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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU

FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

De fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master
en Génie Mécanique, Option : Énergétique

Thème

Etude comparative entre deux chambres froides équipées de panneaux sandwich et polystyrène expansé avec une alimentation photovoltaïque.

Encadré par :

Pr. MAKHLOUF Said

Réalisé par :

M^r^. BELAID SAMIR

M^r^. IKROUBERKANE SAMIR

M^r^. MEZAGUER KARIM

Soutenu devant le jury composé de :

President:	M^r^. FERROUK M.	UMMTO
Rapporteur:	Pr. MAKHLOUF Said	UMMTO
Examinateur :	M^r^. BOUDAOUD S.	UMMTO

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Nous commençons par remercier notre dieu le tout puissant de nous avoir procuré volonté, courage et patience pour la réalisation de notre travail.

Nos remerciements profonds et haute considération aussi à :

- Mr .MAKHLOUF ; notre promoteur, pour avoir accepté de diriger ce modeste travail. Honorées d'avoir travaillé avec lui et tiré un immense profit de son savoir, de ses conseils utiles et de ses discussions fertiles.

- Mr AILEM Yacine et Mr MAHYOUT Mohend pour leur orientation et leurs recommandations.

- Aux membres du jury qui examineront et évalueront notre travail.

- A toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de notre projet particulièrement Melle.LOUALI Souhila , FLISSI Yasmine, OUACHEHI Dyhia.

Dédicaces

C'est avec beaucoup de joie que nous avons l'honneur de dédier ce travail :

A nos très chers parents.

A tous nos frères et sœurs.

A toute la famille.

A tous ceux qui nous ont soutenues.

A tous ceux qui ont cru en nous.

A tous ceux qui nous ont aidés.

A tous ceux qui aiment l'éducation et la connaissance.

IKROUBERKANE Samir

BELAID Samir

MEZAGUER Karim

Sommaire

Introduction 1

Chapitre I : Généralités sur les chambres froides et l'isolation thermique

I. Chambres froides 2

I.1. Définition 2

I.2. Fonctionnement général 2

I.3. Principaux composants d'une chambre froide 3

I.4. Le Rôle de chaque organe 3

I.5. Comment s'obtient le froid ? 4

I.6. Les types des chambres froides 5

I.6.1. Les chambres froides positives ou chambres de réfrigération 5

I.6.2. Les chambres froides négatives 6

I.7. L'isolation thermique des bâtiments 6

I.7.1. Transferts de chaleur 6

I.7.2. Notions thermiques 9

I.7.3. L'isolation thermique 10

I.7.4. Avantages de l'isolation thermique 12

I.7.5. Classification des matériaux isolants 13

Conclusion 18

Chapitre II : Généralités sur le stockage et la conservation des aliments (pomme de terre).

Introduction 19

II.1.Techniques de conservation 19

II.1.1. Application de la chaleur 19

II.1.2. Application du froid 20

II.1.3. Autres techniques de conservation 21

II.2.Conservation de la pomme de terre 24

II.2.1. Les conditions de conservation de la pomme de terre 25

II.2.2. Méthode de stockage des pommes de terre 25

II.2.3. La dégradation de la pomme de terre 28

Conclusion 29

Chapitre III : Bilan thermique de la chambre froide

Introduction 30

III.1. Structure des deux chambres froides 31

III.1.1. Panneau sandwich 32

III.1.2. Polystyrène expansé 33

III.1.3. Vide sanitaire 34

III.1.4. Charpente en tôle 35

III.2. Description et constitution du plancher bas pour les deux chambres froides 36

III.3. Description et constitution des murs 37

III.3.1. Pour la chambre froide avec des panneaux sandwichs 37

III.3.2. Pour la chambre froide avec de polystyrène expansé 38

III.4. Description et constitution de plancher haut de la chambre froide 38

III.4.1. Pour la chambre froide avec des panneaux sandwich 38

III.4.2. Pour la chambre froide avec de polystyrène expansé 39

III.5. La résistance thermique surfacique R 40

III.6.Calcul du coefficient de transmissions surfacique K 41

III.7. Bilan thermique des deux chambres froides (panneaux sandwich et polystyrène expansé) 43

III.7.1. Les différents apports de chaleur pour les chambres froides 44

III.8.Calcul de la quantité de chaleur 48

III.8.1. Calcul de la quantité de chaleur totale de la chambre froide avec panneaux sandwich 48

III.8.2. Calcul de la quantité de chaleur totale de la chambre froide avec de polystyrène expansé..... 52

Conclusion 56

Chapitre IV : Etude comparative des deux chambres froides en panneaux sandwich et polystyrène expansé

Introduction 57

IV.1. Etude comparative thermique 57

IV.2. Etude comparative économique 57

IV.3. Etude comparative environnementale 60

IV.4. Les avantages et inconvénients de polyuréthane 60

IV.5. Les avantages et inconvénients d'une chambre froide en polystyrène expansé 61

Conclusion 62

Chapitre V : Etude et dimensionnement de l'alimentation électrique en panneaux photovoltaïques

Introduction 63

V.1. Installation photovoltaïques 63

V.2.Cellule solaire photovoltaïque 64

V.2.1. Constitution d'une cellule photovoltaïque 64

V.2.2.Module photovoltaïque 65

V.2.3.Paramètres électriques du module photovoltaïque 66

V.2.4.Recyclage des modules 67

V.2.5.Le champ photovoltaïque 67

V.2.6.L'effet photovoltaïque 68

V.3. Matériaux de base de la cellule photovoltaïque 68

V.3.1.Regroupement des cellules 71

V.4.Schéma simplifié d'un system PV 72

V.4.1.Système de stockage 72

V.4.2. Les type de batterie 73

V.4.3. Câblage des batteries 74

V.4.4. Installation des éléments de la batterie 74

V.4.5. Comment définit-on la durée de vie d'une batterie solaire 76

V.4.6.Système de régulation..... 77

V.4.7.Système de conversion 77

V.4.8.Disposition des panneaux 78

V.5.Dimensionnement du système photovoltaïque..... 79

V.5.1. Dimensionnement de la batterie de stockage 80

V.5.2. Les critères pour choisir son régulateur solaire 82

V.6. Estimation du cout de l'installation..... 84

Conclusion..... 85

Conclusion générale..... 86

Références bibliographiques.

Listes des figures

Chapitre I : Généralités sur les chambres froides et l'isolation thermique

Figure I-1 : Composants d'une chambre froide 3

Figure I-2 : Fonctionnement d'une chambre froide 5

Figure I-3 : Transfert de chaleur par conduction 7

Figure I-4 : Transfert de chaleur par convection 8

Figure I-5 : Transfert de chaleur par rayonnement 8

Figure I-6 : Répartition des déperditions thermiques dans une maison non isolée..... 11

Figure I-7 : Isolation intérieur et extérieur des murs 12

Figure I-8 : Fibre de bois en panneau 14

Figure I-9 : Laine de mouton 14

Figure I-10 : Béton de chanvre 14

Figure I-10 : Laine de verre 15

Figure I-11 : Laine de roche..... 15

Figure I-12 : Fibragglos 16

Figure I-13 : Brique monomûr en terre cuite 16

Figure I-14 : Le polystyrène..... 17

Figure I-15 : Le polyuréthane 17

Chapitre II : Généralités sur le stockage et la conservation des aliments (pomme de terre)

Figure II-1 : Conservation des pommes de terre dans une chambre froide 24

Figure II-2 : Conservation en vrac dans un bâtiment ventilé..... 26

Figure II-3 : Conservation en vrac dans un bâtiment ventilé avec une surface caillebotis..... 26

Figure II-4 : Conservation en vrac dans un bâtiment ventilé avec des gaines de ventilation . 27

Figure II-5 : Conservation en caisse palette dans un bâtiment ventilé 27

Figure II-6 : pomme de terre avec du verdissement 28

Figure II-7 : pomme de terre avec du noircissement interne 29

Chapitre III : Bilan thermique de la chambre froide

Figure III-1 : Représentation schématique des deux chambres froides..... 30

Figure III-2 : Plan de profile des deux chambres froides 31

Figure III-3 : Plan de face des deux chambres froides 31

Figure III-4 : Plan arrière des deux chambres froides 32

Figure III-5 : Panneaux sandwich..... 33

Figure III-6 : Polystyrène expansé 34

Figure III-7 : Vide sanitaire..... 35

Figure III-8 : Charpente en panneaux sandwich..... 35

Figure III-9 : Schéma du plancher bas de la chambre froide..... 36

Figure III-10 : Schéma des murs de la chambre froide avec des panneaux sandwich 37

Figure III-11 : Schéma des murs de la chambre froide avec de polystyrène expansé..... 38

Figure III-12 : Schéma de plancher haut de la chambre froide avec des panneaux sandwich 39

Figure III-13 : Schéma de plancher haut de la chambre froide avec de polystyrène 40

Figure III-14 : Courbe de température en 2017 à Tizi-Ouzou..... 44

Liste des tableaux

Chapitre III : Bilan thermique de la chambre froide

Tableau III-1: les caractéristiques des matériaux composant le plancher bas des deux chambres froides. 36

Tableau III-2: les caractéristiques des matériaux composant les murs 37

Tableau III-3 : les caractéristiques des matériaux composantes murs. 38

Tableau III-4 : les caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la chambre froide avec des panneaux sandwich. 39

Tableau III-5 : Les caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la chambre froide avec de polystyrène expansé. 39

Tableau III-6 : Les valeurs des résistances superficielles. 41

Tableau III-7 : Climatologie de l'année 2017 à Tizi-Ouzou. 43

Tableau III-8 : Bilan thermique des parois de la chambre froide avec panneaux sandwich. 48

Tableau III-9 : Calcul des apports par introduction de la marchandise. 49

Tableau III-10 : Calcul des apports par la respiration de la marchandise 49

Tableau III-11 : Calcul des apports par renouvèlement d'air. 49

Tableau III-12 : Calcul des apports par le personnel. 50

Tableau III-13 : Calcul des apports par l'éclairage. 50

Tableau III-14 : Calcul des Apports par la ventilation. 50

Tableau III-15 : Bilan thermique des parois de la chambre froide avec polystyrène expansé. 52

Tableau III-16 : Calcul des apports par introduction de la marchandise. 53

Tableau III-17 : Calcul des apports par la respiration de la marchandise. 53

Tableau III-18 : Calcul de l'apport par renouvèlement d'air..... 53

Tableau III-19 : Calcul des apports par le personnel 54

Tableau III-20 : Calcul des apports par l'éclairage 54

Tableau III-21 : Calcul des apports par la ventilation 55

Chapitre IV : Etude comparative des chambres froides

Tableau IV-1 : Apports total de la chambre froide en panneaux sandwich et polystyrène expansé 57

