

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'Informatique  
DEPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE.

**Mémoire de Fin d'Etude**  
**DeMASTER PROFESSIONNEL**  
Spécialité : **Electronique Industrielle.**

*Présenté par*

**Medjoudj sofiane**

Mémoire dirigé par : **zirmi rachid**

Thème

:

**Étude du réfrigérateur solaire**

*Mémoire soutenu publiquement septembre 2015 devant le jury composé de:*

**M Prénom NOM**

TAHANOUT MOUHANDE, Président

**M Prénom NOM**

ZIRMI RACHID, Rapporteur

**M Prénom NOM**

ATTAF YACINE, Examineur

**M Prénom NOM**

LAHDIR LEILA, Examineur

Je remercie particulièrement: Mon encadreur monsieur "zirmi

Rachid" qui a dirigé ce travail et pour l'encouragement et les nombreux conseils dont j'ai été bénéficiaire. Mon encadreur au sein de l'entreprise ENIEM Mr Douali

M. J. et ses collègues à remercier le président et les membres du jury pour m'avoir fait l'honneur d'évaluer mon travail.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de ce parcours, et surtout mon père, sans qui je ne serais absolument pas où j'en suis aujourd'hui. Je le remercie sincèrement pour sa gentillesse et son soutien inconditionnel et constant, pour m'avoir donné du courage et de l'espoir, pour être toujours présent même à distance. Je lui dois ce que je suis.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

## SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1 2

Chapitre I

Les énergies renouvelables

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.1     | Les énergies renouvelables.....                                 | 4  |
| 1.1.1   | La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables..... | 4  |
| 1.1.2   | Production de l'électricité par les énergies renouvelables..... | 4  |
| 1.1.2.1 | L'énergie hydraulique .....                                     | 5  |
| 1.1.2.2 | L'énergie solaire .....   | 5  |
| 1.1.2.3 | L'énergie éolienne.....   | 6  |
| 1.1.2.4 | La biomasse.....  | 6  |
| 1.1.2.5 | La géothermie.....  | 7  |
| 1.1.2.6 | L'énergie marine.....   | 7  |
| 1.1.2.7 | L'hydrogène.....  | 7  |
| 1.2     | Les panneaux solaires .....                                     | 8  |
| 1.2.1   | Introduction .....  | 8  |
| 1.2.2   | L'énergie solaire.....  | 8  |
| 1.2.3   | L'énergie solaire en Algérie.....                               | 8  |
| 1.2.4   | Le rayonnement solaire.....                                     | 9  |
| 1.3     | Le générateur photovoltaïque .....                              | 9  |
| 1.3.1   | La cellule photovoltaïque.....                                  | 9  |
| 1.3.1.1 | Principe de fonctionnement.....                                 | 9  |
| 1.4     | Les matériaux semi-conducteurs.....                             | 9  |
| 1.4.1   | Les semi-conducteurs intrinsèques.....                          | 10 |
| 1.4.2   | Les semi-conducteurs extrinsèques .....                         | 10 |
| 1.4.3   | Les différentes technologies .....                              | 11 |
| 1.4.4   | Type de cellules photovoltaïques à base de silicium .....       | 12 |
| 1.5     | Le module photovoltaïque.....                                   | 13 |
| 1.5.1   | association de cellules .....                                   | 13 |
| 1.5.2   | Processus de fabrication du module photovoltaïques .....        | 14 |
| 1.5.3   | Le panneau solaire.....   | 14 |
| 1.5.4   | Composition d'un panneau solaire .....                          | 15 |
| 1.6     | Avantage et inconvénients des PV .....                          | 16 |
| 1.6.1   | Avantage.....   | 16 |
| 1.6.2   | Inconvénients.....  | 16 |

## Chapitre 2

### Batterie et régulateur de charge

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1   | Batteries solaire pour stocker l'énergie.....         | 18 |
| 2.2   | Batterie d'accumulateurs au plomb .....               | 18 |
| 2.2.1 | Constitution et paramètre caractéristique.....        | 18 |
| 2.2.2 | La capacité de stockage des batteries solaires.....   | 19 |
| 2.2.3 | Déterminer la tension de stockage .....               | 19 |
| 2.2.4 | Le montage des batteries.....                         | 20 |
| 2.3   | capacité et durée de vie .....                        | 20 |
| 2.3.1 | La capacité d'une batterie solaire.....               | 20 |
| 2.3.2 | Mesure de la capacité de stockage .....               | 20 |
| 2.3.3 | La durée de vie d'une batterie solaire .....          | 20 |
| 2.3.4 | Les différents types de batteries .....               | 21 |
| 2.3.5 | Principe de fonctionnements.....                      | 22 |
| 2.4   | Précaution d'exploitation .....                       | 23 |
| 2.4.1 | Différente cause de la défaillance des batteries..... | 23 |
| 2.5   | Régulateur de charge.....                             | 24 |
| 2.5.1 | Fonctionnement du régulateur de charge.....           | 25 |
| 2.5.2 | Principaux types de régulateur de charge .....        | 25 |

## Chapitre3

### Le réfrigérateur :

#### Première partie

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | Introduction.....                                | 28 |
| 3.1.1 | Mode de production du froid et application ..... | 28 |
| 3.1.2 | Composition d'un réfrigérateur .....             | 29 |
| 3.2   | Les condenseurs .....                            | 30 |
| 3.2.1 | Constitution.....                                | 30 |
| 3.3   | Le déshydrateure.....                            | 31 |
| 3.3.1 | Constitution.....                                | 31 |
| 2.4   | Le thermostat.....                               | 32 |
| 2.4.1 | Principe.....                                    | 32 |
| 3.5   | Echangeur de chaleur.....                        | 33 |
| 3.5.1 | Constitution.....                                | 33 |
| 3.6   | Le capillaire.....                               | 34 |
| 2.6.1 | Constitution.....                                | 34 |
| 3.7   | L'évaporateur.....                               | 35 |
| 3.7.1 | Evaporateur statique.....                        | 35 |
| 3.7.2 | Evaporateur collé.....                           | 35 |
| 3.8   | Le fluide frigorigène .....                      | 35 |
| 3.9   | Les compresseurs.....                            | 35 |
| 3.9.1 | Technologie des compresseurs.....                | 35 |
| 3.9.2 | Les compresseurs volumétriques .....             | 36 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.9.3    | Association moteur compresseur.....         | 36 |
| 3.9.4    | Compresseur hermétique .....                | 37 |
| 3.10     | Compresseur hermétique à piston .....       | 37 |
| 3.10.1   | Principe de fonctionnement .....            | 37 |
| 3.10.2   | Dispositifs de transfert d'énergie .....    | 40 |
| 3.10.2.1 | Arbre excentrique et arbre vilebrequin..... | 40 |
| 3.10.2.2 | Les bielles.....                            | 40 |
| 3.10.2.3 | La garniture d'étanchéité.....              | 40 |
| 3.10.2.4 | Le carter.....                              | 40 |
| 3.10.2.5 | Les dispositifs de lubrification.....       | 41 |
| 3.10.2.6 | Le piston.....                              | 42 |
| 3.10.2.7 | Les soupapes ou clapets.....                | 42 |

## Deuxième partie

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.11     | Le moteur électrique du compresseur.....                                    | 43 |
| 3.11.1   | Introduction .....  | 43 |
| 3.11.2   | Les machines électriques à aimants permanents .....                         | 44 |
| 3.11.3   | Les aimants permanents.....   | 45 |
| 3.11.4   | Aimants liés .....  | 46 |
| 3.12     | Le moteur bldc.....   | 47 |
| 3.12.1   | Fonctionnement du moteur brushless.....                                     | 48 |
| 3.12.2   | Les différents types de moteur brushless.....                               | 48 |
| 3.12.2.1 | Moteurs brushless outrunner.....  | 48 |
| 3.12.2.2 | Moteurs brushless inrunner.....   | 49 |
| 3.12.2.3 | Moteur brushless disques.....   | 50 |
| 3.13     | Les différentes techniques de commande d'un moteur brushless .....          | 50 |
| 3.13.1   | Stratégie de la Commande sinusoïdale (MASP).....                            | 50 |
| 3.13.2   | Avantage et inconvénients des deux techniques .....                         | 51 |
| 3.13.3   | Commande trapézoïdale (BLDC).....   | 52 |
| 3.13.4   | Comparaison entre la commande trapézoïdale et la commande vectorielle ..... | 53 |
| 3.13.5   | Le contrôleur DSP.....  | 54 |
| 3.14     | La commande électronique.....   | 55 |
| 3.14.1   | Fonctions principales.....  | 56 |
| 3.14.2   | Branchement de l'unité électronique.....                                    | 56 |
| 3.14.3   | Fonctionnement .....  | 56 |
| 3.14.3.1 | Alimentation électrique .....   | 57 |
| 3.14.3.2 | Protection de batterie .....  | 57 |
| 3.14.3.3 | Le thermostat .....   | 57 |
| 3.14.3.4 | Le ventilateur .....  | 57 |
| 3.14.3.5 | La LED .....  | 57 |
|          | Conclusion générale.....  | 58 |
|          | Schéma du réfrigérateur solaire .....                                       | 59 |
|          | Références bibliographiques.....  | 60 |

# Liste des abréviations

|           |   |
|-----------|---|
| MSAP      | Moteur synchrone à aimant permanent           |
| DTC       | La commande directe du couple                 |
| PV        | panneaux photovoltaïque                       |
| KWH       | kilowatt par heure                            |
| Dopée p   | dopé positive                                 |
| Dopée n   | dopé négative                                 |
| VC0       | tension du circuit ouvert                     |
| ICC       | courant du court-circuit                      |
| Pb        | plomb   |
| Pbo2      | oxyde de plomb                                |
| H2so4     | ..solution d'acide sulfurique                 |
| AH        | ampère heure                                  |
| Ppm       | particule par million                         |
| CTP       | thermistance                                  |
| HP        | haute pression                                |
| BP        | basse pression                                |
| PMB       | point mort bas                                |
| PMH       | point mort haut                               |
| PO        | pression d'évaporation                        |
| FF        | fluide frigorigène                            |
| Tr/mn     | tours par minute                              |
| Brushless | moteur sans balais                            |
| MCC       | machine à courant continu et aimant permanent |
| MAPSB     | les machine à aimant permanent sans balais    |
| MSAP      | machine synchrone à aimant permanent          |
| BLDC      | moteur brushless à courant continu            |
| FEM       | force électro motrice                         |
| HVAC      | Heath ventilation and air conditioning        |
| AC        | courant alternatif                            |
| DC        | courant continu                               |

# Listedesfigures

## Chapitre 1

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.1   | Les énergies renouvelables.....                  | 4  |
| 1.2   | Un moulin à eau.....                             | 5  |
| 1.3   | Energie solaire thermique .....                  | 5  |
| 1.4   | Champ d'éoliennes.....                           | 6  |
| 1.5   | Energie biomasse.....                            | 7  |
| 1.6   | Dopage de type N .....                           | 10 |
| 1.7   | Dopage de type P.....                            | 10 |
| 1.8   | Jonction PN.....                                 | 11 |
| 1.9   | Structure d'une cellule solaire en silicium..... | 11 |
| 1.10a | Cellule PV monocristalline.....                  | 12 |
| 1.10b | Cellule PV poly cristalline.....                 | 12 |
| 1.11  | Cellule amorphe.....                             | 13 |
| 1.12  | Association de cellules .....                    | 13 |
| 1.13  | Processus de fabrication du module PV.....       | 14 |
| 1.14  | Panneau solaire .....                            | 14 |
| 1.15  | Composition d'un panneau solaire.....            | 15 |
| 1.16a | Cellules sans protection.....                    | 15 |
| 1.16b | Cellule avec protection .....                    | 15 |

## Chapitre 2

|     |                                       |    |
|-----|---------------------------------------|----|
| 2.1 | Batterie d'accumulateur au plomb..... | 19 |
| 2.2 | Régulateur de charge.....             | 24 |

## Chapitre 3

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.1   | Le réfrigérateur .....                            | 30 |
| 3.2   | Schéma de base d'une machine frigorifique.....    | 30 |
| 3.3   | Le condensateur.....                              | 32 |
| 3.4   | Le déshydrateure.....                             | 33 |
| 3.5   | Le thermostat.....                                | 33 |
| 3.6   | Le rôle du capillaire.....                        | 34 |
| 3.7   | Le capillaire .....                               | 34 |
| 3.8a  | L'évaporateur statique.....                       | 35 |
| 3.8b  | L'évaporateur collé.....                          | 35 |
| 3.9   | Les différents types de compresseurs.....         | 36 |
| 3.10  | Compresseur hermétique .....                      | 37 |
| 3.11a | Schéma de l'étape de l'aspiration .....           | 39 |
| 3.11b | Schéma de l'étape du refoulement.....             | 39 |
| 3.12  | Vu éclaté d'un compresseur .....                  | 42 |
| 3.13  | Moteur brushless .....                            | 43 |
| 3.14  | Structure des machines a aimants permanents ..... | 45 |
| 3.15  | Différents forme des aimants permanents.....      | 46 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.16 | Moteur à courant continu avec balais et sans balais ..... | 48 |
| 3.17 | Moteur brushlessoutrunner .....                           | 49 |
| 3.18 | Moteur brushlessinrunner.....                             | 49 |
| 3.19 | Schéma de principe d'une commande scalaire .....          | 50 |
| 3.20 | Schéma de principe d'une commande vectorielle.....        | 51 |
| 3.21 | Schéma de principe d'une commande trapézoïdale .....      | 52 |
| 3.22 | L'unité électronique .....                                | 55 |
| 3.23 | Branchement de l'unité électronique.....                  | 56 |
| 3.24 | Schéma du réfrigérateur solaire.....                      | 59 |

## Listedestableaux

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | détermination de la tension de stockage.....                                | 19 |
| 2.2 | comparaison entre les différents types de batterie solaire .....            | 21 |
| 3.1 | comparaison entre un condensateur à eau et un condensateur à air.....       | 31 |
| 3.2 | Principalescaractéristiquesmagnétiquesdesfamillesd'aimant .....             | 45 |
| 3.3 | comparaison entre la commande vectorielle et la commande trapézoïdale ..... | 53 |

## **Introduction :**

Depuis la révolution industrielle la consommation totale d'énergie électrique dans le monde entier est augmentée, elle a plus que doublé en 40 ans .La grande partie de l'énergie électrique utilisée par l'humanité provient des énergies fossiles. Selon l'agence internationale de l'énergie, ses ressources conventionnelles représentent 80,4 % de production d'énergie globale, elles sont à l'origine de 40 % des émissions mondiales de CO2.

Dans le cadre du développement durable, face au double enjeu planétaire posé les risques de pénurie les matières fossiles et leurs effets sur le changement climatique, les gouvernements engagés dans le Protocole de Kyoto doivent donc multiplier leurs actions dans le secteur de la production d'énergie électrique afin de développer des sources d'Energies Renouvelables, propres et inépuisables, ces dernières représentent un gisement considérable au niveau mondial. Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. Le système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables, pour cela plusieurs travaux de recherches ont été lancés dans plusieurs laboratoires de recherche dans le domaine de développement durable, pour but de satisfaire la demande de consommation énergétique d'une part et d'autre part pour réduire les effets négatives des ressources d'origine fossile sur l'environnement.

Une autre problématique s'ajoute, celle des sites isolés, plus de deux milliards De personnes disséminées dans des régions isolées. Dans ces secteurs l'approvisionnement Électrique dépend seulement des systèmes de génération diesel autonomes, l'extension du de réseau électrique s'avère exagéré et le surcout d'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement, ce qui rend la production d'électricité économiquement très coûteuse.

Actuellement, la plus grande part de la consommation énergétique mondiale est dédiée à la production d'électricité. L'abondance des réserves de charbon et leur faible coût d'exploitation expliquent que le charbon soit économiquement avantageux et arrive en tête dans les ressources exploitées pour la production d'électricité. En revanche, l'impact environnemental du charbon est remarquable même avec la présence des technologies plus récentes et moins polluantes. Ensuite vient le gaz naturel avec la turbine à gaz à cycle combiné qui est la principale technologie de la production d'électricité mise en service dans le monde. En troisième place on trouve le nucléaire. Certainement le pétrole est peu utilisé pour la production d'électricité à l'échelle mondiale mais en parallèle on le trouve avec le gaz à la première place pour la production de l'électricité dans notre pays l'Algérie. Les autres énergies sont surtout représentées par les énergies renouvelables, l'hydroélectricité en tête. Certains pays produisent l'essentiel de leur électricité grâce aux barrages et aux cours d'eau. Dans le monde entier les chercheurs demandent en urgence de faire changer la vision ancienne pour la production d'électricité, ils appellent aux ressources d'énergies renouvelables qui vont prendre la base d'autres ressources fossiles afin de

répondre aux exigences actuelles. Une alternative intéressante et puissante comme celle de l'énergie solaire et l'éolienne ont attirées l'attention au niveau de la production de l'électricité à grande échelle. Cependant elles présentent un inconvénient commun par leur caractère imprévisible et la dépendance des conditions météorologiques et climatiques qui changent avec le temps.

