

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Mémoire  
Pour l'Obtention du Diplôme de  
Master en Génie Mécanique  
Option : Energétique

**Etude énergétique basée sur le modèle Thomson de l'effet thermoélectrique.  
Réalisation d'un système de réfrigération hybride : compression R22/  
thermoélectrique refroidi par caloduc « heat pipe »**

Présenté par :  
Bouali Ahmed Said  
Boukert Salim

Encadré par :  
Dr. Nehal

Année universitaire : 2021/2022

## *Remerciements*

*Nous remercions Allah le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de parvenir à la fin de notre parcours universitaire.*

*Nous tenons à remercier sincèrement notre encadrant Monsieur K. Nehal, pour sa patience, sa rigueur d'esprit, qui nous a suivi tout au long de cette période et nous a conseillé sur l'orientation que celui-ci devait prendre.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Sans oublier nos parents pour leurs contributions, leur soutien et leur patience.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés au cours des longues années d'études.*

***Merci à tous et à toutes.***

## *Dédicaces*

*Nous dédions ce modeste travail...*

*A nos très chers parents pour leur soutien infailible durant toutes nos années d'études.*

*A nos frères et sœurs.*

*A la famille Bouali et la famille Boukert*

*A tous nos chers amis.*

*A tous ceux qui nous a aidé de près ou de loin*

***Said et Salim***

## Résumé :

La production du froid est utilisée dans différents domaines, on peut citer par exemple les blocs opératoires, conservation des produits alimentaires, le confort domestique, etc.

Grâce aux systèmes de réfrigération et à leurs caractéristiques, nous avons pu créer des environnements adaptés dans les zones extrêmement chaudes.

Ce mémoire nous permet de comprendre les bases du fonctionnement et les types de système de la production du froid par compression de vapeur et par thermoélectricité.

La modélisation est une étape importante pour la conception, simulation d'un système. Elle a pour but de simplifier la recherche de l'évolution d'un système physique.

L'objectif de notre travail est la conception et la réalisation d'un système de réfrigération hybride opère par compression de vapeur et par effet thermoélectrique actionner par un système de refroidissement par caloduc.

Ce mémoire nous permet de plonger dans le domaine d'instrumentations et d'acquisition de données. Ce dernier sera programmé par le logiciel Arduino et transmettra les résultats de mesure à un afficheur LCD à l'aide des capteurs.

## Abstract :

The production of cold is used in various fields, we can cite for example operating theaters, preservation of food products, domestic comfort, etc.

Thanks to the refrigeration systems and their characteristics, we have been able to create suitable environments in extremely hot areas.

This thesis allows us to understand the basics of operation and the types of cold production system by vapor compression and by thermoelectricity.

Modeling is an important step for the design, simulation of a system. Its purpose is to simplify the search for the evolution of a physical system.

The objective of our work is the design and the realization of a hybrid refrigeration system operates by vapor compression and thermoelectric effect actuated by a heat pipe cooling system.

This thesis allows us to dive into the field of instrumentation and data acquisition. The latter will be programmed by the Arduino software and will transmit the measurement results to an LCD display using the sensors.

## ملخص :

يستخدم إنتاج البرد في مختلف المجالات ، ويمكننا أن نذكر على سبيل المثال غرف العمليات ، والحفاظ على المنتجات الغذائية ، والراحة المنزلية ، وما إلى ذلك بفضل أنظمة التبريد وخصائصها ، تمكنا من إنشاء بيئات مناسبة في المناطق شديدة الحرارة.

تتيح لنا هذه الأطروحة فهم أساسيات التشغيل وأنواع نظام الإنتاج البارد عن طريق ضغط البخار والكهرباء الحرارية.

النمذجة هي خطوة مهمة لتصميم ومحاكاة النظام. والغرض منه هو تبسيط البحث عن تطور نظام مادي.

الهدف من عملنا هو تصميم وتحقيق نظام تبريد هجين يعمل عن طريق ضغط البخار والتأثير الكهروحراري المشغل بواسطة نظام تبريد أنبوب الحرارة.

Arduino تتيح لنا هذه الأطروحة الغوص في مجال الأجهزة والحصول على البيانات. سيتم برمجة الأخير بواسطة برنامج باستخدام المستشعرات LCD وسيرسل نتائج القياس إلى شاشة.

## Sommaire :

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Nomenclature	
Introduction générale.....	2
<b>Chapitre 1 : Les bases théoriques sur la production du froid.</b>	
1-1-Introduction.....	4
1-2-Historique de la production du froid.....	4
1-3-définition de la réfrigération.....	4
1-4-Principe de fonctionnement.....	5
1-5-Les systèmes de production du froid.....	6
1-6-Le cycle frigorifique théorique.....	7
1-7-Les composants de production du froid.....	8
1-7-1-Le compresseur.....	9
1-7-2-Le condenseur.....	10
1-7-3-L'évaporateur.....	12
1-7-4-Le détendeur.....	13
1-8-Fluide frigorigène.....	15
1-9-Les équipements auxiliaires.....	17
1-9-1-Filtre déshydrateur.....	17
1-9-2-Inverseur de cycle.....	17
1-9-3-Pressostat.....	18
1-9-4-Thermostat.....	19
1-9-5-Voyant liquide.....	20
1-9-6-Les manomètres HP et BP.....	20
<b>Chapitre 2 : La thermoélectricité.</b>	
2-1-Introduction.....	22
2-2-Historique.....	22

2-3-Réfrigérateur thermoélectrique.....	23
2-4-Les effets thermoélectriques.....	23
2-4-1-L'effet Seebeck.....	23
2-4-2-L'effet Thomson.....	23
2-4-3-L'effet Peltier.....	24
2-5-Le module Peltier.....	25
2-5-1-Fonctionnement.....	25
2-5-2-Les domaines d'utilisations.....	26
2-5-3-Les différents modèles.....	27

**Chapitre 3 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à compression de vapeur utilisant le R22.**

3-1-Introduction.....	29
3-2- Le fluide frigorigène R22.....	29
3-3- Modélisation d'une machine frigorifique à compression de vapeur (R22).....	33
3-4- Simulation des équations du R22.....	33
3-5-Lecture des données et résultats de la simulation du R22 sur l'Excel.....	35
3-6- Etude paramétrique.....	36

**Chapitre 4 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à effet Peltier en utilisant « le modèle Thomson ».**

4-1-Introduction.....	41
4-2-L'effet Thomson.....	41
4-3-Modélisation d'une machine frigorifique par effet thermoélectrique basé sur le modèle Thomson.....	41
4-4-Simulation des équations du modèle Thomson sur EXCEL.....	43
4-5-Exemple de résolution des équations d'un effet peltier en utilisant le modèle Thomson...44	44
4-6- Lecture des données et résultats de la simulation du modèle Thomson sous l'EXCEL....46	46
4-7-Etude paramétrique.....	47

**Chapitre 5 : Réalisation d'une machine frigorifique à compression de vapeur.**

5-1-Introduction.....	50
5-2-Matériel et outillage utilisés.....	50
5-3-Les étapes de réalisation de la machine frigorifique à compression de vapeur.....	51

5-4-Mise en marche et fonctionnement de la machine frigorifique à compression de vapeur.....	58
5-4-1*Procédure de vérification avant mise en marche.....	58
5-4-2*Procédure de charge en fluide frigorigène R12.....	58
5-4-3*Procédure de mise en marche.....	59

## **Chapitre 6 : Réalisation d'un système de réfrigération thermoélectrique refroidi par caloduc.**

6-1-Introduction.....	62
6-2-Matériel et outillage utilisés.....	62
6-3-Les étapes de réalisation du module de refroidissement thermoélectrique refroidi par caloduc.....	63
6-4-Mise en marche du réfrigérateur thermoélectrique refroidi par caloduc.....	72
6-4-1*Procédure de vérification avant mise en marche.....	72
6-4-2*Procédure de mise en marche.....	72

## **Chapitre 7 : Réalisation de l'acquisition des données.**

7-1-Introduction.....	74
7-2-La carte Arduino Uno.....	74
7-2-1* Historique.....	74
7-2-2* Définition.....	74
7-2-3* Description.....	75
7-2-4* Les différentes cartes Arduino.....	76
7-3-Les capteurs utilisés.....	78
7-3-1*Capteur de courant ACS712.....	78
7-3-2*Capteur de tension.....	80
7-3-3*Module Bluetooth HC-05.....	82
7-3-4*L'afficheur LCD 20x4.....	84
7-4-Réalisation de l'alimentation en 12 volts.....	86
7-5- Mise en marche du système de réfrigération hybride.....	89
Conclusion générale.....	91
Bibliographie.....	92
Annexe	

## Liste des figures :

Figure 1-1 : Un système de réfrigération.....	5
Figure 1-2 : Schéma d'un système frigorifique.....	5
Figure 1-3 : Cycle fermé de la réfrigération.....	6
Figure 1-4 : Le cycle théorique.....	8
Figure 1-5 : Fonctionnement et cycle du compresseur.....	9
Figure 1-6 : Compresseur à piston.....	10
Figure 1-7 : Compresseur à vis.....	10
Figure 1-8 : Compresseur rotatif.....	10
Figure 1-9 : Compresseur hermétique.....	10
Figure 1-10 : Fonctionnement et cycle du condenseur.....	11
Figure 1-11 : Condenseur à air.....	11
Figure 1-12 : Condenseur à eau.....	12
Figure 1-13 : Fonctionnement et cycle d'évaporateur.....	12
Figure 1-14 : évaporateur plafonnier cubique.....	13
Figure 1-15 : évaporateur mural.....	13
Figure 1-16 : Evaporateur à convection naturelle.....	13
Figure 1-17 : Fonctionnement et cycle du détendeur.....	14
Figure 1-18 : Détendeur capillaire.....	14
Figure 1-19 : Détendeur électronique.....	14
Figure 1-20 : Détendeur thermostatique.....	15
Figure 1-21 : Quelques bouteilles de fluide frigorigène.....	16
Figure 1-22 : Filtre déshydrateur.....	17
Figure 1-23 : Vanne d'inversion de cycle.....	17
Figure 1-24 : Fonctionnement du pressostats basse pression.....	18
Figure 1-25 : Un pressostat HP.....	19
Figure 1-26 : Un thermostat.....	19
Figure 1-27 : Voyant liquide dans une installation frigorifique.....	20
Figure 1-28 : Les manomètres HP et BP.....	20
Figure 2-1 : Principe de l'effet Seebeck.....	23



Figure 2-2 : Schéma du principe de l'effet Thomson.....	24
Figure 2-3 : Schéma du principe de l'effet Peltier.....	24
Figure 2-4 : Principe du module Peltier.....	25
Figure 2-5 : Un frigo USB.....	26
Figure 2-6 : Une glacière électrique.....	26
Figure 2-7 : Module Peltier type cascade.....	27
Figure 2-8 : Module Peltier rond.....	27
Figure 3-1 : Bouteille du R22.....	29
Figure 3-2 : Schéma de machine frigorifique à compression de vapeur.....	30
Figure 3-3 : Organigramme des étapes de simulation du R22 sur l'EXCEL.....	34
Figure 3-4 : Capture d'écran des résultats sur l'EXCEL.....	35
Figure 3-5 : Variation du coefficient de performance froid en fonction du Rendement isentropique compresseur.....	36
Figure 3-6 : Variation du coefficient de performance froid en fonction de la température d'évaporation.....	37
Figure 3-7 : Variation de travail du compresseur (kJ/kg) en fonction de la température de condensation (°C).....	38
Figure 3-8 : diagramme enthalpique du R22.....	39
Figure 4-1 : Schéma de principe de fonctionnement de Peltier.....	42
Figure 4-2 : Organigramme des étapes de résolution du modèle Thomson sur Excel.....	43
Figure 4-3 : Modélisation du Peltier sur EXCEL.....	46
Figure 4-4 : Variation de la quantité du froid $Q_f$ (w) en fonction de l'intensité I(A).....	47
Figure 4-5 : Variation du coefficient de performance COP_f en fonction de l'intensité I(A).....	47
Figure 4-6 : Variation du coefficient de performance froid en fonction de la température froide.....	48
Figure 5-1 : Outillage utilisé pour la réalisation de la machine frigorifique à compression.....	50
Figure 5-2 : Les composants de base et les équipements annexes utilisés dans notre projet.....	51
Figure 5-3 : Organigramme des étapes de réalisation de la machine frigorifique à compression.....	51
Figure 5-4 : Réalisation du support en acier.....	52
Figure 5-5 : Fixation et câblage du compresseur.....	53

Figure 5-6 : Réalisation du condenseur à air.....	53
Figure 5-7 : Réalisation du Filtre et du Détendeur.....	54
Figure 5-8 : Réalisation et montage de l'évaporateur.....	55
Figure 5-9 : Câblage du système.....	56
Figure 5-10 : Entrer de l'évaporateur dans le réfrigérateur.....	57
Figure 5-11 : Assemblage de la machine frigorifique à compression de vapeur.....	57
Figure 5-12 : L'assemblage final de la machine frigorifique a compression de vapeur.....	58
Figure 5-13 : Procédure de charge du fluide R12 dans le circuit.....	59
Figure 5-14 : Mise en marche des manomètres HP et BP.....	60
Figure 6-1 : Outillage nécessaire pour la réalisation du système de refroidissement thermoélectrique.....	62
Figure 6-2 : Matériel utilisé pour la réalisation du système de refroidissement.....	63
Figure 6-3 : Réalisation des radiateurs en aluminium.....	64
Figure 6-4 : Réalisation du support en acier.....	65
Figure 6-5 : Fixation du caloduc avec le radiateur en aluminium.....	65
Figure 6-6 : Fixation du ventilateur avec le 2e radiateur.....	66
Figure 6-7 : Assemblage du module de refroidissement.....	67
Figure 6-8 : Préparation du support en bois.....	68
Figure 6-9 : Préparation du réfrigérateur.....	68
Figure 6-10 : Fixation et préparation du plexiglas.....	69
Figure 6-11 : Fixation des leds et interrupteurs.....	69
Figure 6-12 : Schéma électrique du système de refroidissement thermoélectrique.....	70
Figure 6-13 : Dénuder les câbles et soudure de la résistance.....	70
Figure 6-14 : Soudure et protection des câbles avec les leds et interrupteurs.....	71
Figure 6-15 : Assemblage final du réfrigérateur thermoélectrique.....	72
Figure 7-1 : Logo de l'Arduino.....	74
Figure 7-2 : La carte Arduino Uno.....	75
Figure 7-3 : Schéma descriptif de la carte Arduino Uno.....	76
Figure 7-4 : les Types de carte Arduino.....	77
Figure 7-5 : Architecture d'un système à base d'une carte Arduino.....	77
Figure 7-6 : Capteur de courant ACS712.....	78

Figure 7-7 : Câblage du ACS712 avec Arduino.....	79
Figure 7-8 : Programmation du ACS712 avec Arduino.....	79
Figure 7-9 : Capteur de tension <25V.....	80
Figure 7-10 : Câblage du capteur de tension avec Arduino.....	81
Figure 7-11 : Programmation du capteur de tension avec Arduino.....	81
Figure 7-12 : Module HC-05.....	82
Figure 7-13 : Câblage du module HC-05 avec Arduino.....	83
Figure 7-14 : Programmation du HC-05 avec Arduino.....	83
Figure 7-15 : Afficheur LCD 20 x 4.....	84
Figure 7-16 : Câblage de l’afficheur LCD 20x4 avec Arduino.....	85
Figure 7-17 : Programmation de l’afficheur LCD 20x4 avec Arduino.....	85
Figure 7-18 : Une alimentation ATX.....	86
Figure 7-19 : Préparation de l’alimentation 12V.....	86
Figure 7-20 : Fixation de l’interrupteur de la carte Arduino.....	87
Figure 7-21 : Réalisation de l’alimentation 12V.....	88
Figure 7-22 : Montage de l’afficheur LCD.....	88
Figure 7-23 : Assemblage final du réfrigérateur hybride.....	89

## Liste des tableaux :

Tableau 3-1 : Propriétés physiques du R22.....	29
Tableau 3-2 : Coefficient de pression et température de saturation.....	31
Tableau 3-3 : Coefficient d'enthalpie liquide.....	31
Tableau 3-4 : Coefficient d'enthalpie vapeur.....	31
Tableau 3-5 : Coefficient d'entropie liquide.....	32
Tableau 3-6 : Coefficient d'entropie vapeur.....	32
Tableau 3-7 : Coefficient de capacité thermique a pression liquide.....	32
Tableau 3-8 : Coefficient de capacité thermique a pression vapeur.....	32
Tableau 3-9 : Coefficient de volume spécifique liquide.....	33
Tableau 3-10 : Coefficient de volume spécifique vapeur.....	33
Tableau 3-11 : Variation du rendement isentropique en fonction du COP_f.....	36
Tableau 3-12 : Variation du COP_f en fonction de la température d'évaporation.....	37
Tableau 3-13 : Variation Wcomp (KJ/kg) en fonction de Température de condensation (°C).....	38
Tableau 4-1 : La variation des paramètres en fonction de I (A).....	45
Tableau 4-2 : Variation de COP_f en fonction de T_f (k).....	48
Tableau 5-1 : Les opérations et photos du montage du pressostat et les manomètres BP et HP.....	55
Tableau 7-1 : Broches définitions.....	82
Tableau 7-2 : Correspondance entre l'afficheur LCD et l'Arduino.....	84

## Nomenclature :

Symbol	Designation	Unité
T	Température	K ou °C
T <sub>f</sub>	Température froide	K ou °C
T <sub>c</sub>	Température chaude	K ou °C
T <sub>m</sub>	Température moyenne	K ou °C
ΔT	Écart de température	K ou °C
α	Coefficient de Seebeck	V / k
τ	Coefficient Thomson	V / k
I	Intensité	A
Q	Flux de chaleur	W
p	Jonction positive	
N	Jonction négative	
P	Puissance électrique	w
R	Résistance électrique	Ω
U	Tension	V
COP	Coefficient de performance	
LCD	Liquid Crystal Display	
W <sub>comp</sub>	Travail du compresseur	KJ /kg
BP	Basse pression	Bar
HP	Haute pression	Bar
BHP	Basse & haute pression	Bar
R22	Fluide frigorigène R22	
H	L'enthalpie du fluide	KJ /kg
P <sub>sat</sub>	Pression de saturation	Bar
P <sub>cond</sub>	Pression de condensation	Bar
η <sub>is</sub>	Rendement isentropique	
a	Coefficient	
S	Entropie	KJ /kg. k
Cp	Capacité thermique	KJ /kg. °c
V	Volume spécifique	m <sup>3</sup> /kg
m <sub>fluide</sub>	Débit du fluide	Kg /s

## **Introduction générale**

## *Introduction générale :*

En 1902, un ingénieur américain a mis au point un système pour refroidir un local fermé. Son invention permettra quelques années plus tard en France à l'apparition des premières chambres froides.

La découverte du système frigorifique nous a facilité des nombreuses tâches dans des domaines variés, c'est dans le domaine alimentaire et médical que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages et de prolonger la durée de conservation des produits. Les systèmes frigorifiques à compression nécessitent en effet pour leur fonctionnement l'utilisation des fluides frigorigènes et pour les systèmes à effet thermoélectrique l'utilisation des modules peltier.

Ce mémoire se divise en sept chapitres. Voici une brève présentation de chaque chapitre :

- Nous avons consacré le premier chapitre pour faire une étude sur les bases théoriques de la production du froid par compression de vapeur.
- Nous avons dédié le deuxième chapitre à quelques rappels concernant les notions générales de production du froid par effet thermoélectrique.
- Le troisième et quatrième chapitre vont présenter les formules mathématiques utilisées pour modéliser et simuler le fluide frigorigène R22 et l'effet thermoélectrique basé sur l'effet Thomson.
- La réalisation et conception ainsi que les différentes étapes de montage du système de réfrigération hybride sont présentées dans les chapitres cinq et six.
- Le dernier chapitre concerne l'alimentation et l'acquisition des données du système.

Enfin, une conclusion générale s'impose. Pour ce là, nous nous sommes intéressés à l'étude et à la réalisation d'un système de réfrigération hybride.

# **Chapitre 1**

**Les bases théoriques sur la production du froid.**



### **1-1-Introduction :**

La production du froid provient de l'extraction de la chaleur ce qui se traduit par un abaissement de sa température et aussi bien souvent par des changements d'états.

Ceux sont ces effets du froid qui sont dans leur grande diversité au service de l'homme.

Ce chapitre présente les concepts dans la connaissance est nécessaire à la compréhension du fonctionnement des systèmes produisant du froid.

### **1-2-Historique de la production du froid :**

Au XVI<sup>e</sup> siècle, les autochtones du Pérou creusaient des glacières dans le sol, avant l'arrivée des Européens. Ce système de fosses a été utilisé dans toute l'Europe à partir du XVII<sup>e</sup> siècle. Des commerçants vendaient de la glace venant des montagnes.

À la cour du Roi Soleil, l'évaporation de l'éther était utilisée pour refroidir des crèmes de fruits.

En 1755, l'écossais William Cullen obtient un peu de glace par vapeur d'eau sous cloche à vide.

Au XIX<sup>e</sup> siècle, des glacières, meubles isothermes contenant des blocs de glace périodiquement renouvelés, étaient utilisées.

1805 : machine frigorifique à compression d'éther.

1844 : machine frigorifique à air.

1854 : utilisant le principe de la compression de vapeur, l'inventeur australien James Harrison a produit en Australie le premier réfrigérateur pratique au monde.

1858 : Charles Tellier fabrique une machine frigorifique à circulation de gaz ammoniac liquéfié.

1859 : machine frigorifique à absorption. C'est la première machine frigorifique à absorption [1].

### **1-3-Définition de la réfrigération :**

La réfrigération ou processus de refroidissement est l'élimination de la chaleur indésirable d'un objet, d'une substance ou d'un espace sélectionné. L'élimination de la chaleur abaisse la température et elle peut être réalisée en utilisant de la glace, de la neige, de l'eau glacée ou une réfrigération mécanique.

La réfrigération ou la climatisation, c'est la capacité de maintenir une substance, un corps à une température plus faible en lui enlevant de la chaleur.

Pour alimenter le système thermodynamique, on utilise :

– Soit une énergie mécanique ou équivalente ; le système comporte alors au minimum une source froide et un puit chaud ; il est dit au moins ditherme.

– Soit une énergie thermique, le système comporte alors au moins une source thermique supplémentaire. Le système en question est alors au moins tritherme.



Figure 1-1 : Un système de réfrigération.

#### 1-4-Principe de fonctionnement :

Les éléments essentiels du cycle de réfrigération sont le compresseur, le condenseur, le détendeur, l'évaporateur et le thermostat qui contrôle le cycle. La réfrigération repose sur la présence d'un gaz frigorigène, lequel se trouve d'abord à l'état gazeux, puis passe par un certain nombre de modifications avant de revenir à l'état gazeux. Cette série de changements est appelée « cycle de réfrigération » et c'est ce qui permet le refroidissement de l'enceinte et le maintien de la température désirée, voir figure (1-2).

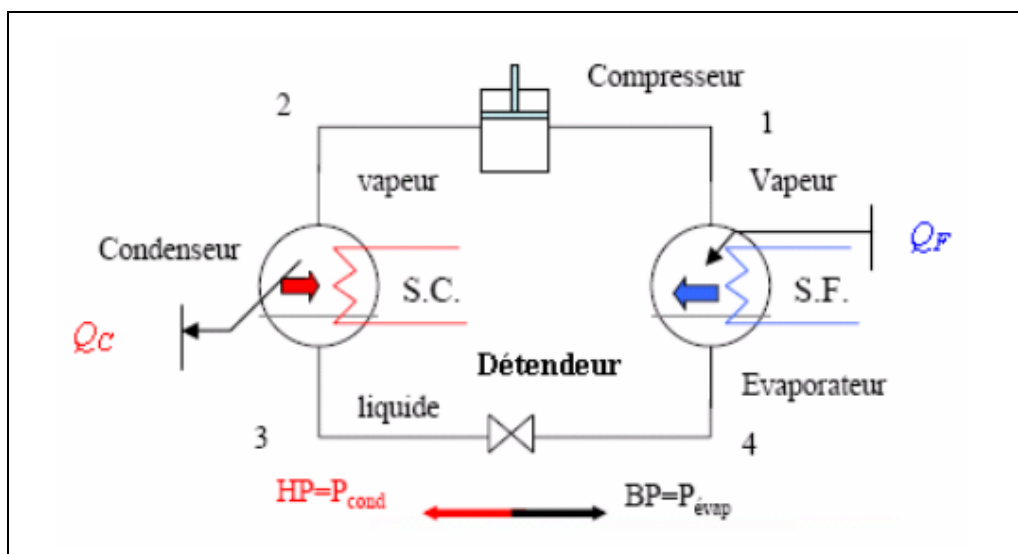


Figure 1-2 : Schéma d'un système frigorifique.

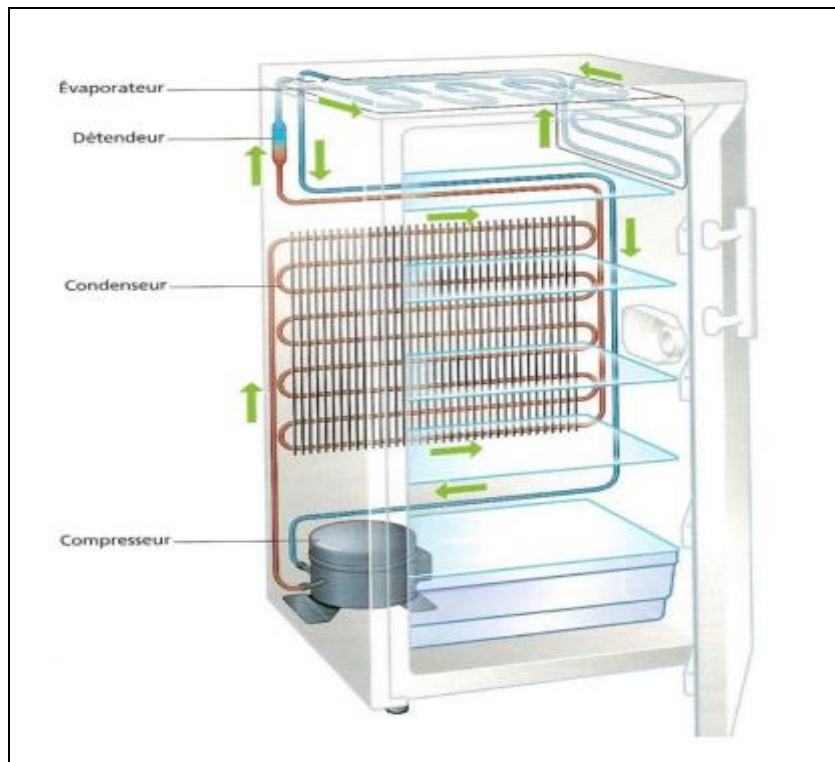
On peut le mettre en œuvre dans des systèmes soit ouverts, soit fermés, voir figure (1-3).

**1→2** : Le compresseur comprime le gaz frigorigène et élève donc sa pression et sa température.

**2→3** : En passant dans le condenseur, le gaz frigorigène réchauffé, cède une partie de ses calories au milieu chaud et se transforme au fur et à mesure en liquide.

**3→4** : Le détendeur fait baisser la pression et donc la température du fluide.

**4→1** : En passant dans l'évaporateur, sa température étant plus basse que celle du milieu froid, le fluide en capte les calories, se transforme progressivement en vapeur et le cycle recommence.