Tableau IV-2 : Coût total de la chambre froide en panneaux sandwich 58

Tableau IV-3 : Coût total de la chambre froide en polystyrène expansé 59

Chapitre V : Etude et dimensionnement de l'alimentation électrique en panneaux photovoltaïques

Tableau V-1 : Types de batteries 73

Tableau V-2 : La consommation journalière en énergie de la chambre froide. 80

Tableau V-3 : Coût total de l'installation photovoltaïque 84

NOMENCLATURE

Lettres	Désignation	Unités
q	Flux thermiques	(W)
λ	Conductivité thermique	$(W/m.K)$
R	Résistance thermique	$(m^2.K/W)$
U	Le coefficient de transmission calorifique	$(W/m2.K)$
Cp	Capacité thermique massique	(J/kg.K)
C	Capacité thermique	(J/kg.K)
e_i	Epaisseur d'un matériau	(m)
h_i	Coefficient d'échange convectif intérieur	(W/m^2.C)
h_e	Coefficient d'échange convectif extérieur	(W/m^2.C)
K	Coefficient de transmissions surfacique	(W/m^2.K)
R_{pb}	Résistance thermique plancher bas (panneaux sandwich et polystyrène expansé)	$(m^2.K/W)$
R_1	Résistance thermique plancher haut (panneaux sandwich)	$(m^2.K/W)$
R_2	Résistance thermique plancher haut (polystyrène expansé)	$(m^2.K/W)$
R_3	Résistance thermique murs (panneaux sandwich)	$(m^2.K/W)$
R_4	Résistance thermique murs (polystyrène expansé)	$(m^2.K/W)$
K_{pb}	Coefficient de transmissions surfacique plancher bas	(W/m^2.K)
K_1	Coefficient de transmissions surfacique plancher haut (panneaux sandwich)	(W/m^2.K)
K_2	Coefficient de transmissions surfacique plancher haut (polystyrène expansé)	(W/m^2.K)
K_3	Coefficient de transmissions surfacique murs (panneaux sandwich)	(W/m^2.K)
K_4	Coefficient de transmissions surfacique murs (polystyrène expansé)	(W/m^2.K)
Q_1	Apport par les parois et le plancher haut et bas de la chambre froide	(kWh)

Nomenclature

Q_2	Apport par introduction de la marchandise	(kWh)
Q_3	Apport par la respiration de la marchandise	(kWh)
Q_4	Apport par renouvèlement d'air	(kWh)
Q_5	Apport par le personnel	(kWh)
Q_6	Apport par l'éclairage	(kWh)
Q_7	Apport par la ventilation	(kWh)
Q_a	Apport par infiltration	(kWh)
S_p	Surface de la paroi	(m^2)
Ti	Température intérieure	(°C)
Te	Température extérieure	(°C)
ΔT	La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur	(°C)
M	Masse de la pomme de terre utilisée	(kg)
Cs	Chaleur spécifique de la pomme de terre	(kJ/kg.°C)
Cr	Chaleur de respiration de la pomme de terre	(kJ/kg/24)
N	Nombre de renouvèlement d'air par jour	-
ρ	Masse volumique de l'air extérieur	(kg/m^3)
V	Volume de la chambre froide	(m^3)
Hi	Enthalpie intérieure de la chambre froide	(kJ/kg)
He	Enthalpie extérieure de la chambre froide	(kJ/kg)
w_1	Humidité spécifique intérieure	%
w_2	Humidité spécifique extérieure	%
Hr_1	Humidité relative intérieure	%
Hr_2	Humidité relative extérieure	%
P	Puissance dégagée d'une personne	(W)
n	Nombre de personnes	-

Nomenclature

t	Temps de présence dans la chambre froide	(h)
P'	puissance d'un niveau d'éclairage moyen par unité de surface	(W/m^2)
S	Surface de plancher de la chambre	(m^2)
P''	puissance d'un niveau de ventilation moyenne par unité de surface	(W/m^2)
K_i	Coefficient de transmission surfacique de la vitre	($W/m^2.K$)
S_i	Surface de la vitre	(m^2)
ai	Perméabilité du joint	(W/m. K)
li	Longueur du joint	(m)
QT_1	Apport total de la chambre froide avec panneaux sandwich	(kWh)
QT_2	Apport total de la chambre froide avec polystyrène expansé	(kWh)
PF_1	Puissance frigorifique (chambre froide avec panneaux sandwich)	(kW)
PF_2	Puissance frigorifique (chambre froide avec polystyrène expansé)	(kW)
PV	Photovoltaïque	-
Ṗm	Puissance solaire	(W)
Ṗi	Puissance électrique	(W)
n	Nombre de module photovoltaïque	-
U	Tension électrique	(V)
Uc	Tension fournie par une cellule	(V)
I	Courant électrique	(A)
Is	Courant électrique de sortie	(A)
Emin	Durée d'ensoleillement minimale	(h)
Ec	Energie consommé par le moteur frigorifique	(Wh)
P_p	Puissance photovoltaïque	(W)
P_f	Décharge de batterie	-
Np	Nombre de panneaux solaire	-

Nomenclature

C	Capacité d'une batterie	(Ah)
Nj	Nombre de jour d'autonomie de système	-
C_J	Consommation journalier	(Wh)
Pf	Décharge de la batterie	-
Rb	Rendement de la batterie	(%)
N_{bs}	Nombre de batteries en séries	-
U_b	Tension de l'élément batterie donné par le constructeur	(V)
U_l	Tension de l'installation	(V)
N_b	Nombre de branches d'éléments	-
C_e	Capacité d'un élément batterie donné par le constructeur	(Ah)
N_{bp}	Nombre de branches d'éléments en parallèles	-
N_{bs}	Nombre de branches d'éléments en séries	-
N_{bt}	Nombre de batteries total	-
I_{max}	Courant maximal	(V)
ρ	La résistivité du matériau conducteur en	(Ω.m)
Ro	Rendement d'onduleur	(%)
Rr	Rendement de régulateur	(%)
Po	Puissance de l'onduleur	(W)
Sm	Surface d'un module photovoltaïque	(m^2)
Ep	Energie produite	(Wh/j)
Pc	Puissance crête	(Wc)

Introduction générale

Introduction générale

Avant le XIXème siècle, les hommes échangeaient des denrées et des biens, mais ils étaient limités dans leurs transactions, du fait qu'ils ne pouvaient s'échanger que des denrées non périssables. Ils ont donc cherché à conserver toute sorte de produits afin de se protéger des famines et se procurer ces derniers à tout moment désiré dans l'année, ceci en inventant plusieurs techniques de conservation.

Deux méthodes se sont distinguées et sont plus utilisées dans ce procédé. Il s'agit de la conservation par la chaleur et la conservation par le froid. L'évolution de ces techniques permet la conservation de la forme, de la structure, du goût mais également des valeurs nutritives du produit original. Elle nous apporte aussi un confort de vie non négligeable en nous fournissant une nourriture saine et diversifiée.

Quelque soit la méthode utilisée, cette dernière nécessite une quantité d'énergie pour une meilleure conservation de l'aliment. Selon la technique utilisée, l'énergie est soit procurée à court terme ou à long terme ; ce qui est le cas de la conservation par le froid, qui lui aussi consiste en plusieurs types, dont la conservation dans des chambres froides.

Pour un rendu économique écologique et durable, l'énergie solaire est recommandée. Pourquoi ne pas donc doter les chambres froides d'un système à énergie solaire qui permettra d'alimenter l'ensemble pour opérer la conservation.

Dans ce même contexte, nous avons effectué un travail intitulé «Etude comparative entre chambre froide avec panneaux Sandwishs et avec polystyrène ». Il s'agit ici de spécifier, de concevoir et de réaliser un tel système.

Dans un premier temps, des généralités viendront fixer les idées sur les chambres froides et l'isolation thermique. Puis, nous allons passer aux généralités sur les méthodes de stockage des aliments. Ensuite, une étude théorique simplifiée permettra de donner les bilans thermiques de chacune des deux chambres froides. Suivra une comparaison générale de différents paramètres influents sur l'efficacité d'une chambre froide. En dernier et à base de modèles de calculs simplifiés, le dimensionnement d'une installation photovoltaïque sera effectué.

Enfin, une conclusion qui englobera une interprétation générale des résultats permettra de clôturer ce travail.

Chapitre I

Généralités sur les chambres froides et l'isolation thermique.

I. Chambres froides

I.1. Définition

Une chambre froide est une grande installation industrielle utilisée pour l'entreposage de denrées périssables afin de les conserver à basse température. Elle rend possible le refroidissement d'un corps par l'extraction d'une partie de sa chaleur.

Les chambres froides sont très utiles aux grandes et moyennes surfaces (à la restauration, aux entrepôts, aux laboratoires, à l'industrie de la pétrochimie, de l'agro-alimentaire, etc.). Elles sont utilisées pour conserver les produits alimentaires dans un bon état de qualité en vue d'une consommation ultérieure.

L'avantage est qu'elles gardent l'aspect initial du produit, ceci en évitant toute perte de couleur, de poids et de qualité.

Selon le produit à traiter, les calculs d'une chambre froide doivent satisfaire trois conditions :

- La température.
- L'hygrométrie.
- La ventilation.

La grandeur physique fondamentale est la température, ainsi existe-t-il deux types de chambres froides selon cette dernière à l'intérieur du milieu à refroidir : les chambres froides positives et les chambres froides négatives. [1]

I.2. Fonctionnement générale

Le fonctionnement est en globalité le même qu'un réfrigérateur avec une plus grande puissance et des contraintes techniques beaucoup plus importantes.

