الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie Électrique

Option : Automatique et systèmes

THEME

Conception et implémentation d'UN système de commande pour un réfrigérateur thermoélectrique portable

Proposé et dirigé par :

Mr. KHERKHAR

Préparé et présenté par :

BELHADJ Youcef

ARAB Mohamed Kamel Eddin

Remerciement

Nous remercions Allah le Tout-Puissant pour nous avoir donné le potentiel d'apprendre les lois de notre univers et de les exploiter pour notre bien-être.

Ce travail a été accompli à l'aide de plusieurs personnes que nous tenons à remercier absolument. Nous remercions en premier lieu notre encadreur M KHERKHAR si nous avoir apporté leur valeureux conseils et soutiens durant la réalisation de ce PFE.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants de la spécialité d'automatique.

Par la même occasion, nous tenons à remercier vivement tous les enseignants de l'Université Dr. YAHIA FARES de Médéa d'une façon générale. Leurs dévouements, leurs disponibilités indéfectibles, leur qualités humaines et pédagogiques font qu'on leur doit plus qu'on ne saurait l'exprimer ici.

Rien n'aurait été possible sans le soutien de nos proches, merci encore à vous, rien n'a su nous motiver davantage que votre appui.

YOUCEF et MOHAMMED



Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés. Je n'arriverais jamais à leurs exprimer mon amour sincère :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, et leurs prières tout au long de mes études,

**A mes chères sœurs et cher frère pour l'encouragement permanent. Et le soutien moral,*

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, Merci d'être toujours là pour moi

BELHADJ Youcef

Dédicace

Tout d'abord, ont tiennent à remercier dieu, le tout puissant de m'avoir donné la confiance, le courage et la sagesse bien terminer ce modeste travaille.

Je dédie ce projet de fin de cycle à ceux qui me sont les plus chères au monde, à mes parents pour leur sacrifice leurs encouragement et soutiens, en particulier pendant les moments les plus difficiles

A mes chers frères : Oussama, Abdul Rahim,

A Ma chère sœur.

Pour toute ma famille et mes proches. Pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, A mes meilleurs amis

Et tous les amis

Enfin, à tous ceux que j'aime, et qui m'aiment

A. Mohamed Kamel Eddin

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACE

LISTE DES FIGURE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE D'ABREVIATION

INTRODUCTION GENERALE..... 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA THERMOELECTRIQUE 4

I.1 Introduction : 5

I.2 La thermoélectricité : 5

I.3 Historique : 5

I.4 Les effets thermoélectriques : 8

I.4.1 Effet Seebeck : 8

I.4.2 Effet Peltier : 9

I.4.3 Effet Thomson : 10

I.4.4 Effet Joule : 11

I.5 Générateurs thermoélectriques : 11

I.6 Principe d'un générateur thermoélectrique : 12

I.7 Applications thermoélectriques actuelles : 13

I.8 Conclusion : 15

CHAPITRE II : MODELISATION D'UN MODULE THERMOELECTRIQUE..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

II.1 Introduction : 17

II.2 Principe de thermoélectrique : 17
II.2.1 Module : 17
II.2.2 Détermination des paramètres du module thermoélectrique : 19

II.3 Modélisation sur Matlab /Simulink : 22
II.3.1 Thermoélectrique générateur : 22
II.3.2 Thermoélectrique refroidisseur : 24

II.4 Conclusion : 25

CHAPITRE III : LA REALISATION ET LA COMMANDE DU REFRIGERATEUR
..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

III.1 Introduction : 27

III.2 Présentation du matérielle utiliser : 27

III.3 Le module thermoélectrique : 27
III.3.1 Les caractéristiques physiques : 27
III.3.2 Les caractéristiques techniques : 28

III.4 Arduino méga 2560 : 28

III.5 Transistor mosfet IRLZ44N : 29

III.6 DHT22 : 29

III.7 L'afficheur LCD : 29

III.8 Les ventilateurs : 29

III.9 Pompe à d'eau : 30

III.10 Alimentation pc 12v : 30

III.11 Présentation d'un réfrigérateur : 30
III.11.1 Caractéristique physique : 30
III.11.2 Caractéristiques électriques : 31
III.11.3 Caractéristiques de l'isolation : 31

III.12 Principe de fonctionnement 32

III.13 Le travaille 33

III.14 Conclusion 39

CONCLUSION GENERALE 40

BIBLIOGRAPHIE 42

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralités sur la thermoélectrique

Figure I.1: Schéma de l'expérience de Volta. A -arc en métal (fer), B - verres remplis d'eau, C et D - parties de grenouilles plongées dans les verres d'eau 5
Figure I.2: Expérience originale de Thomas Johann Seebeck 6
Figure I.3: Chronologie des personnages importants de la thermoélectricité. 7
Figure I.4: Schéma illustrant l'effet Seebeck 9
Figure I.5: Schéma illustratif de l'effet Peltier 10
Figure I.6: Illustration de l'effet Thomson 10
Figure I.7: (a) Schéma de principe d'une branche thermoélectrique, (b) d'un thermocouple, (c) et d'un module thermoélectrique 12
Figure I.8: Structure générale d'un TEG. 13
Figure I.9: (a) ; Radio alimentée par module thermoélectrique utilisant la chaleur d'une lampe à pétrole, (b) : four à bois avec module thermoélectrique intégré pour la production d'électricité. 14

Chapitre II : Modélisation d'un Module Thermoélectrique

Figure II.10 : schema bloc MATLAB Simulink(a) 22
Figure II.11 : schema bloc MATLAB Simulink(b) 22
Figure II.12 :schema bloc MATLAB Simulink(c) 23
Figure II.13 : Les résultats 23
Figure II.14 : schéma bloc sur Thermoélectrique refroidisseur 24
Figure II.15 : Les résultats 24

Chapitre III : La réalisation et la commande du réfrigérateur

Figure III. 16: module thermoélectrique 27
Figure III. 17 : Arduino méga 2560 28
Figure III. 18 : Transistor mosfet IRLZ44N 29
Figure III. 19 : DHT22 29
Figure III.20: afficheur LCD 16*2 29

Figure III. 21: Ventilateur 29
Figure III. 22: Pompe d'eau 12v 30
Figure III.23:alimentation pc 12v 30
Figure III.24: Schéma électrique 31
Figure III.25 : schéma fontionnement 32
Figure III.26 : système sans commande Avec Matlab et Arduino 33
Figure III.27 : le programme avec Matlab /Simulink 34
Figure III.28 : schéma d'évolution de la température 34
Figure III.29 : système identification 35
Figure III.30 : schéma PID tuner 36
Figure III.31 : schéma le régulateur PID dans le circuit de commande 36
Figure III.32 :montage de la commande 37
Figure III.33 : schéma de température 38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau III. 1:caractéristiques physiques de module TEC1-12706 27
Tableau III. 2: Les caractéristiques techniques de module TEC1-12706 28
Tableau III.3 : Caractéristiques physiques 30
Tableau III. 4: Caractéristiques électrique 31
Tableau III.5: Propriétés de polystyrène 31

LISTE D'ABREVATION

ZT	Facteur de mérite thermoélectrique en transport de chaleur par derive et diffusion
Cp	Capacité thermique volumique à pression constante [J/K·kg]
K	Vecteur d'onde [m^{-1}]
N	Densité d'électrons [m^{-3}]
U	Densité d'énergie [J/m^3]
Q	Densité de chaleur [J/m^3]
U	Densité d'énergie interne [J/m^3]
A	Diffusivité thermique [mm^2/s]
Ar	Coefficient de résistance en température [K^{-1}]
Γ	Temps caractéristique de diffusion de chaleur [s]
Π	Coefficient Peltier [V]
ε	Énergie [eV]
εF	Énergie de Fermi [eV]
η	Efficacité d'un générateur thermoélectrique [%]
κ	Conductivité thermique [W/K·m]
κe	Conductivité thermique électronique [W/K·m]
κp	Conductivité thermique des phonons [W/K·m]
λp	Libre parcours moyen des phonons [m]
σ	Conductivité électrique [S/m]
μ	Potentiel chimique (Contextuel) [eV]

μ	Mobilité électronique (Contextuel) [cm^2/V·s]
μn	Mobilité électronique des électrons [cm2/V·s]
μp	Mobilité électronique des trous [cm2/V·s]
$\bar{\mu}$	Potentiel électrochimique [eV]
Q_f	puissance sur la face froide, W
Tc	température de face chaude, K
T_f	température de face froide, K
Qc	puissance sur la face chaude, W
K	Coefficient Thomson
L	Tenseur thermoélectrique
I	Courant [A]
L	Longueur [m]
N	Coefficient Nernst [V/K·T]
P	Puissance [W]
R	Résistance électrique [Ω]
RH	Coefficient de Hall [Ω·m/T]
R_n	Dérivée en température de la résistance électrique [Ω/K]
S	Coefficient Seebeck [V/K]
T	Température [K]
U	Énergie interne [J]
V	Potentiel électrique [V]
cop	Coefficient of Performance
PID	proportionnelle intégrale dérivée (proportional integral derivative)

PMW	Modulation de largeur d’impulsion (Pulse Width Modulation)
MLI	Modulation de Largeur d’Impulsion

Introduction Générale

Introduction générale

Le dossier historique des innovations est riche en plusieurs tentatives de réfrigération, de l'utilisation de glace et de tissus humides jusqu'à ce que l'électricité a été découverte et le réfrigérateur électrique a été inventé Les processus de réfrigération ont beaucoup d'histoires, d'histoires et de tentatives.

Les Romains antiques ont apporté de grands morceaux de glace des sommets de montagne et les ont ensuite stockés dans des fosses souterraines après les avoir recouverts de feuillage et les avoir utilisés au besoin.

Les anciens Égyptiens buvaient de l'eau froide après avoir été placés dans des pots de poterie et laissés sur les toits, de sorte que l'air du désert la nuit pouvait refroidir les pots et l'eau. Les processus de refroidissement ne dépendaient pas seulement des boissons, les gens de l'Inde étaient suspendus rideaux humides sur les fenêtres pour refroidir l'air. Avec la découverte de l'électricité, la climatisation et la réfrigération sont devenues une industrie.

Willis Carrier a inventé le premier conditionneur en 1902 en utilisant des lois de refroidissement mécanique pour mener à bien le projet.

En 1910, Kelvinator produit le réfrigérateur maison.

En 1930, le scientifique américain Thomas Midgley découvre le composé de refroidissement au fréon.

L'utilisation du gaz de fréon (CFC) s'est considérablement répandue à la fin des années 1970 et le volume des bénéfices de celui-ci a atteint 500 millions de dollars, jusqu'à ce que le monde et les scientifiques se rendent compte du danger de fréon sur la couche d'ozone [1].

En effet puisque l'Algérie est un vaste pays et que la plupart des moyens de circulation sont des terres et que plus de 80 pour cent de sa superficie est désertique.il est nécessaire de penser à une façon de refroidissement qui est une bonne et respectueuse de l'environnement. Et c'est l'objet de ce travail pour la fin du projet d'étude, qui est la fabrication d'un réfrigérateur en utilisant des plaques Peltier TEC127-06 thermoélectrique ; une technologie un peu moderne basée sur l'effet de Seebeck et Peltier et l'application de contrôle non classique dans le réfrigérateur.

Nous allons diviser la recherche en 3 chapitres principaux :

Chapitre 1 : nous allons parler de ce que sont les savoics thermoélectrique, et un résumé historique à ce sujet avec quelques explications de ses effets les plus importants (Seebeck Peltier) et certaines de ses applications actuelles.

Chapitre 2 : sera au Généreux thermoélectrique et thermoélectrique refroidissement. Nous présente l'architecture d'un générateur thermoélectrique ; les modes de fonctionnement et les différences d'enquêtes caractéristiques de ce dernier. A partir de ces différences nous sommes à la modélisation et au dimensionnement du générateur thermoélectrique par Matlab/Simulink et enfin l'interprétation des résultats de la simulation

Chapitre 3 : Nous allons d'abord parler des composantes utilisées dans le projet, qu'il s'agisse électrique et d'isolant thermique. Ensuite, nous expliquons comment nous avons construit notre projet, puis le contrôle que nous avons mis dans et dans notre cas ce régulateur PID.

Enfin, nous examinons notre travail avec un résumé général du projet et de ses avantages et inconvénients et de ce que nous attendons avec impatience d'améliorer à l'avenir.

Chapitre I : Généralités sur la thermoélectrique

Généralités sur la thermoélectrique

I.1 Introduction :

Parmi ces nouvelles manières de produire de l'électricité nous trouvons la thermoélectricité. Son principe est simple : un matériau transforme directement de la chaleur en électricité, ou déplace des calories par l'application d'un courant électrique. Ces applications concernent donc la réfrigération et la génération d'électricité grâce aux sources de chaleur perdue. Nous étudions dans ce chapitre la thermoélectrique, On commencera par un bref rappel sur la thermoélectricité, Nous présenterons ensuite les effets thermoélectrique, historique thermoélectrique, Les effets thermoélectriques et Générateur thermoélectrique, Principe d'un générateur thermoélectrique, Applications thermoélectriques actuelles. A la fin on termine par une conclusion.