**Figure 1-3** : Cycle fermé de la réfrigération.

### 1-5-Les systèmes de production du froid :

Pour transférer de la chaleur d'un milieu à basse température vers un autre à température plus élevée, il faut mettre en œuvre :

- Un phénomène endothermique, s'effectuant à la température  $T_F$  de la source froide pour extraire de la chaleur au milieu extérieur froid.
- Un processus thermodynamique, pour élever le niveau thermique de cette chaleur de  $T_F$  à  $T_C$ .
- Un phénomène exothermique, s'effectuant à la température  $T_C$  du puits chaud pour rejeter la chaleur vers le milieu extérieur chaud.

Ces phénomènes peuvent s'effectuer simultanément dans les diverses parties du système produisant du froid ou plus généralement, déplaçant de la chaleur en continu. S'ils s'effectuent

séquentiellement, les divers phénomènes évoqués ci-dessus se produisent successivement. La production du froid ou plus généralement le déplacement de chaleur s'effectue alors de manière discontinue ou intermittente.

Il y a plusieurs moyens de production du froid. Mais la technique de la production évolue selon le temps et la technologie.

Les différents moyens de production du froid sont :

- Fusion d'un solide.
- Vaporisation d'un liquide.
- Sublimation d'un solide.
- Phénomènes de sorption.
- Détente d'un gaz comprimé.
- Effet Peltier.

### **1-6-Le cycle frigorifique théorique :**

Le calcul d'une machine frigorifique s'effectue sur la base du tracé du cycle frigorifique de ladite machine.

Les principaux paramètres permettant d'effectuer le tracé de ce cycle frigorifique sont les suivants :

- La température de condensation (pression de condensation).
- La température d'évaporation (pression d'évaporation).
- La surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène à la sortie de l'évaporateur.
- Le sous-refroidissement du fluide frigorigène liquide à la sortie du condenseur.

Le régime de fonctionnement d'une machine frigorifique est défini par :

- La température de condensation.
- La température d'évaporation

Ces températures sont déterminées à partir des températures des médiums à savoir :

- La température de l'air extérieur pour les condenseurs à air.
- La température de l'eau disponible pour les condenseurs à eau.
- La température à obtenir dans l'enceinte à refroidir pour les évaporateurs à air.
- La température de refroidissement du fluide pour les évaporateurs à eau.

Le régime de fonctionnement d'une machine frigorifique est une donnée fondamentale.

La production frigorifique (la puissance frigorifique) d'une machine est intimement liée à son régime fonctionnement et sur la consommation électrique du compresseur de la machine considérée.

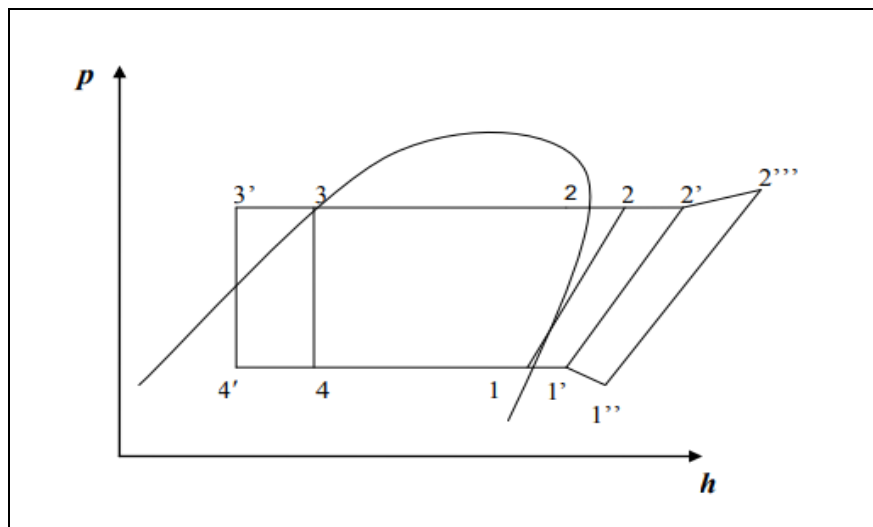
La puissance frigorifique est donnée pour un régime de fonctionnement bien précis. Les puissances frigorifiques d'une machine frigorifique donnée sont généralement consignées dans un tableau suivant les différents régimes de fonctionnement.

Ce cycle qui est représenté par les points 1-2-3-4, voir figure (1-4), il est établi sur la base suivante :

- Pas de perte de charge dans les tubulures.
- Pas de SC au niveau de l'évaporateur.
- Pas de SR au niveau du condenseur.

Les transformations thermodynamiques subies par le FF à l'intérieur de la machine sont les suivantes :

- Compression isentropique du FF vapeur entre les points 1 et 2.
- Condensation isothermique entre les points 2 et 3.
- Détente isenthalpique entre les points 3 et 4.
- Evaporation isothermique entre les points 4 et 1.



**Figure 1-4 :** Le cycle théorique.

### 1-7-Les composants de production du froid :

Le système de réfrigération est composé de 4 organes principaux sont :

- \*Le compresseur.
- \*Le condenseur.

\*L'évaporateur.

\*Le détendeur.

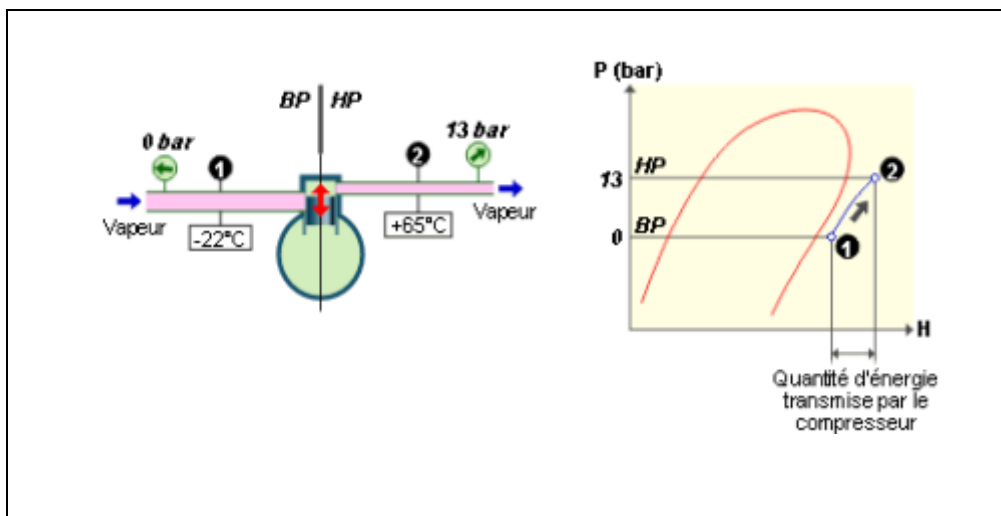
### 1-7-1- Le compresseur :

Le compresseur est le cœur du système de réfrigération. Le compresseur a pour rôle de créer une Haute Pression d'un côté et une Basse Pression de l'autre et par conséquent, d'assurer la circulation du fluide dans le circuit frigorifique, voir figure (1-5). Il comprime le gaz frigorigène et aspire ce dernier chargé de chaleur pour l'envoyer vers le condenseur.

Les types des compresseurs utilisés dans les machines frigorifiques domestiques sont habituellement les compresseurs à piston, les compresseurs hermétiques et les compresseurs à vis.

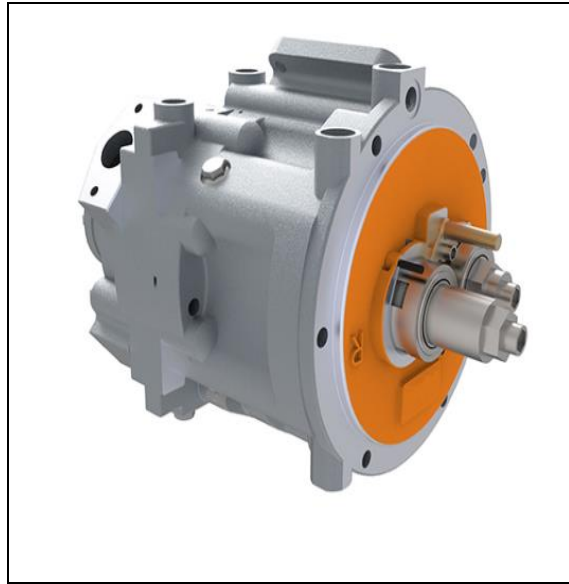
Il existe 3 grandes familles de compresseurs frigorifiques :

- Hermétiques
- Semi hermétiques
- Ouverts



**Figure 1-5** : Fonctionnement et cycle du compresseur [2].

Il y a plusieurs types et technologies des compresseurs frigorifique comme les compresseurs rotatifs, à piston, à spiral...etc.

**\*Compresseur à piston :****Figure 1-6 :** Compresseur à piston.**\*Compresseur à vis :****Figure 1-7 :** Compresseur à vis.**\*Compresseur rotatif :****Figure 1-8 :** Compresseur rotatif.**\*Compresseur hermétique :****Figure 1-9 :** Compresseur hermétique.**1-7-2- Le condenseur :**

Un condenseur est un appareil dont la fonction principale est de liquéfier de la vapeur sur une surface froide ou via un échangeur thermique maintenu froid par la circulation d'un fluide réfrigérant.

La chaleur latente du corps est transférée dans le fluide réfrigérant, ce qui consiste en un changement de phase à température constante. Lorsque le réfrigérant quitte le condenseur, il est en phase liquide, voir figure (1-10).

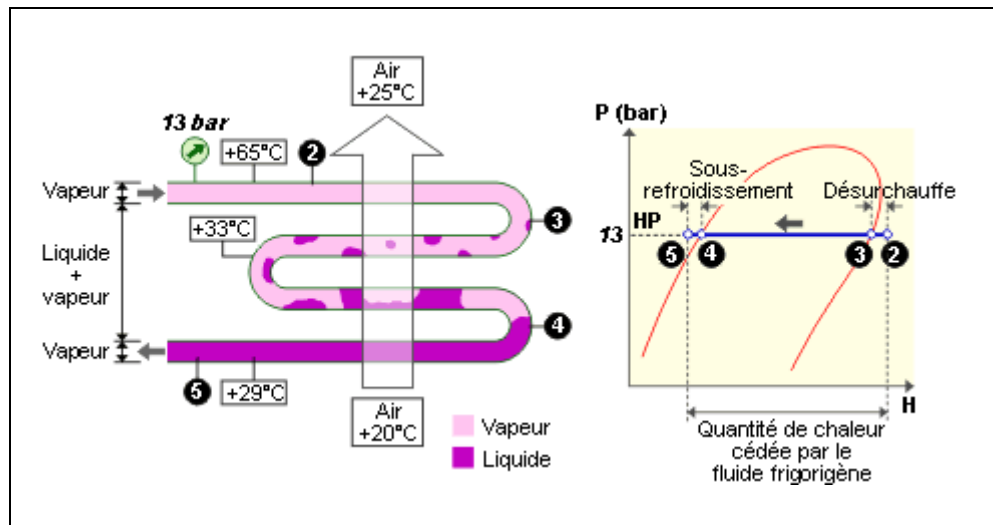


Figure 1-10 : Fonctionnement et cycle du condenseur [2].

On distingue deux familles de condenseurs suivant le fluide de refroidissement :

\* Condenseurs à air :

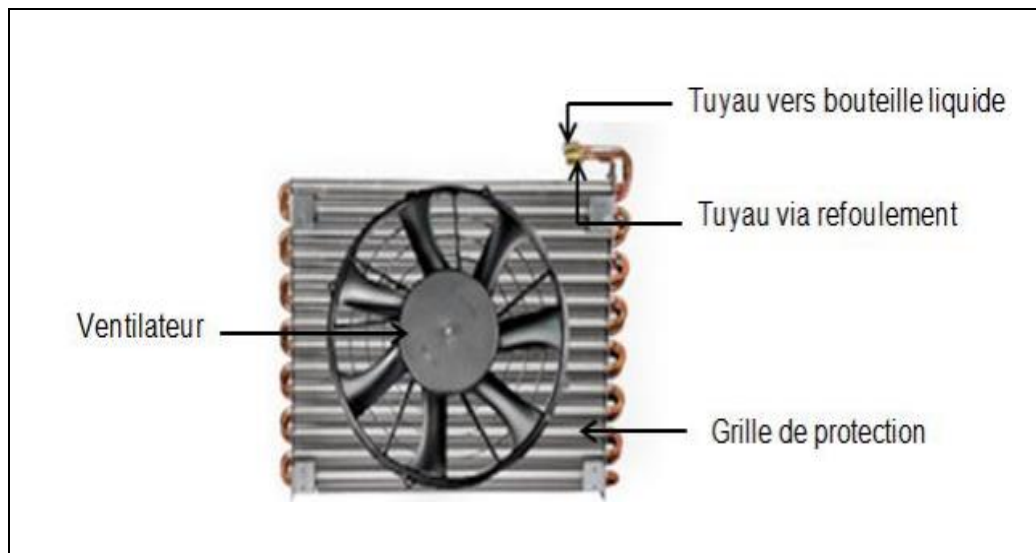


Figure 1-11 : Condenseur à air.



## \* Condenseurs à eau :

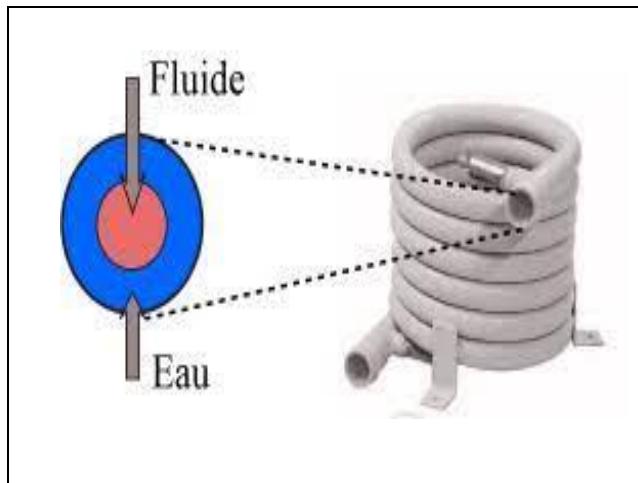


Figure 1-12 : Condenseur à eau.

## 1-7-3- L'évaporateur :

L'élément de l'installation frigorifique qui permet de refroidir l'air de la chambre froide est l'évaporateur, voir figure (1-13).

Il s'agit d'un échangeur thermique formé par des tubes et des ailettes. Le fluide réfrigérant passe à l'intérieur des tubes alors que l'air à refroidir passe entre les ailettes.

Des ventilateurs accélèrent la circulation de l'air à travers l'évaporateur ainsi que dans la chambre froide.

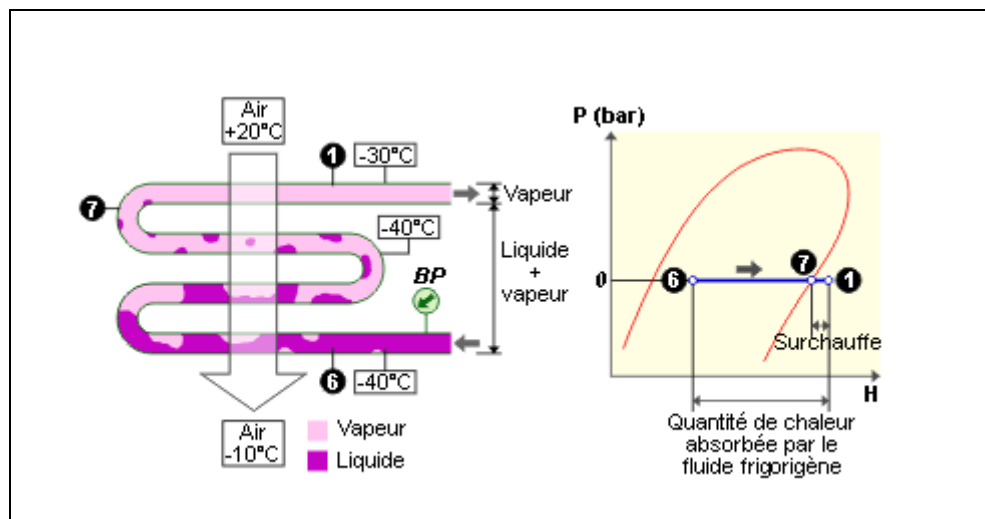


Figure 1-13 : Fonctionnement et cycle d'évaporateur [2].

Il existe toute une gamme d'évaporateurs pour répondre aux besoins spécifiques de chaque type d'installation.

On distingue les évaporateurs :

**\*Plafonniers cubique :**

Equipement des petites et grosses chambres froides.



**Figure 1-14 :** évaporateur plafonnier cubique.

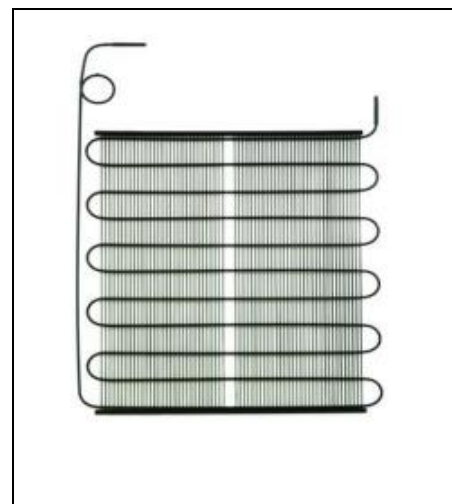
**\*Muraux :**

Pour les chambres à faible hauteur de plafond.



**Figure 1-15 :** évaporateur mural.

**\*Evaporateur naturelle :**



**Figure 1-16 :** Evaporateur à convection naturelle.

**1-7-4- Le détendeur :**

Les systèmes de détentes ont pour rôle d'injecter à l'évaporateur la quantité de fluide frigorigène nécessaire pour absorber l'apport calorifique en provenance du milieu à refroidir.

Le rôle du détendeur est :

- Abaisser la pression du liquide haute pression.
- Régler le débit de ce liquide pour permettre un bon équilibre entre l'alimentation de l'évaporateur et l'aspiration du compresseur.
- Contrôler l'évaporation complète du fluide dans l'évaporateur en contrôlant une surchauffe.

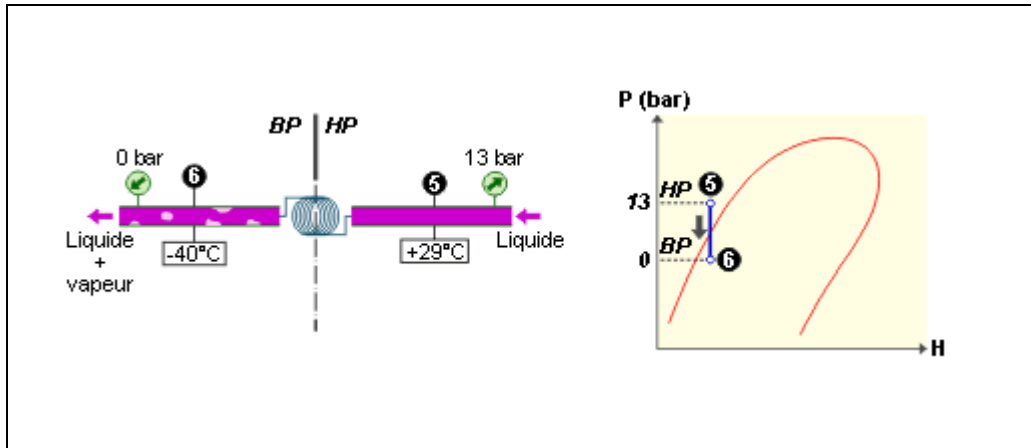


Figure 1-17 : Fonctionnement et cycle du détendeur [2].

Il y a plusieurs types de détendeur, par exemples :

**\*Le capillaire :**



Figure 1-18 : Détendeur capillaire.

**\*Détendeur électronique :**



Figure 1-19 : Détendeur électronique.

**\*Détendeur thermostatique :**

**Figure 1-20 :** Détendeur thermostatique.

**1-8-Fluide frigorigène :****a\*Définition :**

La production du froid par compression mécanique passe obligatoirement par des changements d'états (condensation et évaporation) d'un fluide appelé « fluide frigorigène ».

Ces fluides frigorigènes qui sont des substances ou des mélanges de substances, sont utilisés dans les circuits frigorifiques tel que : les chambres froides, les réfrigérateurs...etc.

Les fluides frigorigènes ont la particularité d'avoir sous la pression atmosphérique une température d'évaporation très faible. Cette propriété thermodynamique permet de produire du froid et du chaud (cas des pompes à chaleur).

**b\*Codification :**

Pour faciliter les noms chimiques on utilise la codification qui liée à la composition chimique :

Par exemple : Le fluide frigorigène R22 (chlorodifluorométhane- $\text{CHClF}_2$ ) : R022.

**0** : Nombre d'atomes de carbone -1 (ce chiffre est nul, il ne doit pas apparaître).

**2** : Nombre d'atomes d'hydrogène +1.

**2** : Nombre d'atomes de fluor.

Nombre d'atomes de chlore :1

(Soit 4 moins 1 atome d'hydrogène et moins 2 atomes de fluor).

Dans le cas des isomères de la série éthane, chacun possède le même numéro. Le plus symétrique entre eux est indiqué par le numéro seul. La symétrie des isomères est repérée suivant son importance par l'adjonction de lettres minuscules (a, b, c).

**Exemple :** le R134, le R134a...etc.

### c\*Classification :

Les fluides peuvent être classés en quatre familles :

- Les substances inorganiques pures.
- Les hydrocarbures.
- Les hydrocarbures halogénés.
- Les autres produits.

### d\*Critère de choix d'un fluide frigorigène :

Il existe différents types de fluide frigorigène sur le marché. En voici les critères de choix :

- L'impact environnementale.
- L'impact énergétique (ou qualité thermodynamique).
- La sécurité d'usage.
- Les contraintes techniques.
- Le coût.



**Figure 1-21 :** Quelques bouteilles de fluide frigorigène.

## 1-9-Les équipements auxiliaires :

### 1-9-1- Filtre déshydrateur :

Le déshydrateur est un organe important du circuit frigorifique qui a trois principales fonctions :

\*Déshydrater le circuit (supprimer l'humidité).

\*Neutraliser les acides.

\*Filtrer les fines particules.



Figure 1-22 : Filtre déshydrateur.

### 1-9-2- Inverseur de cycle :

Une vanne d'inversion de cycle (appelée aussi vanne 4 voies ou vanne à tiroir) permet de changer le sens de fonctionnement de la machine ou plus exactement d'inverser l'écoulement du fluide afin d'obtenir le passage du mode froid (été) au mode chaud (hiver).



Figure 1-23 : Vanne d'inversion de cycle.

### 1-9-3- Pressostat :

Les pressostats sont des appareils utilisés pour assurer une protection contre une pression d'aspiration trop faible ou une pression de refoulement trop élevée. Ils peuvent également être utilisés comme appareils de régulation de pression et de température de condensation des machines frigorifiques, voir figure (1-24).

Il y a 3 types de pressostats :

- Pressostat à basse pression (BP).
- Pressostat à haute pression (HP).
- Pressostat combiné basse haute pression (BHP).

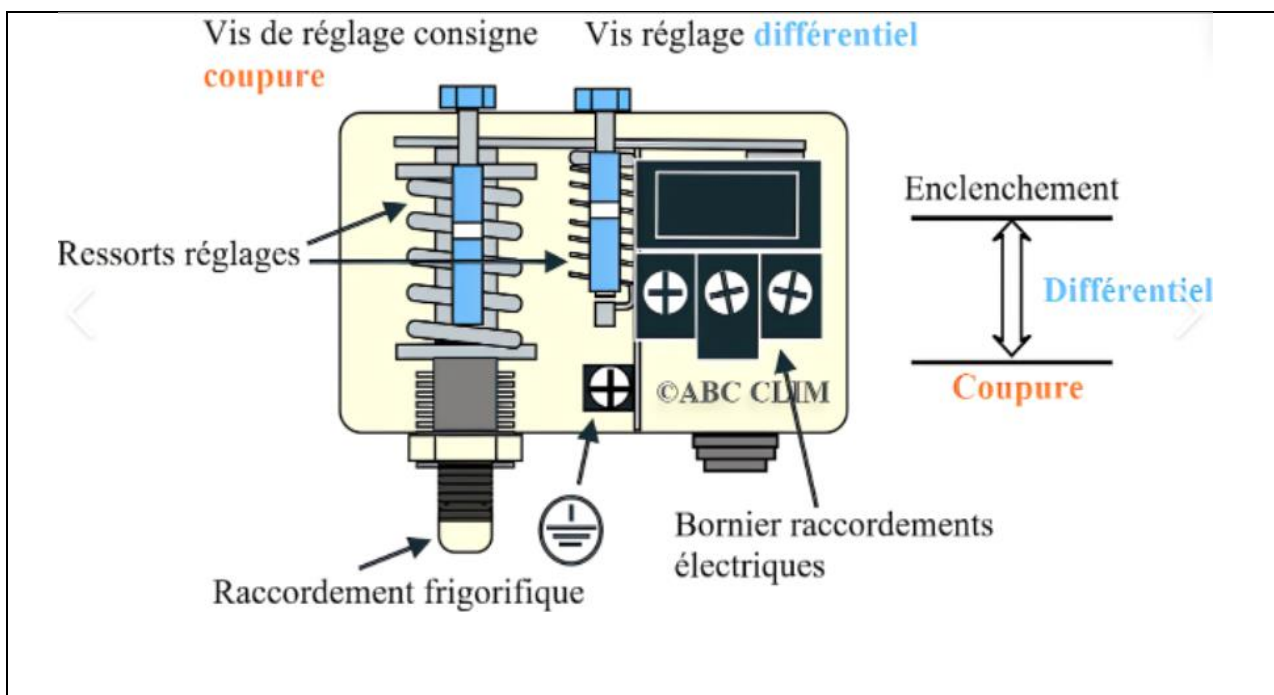


Figure 1-24 : Fonctionnement du pressostats basse pression.



**Figure 1-25 :** Un pressostat HP.

#### **1-9-4- Thermostat :**

Les thermostats permettent de maintenir une température ambiante (air) ou la température d'un liquide (eau) à un réglage défini par la consigne ( $t^{\circ}$  désirée).

Ils sont utilisés soit en régulation pour la climatisation, soit en sécurité pour protéger les personnes ou les installations.

Il existe un grand nombre d'utilisations et de modèles, citons les thermostats :

- à plusieurs étages ou contact.
- de liquide (saumure).
- incendie (sécurité CTA).
- antigel (sécurité sur l'air ou sur l'eau).



**Figure 1-26 :** Un thermostat.



### 1-9-5- Voyant liquide :

Le voyant liquide de refroidissement est un indicateur de température anormale ou d'un faible niveau de liquide, relié à un capteur de température, il s'allume en cas de surchauffe. Également relié à une sonde de niveau, le voyant lumineux apparaîtra en cas de liquide insuffisant.



Figure 1-27 : Voyant liquide dans une installation frigorifique.

### 1-9-6- Les manomètres HP et BP :

Il est indispensable pour toute intervention sur un circuit frigorifique, voici les principales utilisations de cet instrument :

- Lecture des hautes et basses pressions en fonctionnement.
- Charges et complément de charge en fluide frigorigène.
- Mise vide des installations (tirage au vide).
- Mise en pression sous azote (contrôle d'étanchéité).
- Contrôle sous refroidissement condenseur et surchauffe évaporateur.