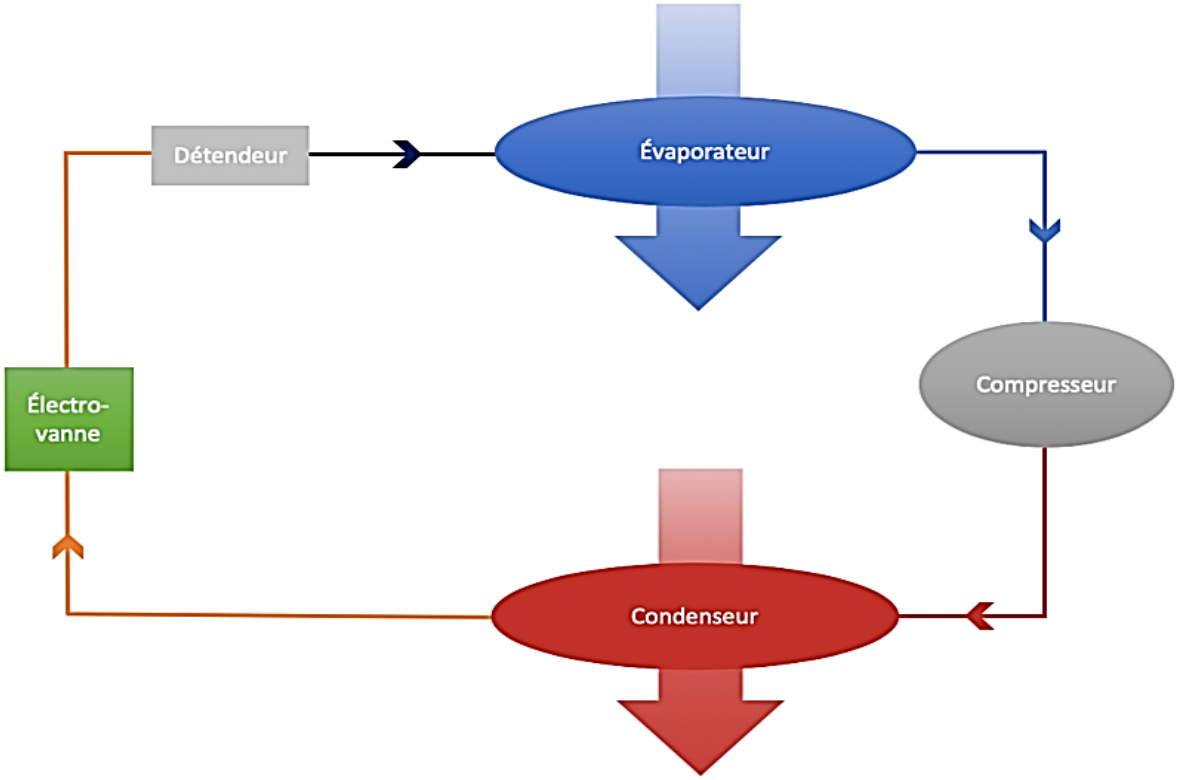

Figure I-1 : Eléments constituants d'un réfrigérateur. [2]

I.3. Principaux composants d'une chambre froide

Le principe de fabrication de froid repose sur l'évaporation d'un liquide pur appelé fluide frigorigène.

Une installation de base se compose alors des quatre organes principaux :

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

I.4. Le Rôle de chaque organe

- **Compresseur** : Le compresseur est indispensable. Sans lui, le fonctionnement de la chambre froide est impossible ; le compresseur aspire le gaz à basse pression et à basse température. [3]

- **Condenseur :** Les gaz chauds à haute pression et haute température venant du compresseur se dirigent vers le condenseur, qui est un échangeur qui va permettre aux gaz de se condenser par échange avec un fluide extérieur (l'eau, l'air..) à température et pression constante, c'est la phase de condensation; la vapeur se transforme en liquide.
- **Détendeur** : Le liquide formé dans le condenseur est détendu par abaissement brusque de la pression au passage du détendeur.
- **Évaporateur** : L'évaporateur est lui aussi un échangeur de chaleur, le fluide liquide provenant du détendeur va entrer en ébullition dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur au fluide extérieur, (l'eau, l'air...) C'est la phase d'évaporation. Le gaz est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.

I.5. Comment le froid s'obtient-il

Le fluide frigorigène est aspiré par le compresseur sous forme de gaz à basse pression. Au passage dans celui-ci, il évolue de basse en haute pression. Il arrive au condenseur et se refroidi par l'air qui y circule à contre-courant, il change progressivement d'état pour être complètement liquide à la sortie. Dans le condenseur, le fluide frigorigène libère de la chaleur en se condensant. Le passage dans le détendeur fait chuter sa pression et par voie de conséquence, sa température. Il est à l'état liquide basse pression. En cheminant dans l'évaporateur, il s'évapore en absorbant la chaleur du milieu à refroidir. Il fournit donc du froid. Le fluide frigorigène se trouve à l'état vapeur basse pression, pour revenir au compresseur et recommencer son cycle.

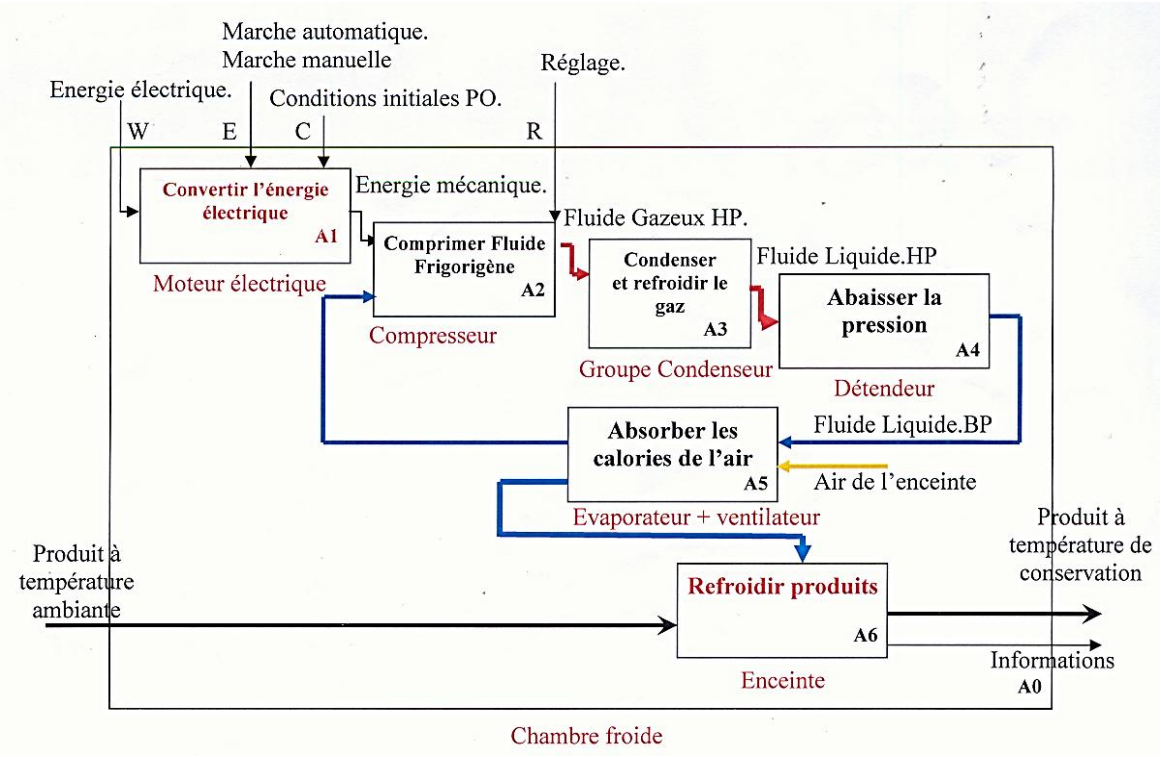

Figure I-2 : Fonctionnement d'une chambre froide. [4]

I.6. Les types des chambres froides

I.6.1. Les chambres froides positives ou chambre de réfrigération

Les chambres froides positives permettent le maintien artificiel des produits en dessous de la température ambiante, à la température optimale pour sa conservation et ce au-dessus de son point de congélation. La durée de conservation est toujours limitée, elle est en fonction de la nature du produit et de la température à laquelle il est conservé dans la chambre froide. Les calculs de température sont établis pour une chambre froide positive de :

- 10 a12 °C, en local de préparation froide
- 16 à 20 °C, en local de réserve sèche
- 0 à 8°C, en chambre de réfrigération
- 6 à 15°C, en chambre de fruits et légumes
- 9 à 11°C, en local poubelle

La conservation en chambre froide positive freine les phénomènes vitaux des tissus vivants, tels que ceux des fruits et légumes et des tissus morts en ralentissant les métabolismes

biochimiques. Elle ralentit considérablement l'évolution microbienne et les conséquences de celles-ci (putréfaction, toxines, etc.). [1]

I.6.2. Les chambres froides négatives

- **La congélation**

Dans les chambres froides négatives la température d'une denrée est abaissée à un niveau tel que la majeure partie de son eau de constitution est transformée en cristaux de glace plus ou moins gros ; on parle alors de congélation.

- **La surgélation**

La congélation peut être suivie d'une surgélation ou congélation rapide. La surgélation des denrées consiste à soumettre à celles-ci à l'action du froid à basse température, de façon à provoquer rapidement la cristallisation de I 'eau de la denrée et abaisser sa température a une valeur suffisamment basse pour que la proportion d'eau non congelée soit très faible. Les conditions qui motivent la surgélation sont:

- Produits dans un très bon état de fraicheur et d'hygiène.
- Délai avant congélation réduite.
- Congélation rapide jusqu'à : -18 °C.
- Stockage et distribution à une température supérieure à : -l8°C.
- Vente de denrées au consommateur à l'état congelé.

I.7. L'isolation thermique des bâtiments

Nous donnerons brièvement quelques rappels sur les différents modes de transfert de chaleur par conduction, par convection et par rayonnement rencontrés généralement dans le bâtiment. Dans cette partie nous citerons aussi les types d'isolation thermique dans les bâtiments et les différents matériaux utilisés.

I.7.1. Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région a une autre sous l'influence d'une différence de température. Il est régi par une combinaison de

lois physiques. La littérature traitant du transfert de chaleur reconnait essentiellement trois modes de transmission de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

Modes de transfert de chaleur

- **La conduction :**

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libre. [6]

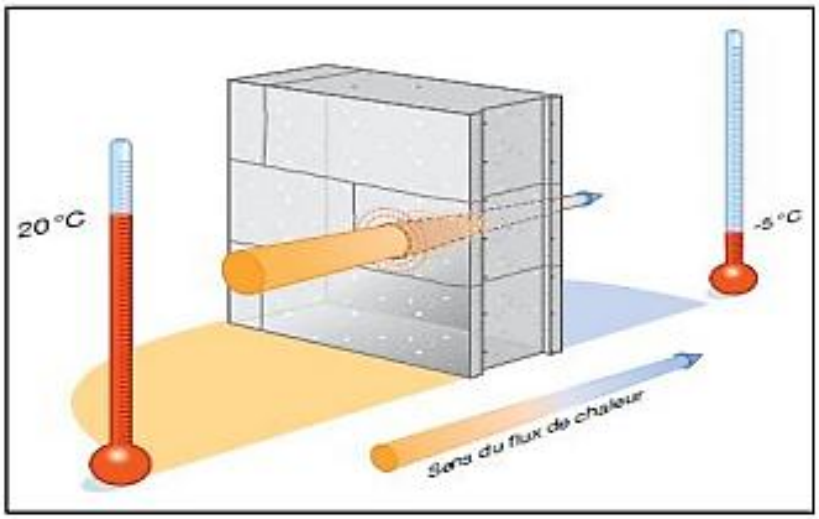

Figure I-3: Transfert de chaleur par conduction. [7]

- **La convection :**

Les phénomènes de convection interviennent dans la transmission de la chaleur chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes. Lorsque se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences de densité résultant des gradients de température, on dit que la convection est naturelle ou libre. Par contre, si le mouvement du fluide est provoqué par une pompe ou un ventilateur, le processus est appelé convection forcée [5].