I.2 La thermoélectricité :

L'effet thermoélectrique est un phénomène physique caractéristique de certains matériaux contribuant à la conversion de l'énergie. Un matériau thermoélectrique permet de transformer directement de la chaleur en électricité (génération d'électricité) ou de déplacer des calories par l'application d'un courant électrique (application de réfrigération). [2]

I.3 Historique :

En 1794, Alessandro Volta, met en évidence l'apparition de « forces » sous l'influence de la différence de température [3]. Le livre de Mario Glozzi « Storia della Fisica » de 1796, comporte une section « effets thermoélectriques » Il y indique que Volta avait mis une extrémité d'un conducteur en fer dans de l'eau bouillante et constate l'effet d'un courant électrique sur une grenouille [4]. La Figure I.1 présente un schéma de son expérience

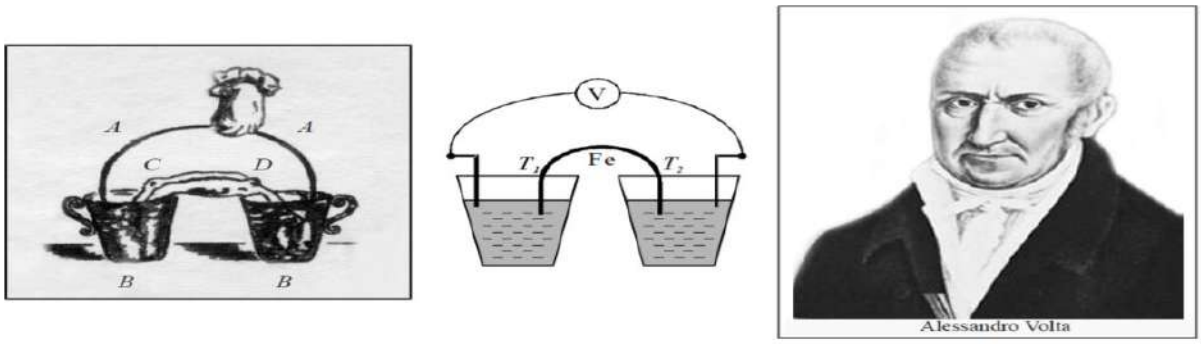


Figure I.1: Schéma de l'expérience de Volta. A -arc en métal (fer), B - verres remplis d'eau, C et D - parties de grenouilles plongées dans les verres d'eau

En 1821, un physicien allemand Thomas Johann Seebeck remarque qu'un circuit formé par deux conducteurs métalliques différents dont les deux jonctions sont soumises à une température différente dévie une aiguille métallique (Figure I.2) [5]. Seebeck pense à tort que cet effet est dû au champ magnétique induit par la différence de température et qu'il doit être relié au champ magnétique terrestre. Peu de temps après, en 1825, Oersted donne la bonne explication. Il s'aperçoit qu'en réalité, la différence de température crée une différence de potentiel qui, si le circuit est fermé permet le passage du courant et donc induit un champ magnétique. L'utilisation la plus connue de l'effet Seebeck est la mesure de température à l'aide de thermocouples.

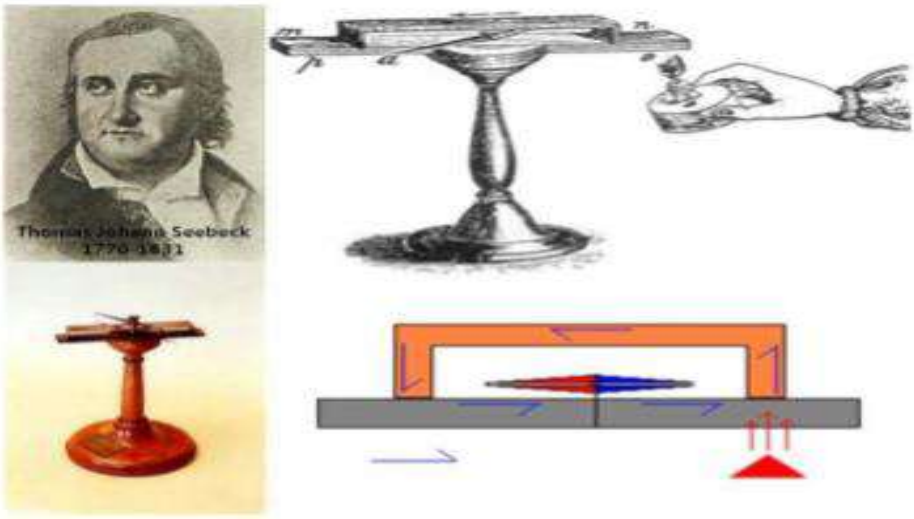


Figure I.2: Expérience originale de Thomas Johann Seebeck

En 1834, Jean Peltier, physicien et horloger, découvre que la circulation d'un courant électrique peut soit produire, soit absorber de la chaleur à la jonction de deux matériaux différents, qui est en fait le phénomène inverse de l'effet Seebeck. C'est en 1838 que Lenz a expliqué le phénomène en concluant que le chauffage ou le refroidissement dépendaient du sens de circulation du courant. Pour se faire, il a cristallisé de l'eau autour d'une jonction bismuth-antimoine, et, en inversant le sens de circulation du courant, a fait fondre la glace. Un peu plus tard, dans les années 1840, James Prescott Joule démontre l'existence d'un phénomène irréversible lorsqu'un courant circule dans un matériau, c'est l'effet Joule. Ce dernier indique que la quantité de chaleur produite par la circulation du courant est proportionnelle au carré de son intensité [6].

En 1851, William Thomson (mieux connu sous le nom de Lord Kelvin) établit une relation entre les coefficients Seebeck et Peltier et ajouta un troisième effet thermoélectrique, dit effet Thomson. Il explique qu'un matériau parcouru par un courant électrique et soumis à un gradient de température échange de la chaleur avec le milieu extérieur, et réciproquement, un courant

électrique est généré par un matériau soumis à un gradient de température et parcouru par un flux de chaleur [7].

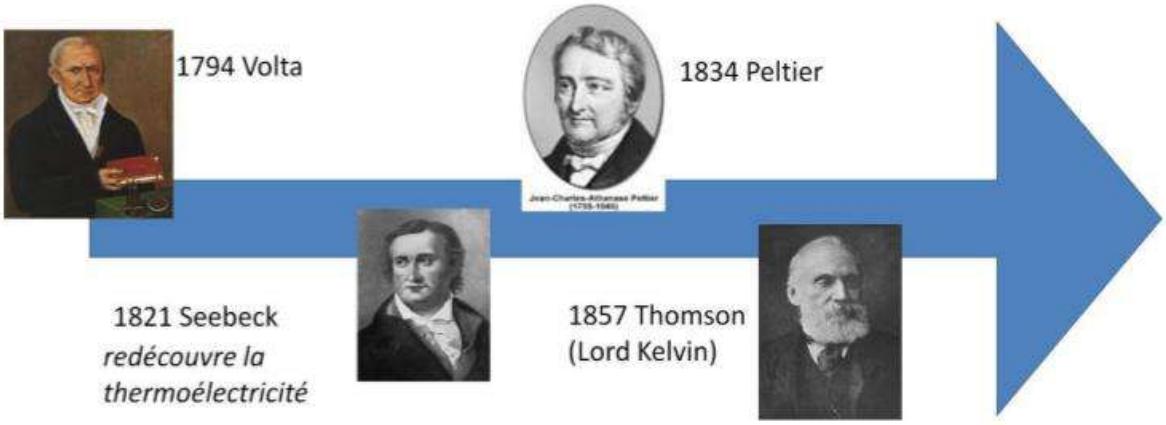


Figure I.3: Chronologie des personnages importants de la thermoélectricité.

Finalement le physicien allemand Edmund Altenkirch qui suggéra en 1909 et 1911, une théorie de la thermo génération et la réfrigération thermoélectrique en énonçant qu'un bon matériau thermoélectrique doit avoir un fort coefficient Seebeck, une faible conductivité thermique et une faible résistivité électrique [8]. Enfin, un peu plus tard, dans les années 1950, Abraham Ioffe développe sa théorie de thermo éléments semi-conducteurs. Il démontre également en 1956 que la conductivité thermique des semi-conducteurs peut être réduite davantage en faisant des alliages avec des éléments ou composés isomorphes [9].

En 1954, Julien Goldsmid a été le premier à identifier le Tellurure de Bismuth comme matériau pour la réfrigération thermoélectrique et a montré que des refroidisseurs

Thermoélectriques pouvaient atteindre zéro degré Celsius [10]. L'inertie produite par ces découvertes emportera la recherche jusqu'aux années 70. Malgré ses limitations, la thermoélectricité connaît actuellement des applications très diverses ; notamment quand la facilité de faire varier la capacité de refroidissement, l'absence de parties mobiles, la robustesse, la modularité, la fiabilité propres des systèmes thermoélectriques sont plus importantes que le rendement et coût du système. En effet, des dispositifs tels que le RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator), utilisés dans les sondes spatiales, le module Peltier, pour refroidir des diodes lasers, capteurs infrarouges, circuits électroniques, spécimens biologiques ou les pacemakers thermoélectriques sont autant d'applications de la thermoélectricité [11].

Depuis le milieu des années 1990 jusqu'à nos jours, de nouvelles idées et de nouveaux matériaux ont remis une nouvelle fois la thermoélectricité sur le devant de la scène dans le domaine

des énergies alternatives [12]. La microélectronique a tout de suite profité de cette relance, avec la construction de micro réfrigérateurs intégrés pour des besoins de refroidissement très localisé dans les microcircuits. Le secteur des MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) a également bénéficié de ce renouveau, notamment avec des actuateurs SMA (Shape Memory Alloy) contrôlés par effet thermoélectrique [13].

Après avoir introduit la thermoélectricité dans son contexte historique, attardons-nous plus précisément sur les trois principaux effets thermoélectriques : l'effet Seebeck, l'effet Peltier et l'effet Thomson. A ceux-ci peut s'ajouter l'effet Joule qui convertit directement l'électricité en chaleur.

I.4 Les effets thermoélectriques :

Les effets thermoélectriques ont été mis en évidence dans un premier temps dans les conducteurs métalliques puis dans les semi-conducteurs. Les trois les effets thermoélectrique les mieux connus sont les effets Seebeck, Peltier et Thomson. Les deux premiers, qui sont à la base d'application courantes, furent découverts expérimentalement, tandis que le troisième fut prévu théorique -ment par son auteur.[14]

Dans cette partie, nous allons mettre en équation les trois phénomènes thermoélectriques.

I.4.1 Effet Seebeck :

En 1821, le physicien Allemand THOMAS SEEBECK observe que l'aiguille d'une boussole placée au centre d'un circuit constitué de deux métaux distincts est déviée lorsque l'une des deux jonctions entre les deux matériaux est chauffée [6] (voir figure I.4). Si les jonctions aux extrémités 1 et 2 sont soumises à des températures respectives T1 et T2, avec T1>T2, il y a alors apparition d'une différence de potentiel entre les deux points 3 et 4 exprimée par l'équation suivante :

$$\Delta V = (S_A _ S_B) \times (T_1 _ T_2) = S_{AB} \times \Delta T \qquad \textbf{(1.1)}$$

Avec S_{AB}, le coefficient Seebeck différentiel entre les deux matériaux A et B. Le signe du coefficient Seebeck est positif si le courant électrique, provoqué par la différence de potentiel, circule dans le sens opposé à celui du flux de chaleur qui va de la jonction chaude (T_1) vers la jonction froide (T_2).

Lorsqu'une face d'un matériau thermoélectrique est chauffée, les électrons, porteurs de charges négatives, acquièrent plus d'énergie cinétique, et se déplacent par conséquent plus

facilement dans le matériau. Ils diffusent de la face chaude vers la face froide et s'accumulent ensuite à celle-ci. Les trous, porteurs de charges positives, s'amoncèlent par conséquent à la face chaude. Cette accumulation de charges sur les deux faces génère une différence de potentiel entre les deux jonctions, et un courant électrique lorsque les deux faces sont connectées. Ce courant est maintenu tant que le gradient de température existe entre les deux faces du matériau.[15]

Il est important de noter que le coefficient Seebeck S varie sensiblement avec la température.

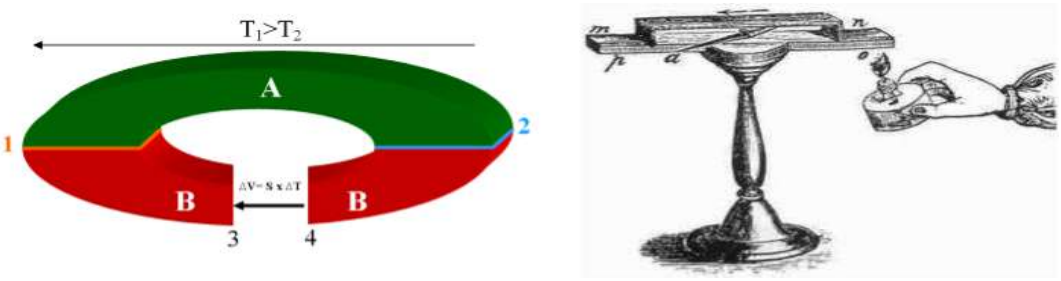


Figure I.4: Schéma illustrant l'effet Seebeck

I.4.2 Effet Peltier :

Cet effet est inverse à celui de Seebeck. Lorsqu'on fait circuler un courant électrique dans le circuit formé des deux conducteurs différents A et B [7] (voir figure I.5), un dégagement et une absorption de chaleur *dQ* se produisent au niveau des jonctions de ce circuit. Selon l'équation :

$$dQ = (\Pi_A - \Pi_B) \cdot \vec{J} \cdot \vec{U}_{AB} \qquad \textbf{(1.2)}$$

Où *dQ* représente la quantité de chaleur émise (comptée en positif) ou absorbée (comptée en négatif) par unité de surface à l'une des deux jonctions (en W.m-2), Π_A et Π_B sont les coefficients Peltier (exprimés en V) respectifs des matériaux A et B, le vecteur j est la densité surfacique de courant (en A.m-2), et u_{AB} le vecteur unitaire adimensionnel dirigé du matériau A vers le matériau B au niveau de la jonction considérée.[8]

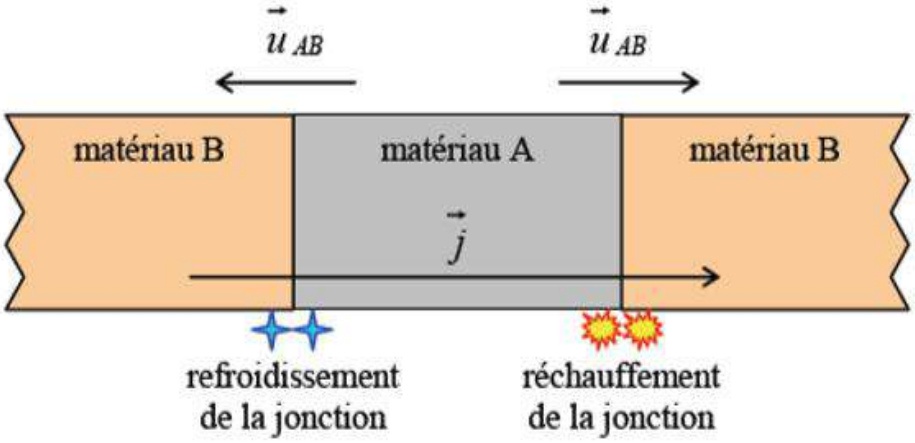


Figure I.5: Schéma illustratif de l'effet Peltier

Ainsi, le passage d'une densité de courant dans le circuit provoque le refroidissement de la jonction où le courant circule du matériau dont le coefficient Peltier est le plus faible vers le matériau dont le coefficient Peltier est le plus fort. Dans le cas de la Figure 1.5, $\Pi_A > \Pi_B$. Ce phénomène est à la base de la réfrigération par effet Peltier. [8]

I.4.3 Effet Thomson :

Ce troisième effet thermoélectrique met en évidence le lien entre l'effet Seebeck et l'effet Peltier [7]. Lorsqu'un matériau est soumis à un gradient thermique et est parcouru par un courant électrique, il échange de la chaleur avec le milieu extérieur. Réciproquement, un courant électrique est généré par un matériau soumis à un gradient thermique et parcouru par un flux de chaleur. La différence fondamentale avec les effets Seebeck et Peltier est que l'effet Thomson existe pour un seul matériau et ne nécessite pas la présence d'une jonction. La figure I.6 présente cet effet [9].