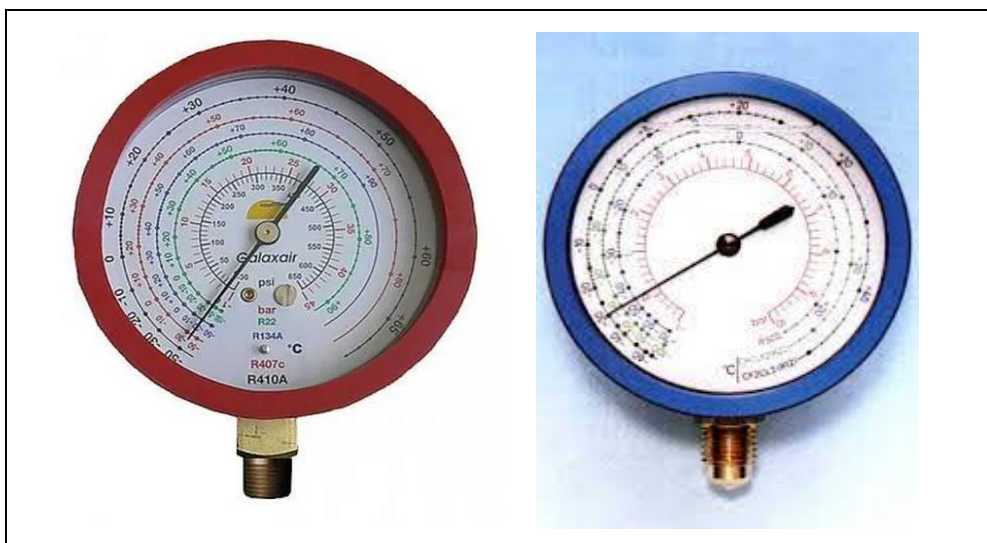


Figure 1-28 : Les manomètres HP et BP.

## **Chapitre 2**

### **La thermoélectricité**

## 2-1-Introduction :

La thermoélectricité est l'électricité générée par l'effet thermoélectrique, un phénomène physique présent dans certains matériaux, qui lie les flux de chaleur qui les traverse aux courants électriques qui les parcourt.

Dans ce chapitre, nous allons parler en générale des phénomènes thermoélectriques. Ensuite, nous allons définir et parler de principe de fonctionnement de ces effets thermoélectriques et leurs applications.

## 2-2-Historique :

En 1821, le physicien allemand Thomas Johann Seebeck découvre un effet thermoélectrique. Il remarqua qu'une aiguille métallique est déviée lorsqu'elle est placée entre deux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions à leurs extrémités et soumis à un gradient thermique. Il interprète ses observations en postulant un lien entre champ magnétique et différence de température entre les deux jonctions et établit le sens de déviation de l'aiguille pour un grand nombre de couples. Il pense ainsi avoir trouvé une explication à l'origine du champ magnétique terrestre [3]. En réalité, l'effet observé est d'origine électrique : une différence de potentiel apparaît à la jonction de deux matériaux soumis à une différence de température. L'utilisation la plus connue de l'effet Seebeck est la mesure de température à l'aide de thermocouples.

En 1834, un horloger et inventeur français installé à Genève, Jean-Charles Peltier, découvre le second effet thermoélectrique [4], une différence de température apparaît aux jonctions de deux matériaux de natures différentes soumis à un courant électrique.

En 1838, un physicien germano-balte, Heinrich Lenz, montre que de la chaleur est absorbée ou libérée à une jonction thermoélectrique suivant le sens du courant [5].

En 1851, le physicien anglais Lord Kelvin montre que les effets Seebeck et Peltier sont liés à un matériau soumis à un gradient thermique et parcouru par un courant électrique échange de la chaleur avec le milieu extérieur [6]. Réciproquement, un courant électrique est généré par un matériau parcouru par un flux de chaleur. La différence fondamentale entre les effets Seebeck et Peltier considérés séparément et l'effet Thomson est l'existence de ce dernier pour un seul matériau et l'inutilité d'une jonction.

En 1909, un thermodynamicien allemand, Edmund Altenkirch, calcule pour la première fois correctement l'efficacité énergétique d'un générateur thermoélectrique exploitant l'effet Seebeck [7].

En 1950, le chercheur russe Abram Ioffé découvre les propriétés thermoélectriques des semi-conducteurs, ce qui ouvre de nouvelles perspectives pour la thermoélectricité sur l'effet Seebeck [8].

### 2-3-Réfrigérateur thermoélectrique :

Réfrigérateur thermoélectrique parfois appelé un module de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier ou de refroidissement est un élément semi-conducteur à base électrique qui fonction comme un petit réfrigérateur. En appliquant une source de courant continue à basse tension d'alimentation à un module de refroidissement thermoélectrique, la chaleur sera déplacée à travers le module d'un côté à l'autre.

Une face du module, par conséquent, sera refroidi tandis que la face opposée simultanément est chauffé. Les deux réfrigérateurs thermoélectriques et les réfrigérateurs mécaniques sont régis par les mêmes lois fondamentales de la thermodynamique et les deux systèmes de réfrigération bien que très différents dans la forme, fonctionner selon les mêmes principes.

### 2-4-Les effets thermoélectriques :

L'effet thermoélectrique est un phénomène physique caractéristique de certains matériaux contribuant à la conversion d'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 (réfrigération).

#### 2-4-1-L'effet Seebeck :

L'effet Seebeck, qui fut découvert le premier est le plus simple à représenter. Considérons un circuit composé de deux semi-conducteurs présentant des valeurs de pouvoir thermoélectrique différentes, soudés en deux points A et B, voir figure (2-1). Les deux jonctions sont portées à des températures différentes  $T_a > T_b$ , on constate alors une différence de potentiel  $\Delta V_{ab} > 0$ . Celle-ci fonction de la différence de température  $\Delta T_{ab} = T_a - T_b$ .

L'utilisation la plus connue de cet effet est la mesure de la température à l'aide d'un thermocouple.

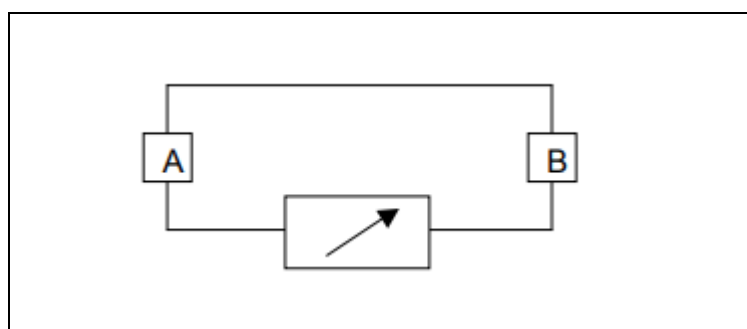


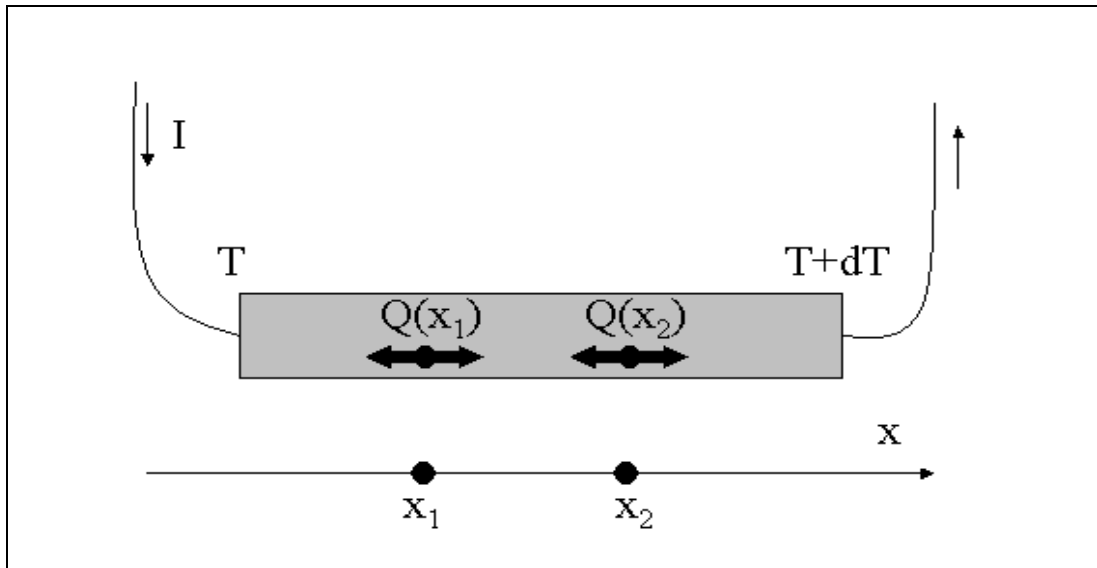
Figure 2-1 : Principe de l'effet Seebeck.

#### 2-4-2-L'effet Thomson :

Thomson montra en 1851 que les effets Seebeck et Peltier sont liés à un matériau soumis à une tension électrique et parcouru par un courant électrique échange de la chaleur avec le milieu extérieur. Réciproquement, un courant électrique est engendré par un matériau soumis à un gradient thermique et parcouru par un flux de chaleur. La différence fondamentale entre les

effets Seebeck et Peltier et l'effet Thomson est que ce dernier existe pour un seul matériau et ne nécessite pas la présence d'une jonction.

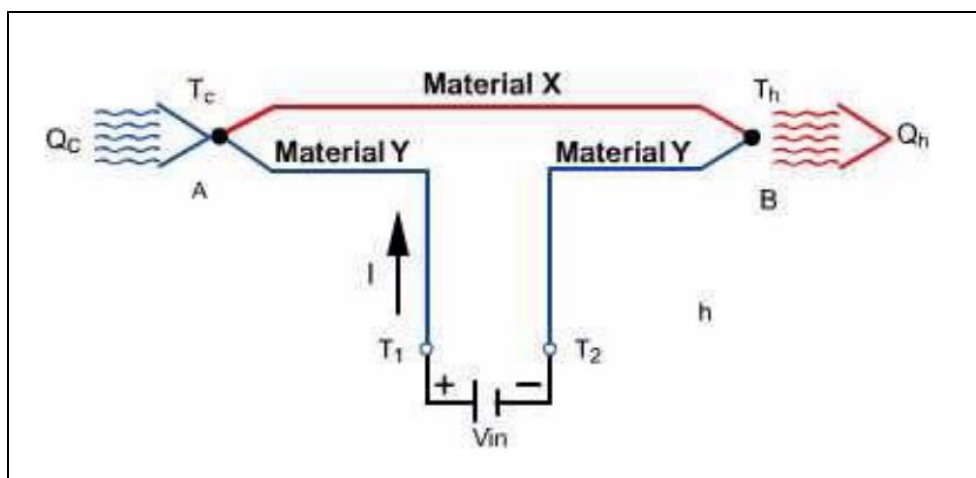
L'effet Thomson est mis en évidence lorsque sont présents simultanément un gradient de température  $T$  et un courant électrique  $I$ . Il y a alors génération (émission) ou absorption de chaleur  $Q$  dans chaque segment de matériau pris individuellement



**Figure 2-2 :** Schéma du principe de l'effet Thomson.

#### 2-4-3-L'effet Peltier :

L'effet Peltier est un effet thermoélectrique consistant en un phénomène physique de déplacement de chaleur en présence d'un courant électrique. L'effet se produit dans des matériaux conducteurs de natures différentes liés par des jonctions (contacts). L'une des jonctions se refroidit alors légèrement, pendant que l'autre se réchauffe. Cet effet a été découvert en 1834 par le physicien Jean-Charles Peltier.



**Figure 2-3 :** Schéma du principe de l'effet Peltier.

## 2-5-Le module Peltier :

Le module Peltier est un effet thermoélectrique consistant en un phénomène physique de déplacement de chaleur en présence d'un courant électrique.

### 2-5-1-Fonctionnement :

Un module Peltier est un assemblage de plein de morceaux de semi-conducteur P et N. Électriquement, ces éléments de semi-conducteurs sont placés en série. Thermiquement, ils sont mis en parallèle. L'arrangement géométrique fait que toutes les jonctions PN sont d'un côté et toutes les jonctions NP sont de l'autre.

Par conséquent, lorsqu'on fait circuler le courant dans le module, les trous du P sont tirés vers la borne négative (-) et les électrons du N sont poussés vers la borne positive (+). Ainsi, ils quittent donc tous les deux une jonction et se dirigent vers l'autre côté du module.

Une fois de l'autre côté, le trou se recombine avec un électron et l'électron avec un autre trou. Ces recombinaisons sont exothermiques, elles libèrent de la chaleur. Sur l'autre côté (le froid), la tension appliquée va forcer certains électrons à sortir de leur trou, on obtient alors un électron libre et un trou (qui vont alors migrer, etc.).

Cette création de paires électrons-trous est endothermique, elle requiert de la chaleur, qu'elle va puiser dans le module et va donc le refroidir.

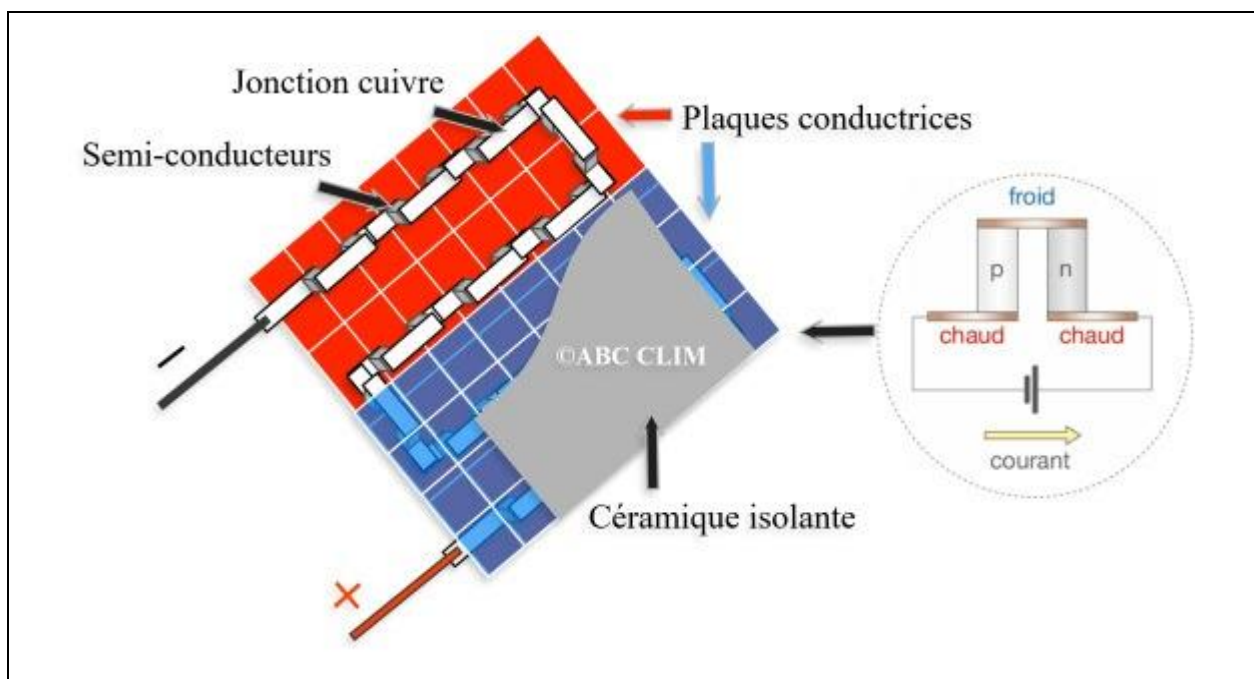


Figure 2-4 : Principe du module Peltier.

### 2-5-2-Les domaines d'utilisations :

Le module Peltier, surtout utilisé pour produire du froid, a beaucoup d'avantages par rapport à un système que l'on trouve dans un réfrigérateur, aucune partie mobile, pas de bruit, grande précision, faible consommation électrique... Ils sont par contre moins puissants.

Dans la vie courante, leur application se limite donc à de petites productions de froid, frigo USB, ou réfrigérateur de voyage, par exemple. Dans l'espace, on utilise les modules Peltier dans l'autre sens, comme producteur de courant à partir d'une source de chaleur.

Dans le froid sidéral, il suffit d'une petite source de chaleur et d'un module Peltier pour obtenir des courants exploitables. Par ailleurs, ce système est aussi utilisé quand les sondes sont amenées à voyager trop loin du Soleil pour permettre l'usage de panneaux solaires.



Figure 2-5 : Un frigo USB.



Figure 2-6 : Une glacière électrique.

### 2-5-3-Les différents modèles :

Il existe différents modèles des modules Peltier, En effet, en fonction de l'application, différentes formes et tailles sont disponibles afin de répondre à tous les besoins.

- **Module de type cascade :**



**Figure 2-7 :** Module Peltier type cascade.

- **Modèle Peltier rond :**



**Figure 2-8 :** Module Peltier rond.



## **Chapitre 3**

### **Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à Compression de vapeur en utilisant R22**

### 3-1-Introduction :

La production du froid d'une machine frigorifique à compression de vapeur passe obligatoirement par des changements d'états (condensation et évaporation) d'un fluide appelé fluide frigorigène.

Dans ce chapitre, nous allons parler en générale du fluide frigorigène R22. Après cela, nous le modéliserons et le simulerons en utilisant l'Excel et finalement, nous ferons une étude paramétrique et commenter chaque graphe.

### 3-2- Le fluide frigorigène R22 :

Dans cette étude on a utilisé le R22 comme fluide frigorigène. Le Chlorodifluorométhane,  $\text{CHClF}_2$  ou R22 selon la liste de réfrigérants, est un hydro chlorofluorocarbure. Il est connu sous les appellations HCFC-22, R22 ou Fréon22.

Il est généralement utilisé dans des applications de climatisation.



**Figure 3-1 :** Bouteille du R22.

Propriété	Valeur
T d'ébullition	-41 °C
T fusion	-146 °C
Solubilité	Dans l'eau à 25 °C : 3 g.l <sup>-1</sup>
Masse volumique	1,21 g.cm <sup>-3</sup>
T d'auto inflammation	632 °C
Pression de vapeur saturante	A 20 °C : 908 KPa

**Tableau 3-1 :** Propriétés physiques du R22.

Chapitre 3 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à compression de vapeur en utilisant R22

La modélisation des propriétés thermodynamiques à l'état de saturation a été réalisée suivant l'équation polynomiale de degré 3 de la forme :

$$Y = a_1 T^3 + a_2 T^2 + a_3 T + a_4 \dots\dots\dots(3_1)$$

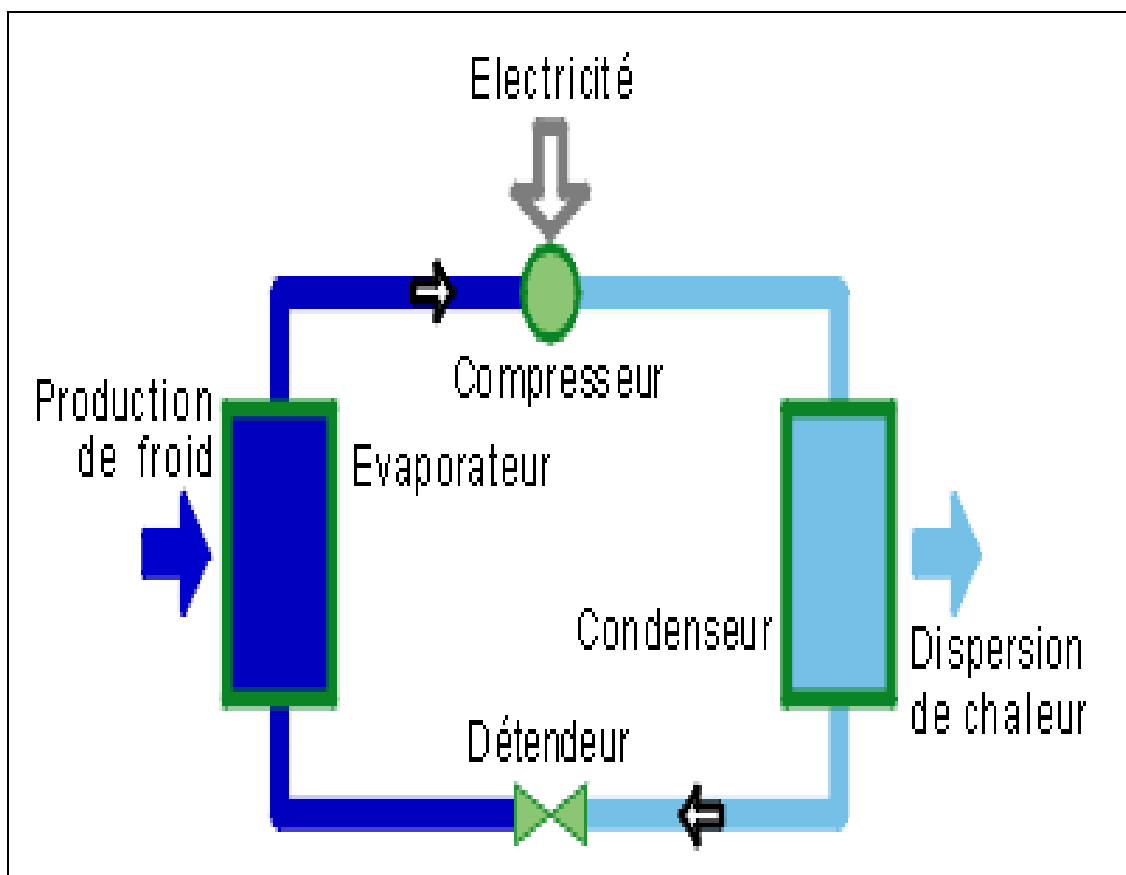
Ces équations sont valables pour l'intervalle de température T [-20 ,80°C]. La modélisation a été réalisée avec le logiciel **Excel** et les coefficients **a<sub>i</sub>** ont été déterminés par la méthode des moindres carrés.

L'enthalpie du fluide frigorigène sous-refroidi liquide peut-être calculée par :

$$H_{\text{sous-refroidi}} = H_{\text{saturé}} - C_p \text{ liq} (T_{\text{saturé}} - T_{\text{sous-refroidi}}) \dots\dots\dots(3_2)$$

L'enthalpie du fluide frigorigène surchauffée liquide peut être calculée par :

$$H_{\text{surchauffe}} = H_{\text{saturé}} + C_p \text{ vap} (T_{\text{saturé}} - T_{\text{surchauffe}}) \dots\dots\dots(3_3)$$



**Figure 3-2 :** Schéma de machine frigorifique à compression de vapeur.

Chapitre 3 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à compression de vapeur en utilisant R22

- **Pression de saturation :**

$$P_{\text{sat}} = a_1 \cdot (T_{\text{sat}})^3 + a_2 \cdot (T_{\text{sat}})^2 + a_3 \cdot (T_{\text{sat}}) + a_4 \dots\dots\dots(3_4)$$

- **Pression de condensation :**

$$P_{\text{cond}} = a_1 \cdot (T_{\text{cond}})^3 + a_2 \cdot (T_{\text{cond}})^2 + a_3 \cdot (T_{\text{cond}}) + a_4 \dots\dots\dots(3_5)$$

a 1	-7 E-06
a 2	0,002
a 3	0,167
a 4	4,817

**Tableau 3-2 :** Coefficient de pression et température de saturation [9].

- **Taux de compression :**

$$\text{Taux de compression} = P_{\text{cond}} / P_{\text{evap}} \dots\dots\dots(3_6)$$

- **Rendement volumique compression :**

$$\text{Rend.vol comp} = 1 - 0,05 \cdot \text{Taux de compression} \dots\dots\dots(3_7)$$

- **Enthalpie liquide :**

$$H_{\text{liqu-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_8)$$

a 1	-5 E-05
a 2	0,004
a 3	1,189
a 4	199,4

**Tableau 3-3 :** Coefficient d'enthalpie liquide [9].

- **Enthalpie vapeur :**

$$H_{\text{vap-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_9)$$

a 1	1E-05
a 2	-0,001
a 3	0,371
a 4	405

**Tableau 3-4 :** Coefficient d'enthalpie vapeur [9].

- **Entropie liquide :**

$$S_{\text{liqu-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_{10})$$

Chapitre 3 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à compression de vapeur en utilisant R22

a1	-1E-07
a2	3E-06
a3	0,004
a4	0,998

**Tableau 3-5 :** Coefficient d'entropie liquide [9].

• **Entropie vapeur :**

$$S_{\text{vap-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_{11})$$

a1	6E-08
a2	7E-07
a3	-0,001
a4	1,751

**Tableau 3-6 :** Coefficient d'entropie vapeur [9].

• **Cp liquide :**

$$C_{p\text{liqu-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_{12})$$

a1	3E-07
a2	3E-05
a3	0,002
a4	1,167

**Tableau 3-7 :** Coefficient de capacité thermique a pression liquide [9].

• **Cp vapeur :**

$$C_{p\text{vap-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_{13})$$

a1	3E-07
a2	5E-05
a3	0,004
a4	0,734

**Tableau 3-8 :** Coefficient de capacité thermique a pression vapeur [9].

• **Volume spécifique liquide :**

$$V_{\text{liqu-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots\dots\dots(3_{14})$$

a1	5E-08
a2	9E-06
a3	-0,001
a4	0,056

**Tableau 3-9 :** Coefficient de volume spécifique liquide [9].

- **Volume spécifique vapeur :**

$$V_{\text{vap-sat}} = a_1 \cdot T_{\text{sat}}^3 + a_2 \cdot T_{\text{sat}}^2 + a_3 \cdot T_{\text{sat}} + a_4 \dots \dots \dots (3\_15)$$

a1	5E-08
a2	9E-06
a3	-0,001
a4	0,056

**Tableau 3-10 :** Coefficient de volume spécifique vapeur [9].

### 3-3- Modélisation d'une machine frigorifique à compression de vapeur (R22) :

- **Puissance frigorifique = Q\_evap (KJ/kg) :**

$$P_{\text{frigo}} = H1' - H3 \dots \dots \dots (3\_16)$$

Avec : H3 = H4 (KJ/kg)

- **Travail compresseur (KJ/kg) :**

$$W_{\text{comp}} = H2 - H1 \dots \dots \dots (3\_17)$$

- **Coefficient de performance froid :**

$$\text{COP}_f = (P_{\text{frigo}} / W_{\text{comp}}) \dots \dots \dots (3\_18)$$

- **Débit fluide frigorifique (kg/s):**

$$m_{\text{fluide}} = Q_{\text{evap}} (\text{Kw}) / Q_{\text{evap}} (\text{KJ/kg}) \dots \dots \dots (3\_19)$$

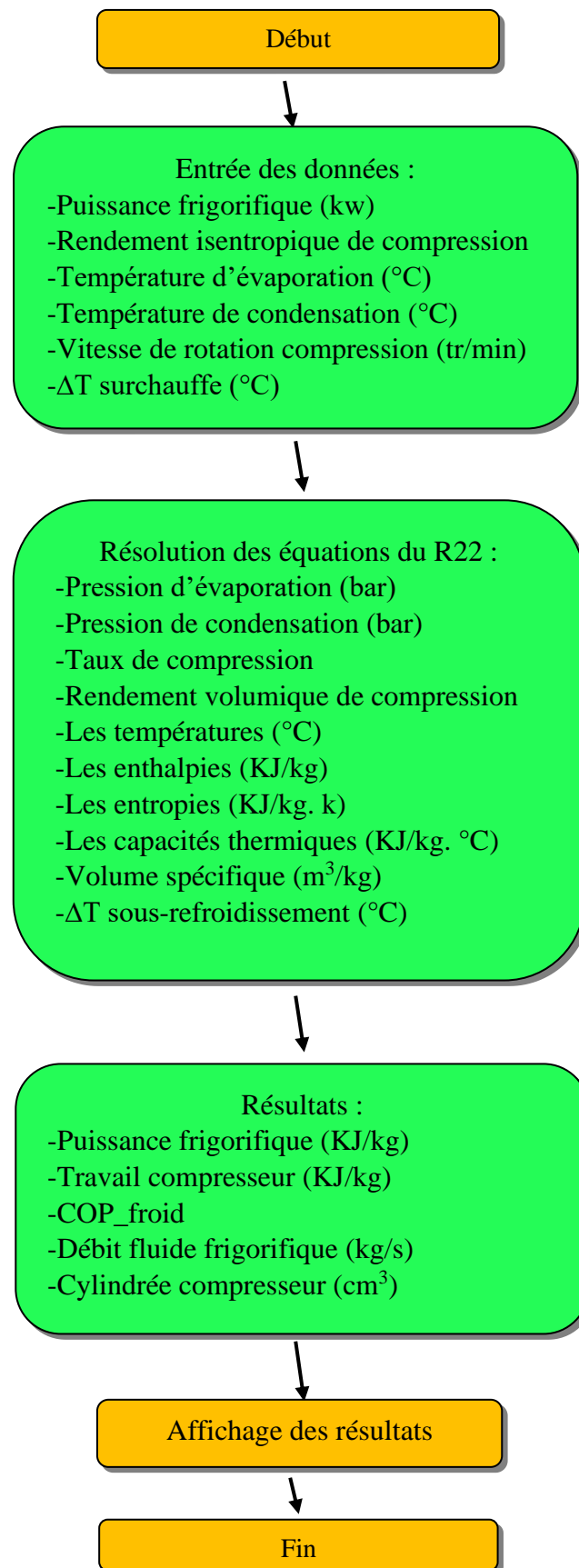
- **Cylindrée du compresseur (cm<sup>3</sup>):**

$$\text{Cyl}_{\text{comp}} = (m_{\text{fluide}} \cdot V1 \cdot 10^3) / (\text{Rend.vol}_{\text{comp}} \cdot (60 / \text{vitesse.rot}_{\text{comp}})) \dots \dots \dots (3\_20)$$

### 3-4- Simulation des équations du R22 :

En utilisant l'EXCEL, nous avons résolu les équations précédentes.