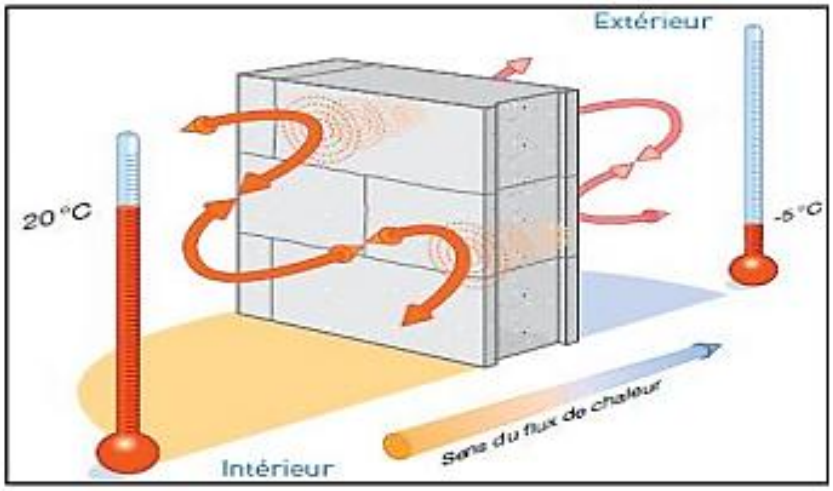

Figure I-4: Transfert de chaleur par convection. [7]

- **Le rayonnement :**

Dans la transmission de chaleur par rayonnement, le transfert thermique s'effectue par des vibrations électromagnétiques entre deux surfaces (même dans le Vide). Sans aucun contact entre eux, par le déplacement d'ondes dans l'espace qui se propagent en ligne droite sans aucun support de matière [6, 7, 8].

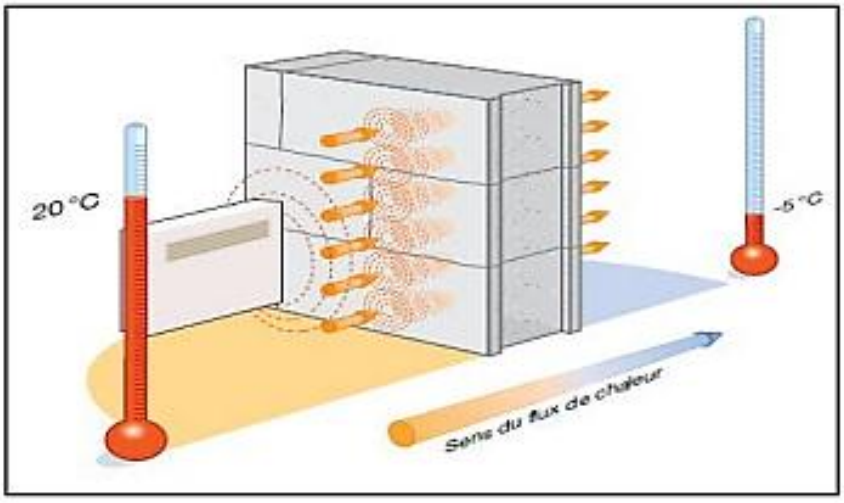

Figure I-5: Transfert de chaleur par rayonnement. [7]

I.7.2 Notions thermiques

- **Flux thermiques :**

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface isotherme par unité de temps. [9]

$$q = \frac{\partial Q}{dt} \quad (W) \tag{I.1}$$

- **Conductivité thermique :**

La conductivité thermique (notée λ) correspond à la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps, sous un gradient de température. [10]

$$\lambda = q \frac{e}{\Delta T} \quad (W/m.K) \tag{I.2}$$

- **Résistance thermique :**

La résistance thermique (notée R) correspond a la capacité d'un matériau à résister au froid et à la chaleur. Elle est déterminée en divisant l'épaisseur du matériau (e) par la conductivité thermique de ce dernier (λ). [10]

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (m^2.K/W) \tag{I.3}$$

- **Le coefficient de transmission calorifique :**

Le coefficient de transmission calorifique (notée U) caractérise les déperditions thermiques d'un matériau ou d'une paroi. C'est l'inverse de la résistance thermique (R). [9]

$$U = \frac{1}{R} \quad (W/m2.K) \tag{I.4}$$

- **Capacité thermique massique :**

On appelle capacité thermique massique (Cp) la quantité de chaleur qu'il faut appliquer à 1kg de matière pour élever sa température de 1K. [9]

- **Capacité thermique :**

La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température de un 1K. Elle s'exprime en (J/K). C'est une grandeur extensive. [9]

$$C = Cp \times m \quad \textbf{(I.5)}$$

I.7.3. L'isolation thermique

Définition

L'isolation thermique est la propriété que possède un matériau de construction pour diminuer le transfert de chaleur entre deux ambiances. Elle permet à la fois de réduire les consommations d'énergie de chauffage ou de climatisation (limite les déperditions en hiver et les apports en été), et d'accroitre le confort (maintien les températures et l'hygrométrie aux niveaux de confort d'été comme d'hiver et règle le problème de parois froides en hiver et chaude en été) [10].

Selon la littérature, l'isolation thermique est une technique ou un moyen matériel (un matériau ou combinaison de matériaux) de limiter les transferts de chaleur par conduction, convection et rayonnement entre l'extérieur et l'intérieur d'un logement. Il retarde le flux de chaleur à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment en raison de sa haute résistance thermique. [12]

Figure I-6: Répartition des déperditions thermiques dans une maison non isolée. [13]

Deux possibilités s'offrent au concepteur et réalisateur pour isoler une paroi [11]:

- **L'isolation par l'intérieur**

Consiste à isoler un bâtiment de l'intérieur en apposant un isolant derrière une cloison maçonnée ou une ossature, procédé le plus utilisé par les constructeurs à cause de sa facilité de mise en œuvre. Son inconvénient est qu'il annule l'inertie thermique de la paroi isolée et n'évite pas les ponts thermiques sur la maçonnerie.

- **L'isolation par l'extérieur**

Consiste à installer l'isolant sur la surface extérieure du mur. Ce souvent la solution la plus couteuse mais aussi la plus performante. Elle constitue la meilleure isolation pour le confort d'été et d'hiver car elle permet de conserver l'inertie thermique forte des murs intérieurs et supprime les ponts thermiques.

Un bon isolant est évidement un mauvais conducteur de la chaleur. En générale les matériaux les plus légers sont de meilleurs isolants plus le matériau est dense, plus les atomes sont proches les uns des autres, ce qui signifie que le transfert d'énergie d'un atome à un autre est plus facile.

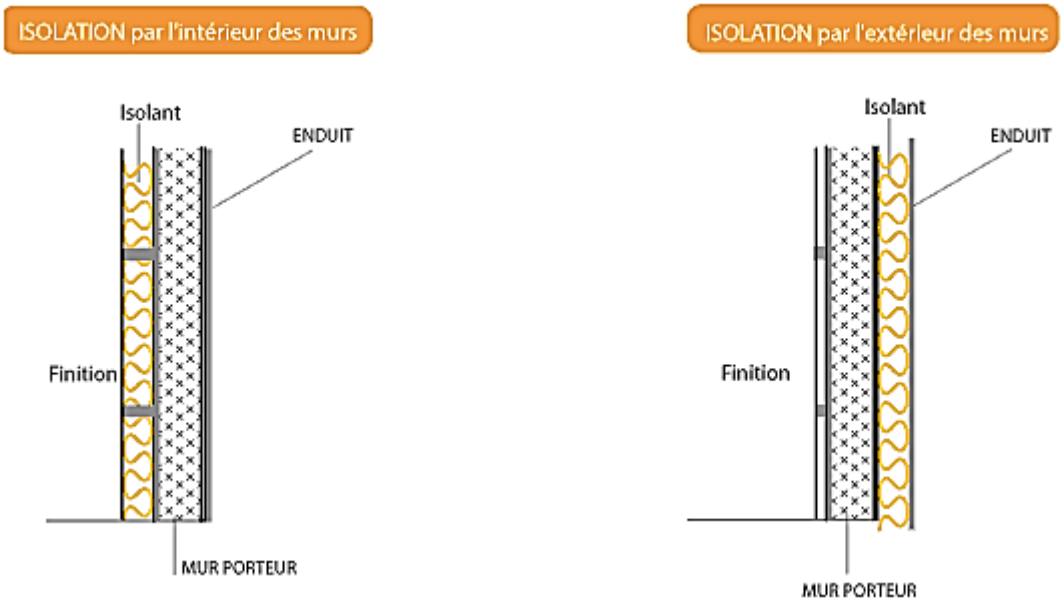

Figure I-7: Isolation intérieur et extérieur des murs. [14]

- **L'isolation intégrée**

Cette technique intègre directement l'isolation dans les murs. En outre elle permet de gagner du temps, de réduire les ponts thermiques et de faciliter la mise en œuvre.

I.7.4. Avantages d'isolation thermique

L'intérêt principal de l'isolation thermique c'est qu'elle permet de réduire la dépendance sur les systèmes (mécanique/ électrique) pour exploiter le bâtiment confortablement et, par conséquent, conserve l'énergie et les ressources naturelles associées. En plus de confort thermique, il existe également plusieurs autres avantages de l'utilisation d'isolation thermique dans le bâtiment qui peuvent être résumées comme suit [12]:

- **Avantage économique :** Des économies d'énergie importantes peuvent être atteint à l'aide d'utilisation d'isolation thermique, avec peu de dépenses en capital. Il réduit les coûts d'exploitation de l'énergie.
- **Avantage environnemental :** L'utilisation d'isolation thermique non seulement réduit les coûts d'exploitation de l'énergie, mais entraîne également des avantages environnementaux comme la valorisation des déchets rejetés qui causent des émissions polluantes.

- **Réduire le niveau de bruit :** L'isolation peut réduire le bruit nuisible et stressant des espaces voisins ou de l'extérieur. Cela améliore le confort acoustique des bâtiments isolés.
- **Empêchement de condensation de vapeur :** Bonne installation de l'isolation thermique aide à prévenir la condensation de vapeur sur la surface de bâtiment.
- **Protection contre le feu :** Si le matériau isolant approprié est choisi et correctement installé, il peut aider à retarder la chaleur et à empêcher l'immigration de flamme dans la construction en cas d'incendie.

I.7.5. Classification des matériaux isolants

En thermique, un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique. Les principaux matériaux d'isolation disponibles actuellement vous sont présents dans les fiches suivantes, classes en 3 grandes familles selon l'origine de leur matière première [15,16,17]:

❖ Les matériaux biosourcés

Constitues principalement de fibres végétales ou animales. Leur matière première est donc largement issue de ressources renouvelables et valorise majoritairement des coproduits de l'agriculture ou de l'industrie du bois. A la différence des autres types de matériaux d'isolation, la majeure partie des matériaux biosourcés présente un comportement hygroscopique qui associe forte perméabilité a la vapeur d'eau et régulation de l'humidité.

