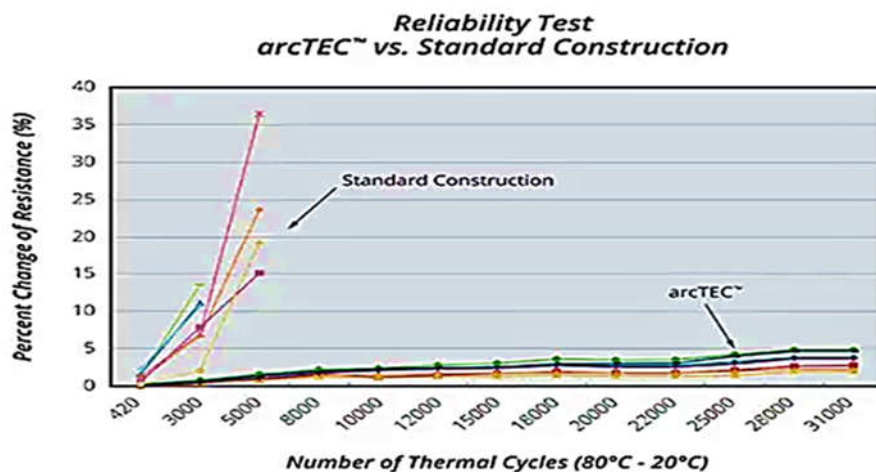


Figure III.13 Évaluation de la fiabilité en surveillant les changements de résistance

III.7 Les applications actuelles du module Peltier

L'application actuelle la plus importante concerne la réfrigération de glacières portatives alimentées par la prise allume cigare d'une voiture et les petits frigos de chambre. En effet ces frigos n'ont pas de compresseur et ne font donc aucun bruit. La société américaine Amerigon a par ailleurs développé un siège de voiture à refroidissement thermoélectrique. Dans le domaine de l'électronique, Apple utilise la thermoélectricité pour refroidir ces puces d'ordinateurs, apportant une fiabilité plus importante que les ventilateurs. Les containers utilisés pour le transport d'organes à transplanter, les applications dans lesquelles les vibrations sont gênantes (les systèmes de guidage laser ou les circuits intégrés) ont eux aussi recours au refroidissement par thermoélectricité. Notons que dans certains cas les convertisseurs sont couplés à des capteurs solaires procurant une autonomie totale aux systèmes de refroidissement.

III.8 Les applications futures du module Peltier

Les applications possibles de la thermoélectricité sont très nombreuses. En effet, au vu des recherches engagées dans ce domaine on peut imaginer la récupération de toute énergie perdue sous forme de chaleur que ce soit dans les cheminées d'incinérateurs, les circuits de refroidissement des centrales nucléaires ou dans les pots d'échappements des véhicules... Dans un moteur de voiture 40% de l'énergie est dissipée sous forme de chaleur. Les matériaux thermoélectriques offrent la possibilité de réduire la consommation d'essence en évitant l'usage de l'alternateur. Des capteurs réagissant à un échauffement pourraient aussi être créés. Le capteur à base de matériaux thermoélectriques produirait un courant qui déclencherait un système d'alerte.

De plus en électronique les refroidissements à air et à eau sont devenus insuffisant et pas assez précis. Ainsi nous pourrions refroidir, comme commence à le faire Apple, les ordinateurs grâce à la thermoélectricité ce qui, par ailleurs, réduirait la nuisance sonore de ceux-ci, et permettrait d'améliorer leurs performances. Pourquoi ne pas aussi récupérer la chaleur produite par ces mêmes circuits électriques afin de recharger les batteries de nos appareils portables, permettant de la sorte d'accroître leurs autonomies.

III.9 Solutions existantes à base d'éléments Peltier

Avant de commencer à concevoir un système personnalisé, toutes les solutions prêtes à l'emploi disponibles ont été examinées. Cette étude de l'industrie et du marché a donné une idée de la manière dont les fabricants expérimentés surmontent les inconvénients de la technologie Peltier et mettent en œuvre ses points forts. De plus, les solutions existantes ont donné une vision d'une conception qui est la plus optimale et la plus efficace

III.9.1 Domaines de mise en œuvre

Aujourd'hui, les modules Peltier sont utilisés à la fois dans les secteurs grand public et industriel. Ils sont mis en œuvre lorsque les besoins d'évacuation de la chaleur vont de quelques milliwatts à plusieurs dizaines de watts. Il n'est pas possible d'utiliser un élément Peltier pur sans modifications et installation de pièces supplémentaires. De plus, chaque application nécessite la prise en compte précise de détails supplémentaires en fonction du domaine d'utilisation et de l'approche.

Dans le domaine de la consommation, les modules Peltier sont largement utilisés dans les dispositifs de refroidissement portables ainsi que pour le refroidissement de petits appareils électroniques tels que les processeurs dans un PC. Les dispositifs de refroidissement portables sont représentés par les réfrigérateurs utilisés en camping et dans d'autres conditions extérieures. En général, ces applications ne nécessitent pas une grande dissipation de la chaleur, et donc des pièces supplémentaires massives. C'est pourquoi les modules Peltier sont utilisés avec succès dans ce cas.

La plus grande application des modules Peltier dans le domaine scientifique est le refroidissement des dispositifs utilisés pour les expériences et les examens de laboratoire, comme la recherche sur l'ADN et les cellules. Ces appareils sont généralement minuscules, c'est pourquoi un élément Peltier peut être utilisé librement pour refroidir l'ensemble de la zone de travail. Un autre champ d'application se situe dans les télescopes, les spectromètres et les caméras numériques en astronomie où le refroidissement des détecteurs de photons est nécessaire. Il permet de réduire le bruit et, par conséquent, d'obtenir des résultats plus clairs sans comptage supplémentaire de l'obscurité.

Par exemple, la recherche sur l'ADN se fait à l'aide de moteurs spécialement conçus pour ce type d'examen. Ces machines fournissent une température précise et constante de la surface où le matériel est placé pendant l'expérience. À cette fin, des modules Peltier sont mis en œuvre. Cette configuration rend la recherche facile à contrôler et robuste. Ce type de site

Les machines sont largement utilisées dans les centres scientifiques et médicaux certifiés, et sont très fiables.

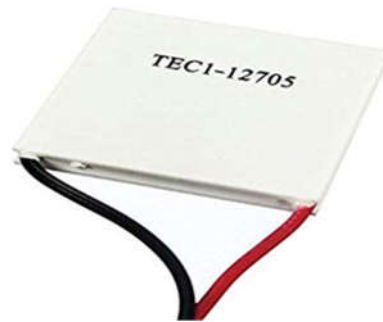
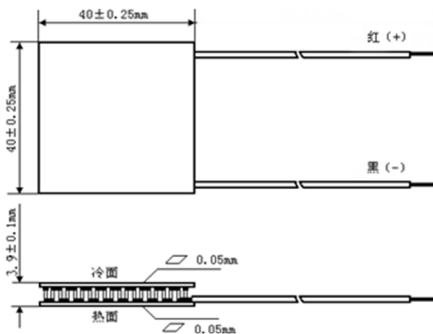
Conclusion

Les refroidisseurs thermoélectriques sont des dispositifs fonctionnant sur la base de l'effet thermoélectrique. Comparé au refroidisseur traditionnel à compresseur, le refroidisseur thermoélectrique présente des avantages sur tous les plans, à l'exception d'une efficacité moindre. Pour augmenter l'efficacité des refroidisseurs thermoélectriques, des efforts ont été consacrés à l'amélioration des performances des matériaux thermoélectriques.