Voici un organigramme qui représente les différentes étapes :



**Figure 3-3 :** Organigramme des étapes de simulation du R22 sur l'EXCEL.

3-5- Lecture des données et résultats de la simulation du R22 sur l'Excel :

Données	
Puissance Frigo=Qevap(kW)	0,63
Rend.isentrop Comp	1,00
Tevap (°C)	-10,00
Tcond (°C)	40,00
Vitesse rot. Comp (tr/min)	2800
$\Delta T_{\text{surchauffe}}$ (°C)	5,00

Resultats	R22
P evap	3,354
Pcond	14,249
Taux de comp=Pcond/Pevap	4,24836017
Rend,vol comp=1-0,05*(taux de comp)	0,78758199
T1'=T4=T4'=Tevap	-10
T3'=T2'=Tcond	40
T1	-5
H1'	401,2
Cp 1'	0,6987
S 1'	1,76101
H 1	404,6935
S 1 = S(2s)	1,77416115
Vol,spec 1=V(1)	0,06121875
H(2')	418,88
cp 2'	0,9932
S 2'	1,714896
H 3'	250,16
Cp 3' liq	1,3142
H 3 =H 4	246,6665
H 4'	187,96
X 4	0,27530717
T (2s) K	332,245483
T (2s) C	59,2454833
H (2s) kj/kg	437,994614
H2 kj/kg	437,994614
T2 C	59,2454833
T3 C	37,3417288
$\Delta T$ s-r C	2,65827119
P frigo= Q evap kj/kg	154,5335
W comp kj/kg	33,301114
COP f	4,6404904
m fluide= debit fluide frigo kg/s	0,00407679
Cylindrée comp cm3	14,7881337

Figure 3-4 : Capture d'écran des résultats sur l'EXCEL.

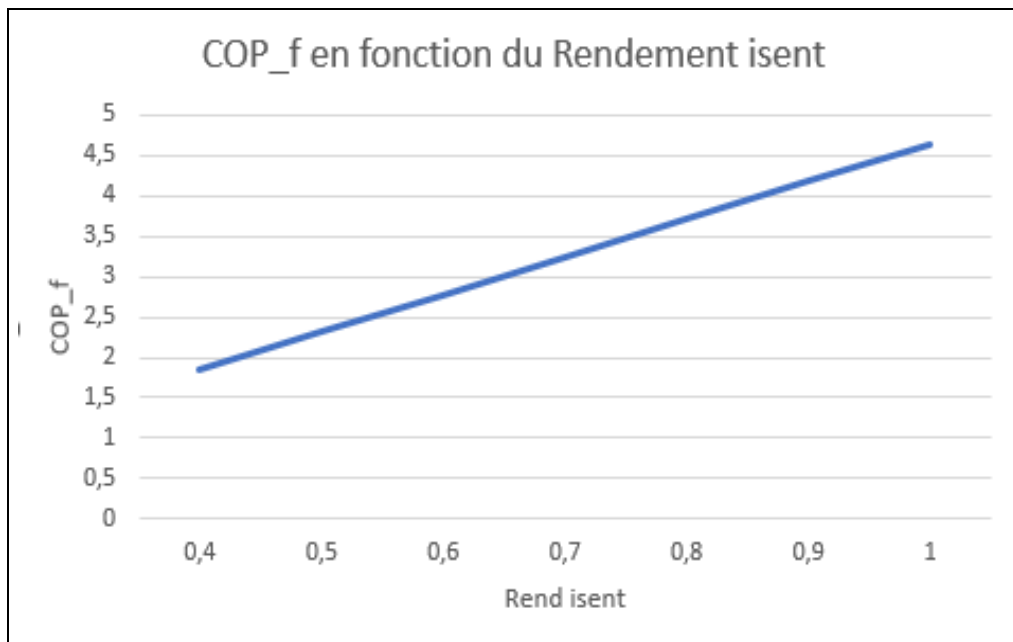


### 3-6- Etude paramétrique :

**-L'effet du rendement isentropique compresseur sur le coefficient de performance froid :**

Rendement isent comp	COP_f
0,4	1,86
0,5	2,32
0,6	2,78
0,7	3,25
0,8	3,71
0,9	4,18
1	4,64

**Tableau 3-11 :** Variation du coefficient de performance froid en fonction du rendement isentropique compresseur.



**Figure 3-5 :** Variation du coefficient de performance froid en fonction du Rendement isentropique compresseur.

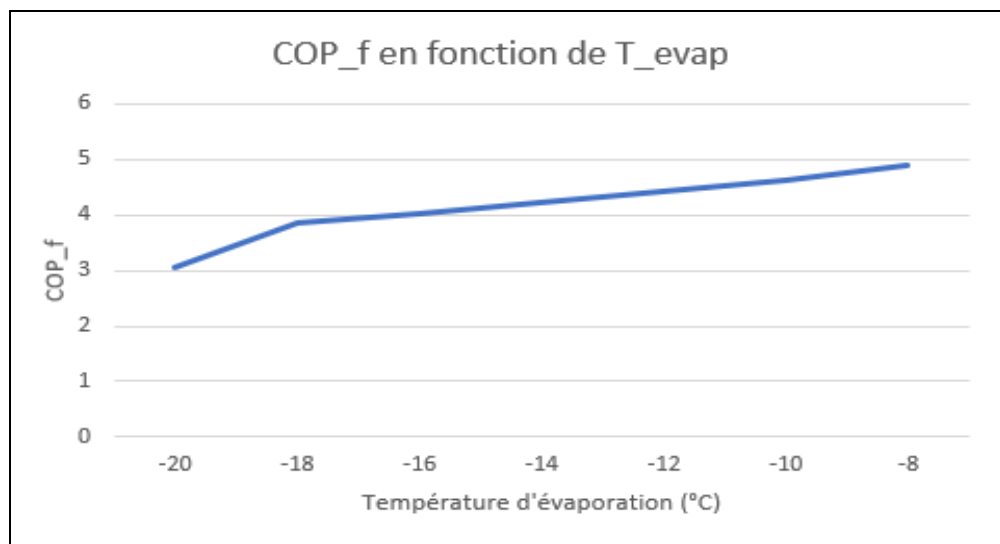
- **1<sup>e</sup> Interprétation :**

D'après la figure (3-5) qui représente une ligne droite de la variation du coefficient de performance froid en fonction du rendement isentropique compresseur, on constate que la courbe est croissante. Il est indiqué que le rendement isentropique a un effet sur le coefficient de performance car le rendement isentropique est défini comme le rapport du travail de la compression réversible au travail réel et il permet de caractériser les performances des compresseurs.

**-L'effet de la température d'évaporation sur le coefficient de performance froid :**

T_evap (°C)	COP_f
-20	3,07
-18	3,86
-16	4,03
-14	4,22
-12	4,42
-10	4,64
-8	4,88

**Tableau 3-12 :** Variation du coefficient de performance froid en fonction de la température d'évaporation.



**Figure 3-6 :** Variation du coefficient de performance froid en fonction de la température d'évaporation.

- **2<sup>e</sup> Interprétation :**

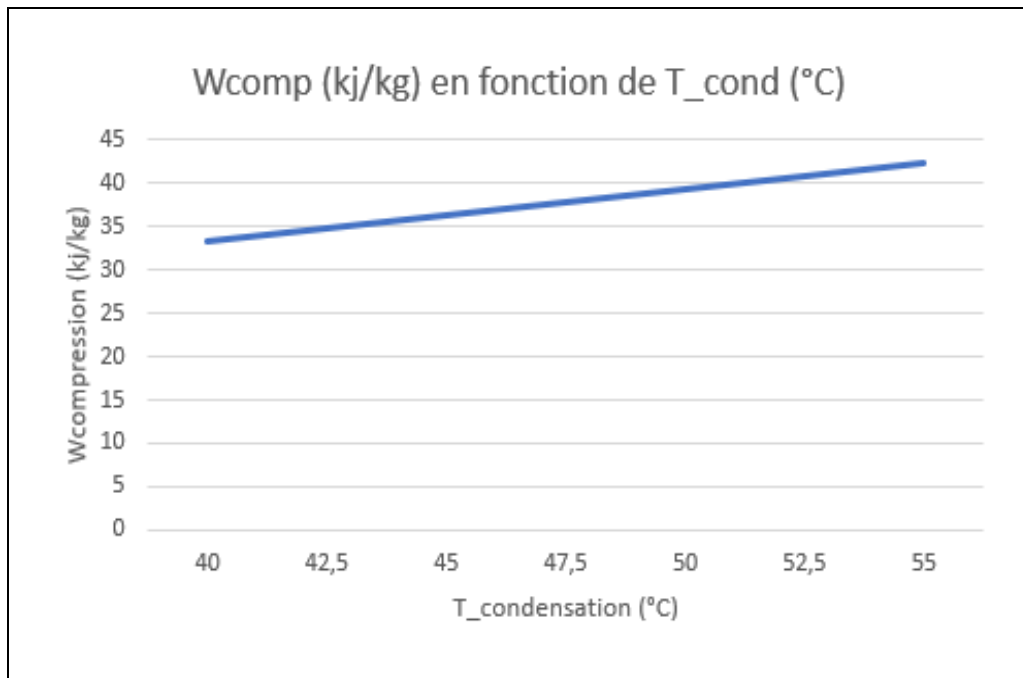
D'après la figure (3-6) qui représente le graphe de la variation du coefficient de performance froid en fonction de la température d'évaporation (°C), on remarque que la courbe augmente jusqu'à un point optimal à  $T_{\text{evap}} = -18$  et  $\text{COP}_f = 3,86$  et après la vitesse d'augmentation augmente jusqu'à  $T_{\text{evap}} = -8$  et  $\text{COP}_f = 4,88$ .

Il est indiqué que la température d'évaporation est un facteur déterminant pour le coefficient de performance et cela traduit que l'augmentation de la température résulte l'augmentation du COP.

**-L'effet de la température de condensation sur le travail de compresseur :**

T_cond (°C)	Wcomp (kJ/kg)
40	33,3
42,5	34,9
45	36,4
47,5	37,94
50	39,44
52,5	40,9
55	42,36

**Tableau 3-13 :** Variation travail compresseur (KJ/kg) en fonction de la température de condensation (°C).



**Figure 3-7 :** Variation de travail du compresseur (kJ/kg) en fonction de la température de condensation (°C).

• **3<sup>e</sup> Interprétation :**

D'après la figure (3-7) qui représente le graphe de la variation du travail de compresseur (KJ/kg) en fonction de la température de condensation (°C), on constate que l'augmentation de la température de condensation influence sur le travail du compresseur. Il est indiqué que à chaque fois qu'on augment la température de condensation, le niveau de pression à la sortie du compresseur augment, c'est donc augmentation du travail de celui-ci.



## **Chapitre 4**

**Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à  
Effet peltier en utilisant « le modèle Thomson »**

### 4-1-Introduction :

La modélisation simplifiée employée pour dimensionner les systèmes thermoélectriques et décrire leur comportement énergétique n'est pas complète. En effet, l'effet Thomson est tout d'abord quasi systématiquement négligé à tort. Les auteurs de [10] ont ainsi montré, grâce à une étude analytique 1D, que l'effet Thomson joue un rôle direct sur la distribution de température dans un élément thermoélectrique.

Dans ce chapitre, nous allons modéliser et simuler le module Peltier en utilisant l'Excel. Et on terminera sa avec une étude paramétrique.

### 4-2- L'effet Thomson :

Le coefficient Thomson est défini par l'équation (4\_1), lorsqu'on intègre l'effet Thomson, il est nécessaire de tenir compte de la variation du coefficient Seebeck en fonction de la température moyenne. On suppose que l'effet Thomson est réparti de manière symétrique entre les côtés chaud et froid, et les flux chaud et froid sont décrits par (4\_7) et (4\_8), en supposant  $\alpha$  constant ( $\alpha = \alpha(T_m)$ ).

$$\tau = T \cdot \left. \left\{ \frac{d\alpha(T)}{dT} \right\} \right|_{T_m} \dots\dots\dots(4_1)$$

$$T_m = \frac{T_f + T_c}{2} \dots\dots\dots(4_2)$$

Les expressions liées au point de fonctionnement optimal du modèle Thomson [11] :

**-Conductivité thermique :**

$$K(T_m) = (62605 - 277,7 * T_m + 0,4131 * T_m^2) * 10^{-4} \quad [w/m.k] \dots\dots\dots(4_3)$$

**-Résistivité électrique :**

$$\rho(T_m) = (5112 + 163,4 * T_m + 0,6279 * T_m^2) * 10^{-10} \quad [\Omega.m] \dots\dots\dots(4_4)$$

**-Coefficient Seebeck:**

$$\alpha(T_m) = (22224 + 930,6 * T_m - 0,9905 * T_m^2) * 10^{-9} \quad [v/k] \dots\dots\dots(4_5)$$

**-Coefficient Thomson:**

$$\tau(T_m) = (930,6 - 2 * 0,9905 * T_m) * 10^{-9} * T_m \quad [v/k] \dots\dots\dots(4_6)$$

### 4-3- Modélisation d'une machine frigorifique par effet thermoélectrique basé sur le modèle Thomson :

Les effets thermoélectriques sont utilisés dans les réfrigérateurs thermoélectriques pour la production du froid, voir figure (4-1). Le COP et le flux froid  $Q_f$  de ces systèmes dépend du matériau, du courant électrique appliqué et de la différence de température entre les sources chaude et froide du système.

Chapitre 4 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à effet peltier en utilisant « le modèle Thomson »

Bien souvent, les effets thermoélectriques contiennent plusieurs modèles comme le modèle standard et le modèle Thomson... nous avons choisi le modèle Thomson pour faire nos études.

$$Q_f = n. [\alpha. I. T_f - \frac{1}{2} R. I^2 - K. \Delta T + \frac{1}{2} . \tau. I. \Delta T] \dots\dots\dots(4_7)$$

$$Q_c = n. [\alpha. I. T_c + \frac{1}{2} R. I^2 - K. \Delta T - \frac{1}{2} . \tau. I. \Delta T] \dots\dots\dots(4_8)$$

Avec :  $\Delta T = T_c - T_f \dots\dots\dots(4_9)$

On déduit l'expression de la puissance électrique (4\_10), qui permet de déterminer les COP correspondant aux côtés chaud et froid de l'élément thermoélectrique.

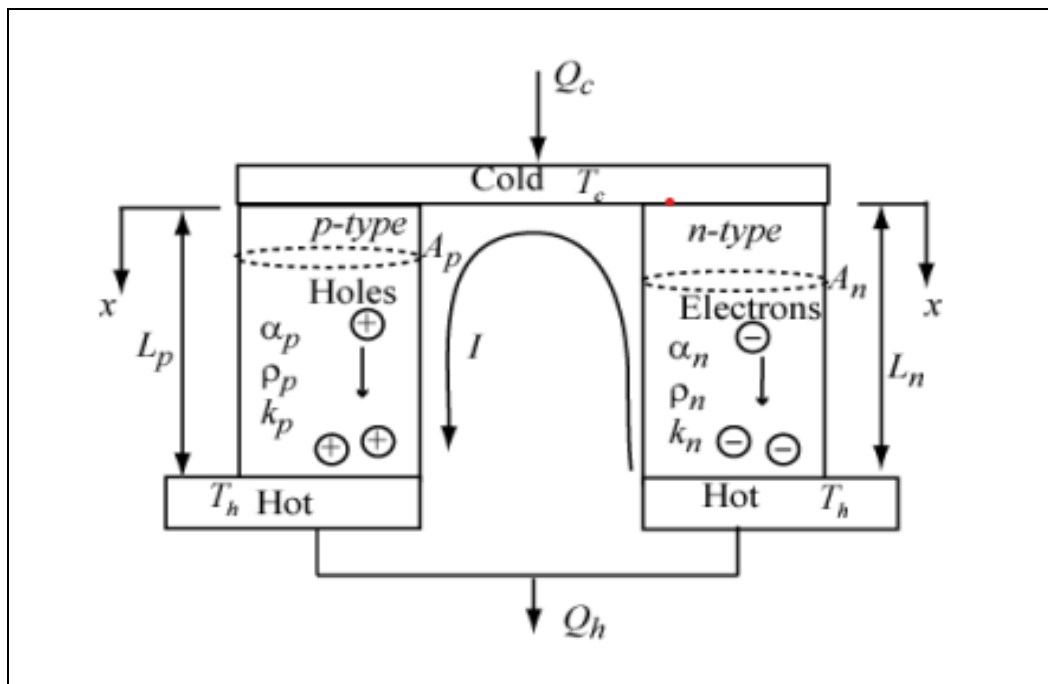
$$P = Q_c - Q_f = n. [R. I^2 + (\alpha - \tau). I. \Delta T] \dots\dots\dots (4_10)$$

$$COP_F = \frac{Q_f}{P} \dots\dots\dots (4_11)$$

$$COP_C = \frac{Q_c}{P} \dots\dots\dots (4_12)$$

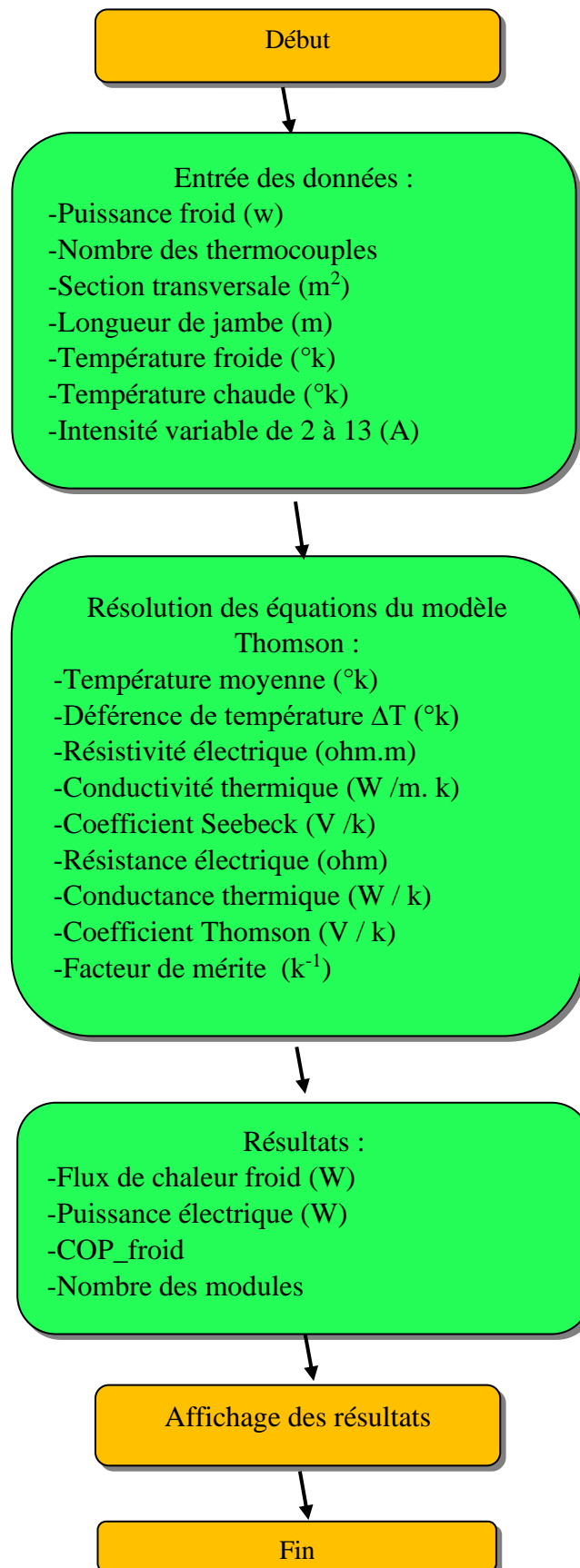
L'expression du nombre des modules :

$$N_{modules} = (Puissance\ froid) / Q_f \dots\dots\dots (4_13)$$



**Figure 4-1 :** Schéma de principe de fonctionnement de Peltier.

**4-4-Simulation des équations du modèle Thomson sur EXCEL :**



**Figure 4-2 :** Organigramme des étapes de résolution du modèle Thomson sur Excel



#### **4-5- Exemple de résolution des équations d'un effet peltier en utilisant le modèle Thomson :**

- **Données :**

Puissance froid = 630 w

$n=128$

$L=L_p=L_n=1 \text{ mm}=0,001 \text{ m}$

$A=A_p=A_n=2*10^{-6} \text{ m}^2$

$T_f=288 \text{ k}$

$T_c=313 \text{ k}$

I variable de 2 à 13 (A) avec 0,5 pour le pas

- **Résolution des équations :**

D'après l'équation (4\_2) :  $T_{\text{moy}}=300,5 \text{ k}$

Et (4\_9) :  $\Delta T=T_c-T_f=313-288=25 \text{ k}$

D'après (4\_4) on obtient :  $\rho_p=\rho_n=1,10913*10^{-5} \Omega.m$

Avec :  $\rho = \rho_p + \rho_n = 2,21826*10^{-5} \Omega.m$

D'après (4\_3) on obtient :  $K_p=K_n=1,65 \text{ w/m.k}$

Avec :  $K=K_p+K_n=3,3 \text{ w/m.k}$

D'après (4\_5) on obtient :  $\alpha_p=-\alpha_n=2,125*10^{-4} \text{ v/k}$

Avec :  $\alpha = \alpha_p - \alpha_n = 4,25*10^{-4} \text{ v/k}$

D'après (4\_6) on obtient :  $\tau = 1*10^{-4} \text{ v/k}$

Résistance thermique :  $R=\rho*(L/A)=2,22*10^{-5} *(0,001/2*10^{-6})=0,011 \Omega$

Conductance thermique :  $K'=K*(A/L)=3,3*(2*10^{-6}/0,001)=0,0066 \text{ w/k}$

$Z=\alpha^2/(\rho.k)=4,25*10^{-4}/(2,22*10^{-5}.3,3)=0,0025 \text{ 1/k}$

D'après les équations (4\_8) et (4\_10), (4\_11), (4\_13) : les résultats sont dans le tableau (4-1).