# Chapitre 1

## Les énergies Renouvelables

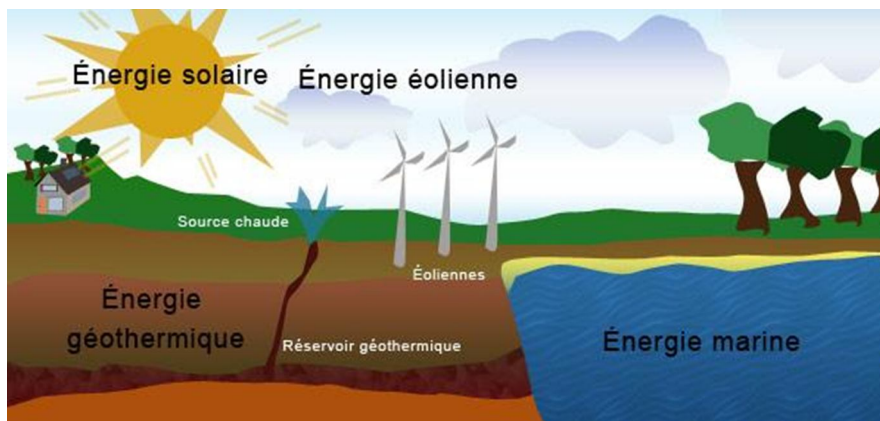
## 1.1. Les énergies renouvelables :

### 1.1.1. La croissance de l'exploitation des énergies renouvelables :

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie, un fait qui interpelle plus fort que jamais le développement des énergies renouvelables. On dit que la source d'énergie est renouvelable si le fait de faire la consommer n'influence jamais sur sa quantité, ni faire limiter son utilisation au futur. Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours étendu aux énergies renouvelables. Le besoin d'une alternative renouvelable pour faire produire l'électricité a été le sujet de discussion pour plusieurs secteurs et aux niveaux d'un grand nombre de pays au monde entier. Les études ont été élaborées pour faire de cet outil non polluant l'axe de recherche pour plusieurs chercheurs afin de réaliser un but majeur : celle de minimiser les effets négatifs des ressources classiques de production de l'énergie. L'Algérie est parmi les pays qui ont appelé à diversifier ses ressources économiques voire énergétiques de manière à limiter sa dépendance au pétrole et au gaz. Les projets dont le pays a la juste volonté de se doter et propose de faire basculer progressivement le système énergétique algérien, en particulier dans sa dimension de production électrique vers l'énergie solaire.

### 1.1.2. Production de l'électricité par les énergies renouvelables :

Y'a-t-il pleinement d'énergies qui rentrent dans cette catégorie, elles sont classées comme suit (figure 1.1)



(Figure 1.1) Les énergies renouvelables

### 1.1.2.1. L'énergie hydraulique :

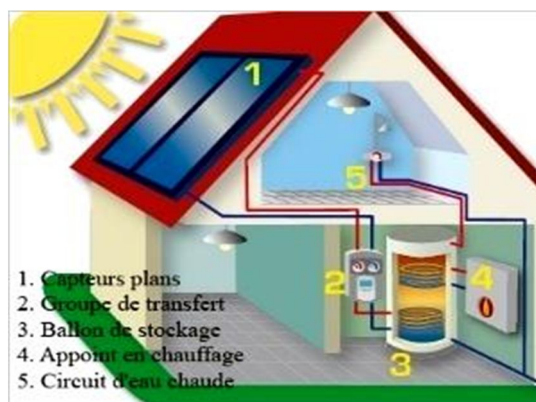
L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice. La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source a l'avantage de ne pas être polluante. On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexées, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients.



(Figure 1.2) Un moulin à eau

### 1.1.2.2. L'énergie solaire :

Deux grands types d'énergies rentrent au-dessous de cette catégorie, la première thermique se base sur la température qui permet essentiellement de faire chauffer l'eau afin de produire une pression mesurable, on l'appelle aussi la production combinée de chauffage par plancher chauffant. La deuxième photovoltaïque basée sur l'effet photoélectrique elle permet de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette ressource a donc l'avantage d'être inépuisable et utilisable en tout point d'un territoire.



(Figure 1.3) Énergie solaire thermique

On peut la considérer comme une énergie propre puisque sa production énergétique à partir des modules PV ne produit pas de déchets impliquant la pollution à la terre. Cette ressource a toutefois deux inconvénients, la production est inévitablement liée aux conditions climatiques et une surface considérable est nécessaire pour produire de grande quantité d'énergie puisque le rendement des panneaux PV est relativement faible.

### **1.1.2.3. L'énergie éolienne :**

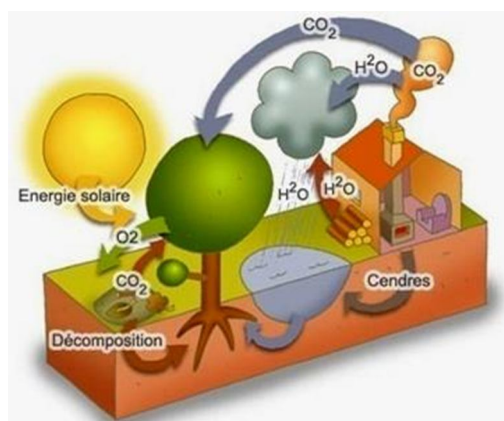
Les énergies éoliennes sont notamment caractérisés par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne. L'énergie éolienne consiste ainsi à utiliser cette énergie mécanique par l'intermédiaire d'un rotor et de pales. Cette source est non polluante. Toutefois l'énergie éolienne est irrégulière, et l'installation de parc éolien engendre des impacts paysagés et sonores.



*(Figure 1.4) champ d'éoliennes*

### **1.1.2.4. La biomasse :**

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse. Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. Le bois énergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde. Il s'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. Elle est exploitée par combustion. Cette énergie est renouvelable à condition que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. Le problème plus important est que la biomasse n'est pas inépuisable.



(Figure 1.5) Énergie Biomasse [1]

### 1.1.2.5. La géothermie :

Le terme géothermie provient du grec <Ge> et <thermos>, signifiant : la terre et la chaleur. La géothermie peut se définir comme étant la technique qui consiste à puiser dans le sous-sol ou dans les roches, les calories qui y sont contenues, afin de les rendre disponibles en surface pour des applications de chauffage ou de production d'électricité. Dans des cas particuliers, la géothermie peut consister à injecter de la chaleur dans le sous-sol afin de refroidir les installations de surface. Différentes sources de chaleurs sont à l'origine de la chaleur interne de la terre : la radioactivité, la chaleur initiale, et les mouvements différentiels. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques ; c'est donc une énergie fiable et disponible dans le temps. Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans le sens où un puits verra un jour son réservoir diminuer. Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure, dans certains cas très élevé.

### 1.1.2.6. L'énergie marine :

L'énergie marine ou des mers est extraite du milieu marin. Il y a l'énergie marémotrice (issue du mouvement de l'eau créé par les marées), l'énergie des vagues, l'énergie thermique des mers les éoliennes offshore, et l'énergie osmotique (diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer). Tout comme les autres sources renouvelables. Elle est non polluante lors de la production. On note également que l'énergie potentiellement disponible est énorme et que cette technologie a un bel avenir

### 1.1.2.7. L'hydrogène :

. Très abondante, plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel, ni polluante, ni toxique, elle pourrait, du moins en théorie, répondre à tous nos besoins l'hydrogène tout ça à cause de ses avantages :

- L'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre.
- L'hydrogène peut être stocké et distribué dans une variété de formes.
- L'hydrogène peut remplacer les combustibles fossiles pour fournir de l'électricité de manière différente.

Il peut être utilisé comme carburant pour alimenter le moteur à combustion pour la production d'électricité en faisant tourner la machine. Il peut également être directement utilisé par un électro-réacteur chimique dans les piles à combustible pour produire de l'électricité. Pour les puissances élevées la transformation la plus efficace de l'hydrogène à l'électricité peut être atteinte en production combinée.

## **1.2. Les panneaux solaires :**

### **1.2.1. Introduction :**

Dans les dernières années, l'utilisation des sources d'énergies renouvelables pour produire de l'énergie électrique est visible partout dans le monde. Ce scénario est le résultat de l'augmentation de la demande d'énergie en relation avec la réduction de l'offre de carburants classiques qu'avec les préoccupations croissantes au sujet de l'environnement. Parmi les sources d'énergie renouvelables on trouve celle qui se produit par les panneaux photovoltaïques (PV), qui sont actuellement considérés comme la source d'énergie naturelle la plus utile, car elle ne produit aucun gaz à effet de serre au cours de la production d'électricité, elle est distribuée sur toute la terre, et participe en tant qu'un facteur essentiel de tous les autres processus de production d'énergie sur terre. L'énergie solaire photovoltaïque (PV), qui est la conversion de la lumière en électricité grâce à des cellules solaires, représente un alternatif intéressant et bien adaptée à des besoins limités. Le développement dans le domaine de semi-conducteurs et l'électronique de puissance mènent à une activité de recherche importante afin d'améliorer l'efficacité des modules photovoltaïques.

### **1.2.2. L'énergie solaire :**

#### **1.2.3. L'énergie solaire en Algérie :**

Dans beaucoup de pays, qui souvent ne bénéficient pas d'un ensoleillement aussi favorable qu'en Algérie, l'énergie solaire gagne en signification à une vitesse exceptionnelle.

La croissance moyenne mondiale du marché a été de 33% au cours des dix dernières années. Ce qui concerne notre pays, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et Sahara.

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 KWh Sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Nord et  $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Sud du pays. Si on prend une autre échelle d'exportation d'importantes quantités de pétrole et de gaz vers l'Europe, l'énergie solaire que peut l'Algérie produire peut satisfaire la totalité des besoins de l'Europe

en électricité. Bien que les conditions Géographiques, climatiques et météorologiques soient très favorables, l'énergie solaire en Algérie n'a pas encore percé et ce marché demeure encore presque vierge.

#### **1.2.4. Le rayonnement solaire :**

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet (0.2 $\mu$ m) à l'infrarouge (2.5 $\mu$ m). L'énergie totale transportée par le rayonnement solaire sur une distance soleil-terre est de l'ordre de 1350W/m<sup>2</sup> dans l'espace hors atmosphère terrestre. Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il subit une réduction et une modification de son spectre à la suite de phénomènes d'absorption et de diffusion dans les gaz, l'eau et les poussières. Ainsi, la couche d'ozone absorbe une partie du spectre lumineux Provenant du soleil, et en particulier une partie des ultraviolets dangereux pour la santé.

### **1.3. Le générateur photovoltaïque :**

#### **1.3.1. La cellule photovoltaïque :**

##### **1.3.1.1. Principe de fonctionnement :**

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3V à 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule, Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Alors ils créent une différence de potentiel entre ces deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les Connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

La tension maximale de la cellule Est d'environ 0.6V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert  $V_{C0}$ . Le courant maximal se produit lorsque les bornes de cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit  $I_{CC}$  et dépend fortement du niveau d'éclairement.

### **1.4. Les matériaux semi-conducteurs :**

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants.

Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin.

### 1.4.1. Les semi-conducteurs intrinsèques :

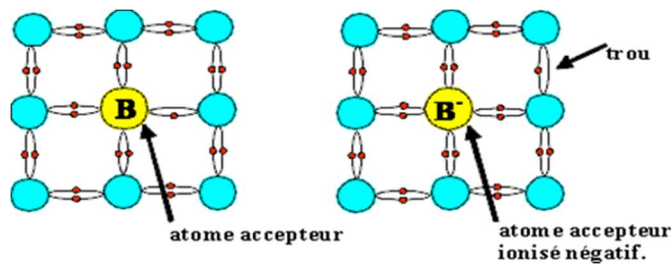
Les électrons situés sur la couche la plus éloignée du noyau, qui participent aux liaisons covalentes peuvent, sous l'effet de l'agitation thermique, devenir porteur de charge. Le diagramme énergétique est constitué de deux bandes (conduction et valence) séparé par une bande interdite. Pour franchir cette bande l'électron doit acquérir de l'énergie (thermique, photon...) Mais le nombre d'électrons libres dans un semi-conducteur intrinsèque Reste très faible.

### 1.4.2. Les semi-conducteurs extrinsèques :

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

#### Dopage de type N :

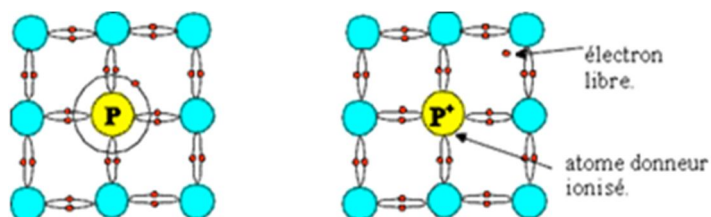
On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent. Quatre d'entre eux le cinquième resté disponible va assurer les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le hêtre excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. le nombre d'électron libre qui va fortement augmenter : dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électron libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif).



(Figure 1.6) dopage de type N

#### Dopage de type P :

De la même façon on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace de proche en proche dans le cristal pour créer un courant. Le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du

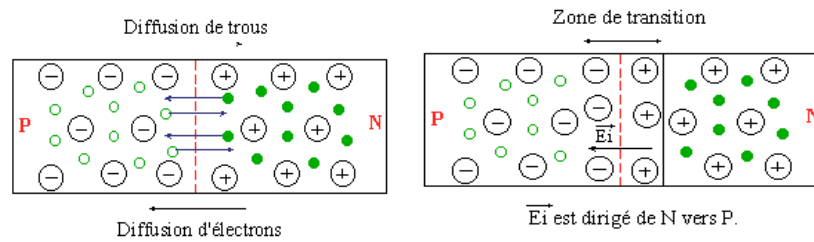


(Figure 1.7) dopage de type P

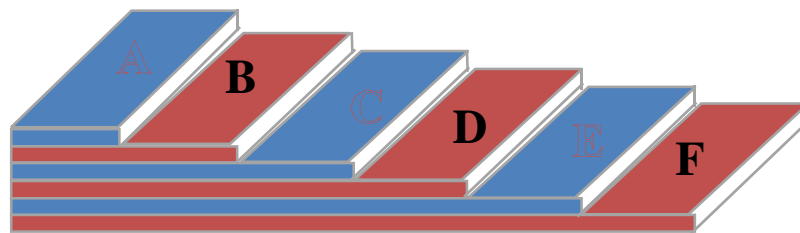
### La jonction PN :

Une jonction PN est l'accolement d'une région dopée P et d'une région dopée N. Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition.

Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner.



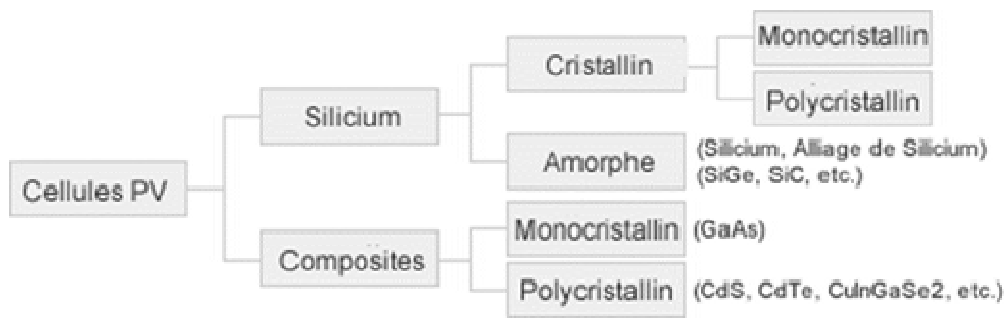
(Figure 1.8) Jonction PN [2]



- |                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| A : Verre de protection.        | D : Silicium négatif. |
| B : Couche anti réfléchissante. | E : Silicium positif. |
| C : Grille de contact.          | F : Support.          |

(Figure 1.9) Structure d'une cellule solaire en silicium

### 1.4.3. Les différentes technologies :



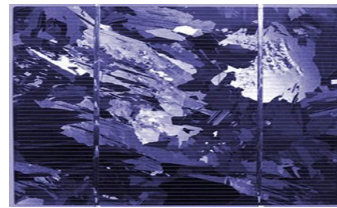
Il existe un grand nombre de technologie mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : Le silicium mono ou poly-cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou cis (cuivre indium sélénium)

#### 1.4.4. Type des cellules photovoltaïques à base de silicium :

On les dévise en deux catégories

##### a. La cellule cristalline :

C'est une technologie sûre et puissante dont le rendement est de l'ordre de 13%. Ces Cellules sont adaptées à des puissances de quelques centaines de watts à quelques dizaines de Kilowatts. Les modules en silicium cristallin sont fabriqués industriellement. Toutes les étapes du processus de fabrication ne cessent de progresser continuellement. Les rendements théoriques calculés tout en évitant d'augmenter le prix des modules. Les cellules à partir de plaquettes de silicium cristallisé se divisent en deux catégories différentes, celles à partir de silicium monocristallin et celles à partir de silicium poly-cristallin. Le silicium monocristallin est plus cher que le silicium multi-cristallin mais permet d'obtenir un rendement plus élevé, avec près de 24.7% contre 19.8% de rendement record sur petite cellule en laboratoire.

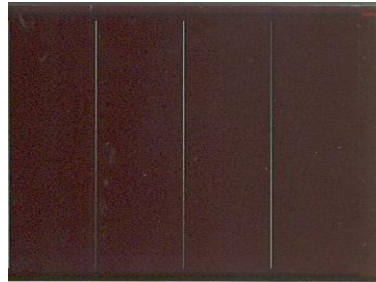


(Figure 1.10.a) Cellule PV monocristalline (Figure 1.10. b) Cellule PV poly cristalline

##### b. La cellule amorphe :

En comparaison avec la cellule cristalline le coût est moins. Les cellules amorphes sont utilisées partout et en particulier dans une production d'énergie électrique faible, par exemple une électrification destinée à alimenter des montres, des calculatrices, luminaires de secours. Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir.

Cependant, le rendement est de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin et nécessite donc plus de surface pour la même puissance installée. Les cellules en silicium amorphe sont actuellement de moins en moins utilisées.