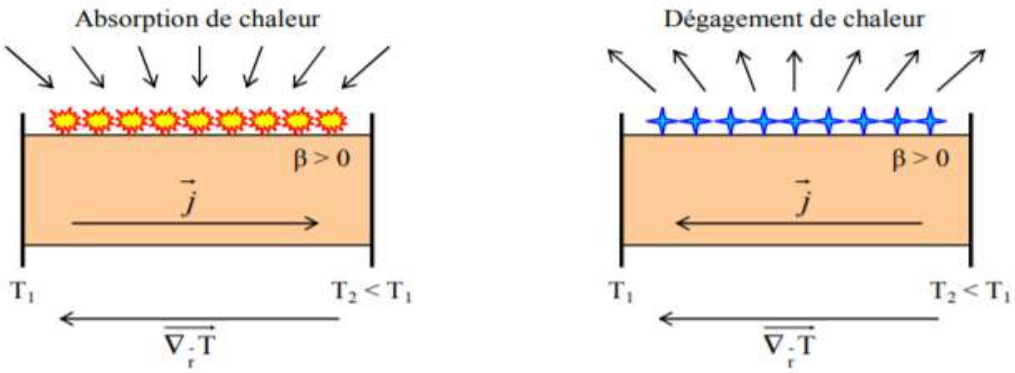


Figure I.6: Illustration de l'effet Thomson

On peut quantifier le flux de chaleur émis ou absorbé par unité de volume avec la formule locale suivante [2] :

$$dQ = -\tau . \vec{J} . \vec{\nabla} T \qquad \textbf{(1.3)}$$

Avec τ, le coefficient Thomson. Cet effet étant une combinaison des deux précédents effets, il n'est pas étonnant que ce dernier coefficient soit lié aux coefficients Seebeck et Peltier. Lord Kelvin a ainsi montré les égalités suivantes [2] :

$$\pi = \alpha \cdot T \qquad \textbf{(1.4)}$$

$$\tau = T \frac{d\alpha}{dT} \qquad \textbf{(1.5)}$$

Montre la relation mentionnée que moins le coefficient Seebeck sera dépendant de la température et moins l'effet Thomson sera important. En pratique la variation du coefficient avec la température a une allure de parabole. Ainsi, en travaillant autour du maximum on peut négliger ce phénomène [2].

I.4.4 Effet Joule :

Bien qu'il ne soit pas considéré comme un effet thermoélectrique, nous allons mentionner l'effet Joule, parce qu'il va coexister avec les autres effets thermoélectriques. Lorsqu'on fait passer du courant dans un matériau, il s'ensuit un dégagement de chaleur proportionnel au carré de l'intensité qui traverse le matériau. Cet effet correspond à la résistance qu'oppose le matériau au mouvement des électrons, responsables du courant électrique. Tous les matériaux, à l'exception des supraconducteurs, produisent de l'effet Joule sous l'action du passage du courant. La chaleur Joule s'exprime par la relation [11] :

$$Q_j = RI^2 \qquad \textbf{(1.6)}$$

Avec R est la résistance électrique du matériau traversé.

Le flux de charge apparait ici au carré et la résistivité électrique est toujours positive ce qui impose un flux de chaleur $q_J > 0$. Contrairement aux effets Peltier et Thomson, l'effet Joule est irréversible et ne peut que créer de la chaleur et non l'absorber [2].

I.5 Générateurs thermoélectriques :

Le générateur thermoélectrique est apparu comme un nouveau type de technologie de conversion et de récupération d'énergie à faible cout. Un potentiel électrique peut être donc créé

en appliquant un gradient de température à deux extrémités d'un matériau (effet Seebeck) et, en connectant une charge entre ces deux extrémités pour fermer le circuit, un courant électrique s'établit (Figure I.7-a).

Comme le signe du potentiel électrique est une fonction du type de matériau (p ou n) et du signe de ΔT, il est possible d'augmenter le potentiel électrique par connexion de deux matériaux, l'un de type n et l'autre de type p, électriquement en série et thermiquement en parallèle (Figure I.7-b) [12]

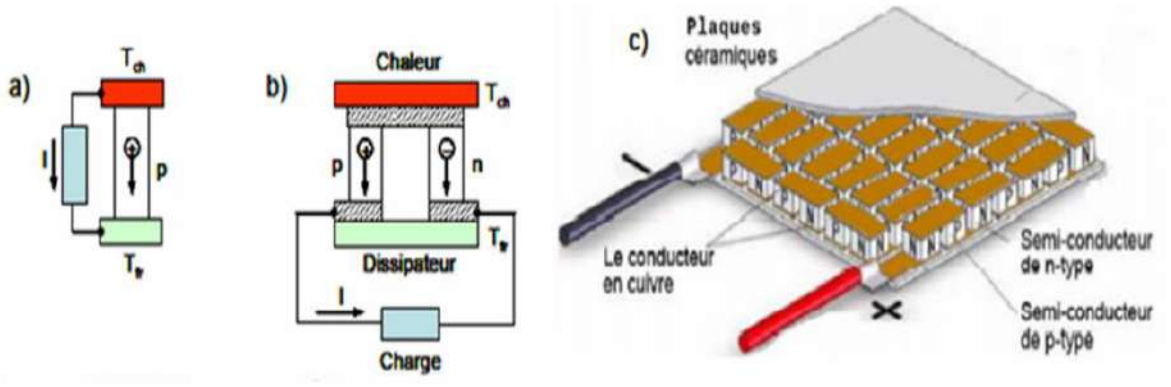


Figure I.7: (a) Schéma de principe d'une branche thermoélectrique, (b) d'un thermocouple, (c) et d'un module thermoélectrique

Cette configuration à deux branches (de type n et p) forme un thermocouple qui constitue la brique de base des dispositifs thermoélectriques. En effet, un module thermoélectrique est obtenu par connexion, toujours en série du point de vue électrique et en parallèle du point de vue thermique, de plusieurs thermocouples (Figure I.7-c), ce qui permet d'augmenter encore le potentiel et donc le courant électrique. Ces modules sont donc utilisés pour la réalisation des générateurs thermoélectriques TEG (Thermo Electric Generator). [12]

I.6 Principe d'un générateur thermoélectrique :

Un générateur thermoélectrique basé sur l'effet Seebeck convertit directement la chaleur en énergie électrique. Un TEG est constitué de N paires d'éléments semi-conducteurs de type p et de type n qui sont connectés électriquement en série, afin de générer une tension plus élevée et une puissance électrique plus importante, et thermiquement en parallèle pour maintenir chaque jonction formée par les éléments semi-conducteurs p-n au même gradient thermique. Ces éléments semi-conducteurs sont généralement pris en sandwich entre deux plaques céramiques

où la chaleur est transférée du côté chaud vers le côté froid. La structure de base d'un TEG formé par l'association de 2 paires d'éléments semi-conducteurs p-n avec une charge électrique résistive reliée à ses bornes est présentée à la Figure I.8. Lorsque la température du côté chaud est plus élevée que celle du côté froid (présence d'un gradient de température), un flux de chaleur circule à travers le TEG, comme le montre la Figure 1.8. La circulation de ce flux de chaleur à travers les éléments semi-conducteurs p-n provoque un déplacement des porteurs de charge (électrons et trous) dans des directions opposées et donc l'apparition d'un courant électrique I traversant la charge RL connectée à la sortie du TEG [13]

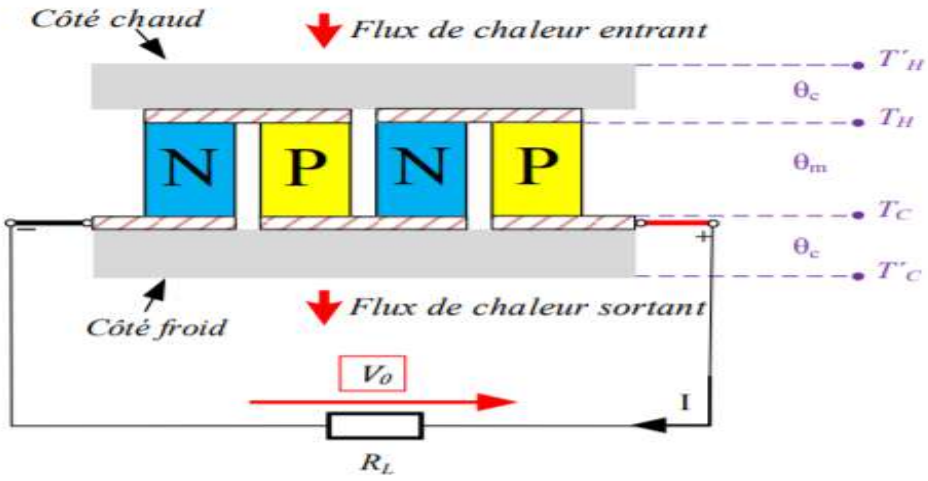


Figure I.8: Structure générale d'un TEG.

I.7 Applications thermoélectriques actuelles :

Il existe deux principaux domaines d'applications des effets thermoélectriques : la fabrication d'une source de courant, régi par l'effet Seebeck, et l'obtention d'un gradient thermique, contrôlé par l'effet Peltier.

Les générateurs thermoélectriques fonctionnant avec l'effet Seebeck ont longuement été utilisés pour la génération d'électricité à partir des sources de chaleurs omniprésentes dans de nombreux secteurs d'activités industrielles ou même domestiques. C'est ainsi qu'on trouve des GTE intégré dans des fours à bois pour produire de l'électricité (figure I.9(a)), ou encore des radios alimentées par des modules thermoélectriques chauffées par une lampe à pétrole illustré sur la figure I.9(b) [14]. Ces deux premières applications sont spécifiques aux régions ou le réseau électrique n'existe pas

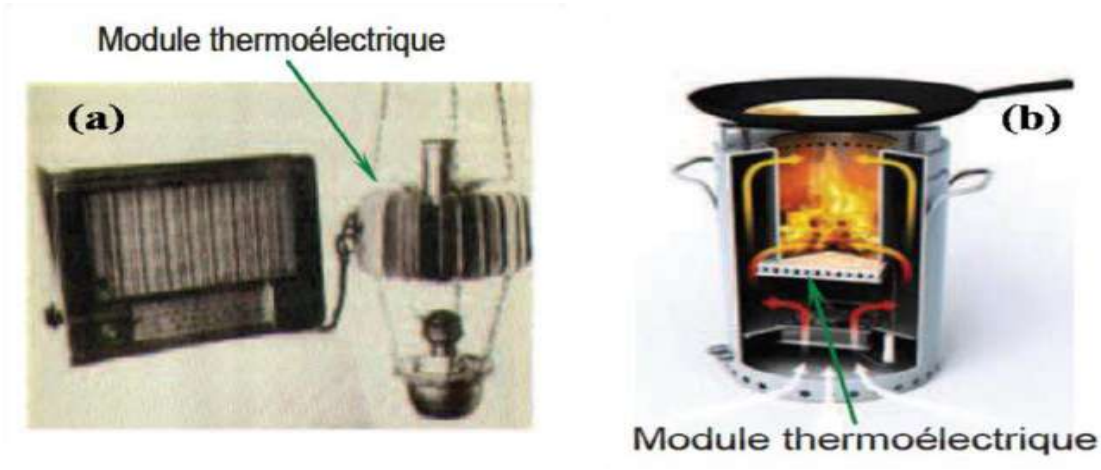


Figure I.9: (a) ; Radio alimentée par module thermoélectrique utilisant la chaleur d'une lampe à pétrole, (b) : four à bois avec module thermoélectrique intégré pour la production d'électricité

Un dispositif thermoélectrique (TE), peut transformer directement de la chaleur en électricité (un générateur TE) ou il peut transférer la chaleur (refroidisseurs TE) en appliquant un courant électrique. Il y a donc deux applications principales : la réfrigération et la génération d'électricité.[12]

Dans la pratique les applications thermoélectriques utilisent des semiconducteurs de type n et p placés thermiquement en parallèle et reliés électriquement en série par un matériau dont le pouvoir thermoélectrique est supposé nul [15]

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

Par exemple, Il y a environ 30 à 35% de la chaleur qui est rejetée dans l'atmosphère dans plusieurs applications industrielles. Un système de générateur thermoélectrique peut transformer la chaleur inutilisée en énergie électrique. Deux majeurs avantages de la réfrigération thermoélectrique sont l'absence de bruit et de vibration et ceci grâce à l'absence de pièces mobiles.

I.8 Conclusion :

Ce chapitre a tout d'abord, présenté la thermoélectricité où nous avons passé en revue l'historique thermoélectrique telles que les effets thermoélectriques (Seebeck, Peltier et Thomson, joule) ou bien encore générateur thermoélectrique, principe d'un thermoélectrique et après les applications thermoélectriques.