CHAPITRE IV Réalisation d'une machine à refroidissement / chauffage d'eau a module Peltier

IV.1 Matériel utilisé

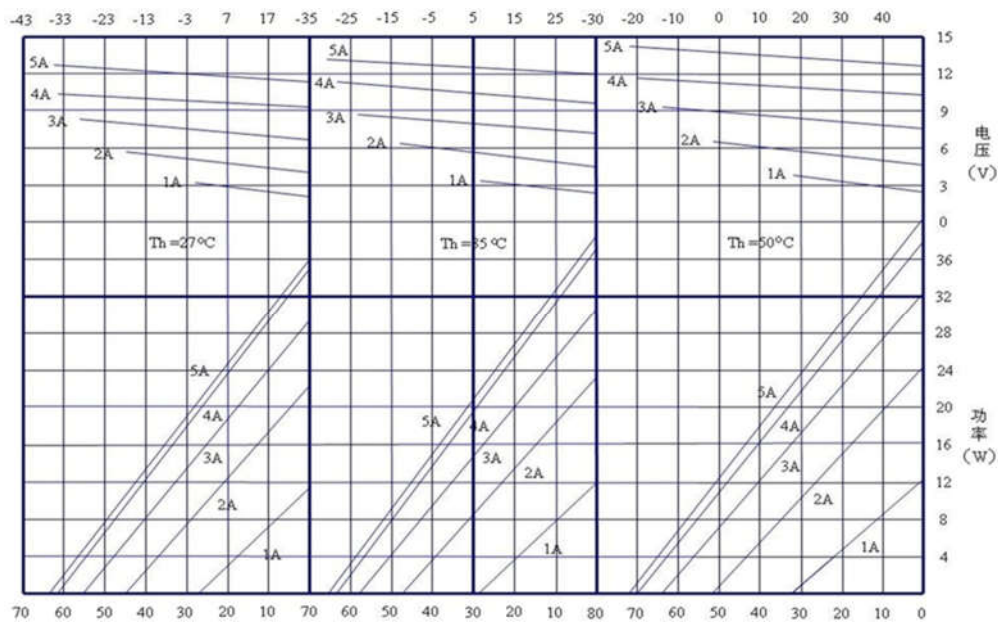
1. Thermoélectrique Module TEC1-12705
2. Pompe à Eau
3. Alimentation intégrée
4. Ventilateur
5. Pâte thermique HY510
6. Tube de silicone
7. Dissipateur de chaleur
8. Bloc de refroidissement en Aluminium



- **Module TEC1-12705**

Spécifications		Conditions
I _{max}	5.0A	Th=30°C
V _{max}	15.0V	Th=30°C
ΔT _{max}	≥67°C	Q _c =0, Th=30°C
Q _{cmax}	42.5W	ΔT=0°C, Th=30°C
TR	-50~100°C	
Wire	20AWG, Length: 150mm	

Performance Curves



- **Pompe à Eau** : Une pompe est un dispositif permettant d'aspirer et de refouler le liquide de refroidissement

Fiche technique de la pompe



Model	AD20P-1230A
Tension nominale de fonctionnement	12VDC
Puissance nominale	4.8W
Courant nominale	400 ± 20 (mA)
Max de débit	240 ± 20 L / H
Durée de vie	Le fonctionnement continu environnant > 20000H
Qualité IP	IP68
Couleur	Noir
Dimension de la pompe	L54.4 * L52 * H40.8 (mm)
Entrée / Sortie diamètre extérieur	8.5mm / 8.5mm
Application	animal eau potable, fontaine, aquarium, humidificateur, refroidissement de l'appareil, etc.

- **Alimentation à découpage 360W 12V DC30A**



Description

Source d'alimentation à découpage 12V DC 360W.

Ce transformateur est idéal pour alimenter des spots LED ou rubans LED ayant une tension de fonctionnement de 12V-DC.

Nous recommandons de toujours utiliser un transformateur de tension d'une puissance supérieure de 10% à la puissance totale.

SPECIFICATION

Référence :

	IRD-360-12
· Puissance (W)	360
· Tension nominale (V)	110/230V-AC
· Fréquence (Hz)	50 - 60
· Tension de sortie (V)	12V-DC
· Intensité max (A)	30
· Dimensions (mm) Lxlxh	199x98x43
· Matériel	Aluminium
· IP	IP20
· Plage de t°	-20°C ~ +40°C
· Fréquence utilisation	Normale
· Durée de vie (h)	25000

- **W1209 Thermostat module**

Description du produit:

Plage de contrôle de la température: -50~110 °C

Résolution : -9,9 à 99,9 est 0,1° C, 1 ° C plages de température autres

Précision de mesure : 0,1 ° C

Précision du contrôle : 0.1°C

Précision de l'hystérésis : 0.1°C

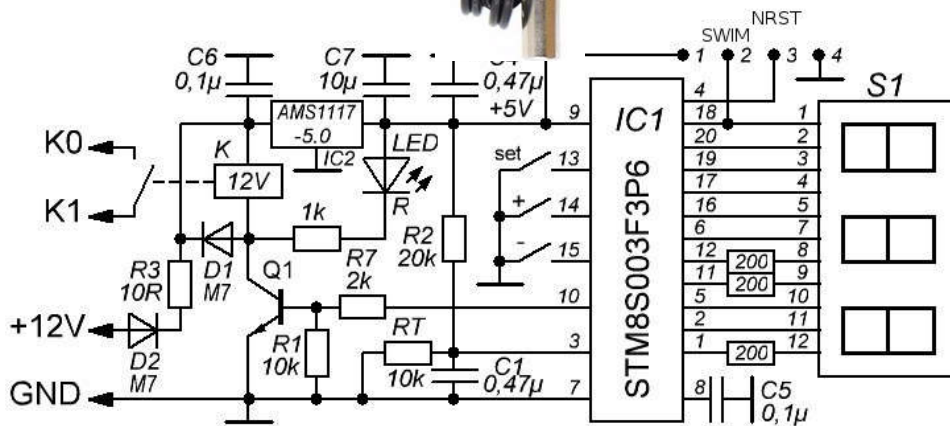
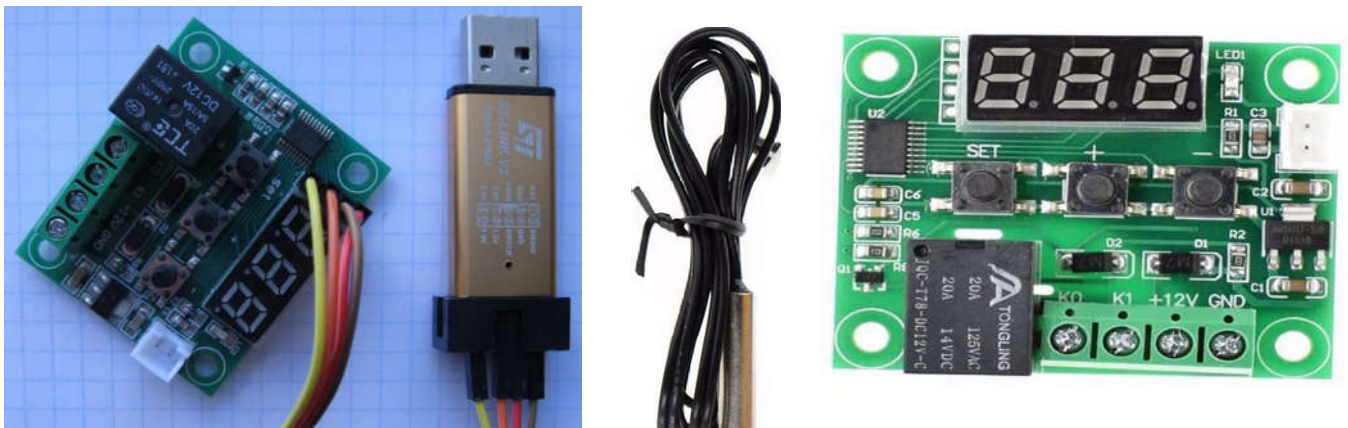
Taux de rafraîchissement : 0.5 S

Entrées de mesure: Capteur étanche NTC(10K0,5%)

Sortie: Sortie relais 1canal, capacité=10A

Taille : 49(L)*40 (W)*15.8(D)mm

Consommation électrique : Courant statique: <=35MA, Courant d'attraction: <=65MA



Configuration W1209 Thermostat module

Connectez l'alimentation et l'équipement, à l'alimentation du contrôleur, comme la température mesurée est affichée, appuyez sur le bouton SET, la température d'affichage clignote, appuyez sur "+" "-" pour régler la température désirée. Après le réglage, appuyez sur SET pour confirmer le retour, puis le contrôleur selon la température réglée exécuter automatiquement le relais.

Indicateur, état des LEDs Description

Indicateur : indique que le relais est fermé, éteint signifie que le relais a été déconnecté; Numérique : Affiche le capteur 888 est ouvert, suivez les instructions pour connecter le Capteur; Afficher HHH pour le dépassement de la température maximale de la plage de mesure, le thermostat sera forcé de couper le relais ; Afficher LLL de la plage de mesure de la température la plus basse, le thermostat sera forcé de couper le relais; Affichage - - - alarme de température élevée, le thermostat déconnecte le relais de force;

Paramètre Fonction

Appuyez sur le bouton SET pendant 5 secondes pour accéder aux paramètres du menu principal, appuyez sur les touches "+" "-" pour commuter de P0 à P8, appuyez longuement sur SET pour confirmer ou automatiquement 10 secondes après l'arrêt de l'utilisation du contrôleur pour revenir.