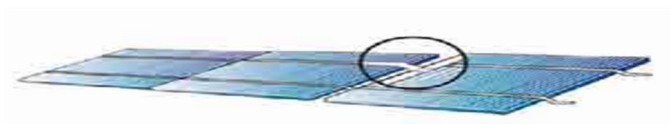


*(Figure 1.11) Cellule photovoltaïque amorphe*

## **1.5. Le module photovoltaïque**

### **1.5.1. Association de cellules**

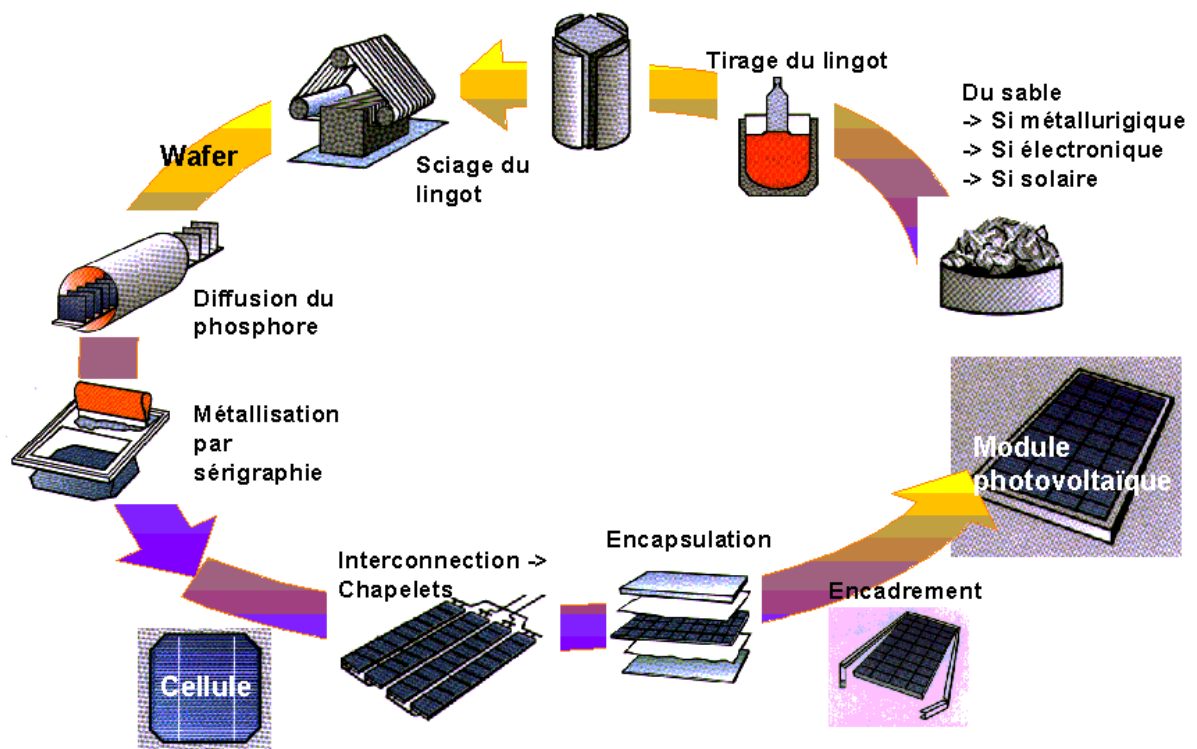
Pour d'obtenir des modules de puissance élevées les cellules sont associées en série/parallèle pour cela les connexions des pôles négatifs situées sur les faces avant des cellules sont connectées aux pôles positifs sur les faces des cellules suivantes :



*(Figure 1.12) association de cellules*

Le module photovoltaïque transforme l'énergie solaire en énergie électrique. Il joue donc le rôle de générateur dans le système photovoltaïque. L'énergie produite par un module photovoltaïque dépend du niveau de l'énergie solaire, l'énergie produite va varier en fonction de la variation de l'énergie solaire.

### **1.5.2. Processus de fabrication du module photovoltaïques :**



(Figure 1.13) Processus de fabrication d'un panneau solaire



(Figure 1.14) Panneau solaire

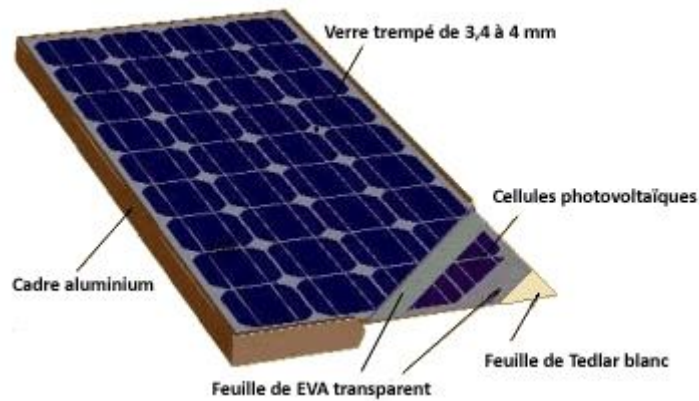
### 1.5.3. Le panneau solaire

Le panneau solaire se compose de modules photovoltaïques relié en série ou bien En parallèle afin de produire la puissance souhaitable.

Les premières implantations des structures étaient fondées sur l'association de plusieurs modules photovoltaïques attachés par un seul convertisseur on l'appelle un onduleur centré. Le rendement de cette structure est faible à cause de l'insertion obligatoire des diodes dans chaque branche parallèle afin d'éviter la dispersion d'énergie.

Il y'a d'autre limitation tel que la perte en puissance qui touche la non-application réel d'algorithme MPPT ou chaque branche peut ne pas fonctionner en maximum de production de puissance.

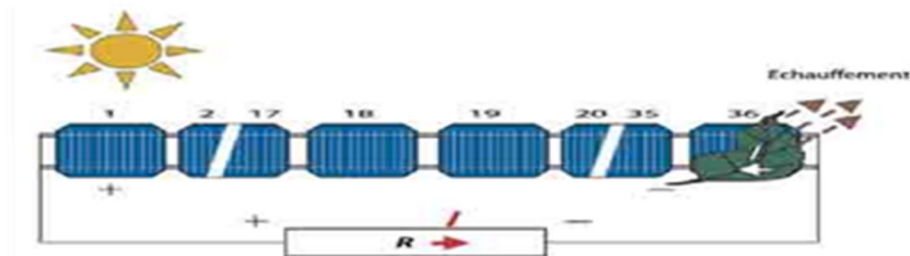
### 1.5.4. Composition d'un panneau solaire :



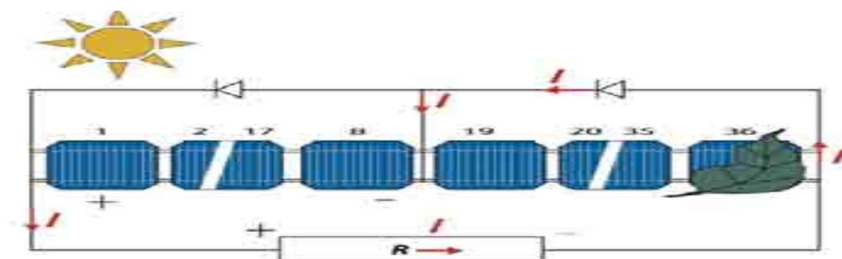
(Figure 1.15) composition d'un panneau solaire

Pour la protection des panneaux solaires, nous devons assurer la protection électrique de cette installation afin d'augmenter sa durée de vie en évitant des pannes destructrices liées à l'association des cellules et de leur fonctionnement. Pour cela, deux types de protections sont généralement utilisées dans les installations actuelles :

- La protection en cas de connexion en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).
- La protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité De la Chaîne (diode by-pass) et éviter les points chauds.



(Figure 1.16 a) Cellules sans protection



(Figure 1.16b) Cellules avec protection

## **1.6. Avantage et inconvénients des PV :**

### **1.6.1. Avantage :**

- une haute fiabilité ou l'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement adaptée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- leur montage est simple et ses installations sont adaptables aux besoins de chaque projet.
- le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits. Il ne nécessite ni combustible, ni un transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- ils sont recyclables, les matériaux utilisés pour leur production peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire plus de matériaux.
- L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments. Les modules solaires peuvent être en façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments.
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes.
- L'énergie solaire captée par la terre pendant une heure pourrait suffire à la consommation mondiale pendant une année. Au total, ce rayonnement représente 1.6 milliards de TWh, soit huit mille fois la consommation énergétique annuelle mondiale.

### **1.6.2 Inconvénients :**

- une fabrication d'un module photovoltaïque relève une haute technologie et nécessite des investissements d'un coût élevé.
- le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %, avec une limite théorique pour une cellule de 28%. Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesels.
- La durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps.
- Le niveau de production d'électricité n'est pas stable. Il n'est pas prévisible, il dépend du niveau d'ensoleillement. Cependant la production d'électricité n'est pas constante.

Conclusion :

- Vu la rapidité du l'épuisement des énergies fossiles les énergies renouvelables sont les énergies du futur
- Les générateur photovoltaïque sont très pratique pour la production d'électricité surtout dans les zones isole

# Chapitre2

## Batterie et régulateur de charge

## **2.1. Batteries solaires pour stocker l'énergie**

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques pour assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert).

Une batterie utilisée avec des panneaux solaires est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont précisément conçues pour les applications solaires. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes

## **2.2. Batteries d'accumulateurs au plomb**

### **2.2.1. Constitution et paramètres caractéristiques**

Quatre éléments sont indispensables pour le fonctionnement d'une batterie au plomb. Il s'agit d'une électrode positive, d'une électrode négative, d'un électrolyte et d'un séparateur :

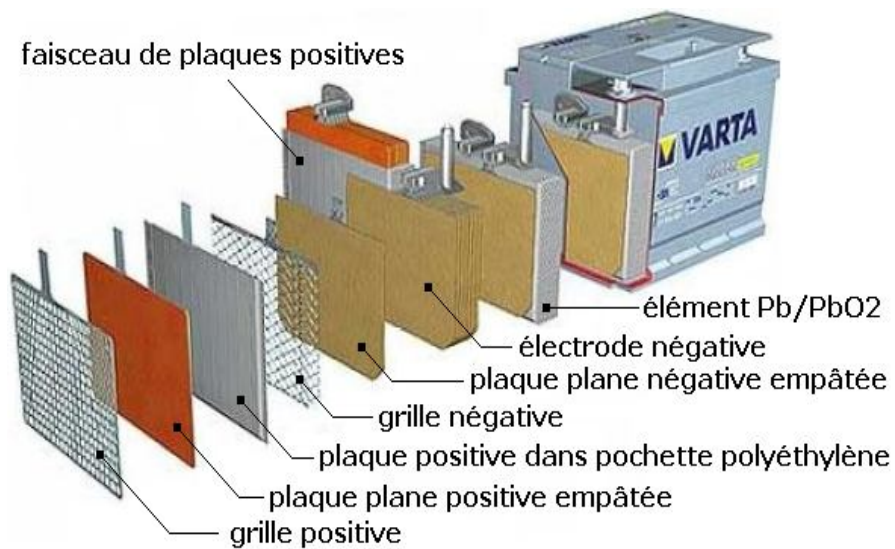
- l'électrode négative est constituée de plomb spongieux (Pb),
- l'électrode positive est constituée d'oxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>),
- l'électrolyte est une solution d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>),
- le séparateur en matière poreuse isolante a les propriétés suivantes :
  - grande résistivité électrique,
  - grande résistance chimique à l'acide sulfurique,
  - bonne porosité aux ions.

Le séparateur évite un court-circuit interne entre deux électrodes. pour des raisons d'encombrement et de réduction de la résistance interne, les plaques positives et négatives d'un accumulateur sont très proches les unes des autres ( $d \leq 10$  mm).

L'électrolyte est fabriqué à partir de l'acide sulfurique hautement concentré en le versant dans de l'eau purifiée, La densité nominale de l'électrolyte pour les accumulateurs au plomb est précisée selon les applications par le fabricant de batterie et par rapport à une température nominale

### **Les caractéristiques principales des batteries au plomb sont :**

- Tension nominale : multiple de 2 V (6, 12, 24)
- capacité nominale de la batterie



(Figure 2.1) batterie d'accumulateur au plomb

### 2.2.2. La capacité de stockage des batteries solaires :

La capacité d'une batterie solaire est exprimée en Ampères Heure (Ah) ce qui désigne le débit totale d'énergie de la batterie dans des conditions données (10 heures, 20 heures, ...) Avec un régulateur solaire, en règle la charge de la batterie, qui ne doit pas dépasser 90%, ni ne doit descendre sous les 40%, car une surcharge comme une décharge trop profonde endommage ces batteries et diminue leur durée de vie.

#### Exemple :

Une batterie 100 Ah 12V, pourra se décharger au mieux de 60Ah (60% x 100Ah). Cela représente par rapport à notre besoin quotidien en énergie  $60 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 720 \text{ Wh}$

### 2.2.3. Déterminer la tension de stockage :

Déterminer la tension de stockage de l'énergie solaire : 12V, 24V ou 48V. La règle pour cela est assez simple : plus en utilise d'énergie, plus en doit utiliser une tension élevée, afin de diminuer les réductions d'énergie, qui surviennent quand l'énergie est transportée ou stockée.

| Puissance de l'installation photovoltaïque | Tension recommandée |
|--|---------------------|
| De 0 à 800 WC                              | 12V                 |
| De 800 à 1600 WC                           | 24V                 |
| Au-dessus de 1600 WC                       | 48V                 |

Tab 2.1 : détermination de la tension de stockage

#### **2.2.4. Le montage des batteries**

Le montage se fait en série ou en parallèle pour augmenter la tension ou la capacité :

- Le montage en parallèle (qui consiste à relier les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-") permet d'additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).

- Le montage en série permet d'additionner la tension des batteries, en revanche la capacité en Ah reste celle d'une seule batterie

### **2.3. Capacité et durée de vie**

Une installation photovoltaïque autonome comporte une ou plusieurs Batteries pour stocker l'énergie produites par les panneaux photovoltaïques. Ces batteries spécifique sont appelées batteries a charge lente. Ces batteries sont conçues pour restituer un courant stable pendant de longues périodes en conservant leurs aptitudes à la recharge, ceci à un grand nombre de reprises (cycles), c'est les batteries stationnaires ou à décharge lente.

Une batterie solaire comporte des électrodes positives et négatives composées d'alliages dissemblables plongées dans un électrolyte (acide). L'ensemble est encapsulé dans un bac scellé ou muni d'un bouchon de remplissage. Les réactions d'oxydoréduction, qui gèrent le fonctionnement d'une batterie sont modifiables,

#### **2.3.1. La capacité d'une batterie solaire**

La capacité d'une batterie solaire se mesure en ampères heure (Ah). Elle représente le "débit" potentiel de la batterie.

Mais il faut ajouter à ça la vitesse de décharge de la batterie qui a un impact sur la capacité Plus la rapidité de la décharge est importante, plus la capacité réelle de la batterie sera faible.

#### **2.3.2. Mesure de la capacité de stockage**

Une batterie présentant la capacité de 70 Ah en C100 aura réellement une capacité de 70 Ah si la décharge prend 100 heures, environ 55 Ah en 20 heures et seulement 50 Ah en 10 heures.

Si on décharge complètement cette batterie selon une intensité de 5 Ampères, la décharge ne durera que 10 heures ( $10 \times 5 = 50$ ) cette même décharge durera 20 heures au rythme de 2,75 A ( $2.75 \times 20 = 55\text{Ah}$ ) et enfin 100 heures au rythme de 0,7 A ( $0.7 \times 100 = 70 \text{ Ah}$ ).

#### **2.3.3. La durée de vie d'une batterie solaire**

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue en nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL. Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges : le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge.

Types de batteries à décharge lente :

- Batterie solaire au plomb ouvert : 400 à 500 cycles
- Batterie solaire AGM : 600 à 700 cycles
- Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles

### 2.3.4 .Les différents types de batterie

| Type de la batterie         | Avantages  | Inconvénients  |
|-----------------------------|--|--|
| Plomb (Pb)                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix bas</li> <li>- Solides</li> <li>- Capables de fournir des courants élevés</li> <li>- Eléments standards trouvables n'importe où dans le commerce</li> <li>- Facilité de mise en œuvre</li> <li>- Sans effet mémoire (c'est à dire qu'on peut les recharger quand on veut, à n'importe quel niveau de charge)</li> <li>- Souplesse d'utilisation</li> <li>- Excellent rapport prix/durée de vie (3/4 ans)</li> <li>- Ne pollue pas si bien recyclé</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Densité d'énergie</li> <li>- Poids</li> <li>- Autodécharge (1% par jour environ)</li> <li>- Sensibles aux températures négatives (perte d'autonomie jusqu'à -25% à -10°C)</li> <li>- Risque de cristallisation de sulfate de Pb si laissée trop longtemps déchargée et donc perte de capacité irréversible</li> </ul> |
| Nickel Cadmium (Ni – Cd)    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aptés à supporter de grands courants de charge et décharge grâce à leurs faibles résistances internes.</li> <li>- Faible coût</li> <li>- Solidité mécanique et électrique</li> <li>- Recharge facile et grande tolérance face aux surcharges</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Effet mémoire</li> <li>- Densité énergétique moyenne</li> <li>- Recyclage compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant</li> </ul>  |
| Nickel Métal Hydride (Nimh) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bonne densité d'énergie</li> <li>- Supporte des courants importants car résistance interne faible (les Ni-cd gardent cependant l'avantage dans ce domaine)</li> <li>- Simples à stocker et à transporter</li> <li>- Ne pollue pas si bien recyclé</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragile car ne supportent pas la surcharge, nécessitant par conséquent l'usage de chargeurs automatiques performants et coûteux</li> <li>- Détection de fin de charge difficile</li> <li>- Durée de vie faible</li> <li>- Autodécharge importante</li> </ul>  |

|                 |  |  |
|-----------------|--|--|
| Lithium<br>(Li) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Densité énergétique très élevée grâce aux propriétés physiques du lithium</li> <li>- Autodécharge très faible (5% par mois)</li> <li>- Aucun effet mémoire</li> <li>- Poids</li> <li>- Agrément d'utilisation</li> <li>- Accepte un nombre de cycles important (jusqu'à 1500 pour les meilleures)</li> <li>- Faible résistance interne</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix très élevé</li> <li>- Nécessite un circuit de protection sérieux (B.M.S. et P.C.M.) pour gérer la charge et la décharge afin d'éviter la destruction des éléments coûteux</li> <li>- Usure même en cas de non utilisation</li> </ul> |
|-----------------|--|--|

Tab 2.2 : comparaison entre les différents types de batterie solaire

### 2.3.5. Principe de fonctionnement

Une batterie d'accumulateurs, est un ensemble d'accumulateurs électriques reliés entre eux de façon à créer un générateur de courant continu de la capacité et de la tension désirée.