Chapitre II : Modélisation d'un Module Thermoélectrique

Modélisation d'un Module Thermoélectrique

II.1 Introduction :

Le module thermoélectrique (TEM) peut généralement être classé dans des générateurs thermoélectriques (TEG) et les refroidisseurs thermoélectriques (TEC). Les TEG convertissent l'énergie thermique d'une température gradient en énergie électrique (effet Seebeck), tandis que les TEC convertissent l'énergie électrique en gradient de température (effet Peltier). Être fondamentalement convertisseurs d'énergie à l'état solide sans pièces mécaniques et mobiles, les TEM peuvent fournir les avantages du silence, de la compacité, la fiabilité et la stabilité. Cependant, ayant pauvre efficacité de conversion d'énergie, à la fois TEC et TEG ont été largement pris en compte pour les applications de niche en raison de leurs avantages uniques. En général, les TEC sont capables de refroidissement et de réfrigération, comme dans refroidisseurs spécialisés pour optoélectronique et électronique composants et refroidisseurs électriques chauffants portables. Ils sont particulièrement utiles pour une température précise applications de contrôle où précision, simplicité, la fiabilité et la compacité sont des préoccupations dominantes. D'autre part, les TEG peuvent être utilisés pour exploiter chaleur perdue avec différence de température disponible et produire de l'énergie électrique, par exemple pour la production d'énergie dans les systèmes d'engins spatiaux et comme thermocouples pour la mesure de la température. Avec la hausse des coûts des combustibles fossiles et les technologies innovantes de récupération de la chaleur perdue, les dispositifs TEG deviennent plus important, en particulier dans les applications et marchés pour les systèmes automobiles plus larges et les capteurs autoalimentés et les systèmes de communication sans fil.

II.2 Principe de thermoélectrique :

II.2.1 Module :

La construction de TEC et de TEG est fondamentalement la même chose, et par conséquent le même circuit équivalent peut être utilisé pour simuler leur comportement.

L'unité de base d'un TEM est un thermocouple qui se compose d'un couple de granulés de type p et de n-type interconnecté par métal.

Un TEM a la forme de thermopiles qui sont connectés électriquement en série pour augmenter la tension de fonctionnement et thermiquement en parallèle pour diminuer la résistance thermique, et est entre deux plaques de céramique pour une expansion thermique uniforme.

Il y a quatre principaux processus énergétiques qui se déroulent dans les granulés TEM : conduction thermique, Chauffage Joule, l'effet de refroidissement/chauffage Peltier, et l'effet Seebeck. L'effet Thomson supplémentaire, qui est décrit par le coefficient de Thomson $\tau=\frac{ds}{dT}$; est assez petit pour être négligé.

Les plaques en céramique et les métaux interconnectés ont une conductivité thermique élevée pour assurer une température uniforme à chaque extrémité. Négligeant la contribution des interconnexions métalliques et des plaques de céramique, l'analyse d'un TEM peut être effectuée en analysant un seul granulé ou thermocouple sans perte de généralité.

Le phénomène de conduction thermique est un Processus fourrier décrit par la conductivité k_i du matériel. Pour un TEM avec thermocouples N le transfert de chaleur de conduction thermique dans un TEM est décrit par :

$$Q_{th} = -\Delta T K_{th} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Où K_{th} est la conductivité thermique du TEM et $\Delta T = T_E - T_A$ Le chauffage Joule est un processus physique de dissipation de chaleur dans un élément de résistance. Le flux de courant électrique à travers le TEM provoquera en outre le chauffage résistif des thermocouples. La chaleur totale de Joule dissipée dans un TEM un N-couple TEM est :

$$Q_j = I^2 R \qquad \textbf{(2.2)}$$

Où R est sa résistance électrique. Indépendamment du gradient de température, la chaleur de Joule peut être considérée comme également divisée entre les deux côtés du TEM. L'effet de refroidissement/chaleur Peltier est un phénomène d'absorption/dissipation de chaleur par une jonction entre deux matériaux différents lorsque le courant électrique circule à travers la jonction. La chaleur absorbée/émise d'un TEM en N-couple est :

$$Q_{PE/uA} = S \cdot I \cdot T_{E/A} \qquad \textbf{(2.3)}$$

Où S est le coefficient Seebeck du TEM. Lorsqu'un le gradient de température est imposé à un conducteur dans des conditions de circuit ouvert, la création d'une différence de potentiel électrique entre le chaud et côtés cool du chef d'orchestre est appelé le Seebeck effet. La tension générée Seebeck, appelée le la force électromotrice (FEM), dans un TEM est exprimée comme :

$$Us = S.\Delta T \qquad \textbf{(2.4)}$$

Où S est le coefficient Seebeck du TEM. Lorsqu'un gradient de température est imposé à un conducteur en circuit ouvert, la création d'une différence de potentiel électrique entre les côtés chauds et frais du conducteur est appelée effet Seebeck. La tension Seebeck générée, appelée

force électro motive (F.E.M.), dans un TEM est exprimé comme :

$$Q_A = S.I.T_A - \frac{1}{2}.\ I^2.R - \Delta T.K_{th} \qquad \textbf{(2.5)}$$

Et

$$Q_E = S.I.T_E + \frac{1}{2}.\ I^2.R - \Delta T.K_{th} \qquad \textbf{(2.6)}$$

La tension de sortie du TEM est alors :

$$V = U_s + RI \qquad \textbf{(2.7)}$$

Un bon TEM doit combiner un grand coefficient de Seebeck S avec faible résistance électrique R et faible conductivité thermique J_{th}. Le coefficient de performance (COP) est alors défini comme :

$$z = \frac{S^2}{R \cdot k_{t_h}} \qquad \textbf{(2.8)}$$

II.2.2 Détermination des paramètres du module thermoélectrique :

En général, les fabricants de TEC fournissent les paramètres suivants pour spécifier leurs produits : ΔT_{max} la différence de température maximale entre les côtés froids et chauds du TEC ; I_{max} et V_{max} les entrées de courant et de tension pour produire ΔT_{max} pour un niveau donné de T_H. La température du côté chaud d'un TEC de travail est toujours constante et est presque égale à la température du matériau utilisé dans le système de refroidissement.

En outre, il est plus facile de mesurer la température du côté chaud parce que cette surface est toujours en dehors de l'appareil TEC. Pour le refroidissement, on peut supposer que :

$T_E = T_H$ et $T_A = T_H - \Delta T$, et Q_A est réglé à zéro pour l'insolation thermique.

La différence de température peut être exprimée :

$$\Delta T = (S.I.T_H - \frac{1}{2}.\ I^2.R)/(S.I + K_{th}) \qquad \textbf{(2.9)}$$

La différence de température maximale peut être trouvée en prenant le dérivé deΔT par rapport à I et en fixant le résultat à zéro. Le courant maximal et la température peuvent être :

$$I_{max} = K_{th}(\sqrt{1 + 2.Z.T_h} - 1)/S \qquad \textbf{(2.10)}$$

Et

$$\Delta T_{max} = T_H + (1 - \sqrt{1 + 2.Z.T_H})/Z \qquad \textbf{(2.11)}$$

Ensuite, la tension maximale peut être réécrite comme :

$$V_{max} = S.T_H \qquad \textbf{(2.12)}$$

Par conséquent, étant donné la température d'émission $T_E = T_H$, les paramètres du modèle proposé peuvent être calculé par :

$$S = V_{max}/T_H \qquad \textbf{(2.13)}$$

$$R = V_{max}(1 - \Delta T_{max}/T_H)/I_{max} \qquad \textbf{(2.14)}$$

Et

$$R_{th} = V_{max}I_{max}(T_H - \Delta T_{max})/(2T_H\Delta T_{max}) \qquad \textbf{(2.15)}$$

D'autre part, les paramètres réguliers dans le La fiche technique des TEG commerciaux comprennent : $T_A = T_H$et $T_E = T_C$, les températures à chaud et côté froid ; W_m, la puissance à la charge correspondait à la résistance interne (R_L= R); (V_m =V_R), la tension de charge à la charge correspondante; et η_{th}^{max} ; l'efficacité thermique maximale. Évidemment, on peut facilement calculer les paramètres électriques du circuit équivalent directement à partir de la feuille de données. La résistance électrique R et le coefficient S de Seebeck d'un TEG peuvent être :

$$R = R_L = V_m^2/W_m \qquad \textbf{(2.16)}$$

Et

$$S = 2V_m/\Delta T \qquad \textbf{(2.17)}$$

En fait, l'efficacité d'un TEG est fonction de la charge. Supposons que la résistance à la charge est définie comme R_L = m*R, où m est le rapport de résistance entre la charge et la résistance interne. Le courant peut être exprimé comme :

$$I = S\Delta T/[(1 + m)R] \qquad \textbf{(2.18)}$$

L'efficacité thermique d'un TEG est définie comme le rapport entre la puissance électrique et l'entrée de puissance thermique et le côté chaud, qui peut être exprimé comme :

$$\eta_{th} = I^2R_L \,/\, Q_H \qquad \textbf{(2.19)}$$

Compte tenu du FOM, l'efficacité thermique du TEG peut être :

$$\eta_{th} = mZ\Delta T/\{(1 + m)^2 + Z\left[\left(m + \tfrac{1}{2}\right)T_H + \tfrac{1}{2}T_C\right]\} \qquad \textbf{(2.20)}$$

De toute évidence, l'efficacité du TEG est fonction du rapport de résistance m. L'efficacité maximale peut être donnée comme :

$$\eta_{th}^{max} = (m_{pot} - 1)(\Delta T/T_H)/((m_{pot} + T_C/T_H) \quad \textbf{(2.21)}$$

Où le m_{pot} est la valeur du rapport de résistance m qui maximise l'efficacité du TEG, qui est :

$$m_{pot} = \sqrt{1 + ZT_{ave}} \quad \textbf{(2.22)}$$

Où $T_{ave} = 1/2(T_{H+}T_C)$. Compte tenu des paramètres d'un TEG commercial, le rapport de résistance m peut être obtenu :

$$m_{pot} = (\Delta T + \eta_{th}^{max} T_C)/(\Delta T - \eta_{th}^{max} T_H) \quad \textbf{(2.23)}$$

Et puis le FOM du TEG peut être trouvé comme :

$$Z = (m_{pot}^2 - 1)/\, T_{ave} \quad \textbf{(2.24)}$$

La conductivité thermique d'un TEG peut être calculée par :

$$K_{th} = S^2/RZ \quad \textbf{(2.25)}$$

Certains fabricants donnent l'efficacité pour la charge assortie $\eta_{th,m}$. Étant donné que la résistance à la charge appariée est associée à la résistance interne, c'est-à-dire $R_L = R$, le courant à la charge appariée se trouve :

$$I_m = S\Delta T/2R \quad \textbf{(2.26)}$$

Et l'efficacité de la charge correspondante est exprimée comme :

$$\eta_{th,m} = Z\Delta T/[4 + Z\left(\tfrac{1}{2}T_H + \tfrac{1}{2}T_C\right)] \quad \textbf{(2.27)}$$

Le FOM du TEG est ensuite calculé par :

$$Z = \eta_{TEG}^m/[\Delta T - \eta_{TEG}^m\left(\tfrac{1}{2}T_H + \tfrac{1}{2}T_C\right)] \quad \textbf{(2.28)}$$

Enfin, la résistance thermique peut être obtenue.

II.3 Modélisation sur Matlab /Simulink :

II.3.1 Thermoélectrique générateur :

Voilà schéma bloc sur Matlab

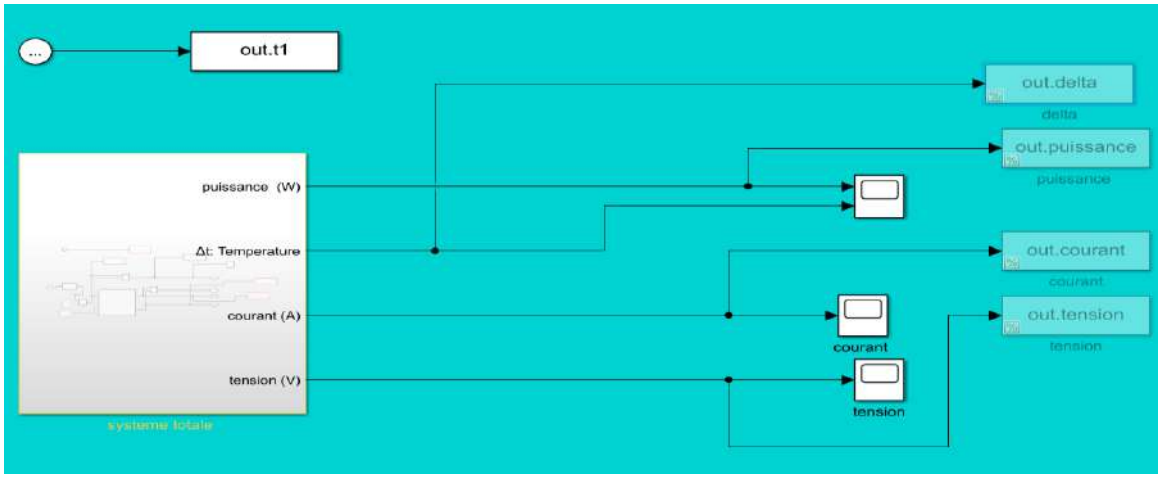


Figure II.10 : schema bloc MATLAB Simulink(a)