P0 mode réfrigération, chauffage

Dans l'interface du menu principal P0, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+" "-" pour passer au mode de chauffage [H] [C] pour le mode de refroidissement, appuyez sur SET pour revenir, appuyez longuement sur SET ou 10 secondes sans bouton d'opération de contrôle automatiquement confirmer l'achèvement.

[C] en mode refroidissement: Valeur mesurée \geq point de consigne + Hystérésis, relais; valeur mesurée \leq point de consigne, relais désactivé;
[H] En mode chauffage : Valeur mesurée \leq point de consigne - hystérésis, relais ; valeur mesurée \geq point de consigne, le relais désactivé;

Réglage de l'hystérésis de P1

Dans le menu principal de l'interface P1, appuyez sur le bouton SET pour entrer dans les paramètres de l'hystérésis, appuyez sur le "+" "-" pour définir l'hystérésis de 0,1 à 30, appuyez sur SET pour revenir après l'achèvement d'une longue pression SET ou 10 secondes sans l'opération du bouton contrôleur automatiquement confirmer l'achèvement.

P2 limite de réglage de la température la plus élevée

Pour éviter toute utilisation abusive d'autre conduit à la température de consigne est trop élevé risque, le réglage le plus élevé de l'écrêtement thermostat définissant la gamme de réglage du thermostat de contrôle point de consigne de température maximale. Dans le menu principal de l'interface P2, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+" "-" pour définir la température de réglage (maximum 110), appuyez sur SET pour revenir après l'achèvement d'une longue pression SET ou 10 secondes sans bouton contrôleur de mouvement automatiquement confirmer l'achèvement.

Par exemple : P2 est réglé sur 60 °C, la température la plus élevée mesurée n'est que de 60 °C, lorsque la température atteint 60 °C, le tube numérique affiche "H H H", le relais est déconnecté de force. Si vous souhaitez une température de consigne plus élevée pour étendre le champ d'application, vous devez ajuster la valeur de consigne de la limite supérieure.

P3 fixe la limite de température minimale

Pour éviter une mauvaise utilisation d'autres conduisent à l'apparition de la température de blocage de la glace est trop faible, le plus bas de la fonction de limite inférieure de réglage du thermostat, définissant la portée du réglage du thermostat contrôle le point de consigne de la température minimale.

Dans le menu principal de l'interface P3, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+" "-" régler la température minimale peut être réglé (minimum -50), appuyez sur SET pour revenir après l'achèvement d'une longue pression SET ou 10 secondes sans contrôleur clavier confirmer automatiquement l'achèvement.

Par exemple: P3 est réglé sur - 20°C, la température la plus basse de -20 °C peut être mesurée, lorsque la température a été abaissée à -20 °C après, la LED affiche "L L L", le relais est déconnecté de force. Si vous voulez abaisser la température de consigne pour étendre le champ d'application, vous devez ajuster la limite inférieure de la valeur de réglage.

P4 correction de la température

Lorsque la température mesurée et l'écart type de la température ou parce que le matériel de l'utilisateur a des besoins particuliers, vous pouvez utiliser cette fonction pour corriger la température corrigée avant la correction + = correction de la température plage effective de -7,0 à 7,0 (unité °C).

Dans l'interface du menu principal P4, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+" "-" pour définir la valeur de correction, appuyez sur SET pour revenir une fois terminé, appuyez longuement sur SET ou 10 secondes sans opération du bouton du contrôleur pour confirmer automatiquement l'achèvement. Par exemple: Affichage normal 25 degrés; la correction de température est 0:00 Afficher 25 degrés ; affichage de la correction de température 26,5 1,5 degrés ; correction de température -1,5 23,5 degrés lors de l'affichage.

P5 temps de départ différé (unité: secondes)

Lorsque des travaux de réfrigération ou de chauffage sont nécessaires, la fonction de temporisation peut être activée afin de protéger la durée de vie de l'équipement.

Dans le menu principal de l'interface P5, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+" "-" Réglage du temps de démarrage différé (unité: secondes), le temps de retard dans la gamme de 0-600 secondes, appuyez sur SET pour revenir après l'achèvement d'une longue pression SET ou 10 secondes sans bouton d'opération contrôleur automatiquement confirmer l'achèvement.

P6 Buzzer (cette fonction n'est pas valide)

P7 Fonction d'alarme de température

Dans l'interface du menu principal P7, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+" "-" pour régler l'alarme de température élevée; la plage de réglage de la température est de 0 à 5°C. 110°C ou OFF pour désactiver cette fonction (la valeur par défaut est 50°C). Une fois l'opération terminée, appuyez sur SET pour revenir, appuyez longuement sur SET ou 10 secondes sans action sur le bouton du contrôleur pour confirmer automatiquement l'opération.

Lorsque la température atteint la valeur de réglage de l'alarme de température élevée, l'affichage numérique - - - force simultanément la désactivation du relais. Lorsque le réglage a été effectué en appuyant sur la touche "-", la valeur de réglage est réduite à 0, puis en cliquant sur la touche "-" pour afficher "OFF", la fonction est alors désactivée, la fonction d'alarme de température élevée est invalide.

P8 restaurer les paramètres d'usine

Certaines causes d'origine humaine entraînent une confusion dans le réglage du thermostat interne, il faut régler les paramètres un par un, ce qui prend du temps, puis utiliser

cette fonction pour rétablir les paramètres d'usine

Dans l'interface du menu principal P8, appuyez sur la touche SET pour entrer dans la configuration, appuyez sur "+", "-" est réglé sur [H], appuyez sur SET pour revenir après l'achèvement d'une longue pression SET ou 10 secondes sans bouton d'opération du contrôleur confirmer automatiquement la récupération complète des paramètres d'usine. (Autre méthode : Dans l'état d'arrêt, tout en maintenant enfoncé le bouton "+" et "-", puis sur, tous les paramètres ci-dessus retour aux paramètres d'usine par défaut).

- **Ventilateur**

Un ventilateur est un appareil destiné, comme son nom l'indique, à créer un vent artificiel, un courant d'air utilisé pour en refroidir activement des composants en permettant un flux d'air frais vers l'intérieur et d'air chaud vers l'extérieur ou en améliorant la circulation d'air sur le dissipateur thermique d'un composant particulier



Fiche technique ventilateur

Marque : COOLER MASTER / HP / Compaq

Référence : 359659-001

Socket : 478

Vitesse de rotation : 18000tr/min

Dimension : 75 x 75 x 15 mm

Connectique : 3-Pin

Longueur de fil : 14 cm.

- **Pâte thermique HY510**

La pâte thermique est une substance qui augmente la conductivité thermique entre les surfaces d'un ou plusieurs objets, en réalisant un « joint thermique » quand ces surfaces ne sont pas parfaitement polies

Caractéristiques:

- Aide À Disperser La Chaleur De CPU Dissipateur Thermique Efficace.
- Faible Résistance Et Haute Conductivité Thermique de Transfert De Chaleur Supérieure.
- Haute Résistance À La Température. Non-toxique, insipide, Non-corrosif.