#### A : En décharge

Au cours de la décharge. Il y a formation de cristaux (sulfate de plomb) sur chacune des électrodes. La densité devient faible et ça en fonction de la quantité déchargée. La densité de l'électrolyte décroît en fonction de la quantité déchargée. La tension de fin de décharge est liée au courant de décharge

#### B : En charge

- Durant la charge, le sulfate de plomb est transformé au niveau des plaques, en plomb (Pb) pour l'électrode négative et en oxyde de plomb (PbO<sub>2</sub>) pour l'électrode positive. Cette formation s'accompagne de la formation d'acide sulfurique. La densité augmente.

- La charge d'une batterie dans un système photovoltaïque s'effectue généralement selon la caractéristique de charge IU. La première phase s'effectue à courant constant jusqu'à l'atteinte de la tension de fin de charge à partir de laquelle commence la deuxième phase de charge qui s'effectue à tension constante. Durant cette deuxième phase, le courant de charge sera réduit à niveau correspondant au maintien de la charge dans le but de conduire à une charge complète de la batterie au cours de la charge en remarque

- Que la densité croit lentement en début de charge pour remonter brusquement en fin de charge. Cette remontée brusque de la densité est le résultat de l'homogénéisation de l'électrolyse qui fait suite à son échauffement causé par l'apparition d'un dégagement gazeux.

- Que le phénomène de dégagement gazeux appelé «gassing» est lié à la tension de charge qui est-elle même quasiment dépendante de la température selon la formule :(2)  $V_G = V_{gt0} - 0,005XT$

$V_G$  = tension de Gassing correspondant à la température T  $V_{gt0}$  = tension de gassing à T=20°C  
(T=température actuelle en °C)

## **2.4. Précaution d'exploitation :**

Des caractéristiques fonctionnelles des batteries au plomb découlent certaines dispositions à prendre qui sont indispensables au bon fonctionnement de ces batteries :

- La tension de fin de charge doit être fixée en tenant compte de la température :
  - Soit au niveau du régulateur qui doit être équipé d'un dispositif appelé compensateur de température qui fixe automatiquement la tension de fin de charge en fonction de la température mesurée.
  - Soit en prévoyant une tension fixe calculée à partir de la formule (2) En utilisant une température maximale du site.
- Il faudra veiller à ce que la durée du gassing ne dépasse pas 10 heures par mois
- La fixation du seuil de tension de fin de décharge doit tenir compte du courant moyen de décharge
- Des charges d'égalisation doivent être prévues au moins deux fois par an (si le régulateur ne dispose pas d'une activation automatique de la charge d'égalisation) pour éviter la formation prolongée de sulfate sur les plaques des batteries.

### **2.4.1. Déférente cause de la défaillance des batteries :**

#### **a) Surcharge de la batterie**

Les surcharges des batteries provoque non seulement la corrosion de ses plaques positives, mais aussi un dégagement excessif de gaz pouvant arracher des plaques, les matières actives qui se déposent aussi bien au fond du bac, qu'entres les séparateurs et les plaques. Les surcharges des batteries génèrent une augmentation de la température des plaques, ce qui peut conduire à la destruction des plaques et des séparateurs

#### **b) décharge profonde**

Les décharges profondes prolongées sont la diminution de la densité de l'électrolyte, le dépôt au fond du bac de sédiments fins de cristaux de sulfate de plomb et la décoloration des plaques, ainsi que leur sulfatation

#### **c) la sulfatation**

La sulfatation consiste en la formation sur les plaques de larges cristaux de sulfates de plomb, en lieu et place des fins cristaux qui y sont normalement présents. Les causes de la sulfatation sont :

- la non-utilisation de la batterie durant une longue période, après sa charge complète ou partielle
- le fonctionnement de la batterie durant des jours à un état de charge partielle.
- le changement de la température dans la batterie. Les manifestations de la sulfatation sont l'augmentation de la résistance interne de la batterie, ce qui entraîne une diminution de la décharge et une augmentation de la tension de charge

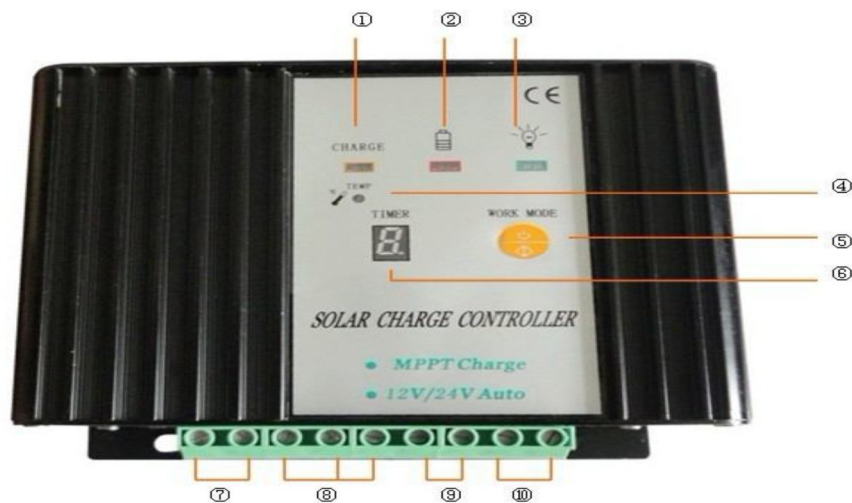
#### d) court circuits

- la destruction des séparateurs,
- l'accumulation exagérée des sédiments au fond du bac,
- la formation de structures arborescentes de plomb, de la plaque négative vers la plaque positive.

#### Les manifestations du court-circuit des éléments sont :

- une densité d'électrolyte faible, en dépit de la réception normale de charge,
- une perte rapide de capacité après une pleine charge,
- une tension à vide faible.

### 2.5. Régulateur de charge



(Figure 2.2) régulateur de charge

- ① -- Indicateur LED de l'état de charge
- ② -- Indicateur LED de l'état de charge de la batterie
- ③ -- Indicateur LED de l'état de la sortie auxiliaire
- ④ -- Capteur de température
- ⑤ -- Bouton de réglage de la minuterie
- ⑥ -- Afficheur digital LED de la minuterie
- ⑦ -- Bornes de connexion alimentation externe
- ⑧ -- Bornes de connexion de deux sorties auxiliaires
- ⑨ -- Bornes de connexion batterie
- ⑩ -- Bornes de connexion panneau solaire

Le régulateur de charge a pour fonction principale de protéger la batterie contre les charges excessives et les décharges profondes.

### 2.5.1. Fonctionnement du régulateur de charge :

- Collecte les informations relatives à l'état de charge de la batterie
- Compare ces informations
- $V_{min}$  : tension de déconnexion de la charge : protection décharge profonde.
- $V_{max}$  : tension de déconnexion des modules : protection à la surcharge
- Opère la protection de la batterie.

Le processus de régulation est consigné dans le tableau ci-dessous :

| ETAT BATTERIE                   | COMMANDE                           |
|---------------------------------|------------------------------------|
| $VB > V_{max}$                  | Déconnecte les modules PV          |
| Si 1) est vrai et $VB < V_{t1}$ | Reconnecte les modules             |
| PV $VB < V_{min}$               | Déconnecte la charge (utilisation) |
| Si 3) est vrai et $VB > V_{t2}$ | Reconnecte la batterie à la charge |

**Avec :**

$V_{t1}$  la tension de reconnexion des modules.

$V_{t2}$  la tension de reconnexion des récepteurs (utilisation).

$VB$  la tension de la batterie.

$V_{max}$  : tension de fin de charge,

$V_{min}$  : tension de fin de décharge

|                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| Tension de déconnexion modules     | 14,50 V |
| Tension de déconnexion utilisation | 11,40V  |
| Tension de reconnexion utilisation | 12,50V  |

Le régulateur ne possède pas de seuil de reconnexion des modules. A partir de la tension de déconnexion des modules, le courant des modules est diminué jusqu'à la charge complète de la batterie.

### 2.5.2. Principaux types de régulateur de charge

Il existe deux types de régulateurs de charge dans les applications :

Le régulateur shunt régule la charge de la batterie en le finissant par un court-circuit du générateur photovoltaïque. L'utilisation d'une diode série est indispensable entre la batterie et l'organe de commutation (transistor) afin d'éviter un court-circuit simultané de la batterie.

**Hors régulation**, la tension  $V_B$  de la batterie est inférieure à la tension  $V_{Lim}$  correspondant à la tension de fin de charge de la batterie. Dans ce cas  $V_+ < V_{réf}$ ,  $V_s = 0$  et  $i = 0$ . Le transistor est bloqué ( $I_r = 0$ ), le module débite et charge la batterie.

**En régulation**, le début de la régulation correspond à la condition  $V_B > V_{Lim}$ . Dans ce cas  $V_+ > V_{réf}$  et  $V_s > 0$ . Le transistor T conduit à  $I_r > 0$  avec  $I_P = I_r + I_B$ .  $I_r$  absorbe le courant de charge  $I_P$ , ce qui génère la diminution de la tension  $V_B$  de la batterie.

#### **Avantage du régulateur shunt**

- aucune chute de tension dans l'unité de charge.
- Consommation du régulateur négligeable durant la période de non régulation.
- La défektivité du régulateur n'entraîne pas l'interruption de la charge de la batterie.

#### b) Régulateur série

Dans le cas du régulateur série, l'organe de commutation est en série dans le circuit du générateur

#### Conclusion :

- Les batteries solaire nous permet de stoker une énergie importante et de l'utiliser quand les conditions météo nous permet pas de la produire.
- Le régulateur de charge est un élément essentielle pour la charge de la batterie et il permet de la protéger contre la surcharge.

# Chapitre 3

## Etude

### Du réfrigérateur

# A. Premier partie

## 3.1. Introduction :

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agro-alimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place principale car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte...) On a estimé que dans certaines régions du monde, 50% des aliments disponibles se perdent entre la période qui s'écoule entre le moment de la production et celui de la consommation. Ainsi, dans le domaine alimentaire, l'objectif du froid est de maintenir la qualité originale des produits en limitant les altérations liées au développement des microorganismes, altérations très rapides dans les pays chauds à cause des conditions climatiques (température, humidité relative) qui sont favorables à l'augmentation des bactéries. Le froid permet d'améliorer la qualité en favorisant la maîtrise des conditions de fabrication par une amélioration des paramètres climatiques influençant le comportement

Des microorganismes. Le froid permet aussi l'augmentation du volume de production agricole par la modification du cycle végétatif des plantes améliorant ainsi leur rendement

### 3.1.1. Mode de production du froid et application

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes. Les applications du froid sont très variées. Parmi les différentes modes de production du froid, il ya :

- La sublimation d'un solide (cas du CO<sub>2</sub>)
- La détente d'un gaz comprimé
- La fusion d'un corps solide
- Le refroidissement thermoélectrique
- La désaimantation adiabatique
- La vaporisation d'un liquide en circuit fermé

*La sublimation d'un solide* consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du CO<sub>2</sub> qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de  $-78.9^{\circ}\text{C}$ .

**La détente d'un gaz comprimé** repose sur le principe de l'abaissement de la température d'un fluide lors de sa détente (avec ou sans travail extérieur). Cet abaissement est plus important lors de la détente sans travail extérieur (détente Joule -Thomson : étranglement à travers une vanne)

**La fusion d'un corps solide** se fait à température constante par absorption de la chaleur latente de fusion du corps considéré, ce procédé discontinu présente l'inconvénient de nécessiter une congélation préalable à moins que cet état ne soit disponible à l'état naturel.

**Le refroidissement thermoélectrique** (effet Peltier) est utilisé pour produire de très petites quantités de froid. Il consiste à faire passer un courant continu dans un thermocouple constitué de conducteurs de natures différentes reliés alternativement par des ponts de cuivre.

**La dissolution d'un sel dans l'eau** provoque un abaissement de la température de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de l'eau (récupération du sel).

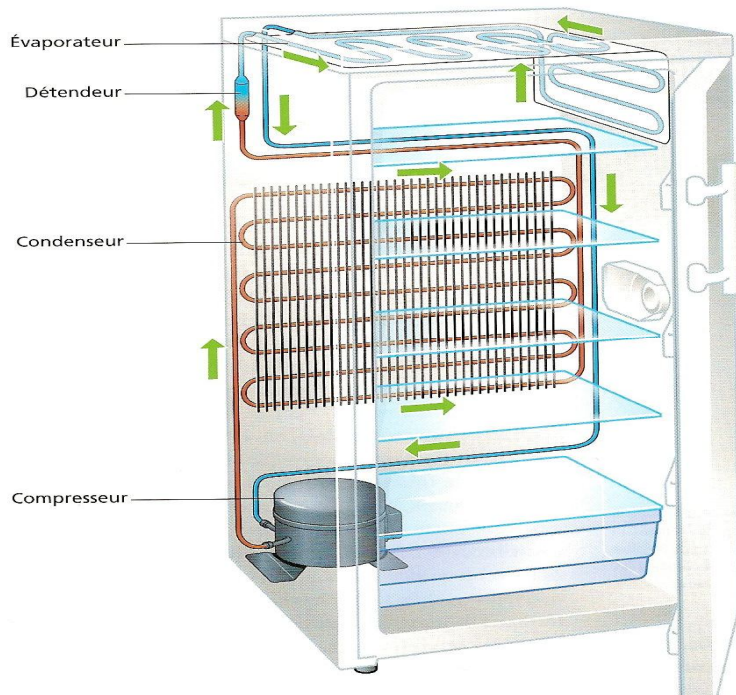
**La désaimantation adiabatique** consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures ( $10^{-2}$  à  $10^{-6}$  K).

**La vaporisation d'un liquide** permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à Travers un échangeur (évaporateur), la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un Autre échangeur (condenseur), le fluide décrit un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue. Les machines utilisant ce principe peuvent être regroupées en deux grandes familles que sont les machines à compression mécanique et les machines à absorption. La vaporisation d'un liquide en circuit fermé reste la méthode la plus utilisée pour la production du froid.

### 3.1.2. Composition d'un réfrigérateur

La machine frigorifique à compression de vapeur est composée de 4 organes principaux que sont :

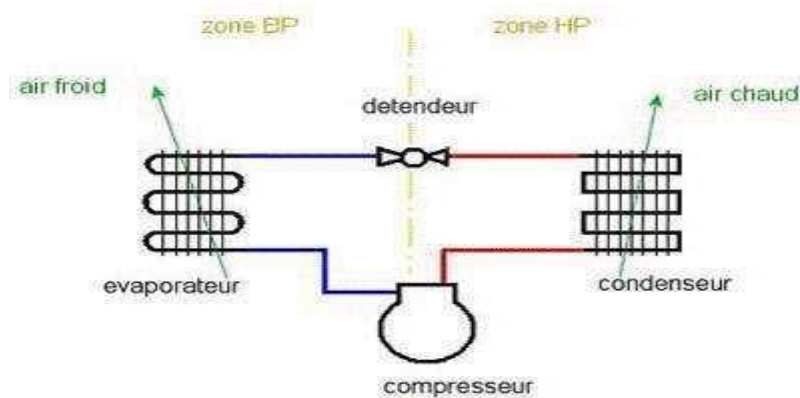
- Le condenseur
- Le détendeur
- L'évaporateur
- Le compresseur



(Figure 3.1) le réfrigérateur

Le fluide frigorigène décrit un cycle fermé en quatre phases à travers le circuit constitué des organes principaux :

- La compression du fluide gazeux
- la condensation du fluide gazeux
- la détente du fluide liquide
- La vaporisation du fluide liquide (production du froid)



(Figure 3.2) Schéma de base d'une machine frigorifique [3]

Le compresseur aspire le fluide frigorigène gazeux issu de l'évaporateur, le comprime à un niveau plus haut de température et de pression puis le refoule vers le condenseur.

### 3.2. Les condenseurs :

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

Les condenseurs à air

Les condenseurs à air à convection naturelle les condenseurs à air à convection forcée

Les condenseurs à eau

Les condenseurs à double tube (condenseurs coaxiaux)

Les condenseurs bouteilles (condenseurs à serpentins)

Les condenseurs multitubulaires

Les condenseurs à plaques brasées (échangeur à plaques)

Le tableau suivant donne les avantages et les inconvénients de chacune des deux familles.

#### : Avantages et inconvénients des condenseurs à air et à eau.

|                   | Avantages  | Inconvénients  |
|-------------------|--|--|
| Condenseurs à air | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Air disponible en quantité illimitée</li> <li>-Entretien simple et réduit</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Coefficients globaux d'échange thermique relativement faibles Plus imposants et plus lourds</li> <li>-Températures de condensation élevées dans les pays chauds</li> </ul> |
| Condenseurs à eau | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Coefficients globaux d'échange thermique plus élevés</li> <li>-Plus compacts et moins encombrants à puissance égale</li> <li>-Températures de condensation stables et de bas niveau</li> <li>- Fonctionnement moins bruyant</li> <li>-Possibilité de récupération d'énergie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Gaspillage d'eau pour les condenseurs à eau perdue</li> <li>-Nécessité de mise en place d'un système de refroidissement de l'eau</li> </ul>                                |

Tab 3.1 comparaison entre un condensateur à eau et un condensateur à air

#### 3.2.1. Constitution :

Il est construit sur la base d'un serpentins en acier ; un treillis métallique permet d'améliorer l'échange de chaleur. Il peut être ventilé et dans ce cas sa surface sera plus petite et les ailettes plus appropriées. En circulant le long de ce serpentins, le fluide frigorigène étant plus chaud que le milieu extérieur évacue sa propre chaleur. Le fluide frigorigène est alimenté par le haut du condenseur et croise l'air montant créant ainsi un échange à "contre-courant".