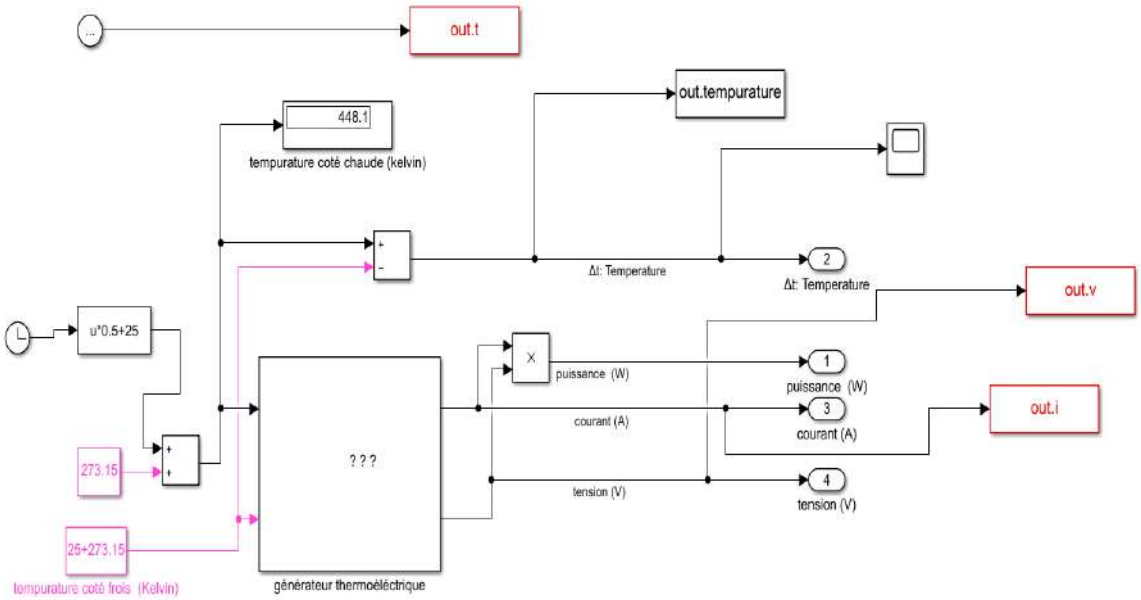


Figure II.11 : schema bloc MATLAB Simulink(b)

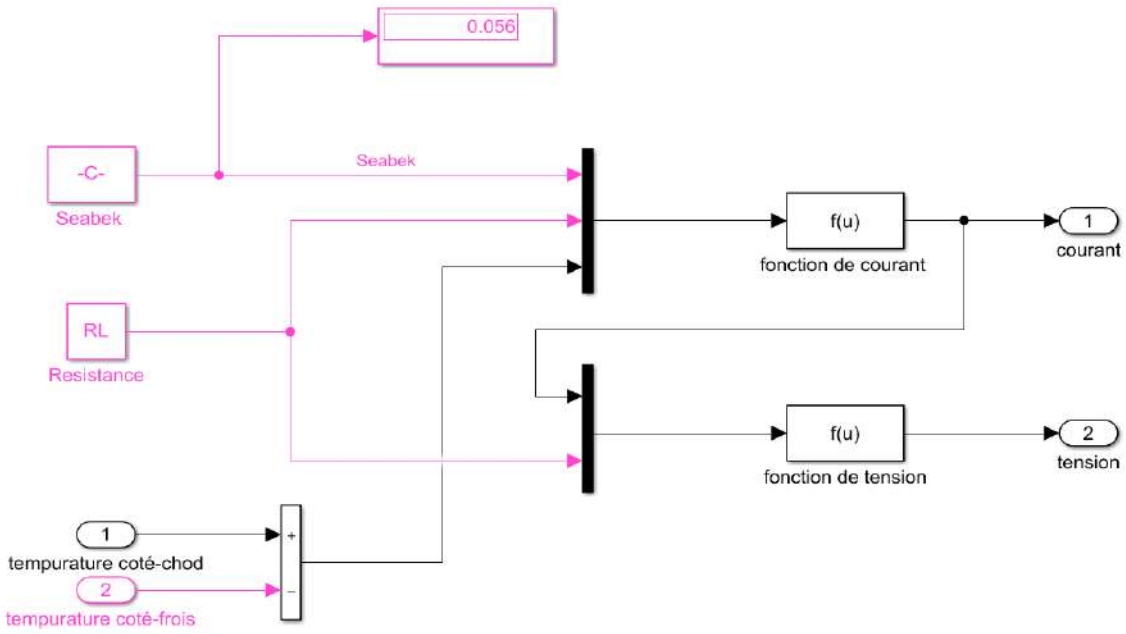


Figure II.12 :schema bloc MATLAB Simulink(c)

Les résulte obtenue :

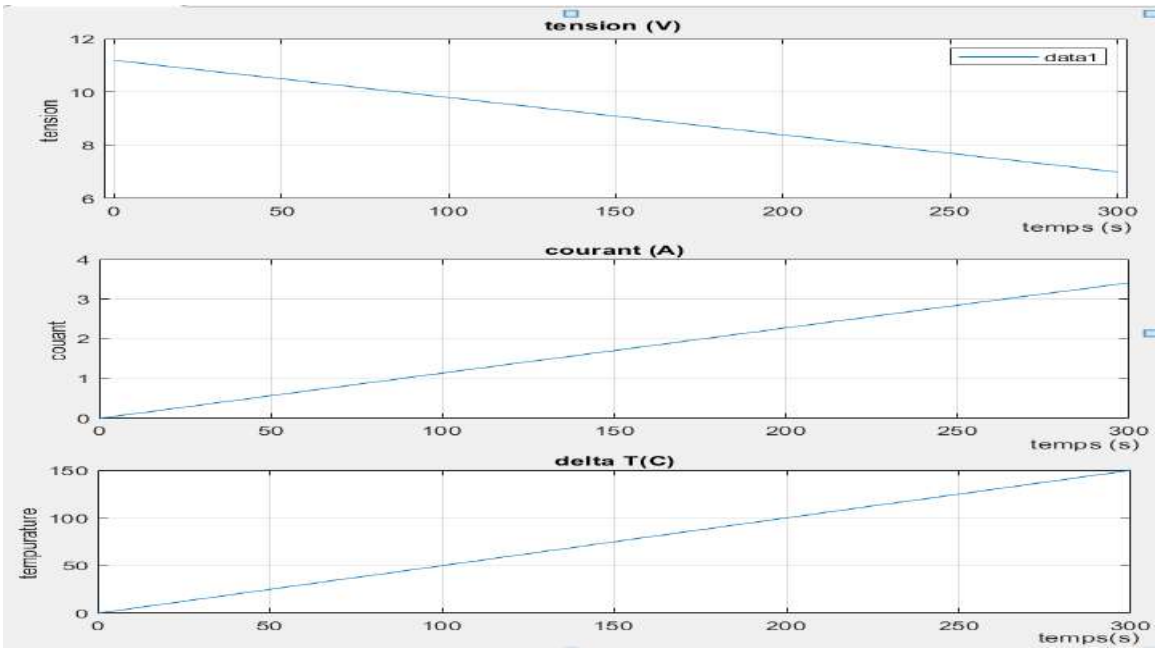


Figure II.13 : Les résultats

II.3.2 Thermoélectrique refroidisseur :

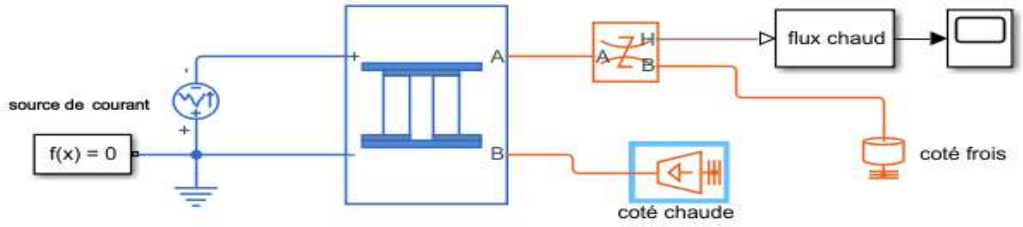


Figure II.14 : schéma bloc sur Thermoélectrique refroidisseur

Les résulte obtenue :

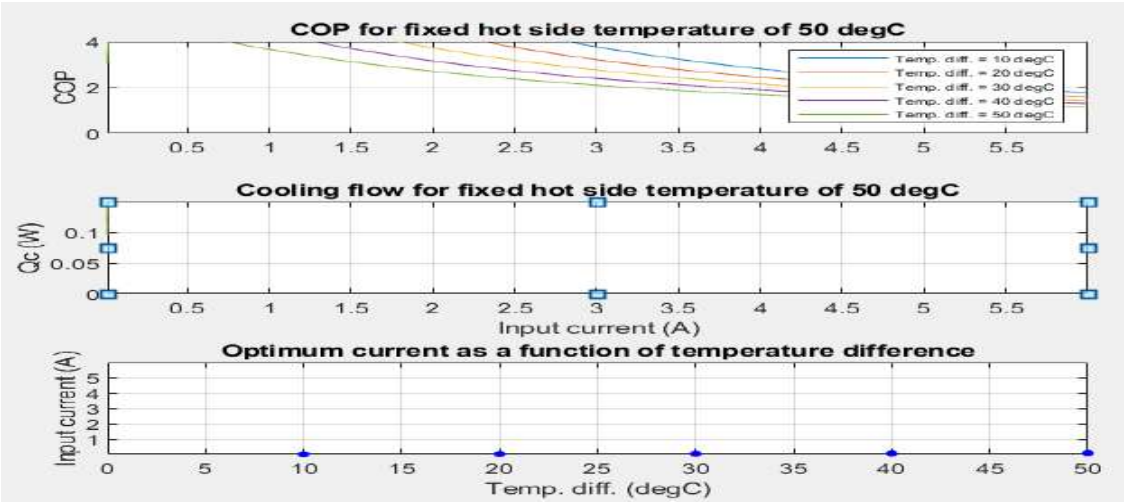


Figure II.15 : Les résultats

Après avoir obtenu les résultats dans deux cas de fonctionnement, nous avons remarqué que la puissance convertie à partir de la pièce dans le cas de la production d'électricité est égale à = 32 watts avec son fonctionnement et la consommation de 124 watts comme la chaleur.

Dans le second cas, lorsque nous l'avons utilisé pour la réfrigération, il a consommé 72 watts avec une production de puissance de refroidissement d'environ 17,5 watts, dont le rendement dans les deux cas ne dépasse pas 24%.

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié et modélisé une plaque thermoélectrique, puis nous l'avons présentée dans le programme Matlab/Simulink dans deux cas que nous pourrions utiliser, une fois pour produire de l'électricité et une fois que nous l'avons utilisé dans le refroidissement. Et nous avons été en mesure de comprendre les résultats et a constaté que le rendement global n'est que de 24%.

Chapitre III : la réalisation et la commande du réfrigérateur

La réalisation et la commande du réfrigérateur

III.1 Introduction :

Notre réfrigérateur thermoélectrique est basé sur l'utilisation des plaques Peltier qui sont les éléments refroidisseurs fonctionnant en courant continue, placé dans une enceinte de mousse polyuréthane, afin de minimiser les apports de chaleur extérieur, et une commande PID fait par un microcontrôleur Arduino méga 2560.

III.2 Présentation du matérielle utiliser :

Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé plusieurs composants, dont l'électrique, comme le microcontrôleur Arduino méga, plaque Peltier TEC1-12706, des transistors mosfet (IRLZ44N), des ventilateurs électrique 12 v, du polyester D25 et papier aluminium pour une bien isolation thermique.

III.3 Le module thermoélectrique :

Le module thermoélectrique utiliser est TEC1-12706, ce module produite l'effet de thermoélectrique (effet de Seebeck, effet de Peltier).[16]



Figure III. 16: module thermoélectrique

III.3.1 Les caractéristiques physiques :

Tableau III. 1:caractéristiques physiques de module TEC1-12706

Nom	Thermoélectrique refroidisseur
Les étage	1
Les jonction	127
Courant	6
Longueur (mm)	40
Largeur (mm)	40
Epaisseur (mm)	3.8

Température de fonctionnement (°C)	-55 – 83
Cordon d'alimentation (mm)	290

III.3.2 Les caractéristiques techniques :

Tableau III. 2: Les caractéristiques techniques de module TEC1-12706

La puissance de refroidissement (W)	50-60
La puissance max(W)	92
La tension max (V)	16.4
La tension	12
Le courant max (A)	6.4
Le courant(A)	4-6.2
T de fonctionnement max (°C)	138
La résistance thermique (ohm)	1.2 à 2.4
Delta T max (°C)	67

III.4 Arduino méga 2560 :

Nous allons utiliser un Arduino méga [17] comme un serveur de communication entre l'afficheur LCD, capture de température DHT22.

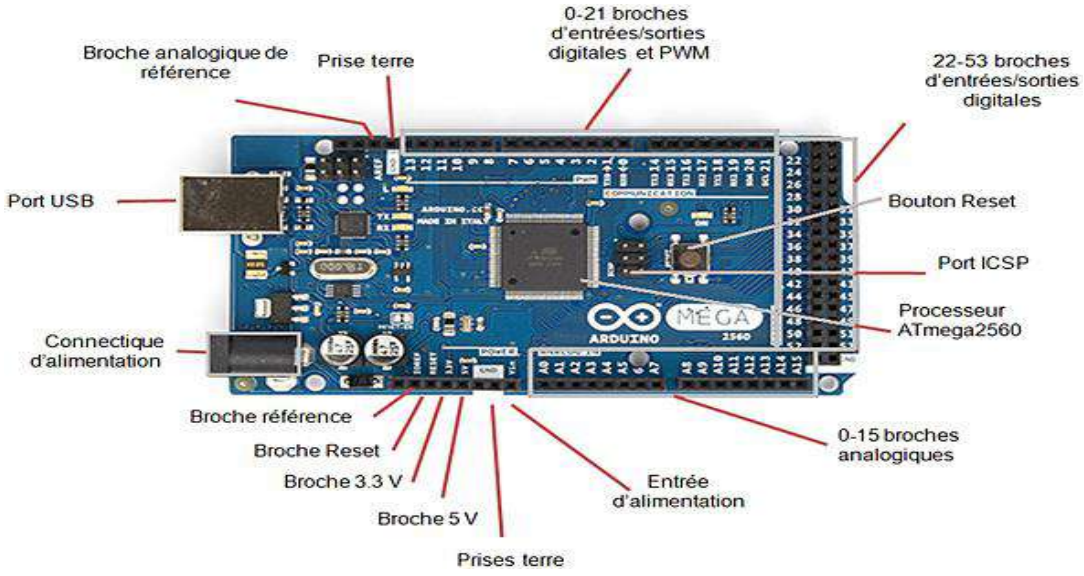


Figure III. 17 : Arduino méga 2560

III.5 Transistor mosfet IRLZ44N :

Nous avons fait une étude avant qu'il ne soit choisi le Transistor mosfet IRLZ44N, parce qu'il peut être contrôlé par un courant de 5 volts, il peut passer jusqu'à 55 volts [18], C'est l'interrupteur de notre projet.