Chapitre 4 : Modélisation et simulation d'une machine frigorifique à effet peltier en utilisant « le modèle Thomson »

I (A)	Qf (W)	COP_f	N_modules	P_elect
2	7,738921729	0,99819003	81,4066897	7,75295434
2,5	14,05328499	1,22566933	44,8293762	11,4658046
3	20,01272593	1,30206837	31,4799694	15,3699501
3,5	25,61724454	1,21864788	24,5928089	21,0210389
4	30,86684083	1,14902858	20,410252	26,8634231
4,5	35,76151479	1,07020252	17,6167034	33,415652
5	40,30126642	0,99074533	15,6322631	40,6777254
5,5	44,48609573	0,91441771	14,1617283	48,6496436
6	48,31600271	0,8427493	13,0391581	57,3314064
6,5	51,79098736	0,77620875	12,1642786	66,7230138
7	54,91104969	0,71475993	11,4731007	76,8244659
7,5	57,67618969	0,65813531	10,9230517	87,6357626
8	60,08640737	0,60597301	10,4849005	99,156904
8,5	62,14170271	0,55788563	10,1381194	111,38789
9	63,84207574	0,51349419	9,86810019	124,328721
9,5	65,18752643	0,47244392	9,66442561	137,979396
10	66,1780548	0,43441047	9,5197721	152,339916
10,5	66,81366085	0,3991013	9,42920942	167,410281
11	67,09434456	0,36625452	9,38976309	183,19049
11,5	67,02010595	0,33563664	9,40016419	199,680544
12	66,59094502	0,30703988	9,46074575	216,880443
12,5	65,80686176	0,28027944	9,57346974	234,790186
13	64,66785617	0,25519085	9,74208884	253,409774

**Tableau 4-1 :** La variation des paramètres en fonction de I (A).

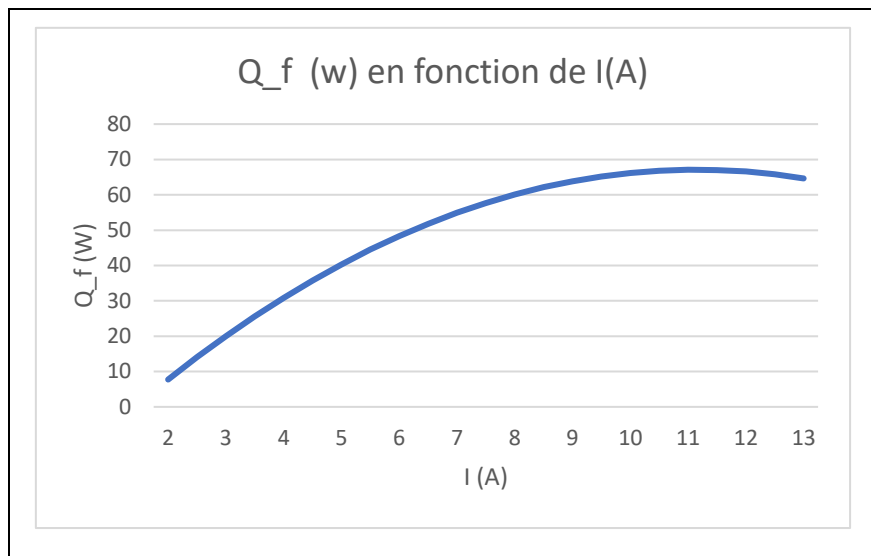
**4-6-Lecture des données et résultats de la simulation du modèle Thomson sous l'EXCEL :**

<b>Données</b>		
Puissance froid	630	W
n	128	
L=L <sub>p</sub> =L <sub>n</sub>	0,001	m
A=A <sub>p</sub> =A <sub>n</sub>	0,000002	m <sup>2</sup>
T <sub>froid</sub>	288	k
T <sub>chaud</sub>	313	k
<b>Résultats</b>		
T <sub>moy</sub>	300,5	K
ΔT	25	K
rho <sub>p</sub> =rho <sub>n</sub>	1,10913E-05	ohm.m
rho=rho <sub>p</sub> +rho <sub>n</sub>	2,21826E-05	ohm.m
K <sub>p</sub> =K <sub>n</sub>	1,645918328	w/m.k
K=K <sub>p</sub> +K <sub>n</sub>	3,291836655	w/m.k
alpha <sub>p</sub> =-alpha <sub>n</sub>	0,000212427	v/k
alpha	0,000424854	v/k
R=rho*(L/A)	0,011091323	ohm
K'=K*(A/L)	0,006583673	w/k
coef Thomson	0,000100761	v/k
Z	0,00247188	1/K

**Figure 4-3 :** Modélisation du Peltier sur EXCEL.

#### 4-7- Etude paramétrique :

- L'effet de l'intensité  $I$  (A) sur la quantité du froid  $Q_f$  (W) :

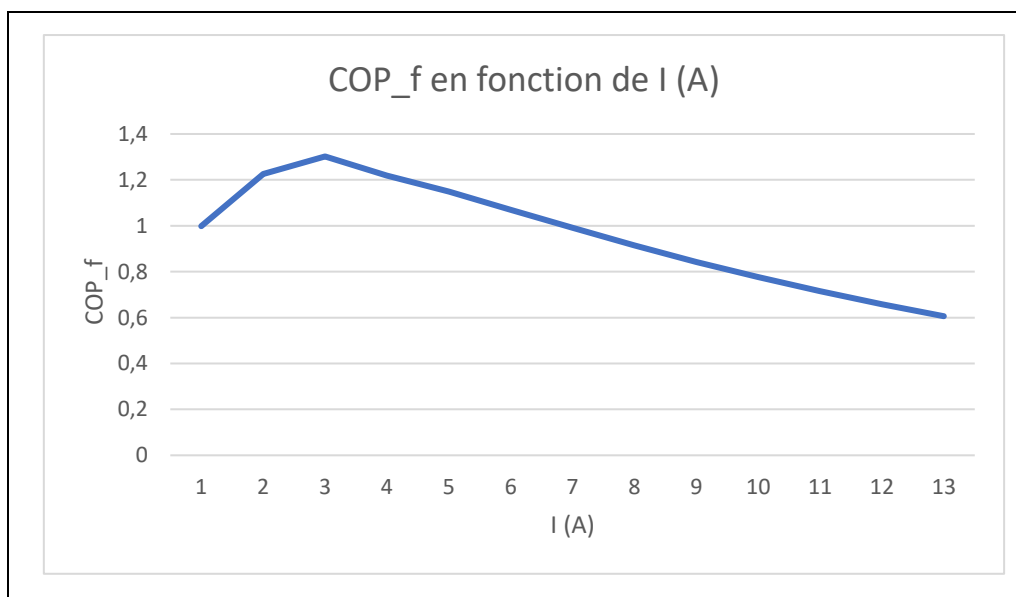


**Figure 4-4 :** Variation de la quantité du froid  $Q_f$  (w) en fonction de l'intensité  $I$ (A).

- **1<sup>e</sup> Interprétation :**

D'après la figure (4-4) qui représente un graphe de la variation du quantité du froid  $Q_f$  (W) en fonction de l'intensité  $I$  (A), nous remarquons qu'à chaque fois l'intensité augmente la quantité du froid augmente, à  $I = 11A$  on a :  $Q_f = 67,094$  W, c'est le point optimal. L'augmentation de l'intensité influence sur la quantité du froid.

- L'effet de l'intensité  $I$  (A) sur le coefficient de performance froid  $COP_f$  :



**Figure 4-5 :** Variation du coefficient de performance  $COP_f$  en fonction de l'intensité  $I$ (A).

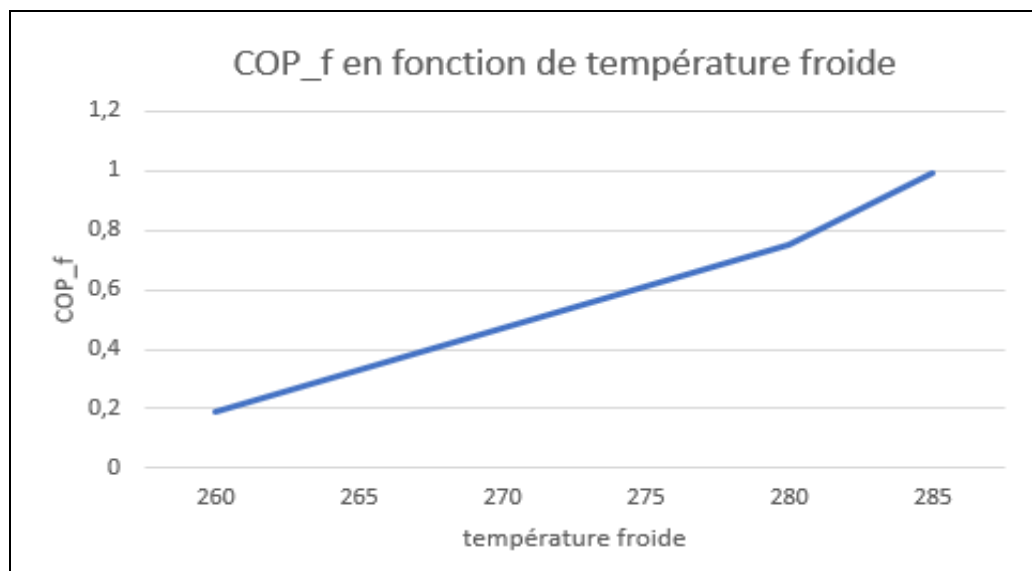
- **2<sup>e</sup> Interprétation :**

D'après la figure (4-5) qui représente le graphe de la variation du coefficient de performance froid en fonction de l'intensité  $I$  (A), nous remarquons que le COP<sub>f</sub> augmente dans l'intervalle  $I [1 ; 3]$  (A) jusqu'à un point optimal COP<sub>f</sub> = 1,302 à  $I = 3A$ . Ensuite, entre  $I [3,5 ; 13]$  (A) le COP<sub>f</sub> diminue. On peut dire que l'intensité influence sur le coefficient de performance car le COP c'est le rapport entre la quantité du froid et la puissance.

- **On fixe  $I = 5A$ , l'effet de la température froide (k) sur le coefficient de performance froid :**

T <sub>f</sub> (k)	COP <sub>f</sub>
260	0,19
265	0,33
270	0,47
275	0,61
280	0,75
285	0,99

**Tableau 4-2 :** Variation du coefficient de performance froid en fonction de la température froide.



**Figure 4-6 :** Variation du coefficient de performance froid en fonction de la température froide.

- **3<sup>e</sup> Interprétation :**

D'après la figure (4-6) qui représente une courbe de variation du coefficient de performance froid en fonction de la température froide (k) à  $I = 5A$ , on constate qu'à chaque fois la température froide augmente, le coefficient de performance augmente.

On déduit que l'augmentation de la température froide influence sur le COP<sub>f</sub>.

## **Chapitre 5**

# **Réalisation d'une machine frigorifique à compression de vapeur**

## 5-1-Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons réaliser une machine frigorifique à compression de vapeur qui sert à refroidir notre réfrigérateur.

La réalisation de notre projet s'est déroulée au niveau de l'atelier de soudage du département de mécanique.

## 5-2-Matériel et outillage utilisés :

La liste d'outillages nécessaires à la réalisation de notre projet est représentée par la figure 1.



**Figure 5-1 :** Outillage utilisé pour la réalisation de la machine frigorifique à compression.

La réalisation de la machine frigorifique à compression nécessite des composants de base et des équipements annexes qui sont essentiels au bon fonctionnement de cette machine, voir figure (5-2). La liste complète avec les prix est donnée en annexe de ce mémoire.

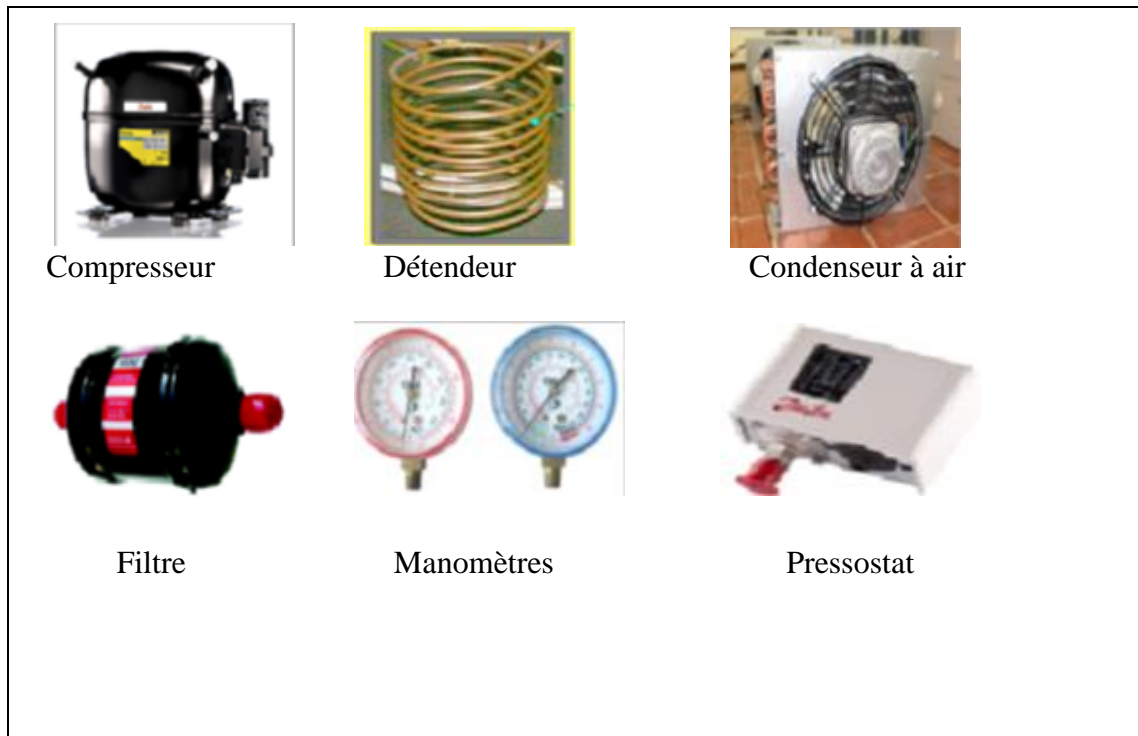


Figure 5-2 : Les composants de base et les équipements annexes utilisés dans notre projet

**5-3-Les étapes de réalisation de la machine frigorifique à compression de vapeur :**

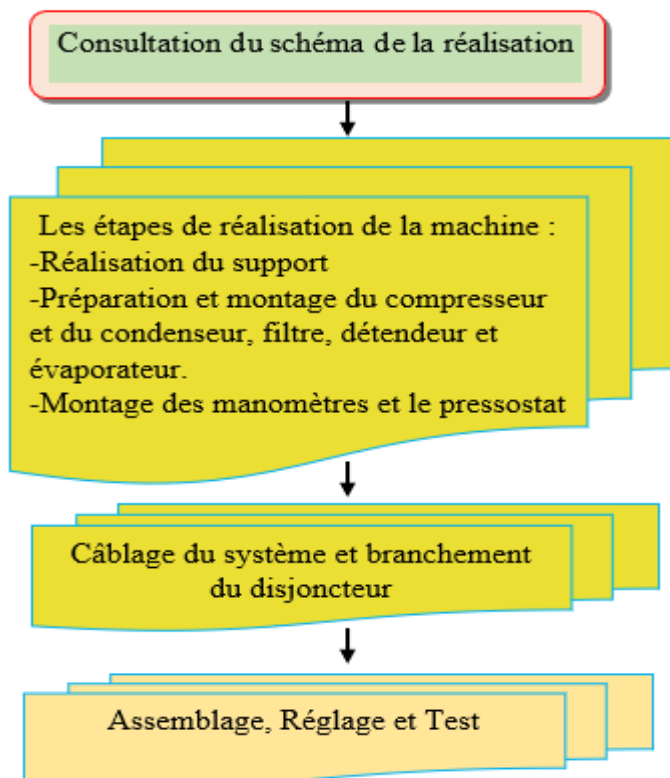
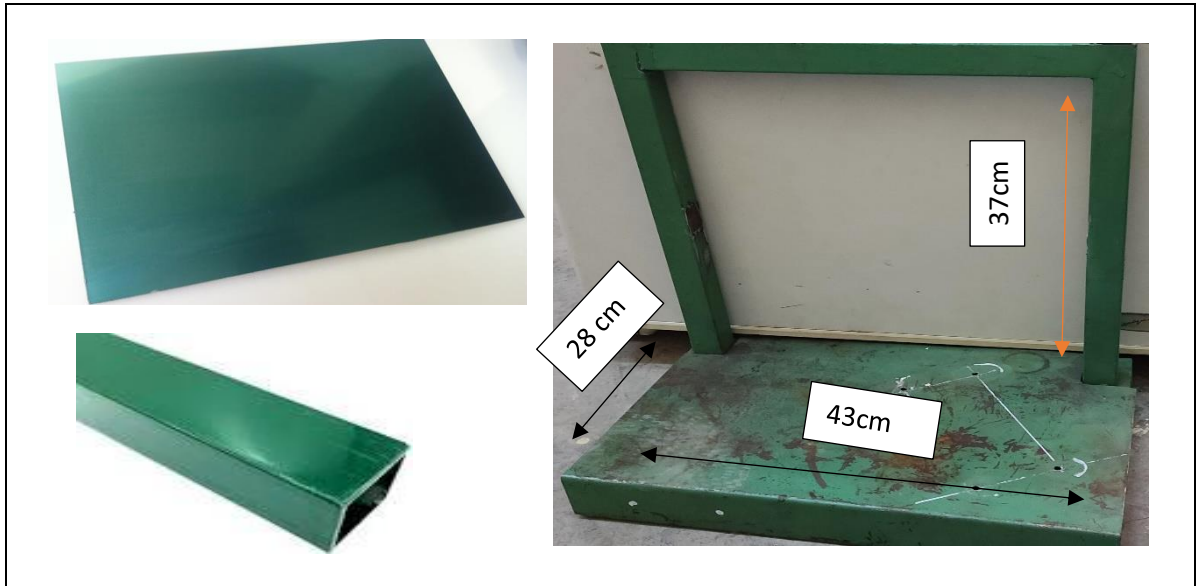


Figure 5-3 : Organigramme des étapes de réalisation de la machine frigorifique à compression



Pour réaliser ce système, nous passeront par les étapes suivantes :

- **1<sup>e</sup> étape :** Réalisation du support en utilisant :
  - Une tôle (1mm).
  - Des tubes carrés.
  - Poste à souder.
  - Tronçonneuse.



**Figure 5-4 :** Réalisation du support en acier.

- **2<sup>e</sup> étape :** Préparation et montage du compresseur.
  - a- Caractéristiques du compresseur choisi :
    - Type hermétique.
    - Tension 220V 50Hz.
    - Fluide frigorigène R12 ou R134a.
    - Puissance nominale : 1/4 CV.
  - b - Montage du compresseur :
    - Choisir la bonne position du compresseur sur le support.
    - Perçage de 4 trous pour le fixer.
    - Fixation du compresseur en utilisant des écrous et boulons.
    - Repérage de l'entrée (aspiration) et la sortie (refoulement) du compresseur.
    - Soudure d'un tube en cuivre  $\varnothing 3/8$  vers un Té en cuivre en utilisant l'évaseur et une baguette en cuivre avec la sortie du compresseur.
    - Câblage du compresseur en utilisant 2 cosses et un câble 220V avec une prise mal.

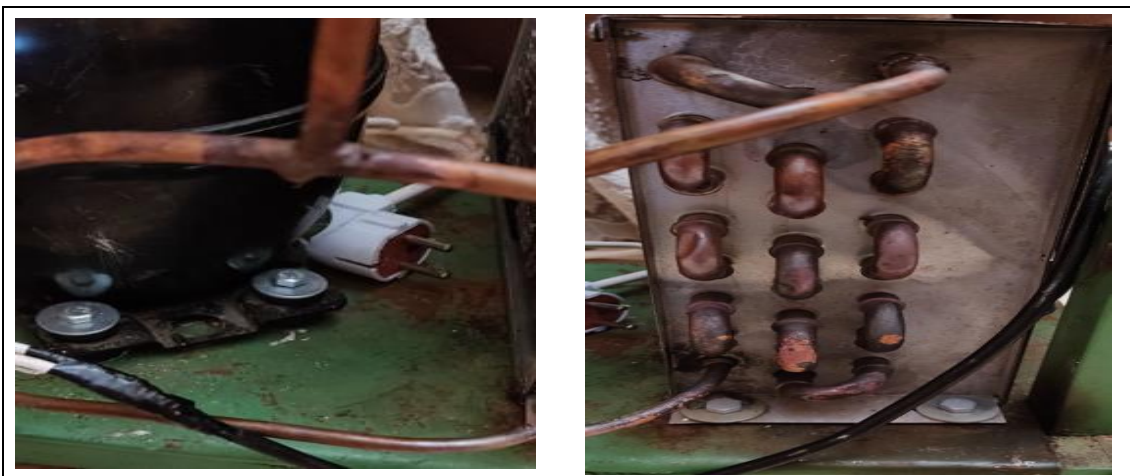


**Figure 5-5 :** Fixation et câblage du compresseur.

- **3<sup>e</sup> étape :** Préparation et montage du condenseur.

Les opérations pour la réalisation du condenseur à air ont été effectuées sur un condenseur préfabriqué spécialement conçu pour les installations frigorifiques. Il est constitué de tube en cuivre et ailettes en aluminium et munit d'un ventilateur pour assurer une convection forcée.

- Perçage des trous pour fixer le condenseur sur le support en utilisant la chignole.
- Fixation du condenseur sur le support en utilisant des écrous et boulons.
- Soudure de l'entrée du condenseur avec le 2<sup>e</sup> côté du Té en cuivre en utilisant un tuyau en cuivre.
- Soudure d'un tuyau en cuivre qui mène au filtre.
- Extension du câble de condenseur avec un autre en utilisant le dénudeuse et chatterton.



**Figure 5-6 :** Réalisation du condenseur à air.

- **4<sup>e</sup> étape** : Préparation et montage du filtre et du détendeur.  
En utilisant une dudgeonnière et 2 écrous en cuivre, raccordement de la sortie du condenseur avec l'entrée du filtre et la sortie du filtre avec le détendeur d'un côté.  
Pour le 2<sup>e</sup> côté du détendeur, raccordement avec l'entrée de l'évaporateur.



**Figure 5-7** : Réalisation du Filtre et du Détendeur.

- **5<sup>e</sup> étape** : Préparation et montage de l'évaporateur.  
En utilisant la cintreuse et un tuyau en cuivre Ø3/8, conception d'un évaporateur.  
Après la soudure du détendeur avec l'entrée de l'évaporateur, raccordement de sa sortie avec la 2<sup>e</sup> vanne en utilisant le dudgeonnière et un écrou en cuivre.



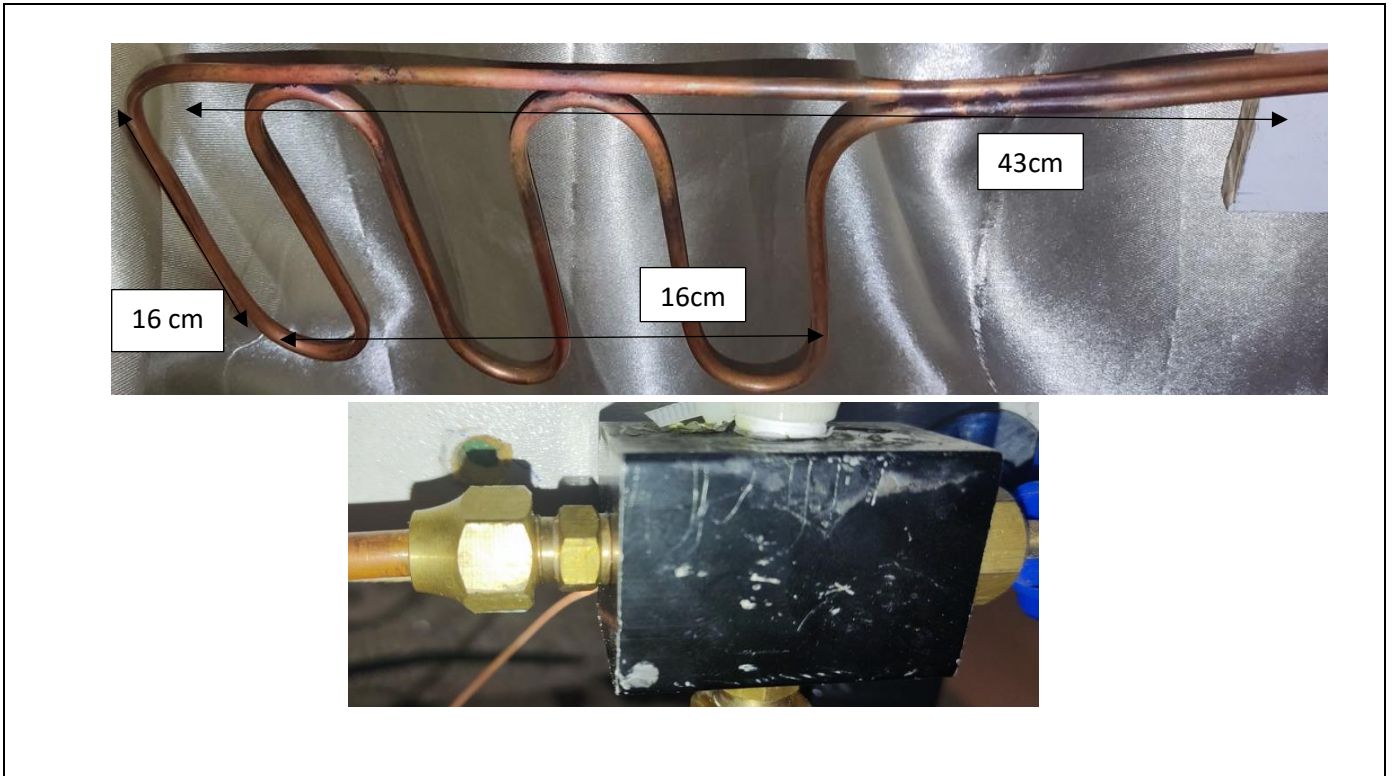


Figure 5-8 : Réalisation et montage de l'évaporateur.

- **6<sup>e</sup> étape :** Préparation et montage du Pressostat et les 2 manomètres BP & HP.

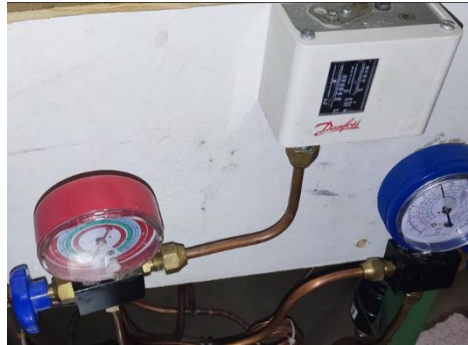

Opérations	Photos
<p>*Le Té en cuivre :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Raccordement du côté haut avec la vanne 1.</li> <li>-Cintrage et dudgeonnage d'un tuyau de 12cm avec 2 écrous.</li> <li>-Montage du Manomètre HP du côté haut de la vanne 1.</li> <li>-Raccordement du Pressostat avec la vanne 1 en utilisant le tuyau dudgeonné.</li> <li>-Réglage et branchement du câble du Pressostat.</li> </ul>	
<p>*La 2<sup>e</sup> vanne :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Raccordement de la sortie de l'évaporateur d'un côté.</li> <li>-Raccordement de l'entrée du compresseur de l'autre côté.</li> <li>-Montage du Manomètre BP du côté haut.</li> </ul>	

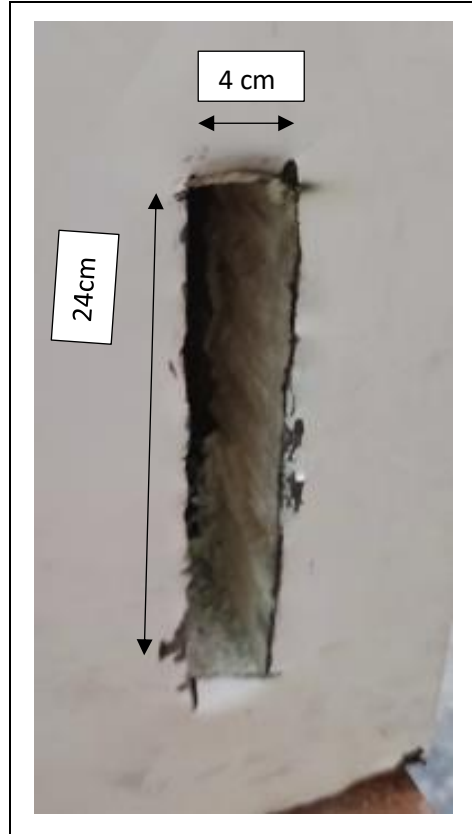
Tableau 5-1 : Les opérations et photos du montage du pressostat et les manomètres BP et HP.

- **7<sup>e</sup> étape :** Fixation de la plaque en résine +disjoncteur +voyant +boite dérivation.
  - En utilisant la chignole, fixation de la plaque en résine avec des écrous et boulons.
  - En utilisant des vises, fixation du disjoncteur.
  - En utilisant la chignole, perçage d'un trou dans la plaque pour placer le voyant.
  - Fixation de la boite dérivation.
  - Raccordement de tous les câbles (compresseur +condenseur +voyant +pressostat) vers la boite dérivation avec des dominos (les positives dans un domino et un seul câble qui sort et les négatives dans un autre dominos et un seul câble qui sort).
  - Branchement du câble positive et négative dans le disjoncteur.
  - Branchement du câble de 220 V avec le disjoncteur pour l'alimenter.



**Figure 5-9 :** Câblage du système

- **8<sup>e</sup> étape :** Préparation du réfrigérateur.  
En utilisant la tronçonneuse, coupure d'un rectangle d'un côté du réfrigérateur pour y introduire l'évaporateur.