Spécification :

- Modèle : HY510
- Conductivité Thermique : $> 1.93 \text{ W/m-k}$
- Résistance Thermique : $< 0.225 \text{ }^\circ\text{C-in}^2/\text{W}$
- Couleur : Gris



- **Tube de silicone**

Silicone hautement flexible 8 * 10 mm

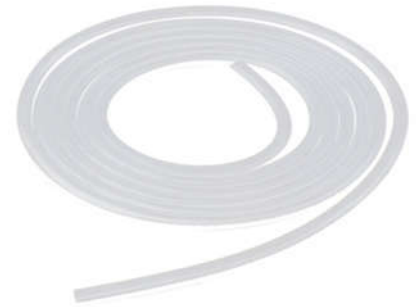
Taille : Diamètre intérieur x Diamètre extérieur 8 * 10mm

Plage de température : -60 Celsius ~ 280 Celsius

Dureté : environ 65 degrés

Matériel : silicone de qualité alimentaire

Couleur : Transparent



- **Dimensions du dissipateur (eau-air)**

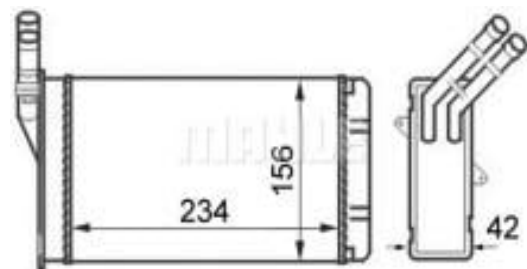
Longueur 234 mm

Largeur 156 mm

Épaisseur 42mm

Nombre d'ailettes 210

270 ml de liquide de refroidissement



IV.2 Construire une unité de refroidissement

Pour créer une unité de refroidissement thermoélectrique pratique,

On a intégré le module Peltier dans un système qui comprend un récipient d'eau à haute conductivité thermique, et un bloc en alliage d'aluminium qui est relié à un radiateur en cuivre

Le circuit de refroidissement du système permet la circulation du liquide de refroidissement refoulé par une pompe, par convection on récupère la chaleur d'eau du récipient et on la dissipe par le radiateur en aluminium et le dissipateur de chaleur on a utilisé un soufflage d'air forcé avec des ventilateurs pour augmenter la vitesse de dissipation du radiateur en aluminium

Une fine couche de graisse thermique, est appliqué sur chaque surface pour obtenir une bonne conductivité

IV.3 Méthodologie de conception

La méthodologie de conception aborde les différents paramètres utilisés pour concevoir le système de réfrigération thermoélectrique et les calculs nécessaires pour sélectionner le nombre de modules Peltier

IV.3.1 Calculs de la charge de refroidissement : théorique

Charge frigorifique = Effet frigorifique = $\frac{m*cp*\Delta t}{t}$, où m= débit massique en Kg

Cp= chaleur spécifique du fluide KJ/KgK

ΔT =différence de température en K

t = temps nécessaire en secondes

Cette formule donne la charge de refroidissement et il est alors possible de sélectionner le nombre de modules Peltier

IV.3.2 Sélection du nombre de modules Peltier

Paramètres fixes :

1) Masse de l'eau = 1kg

2) Cp pour l'eau = 4,18 KJ/KgK

3) Différence de température = 10 °C

4) Durée = 4.3 min

$$\text{Effet frigorifique} = \frac{m*cp*\Delta t}{t} = \frac{1*4.187*10}{4.3*60} = 0.1622 \text{ kw}$$

Nombre de modules = $\frac{\text{Effetderefrigeration (w)}}{\text{Capacité d' unmodulepeltier (w)}}$ = où **Capacité minimale du module peltier =60W**

$$\text{Nombre de modules} = \frac{162.2}{60} = 2.70 \approx 3 \text{ modules.}$$

la sélection de 3 modules Peltier pour la réfrigération thermoélectrique est nécessaire.

IV.4 Assemblage du system de refroidissement thermoélectrique

L'assemblage du système de refroidissement thermoélectrique comprend les pièces principales suivantes.

- 1) Alimentation - 12V DC, nécessaire pour le fonctionnement des modules Peltier et des ventilateurs
- 2) Unité de microcontrôleur - Pour contrôler et faire fonctionner l'unité de relais en fonction de la température.
- 3) Unité de relais - Agit comme un interrupteur pour activer et désactiver les modules Peltier et la pompe à eau
- 4) Capteurs de température - Pour détecter les températures à l'entrée et à la sortie du tuyau.
- 5) Système de refroidissement avec modules Peltier - Pour obtenir un effet de réfrigération
- 6) Dissipateur thermique (radiateur) avec ventilateur - Dissipe la chaleur dans l'environnement.
- 7) Affichage LCD- Pour indiquer les températures et les réglages de température.

IV.4.1 Expérimentation

Le montage expérimental est réalisé et est présenté. Il a été décidé d'effectuer un essai sans charge (le récipient d'eau vide) et autres essais à charge (le récipient d'eau contient 1 litre d'eau)

L'essai a été réalisé dans une pièce dont la température atmosphérique est de 23°C. 27°C.

Les instruments utilisés pour les essais sont :

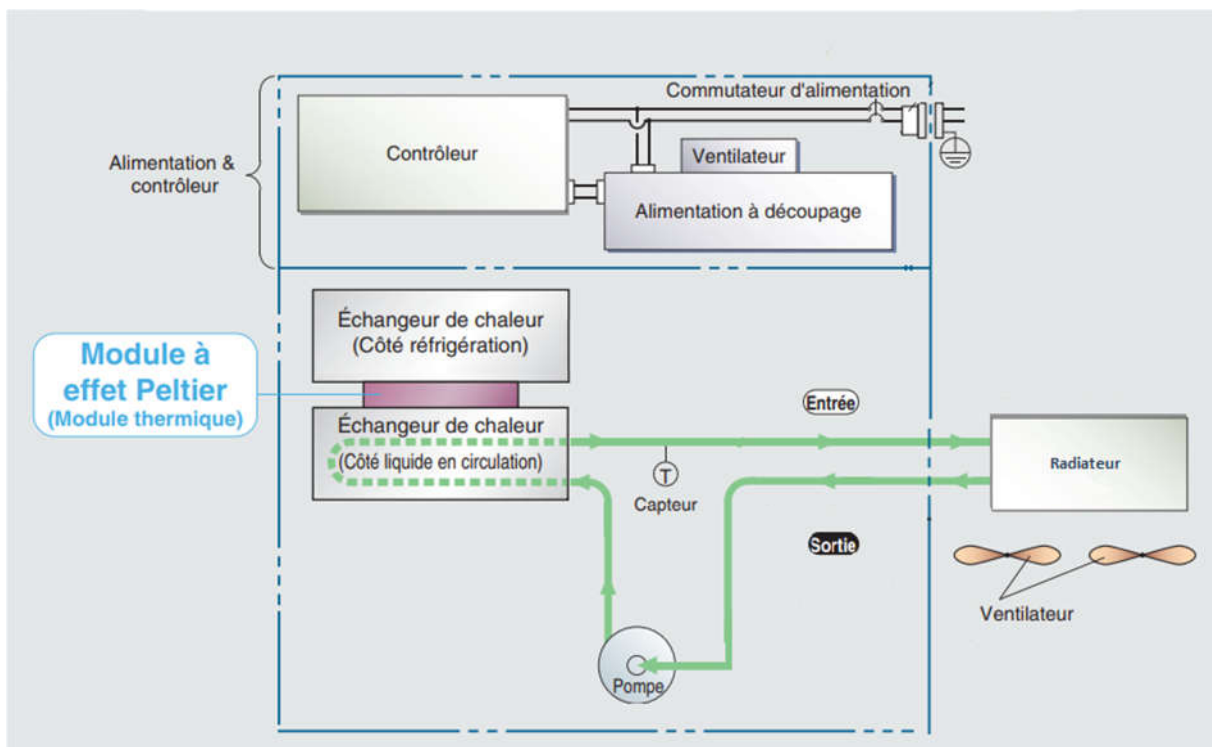
- Thermomètre
- Chronomètre
- L'expérimentation comporte les étapes suivantes :
- Toutes les connexions sont vérifiées.
- La température atmosphérique est enregistrée à l'aide d'un thermomètre.
- L'alimentation électrique est fournie au dispositif expérimental à l'aide d'un cordon d'alimentation.
- La température de sortie requise est réglée à l'aide de boutons poussoirs.
- Les valeurs initiales de température de l'écran LCD ont été enregistrées.
- Les modules Peltier avec le dissipateur thermique et le ventilateur sont activés par des relais et le refroidissement démarre.
- Le temps est enregistré pour la diminution de la température en utilisant un chronomètre.

- Le tableau des temps et des températures est préparé et une analyse plus approfondie est effectuée.

IV.4.2 Précautions

- 1) Ne pas faire fonctionner le module Peltier sans dissipateur thermique ni ventilateur.
- 2) Vérifiez que toutes les connexions électriques sont correctes.
- 3) Évitez la surchauffe du transformateur.

- **Schéma de représentation la machine**



IV.5 Résultats obtenus

Essai 1

Observation

Pour une condition sans charge :

L'essai a été réalisé dans une pièce dont la température atmosphérique est de 23°C et l'air circule dans le tuyau comme une charge.