Cet échange se réalise en trois étapes :

**a. La désurchauffe :**

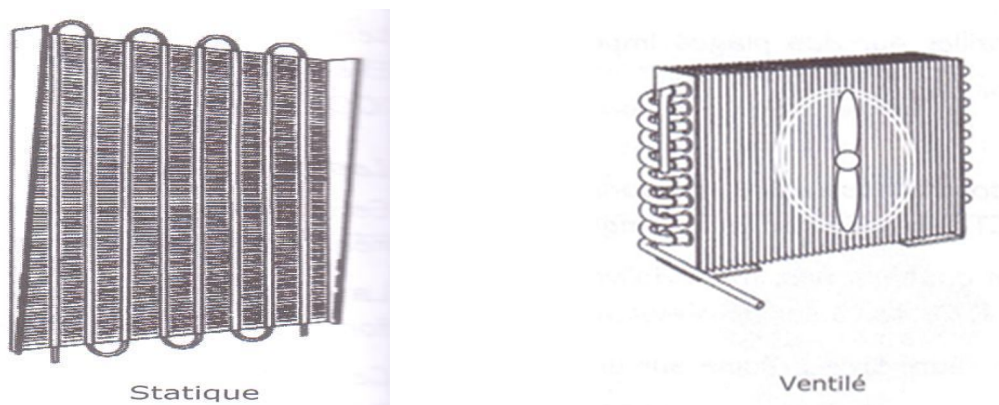
Le fluide frigorigène se refroidit lors de la circulation dans la canalisation le reliant au compresseur plus une première partie du condenseur ; ce refroidissement est sensible, c'est-à-dire que l'on peut mesurer l'évolution de température. Cette partie est utilisée en "tour de porte" afin de faciliter l'ouverture des portes par le maintien à température ambiante des joints de porte.

**b. La condensation :**

Le fluide frigorigène change d'état, ce qui lui permet de passer de vapeur haute pression à liquide haute pression ; cette évolution se fait à température constante, toute l'énergie étant consacrée au changement d'état. C'est durant cette phase que l'échange de chaleur est le plus important.

**c. Le sous-refroidissement :**

Le fluide frigorigène continue à se refroidir jusqu'à l'entrée du capillaire. Ce refroidissement est sensible c'est-à-dire que l'on peut mesurer l'évolution de température.



(Figure 3.3) les condensateurs

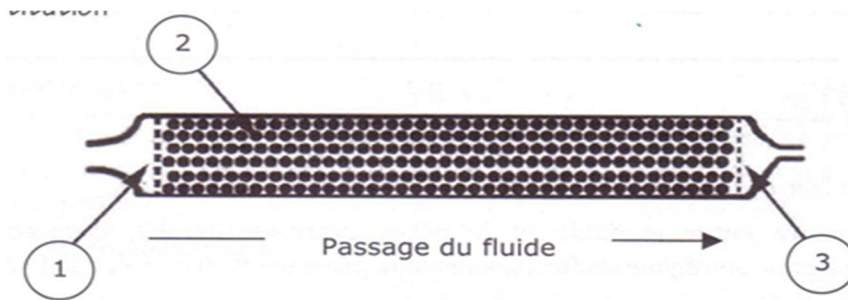
### 3.3. Le déshydrateur

#### 3.3.1. Constitution :

Une enveloppe de cuivre dans laquelle on trouve un filtre grossier en cuivre et un substrat d'alumine activé et de gel de silice sous forme de billes terminé par un filtre fin. L'alumine neutralise les acides formés lorsque le fluide frigorigène est en présence d'humidité. Ceux-ci pourraient corroder les éléments métalliques du circuit et endommager le vernis de l'enroulement au compresseur.

Le gel de silice a pour rôle d'absorber l'humidité résiduelle du circuit provenant du fluide frigorigène ou d'une intervention. Le filtre fin a pour rôle de terminer le nettoyage. Il arrête les impuretés, les copeaux et la calamine introduits dans le circuit lors d'une intervention. Sa taille dépend de la masse de fluide contenue dans le réfrigérateur.

le pouvoir de préhension du déshydrateur s'exprime en ppm (parties par millions).



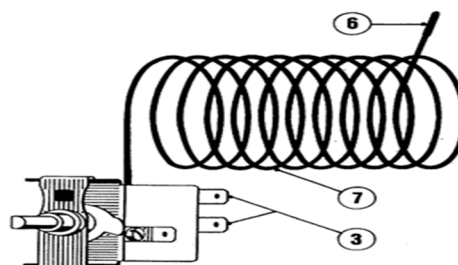
(Figure 3.4) le déshydrateur

### 3.4. Le Thermostat.

#### 3.4.1. Principe

Il est logé dans le boîtier plastique qui abrite le système d'éclairage. C'est l'organe de commande destiné à assurer la régulation automatique de la température à l'intérieur de l'appareil. Un bouton de réglage avec indice gradué permet de fixer le niveau de froid souhaité.

Le thermostat agit comme un simple interrupteur, il commande le compresseur en fonction de la température. La mesure de cette température s'effectue à l'aide d'une sonde directement appliqué sur l'évaporateur. Il existe aussi des thermostats électroniques fonctionnant à l'aide d'une thermistance (CTP), ils équipent les congélateurs de très haut gamme.



(Figure 3.5) le thermostat

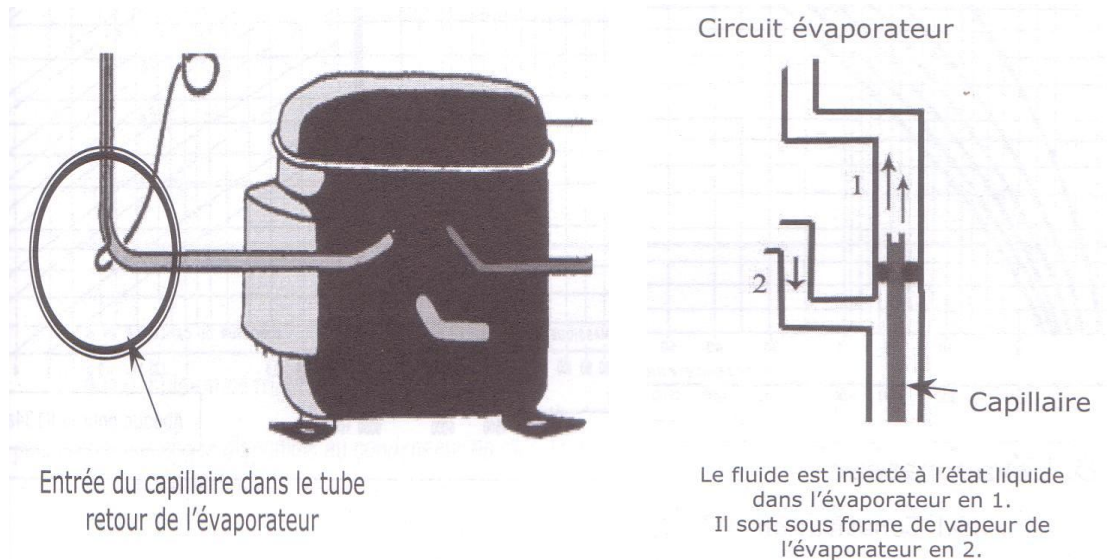
### 3.5. Echangeur de chaleur

#### 3.5.1. Constitution :

Les constructeurs, réalisent un échangeur de chaleur en croisant Co axialement la canalisation liquide et aspiration. Le capillaire est introduit au niveau de la partie arrière basse du réfrigérateur dans le tube de retour de l'évaporateur ; il y a échange de chaleur entre le fluide HP à l'état liquide et le fluide BP à l'état de vapeur. Ces deux fluides circulent à contre sens.

### Cet échangeur permet :

- De garantir une bonne injection du fluide frigorigène à l'état liquide (80% liquide) permettant une bonne performance frigorifique.
- De s'assurer que le fluide frigorigène ne parvienne pas à l'aspiration à l'état liquide au compresseur (destruction des clapets) tout en garantissant des vapeurs fraîches pouvant légèrement refroidir les enroulements du moteur du compresseur.



(Figure 1.6) le rôle du capillaire

### 3.6. Le capillaire :

#### 3.6.1. Constitution :

Le détendeur capillaire est utilisé sur tous les meubles ménagers il est constitué par un tube de cuivre de 0,4 à 2 mm de diamètre. Sa longueur est très précisément déterminée en fonction du débit du condenseur, de la chute de pression à obtenir dans l'évaporateur et de la masse de fluide frigorigène contenue dans le réfrigérateur.

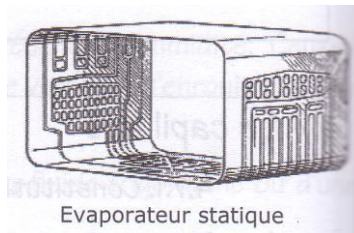
-Les conditions de fonctionnement d'un réfrigérateur, évoluent en permanence et produisent une variation du débit capillaire qui s'autorégule à condition que la masse de fluide frigorigène soit parfaitement respectée. Il n'est pas possible de modifier son diamètre, sa longueur et la masse de fluide frigorigène.



(Figure 3.7) le capillaire

### 3.7. L'évaporateur :

**3.7.1. Evaporateur statique :** plat ou en forme de U, il est fabriqué à partir de deux tôles d'aluminium soudées, par laminage.



(Figure 3.8a) l'évaporateur statique

**3.7.2. Evaporateur collé :** une fin serpentine en aluminium court sur la paroi du fond, le milieu isolé est séparé de l'évaporateur par un film plastique, lui-même isolé du milieu extérieur par une paroi pare-vapeur évitant la condensation et limitant le transfert thermique. La surface relativement importante permet au fluide frigorigène de ne pas être trop froid et de limiter la production de givre.



(Figure 3.8b) l'évaporateur collé

### 3.8. Le fluide frigorigène :

Le fluide frigorigène permet les échanges de chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'état que sont l'évaporation et la condensation.

### 3.9. Les compresseurs

#### 3.9.1. Technologie des compresseurs

Il existe deux grands types de compresseurs :

Les compresseurs volumétriques dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par la réduction du volume intérieur d'une chambre de compression, c'est le type de compresseur le plus répandu sur les installations frigorifiques.

Les compresseurs centrifuges aussi appelés turbocompresseurs dans lesquels la compression provienne de la force centrifuge obtenue par entraînement dynamique au moyen d'une roue à aubes, c'est un type de compresseurs destiné à des applications spécifiques et utilisés pour de grandes puissances (groupes frigorifiques de grande puissance en génie climatique par exemple).

### 3.9.2. Les compresseurs volumétriques

Il existe plusieurs types de compresseurs volumétriques :

Les compresseurs à pistons dont le plus connu est le compresseur à pistons alternatif c'est le type de compresseur le plus répandu ; la compression des vapeurs est obtenue par le déplacement d'un ou de plusieurs pistons dans une capacité donnée (cylindre).

Les compresseurs à pistons axial (compresseurs à plateau oscillant) rencontrés surtout dans le domaine de la climatisation automobile Les compresseurs rotatifs aussi appelés compresseurs à palettes Dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par déplacement d'un corps cylindrique creux d'une masse excentrée agissant sur une palette mobile .

Les compresseurs à spirales aussi appelés compresseurs scroll dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par la rotation d'une spirale mobile dans une spirale fixe.

Les compresseurs à vis parmi lesquels il faut distinguer les compresseurs mono vis (Mono rotor) et les compresseurs double vis (bi rotors)

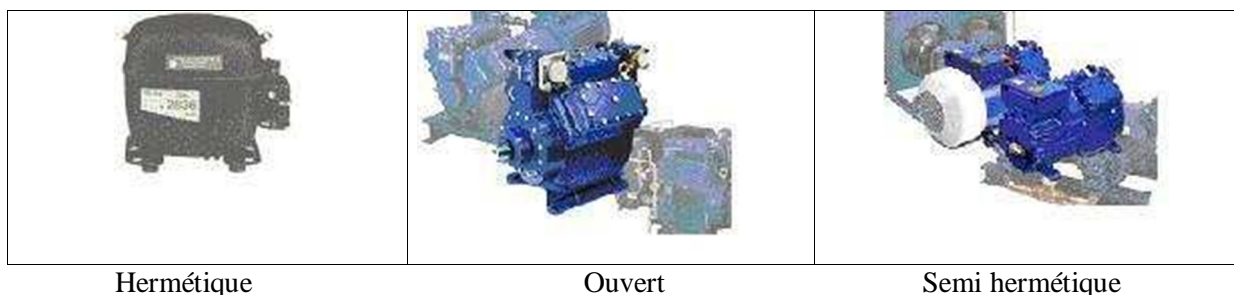
### 3.9.3 .Association Moteur Compresseur

Suivant le type de liaison ou d'association entre les deux parties, on distingue :

Les compresseurs hermétiques

Les compresseurs ouverts

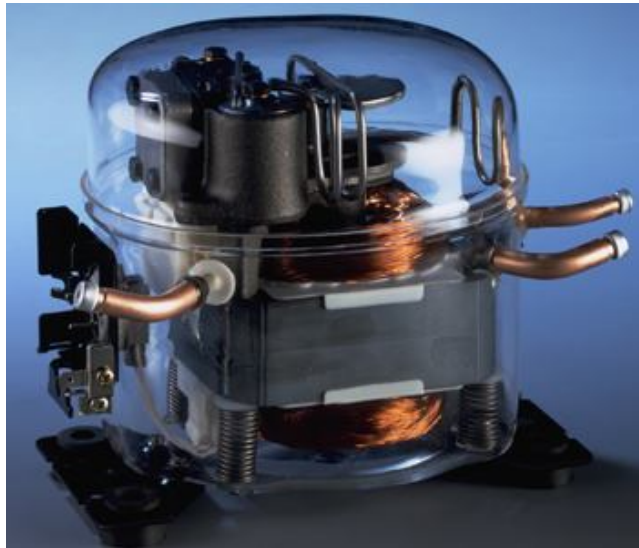
Les compresseurs semi hermétiques ou semi ouverts



(Figure 3.9) les différents type de compresseur

### 3.9.4. Les compresseurs hermétiques

Le moteur électrique et le compresseur sont enfermés dans la même enveloppe sans possibilité d'accès, l'ensemble est supporté généralement par ressorts pour éviter la transmission des vibrations. Le compresseur aspire les vapeurs de fluide frigorigène à l'intérieur de l'enveloppe et le refoulement est effectué au travers d'une tuyauterie souple brasée à l'enveloppe. Le moteur électrique est alimenté par des fils reliés à des bornes étanches. L'étanchéité de ces compresseurs est assurée par des joints fixes (passage des fils et des tuyauteries). Ce type de compresseur est utilisée pour les petites puissances (réfrigérateurs, climatiseurs...) et les moyennes puissances (refroidisseurs de liquides, armoires de climatisation...).



(Figure 3.10) Compresseur hermétique

## 3.10 .compresseur hermétique à piston

### 3.10.1. Principe de fonctionnement

Ce compresseur a été pendant longtemps le type le plus utilisé et le plus répandu dans le domaine du froid ménager, du froid commercial et du froid industriel. Il reste le type le plus rencontré sur les installations frigorifiques de nos jours.

Le compresseur à pistons est un convertisseur d'énergie qui permet de transférer l'énergie mécanique produite par le moteur électrique au fluide frigorigène suivant les deux étapes suivantes :

**Transfert de l'énergie mécanique du moteur d'entraînement aux pistons** (mécanisme de transformation du mouvement rotatif en mouvement alternatif, système d'entraînement des pistons, dispositifs comme le carter, la garniture d'étanchéité, le dispositif de lubrification et du dispositif d'entraînement)

**Transfert de l'énergie des pistons au fluide frigorigène** : (le fluide frigorigène est aspiré, comprimé et refoulé ; les pièces sont les pistons mais également les segments, les cylindres, les soupapes ou clapets et les canaux d'admission et d'échappement). Le piston d'un compresseur évolue entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB).

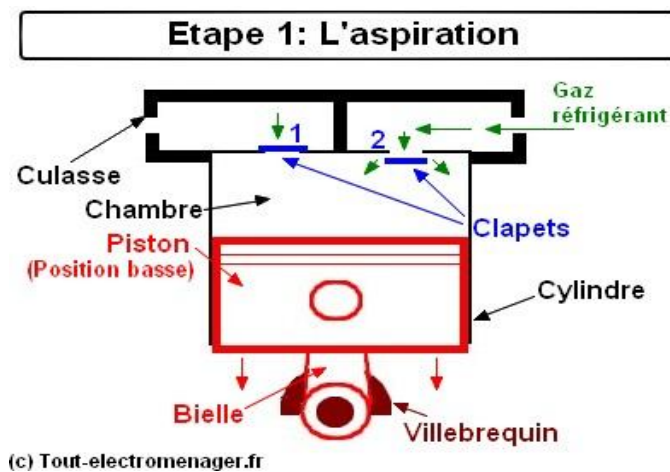
le piston étant au PMH, le clapet d'aspiration va s'ouvrir le clapet d'aspiration s'ouvre dès la course descendante du piston sous l'effet de la pression de la chambre d'aspiration qui devient supérieure à la pression régnant dans le cylindre, l'aspiration par le clapet d'aspiration des vapeurs de fluide frigorigène provenant de l'évaporateur s'opère alors au fur et à mesure que le piston continue à descendre, pendant cette phase, le clapet de refoulement est fermé. Lorsque le piston atteint le PMB, le cylindre est rempli de vapeurs à la pression d'évaporation ( $P_0$ ), le clapet de refoulement reste fermé et le clapet d'aspiration se ferme, lorsque le piston va commencer à remonter, la pression dans le cylindre augmente et lorsqu'elle devient légèrement supérieure à la pression régnant dans la chambre d'aspiration, le clapet d'aspiration va se fermer. Partant du PMB, le piston remonte, le volume intérieur contenant les vapeurs se réduit permettant d'obtenir la compression de ces vapeurs et lorsque la pression devient légèrement supérieure à la pression  $P_c$  (pression régnant dans la chambre de refoulement), le clapet de refoulement s'ouvre et le refoulement des vapeurs s'opère jusqu'à ce que le piston atteigne le PMH

Le piston ayant atteint le PMH les vapeurs de fluide frigorigène viennent d'être refoulées vers Le condensateur, dans l'espace mort ou espace nuisible (espace entre le haut du piston en PMH

Et le haut du cylindre) les vapeurs sont enfermées à la pression  $P_c$ , le clapet d'aspiration est fermée et le clapet de refoulement se ferme (ou va se fermer très rapidement) ; en effet à partir du PMH, le piston va commencer à redescendre, la pression dans le cylindre va diminuer ce qui va permettre au clapet de refoulement de se refermer (assez rapidement) lorsque la pression dans la chambre de refoulement va être supérieure à pression régnant dans le cylindre.