**Figure 5-10 :** Entrer de l'évaporateur dans le réfrigérateur.

- **9<sup>e</sup> étape :** Assemblage, réglage et test du système.  
Les différentes étapes qui ont été réalisées par les binômes qui travaillent sur le projet, ont été assemblées pour donner le système dans la figure (5-11) et (5-12)



**Figure 5-11 :** Assemblage de la machine frigorifique à compression de vapeur.



**Figure 5-12 :** L'assemblage final de la machine frigorifique a compression de vapeur.

## **5-4- Mise en marche et fonctionnement de la machine frigorifique à compression de vapeur :**

### **5-4-1\* Procédure de vérification avant mise en marche :**

- ✓ Vérification visuelle de l'état de l'installation (tuyauteries ...etc.).
- ✓ S'assurer des raccordements avec les vannes.
- ✓ Vérification du déclenchement du pressostat.
- ✓ Vérification des raccordements électriques, schémas à l'appui.
- ✓ Vérification de l'afficheur de température et la sonde.

### **5-4-2\* Procédure de charge en fluide frigorigène R12 :**

- Matériel nécessaire :
  - ☑ Une bouteille de réfrigérant.
  - ☑ Un flexible.
  - ☑ Une balance.
- Mode opératoire, voir figure (5-13) :
  - Raccordement par flexible de la bouteille sur la vanne de charge du compresseur.
  - Utilisation d'une balance sur laquelle sera posée la bouteille afin de connaître la quantité de fluide total introduite dans l'installation.



- Ouverture de la vanne de la bouteille.
- Introduction d'une précharge de fluide dans le circuit avec l'installation à l'arrêt.
- Arrêt de l'introduction de fluide dans le circuit.
- Démarrage de l'installation (la pression décroît rapidement).



Figure 5-13 : Procédure de charge du fluide R12 dans le circuit.

#### 5-4-3\* Procédure de mise en marche :

- Alimentation du système via le disjoncteur électrique.
- Démarrage du compresseur et du condenseur.
- Mise en marche des manomètres BP et HP.
- Mise en marche du voyant.
- Mise en marche du pressostat.





Figure 5-14 : Mise en marche des manomètres HP et BP.

## **Chapitre 6**

### **Réalisation d'un système de réfrigération thermoélectrique refroidi par caloduc**

## 6-1-Introduction :

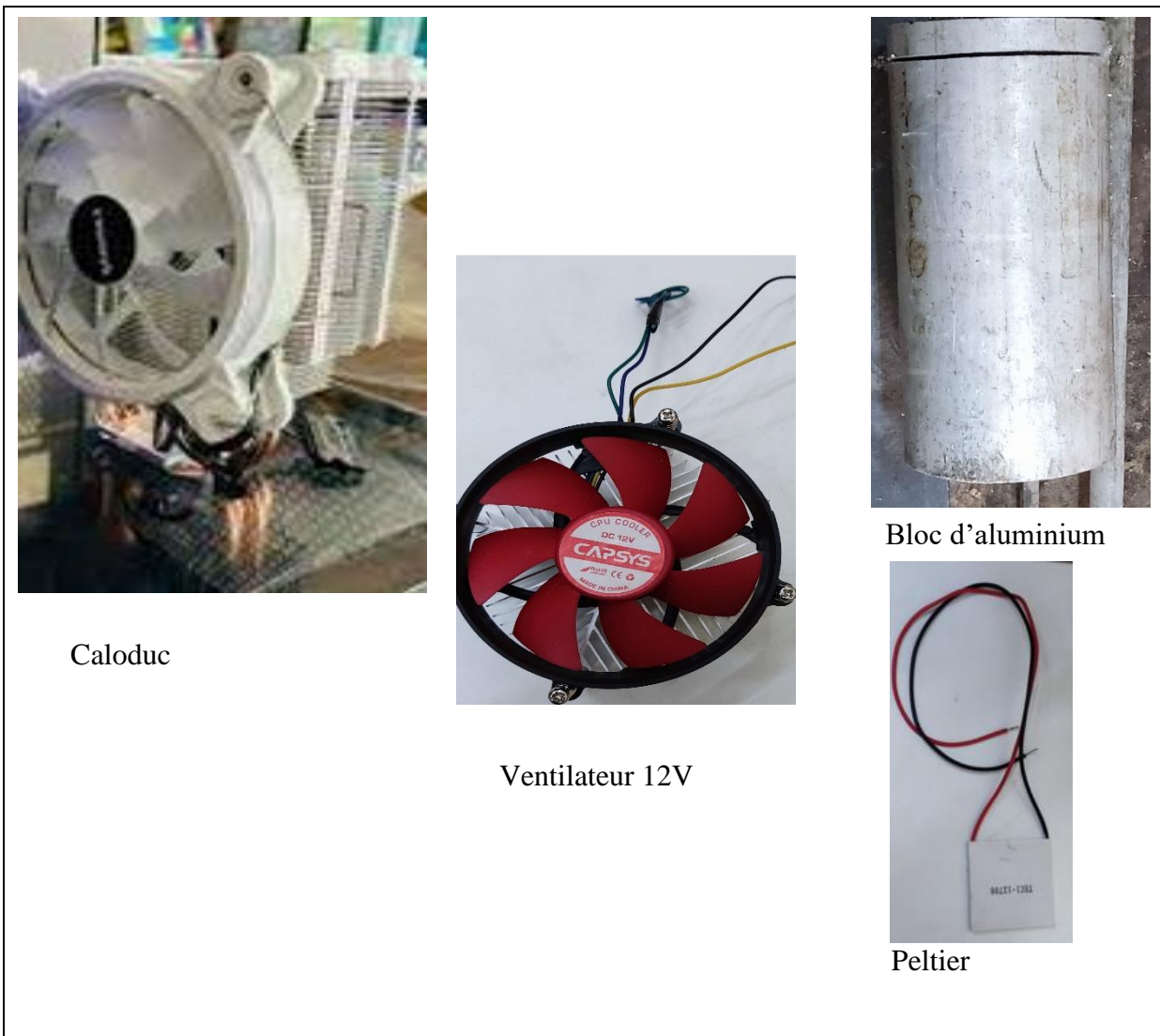
Le refroidissement thermoélectrique est une technique de refroidissement où on utilise la thermoélectricité. On utilise pour cela des composants nommés « modules Peltier ».

Dans ce chapitre, nous allons réaliser un système de refroidissement thermoélectrique en utilisant le module peltier refroidi par caloduc « heat pipe ».

## 6-2- Matériel et outillage utilisés :



**Figure 6-1 :** Outillage nécessaire pour la réalisation du système de refroidissement thermoélectrique.



**Figure 6-2 :** Matériel utilisé pour la réalisation du système de refroidissement.

### **6-3- Les étapes de réalisation du module de refroidissement thermoélectrique refroidi par caloduc :**

Pour réaliser un système de refroidissement thermoélectrique refroidi par caloduc, nous passerons par des différentes étapes :

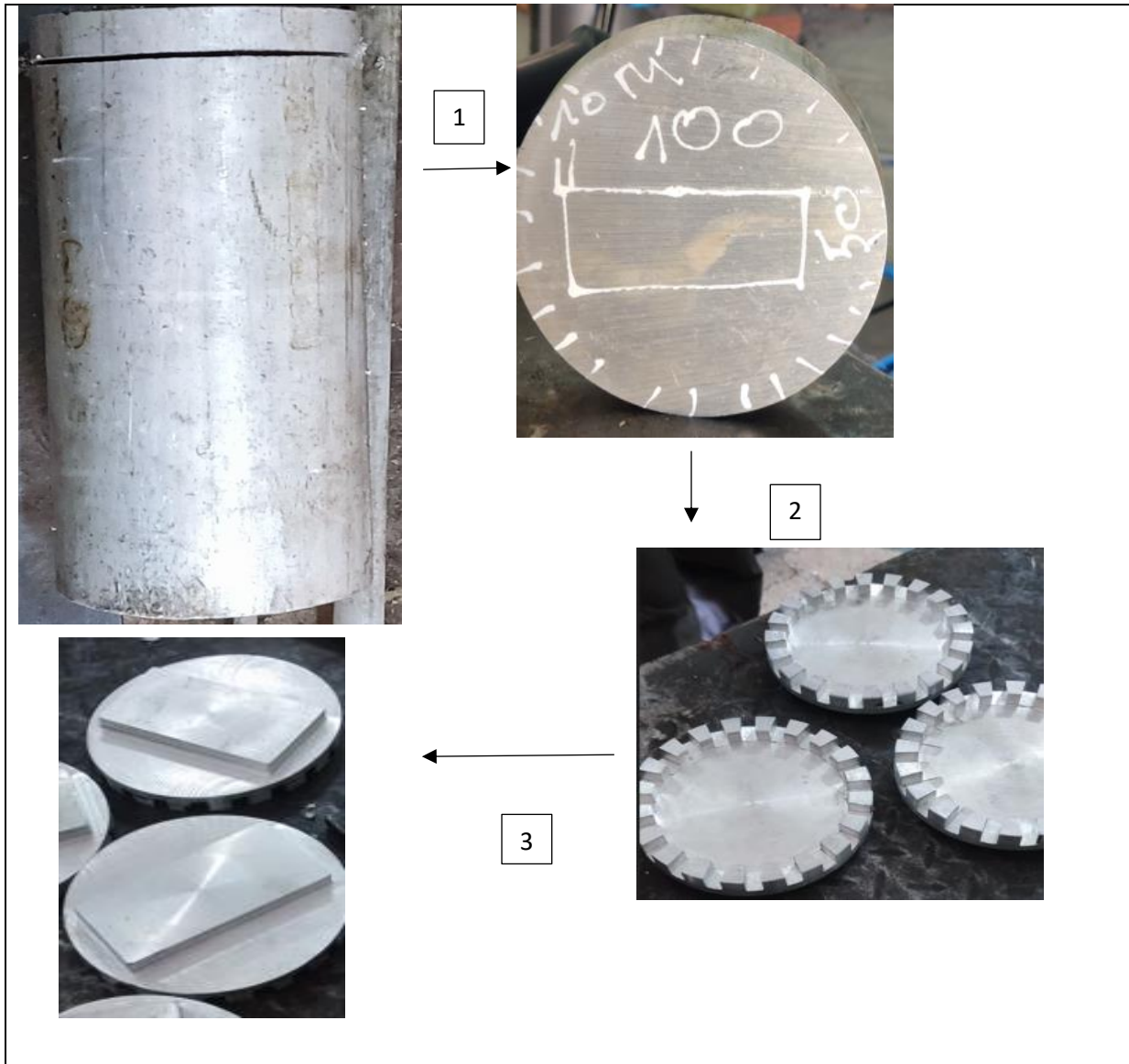
- **1<sup>e</sup> étape :** Conception des radiateurs en aluminium.  
Nous avons ramené de l'atelier de fraisage du département de mécanique un bloc d'aluminium pure de 12kg et de  $\varnothing 12,5$  cm et 25 cm d'hauteur.  
Nous l'avons pris chez un tourneur qualifié pour qu'il nous fabrique des radiateurs selon les données suivantes, voir figure (6-3) :
  - Coupure de 2 pièces d'épaisseur de 2,5 cm.
  - Fraisage et tournage de ces 2 pièces pour fixer d'un côté le ventilateur et de l'autre côté le module Peltier.



## Chapitre 6 : Réalisation d'un système de réfrigération thermoélectrique refroidi par caloduc

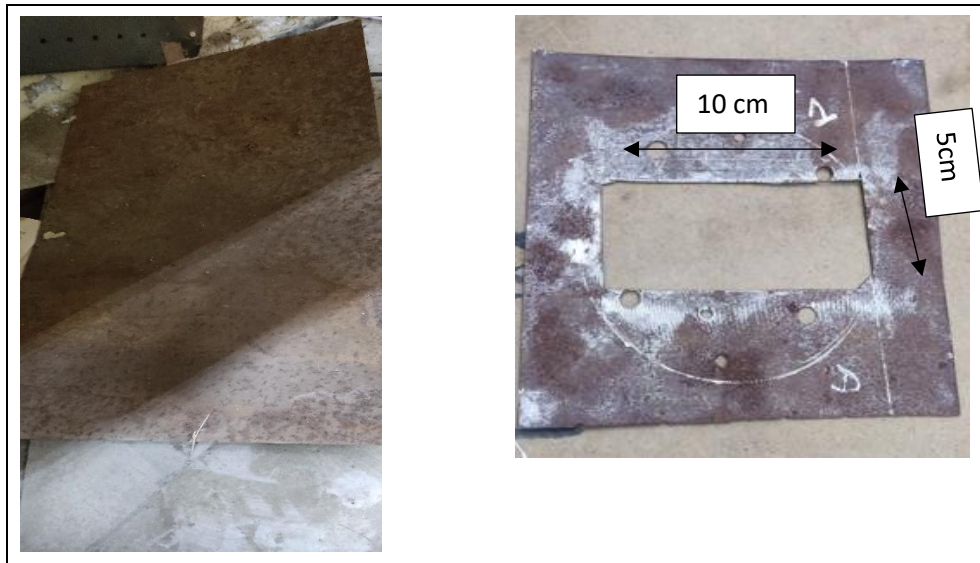
-Le côté du ventilateur, les radiateurs sont de  $\varnothing 10\text{cm}$ , épaisseur 0.5cm, les ailettes 1cm d'hauteur et 0.8cm d'espace entre elles.

-Le côté du Peltier, nous avons un support rectangulaire de 10cm de longueur et 5cm de largeur, 1cm d'épaisseur.



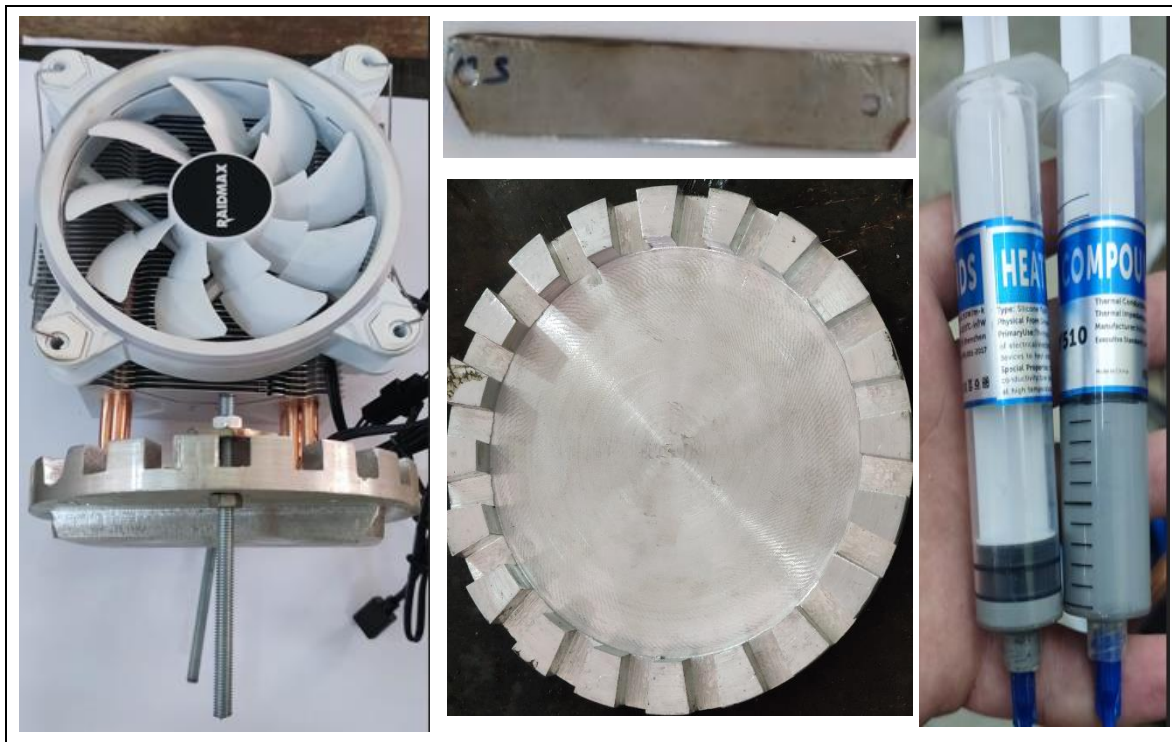
**Figure 6-3 :** Réalisation des radiateurs en aluminium.

- **2<sup>e</sup> étape :** Préparation du support des radiateurs.  
En utilisant la tronçonneuse :
  - Coupure d'un carré de 18x18 cm d'une tôle en acier, voir figure (6-4).



**Figure 6-4 :** Réalisation du support en acier.

- **3<sup>e</sup> étape :** Préparation et montage du Caloduc « heat pipe ».
  - Perçage de 2 trous dans le radiateur en aluminium.
  - Préparation d'une petite tôle dure en forme de rectangle pour fixer le caloduc.
  - Mettre de la pâte thermique entre le radiateur et le caloduc.
  - Fixation du caloduc avec le radiateur en utilisant une tige filetée + écrous.



**Figure 6-5 :** Fixation du caloduc avec le radiateur en aluminium.

- **4<sup>e</sup> étape :** Préparation et montage ventilateur avec le 2<sup>e</sup> radiateur.
  - Perçage de 4 trous dans le radiateur pour fixer le ventilateur.
  - Perçage de 2 trous dans le 2<sup>e</sup> radiateur pour l'assembler avec le 1<sup>e</sup> radiateur.
  - Mettre de la pâte thermique entre le ventilateur et le 2<sup>e</sup> radiateur.
  - Fixation du ventilateur avec le 2<sup>e</sup> radiateur par des écrous.



**Figure 6-6 :** Fixation du ventilateur avec le 2<sup>e</sup> radiateur.

- **5<sup>e</sup> étape :** Fixation des modules peltier et assemblage du module de refroidissement.
  - Mettre la tôle carrée entre les 2 rectangles des radiateurs.
  - Mettre de la pâte thermique entre les 2 supports des radiateurs et les modules peltier.
  - Mettre le côté froid du module peltier (côté d'écriture) vers le ventilateur et le côté chaud du module peltier vers le caloduc.
  - Fixation des modules peltier en utilisant un joint qui colle.
  - Faire sortir les fils du ventilateur et ceux des peltier vers le côté haut de la tôle.
  - Mettre un ressort dans les 2 tiges filetées.
  - Assemblage des 2 radiateurs et serrer les écrous des tiges.
  - Mettre un isolant entre les 2 radiateurs et le fixer en utilisant du chatterton.





**Figure 6-7 :** Assemblage du module de refroidissement.

- **6<sup>e</sup> étape :** Préparation du support en bois.  
- En utilisant la chignole, Perçage d'un trou de  $\text{Ø}13\text{cm}$  dans une plaque en bois, utiliser comme isolant entre le module de refroidissement et le réfrigérateur, voir figure (6-8).





**Figure 6-8 :** Préparation du support en bois.

- **7<sup>e</sup> étape :** Préparation du réfrigérateur.
  - En utilisant la tronçonneuse, perçage des trous de  $\varnothing 13\text{cm}$  dans le réfrigérateur.



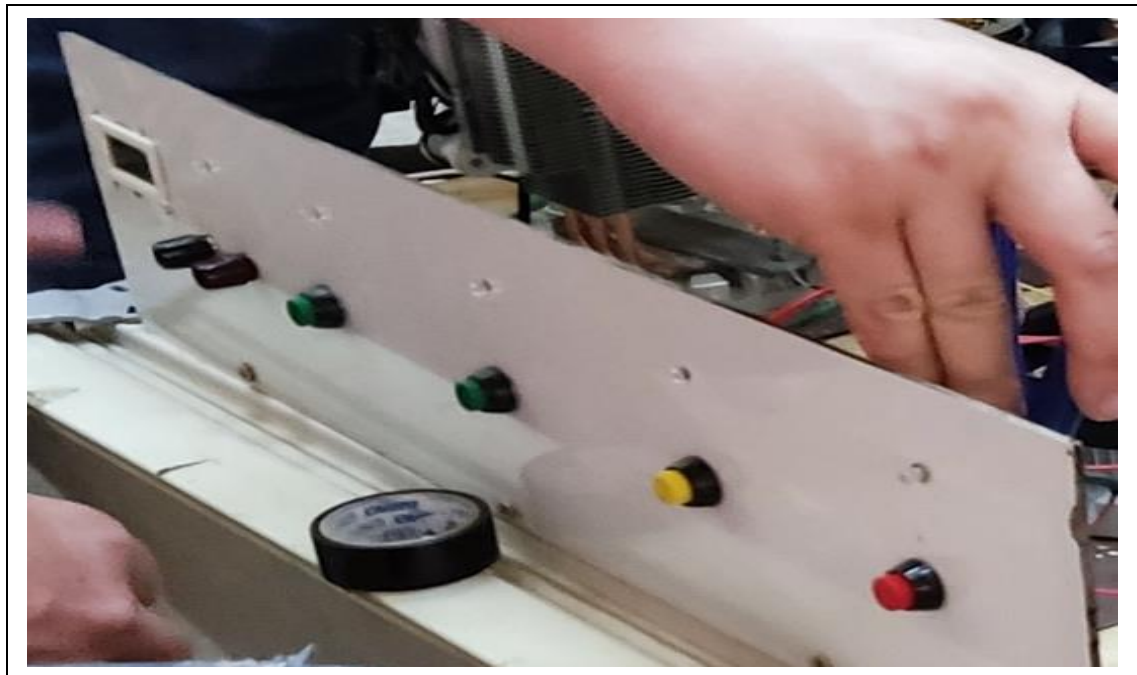
**Figure 6-9 :** Préparation du réfrigérateur.

- **8<sup>e</sup> étape :** Préparation et fixation du plexiglas avec le support en bois.
  - Fixation du plexiglas avec le support en bois en utilisant des vis.
  - En utilisant la chignole, perçage des trous des leds et des interrupteurs à bouton-poussoir.
  - En utilisant la tronçonneuse, coupure d'un rectangle du plexiglas pour fixer le capteur de température, voir figure (6-10).



**Figure 6-10** : Fixation et préparation du plexiglas.

- **9<sup>e</sup> étape** : Câblage et assemblage du système de refroidissement thermoélectrique.
  - Fixation des leds et des interrupteurs à bouton-poussoir.
  - Fixation de port de phase et neutre.
  - Dénuder les câbles.
  - En utilisant le fer à souder et l'étain, raccordement du système selon le schéma électrique, voir figure (6-12).
  - Protection des câbles en utilisant des gaines et chatterton.



**Figure 6-11** : Fixation des leds et interrupteurs.

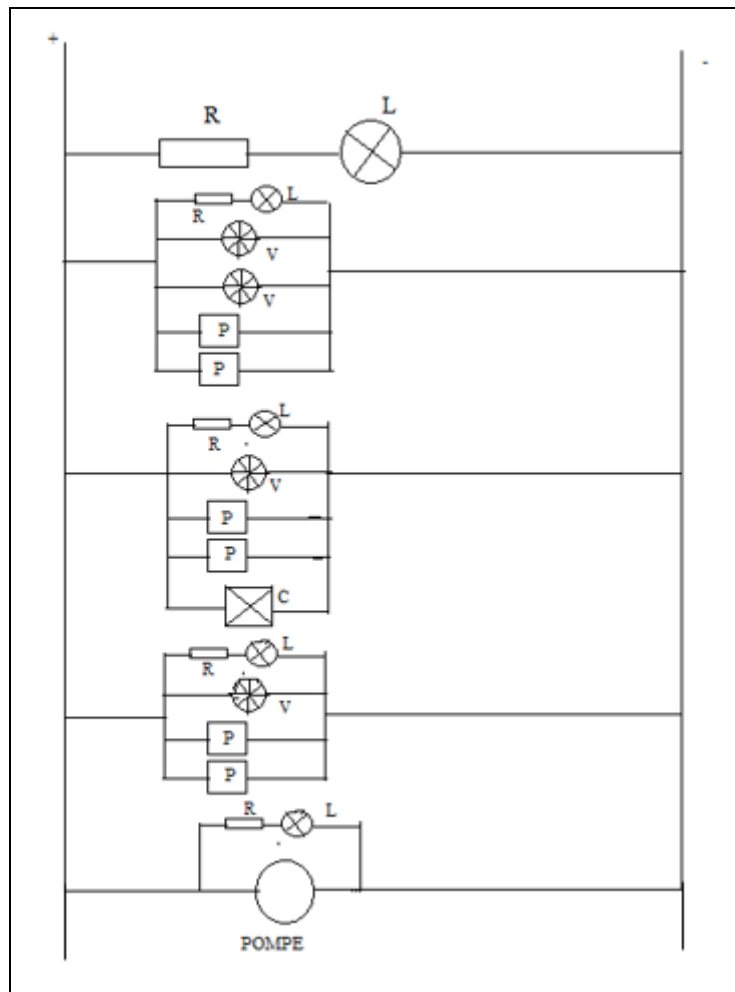


Figure 6-12 : Schéma électrique du système de refroidissement thermoélectrique.