Tableau 1 Variation de la température en fonction du temps (sans charge)

Température (°C)	Temps(Sec)	entre	sortie
20	0	20	20
19.2	5	20.2	19.9
17.5	10	20.4	20
15.9	15	20.8	20.1
11.6	25	21.7	21.2
5.3	40	22.4	22.1
-0.8	60	22.9	22.3
-6.9	90	24.7	24.1
-10	120	26.1	25.3
-11	150	27.4	26.6
-12	180	28.5	27.8
-12	240	31	30.1

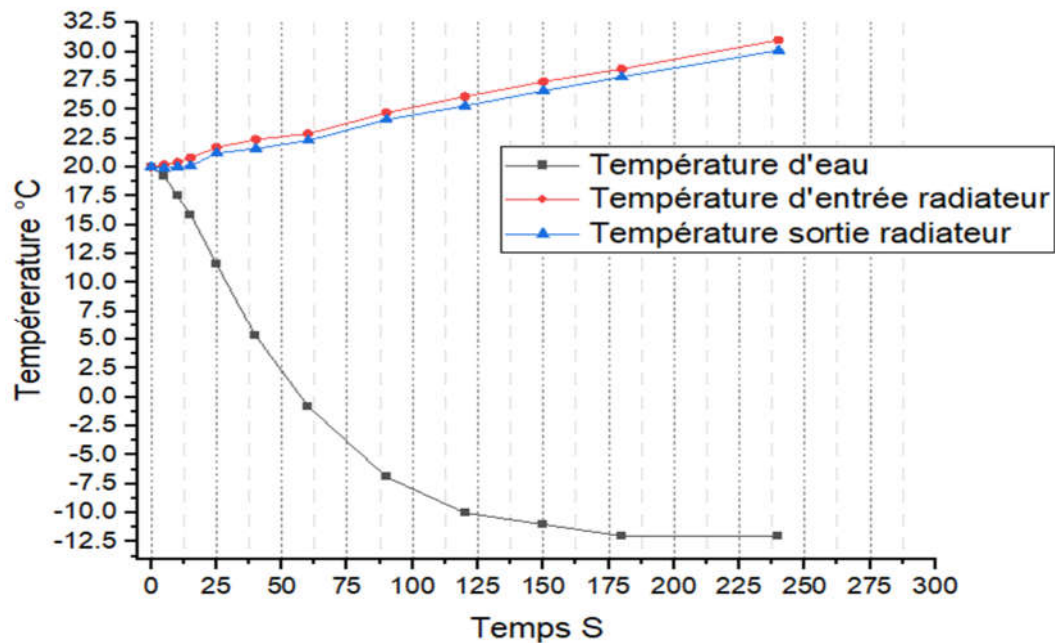


Figure IV-1 Variation de la température en fonction du temps (sans charge)

D'après le graphique ci-dessus, on peut déduire que

- 1) Pour une diminution de la température de 23 °C à -2.5 °C, le taux de refroidissement est rapide et presque linéaire.

2) Au-delà de -2.5°C , la vitesse de refroidissement devient faible et le temps de refroidissement est beaucoup plus long.

3) Au-delà de -11°C , la température se stabilise ce qui signifie que le système a atteint sa limite

Les facteurs responsables de la réduction du taux de refroidissement sont les suivants :

- 1) Perte de chaleur aux extrémités du récipient vers l'environnement.
- 2) La différence de température entre le côté chaud et le côté froid augmente, ce qui réduit l'effet de refroidissement.
- 3) Perte de chaleur vers l'air qui circule dans le tuyau.
- 4) Perte de chaleur au niveau de la partie non isolée.

- **Pour les conditions de charge**

Pour la condition de charge, 1 litre d'eau est rempli à l'intérieur de la barre d'aluminium. L'essai a été réalisé dans une pièce dont la température ambiante est de 27°C .

Essai 2 (Refroidir l'eau $T_{\text{int}} = 32^{\circ}\text{C}$)

Tableau 2 refroidir l'eau à la température initiale de 32°C

<i>Température ($^{\circ}\text{C}$)</i>	<i>Temps (Sec)</i>	<i>Température ($^{\circ}\text{C}$) d'entrée radiateur</i>	<i>Température de sortie radiateur ($^{\circ}\text{C}$)</i>
32	0	27	27
31.1	5	27.5	27.2
30.8	30	29	28.4
29.1	60	29.9	29.4
26.9	120=2min	32	31.4
24.9	180=3min	35.1	34.6
23.2	300=4min	36.7	36.2
17.7	600=8min	37.9	37.4
13.2	900=12min	39.1	38.6
10.3	1200=16min	40.9	40.5
8.00	1600=20min	42.4	41.9

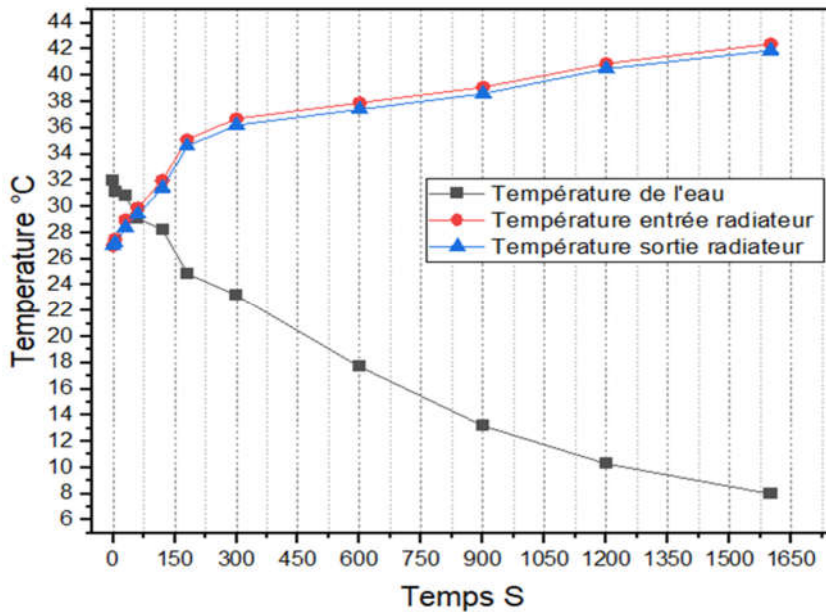


Figure IV-2 Variation de la température en fonction du temps (Charge)

- 1) Pour une diminution de la température de 32 °C à 24 °C, le taux de refroidissement est rapide et presque linéaire.
- 2) Au-delà de 15 °C, la vitesse de refroidissement devient faible et le temps de refroidissement est beaucoup plus long.
- 3) A la température de 8°C le système de refroidissement est long ce qui veut dire que le système est atteint à sa limite.
- 4) la température d'entrée au radiateur est plus élevée que celle de sortie ca c'est dû à la chaleur dissipé par le radiateur

Les facteurs responsables de la réduction du taux de refroidissement sont les suivants :

- 1) La différence de température entre le côté chaud et le côté froid augmente, ce qui réduit l'effet de refroidissement.
- 2) Perte de chaleur vers l'air qui circule dans le tuyau.
- 3) Perte de chaleur au niveau de la partie non isolée.

- **CALCULS COP théorique du système**

Pour le module TEC1-12705

T_h = Température du côté chaud du module Peltier 25 °C = 298K

T_c = Température du côté froid du module Peltier 10 °C = 283K

I_{max} = Courant d'entrée maximal = 5A

V_{max} = Tension DC maximale = 12V

Q_{max} = Capacité du module Peltier = 60W

ΔT_{max} = Différence de température maximale = 66 K

α_m = Tension de Seebeck = $\frac{V_{max}}{T_h} = \frac{12}{298} = 0.0402 \text{ v/k}^\circ$

R_m = Résistance électrique du module Peltier = $\frac{(T_h - \Delta T_{max})}{T_h} * \frac{V_{max}}{I_{max}} = \frac{298 - 66}{298} * \frac{12}{5} = 1.868 \Omega$

K_m = Conductance thermique du module Peltier = $\frac{(T_h - \Delta T_{max}) * V_{max} * I_{max}}{\Delta T_{max} * T_h} = \frac{298 - 66}{66} * \frac{12 * 5}{298}$
 = $0.707 \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$