## Etape 1 : L'aspiration

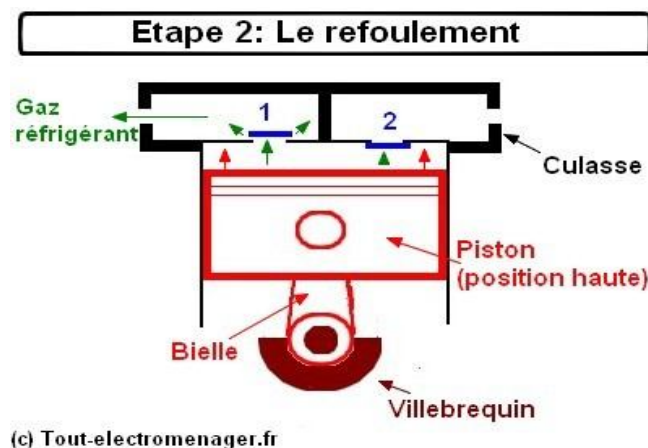
Lorsque le moteur est en fonction, le rotor tourne et entraîne un vilebrequin qui permet au piston de descendre dans le cylindre par l'intermédiaire de la bielle. Pendant cette phase, le clapet 1 est aspiré et colle donc parfaitement, le clapet 2 quand à lui, s'ouvre permettant l'entrée du fluide frigorigéant venant du circuit réfrigérant de l'appareil (à l'état gazeux) dans la chambre.



(Figure 3.11a) l'aspiration

## Etape2 : Le refoulement

Après l'entrée du gaz réfrigérant, le piston continue sa course et vient comprimer la chambre. Ce phénomène appui sur le clapet 2 qui se ferme hermétiquement. Sous la pression le clapet 1 peut alors s'ouvrir et laisser s'échapper le fluide qui part directement dans le circuit réfrigérant de l'appareil. Le cycle peut alors reprendre son cours à l'étape 1.



(Figure 3.11b) le refoulement

## **3.10.2. Dispositifs de transfert d'énergie**

### **3.10.2.1. Arbre excentrique et arbre vilebrequin**

Ce dispositif permet de transmettre l'énergie fournie par le moteur d'entraînement (Électrique) en transformant le mouvement rotatif en mouvement alternatif. L'arbre excentrique est généralement utilisé pour les compresseurs de faible puissance (compresseurs hermétiques et semi hermétiques). Sa fabrication est plus simple que l'arbre vilebrequin et il permet la mise en place de bielles à tête fermée. L'arbre vilebrequin est un arbre avec deux paliers principaux (avec quelques fois des paliers intermédiaires) à ses extrémités qui tourne sur des paliers généralement lisses quelques fois à billes ou à rouleaux. Il comporte trois parties :

Les tourillons avant et arrière, ils sont lisses et soigneusement usinés pour être positionnées dans les paliers Les manetons qui sont le support des bielles, les têtes de bielles sont fixées sur les manetons soit directement soit en interposant des soies.

Les contrepoids sont des masses soigneusement calculés et parfaitement positionnées pour équilibrer les forces résultantes du mouvement de l'ensemble mécanique constitué du vilebrequin et des bielles. Les arbres vilebrequins sont généralement forés de canaux qui transportent l'huile de graissage vers les paliers, les manetons et la garniture d'étanchéité.

La partie de l'arbre à l'extérieur du carter est conique et comporte une clavette pour la mise en place d'un volant ou d'un dispositif d'accouplement élastique (compresseurs ouverts), l'autre extrémité comporte le logement du système d'entraînement de la pompe à huile.

### **3.10.2.2. Les bielles**

Elles assurent la transmission de l'énergie du vilebrequin aux pistons, elles sont résistantes et légères (aluminium coulé ou alliage d'aluminium). Il existe les bielles à tête fermée pour les arbres excentriques et les bielles à tête ouverte. Les bielles à tête fermée renferment les deux éléments d'un coussinet mince réalisé en acier recouvert de cuivre et de métal antifriction.

### **3.10.2.3. La garniture d'étanchéité**

Il s'agit d'un organe spécifique aux compresseurs ouverts et dont le rôle est de permettre la rotation de l'arbre tout en assurant l'étanchéité entre le carter et l'atmosphère et ce quel que soit la pression régnant dans le carter (supérieure et inférieure à la pression atmosphérique). Elle doit être abondamment lubrifiée.

### **3.10.2.4. Le carter**

Il renferme et supporte le dispositif d'entraînement des pistons, il reçoit et renferme les cylindres et les chapeaux des cylindres. La partie inférieure forme la réserve d'huile et permet l'accès à différentes composantes pour les visites d'entretien et de réparation (compresseurs semi hermétiques et ouverts).

Le carter doit être étanche et pour la majorité des compresseurs de type industriel il est réalisé en fonte fine. Les carters sont éprouvés hydrauliquement. La pression régnant dans le carter est la pression d'aspiration grâce à des orifices d'équilibrage.

### **3.10.2.5. Les dispositifs de lubrification**

Les compresseurs doivent être lubrifiés à des points précis tels que les paliers, les têtes de bielle, les pieds de bielle, les cylindres et la garniture d'étanchéité. L'huile assure la lubrification des pièces en mouvement de même qu'elle contribue au refroidissement et participe à l'étanchéité du système. On distingue la lubrification avec ou sans pompe à huile.

#### **Lubrification sans pompe à huile**

##### **Lubrification par barbotage**

Les têtes de bielle plongent dans l'huile et la projette à l'intérieur du carter lors des remontées. Cette technique convient pour des petits compresseurs dont la vitesse de rotation ne dépasse pas 800 tr/mn. Pour des vitesses supérieures, on constate la formation d'émulsion d'huile formée par l'agitation créée par les têtes de bielle.

##### **Lubrification des compresseurs hermétiques**

Les compresseurs hermétiques disposent d'un dispositif de lubrification sans barbotage des têtes de bielle, ni pompe à huile. L'arbre creux muni d'une rainure hélicoïdale plonge dans l'huile et c'est par la capillarité et sous l'effet de la force centrifuge que l'huile remonte le long de l'arbre et lubrifie les organes essentiels du compresseur (paliers, bielles...). En bout d'arbre, l'huile est finalement projetée dans la cloche en fines gouttelettes refroidissant le moteur et retombe ensuite dans le bas de la cloche, ce dispositif est réversible et ne dépend pas du sens de rotation.

##### **Lubrification forcée par pompe à huile**

Une pompe à huile placée en bout d'arbre assure la lubrification des points essentiels du compresseur. Un circuit classique de lubrification sous pression comporte :

- un filtre d'aspiration à l'entrée du circuit disposé dans l'huile
- une pompe à huile entraînée par l'arbre vilebrequin
- un filtre de refoulement à mailles fines
- un dispositif de réglage de la pression de lubrification

L'huile retourne ensuite dans le carter de diverses manières (fuites internes des paliers et manetons, fuite permanente de la garniture, raclage des parois internes des cylindres, chambres d'aspiration, retour de la soupape de décharge). La pompe à huile délivre une pression supérieure à la pression régnant dans le carter à peu près la pression d'aspiration.

### 3.10.2.6. Le piston :

Le matériau de plus en plus utilisé pour la fabrication du piston est l'aluminium et ses alliages mais la fonte qui était le matériau utilisé depuis fort longtemps est toujours d'actualité. Le piston se déplace dans un cylindre avec un jeu de l'ordre de un millième de l'alésage. L'étanchéité au fluide frigorigène est obtenue par l'utilisation de segments de compression, quelque fois le piston est équipé d'un segment racleur d'huile. Le rapport diamètre sur course est de l'ordre de 1/3 à 1/4

### 3.10.2.7. Les soupapes ou clapets :

Un cylindre est muni d'une ou plusieurs soupapes d'aspiration et de refoulement. Les soupapes d'aspiration permettent le passage des vapeurs de fluide frigorigène de la chambre d'aspiration vers le cylindre et celles de refoulement le passage des vapeurs comprimés dans le cylindre vers la chambre de refoulement. Le fonctionnement des soupapes est automatique, elles s'ouvrent sous l'effet de dépression à l'aspiration et d'une surpression au refoulement. Inversement la soupape d'aspiration se referme lors de la course de compression et la soupape de refoulement se ferme lors de la course d'aspiration. Les soupapes doivent présenter certaines qualités telles qu'une faible perte de charges, une inertie faible, une bonne étanchéité, une bonne résistance, un faible encombrement, un fonctionnement silencieux et bien sûr être bon marché. Deux types de soupapes sont disposés à la partie supérieure du cylindre

- Les soupapes du type à lamelle
- Les soupapes concentriques ou annulaires.

Les soupapes sont très sensibles au fluide frigorigène liquide qui peut provoquer leur usure lente voir leur destruction rapide et totale lorsque le liquide est en grande quantité, c'est pour cette raison que certains compresseurs sont équipés d'un dispositif anti-coups de liquide.

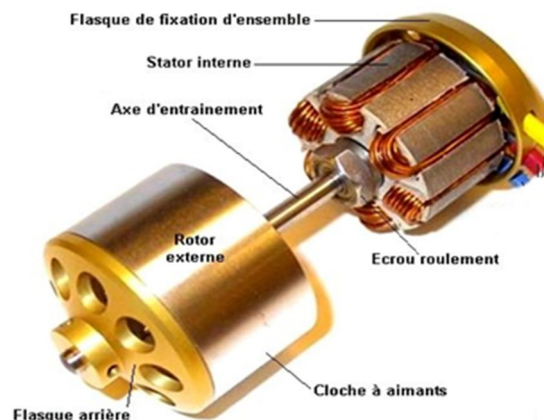


(Figure 3.12) vue éclatée d'un compresseur

- 1 : Boîtier avec connecteurs et embases
- 2 : Top Couver
- 3 : Bloc avec support de stator
- 4 : Stator (à vis)
- 5 : Rotor
- 6 : Unité Valve (vis, couvercle de cylindre, des joints, plaque de soupape)
- 7 : Vilebrequin à œillet
- 8 : Bielle avec piston
- 9 : Oïl tube de pick-up
- 10 : ressorts avec suspension
- 11 : Tube à décharge interne (vis, la rondelle, joint)
- 12 : équipements Démarrer

## B. Deuxième partie :

### 3.11. Le moteur électrique du compresseur



(Figure 3.13) moteur brushless

#### 3.11.1. Introduction :

La machine synchrone regroupe toutes les machines dont la vitesse de rotation de l'arbre de sortie est égale à la vitesse de rotation du champ tournant. Pour obtenir un tel fonctionnement, le champ magnétique rotorique est généré soit par des aimants, soit par un circuit d'excitation. La position du champ magnétique rotorique est alors fixe par rapport au rotor, ce qui impose en fonctionnement normal une vitesse de rotation identique entre le rotor et le champ tournant statorique.

Cette famille de machine regroupe en fait plusieurs sous familles, qui vont de l'alternateur de plusieurs centaines de mégawatts au moteur de quelques watts, en passant par les moteurs pas à pas.

Cependant, la structure de toutes ces machines est relativement proche. Le stator est généralement constitué de trois enroulements triphasés répartis, tel que les forces électromotrices générées par la rotation du champ rotorique soient sinusoïdales ou trapézoïdales.

Les stators, sont identiques à ceux d'une machine asynchrone. Il existe trois grandes familles de rotor, ayant pour rôle de générer le champ d'induction rotorique. Les rotors bobinés à pôles lisses, les rotors bobinés à pôles saillants ainsi que les rotors à aimants.

Le défaut principal des moteurs à courant continu est la présence des balais, qui engendrent des frottements, des parasites, et limitent la durée de vie du moteur par leur usure. Pour éviter tous ces problèmes on utilise des moteurs brushless, ou moteurs sans balais.

### **3.11.2. Les machines électriques à aimants permanents**

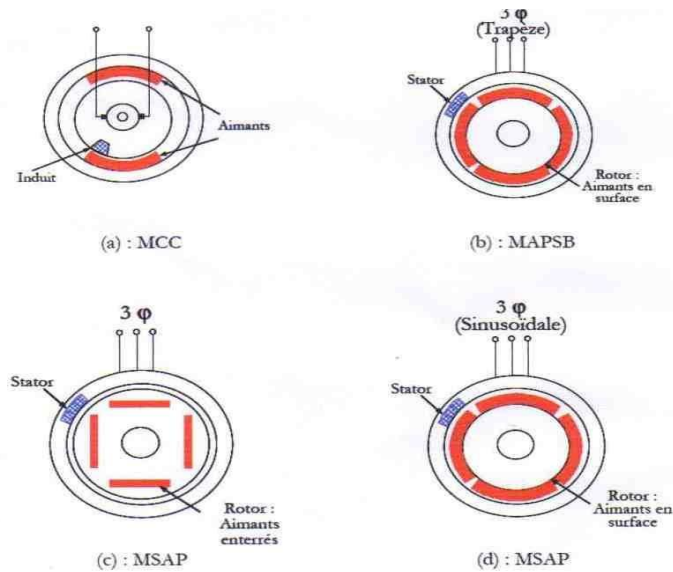
Avec l'arrivée des matériaux à aimants permanents de haute énergie et les progrès réalisés dans le domaine de l'électronique de puissance, les moteurs à aimants permanents ont connu ces dernières années un grand envol. Ils ont été adoptés dans de nombreuses applications de hautes performances telles que la robotique, l'aérospatiale, les outils électriques, la production des sources d'énergie renouvelables, les divers équipements médicaux, les véhicules électriques et hybrides, etc. Pour toutes ces applications, les machines à aimants permanents sont parfois préférables aux autres machines traditionnelles, telles que les machines à courant continu, les moteurs synchrones classiques et les moteurs asynchrones et en particulier pour les applications spécifiques (servomoteur à vitesse variable).

Quelques avantages des machines à aimants permanents :

- L'absence d'enroulement rotorique annule les pertes joules au niveau du rotor.
- Le couple volumique et la puissance massique importants permettent une meilleure compacité
- L'absence des collecteurs et des balais simplifie la construction et l'entretien.
- La densité de flux, relativement élevée dans l'entrefer, assure une très bonne performance dynamique.

Les machines à aimants permanents (brushless) sont capables de fonctionner avec un facteur de puissance proche de l'unité. Le contrôle précis et rapide du couple, de la vitesse et de la position est possible avec un simple onduleur de tension triphasé. Selon les principes de fonctionnement, les machines à aimants permanents peuvent être classées en trois types :

- Les machines à courant continu et aimants permanents (MCC).
- Les machines à aimants permanents sans balais (MAPSB).
- Les machines synchrones à aimants permanents sans balais (MSAP).



(Figure 3.14) structure des machines à aimant permanent

### 3.11.3. Les aimants permanents :

Les aimants permanents dans les machines sont principalement les ferrites et les AlNiCo et les aimants terres rares : (Le Samarium-Cobalt et le Néodyme-Fer- Bore)

| Propriétés                            | Unités            | Alnico   | Ferrite   | Sm-co     | Nd-Fe-B   |
|---------------------------------------|-------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Champ rémanent $B_r$                  | T                 | 0,6à1.35 | 0,35à0.43 | 0,7à1.05  | 1,0à1,3   |
| Champ coercitif intrinsèque $H_{ci}$  | KA/m              | 40à130   | 180à400   | 800à1500  | 800à1900  |
| (BH) max                              | KJ/m <sup>3</sup> | 20à100   | 24à36     | 140à220   | 180à320   |
| Coefficient de température $B_r$      | %/°C              | -0,01à   | -0.2      | -0,045à   | -0,08à    |
| Coefficient de température $H_{ci}$   | %/°C              | -0,02    | 0,2à0, 4  | 0,2à 0,25 | -0,5à-0,9 |
| Température maximum de fonctionnement | °C                | 500à550  | 250       | 250à350   | 80à200    |

TAB 3.2 : Principales caractéristiques magnétiques des familles d'aimant [4]

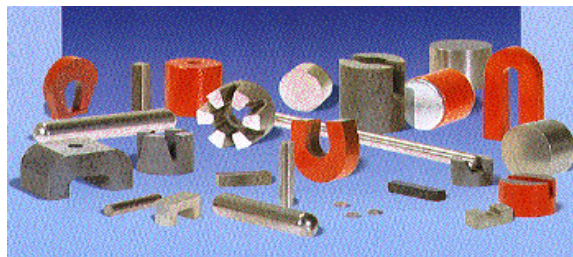
- **Al Nico** : Les aimants en Al Nico ont un champ rémanent très élevé, Mais un champ coercitif très faible, ce qui pose de gros problèmes de démagnétisation. Ces aimants ne peuvent être sortis de leur circuit magnétique, sous peine de les désaimanter.

- **Ferrite** : c'est le composant le plus ancien et le moins cher. Ses performances modestes le cantonnent cependant dans les machines de faible puissance massique. C'est un matériau très cassant

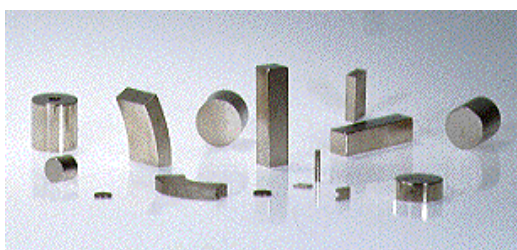
mais résistant à la corrosion. Ce sont des aimants fortement sensibles à la démagnétisation à basse température et possèdent une polarisation rémanente relativement faible qui ne les prédispose pas aux contraintes aéronautiques.