Figure III. 18 : Transistor mosfet IRLZ44N

III.6 DHT22 :

Le capteur thermique DHT22 que nous avons utilisé pour suivre et vérifier la température à l'intérieur du réfrigérateur pour un meilleur contrôle. Il a un range de température mesurer dans l'intervalle de -40C°à80C° Et un intervalle de 1%à100% pour l'humidité, avec une précision de± 0.5C° et ±1%. [19]

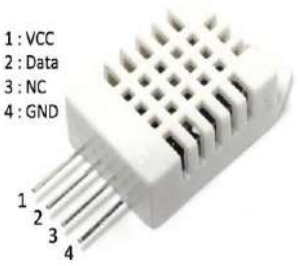


Figure III. 19 : DHT22

III.7 L'afficheur LCD :

Cet affichage utilisé est 1602A avec i2c .il s'agit d'un 16 × 2 caractères dot matrix module d'affichage LCD. Il utilise une alimentation de 5 v [20].



Figure III.20: afficheur LCD 16*2

III.8 Les ventilateurs :

Le radiateur de chaleur et le ventilateur de refroidissement On l'a utilisé pour disperser la chaleur. Du module.



Figure III. 21: Ventilateur

III.9 Pompe à d'eau :

Nous avons utilisé la pompe à eau Qr30e pour pomper l'eau qui est dehors pour refroidir la ceinture. [21]



Figure III. 22: Pompe d'eau 12v

III.10 Alimentation pc 12v :

Nous avons utilisé trois alimentations de pc. Deux personnes que nous utilisions pour alimenter les modules Peltier et la dernière pour alimenter les ventilateurs et la pompe.



Figure III.23:alimentation pc 12v

Le réfrigérateur thermoélectrique que nous avons réalisé est un prototype destiné a expérimenté la capacité des éléments Peltier à produire du froid pour des petites applications tel que le refroidissement des boissons, des médicaments ou même des échantillons d'analyse au niveau des laboratoires médicaux.

III.11 Présentation d'un réfrigérateur :

III.11.1 Caractéristique physique :

Le tableau ci-dessous illustre l'ensemble des caractéristiques du réfrigérateur à savoir les dimensions, le poids …etc.

Tableau III.3 : Caractéristiques physiques

Designation	Valeur
Hauteur H (cm)	25
Longueur L(cm)	35
Largeur (cm)	30
Episeur (cm)	04
Poids (kg)	3.22
Volume (cm^3)	26250

III.11.2 Caractéristiques électriques :

Comme son nom indique, notre réfrigérateur fonctionne entièrement à partir d'énergie électrique nécessaire pour le fonctionnement des plaques Peltier et ventilateurs, Les différentes caractéristiques électriques sont mentionnées sur le tableau suivant :

Tableau III. 4: Caractéristiques électrique

Designation	Valeur
Type de courant	Continue
Tension alimentation(V)	12
Courant consommé (A)	5
Puissance électrique (W)	50

III.11.3 Caractéristiques de l'isolation :

Tableau III.5: Propriétés de polystyrène

Désignation	Valeur
Epaisseur (mm)	40
Proportion d'absorption d'eau (%)	<0.2
Conductivité thermique (w/m. K)	0.032

Schéma électrique :

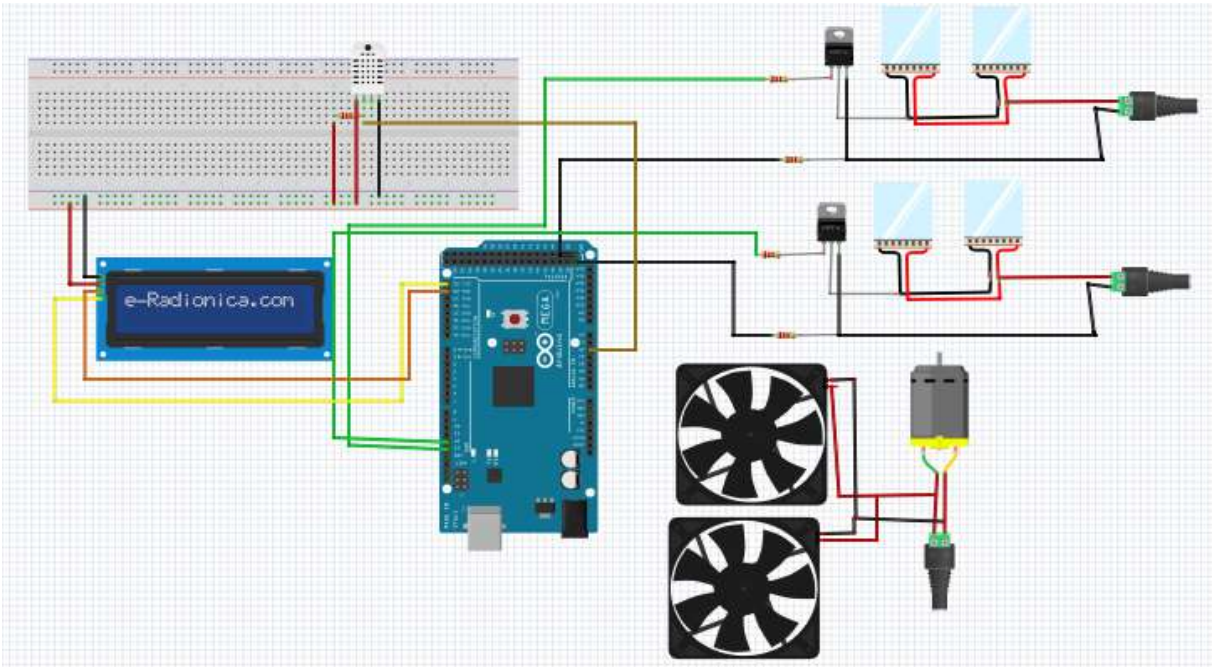


Figure III.24: Schéma électrique

III.12 Principe de fonctionnement

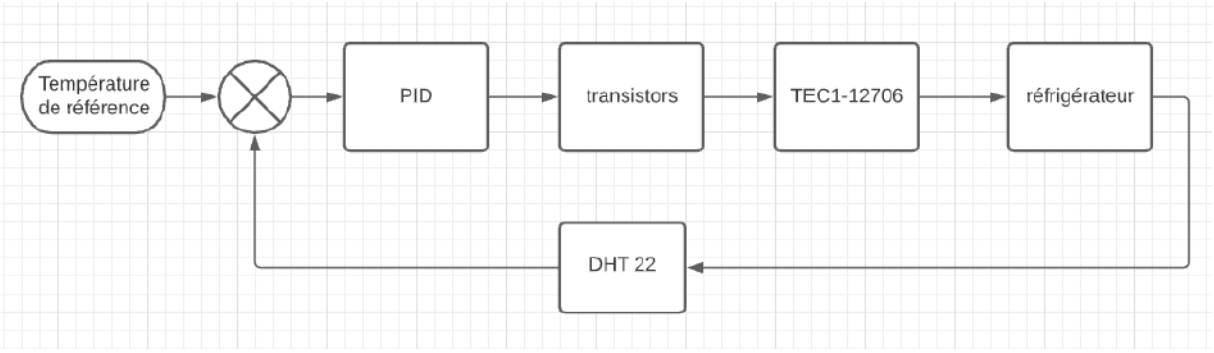


Figure III.25 : schéma fontionnement

Comme vous pouvez le voir sur l'image ci-dessus, il s'agit d'une explication simple sur le principe de notre travail de projet. Ce que nous faisons spécifiquement est de contrôler la température par le contrôleur PID. Dont la sortie contrôle le courant électrique passant par le réfrigérant, La valeur du passage actuel vient après calcul du coefficient de péché entre la température désirée et la réalité du système, Pour le contrôleur PID, nous avons utilisé un microcontrôleur Arduino. Nous avons utilisé l'étalon irlz44n comme un pont entre la partie de commande et la partie de puissance. Et le capteur DHT22 pour suivre l'évolution de la chaleur.

L'un des problèmes que nous avons eus sur le projet est que la pièce a son côté chaud, des températures élevées, par conséquent, nous devons l'élever à travers l'eau et les ventilateurs, nous avons roulé deux plaques Peltier à l'intérieur du réfrigérateur, leur côté froid à l'extérieur pour refroidir l'endroit, et le côté chaud nous l'avons attaché avec un échangeur thermique à l'intérieur de l'eau froide, ce dernier nous le refroidissons à travers deux morceaux, son côté froid attaché à un échange thermique pour refroidir l'eau, et le côté chaud accroché avec deux ventilateurs afin de disperser la chaleur.

Le deuxième problème que nous avons rencontré, le régulateur PID sortie est analogique. L'Arduino n'a pas de sortie analogique, donc nous avons utilisé une propriété en Arduino similaire à la sortie analogique, c'est PWM.

Tout d'abord PWM sont les Initiales de Pulse Width Modulation que l'on traduit en français par MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion).

Afin de varier artificiellement la tension en sortie de l'Arduino, il nous faudra utiliser certaines broches digitales de la carte. Mais par définition, une broche digitale ne délivre qu'un signal binaire (0 ou 1), c'est-à-dire que le signal électrique en sortie ne peut avoir que deux valeurs soit HIGH (niveau Haut = 5V) ou LOW (niveau Bas = 0V).

Les broches digitales compatibles PWM vont permettre d'émettre un signal numérique disposant de 256 valeurs différentes **(**résolution de 8 bits soit $2^8 = 256$) et non plus seulement 2 valeurs (Tout ou Rien TOR ou binaire).[21]

il est possible de déterminer pour chaque entier (PWM) compris entre 0 et 255 la valeur du rapport cyclique ou la tension moyenne en sortie de l'Arduino :

• PWM = 0 ↔ Rapport cyclique = 0% ↔ Tension = 0V.

• PWM = 33 ↔ Rapport cyclique = 10% ↔ Tension = 0,5V.

• PWM = 127 ↔ Rapport cyclique = 50% ↔ Tension = 2,5V.

• PWM = 230 ↔ Rapport cyclique = 90% ↔ Tension = 4,5V.

• PWM = 255 ↔ Rapport cyclique = 100% ↔ Tension = 5V.

L'Arduino méga 2560 dispose de 14 pins de vente PWM de 0 à 13, mais ils ne sont pas tous de la même fréquence, les pins 4 et 13 980 Hz et le reste 490Hz, nous avons choisi 2 entre la même fréquence. [17]

III.13 Le travaille

1ere étape : Tout d'abord, nous avons actionné notre système sans commande. Avec Matlab et Arduino, nous avons suivi le changement de température à l'intérieur.

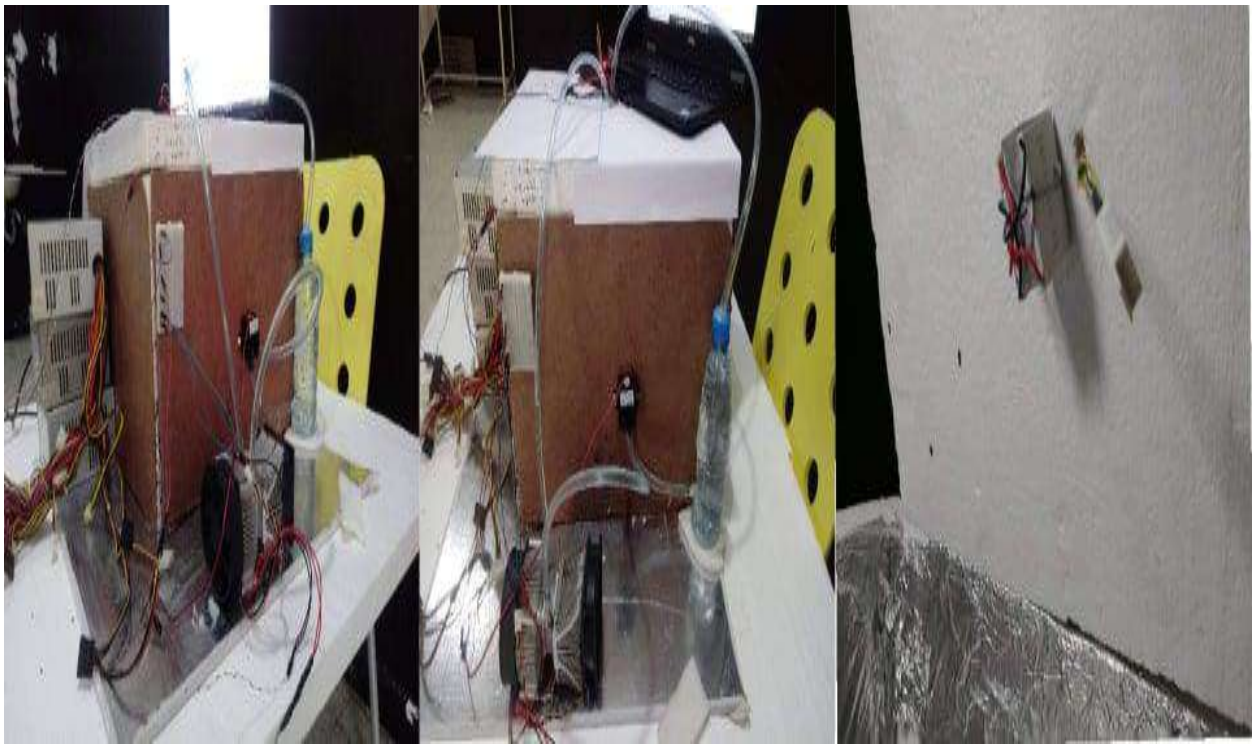


Figure III.26 : système sans commande Avec Matlab et Arduino

Nous avons créé le programme ci-dessous avec Matlab/Simulink pour récupérer les donnes :