- **L'effet frigorifique théorique est donné par**

$$Q_f = (\alpha_m * T_c * I) - \frac{1}{2}(I^2 R_m) - K_m * (T_h - T_c)$$

$$Q_f = (0.04026 * 283 * 5) - \frac{1}{2}(5^2 * 1.868) - 0.707 * (298 - 283)$$

$$Q_f = 44.22 \text{ W}$$

- **La puissance d'entrée est donnée par**

$$W = \alpha_m * I * (T_h - T_c) + I^2 R_m$$

$$W = 0.04026 * 5 * (298 - 283) + 5^2 * 1.868 \text{ W} = 49.71 \text{ W}$$

- **COP théorique**

$$\text{COP}_{th} = \frac{Q_f}{W} = \frac{44.22}{49.71} = 0.89$$

- **Pour la condition de charge**

Soit, m = masse d'eau remplie à l'intérieur = 1 Kg

C_p = chaleur spécifique de l'eau = 4.187KJ/KgK

L'effet réfrigérant est donné par

$$Q_{f1} = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 10^3}{30} = 167.4 \text{ W}$$

$$Q_{f2} = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta t}{t} = \frac{2.2 \cdot 1 \cdot 4.187 \cdot 10^3}{60} = 153.5 \text{ W}$$

$$Q_{f3} = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 2 \cdot 10^3}{60} = 139.5 \text{ W}$$

$$Q_{f4} = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 1.7 \cdot 10^3}{60} = 118.6 \text{ W}$$

$$Q_{f5} = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 5.5 \cdot 10^3}{180} = 127.9 \text{ W}$$

$$Q_{f6} = \frac{m \cdot cp \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 4.5 \cdot 10^3}{240} = 78.50 \text{ W}$$

Tableau 3 calcul de l'effet réfrigérant

Qf (W)	Intervalle de temps S	Temps (ΔT)
167.4	(0s-30s)	30
153.5	(60s-120s)	60
139.5	(120s-180s)	60
118.6	(180s-300s)	60
127.9	(300s-480s)	180
78.50	(480s-720s)	240

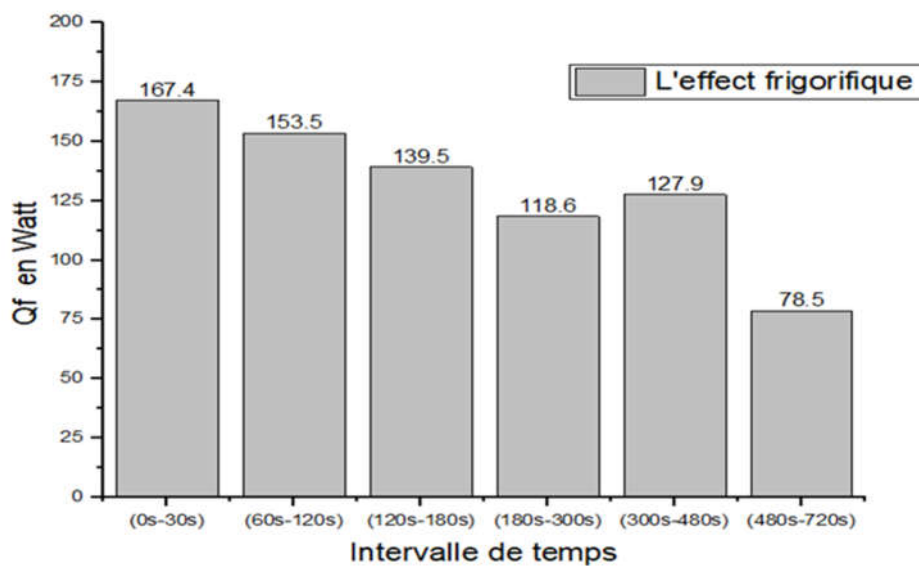


Figure IV-3 l'effet réfrigérant

La puissance d'entrée est donnée par

$W = \text{Puissance consommée du module Peltier} * \text{Nombre de modules Peltier}$

$$W = 60 * 3 = 180 \text{ W}$$

- **COP réel**

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qf1}{w} = \frac{167.4}{180} = 0.93$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qf2}{w} = \frac{153.5}{180} = 0.85$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qf3}{w} = \frac{139.5}{180} = 0.77$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qf4}{w} = \frac{118.6}{180} = 0.65$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qf5}{w} = \frac{127.9}{180} = 0.71$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qf6}{w} = \frac{78.5}{180} = 0.43$$

Tableau 4 calculs coefficient de performance COP

$\text{COP}_{\text{réel}}$	Intervalle de temps	Temps (ΔT)
0.93	(0s-30s)	30
0.85	(60s-120s)	60
0.77	(120s-180s)	60
0.65	(180s-300s)	60
0.71	(300s-480s)	180
0.43	(480s-720s)	240

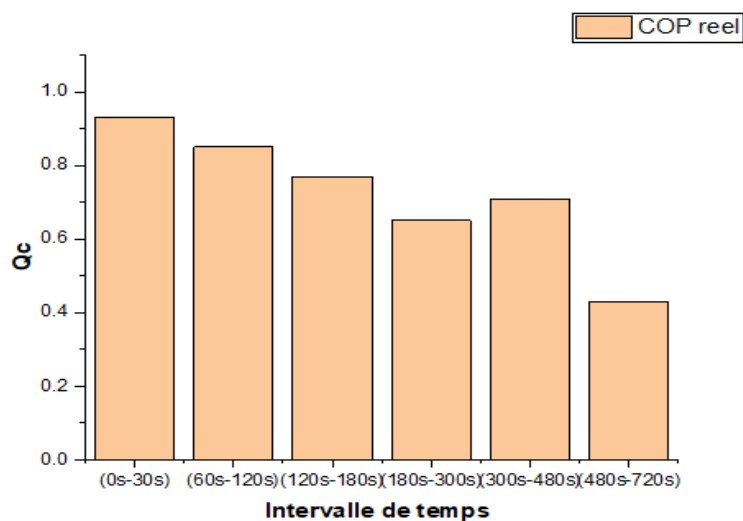


Figure IV-4 représentation du $\text{COP}_{\text{réel}}$

Calcul du flux de chaleur dissipé par le radiateurs

$$\Phi = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Paramètres fixes :

$$m = 1 \text{ Kg}$$

$$C_p = 4.187 \text{ Kj/Kg.}^\circ\text{k}$$

$$\Phi_1 = 1 \cdot 4.187 \cdot (27.2 - 27.5)$$

$$\Phi_2 = 1 \cdot 4.187 \cdot (28.4 - 29)$$

$$\Phi_3 = 1 \cdot 4.187 \cdot (29.4 - 29.9)$$

<i>Température d'entrée radiateur (°C)</i>	<i>Température de sortie radiateur (°C)</i>	<i>Flux de chaleur dissipé par le radiateur (Kj)</i>
27.5	27.2	1.256
29	28.4	2.093
29.9	29.4	2.093
32	31.4	2.51
35.1	34.6	2.093
36.7	36.2	2.093
37.9	37.4	2.093
39.1	38.6	2.093

Essai 3

Chauffage de 1 l d'eau et maintenir la température entre 20°C et 22°C a la température ambiante 16°C

Machine en marche

Tableau 5 chauffage de 1kg d'eau pour maintenir la température entre 20°C et 22°C

Température (°C)	Temps (Sec)	Température d'entrée radiateur	Température de sortie radiateur
16.1	0	17	17
17.5	10	16.9	17
18.4	20	16.7	16.9
19	30	16.6	16.8
19.7	40	16.5	16.7
20.5	60	16.2	16.5
21.4	70	16	16.2
22	75	15.8	16