- **Néodyme-Fer-Bore** : c'est la version la plus performante. Les progrès constants réalisés ces dernières années dans leur élaboration, et leur coût inférieur aux Samarium-Cobalt, leur assurent une quasi-exclusivité pour un grand nombre d'applications. Naturellement sensible à la corrosion, des techniques récentes de traitement tendent à diminuer fortement l'usure. Cependant ils sont encore défavorisés par leur tenue à la température élevée et dans le cas de la haute vitesse par une conductivité pénalisante.

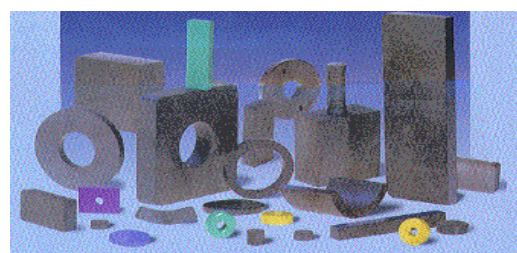
- **Samarium-Cobalt** : ceux sont les premiers aimants terres rares apparus sur le marché. Leur énergie spécifique est très supérieure à celle des ferrites, de même que leur prix. Compte tenu de sa bonne tenue en température ( $> 300^{\circ}\text{C}$ ) et aux champs inverses élevés, Ce composant est favorable à certaines applications (militaire, nucléaire...) Ils constituent dans ce contexte le meilleur arrangement en terme de performance face à un environnement thermique sévère tel que l'on trouve dans des applications aéronautiques.



*Images d'aimants Al Nico*



*Image d'aimants terre rare*



*Images d'aimantes ferrites*

(Fig3.15) *Différents formes des aimants permanents*

### 3.11.4. Aimants liés

Actuellement, les aimants frittés souffrent d'une forte sensibilité à la température, les aimants liés présentent des avantages en partie dus à leur faciliter d'utilisation et de manipulation. Ces aimants liés obtenus par mélange homogène de poudres d'aimants et de matériaux polymères, se différencient par trois procédés de fabrication donnant lieu à des matériaux injectés, comprimés ou calandrés. Pour ces

deux dernières catégories, le produit final isotrope ou anisotrope peut avoir des formes complexes grâce à un usinage direct moyennant quelques précautions (arrosage pour limiter l'échauffement, protection contre la corrosion des surfaces usinées).

### **3.12. Le moteur BLDC**

Le moteur BLDC à courant continu est un type de moteur synchrone à aimants permanents, ayant une forme trapézoïdale (EMF). Le moteur BLDC est alimenté en courant continu commuté sur les phases du stator du moteur par des dispositifs de commutation, les séquences de commutation étant déterminées à partir de la position du rotor. Le courant de phase du moteur BLDC, en forme généralement rectangulaire, est synchronisé avec la forme de la FEM pour produire un couple constant à une vitesse constante. Ces moteurs BLDC à aimants permanents sont généralement contrôlés au moyen d'un onduleur triphasé, nécessitant un capteur de position de rotor pour le démarrage et pour assurer la commutation correcte pour commander l'onduleur.

Ces capteurs vont augmenter le coût et la taille du moteur, et un dispositif mécanique spécial doit être conçu pour le montage des capteurs. Ces capteurs, en particulier ceux à effet Hall, sont sensibles à la température, ce qui limite le fonctionnement du moteur au-dessus d'environ 75° C, ils pourraient réduire la fiabilité du système en raison des composants et des câblages.

Les moteurs sans collecteur (Brushless DC Motors) sont employés dans plusieurs domaines d'application, par exemple les systèmes de contrôle de mouvement, les variateurs de vitesses, les actionneurs aérospatiaux, les périphériques d'ordinateurs (lecteurs DVD), les compresseurs, les applications automobiles, caméras digitales, scanners médicaux, petit ventilateurs et motopompes, et les applications HVAC (Heath, Ventilation and Air-Conditionning).

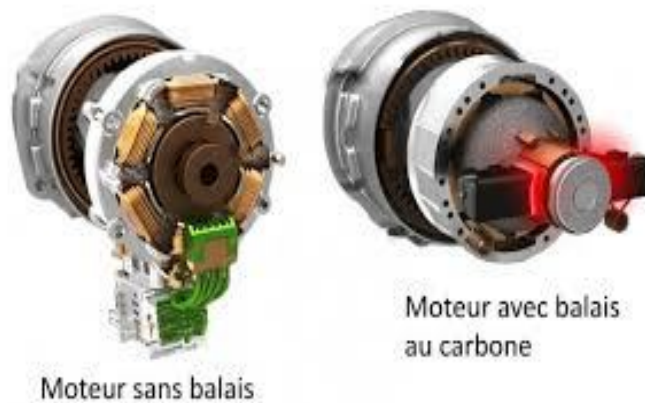
Dans beaucoup de systèmes d'entraînement électriques, les moteurs conventionnels (de petite et moyenne puissance : de (1-10 kW) sont, au fur et à mesure, remplacés par ceux sans collecteurs (Brushless Motors). Cependant, l'usage des aimants permanents est recommandé pour l'excitation. L'emploi des terres rares, telle que le Samarium-Cobalt (SmCo5) et le Néodyme-Fer-Bore (NdFeB), pour les aimants permanents permet l'obtention de forts couples. En comparaison avec les moteurs à induction, les moteurs BLDC à aimants permanents se distinguent par quelques avantages comme une densité de puissance élevée, une efficacité plus grande, une simple contrôlabilité, un rendement élevé, un fonctionnement silencieux, une forme compacte, une fiabilité et une maintenance réduite. De plus, les enroulements de puissance sont placés dans le stator, ce qui permet une évacuation des échauffements plus efficace et plus facile, pendant que, les pertes rotoriques sont extrêmement réduites.

Les moteurs sans collecteur (BLDC moteur) sont à distribution de flux sinusoïdale (F.é.m. sinusoïdale) ou à distribution de flux trapézoïdale (f.é.m. trapézoïdale). Les brushless dc moteurs, et

particulièrement ceux à FEM trapézoïdale sont idéales pour les entraînements électriques sans capteurs, parce que seulement deux des enroulements du moteur sans alimentés à la fois chaque cycle. A l'inverse, les trois enroulements des brushless de moteurs à FEM sinusoïdale sont alimentés ensemble chaque cycle. Cependant, leur alimentation passe à travers des onduleurs similaires à ceux employés avec les moteurs à induction,

### 3.12.1. Fonctionnement du moteur brushless :

Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor cherche à chaque instant à s'orienter dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur.



(Figure 3.16) Moteur à courant continu avec balais et sans balais

### 3.12.2. Les différents types de moteur brushless :

Selon les applications, il existe une grande variété de moteurs brushless avec des caractéristiques de couples, vitesses, inertie différentes en fonction de leurs constitutions.

#### 3.12.2.1. Moteurs brushless outrunner :

On appelle « outrunner » les moteurs brushless dont le rotor est autour du stator. Les aimants sont disposés sur un diamètre important, ce qui crée un bras de levier très intéressant. De plus, cette disposition permet de placer facilement plusieurs séries d'aimants (jusqu'à 32 pôles sur certains moteurs brushless outrunners) et de bobines. Les bobines sont toujours câblées par groupes de 3, et les aimants sont soit collés par groupes de 2, soit constitués d'une partie magnétique comprenant plusieurs pôles. Comme pour un moteur pas à pas, les moteurs brushless outrunners comprenant plus de 3 bobines et 2 pôles ne font qu'une fraction de tour lorsque le champ a tourné de 180°.

Leur fréquence de rotation est donc plus faible mais le couple très élevé. Ces moteurs brushless

outrunners sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent un fort couple, car ils peuvent être reliés à la charge sans nécessiter de dispositif de réduction. Leur coefficient  $K_v$  est relativement faible par rapport aux autres types de moteurs brushless. Les principales applications des moteurs brushless outrunners sont les suivantes : ventilateurs, moteurs de disques durs, Cd-rom, moteurs de vélos électriques (intégrés dans le moyeu), bateaux ou avions radio commandés.



( Figure 3.17) moteur brushless outrunner

#### 3.12.2.2. Moteurs brushless inrunner

Les moteurs brushless inrunners ont le rotor à l'intérieur du stator. Ils n'ont généralement qu'une seule paire de pôles sur le rotor, et 3 bobines au stator. L'inertie du rotor est beaucoup plus faible que pour un moteur outrunner, et les vitesses atteintes par ce type de moteur sont beaucoup plus élevées (jusqu'à 7700tr/min/V). La gestion électronique de la commutation est par contre plus simple car le rotor tourne à la même fréquence que le champ magnétique. Le couple des moteurs brushless inrunners est plus faible que pour un outrunner car les aimants sont sur un diamètre plus petit à taille de moteur égale. Ce type de moteur brushless est très utilisé dans l'industrie car il se rapproche beaucoup d'un moteur à courant continu à balais et collecteur.



(Figure 3.18) Moteurs brushless inrunner

### 3.12.2.3. Moteur brushless disques

Le rotor et le stator peuvent également être constitués de deux disques faces à face, avec les rayons et les bobines répartis selon les rayons de ces deux disques. Ce type de moteur brushless est peu employé car l'action des bobines sur les aimants crée un effort axial important qui nécessite des butées à billes, sans offrir de différences au niveau des performances par rapport à un moteur brushless outrunner.

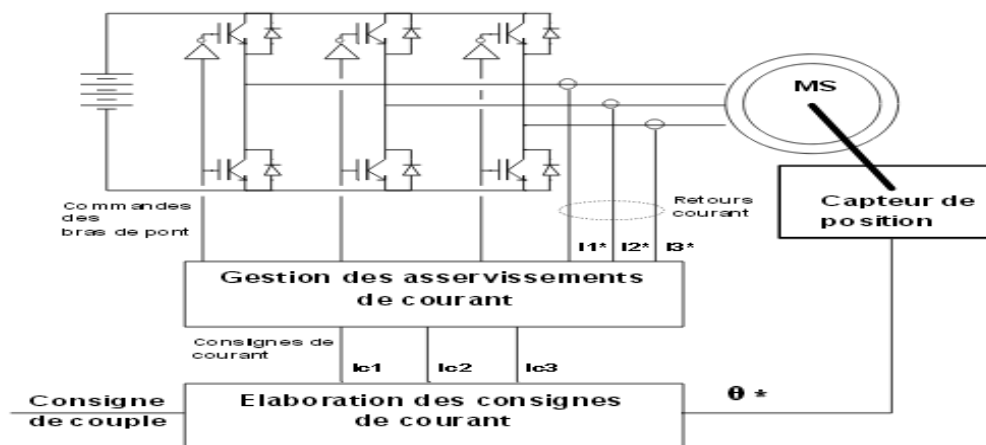
## 3.13. Les différentes techniques de commande des moteurs brushless

### 3.13.1. Stratégies de la commande sinusoïdale (MSAP)

Dans un moteur à courant continu avec balais, l'ensemble collecteur-balais assure mécaniquement la commutation dans l'alimentation des bobines en fonction de l'angle du rotor. Dans un moteur brushless cet élément n'existe plus, il faut donc créer cette commutation électroniquement.

#### A. Commande scalaire

Le principe de la commande scalaire en courant est assez proche de celui de l'alimentation par commutateur de courant. Au lieu d'utiliser une source de courant continu qui ne peut injecter dans les phases de la machine que des créneaux de courant. On utilise une source de tension alimentant un onduleur triphasé, le courant de sortie de chaque bras est asservi à une consigne fournie par la commande. L'ensemble de la motorisation peut être représenté sous la forme suivante



(Figure 3.19) Schéma de principe d'une commande scalaire

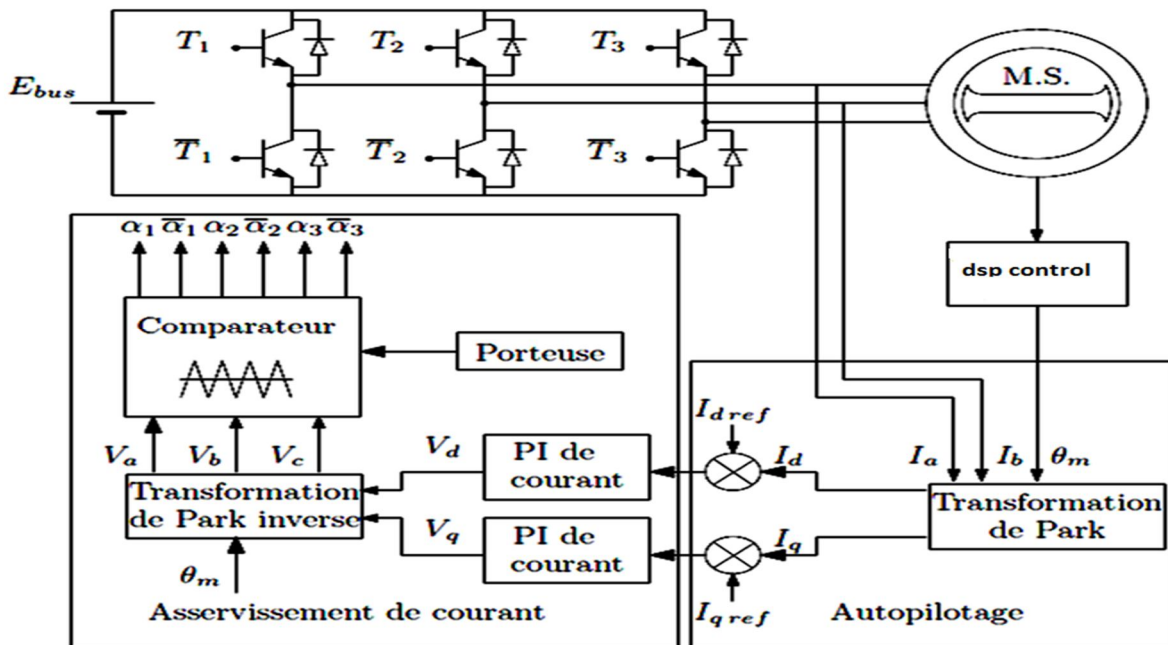
Le bloc élaboration des consignes génère trois consignes de courant sinusoïdales, synchronisées sur la position. L'amplitude de ces consignes est imparfaite au niveau de couple souhaité. Il est nécessaire de connaître de façon exacte la position du rotor sauf pour une commande utilisant un commutateur de courant, où il n'est nécessaire que de repérer les positions correspondantes au changement d'état des interrupteurs. Le bloc gestion des asservissements assure le contrôle de chaque bras de l'onduleur afin de minimiser l'erreur entre les consignes de courant et les courants observés au niveau du moteur.

Les correcteurs utilisés peuvent être de type, proportionnel ou encore proportionnel et intégral. Cette méthode de contrôle donne des résultats satisfaisants, notamment en régime permanent.

**B. Commande vectorielle :**

La commande vectorielle pour machine synchrone a été développée afin d’améliorer les performances en régime dynamique. Les courants injectés dans la machine ne sont pas directement contrôlés comme dans la commande scalaire, mais la commande calcul des grandeurs intermédiaires images de la projection du champ statorique sur l’axe du champ rotorique et sur un axe perpendiculaire au champ rotorique. Le contrôle de ces grandeurs permet un contrôle fin de la position du champ magnétique statorique, notamment en régime transitoire.

La structure d’une telle commande est particulièrement complexe.



(Figure 3.20) schéma de principe d’une commande vectorielle

**3.13.2. Avantages et inconvénients des deux techniques**

**Contrôle scalaire :**

**Avantage :**

- Permet de réaliser une commande en vitesse de la machine.
- Fort couple au démarrage

**Inconvénient :**

- L’asservissement se fait sur des courants sinusoïdaux

- Performance médiocre et difficile à implanter en Temps réel

### Contrôle vectorielle :

#### Avantage :

Permet de réaliser une commande en vitesse de la machine.

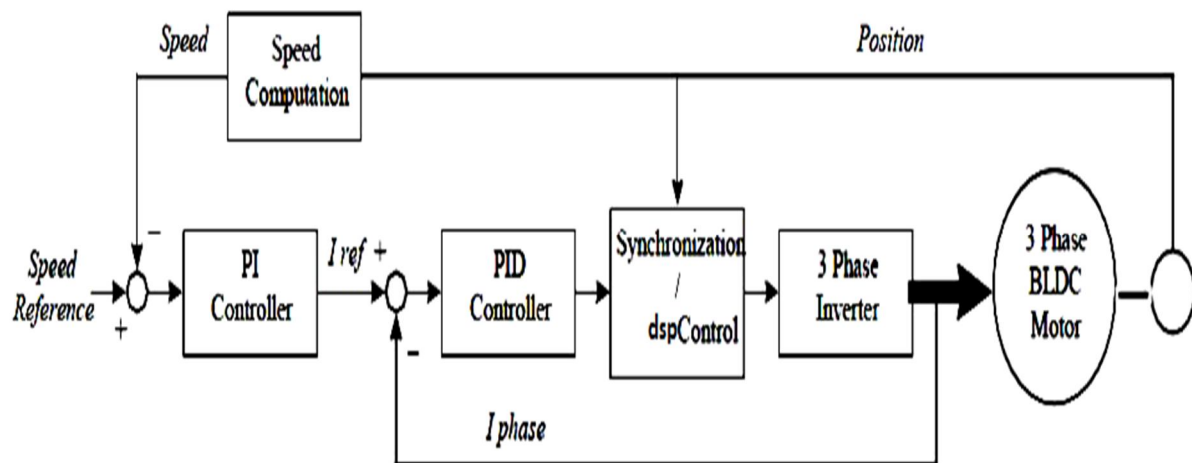
- L'asservissement Se fait sur des grandeurs fixes dans le temps.

#### Inconvénient :

- Nécessité d'avoir un contrôleur de type DSP.