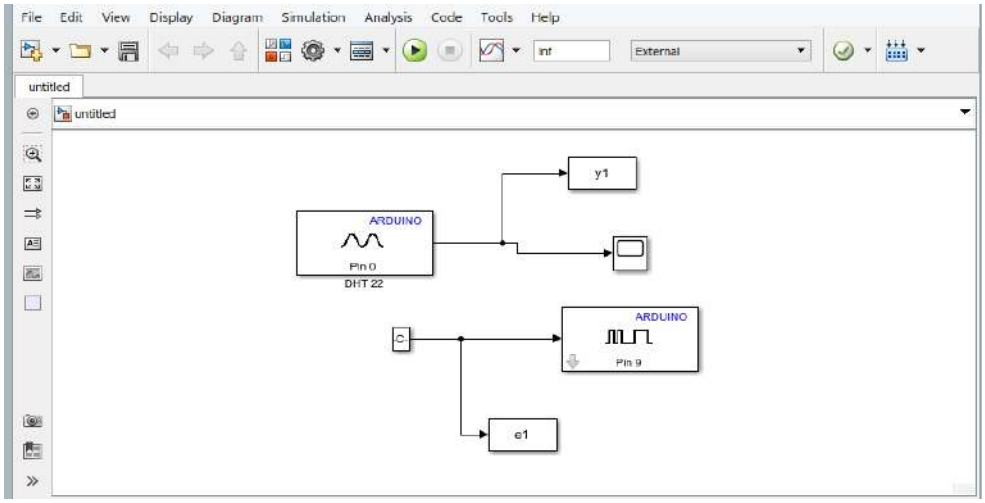


Figure III.27 : le programme avec Matlab /Simulink

Par le programme, nous avons récupéré le graph suivant :

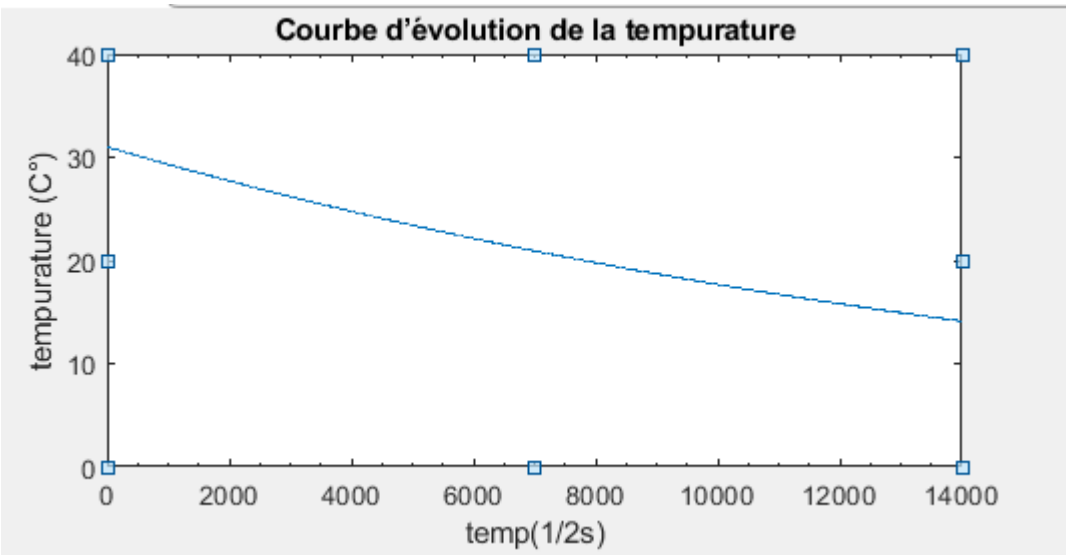


Figure III.28 : schéma d'évolution de la température

Et puis nous avons utilisé l'outil Matlab « system identification » pour déterminer la fonction de transfert du système :

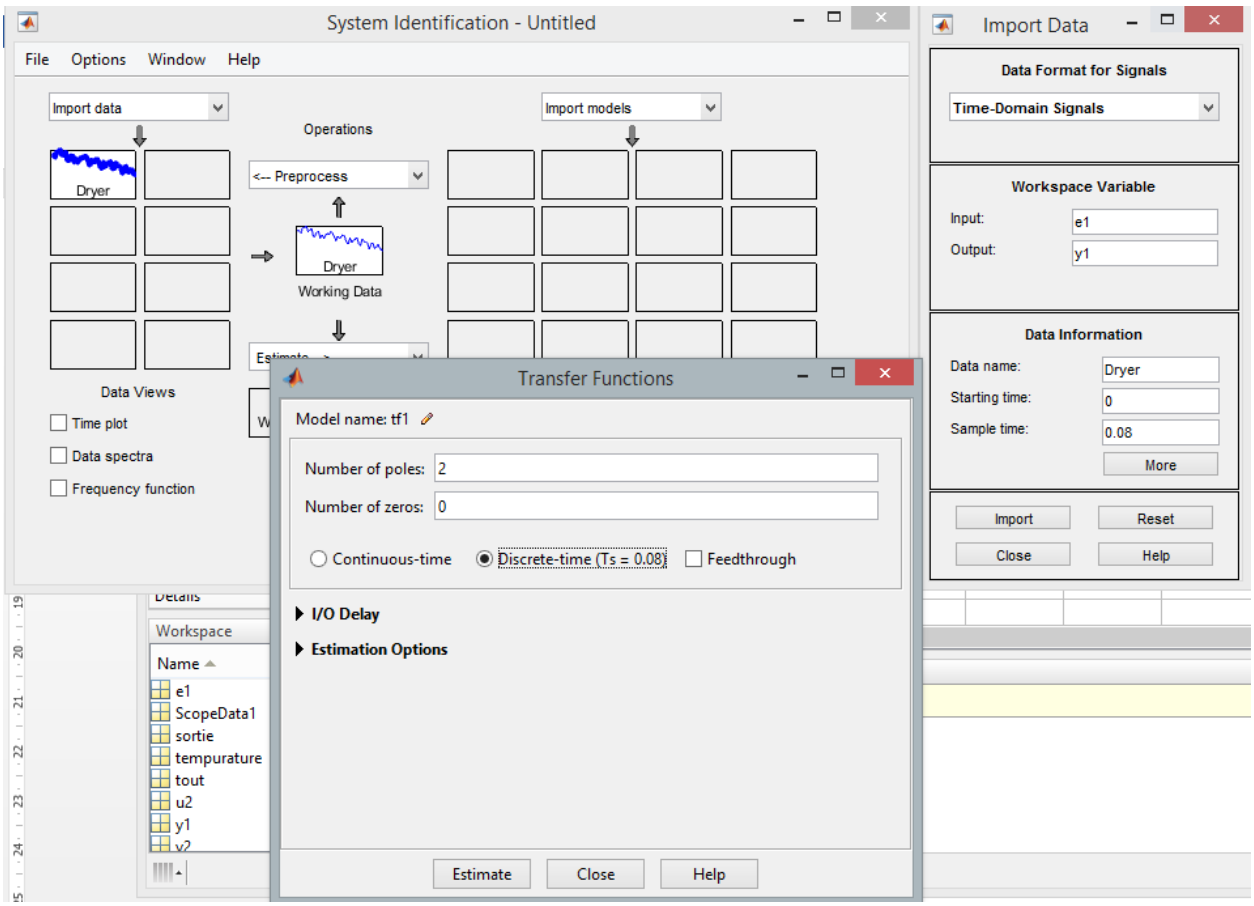


Figure III.29 : système identification

Ensuite, Ensuite, nous obtenons la fonction de Transfer 2eme degré avec 0 zéro

$$tf = \frac{4.588e{-}08}{1 - 9.504e{-}05\ z\text{^}{-}1 - z\text{^}{-}2} \qquad \textbf{(III.1)}$$

Et le match avec la courbe réelle était de 99,75%, et puis nous avons fait nous, avec l'outil « PID tuner », avons identifié les coefficients du régulateur PID.

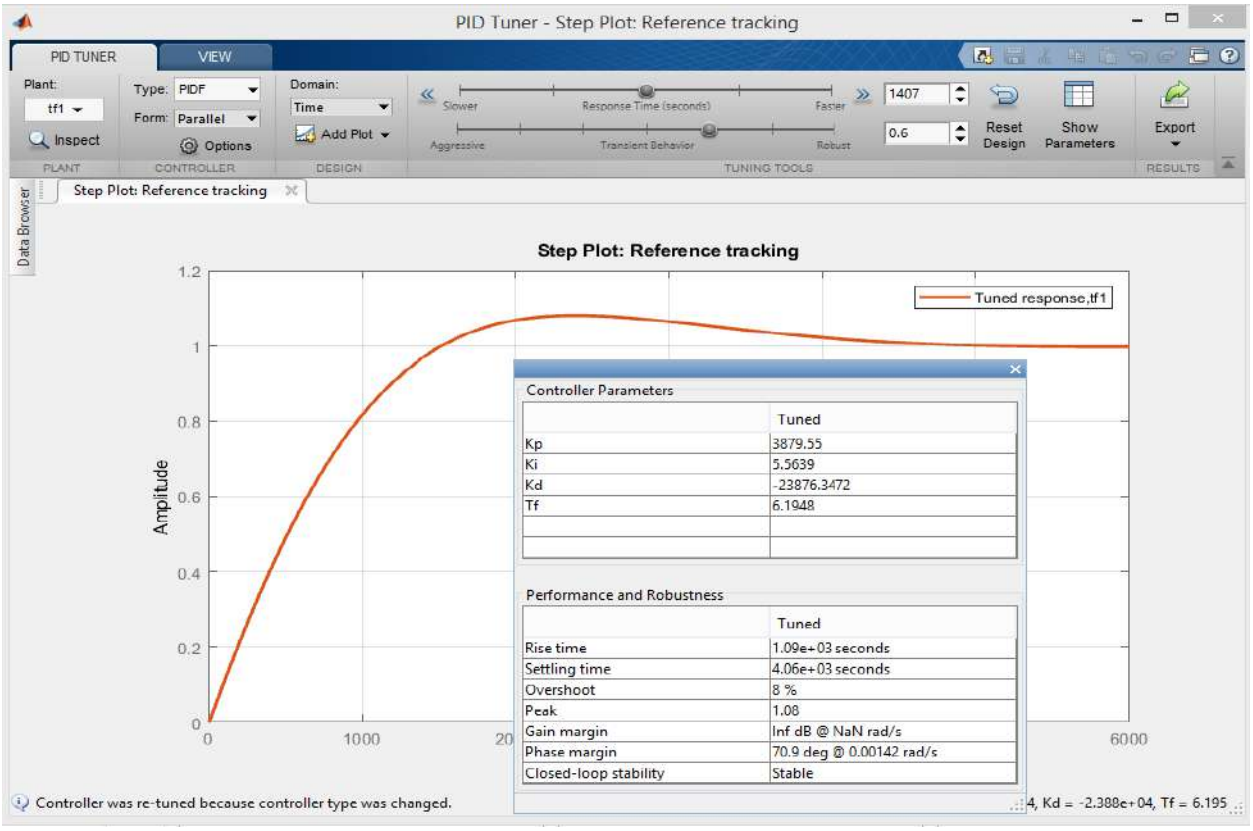


Figure III.30 : schéma PID tuner

Enfin, nous avons intégré le régulateur PID dans le circuit de commande, et récupéré le changement de température.