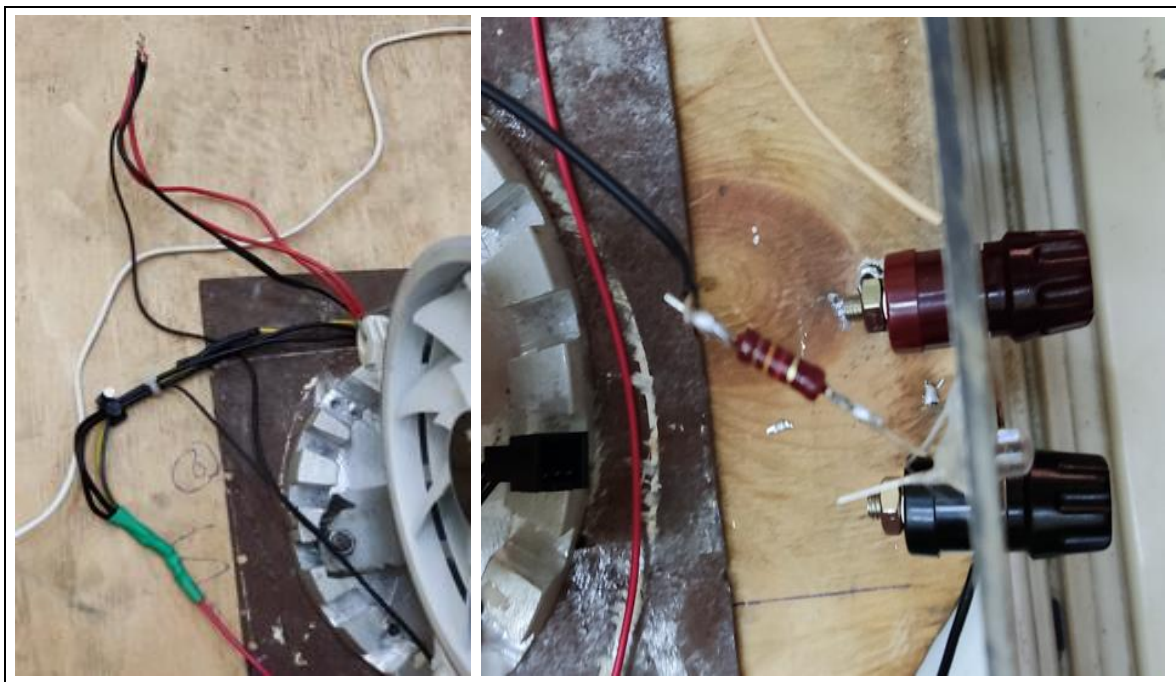
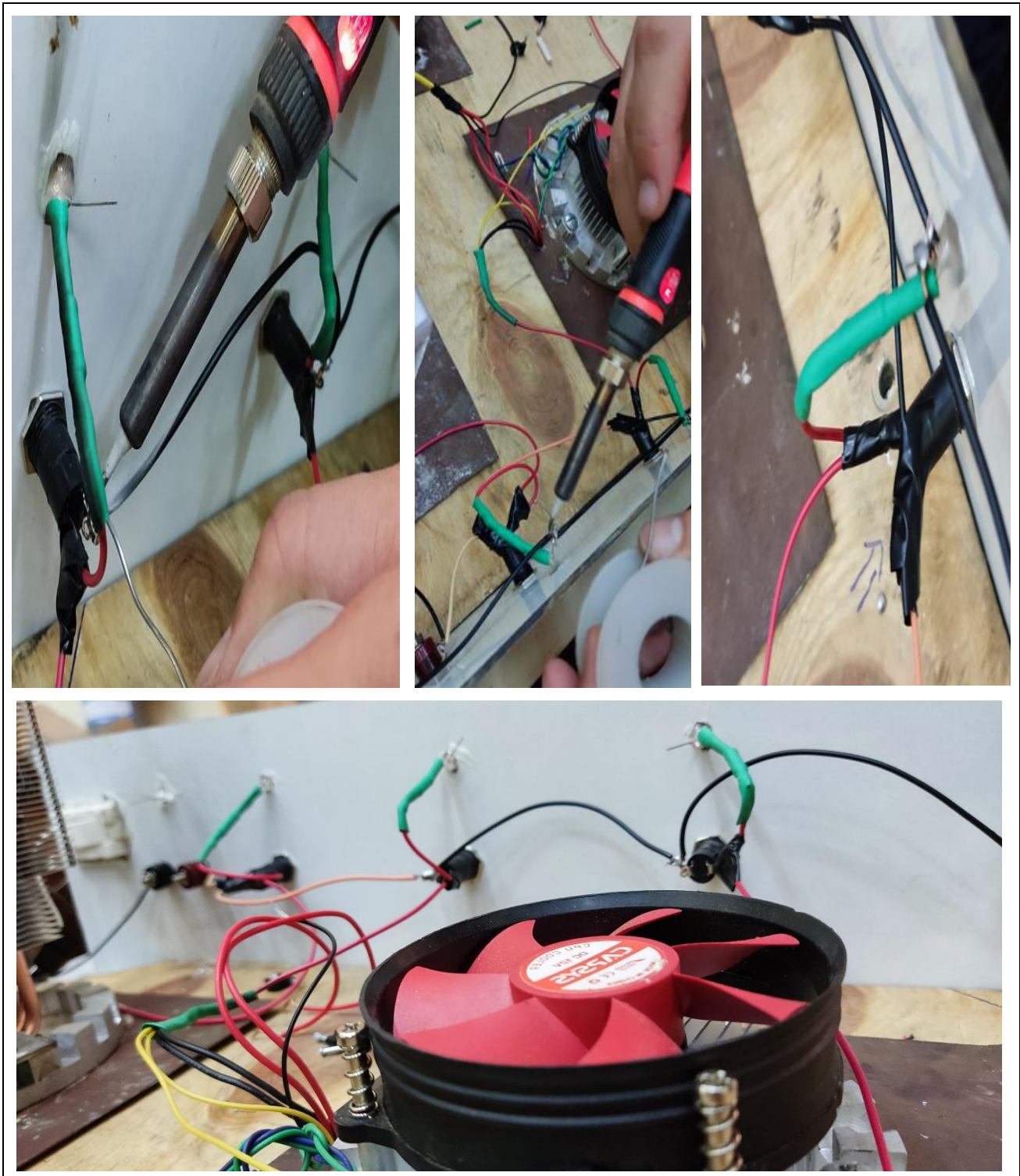
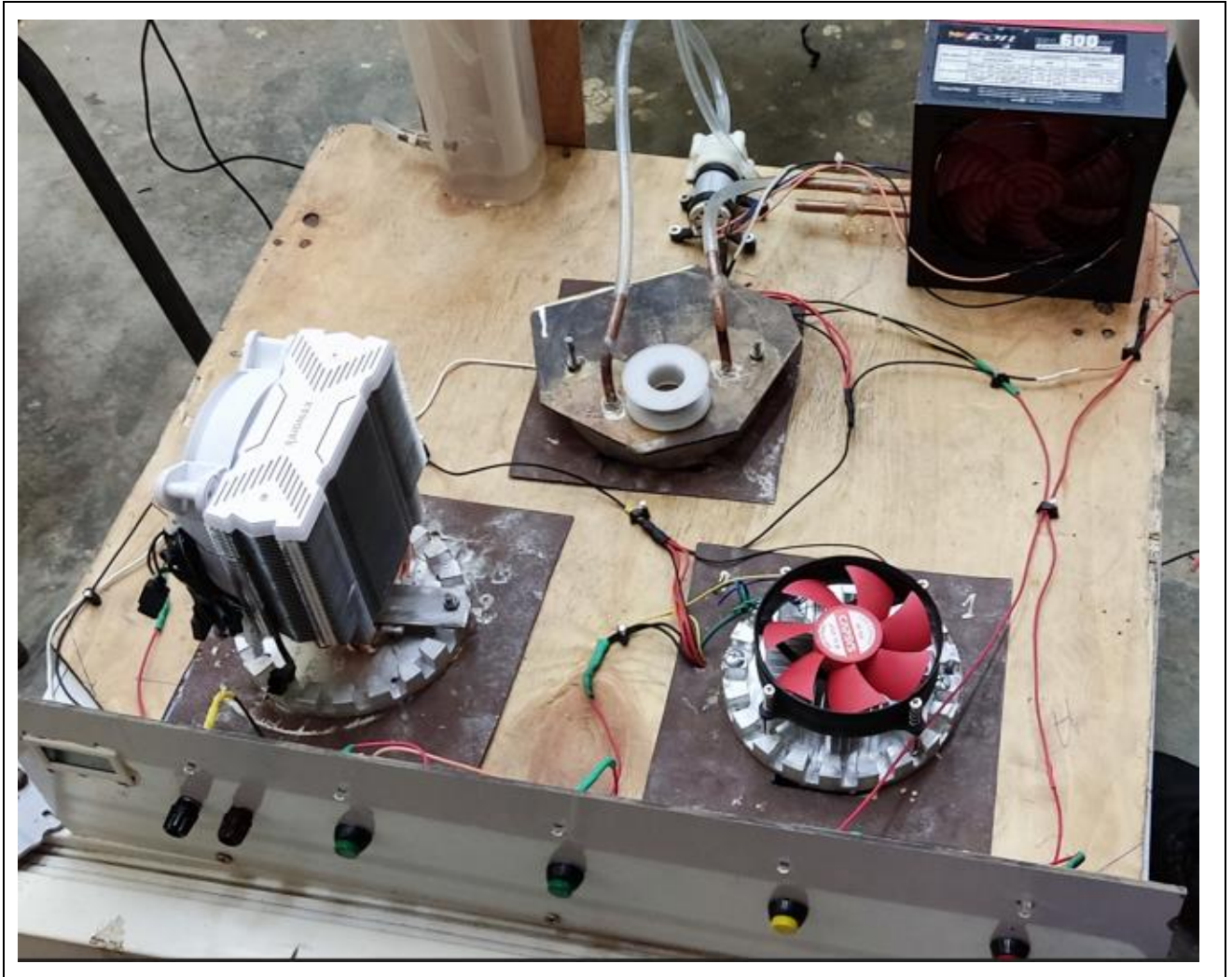


Figure 6-13 : Dénuder les câbles et soudure de la résistance.





**Figure 6-14** : Soudure et protection des câbles avec les leds et interrupteurs.



**Figure 6-15 :** Assemblage final du réfrigérateur thermoélectrique.

#### **6-4- Mise en marche du réfrigérateur thermoélectrique refroidi par caloduc :**

##### **6-4-1\* Procédure de vérification avant mise en marche :**

- Vérification visuelle de l'état de l'installation.
- S'assurer de la protection de la soudure des câbles.
- Vérification du fonctionnement du caloduc et le ventilateur.

##### **6-4-2\* Procédure de mise en marche :**

- Alimentation du système par un générateur 12V.
- Mise en marche des leds.
- Mise en marche du caloduc.
- Mise en marche du ventilateur.
- Mise en marche des modules peltier.

## **Chapitre 7**

### **Réalisation de l'acquisition des données**

## 7-1-Introduction :

Le système d'acquisition de données est l'interface qui relie le capteur au Pc. Ce système logiciel permet le recueil automatique d'informations analogiques ou numériques à partir du capteur.

Dans ce chapitre, nous allons réaliser une alimentation en 12 Volts pour alimenter notre système ainsi que la carte Arduino Uno et les capteurs.

## 7-2-La carte Arduino Uno :

### 7-2-1\* Historique :

En 2005, un projet dont personne n'avait imaginé les conséquences fut lancé à l'Interactive Design Institute Ivrea, à Ivree en Italie. Une plaque de prototypage fut développée pour donner aux étudiants un moyen simple de concevoir des produits innovants. Un nom revient sans cesse dans ce contexte, celui de Massimo Banzi. C'est l'un des Co-développeurs et cofondateurs de la société Arduino LLC. Pour l'anecdote, le nom Arduino a été emprunté à un bar d'Ivree où se réunissaient régulièrement les instigateurs du projet.

La philosophie qui a motivé ce projet est la simplification et la facilitation de l'accès à l'univers de l'électronique et des microcontrôleurs afin que chacun puisse l'utiliser sans être pour autant un spécialiste de ces domaines. La grande disponibilité et le coût modique de la Carte Arduino, ainsi que des composants et modules électroniques, ont également contribué à la popularité rapide de la carte.



Figure 7-1 : Logo de l'Arduino.

### 7-2-2\* Définition :

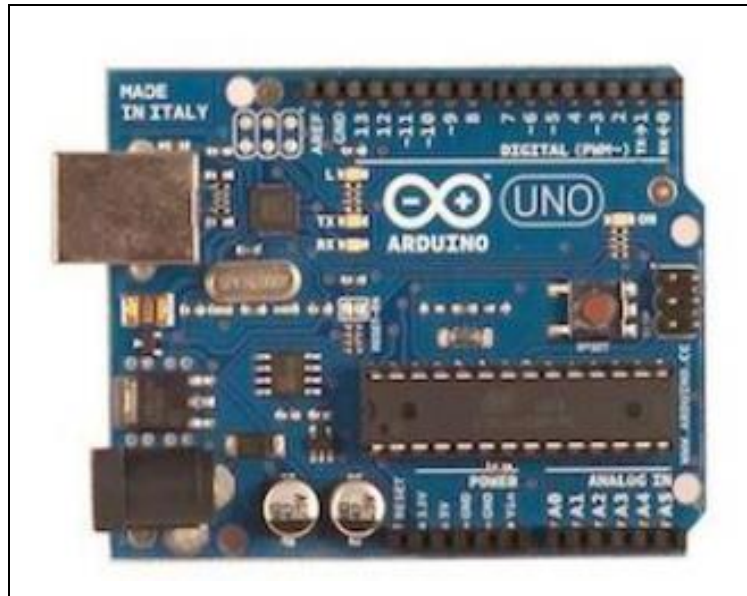
Tout d'abord, une plate-forme en informatique est une base de travail à partir de laquelle on peut écrire, lire, utiliser et développer un ensemble de logiciels ou de programmes. "Arduino®" est une plate-forme constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Le terme "Arduino®" désigne donc à la fois la plate-forme, la carte électronique, le logiciel et le langage de programmation.

La carte Arduino® est une petite carte électronique programmable avec le logiciel multiplateforme gratuit Arduino®. C'est un circuit imprimé sur lequel se trouve un



microordinateur appelé microcontrôleur qui peut être programmé pour produire ou recevoir et analyser des signaux électriques.



**Figure 7-2 :** La carte Arduino Uno.

### 7-2-3\* Description :

Une carte Arduino® est essentiellement composée des éléments suivants :

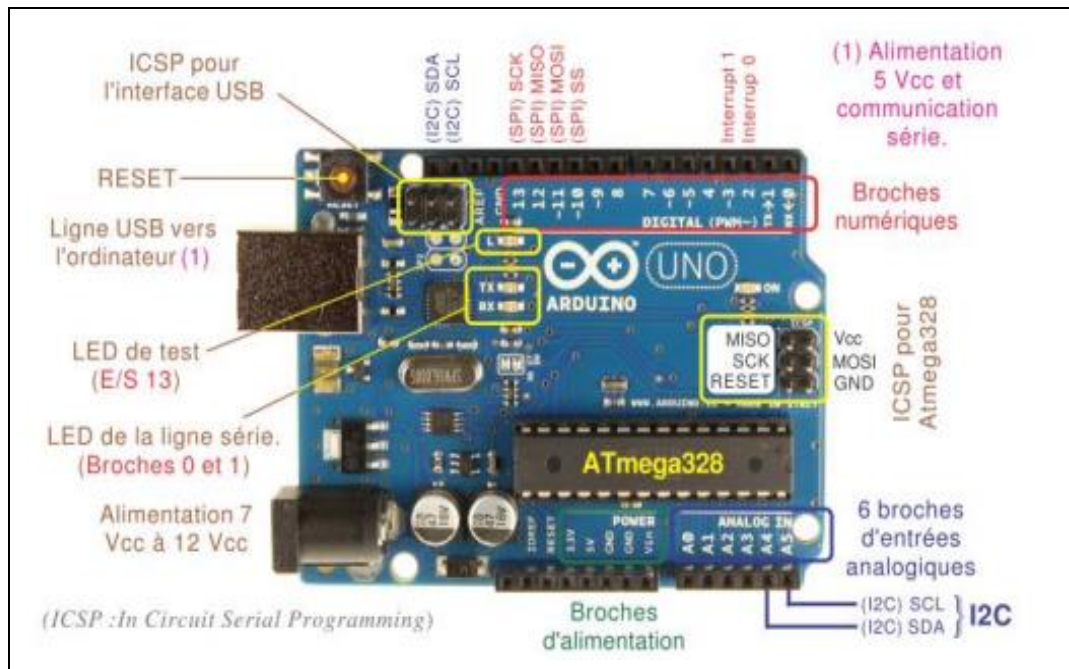
- Circuit imprimé : C'est une sorte de plaque sur laquelle sont soudés plusieurs composants électroniques reliés entre eux par un circuit électrique plus ou moins compliqué. L'Arduino est donc un circuit imprimé. La photo donne une idée de la taille par rapport à la connexion USB carrée.
- Matériel libre : En fait, les plans de la carte elle-même sont accessibles par tout le monde, gratuitement. La notion de libre est importante pour des questions de droits de propriété.
- Microcontrôleur : C'est le cœur de la carte Arduino. C'est une sorte d'ordinateur minuscule (mémoire morte, mémoire vive, processeur et entrées/sorties) et c'est lui que nous allons programmer. Sur la photo précédente, c'est le grand truc rectangulaire noir avec plein de pattes. Une fois lancé et alimenté en énergie, il est autonome. La force de l'Arduino est de nous proposer le microcontrôleur, les entrées/sorties, la connectique et l'alimentation sur une seule carte. La carte Arduino est construite autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (pas toujours le même en fonction de la date de sortie de la carte) avec une capacité de mémoire de 32000 octets pour l'Arduino Uno. Soit 32 Ko, ce qui n'est vraiment pas beaucoup et qui permet pourtant de réaliser un max de projets.

La Carte Arduino UNO dispose de :

- \* 14 broches numériques d'entrées/sorties : les 6 broches peuvent être utilisées en sorties PWM.



- \* 6 entrées analogiques qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numérique.
- \* Un quartz 16Mhz.
- \* Une connexion USB.
- \* Un connecteur d'alimentation jack.
- \* Un bouton de réinitialisation ou bouton de reset.



**Figure 7-3 :** Schéma descriptif de la carte Arduino Uno.

#### 7-2-4\* Les différentes cartes Arduino :

Il suffit d'un coup d'œil pour constater que les cartes se différencient par leur taille et par le nombre de broches de connexions, et donc de possibilités de raccordement avec le monde extérieur. Elles ont aussi différents processeurs, fréquences d'horloge et capacités de stockage.

Pourtant, elles fonctionnent toutes selon le même principe et elles peuvent être adressées et programmées par l'intermédiaire du même environnement de développement. Selon le domaine d'application et des besoins du projet, une carte Arduino sera peut-être plus adaptée qu'une autre. L'un aura besoin d'une carte dotée de nombreuses broches d'E/S et choisira par exemple l'Arduino Méga ou la Due. L'autre préférera l'Arduino Micro ou Nano pour leur petite taille qui leur permet de se glisser dans un petit boîtier.

Les différentes cartes Arduino sont représentées dans la figure (7-4).

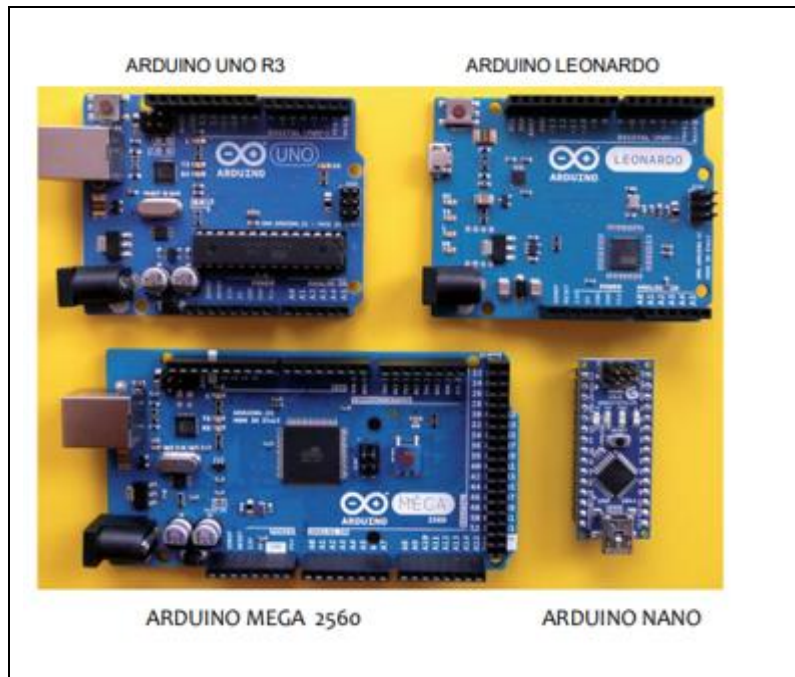


Figure 7-4 : les Types de carte Arduino

Voici un schéma qui résume les principales interactions en jeu lorsque l'on programme une carte Arduino pour contrôler du matériel. Les flèches vertes indiquent la circulation des signaux électriques, la flèche orange pointillée représente l'envoi du programme vers l'Arduino et les flèches bleues les interactions avec le monde réel, voir figure (7-5).

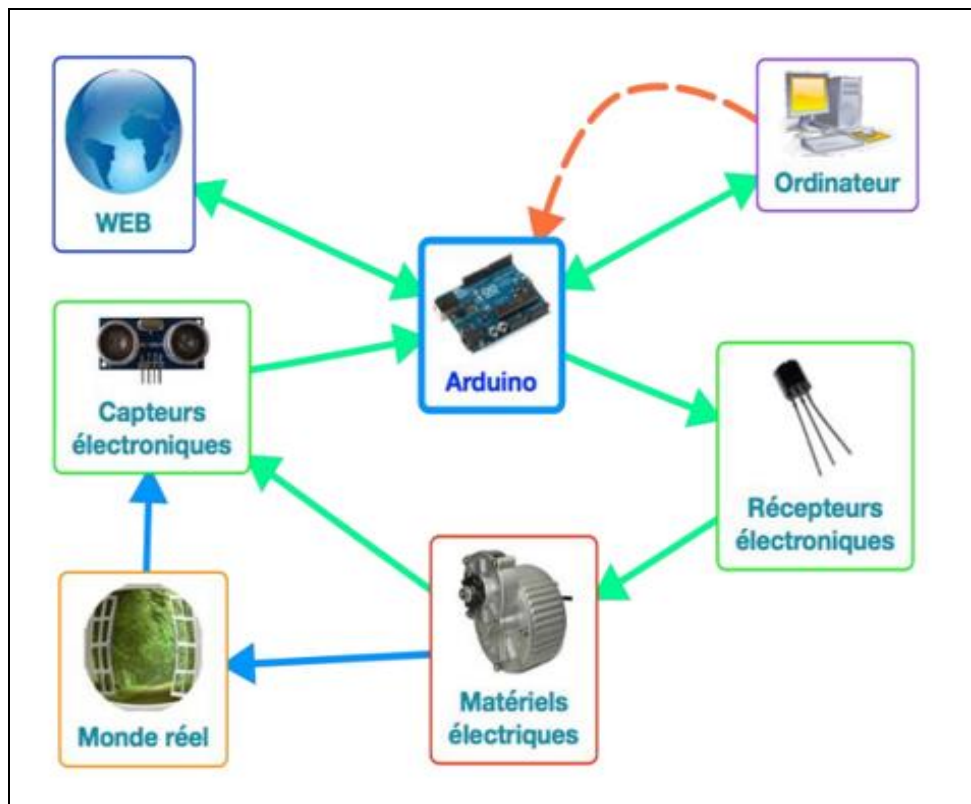


Figure 7-5 : Architecture d'un système à base d'une carte Arduino.

### 7-3-Les capteurs utilisés :

#### 7-3-1\*Capteur de courant ACS712 :

##### a) Définition :

Le module de capteur de courant est un appareil utilisé pour effectuer des mesures de courant.

Ce capteur possède trois broches : VCC, GND et OUT. Lorsque le capteur détecte un flux de courant, il émet un signal de sortie analogique (tension) qui décroît de manière linéaire avec le courant détecté. Ce capteur peut être utilisé dans une variété d'application, notamment les circuits de protection contre les surintensités, les chargeurs de batterie, les alimentations à découpage, les wattmètres numériques. La raison de choisir ce modèle, ils sont moins chers, une consommation d'énergie négligeable et compatibles avec l'Arduino.

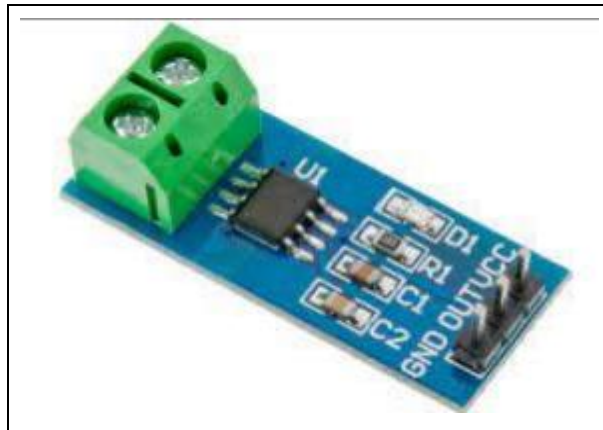


Figure 7-6 : Capteur de courant ACS712.

##### b) Caractéristiques :

- Sensibilité : 100mV par ampère pour le capteur 20A (400mv/A pour un capteur 5A)
- Tension logique : 4.5 V - 5.5 VV
- Consommation : 10mA
- Isolation : 2.1 KV
- Délai de répercussion sur la sortie : 5  $\mu$ S
- Erreur : 1.5% à 25 °C
- Résistance interne de conduction : 12 m Ohms
- Tension de sortie stable
- Presque pas d'hystérésis magnétique
- Poids : ~ 2 grammes
- Bruit sur l'ACS712 : environ 130 mA avec la capacité de filtrage de 10 nF. Le bruit peut être significativement réduit en utilisant une capacité de 470 nF.

## c) Le câblage avec Arduino :

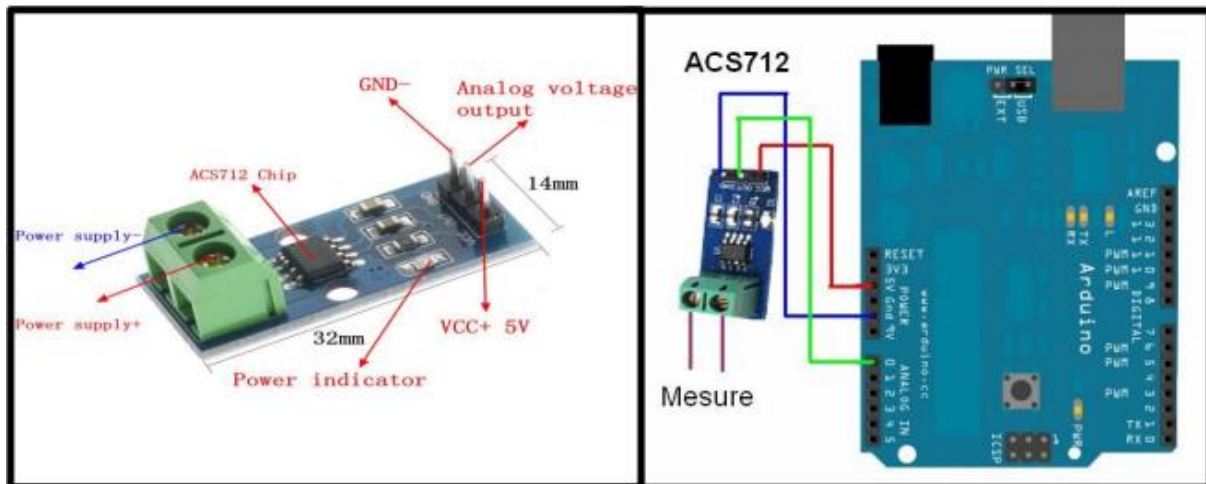


Figure 7-7 : Câblage du ACS712 avec Arduino.

## d) Programmation avec Arduino :

```

my-code-acs712_K
//sensor acs712 code
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Set the LCD address to 0x27 or 0x3f for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

float multiplier =-0.185; //Sensibility in Voltios/Ampers for the 5A model

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  float SensorRead = analogRead(A0)*(5.0 / 1023.0); //We read the sensor output
  float Current = (SensorRead-2.5)*multiplier; // ??????? * or / Calculate the current value
  Serial.println(SensorRead);
  Serial.print("Current: ");
  Serial.println(Current, 3);

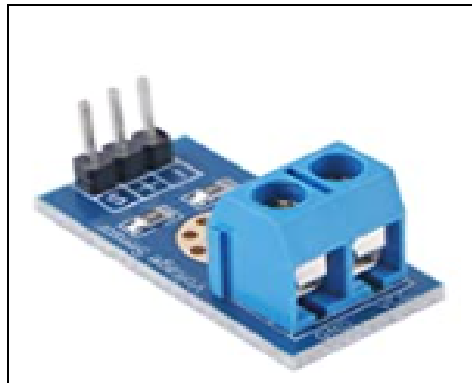
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Current: ");
  lcd.setCursor(6,1);
  lcd.print(Current);
  delay(1000);
}

```

Figure 7-8 : Programmation du ACS712 avec Arduino.

**7-3-2\*Capteur de tension <25 V :****a) Définition :**

Ce module est basé sur un principe de séparation résistif, réduit la tension d'entrée du terminal de l'interface 5 fois, la tension d'entrée analogique Arduino jusqu'à 5 V, la tension d'entrée du module de détection de tension ne peut pas être supérieure à  $5 \text{ V} \times 5 = 25 \text{ V}$  Puisque les puces Arduino AVR sont utilisées en 10 AD.