### 3.13.3. Commande trapézoïdale ( B L D C ) :

Un moteur BLDC est un moteur synchrone ayant un rotor à aimant permanent, et un stator bobiné à f.é.m. trapézoïdale. L'aimant permanent du rotor crée le flux rotorique, et les enroulements alimentés du stator créent des pôles électro- magnétiques. Le rotor tend à s'aligner avec la phase sous tension du stator. En utilisant une séquence appropriée pour l'alimentation des phases statoriques, un champ magnétique tournant est créé et maintenu. Le déphasage entre le rotor et le champ tournant doit être contrôlé pour produire un couple, et cette synchronisation nécessite la connaissance de la position du rotor.



(Figure 3.21) Schéma de principe de la commande trapézoïdale [5]

La commande trapézoïdale des moteurs BLDC est caractérisée par l'alimentation de deux phases de l'onduleur à chaque commutation. Dans ce schéma de contrôle, la production du couple suit le fait que le courant circule dans deux phases seulement, et il ne faut pas avoir de couple dans la région de passage par zéro de la f.é.m.

### 3.13.4. Comparaison entre la commande trapézoïdale et la commande vectorielle

| <b>Commande trapézoïdale</b>   | <b>Commande vectorielle</b>   |
|--|---|
| Alimentation en courant continu  | Alimentation en courant sinusoïdale                                       |
| f.é.m. trapézoïdale  | f.é.m. sinusoïdale  |
| Commutation de la position du flux statorique chaque 60 degrés                 | Variation continue de la position du flux statorique                      |
| Deux phases alimentées à chaque instant  | Possibilité d'avoir trois phases alimentées en même temps                 |
| Ondulation du couple à la commutation  | Pas d'ondulation du couple à la commutation                               |
| Présence d'harmoniques basses fréquences dans le courant (fréquences audibles) | Moins d'harmoniques à cause de l'excitation sinusoïdale                   |
| Pertes fer importantes à cause des harmoniques                                 | Moins de pertes fer   |
| Moins de pertes de commutation   | Pertes de commutation plus importantes à la même fréquence de commutation |
| Algorithmes de commande relativement simple                                    | Algorithmes de commande mathématiquement intensifs                        |

*Tab 3.3 : comparaison entre la commande vectorielle et la commande trapézoïdale*

### 3.13.5. Le contrôleur DSP

Le contrôleur est un élément électronique complexe, C'est lui qui va gérer les commutations des bobinages pour créer la rotation du moteur. Ce module électronique va ainsi générer six commutations successives pour chaque cycle. Chaque commutation est réalisée par un groupe de transistors montés en parallèle qui vont agir comme un interrupteur. Ce contrôleur est constitué d'un ensemble de systèmes électroniques ayant chacun un rôle essentiel :

- un système qui détecte le moment précis où le courant passe dans les bobines.
- un système pour mesurer la valeur du courant dans les bobines.
- un système qui commande le fonctionnement des transistors.
- un système qui gère le décalage de phase.
- un système qui gère la durée d'ouverture en fonction du signal de la radio.

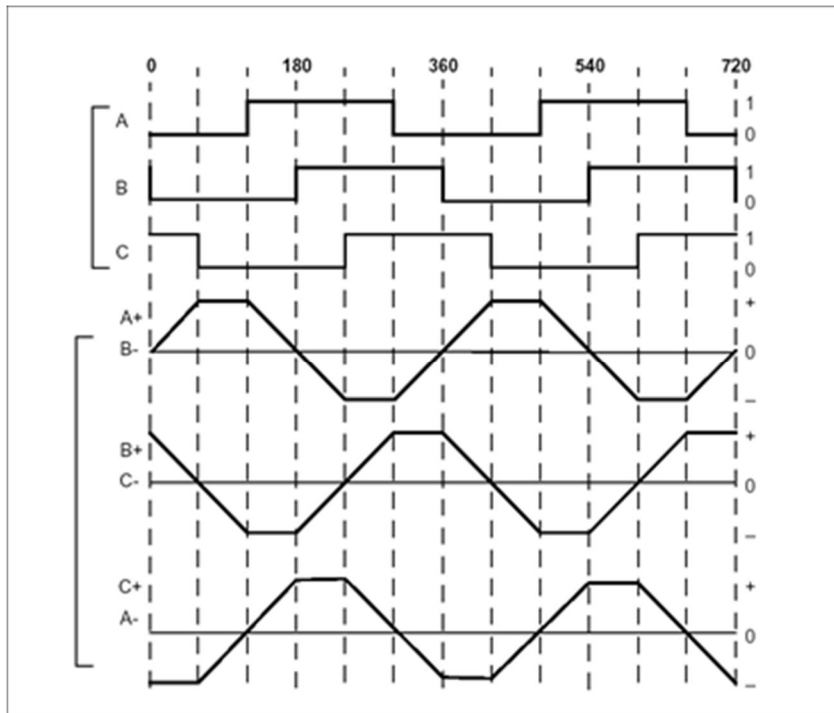
Quels que soient le type de moteur et de bobinage (étoile ou triangle), ou la marque et le type de contrôleur, la "séquence" de commutation est toujours la même. Les commutations des trois bobines seront assurées par un inverseur électronique comprenant principalement des transistors et des diodes, elle va permettre la création d'un champ tournant au niveau du stator. Le circuit de commande devra donc exciter les bobines dans un ordre approprié, mais les commutations doivent également se faire au moment convenable afin de créer un champ magnétique tournant. Afin de voir tourner le moteur le plus régulièrement possible, il faut que les commutations de l'alimentation aux bornes des bobines se fassent lorsque le rotor passe par une position bien déterminée par rapport au stator. Les commutations doivent être commandées au moment où le rotor passe par une position bien précise. La position du rotor est signalée grâce à des capteurs de position ou peut être calculée à partir de la force contre-électromotrice mesurée aux bornes de chaque bobine (BEMF, back electromotive force).

$$E(\text{BEMF}) = N.l.r.B.\cos(\alpha).\omega \quad [6]$$

**N** est le nombre de spires par phase    **l** : est la longueur du rotor,    **r** est le rayon du rotor  
**B** est la densité du champ magnétique du rotor    **α** : est l'angle entre l'axe de la bobine  
et l'axe de l'aimant permanent    **ω** est la vitesse angulaire du moteur

NB : La commutation se fait toute les 60°

### Signal capteur à effet Hall, BEMF



### 3.14. La commande électronique :

Chaque compresseur BD fonctionne avec une carte électronique d'alimentation à courant continu. Cette carte est testée et réglée pour chaque référence de compresseur avec lequel elle doit être utilisée

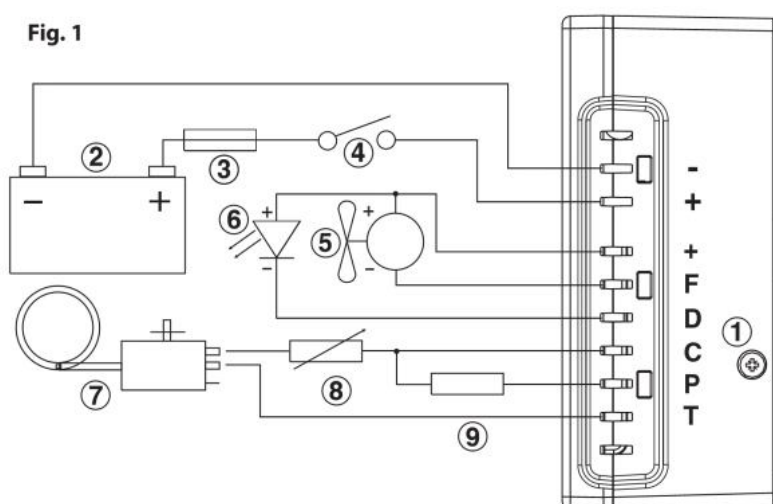


(Figure 3.22) l'unité électronique

### 3.14.1. Fonctions Principales :

- Marche / arrêt du compresseur
- Protection rotor bloqué
- Protection thermique et arrêt du compresseur et de la carte électronique
- Variation de vitesse du compresseur
- Contrôle et limitation de la puissance et du courant consommé
- Information de diagnostic du compresseur
- Protection sur la plage de tension de l'application (arrêt du compresseur)

### 3.14.2. Branchement de l'unité électronique :



(Figure 3.23) Branchement de l'unité électronique

2 -Batterie à 12 ou 24 Volt

4 -Commutateur DC

6 -Diode de contrôle

8 -Résistance à haute vitesse 1500 Ohms

3 -Fusible 15 à 30 A

5 -Ventilateur du condenseur

7 -Thermostat

9 -Résistance protection de sous tension

### 3.14.3. Fonctionnement :

La commande électronique peut fonctionner sous deux tensions. Cela signifie que le même module peut toujours être utilisé, que la tension d'alimentation soit de 12V ou de 24V. La tension d'alimentation maximale des montages en 12V est de 17V, alors qu'elle est de 31,5V pour les montages en 24V. La température ambiante maximale admissible est de 55°C, la commande électronique est équipée d'une protection thermique intégrée qui est activée et arrête le compresseur en cas de surchauffe.

### **3.14.3.1. Alimentation électrique**

La commande électronique doit toujours être raccordée directement aux bornes de la batterie. Raccorder le positif à + et le négatif à - .la commande électronique ne peut fonctionner que raccordée de cette façon. Elle est protégée contre toute connexion de batterie inversée. Un fusible doit être monté sur le câble +, le plus près possible de la batterie. Afin de protéger l'installation. Il est recommandé d'utiliser un fusible de 15A pour le circuit en 12V et un fusible de 7,5A pour le circuit en 24V. Si un interrupteur est installé, il doit être dimensionné pour une intensité d'au moins 20 A

### **3.14.3.2. Protection de batterie**

L'arrêt et le redémarrage du compresseur dépendent des limites de tension choisies, mesurées sur les bornes + et - de la commande électronique. En établissant une connexion comportant une résistance entre les bornes C et P. le compresseur modulera toujours sa vitesse de rotation en fonction de la demande de froid, sur une plage de tension de 9,6 à 31,5 v.

### **3.14.3.3. Le thermostat**

Le thermostat est monté entre les bornes C et T. En l'absence de résistance dans le circuit de commande, et lorsque le thermostat est enclenché, le compresseur avec l'unité électronique 101N0500 tournera à une vitesse de 2.000 tr/min. Quand le thermostat est raccordé directement à la borne C, l'unité électronique 101N0500 ajustera la vitesse de rotation en fonction de la demande de froid souhaitée. Il est possible de faire tourner le compresseur à d'autres vitesses constantes, comprises entre 2.000 et 3.500 tr/min, en montant une résistance sur le circuit de commande, cette résistance permettant d'ajuster l'intensité (mA).

### **3.14.3.4. Ventilateur**

Un ventilateur peut être monté entre les bornes + et F. La tension de sortie entre les bornes + et F étant toujours régulée à 12 V. il faut Toujours employer un ventilateur 12V, que l'alimentation électrique soit en 12V ou en 24V. Le courant d'alimentation du ventilateur peut atteindre 0,5A. Une intensité plus importante est cependant acceptée pendant 2 secondes au démarrage.

### **3.14.3.5. LED.**

Une diode électroluminescente (LED) de 10 mA Peut être montée entre les bornes + et D. Si la commande électronique enregistre un défaut, la diode clignote un certain nombre de fois. Le nombre de clignotements dépend du type de défaut enregistré. Chaque clignotement dure 1/4 seconde. Le type de panne est défini par le nombre de clignotements.

**1 clignotements :** coupure, protection de batterie (la tension se situe en dehors des limite de

coupure).

**2 clignotements** : surintensité moteur ventilateur (le ventilateur absorbe plus de 1 A en pointe).

**3 clignotements** : défaut démarrage (le rotor bloquer ou la pression différentielle dans le système de refroidissement est trop élevée) (supérieur à 5 bars).

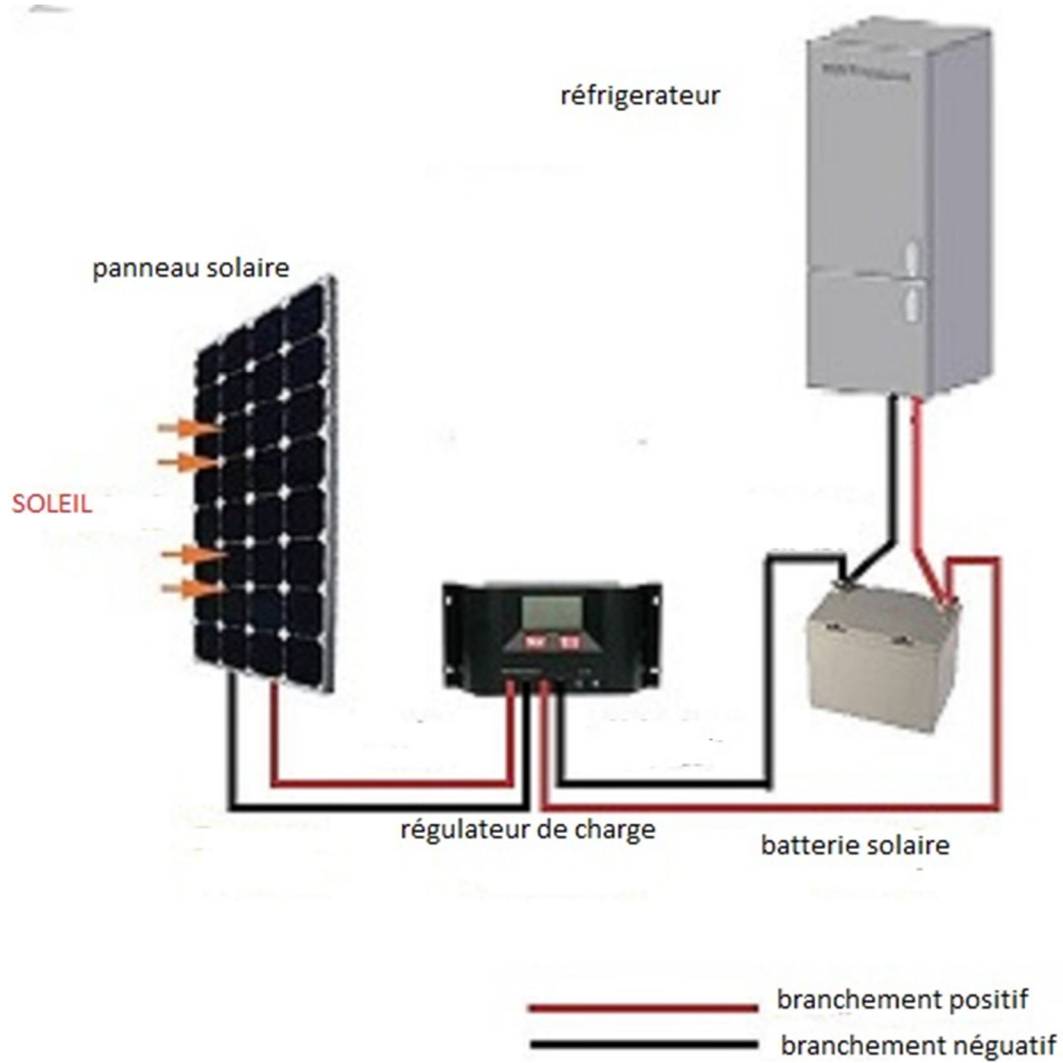
**4 clignotements** : vitesse du moteur trop faible (en cas de charge thermique trop importante du système, le moteur ne peut maintenir une vitesse minimale de 1850 tr/min).

**5 clignotements** : coupure thermique de la commande électronique (en cas de charge thermique trop importante du système ou de température trop ambiante trop élevée il Ya surchauffe de la commande électronique).

### **Conclusion générale :**

- Vu le taux de pollution dans notre planète Les énergies renouvelables sont une solution de choix pour la production d'électricité propre
- Les panneaux solaires sont très pratiques pour la production d'électricité. le coût de fonctionnement est très faible vu les entretiens réduits. Il ne nécessite ni combustible, ni un transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- L'évolution de la technologie a permis de construire des batteries pour stocker de L'énergie avec une autonomie plus importante
- Le réfrigérateur solaire à résolu beaucoup de problèmes comme la conservation des Aliments et surtout les médicaments et les vaccins dans les sites isolés
- Les machines synchrone à aimant permanent s'adaptent bien à la commande numérique

### 3.15 Schéma du réfrigérateur solaire



(Figure 3.24) schéma du réfrigérateur solaire

## Référence bibliographiques :

- [1] feddaoui Omar «contribution à l'étude des systèmes hybride : application aux énergies Renouvelables" Mémoire de magister université de Souk-Ahras 2013/2014
- [2] «Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes
- [3] réalisation et experimentation dun réfrigérateur solaire a rabat Laboratoire d'Energie Solaire, Faculté des Sciences Département de Physique. Avenue Ibn Battota, B. P.1014. Rabat, Maroc
- [4] F. Leprince, Ringuet "Aimants permanents. Matériaux et applications» Techniques de l'ingénieur.
- [5] H. Ziane "les différente commandes des machines synchrones à aimants permanents avec compensation de temps mort de l'onduleur, commande sans capteur mécanique" mémoire de magister de université de Bejaia 2001.
- [6] Annan Abdel "analyse du comportement des moteurs synchrone dans les entrainements électrique a vitesse variable" mémoire de magister bordj badji Mokhtar Annaba

Site web

[www.google.com](http://www.google.com)

[www.secop.com](http://www.secop.com)

[www.tous-electromenager.fr](http://www.tous-electromenager.fr)

[www.edfenr.com/le.../types-de-panneaux-solaires-n798-1.aspx](http://www.edfenr.com/le.../types-de-panneaux-solaires-n798-1.aspx)

[www.batterie-solaire.com/](http://www.batterie-solaire.com/)

[www.ecologie-shop.com/batterie-solaire-gel-et-agm](http://www.ecologie-shop.com/batterie-solaire-gel-et-agm)

[www.wattneed.com/fr/10-regulateurs-de-charge](http://www.wattneed.com/fr/10-regulateurs-de-charge)

[www.ase-energy.com/regulateur-de-charge-solaire.fr](http://www.ase-energy.com/regulateur-de-charge-solaire.fr)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Réfrigérateur>