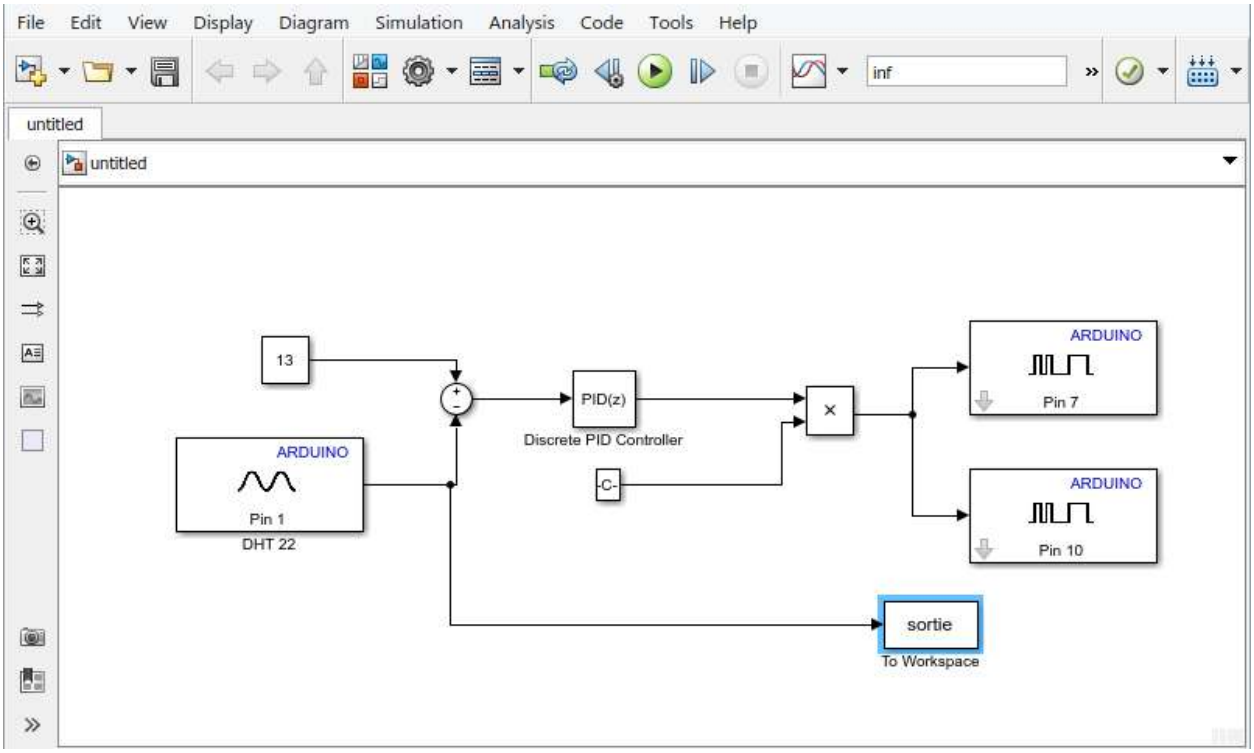


Figure III.31 : schéma le régulateur PID dans le circuit de commande

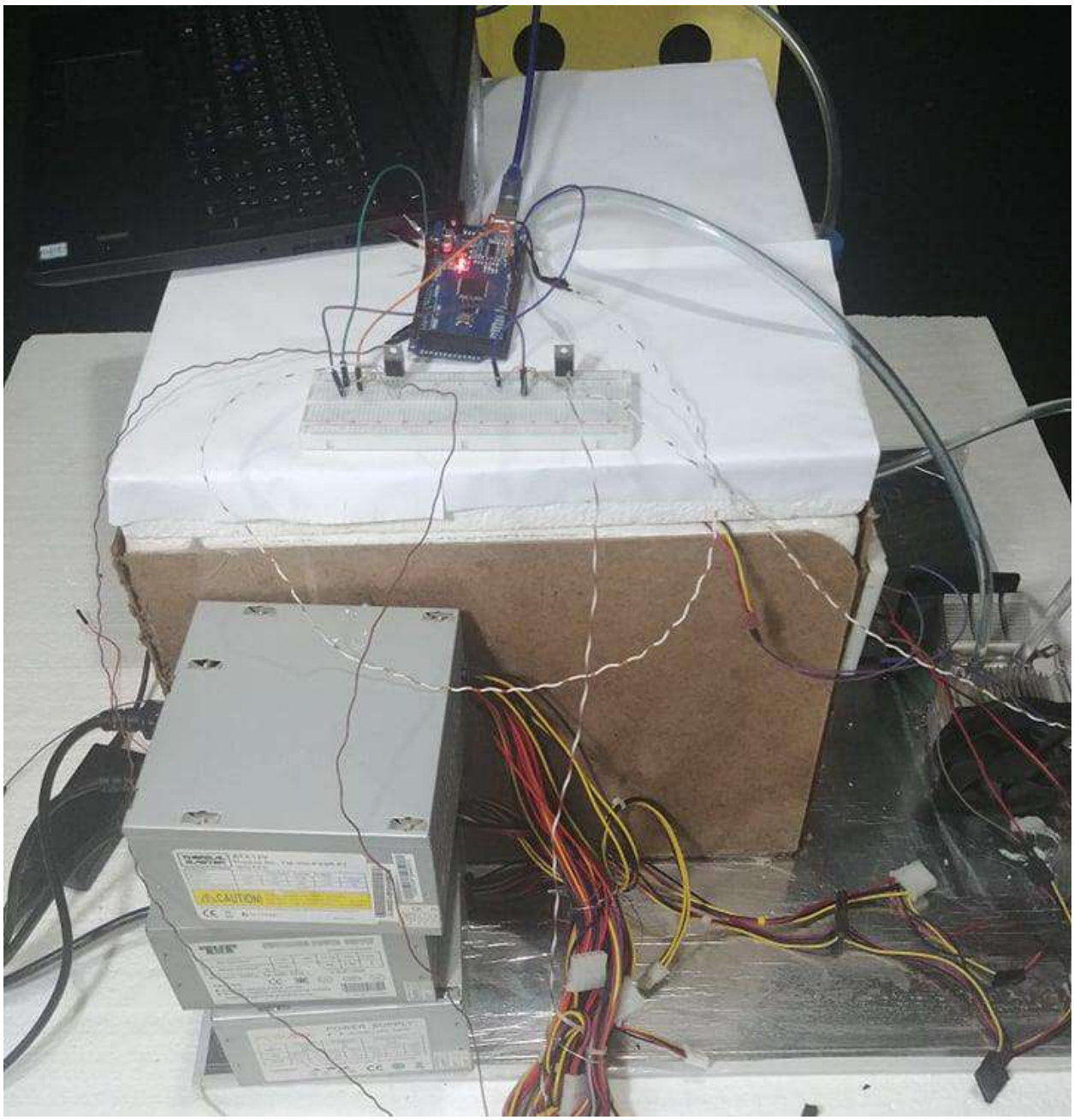


Figure III.32 : montage de la commande

Enfin, nous avons fixé une température de 13°C. Comme température de référence. Les paramètres de régulateur PID étaient selon la première tentative d'exécution. Nous obtenons enfin le prochain graph :

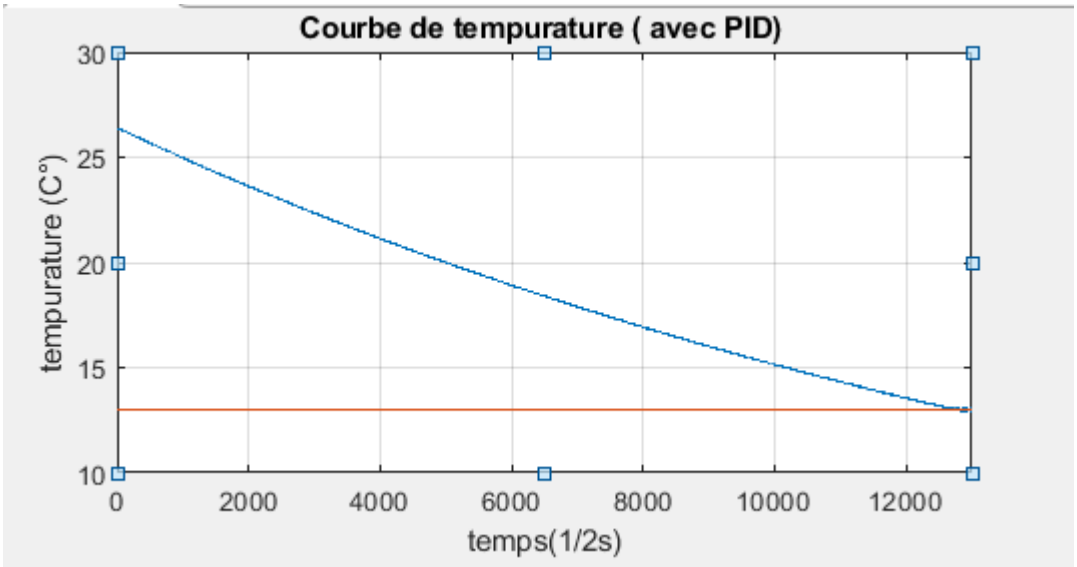


Figure III.33 : schéma de température

Il nous a fallu beaucoup de temps pour atteindre la température requise. En outre, le régulateur PID n'est pas valide en tout temps. Ses paramètres sont valables dans les mêmes conditions lorsqu'elles sont spécifiées uniquement.

III.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué l'ensemble du travail que nous avons fait pour le réfrigérateur, ainsi que fournir une brève explication des composantes que nous avons utilisés, et également expliqué comment notre travail a fonctionné et comment nous avons effectué l'identification des paramètres du régulateur PID. Et une simple comparaison entre les deux méthodes d'exploitation.

Conclusion générale

L'objectif principal de notre travail est de développer un système de régulation PID pour le réfrigérateur portable. Afin d'améliorer les performances et de passer en modélisant et en représentant un simulateur de générateur thermoélectrique, ainsi que la modélisation et la simulation d'un système de refroidissement thermoélectrique. Dans notre travail, nous avons abordé plusieurs points de notre travail, et nous avons commencé dans un premier chapitre, une présentation, générale des effets et notions de base de la thermoélectricité, passant également en revue les propriétés physiques et chimiques des matériaux thermoélectriques et les applications thermoélectriques actuelles, on s'est intéressé à la modélisation et simulation par Matlab/Simulink du générateur thermoélectrique. Notre simulation est basée sur l'étude de la thermoélectricité, ainsi que les effets thermoélectriques tels que l'effet Seebeck, l'effet Peltier et l'effet Thomson. Un bon matériau thermoélectrique doit posséder aussi un bon coefficient Seebeck ou Peltier, une bonne conductivité électrique afin d'éviter les pertes par effet Joule et une faible conductivité thermique pour garder une différence de température appréciable aux bornes du matériau. Et un simulateur de un thermoélectrique refroidisseur avec ses propres caractéristiques.

Afin de tester le système avec un contrôleur PID, nous avons utilisé le module thermoélectrique TEC1-12706 et en utilisant le logiciel Matlab et ses instruments, nous avons extrait les coefficients du contrôleur. Et nous l'avons introduit dans le système par Arduino et les transistors. Et nous en avons trouvé plusieurs.

Avantage :

- sa simplicité de construction.
- supporte les chocs et les secousses, à la différence des circuits de fluides frigorigènes.
- l'absence de pièce mobile : pas de bruit, de vibrations ou d'usure mécanique.
- l'absence d'utilisation de fluide frigorigène

Inconvénients :

- Plus le volume à refroidir est grand, plus l'efficacité du système est faible.
- PID n'est pas adapté à un tel système parce que les circonstances à partir desquels le PID est déterminé sont en changeant toujours.
- Le système est souvent efficace à des températures proches de la température du milieu.
- L'humidité est un obstacle majeur à la propagation du froid en raison du gel rapide de la surface de la Peltier.
- à l'affirmation préalable, le refroidissement est impossible pour des différences de température intérieure intérieure/extérieur excédant 70 à 85 °C

- La faible résistance des cellules aux contraintes mécaniques en cisaillement

Enfin, nous concluons que les modules thermoélectriques convient au refroidissement en petites volumes, en particulier dans les endroits où les matériaux inflammables, là ils sont plus sûrs et pratiques, et aussi pour la commande, il est préférable d'appliquer des régulateurs tout ou rien ou les régulateur floue-PID parce que ses transactions ne sont pas affectées par le changement de système.

Nous espérons que notre commande réfrigérateur à plaque Peltier soit un premier pas qui soit suivie par d'autres démarches en améliorant le fonctionnement et la commande de ce type de réfrigérateur.

BIBLIOGRAPHIE

[1] PM Morrisette - Natural Resources Journal, 1989 - JSTOR

[2] Djalila Boudemagh, « Synthèse et Etude de Matériaux Thermoélectriques du Système Mg2Si1-xSnx », Thèse, Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2010.Français

[3] Camille FAVAREL, « Optimisation de générateurs thermoélectriques pour la production d'électricité », Thèse, ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES EXACTES ET DE LEURS APPLICATIONS ,2014.

[4] J. G. Stockholm, « génération thermoélectrique », Journées Electrotechniques du Club EEA ISBN 2-909968-10-3, Cachan (2002)

[5] Yeweon Kim, « Etude numérique et expérimentale d'une pompe à chaleur thermoélectrique innovante basée sur une conception intégrée et la technique du jet impactant », Thèse, Université de Grenoble, 2013

[6] Professeur : Maurice Gerl et Jean-Paul Issi, « Livre physique des matériaux»

[7] Zouak Belkacem, « Etude de l'évolution des caractéristiques des matériaux thermoélectriques des anciennes et nouvelles générations et applications photovoltaïque-thermoélectricité », Thèse, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, 2012

[8] Driss Kenfaui, « Etude des propriétés mécaniques et thermoélectriques des matériaux Ca3Co4O9 texturés pour la conversion d'énergie », Thèse, Université de Caen, 2010.Français

[9] Cédric Giroud Garampon, « Réalisation et étude des propriétés thermoélectriques de couches minces et nanofils de types Bi2-XSbxTe3 et Bi2Te3-xSex », Thèse, Université de Grenoble,2006

[10] Guillaume Savelli, « Etude et développement de composants thermoélectriques à base de couches minces », Thèse en vue de l'obtention du grade de DOCTEUR, Université Joseph-Fourier- Grenoble I, 2007

[11] Yohan Bouyrie, « Identification, synthèse et caractérisation de phases tétraédrites pour la conversion d'énergie par effets thermoélectriques », Thèse, Université de Lorraine, 2015. Français.

[12] Luis David Patino Lopez, « Caractérisation des propriétés thermoélectriques des composants en régime harmonique : Techniques et Modélisation. », Thèse, Université Bordeaux1 ,2004. Français.

[13] SIFI IBTISSEM Étude et Modélisation d'un Générateur Thermoélectrique Unité de Recherche Matériaux et Énergies Renouvelables 2013

[14] Saimaa Siouane, Système thermoélectrique pour la récupération d'énergie : modélisation électrique et continuité de service de la circuiterie électronique

[15] M. COSNIER « Etude numérique et expérimentale d'un système thermoélectrique destiné au rafraichissement des bâtiments ». Université de Savoie, France, 2008

[14] J.A.Paradiso & T.Starner, "Energy scavenging for mobile and wireless electronics". IEEE Pervasive computing 1, 18-27, 2005.

[16]TEC1-12706 data sheet www.alldatasheet.fr/datasheet-pdf/pdf/227422/ETC2/TEC1-12706

[17] Arduino méga 2560 data sheet store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3

[18] irlz44n data sheet www.vishay.com/docs/91328/sihlz44.pdf

[19] DHT22 data sheet www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf

[20]LCD16*2 data sheet www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS3.3v.pdf.

[21] www.arduino.cc/en/tutorial/PWM

ملخص

يهدف هذا المشروع الى انشاء و تطوير ثلاجة نظيفة وصديقة للبيئة تعمل في درجة حرارة محيطة تعتمد على مواد شبه ناقلة، تؤخذ تأثيرSeebeck وتأثير , Peltier يتم التحكم بها عن طريق ميكرو متحكم اردوينو و مبرمج ببرنامج ماتلاب و يحتوي على متحكم PID , يتم توجيه هذا المشروع خاصة للأطقم الطبية لنقل المعدات الطبية سريعة التلف , او يكون خاص للحمل يساعد أصحاب السفر في المسافات الطويلة

الكلمات المفتاحية: كهروحرارية، تأثير بلتر , تأثير سيبيك PID,ثلاجة , اردوينو .

Résumé

Ce projet vise à établir et à développer un réfrigérateur propre et respectueux de l'environnement .qui fonctionne autour de la température ambiante basée sur des matériaux semi-conducteur, l'effet de Seebeck et l'effet Peltier est pris, contrôlé par un microcontrôleur Arduino et programmé avec le programme Matlab et contient un régulateur PID, ce projet est dirigé spécialement vers les équipes médicales pour transporter des équipements médicaux qui est périssable, ou être spécial pour la grossesse aide les propriétaires à voyager dans de longues distances

Mots clés : thermoélectrique, effet de Peltier, effet de Seebeck PID, réfrigérateur, Arduino.

Abstrac

This project aims to establish and develop a clean and environmentally friendly refrigerator, which operates around the ambient temperature based on semiconductor materials, the Seebeck effect and the Peltier effect is taken, controlled by an Arduino microcontroller and programmed with the Matlab program and contains a PID regulator, this project is directed specifically to medical teams to transport medical equipment that is perishable , or being special for pregnancy helps homeowners travel long distances

Keywords: thermoelectric, Peltier effect, Seebeck PID effect, refrigerator, Arduino.