- **Fibres de bois :**

Les fibres de bois sont obtenues par défibrage de chutes de bois résineux. Elles peuvent être utilisées en vrac ou transformées sous forme de panneaux. Pour ce faire une pate épaisse est formée par adjonction d'eau et d'adjuvants.

- **La laine de mouton :**

La laine de mouton est lavée pour éliminer le suint et les impuretés, puis y Sont ajoutes des additifs antimites et des fibres de texturation pour constituer les produits finis d'isolation. Malgré les compromis faits pour la conservation et la texturation de la fibre, la

laine de mouton reste un très bon isolant écologique. On peut la trouver en rouleau ou en panneau utilisé pour une isolation rapportée entre ossature, ou encore en vrac sous forme d'écheveaux pour le remplissage des cavités.

Figure I-8 : Fibre de bois en panneau. [17]

Figure I-9: Laine de mouton. [17]

- **Béton de chanvre :**

Le béton de chanvre est constitué d'un mélange à base de chènevotte, Le dosage en liant est très variable et dépend de l'usage qui en est fait : blocs préfabriqués, conglomérats banchés ou projetés à la machine, enduits isolants.

Figure I-10 : Béton de chanvre. [16]

❖ Les matériaux minéraux :

Constitues principalement de ressources minérales vierges ou issus en partie du recyclage pour certains. Sous forme de laines de verre ou de roche, et des fibragglos.

- **La laine minérale :**

Les laines de verre et de roche sont les isolants conventionnels les plus utilisés dans le bâtiment. La laine de roche est obtenue à partir de la fusion de roche volcanique (basalte) de fondant et de coke industrielle. Une pâte est alors obtenue, fibrée et encollée par des liants chimique (résine phénoliques) avant d'être stabilisé par chauffage en étuve. La laine de verre est obtenue par un procédé industriel similaire, mais à partir de la fusion de sable siliceux et /ou de verre recyclé.

Figure I-10: Laine de verre. [17]

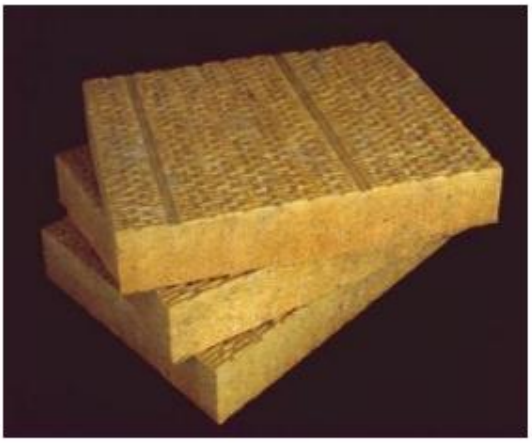

Figure I-11 : Laine de roche. [17]

- **Les fibragglos :**

Les fibragglos sont des panneaux fabriqués à partir de fines lanières de bois résineux, minéralisés puis enrobés selon les fabrications, de ciment, de chaux hydraulique, de plâtre ou de magnésie.

- **Terre cuite :**

La terre cuite est composé d'argile séchée au soleil pendant un an qui sera mélangée à de l'eau, du sable et de la sciure de bois, le mélange obtenu sera broyé, humidifié, moulé et cuit.

Les produits finis, utilisés encore aujourd'hui, restent les mulots (briques pleines) pour leur fonction décorative mais aussi les blocs à alvéoles verticale multiple ou Mono mûrs en terre.

Figure I-12 : Fibragglos [16].

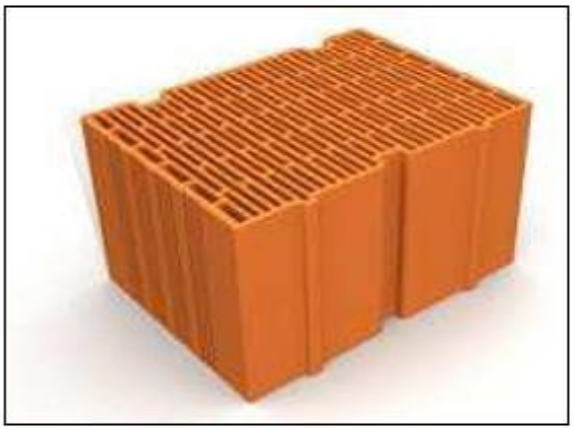

Figure I-13: Brique monomûr en terre cuite[16].

❖ Les matériaux synthétiques :

Issus de ressources pétrochimiques, donc non renouvelables et fortement émetteurs de gaz à effet de serre. Pour la plupart dépourvus de toute sensibilité a l'humidité, ces matériaux peuvent être particulièrement indiques pour le traitement des zones fortement soumises a l'humidité (soubassement, sous-dalle...).

- **Le polystyrène (expansé et extrudé) :**

Ces isolants sont produits par l'industrie du pétrole, le plus souvent à partir d'un ou de plusieurs dérivés du processus de raffinage. Le polystyrène expansé est obtenu par polymérisation des billes de styrène qui en sont issues avec de l'eau et du gaz pentane. Le polystyrène extrudé est obtenu après polymérisation du styrène par extrusion sous pression d'une pâte de fusion grâce à un gaz lourd.

Figure I-14 : Le polystyrène. [17]

- **Les polyuréthanes :**

Les mousses de polyuréthanes sont obtenues par catalyse et expansion à partir d'un mélange d'isocyanate, de polyol, et d'un gaz expanseur (CO2) avec ajout de stabilisant et d'ignifugeants.

Figure I-15: Le polyuréthane. [17]

Conclusion

L'utilisation de l'isolation thermique a plusieurs avantages (économique, environnementale …etc.).

Il existe différents types des matériaux d'isolation thermique (biosourcés, minéraux et synthétiques).

L'installation des matériaux isolants dans l'enveloppe du bâtiment assure une bonne isolation thermique par la réduction des déperditions thermique entre le bâtiment et le milieu extérieur.

L'étude bibliographique montre que l'isolation thermique a un effet important sur la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment et sur la réduction de la consommation énergétique de chauffage et de climatisation.

Chapitre II

Généralités sur le stockage et la conservation des aliments (pomme de terre).

Introduction

La conservation des aliments comprend un ensemble de procédés de traitement dont le but est de conserver le gout, la texture et la couleur de l'aliment ainsi que ses propriétés nutritionnelles et sa comestibilité afin d'éviter d'éventuelles intoxications alimentaires. À l'origine de ces techniques, il y a quelques siècles, l'objectif était de pouvoir stocker des aliments en période d'abondance des cultures, afin d'éviter d'avoir à faire face à la famine durant des périodes moins fastes (fin d'hiver, année à faible production...). De nos jours, on conserve les aliments surtout pour éviter que les germes prolifèrent et ne rendent ainsi malade la personne qui les consomme.

II.1.Techniques de conservation

Deux méthodes sont généralement employées :

- **Conservation par chaleur :** Le traitement des aliments par la chaleur est la technique la plus utilisée pour la conservation de longue durée. (pasteurisation, stérilisation, appertisation, semi-conserves…)
- **Conservation par froid :** Le froid arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des denrées alimentaires en limitant leur altération. (surgélation, congélation, réfrigération)

II.1.1.Application de la chaleur

Le traitement des aliments par la chaleur est la technique la plus utilisée pour la conservation de longue durée.

- **La pasteurisation** : Elle a pour but la destruction des micro-organismes pathogènes et d'altération. La technique utilisée consiste à soumettre les aliments à une température comprise entre 85° C et 100° C pendant une durée déterminée et à les refroidir brutalement. Avantage de cette méthode : elle préserve les caractéristiques des denrées alimentaires, notamment leur saveur. Les denrées pasteurisées comportent une date limite de conservation (DLC) et sont à conserver au frais.

- **La stérilisation** : Il s'agit d'un traitement thermique à des températures supérieures à 100° C visant à détruire toute forme microbienne, ce qui assure la stabilité à température ambiante des denrées.

- **Le traitement à ultra haute température (UHT)** Avec cette méthode de conservation, le produit (lait, par exemple) est porté à une haute température au- delà de 135°C pendant une courte période (1 à 5 secondes), puis immédiatement et très rapidement refroidi. Il est ensuite conditionné aseptiquement. Ce traitement permet une conservation longue à température ambiante.

- **L'appertisation (conserves)** Ce procédé associe deux techniques :
  - un conditionnement dans un récipient étanche.
  - un traitement thermique (en général la stérilisation).

  Les produits obtenus peuvent se conserver plusieurs années à température ambiante (5 ans maximum). Elles comportent une date de durabilité minimale, la date passée, la denrée perd de ses qualités gustatives ou nutritives sans pour autant constituer un danger pour celui qui la consommerait.

- **Les semi-conserves** Les semi-conserves sont des denrées alimentaires périssables, conditionnées en récipients étanches aux liquides, et ayant subi un traitement de conservation (pasteurisation, salage, séchage, etc.) en vue d'en assurer une conservation plus limitée que les conserves. Elles doivent être stockées au froid. Elles comportent le plus souvent une date limite de consommation, mais peuvent comporter, compte tenu de leur durée de conservation (le plus souvent de quelques mois), une date de durabilité minimale.

II.1.2.Application du froid

- **La réfrigération :** Cette technique consiste à abaisser la température pour prolonger la durée de conservation des aliments. À l'état réfrigéré, les cellules

des tissus animaux et végétaux restent en vie pendant un temps plus ou moins long, et les métabolismes cellulaires sont seulement ralentis. La température des aliments réfrigérés est comprise entre 0 et + 4° C pour les denrées périssables les plus sensibles.

- **La congélation :** La congélation permet d'abaisser la température d'une denrée alimentaire de façon à faire passer à l'état solide l'eau qu'elle contient. Cette cristallisation de l'eau contenue dans la denrée permet de réduire l'eau disponible pour des réactions biologiques et donc de ralentir ou d'arrêter l'activité microbienne et enzymatique.

- **La surgélation :** La surgélation consiste à congeler rapidement une denrée saine et en parfait état de fraîcheur, en abaissant sa température très rapidement jusqu'à moins 18°C en tous points. Grâce à ce procédé, l'eau contenue dans les cellules se cristallise finement limitant ainsi la destruction cellulaire. Les produits ainsi traités conservent leur texture, leur saveur et peuvent être conservés plus longtemps. Les produits surgelés doivent-être étiquetés comme tels et ne doivent pas, au cours de leur stockage ou de leur transport, subir de variations de températures. Les produits congelés ou surgelés ne doivent pas être recongelés après une décongélation.