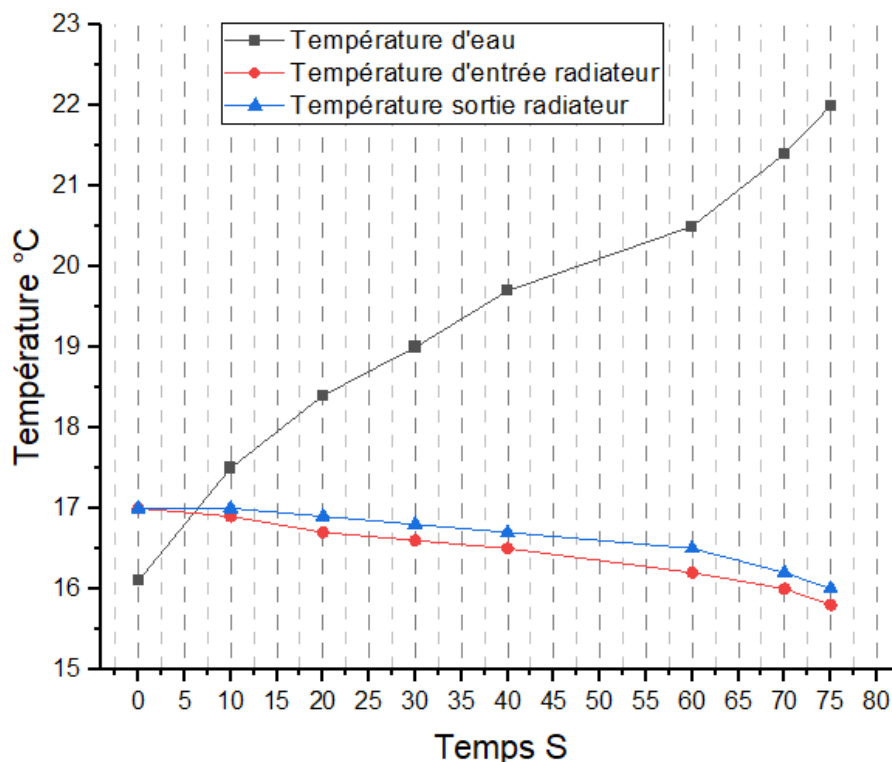


Figure IV-4 chauffage de 500 ml d'eau pour maintenir la température entre 20°C et 22°C

A part

- Pour une augmentation de la température de 16 °C à 22 °C, le taux de rechauffement

est rapide et presque linéaire

- Dans ce cas c'est l'eau froide qui circule dans le radiateur .

- **Calculs Q_c**

Conditions de charges

Soit, m = masse d'eau remplie à l'intérieur = 1 Kg

C_p = chaleur spécifique de l'eau = 4.187KJ/KgK

L'effet réfrigérant est donné par

$$Q_{c1} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 1.4}{10} = 0.58 \text{ W}$$

$$Q_{c2} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 0.9}{10} = 0.36 \text{ W}$$

$$Q_{c3} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 0.6}{10} = 0.24 \text{ W}$$

$$Q_{c4} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 0.7}{10} = 0.28 \text{ W}$$

$$Q_{c5} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 0.8}{20} = 0.16 \text{ W}$$

$$Q_{c6} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 0.9}{10} = 0.32 \text{ W}$$

$$Q_{c7} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta t}{t} = \frac{1 \cdot 4.187 \cdot 0.6}{5} = 0.50 \text{ W}$$

Tableau 6 l'effet réfrigérant

Q_c	Intervalle de temps S	Temps (ΔT)
0.58	(0s-10s)	10
0.36	(10s-20s)	10
0.24	(20s-30s)	10
0.28	(30s-40s)	10
0.16	(40s-70s)	20

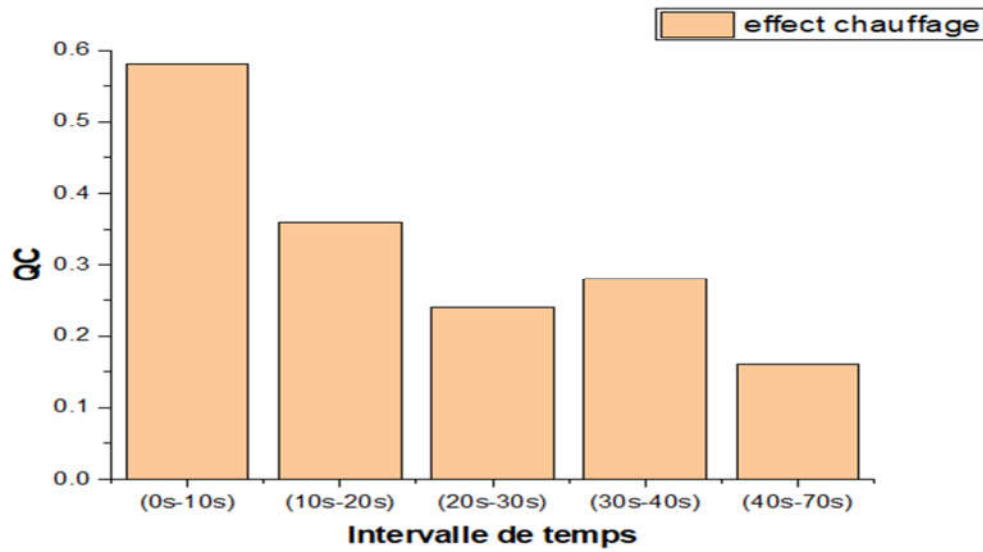


Figure IV-5 l'effet chauffage

- COP réel

La puissance d'entrée est donnée par

$W = \text{Puissance consommée du module Peltier} * \text{Nombre de modules Peltier}$

$$W = 60 * 3 = 180 \text{ W}$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qc1}{w} = \frac{0.59}{180} = 0.0033$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qc2}{w} = \frac{0.32}{180} = 0.0018$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qc3}{w} = \frac{0.24}{180} = 0.0013$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qc4}{w} = \frac{0.28}{180} = 0.0016$$

$$\text{COP}_{\text{réel}} = \frac{Qc5}{w} = \frac{0.16}{180} = 0.0009$$

La machine reste éteint jusqu'à attendre 20°C pour ce rallumer a nouveau et réchauffer l'eau à 22°C

Tableau 7 refroidissement a l'air ambiant (machine éteinte)

Température (°C)	Temps (Sec)	Température d'entrée radiateur	Température de sortie radiateur
22.9	0	16	16
22.9	5	16.1	16.1
22.8	30	16.2	16.1
22.7	60	16.2	16.2
22.5	120=2min	16.4	16.3
22.2	180=3min	16.5	16.4
22.0	240=4min	16.6	16.5
21.9	360=6min	16.9	16.8
21.3	600=10min	17.1	17
20.9	840=14min	17.2	17.1
20.4	960=16min	17.3	17.3
20	1200=20min	17.3	17.3

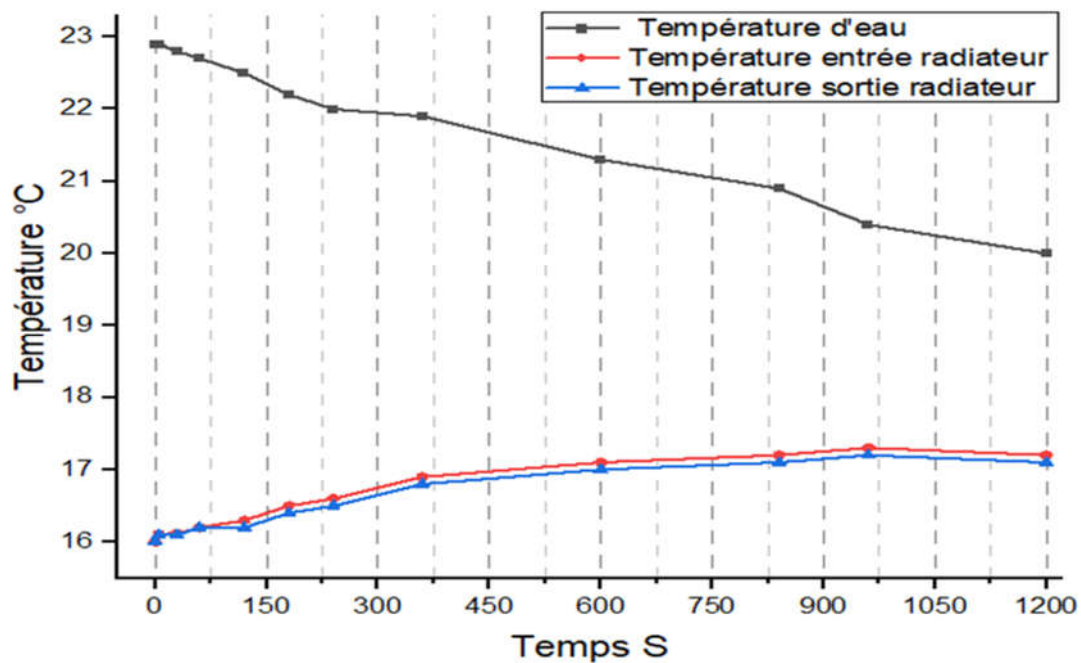


Figure 0-5 refroidir à l'air ambiant

D'après le graphe, le refroidissement de l'eau à l'air ambiant il dépend de la température ambiant du milieu.