**Figure 7-9 :** Capteur de tension <25V.

**b) Caractéristique :**

- La résolution du module analogique est de :  $0,00489 \text{ V}$  ( $5 \text{ V}/1023$ ).
- Le module de détection de tension détecte une tension d'entrée minimale de :  $0,00489 \text{ V} \times 5 = 0,02445 \text{ V}$ .
- Plage d'entrée de tension : DC0–25 V.
- Plage de détection de tension : DC0,02445–25 V.
- Résolution analogique de tension :  $0,00489 \text{ V}$ .

**c) Câblage avec Arduino :**

- Interface de sortie : "+" connecté 5/3. 3 V, "-" connecté GND, "s" connecté pour les broches publicitaires Arduino.
- Interface d'entrée cc : borne rouge positive avec VCC, négative avec GND.

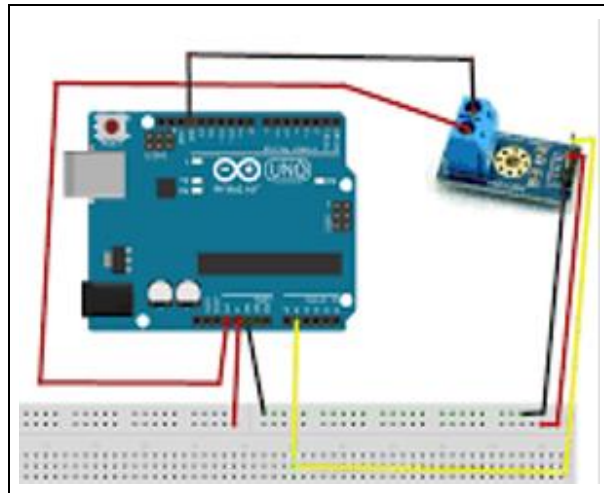


Figure 7-10 : Câblage du capteur de tension avec Arduino.

d) Programmation avec Arduino :

```
/*
DC Voltmeter Using a Voltage Divider
Based on Code Created By
T.K.Hareendran
*/

int analogInput = A1;
float vout = 0.0;
float vin = 0.0;
float R1 = 30000.0; //
float R2 = 7500.0; //
int value = 0;
void setup() {
  pinMode(analogInput, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("DC VOLTMETER");
}
void loop() {
  // read the value at analog input
  value = analogRead(analogInput);
  vout = (value * 5.0) / 1024.0; // see text
  vin = vout / (R2/(R1+R2));

  Serial.print("INPUT V= ");
  Serial.println(vin, 2);
  delay(500);
}
```

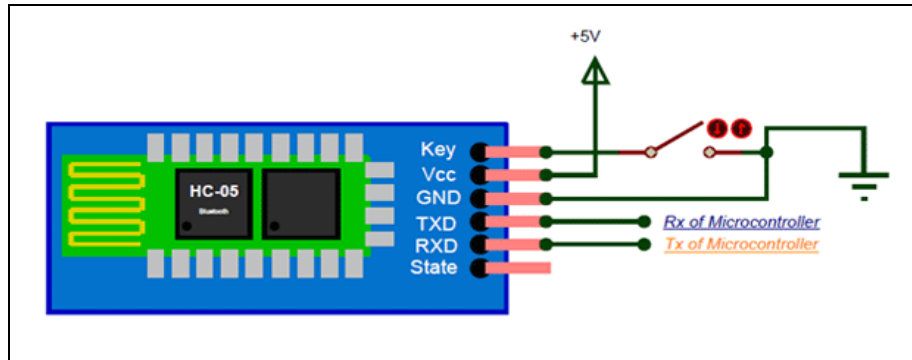
Figure 7-11 : Programmation du capteur de tension avec Arduino.



**7-3-3\*Module Bluetooth HC-05 :**

**a) Définition :**

Le module Bluetooth HC-05 est un module Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) facile à utiliser, conçu pour une configuration de connexion série sans fil transparente. Sa communication se fait par série, communication qui facilite l'interface avec le contrôleur ou le PC. Bluetooth HC-05, le module fournit le mode de commutation entre le mode maître et le mode esclave, ce qui signifie qu'il peut utiliser ne reçoit ni ne transmet de données.



**Figure 7-12 :** Module HC-05.

**b) Caractéristique :**

- Modèle : HC-05
- Tension d'entrée : 5 V CC
- Méthode de communication : communication série
- Les modes maître et esclave peuvent être commutés

**c) Câblage :**

Broche	Description	Fonction
VCC	+5V	Connecter à +5V
GND	Terre	Connecter à la terre
TXD	UART_TXD, Série Bluetooth, Broche d'envoi du signal	Connectez-vous avec les MCU (microcontrôleur et etc.) PIN RXD.
RXD	UART_RXD, Série Bluetooth, Broche de réception du signal	Connectez-vous avec les MCU (microcontrôleur et etc.) PIN TXD.
Key	Changement de mode Saisir	S'il s'agit d'un niveau bas d'entrée, le module est en mode apparié ou communication. Si le niveau d'entrée est élevé, le module entrera en mode AT.

**Tableau 7-1 :** Broches définitions.

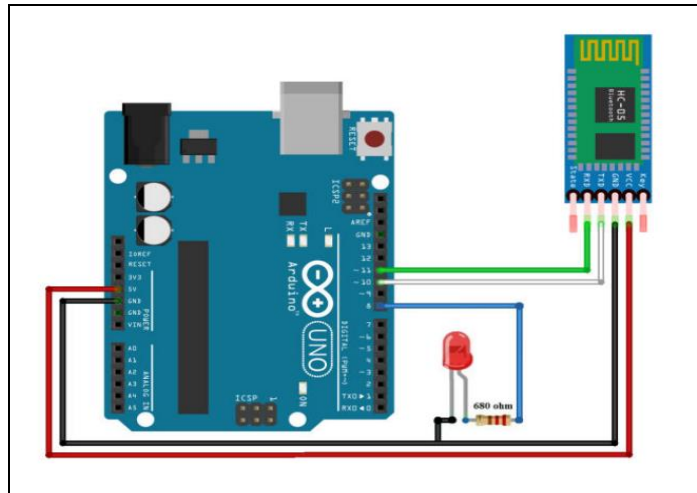


Figure 7-13 : Câblage du module HC-05 avec Arduino.

d) Programmation :

```

/*Created by Benoit THOMAS */
#include <SoftwareSerial.h> // importe la librairie SoftwareSerial qui permet de communiquer plus facilement avec l'ordinateur
#define pin_led 8 // associe la variable pin_led au pin 8
SoftwareSerial hc_05(11, 10); // attribue les pins 10 et 11 pour la communication RX et TX (pin Rx BT, pin Tx BT)
char text; // variable de stockage

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Ouvre la voie série avec l'ordinateur
  hc_05.begin(9600); // Ouvre la voie série avec le module BT
  pinMode(pin_led, OUTPUT); //définit pin_led en mode sortie
}

void loop() // Partie du code qui tourne en boucle
{
  if (hc_05.available()) { //vérifie si hc_05 est connecté
    text = hc_05.read(); // associe la valeur envoyé par hc_05 a la variable text
    Serial.print(text); //affiche sur le Serial la valeur envoyé par hc_05

    if (text == 'a') // boucle qui permet allumer la led, condition valide si hc_05 envoie 'a' (définit depuis l'app )
      digitalWrite(pin_led, HIGH); //allume la led

    else if (text == 'A') //sinon : condition si hc_05 envoie 'A'(définit depuis l'app)
      digitalWrite(8, LOW); //éteint la led
  }
}

```

Figure 7-14 : Programmation du HC-05 avec Arduino.



### 7-3-4\*L'afficheur LCD 20x4 :

#### a) Description :

L'afficheur LCD 20 x 4 caractères rétro-éclairé se raccordant via le bus I2C sur un microcontrôleur compatible Arduino® par exemple.

Le module se raccorde sur une carte compatible Arduino® par l'intermédiaire de la carte multi-interface DFR0074 via un câble 4 contacts non inclus. Il peut aussi se raccorder directement sur une carte Arduino® via des câbles de liaison non inclus.

Remarques :

- La nouvelle version 1.2 de cet afficheur comporte un brochage différent de la précédente. Les broches du connecteur sont dans l'ordre suivant : VCC, GND, SCL et SDA.



Figure 7-15 : Afficheur LCD 20 x 4.

#### b) Caractéristiques :

- Alimentation : 3,3 et 5 VCC.
- Interface I2C.
- Adresse I2C : 0x20 (0x20 à 0x27 via cavaliers).
- Caractères blancs sur fond bleu.
- Contraste ajustable via potentiomètre.
- Dimensions : 98 x 60 x 24 mm

#### c) Câblage avec Arduino :

Afficheur LCD I2C	Arduino
GND	GND
VCC	+5V
SDA	A4
SCL	A5

Tableau 7-2 : Correspondance entre l'afficheur LCD et l'Arduino.

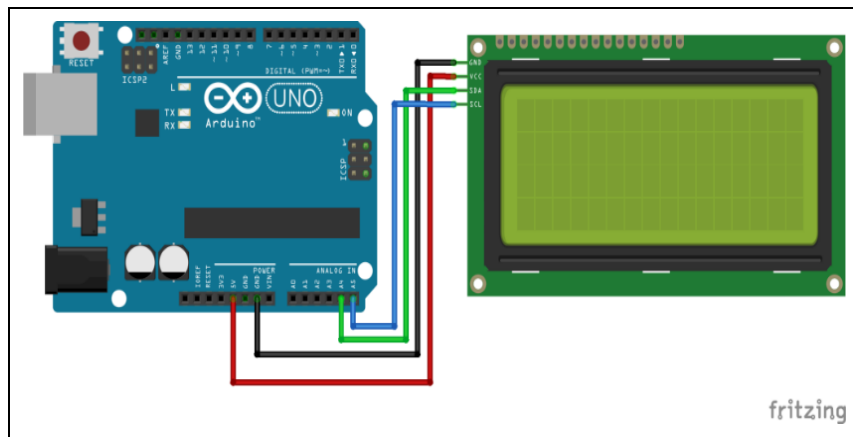


Figure 7-16 : Câblage de l'afficheur LCD 20x4 avec Arduino.

d) Programmation avec Arduino :

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

//----- Adressage matériel -----
// En cas de non fonctionnement, mettez la ligne 8 en
// commentaire et retirez le commentaire à la ligne 9.

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
//LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,20,4);

void setup()
{
  lcd.init(); // initialisation de l'afficheur
}

void loop()
{
  lcd.backlight();
  // Envoi du message
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(" Go Tronic");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(" ");
  lcd.setCursor(0, 2);
  lcd.print(" I2C Serial");
  lcd.setCursor(0, 3);
  lcd.print(" LCD");
}
```

Figure 7-17 : Programmation de l'afficheur LCD 20x4 avec Arduino.

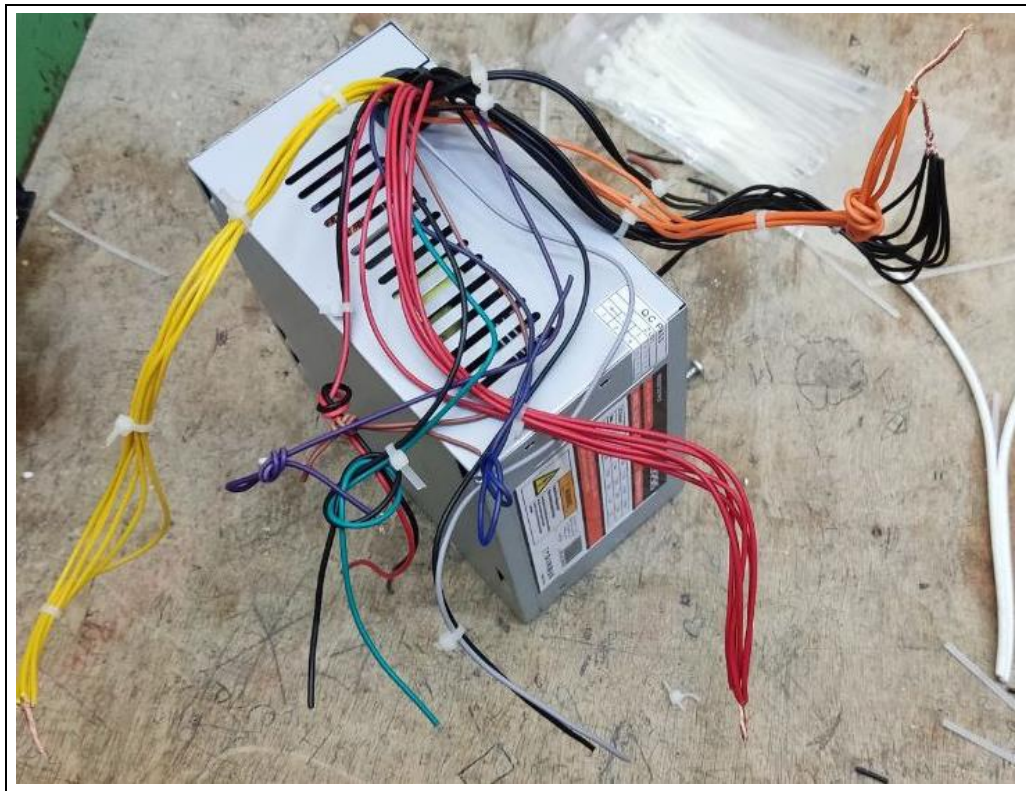
#### 7-4-Réalisation de l'alimentation en 12 volts :

- 1<sup>er</sup> étape : Réalisation de l'alimentation.



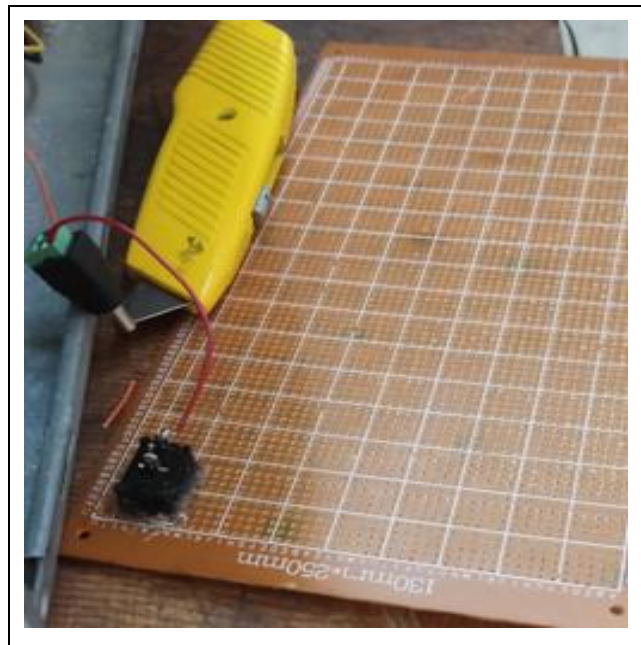
**Figure 7-18** : Une alimentation ATX.

- Nous avons utilisé une unité centrale de Pc vide, on l'utilisait pour notre système d'acquisition des données.
- Nous avons dénudé les fils de l'alimentation, voir figure (7-19).



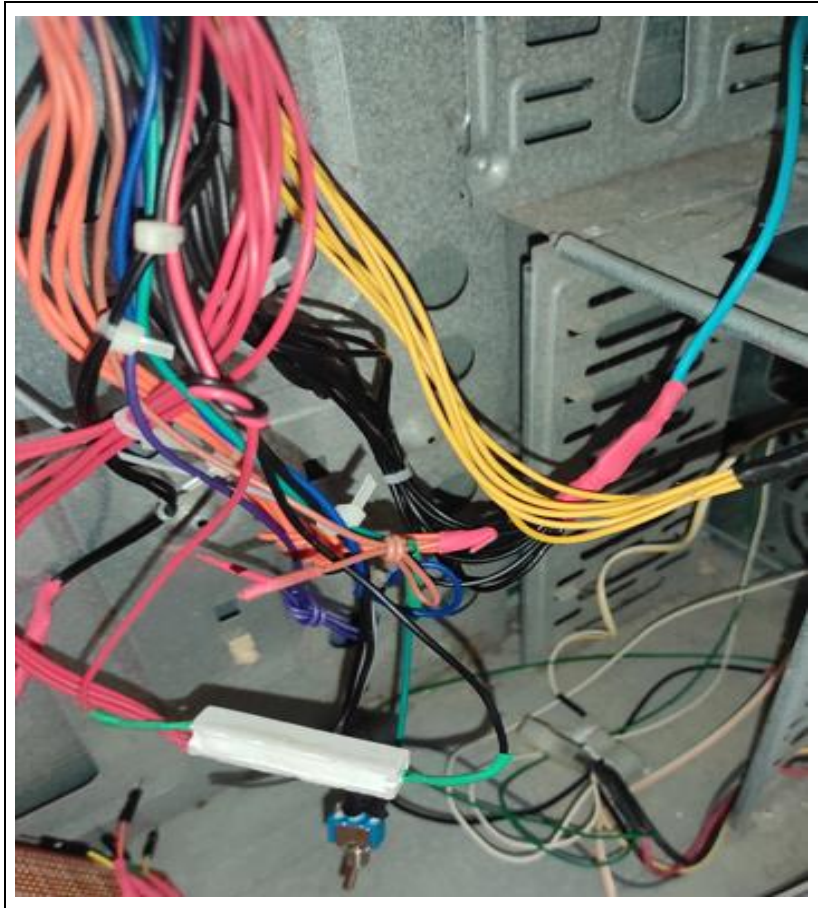
**Figure 7-19** : Préparation de l'alimentation 12V.

- Nous avons transformé une alimentation ATX de Pc en alimentation 12V conformément aux étapes ci-dessous :
  - a) Nous avons réservé un fil rouge et un fil noir pour alimenter la résistance 10 ohms/10W.
  - b) Nous avons fixé un interrupteur sur une plaque d'essai.
  - c) Nous avons réservé deux files rouges et deux files noires pour alimenter la carte Arduino. On les a assemblés vers un interrupteur, voir figure (7-20).
  - d) Nous avons regroupé le reste des files rouges en les protégeant par une gaine.
  - e) Nous avons réservé 1 fil noir et un fil vert pour les souder avec l'interrupteur => permet la mise en service de l'alim.
  - f) Nous avons soudé un fil gris et un fil noir vers une led « info alimentation ».
  - g) Nous avons groupé les files jaunes et le reste des files noires pour alimenter le système en 12 Volts, nous les avons soudé vers des bornes « positive+, négative -»
  - h) Nous avons protégé le reste des files par des gaines.



**Figure 7-20 :** Fixation de l'interrupteur de la carte Arduino.





**Figure 7-21** : Réalisation de l'alimentation 12V.

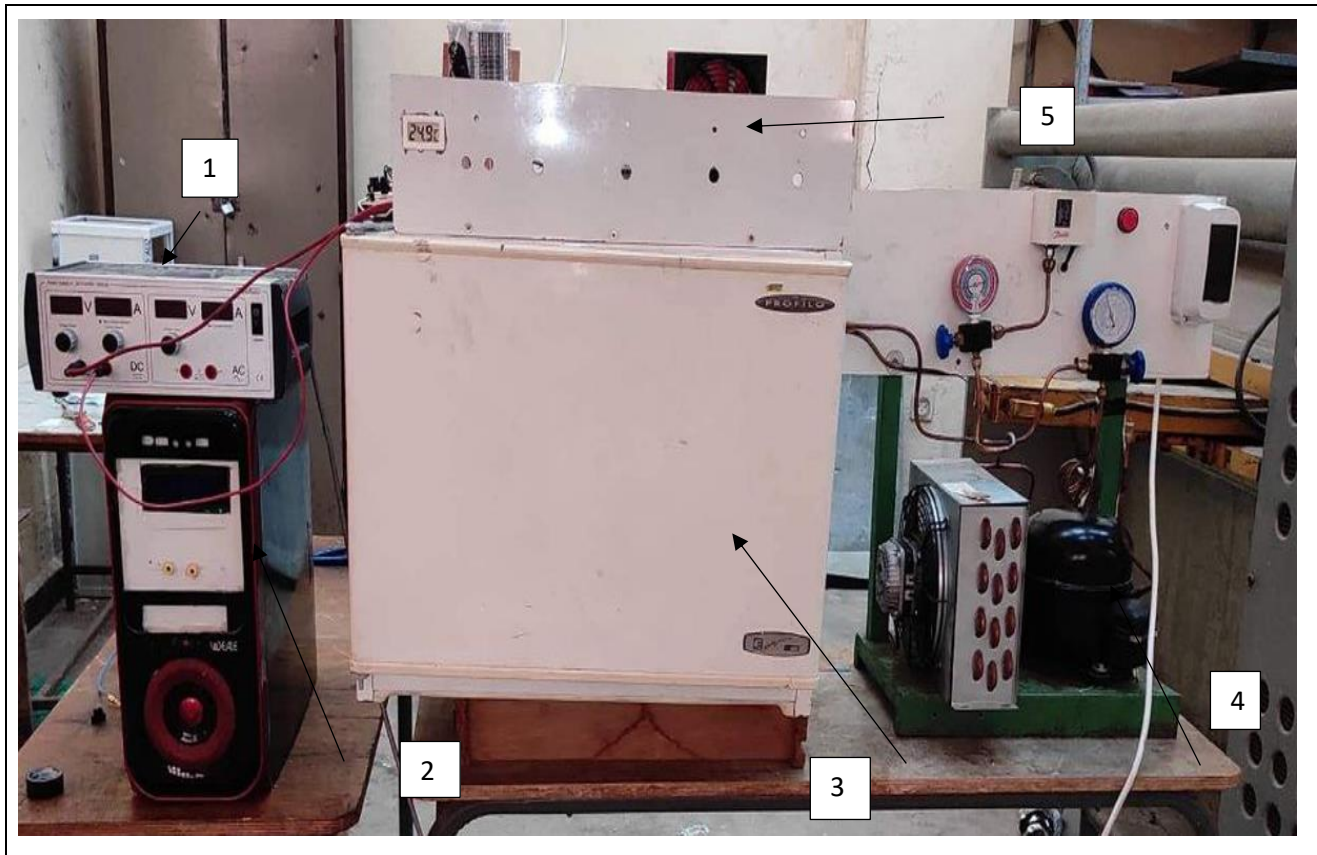
- **2<sup>e</sup> étape** : Fixation de l'afficheur LCD.
- Nous avons ramené un contreplaqué et coupé un rectangle selon les mesures de l'afficheur LCD.
- En utilisant le pistolet à colle, nous avons fixé l'afficheur LCD.



**Figure 7-22** : Montage de l'afficheur LCD.

### 7-5-Mise en marche du système de réfrigération hybride :

- Mise en marche de l'alimentation 12V.
- Mise en marche de la machine frigorifique à compression de vapeur.
- Mise en marche du système de réfrigération thermoélectrique.
- Mise en marche avec le générateur de tension. (Pour manipuler le voltage et l'ampérage).



1	Générateur de tension
2	Unité d'alimentation
3	Réfrigérateur
4	Machine frigorifique à compression de vapeur
5	Réfrigérateur thermoélectrique

**Figure 7-23 :** Assemblage final du réfrigérateur hybride.

## **Conclusion générale**

## **Conclusion générale :**

Au terme de ce travail sur la production du froid par compression à vapeur et par effet thermoélectrique, il ressort après une étude bibliographique des différents systèmes de production du froid que le meilleur système jusqu'à l'heure actuelle est le système à compression de vapeur. Cependant, parmi les autres systèmes seuls les modules peltier présentent une aptitude à être utilisés pour des petites puissances froides. Ensuite, l'étude bibliographique sur les modules peltier met en évidence le fait que ces derniers ont été utilisés depuis longtemps dans divers domaines. Ces modules outre leur petitesse, leur robustesse et leur bonne fiabilité, sont très utilisés dans la réfrigération des petits espaces à faible puissance ou ils offrent de bons résultats.

La seconde partie de ce travail avait pour but d'optimiser et modéliser les propriétés thermoélectriques en utilisant le modèle Thomson et les propriétés à compression en utilisant le fluide R22. Concernant le coefficient de performance on a déduit que les modules peltier donnent un meilleur COP par rapport aux machines à compression de vapeur.

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis la réalisation d'un système hybride ainsi ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances, dans le domaine de l'instrumentation et l'acquisition des données.



## Bibliographie :

[1] : (en) « Harrison Refrigerator model », sur le site [museumvictoria.museum](http://museumvictoria.museum) du 8 décembre 2009

[2] : Mémoire pour l'obtention du diplôme master en installation énergétiques et turbomachines Mr. Ettahri Abdeldjellil et Mr. Erroukerma Ahmed

[3] : (de) Thomas Johann Seebeck, « Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperatur-Differenz », *Abhandlungen der Königlichen Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1895 (lire en ligne [archive] [PDF]).

[4] : Jean-Charles Peltier, « Nouvelles expériences sur la calorificité des courants électriques », *Annales de chimie et de physique*, vol. 56, 1834, p. 371-386 (lire en ligne [archive])

[5] : (de) Heinrich Lenz, « Ueber die Bestimmung der Richtung durch elektodynamische Vertheilung erregten galvanischen Ströme », *Annalen der Physik und Chemie*, vol. 31, 1834, p. 483 (lire en ligne [archive]), sur Gallica.

(en) D. D. Allred, *Short course on thermoelectrics : An overview of thermoelectrics*, International Thermoelectric Society, 199.

[6] : (en) W. Thomson, « On the Dynamical Theory of Heat Transfer », *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, vol. 3, 1851, p. 91-98.

[7] : (de) E. Altenkirch, « ... », *Physikalische Zeitschrift*, vol. 10, 1834, p. 560–580

[8] : (en) M. V. Vedernikov et E.K. Jordanishvili, « A.F. Ioffe and origin of modern semiconductor thermoelectric energy conversion », *Proceedings ICT 98, XVII International Conference on Thermoelectrics*, 1998.

[9] : *Simulation des Propriétés Thermodynamiques des Fluides Frigorigènes Usuels Destiné à la Réfrigération Solaire* D. Ghribi et N. Achaïbou

[10] : M.J. Huang, R.H. Yen, A.B. Wang, The influence of the Thomson effect on the performance of a thermoelectric cooler, *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*, 48 (2005), 413 – 418.

- Lee, H., A.M. Attar, and S.L. Weera, Performance Prediction of Commercial Thermoelectric Cooler Modules using the Effective Material Properties. *Journal of Electronic Materials*, 2015. 44(6): p. 2157-2165.

## Annexe:

Le coût de notre projet : Voici la liste des matériels achetés avec les prix.

Réalisation des radiateurs en aluminium : Prix= 5000 DA

Nombre	Nom de matériel	Prix (DA)
1	Capteur de courant ACS712.	1850
1	Capteur de tension <25V	2500
1	Afficheur LCD 20 x 4.	2000
1	Une alimentation ATX.	6000
1	Plaque d'essai	900
5	Baguette en cuivre brasé	500
1	Caloduc	9500
1	Fer à souder + étain	1500
2	Peltier	2600
1	Disjoncteur + Boitier	700
3	LED	60
2	Pâte thermique	400
1	Ventilateur 12V	1500
1	Captur de température	1200
1	Carte Arduino Uno	2500
3	Interrupteur	200
1	Voyants	100
Total des achats		37000