II.1.3. Autres techniques de conservation

-Par modification de l'atmosphère

- **Le conditionnement sous vide réduit :** la quantité d'air autour de la denrée alimentaire et donc l'action de l'oxygène sur celle-ci. Cela permet d'empêcher d'une part le développement des micro-organismes, dont la prolifération est une des causes de l'altération du produit, et d'autre part les réactions d'oxydation également à l'origine de dégradations du produit.

- **Le conditionnement sous atmosphère modifiée (emballage étanche)** permet de remplacer l'air qui entoure la denrée alimentaire par un gaz ou un

mélange gazeux (en fonction du type de produit), et de prolonger ainsi la durée de vie de celle-ci. Cette technique de conservation est associée à un stockage à basse température tout au long de vie du produit. Une mention inscrite sur l'étiquetage indique « conditionné sous atmosphère protectrice ».

-Par Séparation et élimination de l'eau

- **La déshydratation et le séchage consiste :** à éliminer partiellement ou totalement l'eau contenue dans l'aliment. Du fait d'une faible activité de l'eau, les micro-organismes ne peuvent proliférer, et la plupart des réactions chimiques ou enzymatiques de détérioration sont ralenties.

- **La lyophilisation :** consiste à congeler un aliment puis à le placer sous vide : l'eau passe ainsi directement de l'état solide à celui de vapeur (sublimation). La forme et l'aspect des produits sont bien conservés, leur qualité aromatique est bien supérieure à celle des produits séchés. Du fait de son coût, cette technique est réservée aux denrées alimentaires à forte valeur ajoutée tels que les champignons, le café soluble, certains potages instantanés et les céréales pour petit déjeuner.

- **Le salage :** vise à soumettre la denrée alimentaire à l'action du sel soit en le répandant directement à la surface de l'aliment (salage à sec), soit en immergeant le produit dans une solution d'eau salée (saumurage). Cette technique est essentiellement utilisée en fromagerie, en charcuterie et pour la conservation de certaines espèces de poissons (harengs, saumon, etc.) ou denrées alimentaires végétales (condiments).

- **Le saumurage :** consiste à plonger des aliments (charcuteries, fromages, poissons, condiments, etc.), dans une préparation composée de sel, d'eau, de divers ingrédients (aromates, sucres, etc.) et éventuellement d'additifs autorisés.

- **Le confisage :** consiste à préparer des denrées alimentaires en vue de leur conservation en les faisant cuire lentement dans une graisse (de porc, d'oie, de canard), en les enrobant de sucre, en les plongeant dans du sirop de sucre

(confiserie, fruits confits) ou en les mettant en bocaux dans de l'alcool (fruits à l'eau-de-vie), du vinaigre (câpres, pickles, cornichons, oignons) ou dans une préparation à l'aigre-doux.

- **Le fumage** ou la fumaison consiste à soumettre une denrée alimentaire à l'action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de végétaux. Le fumage joue le rôle d'aromatisation et/ou de coloration. Il s'applique principalement aux produits carnés pour lesquels le séchage suivi du fumage permet de conserver les viandes et poissons grâce à l'action combinée de la déshydratation et des antiseptiques contenus dans la fumée.

-Par acidification :

- **La fermentation** est la transformation naturelle d'un ou plusieurs ingrédients alimentaires sous l'action de levures, ou de bactéries. Les plus importantes transformations de denrées alimentaires par la fermentation sont au nombre de trois ; la fermentation alcoolique (vin), la fermentation lactique (choucroute, cornichons, fromages) et la fermentation acétique (vinaigre).

-Par rayonnement :

- **L'ionisation** repose sur l'exposition des denrées alimentaires à l'action de rayonnements ionisants électromagnétiques qui a pour but d'augmenter la durée de conservation des aliments en éliminant les micro-organismes.

Les sources de rayonnements ionisants font l'objet d'une liste exhaustive fixée par la réglementation. La liste des denrées alimentaires pouvant être traitées est limitée et concerne celles qui sont fréquemment contaminées et/ou infestées par des organismes et leurs métabolites, qui sont de nature à nuire à la santé publique (insectes, micro-organismes pathogènes, etc.). Ce traitement de conservation correspond à une technique maîtrisée et encadrée par la réglementation, et n'a aucun rapport avec les contaminations accidentelles pouvant résulter du contact des denrées alimentaires avec des sources radioactives. En complément des méthodes de conservation mentionnées auparavant, d'autres technologies de conservation telles que

la microfiltration, le chauffage ohmique, procédé au cours duquel le produit est chauffé directement par un courant alternatif basse tension, les ultrasons, les hautes pressions, les champs magnétiques pulsés ou la lumière pulsée se développent. Ces solutions qui permettent de traiter les produits d'une manière plus douce, parfois plus efficacement, en préservant leur propriétés gustatives et nutritives sont peu appliquées pour des raisons industrielles, réglementaires ainsi qu'économiques.

II.2. Conservation de la pomme de terre

Dans notre étude, on a choisi la pomme de terre comme aliment à conserver, elle est généralement conservée par le froid, plus exactement par la réfrigération. Sa qualité peut être réduite par des dégâts dus au régime de température inadapté.

La température de conservation doit être réglée avec précision en fonction des variétés, des usages et de la durée.

La pomme de terre est conservée souvent longtemps avant sa consommation. Sa durée de stockage peut atteindre de 8 à 12 mois si les conditions techniques optimales sont réunies. Cette durée est limitée à quelques semaines lorsque les pommes de terre sont conservées à température ambiante au domicile des particuliers.

Figure II-1 : Conservation des pommes de terre dans une chambre froide [18].

II.2.1. Les conditions de conservation de la pomme de terre

Pour assurer une bonne conservation de pomme de terre, il faut favoriser des conditions optimales. Ces conditions sont multiples, et les plus importantes se résument à :

- Une température adéquate : pour maintenir une bonne turgescence des tubercules, bloquer la germination, et maîtriser l'apparition de maladies de présentation comme la dartrose ou la gale argentée, il est conseillé de conserver les pommes de terre à une température basse, de 5 ou 6 °C.

- Une humidité relative élevée : il faut souvent combiner plusieurs équipements, pour atteindre un niveau suffisant d'humidité dans l'air, qui circule au travers des pommes de terre. Ce niveau varie entre 90 à 95%.

- Un bon entreposage : pendant la conservation, les tubercules de la pomme de terre sont considérés comme des organismes vivants, ils ont besoin d'oxygène O_2 pour respirer et ils produisent du CO_2 et de la chaleur. Un mauvais entreposage, va résulter par un déséquilibre d'humidification, d'aération et d'oxygénation.

Le non-respect de ces conditions recommandées, va non seulement dégrader les tubercules de la pomme de terre, mais aussi créer de la condensation, et provoquer une eau libre sur cette dernière. Ce qui va résulter par la création d'un milieux mouillé et favorable pour les bactéries, qui va causer par la suite la pourriture des tubercules.

II.2.2. Méthode de stockage des pommes de terre

Les pommes de terre sont stockées soit dans des silos, soit dans des bâtiments ventilés aménagés pour une ventilation forcée à travers le tas. Le Bâtiment est isolé et entoure une aire où les pommes de terre sont stockées en vrac. Des gaines de distribution d'air sont disposées sous le niveau du sol. Elles sont mises sous pression par les ventilateurs.

Divers types d'installations viennent perfectionner ce modèle, soit en soufflant sous toute la surface, en caillebotis, soit en ajoutant des groupes de réfrigération. Le stockage peut se faire en caisse palettes, comme dans l'entreposage classique, avec éventuellement des aménagements de type air forcé pour assurer une bonne homogénéité des températures.

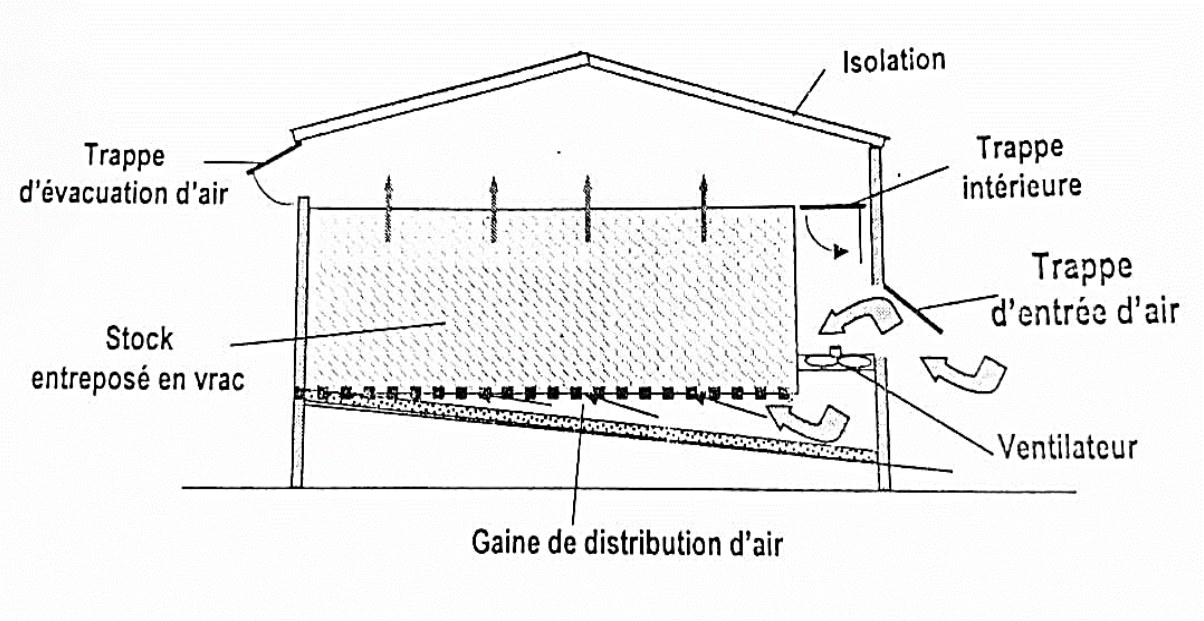

Figure II-2 : Conservation en vrac dans un bâtiment ventilé [19].

Figure II-3 : Conservation en vrac dans un bâtiment ventilé avec une surface caillebotis [20].

Figure II-4 : Conservation en vrac dans un bâtiment ventilé avec des gaines de ventilation [21].

Figure II-5 : Conservation en caisse palette dans un bâtiment ventilé [22].

II.2.3. La dégradation de la pomme de terre

Les dégradations de la pomme de terre se manifestent sous différentes formes :

- **Le verdissement :** à la lumière, la chlorophylle s'accumule dans les cellules sous épidermiques en parallèle avec la formation de solanine, alcaloïde toxique. La conservation doit se faire à l'obscurité totale car la solanine est produite à de très faibles intensité (55lux).

Figure II-6 : Pomme de terre avec du verdissement [23].