A 23°C la température diminue d'une façon linéaire jusqu'à 20°C

Essai 4: Refroidir et maintenir la température entre 18°C et 20°C
 Température de l'eau 27 °C

Tableau 8 Refroidir et maintenir la température entre 18°C et 20°C Température de l'eau 27 °C

<i>Température(°C)</i>	<i>Temps (Sec)</i>	<i>Température (°C) d'entrée radiateur</i>	<i>Température de sortie radiateur (°C)</i>
27	0	23.5	23.5
26.9	5	23.9	23.3
26.4	30	24.7	24.3
25.9	60	27.1	26.7
24.9	90	27.8	27.4
23.7	120=2min	28.1	27.8
23.2	150	28.7	28.3
22.2	180=3min	29.3	28.8
20.7	240	30	29.6
19.4	300	32.6	32.1
18.8	330	33.7	33.3
18.2	360=6 min	34.9	34.5
18	37	36	35.7

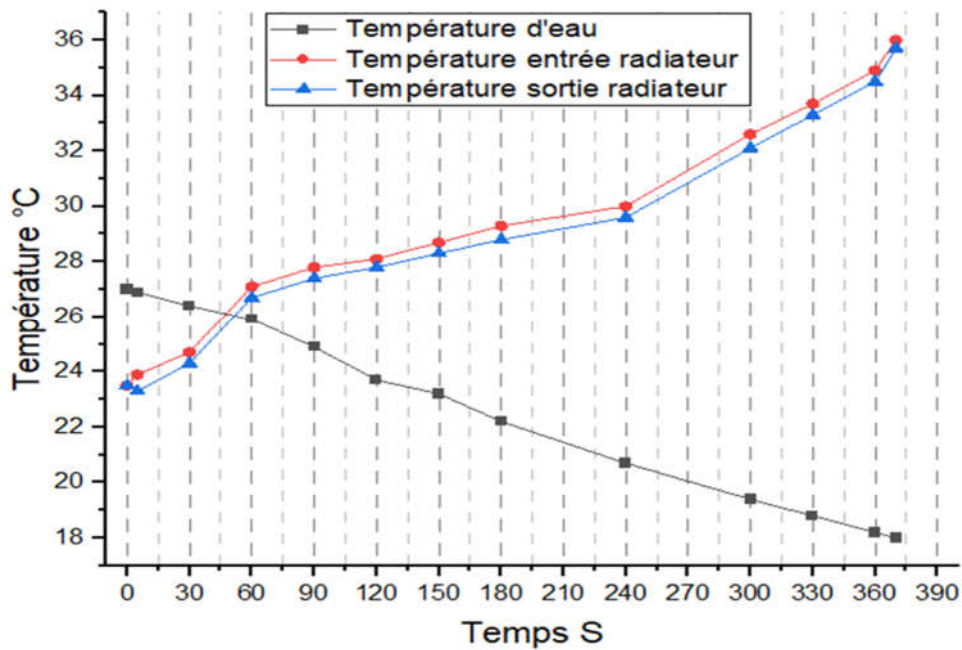


Figure IV-6 Refroidir et maintenir la température entre 18°C et 20°C

Température initiale de l'eau 27 °C

- Pour une diminution de la température de 27 °C à 18 °C, sous la présence d'un thermostat, le taux de refroidissement est rapide et presque linéaire, une diminution de température de 9 °C en 370 seconde
- A la température de 18°C le système de refroidissement s'arrête grâce au thermostat
- La température du radiateur augmente jusqu'à atteindre 36°C

Conclusion générale

Bien que la physique du refroidissement thermoélectrique a été comprise depuis de nombreuses générations, l'arrivée de modules Peltier adaptés, prêts à être intégrés dans des produits électroniques commerciaux, est un phénomène relativement nouveau. De nombreux avantages sont offerts, notamment une réponse plus rapide, une meilleure stabilité de la température et une plus grande flexibilité pour contrôler la température des dispositifs critiques tels que les circuits intégrés, les diodes laser ou les capteurs. De nombreuses applications innovantes pour les modules Peltier devraient émerger à mesure que les concepteurs se familiariseront avec les produits et les techniques de conception.

Une partie importante de ce travail a consisté à l'étude de la thermoélectricité, tels que, l'effet Peltier et pour lesquels nous avons donné une explication physique. Par la suite nous avons effectué des Essais pour deux conditions, l'une à vide et l'autre en charge. Dans les conditions sans charge, une réduction de la température jusqu'à -12 °C a été enregistrée à partir de la température initiale de 20 °C en 3 minutes et la température atmosphérique a été enregistrée à 20 °C . Le COP théorique du système a été calculé à 0,89. Le COP réel du système varie de 0,43 jusqu'à 0,95. Pour la condition de charge, 1 litre d'eau a été rempli dans le système et le système a été mis en marche. La réduction de la température de l'eau à 8 °C a été enregistrée à partir de la température initiale de 32 °C en 20 minutes. La température atmosphérique était de 27 °C . Le COP réel du système était de 0.70. Pour une condition sans charge, initialement la température diminue à un rythme plus rapide de 20 °C à -2.5 °C . Au-delà, le temps nécessaire au refroidissement augmente. De même, en condition de charge, la température diminue initialement à un rythme plus rapide de 32 °C à 24 °C , mais le temps nécessaire à une réduction supplémentaire augmente également. La raison de la réduction du taux de refroidissement est la différence de température entre les côtés chaud et froid du module Peltier augmente avec le temps. Pertes dans l'isolation dans le système.

Le module Peltier devrait donc contribuer, avec les nouvelles technologies, à faire face à la crise énergétique ; mais n'oublions pas que la principale réponse à cette crise n'est pas le développement de nouvelles énergies mais le changement de nos habitudes de vie, et la réduction de notre consommation d'énergie. En effet aujourd'hui les nouvelles énergies ne servent pas à réduire la consommation d'énergies fossiles mais à compenser l'augmentation de la demande énergétique mondiale.

Bibliographie

- International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Volume 3, Special Issue 3 : ICERTSD, pages 362-367.
http://www.ijetae.com/files/conference%20icertsd-2013/ijetae_icertsd_0213_56.pdf
- International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 7, janvier 2013 .
<Http://www.ijeit.com/archive/13/volume-2-issue-7--january--2013.html>
- Middle-East Journal of Scientific Research 13 (Applications mathématiques en ingénierie) : 103-108, 2013 ISSN 1990-9233. [https://www.idosi.org/mejsr/mejsr13\(mae\)13/16.pdf](https://www.idosi.org/mejsr/mejsr13(mae)13/16.pdf)
- International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 5, Issue 2, février-2014, page 624-627 .
<Http://www.ijser.org/researchpaper%5ccost-effective-Refrigerator-Using-Thermoelectric-Effect.pdf> (en anglais)
- Projet Web Physics 212 "The Peltier Effect and Thermoelectric Cooling", [en ligne].
URL: http://ffden-phys.uaf.edu/212_spring2007.web.dir/sedona_price/phys_212_webproj_peltier.html
- Ferrotec Corporation, Thermoelectric Cooling Versus Traditional Refrigeration, États-Unis. URL : <https://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric/teVsTraditional/>
- Ferrotec Corporation, Thermoelectric Technical Reference - Basic Principles of Thermoelectric Materials, USA. URL : <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/2/>
- TE technology Inc, Refroidisseurs à plaques, USA. URL: <https://totech.com/product-category/cold-plate-coolers/>

- TE technology Inc, refroidisseurs de liquide, USA. [URL:https://totech.com/product-category/liquid-coolers/](https://totech.com/product-category/liquid-coolers/)

Consulté le 7 novembre 2021

- TE technology Inc, refroidisseurs d'air, USA. [URL:https://totech.com/product-category/air-coolers/](https://totech.com/product-category/air-coolers/)

Consulté le 7 novembre 2021

- WARREN M. ROHSENOW, "Technologies de conversion de l'énergie thermique en énergie électrique" [en ligne]. Département de génie mécanique, Mitopen Courseware, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- [URL:http://alternativeenergy.electronicsspecifier.com/energy-harvesting/eteg-hv56-nextreme-es-design-magazine-scavenger-hunt](http://alternativeenergy.electronicsspecifier.com/energy-harvesting/eteg-hv56-nextreme-es-design-magazine-scavenger-hunt)

Annexes : photos du prototype