- **Le noircissement interne :** dans la chair apparaissent des taches grises bleuté, sur des variétés sensibles ayant subi des chocs, Il est favorisé par de trop basse températures au début de stockage.

Figure II-7 : Pomme de terre avec du noircissement interne [24].

- **Le brunissement enzymatique :** dû à une oxydation superficielle des composés phénolique, il apparaît au pelage et se montre particulièrement gênant pour les pommes de terre précuites. Pour l'éviter, on les immerge rapidement dans l'eau froide salée et le conditionnement se fait à l'abri de l'oxygène, sous gaz neutre ou sous vide.

- **Le brunissement non enzymatique :** Dû principalement à la réaction des sucres réducteurs, glucose, fructose, avec les substances aminées, il se produit à la cuisson, pour la préparation des frites, des chips, des plats appertisés. Il est favorisé par l'accumulation de sucres en conservation, pour des températures supérieures à la normale (6 - 7°C).

Conclusion

Pour une conservation des produits agricultures à grande échelle, la méthode de traitement et de conservation par réfrigération reste la plus utilisée. Les produits peuvent rester durant des mois dans des conditions acceptables. Cependant cette réfrigération est freinée par deux facteurs majeurs : le cout élevé et la qualité des moyens d'entreposage et de transport notamment les chambres froides. Sur ces derniers seront axés la troisième partie de notre étude.

Chapitre III

Bilan thermique de la chambre froide

Introduction

Dans cette partie, il s'agit de faire une étude thermique de deux chambres froides positives, disposées à proximité des champs de récolte au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, pour la conservation de la pomme de terre. Posées sur une plateforme en béton au-dessus d'un vide sanitaire ventilé, et ayant une charpente comme casquette en tôle. Une chambre froide conçue avec des panneaux sandwich, et une autre avec du polystyrène expansé.

Nous allons commencer par décrire la structure de chacune et dresser les tableaux des matériaux constituants les parois et les planchers, ainsi que leurs propriétés et caractéristiques.

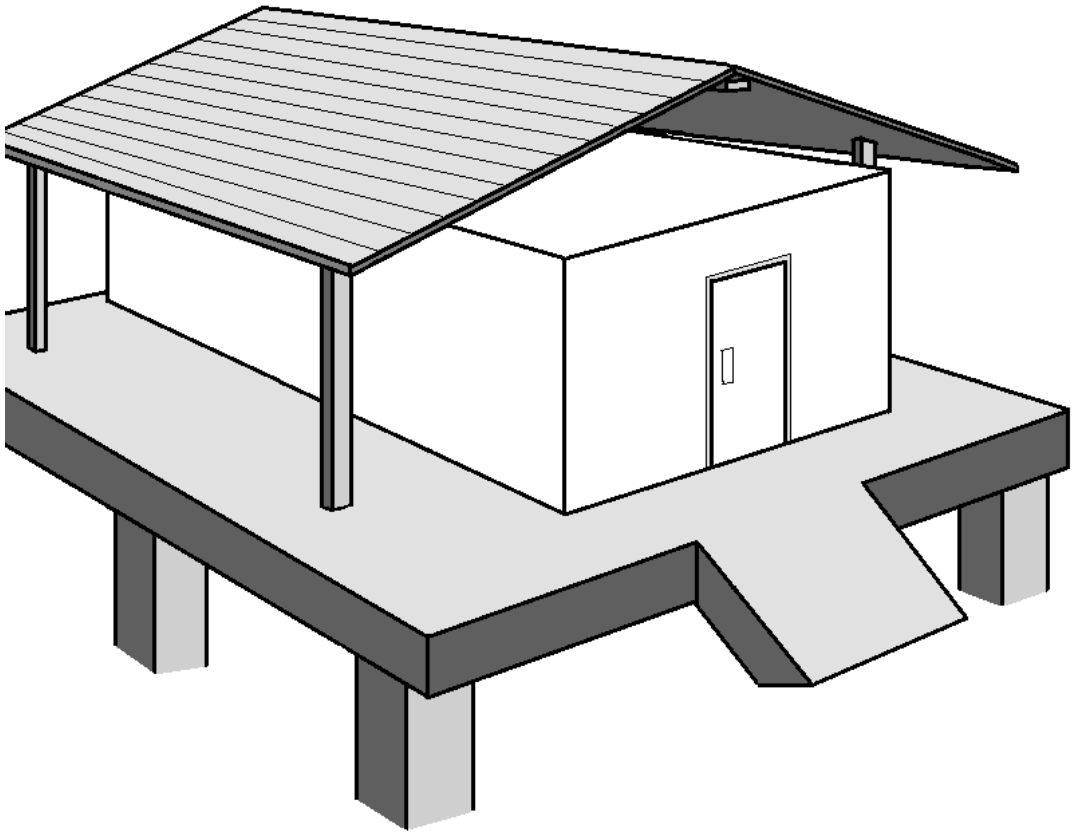

Figure III-1 : Représentation schématique des deux chambres froides.

III.1. Structure des deux chambres froides

Chambres froides avec panneaux sandwich et polystyrène expansé

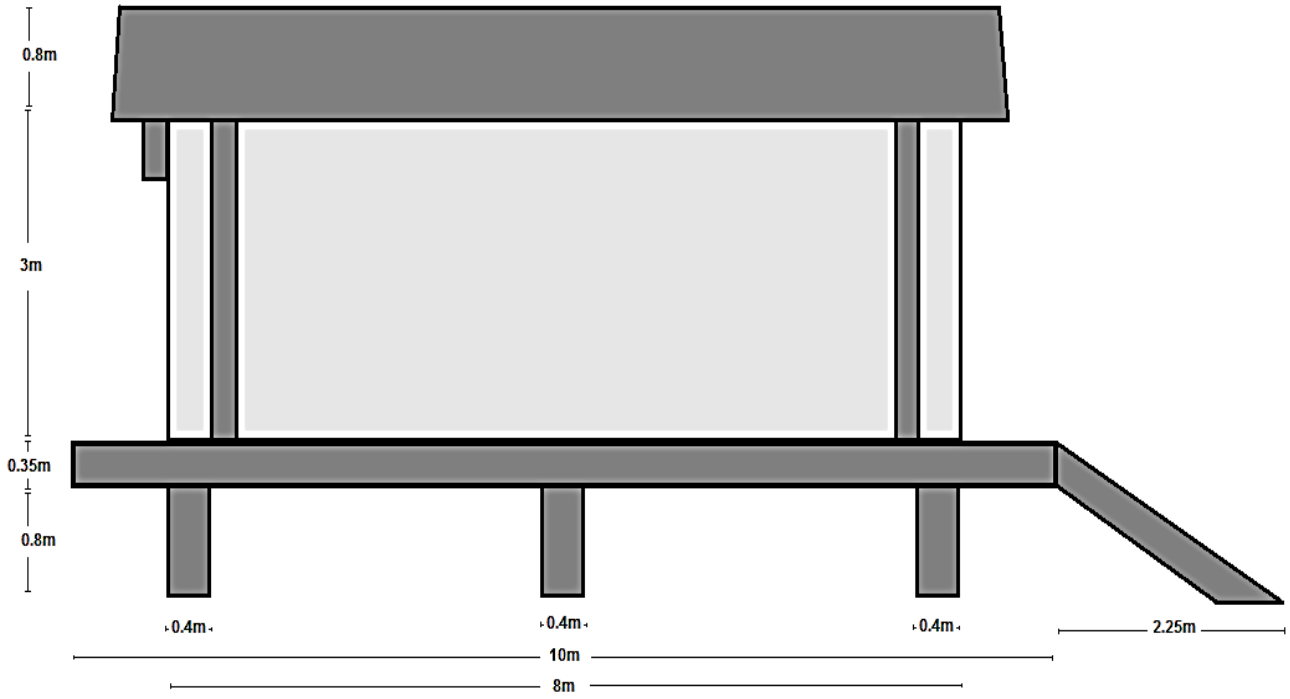

Figure III-2: Plan de profile des deux chambres froides.

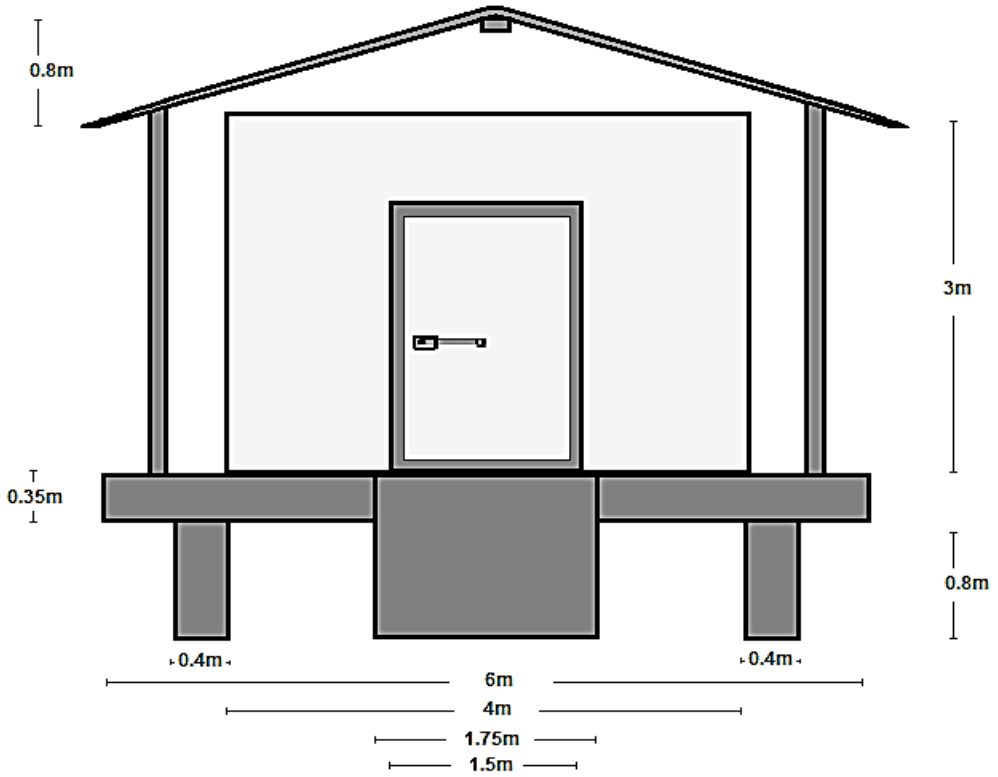

Figure III-3: Plan de face des deux chambres froides.

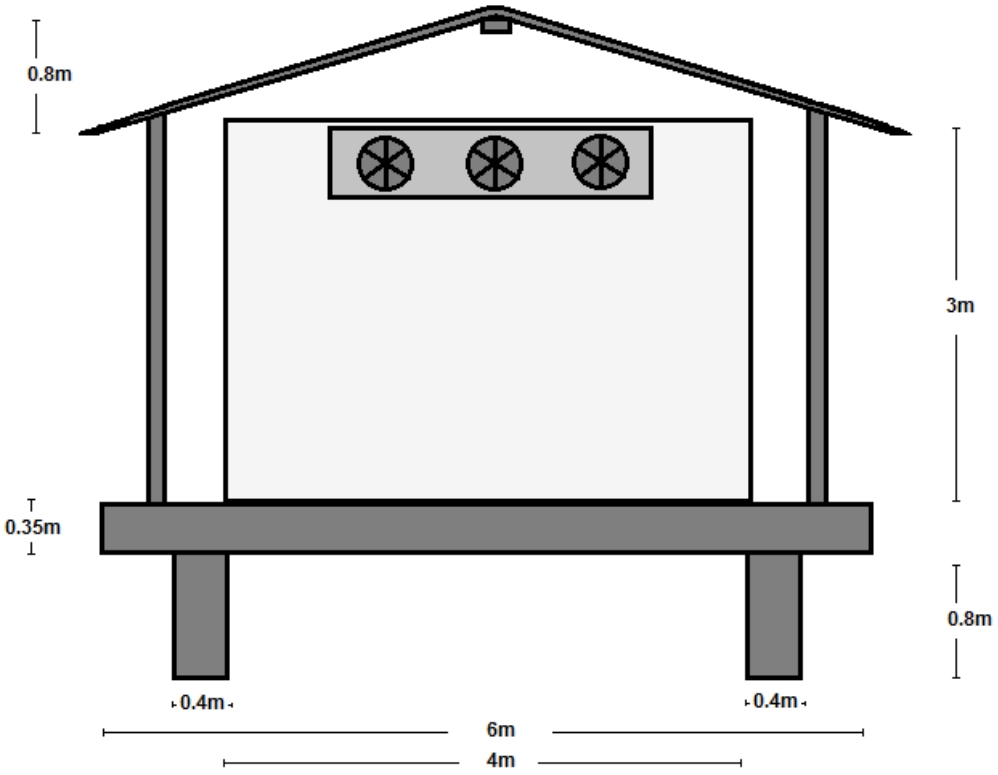

Figure III-4: Plan arrière des deux chambres froides.

III.1.1. Panneau sandwich

Le panneau sandwich est utilisé dans la construction et la rénovation de façade de bâtiment, de bardage, de toiture ou encore en dalle pour plafond suspendu ou faux plafond. Il est constitué d'une couche d'isolant entre deux plaques de matériau profilé. Il offre des qualités de résistance au feu, d'isolation phonique, d'étanchéité. Léger, il permet une mise aux normes rapides de bâtiments professionnels, tels que des laboratoires, salles blanches, chambres froides…etc. ils peuvent être fabriqués en différentes dimensions, pouvant aller de 1 mètre de longueur jusqu'à 20 mètres. Ils peuvent par ailleurs faire 30 à 200 mm d'épaisseur. Très faciles à découper et à percer, ils sont ensuite fixés à la structure du bâtiment. [25]

Ils sont constitués de :

- Deux couches extérieures en acier galvanisé, tôle, contre-plaqué, fibre de verre et autres.

- Une couche d'isolant à l'intérieur rigide d'environ 30 à 200 mm d'épaisseur, de haute performance mécanique et thermique en mousse de polyuréthanne, polyisocyanurate, laine de roche…etc.

- Un revêtement décoratif de couleurs diverses en PVC, aluminium, acier inoxydable.

Figure III-5 : Panneaux sandwich. [26]

III.1.2. Polystyrène expansé

Le polystyrène expansé, de couleur blanche ou grise, est fabriqué à partir de l'assemblage de plusieurs molécules de styrène (polymérisation) pour lui donner son nom de «polystyrène». Le polystyrène se présente sous forme de billes sphériques de petit diamètre (0,2 à 0,3 mm).

Contenant 98% d'air et peu consommateur de matière première, le polystyrène ne contient ni gaz CFC, ni HFC, ni HCFC. Il bénéficie de nombreux avantages :

- Très bon isolant thermique, dont la conductivité thermique lambda varie de 0.038 W/(m.K) à 0.030 W/(m.K).

- Economique.

- Respectueux de l'environnement.

Les applications du polystyrène expansé sont multiples : sols, murs, terrasses ou toitures plates. [27]

Figure III-6 : Polystyrène expansé. [28]

III.1.3. Vide sanitaire

Un vide sanitaire est un espace vide situé sous le sol de la construction dont l'objectif principal est de lutter contre les remontées d'humidité. Concrètement, il s'agit d'un volume d'air laissé vide entre le plancher de la bâtisse et la terre sur laquelle elle est construite. D'une manière générale, un vide sanitaire augmente la résistance et la durabilité d'un bâtiment. L'air est l'un des meilleurs isolants, le vide sanitaire permet une isolation efficace. Le vide lui-même peut mesurer entre 20 cm à 180 cm de hauteur. [29]

Figure III-7: Vide sanitaire. [30]

III.1.4. Charpente en tôle

Elle sert de protection de la chambre du rayonnement solaire. Faite en tôle, voici son allure :

Figure III-8: Charpente en tôle.

III.2. Description et constitution du plancher bas pour les deux chambres froides :

Le plancher bas se constitue d'une dalle isolé avec une couche du polystyrène ensuite suivie de la chape et du mortier de pose et pour finir du carrelage.

Tableau III-1 : les caractéristiques des matériaux composant le plancher bas des deux chambres froides. [31]

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/m.K)
Carrelage	0.02	2.4
Mortier de pose	0.02	1.4
Chape	0.07	1.92
Polystyrène expansé	0.16	0.034
Dalle	0.1	0.27

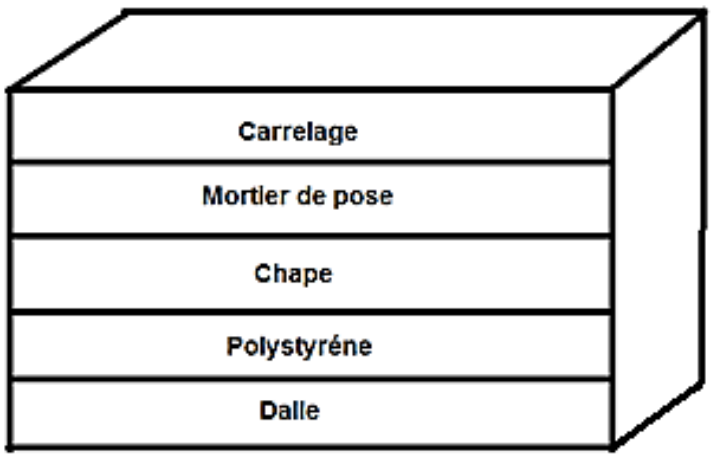

Figure III-9: Schéma du plancher bas des deux chambres froides.

III.3. Description et constitution des murs

III.3.1. Pour la chambre froide avec des panneaux sandwichs

Les murs sont composés d'une couche de polyuréthane sous forme de panneaux, entre deux plaques d'acier galvanisé.

Tableau III-2: les caractéristiques des matériaux composant les murs. [31]

Couche	Epaisseur e (m)	Conductivité thermique λ (W /m.K)
Acier	$e_1 = 0.005$	$\lambda_1 = 50$
Polyuréthane	$e_2 = 0.07$	$\lambda_2 = 0{,}028$
Acier	$e_1 = 0.005$	$\lambda_1 = 50$

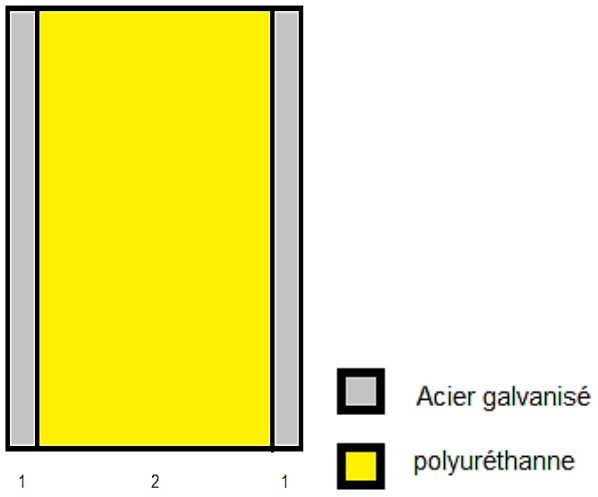

Figure III-10 : Schéma des murs de la chambre froide avec des panneaux sandwich.

III.3.2. Pour la chambre froide avec de polystyrène expansé

Les murs sont composés de polystyrène expansé sous forme de panneaux, recouverts avec du trait à soudé et une couche d'enduit ciment.

Tableau III-3 : les caractéristiques des matériaux composants les murs. [31]

Couche	Epaisseur e (m)	Conductivité thermique λ (W/m.K)
Enduit ciment	0.03	1.1
Polystyrène	0.16	0.034
Enduit ciment	0.03	1.1

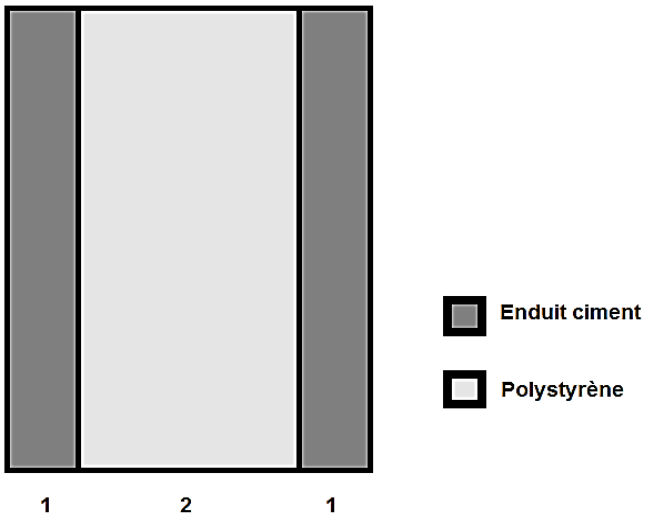

Figure III-11 : Schéma des murs de la chambre froide avec de polystyrène expansé.

III.4. Description et constitution de plancher haut de la chambre froide

III.4.1. Pour la chambre froide avec des panneaux sandwich

Le plancher haut de cette chambre est constitué d'une couche de polyuréthane sous forme de panneaux, entre deux plaques d'acier galvanisé.

Tableau III-4 : Les caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la chambre froide avec des panneaux sandwich. [31]

Couche	Epaisseur e (m)	Conductivité thermique λ (W /m.K)
Acier	$e_1 = 0.005$	$\lambda_1 = 50$
Polyuréthane	$e_2 = 0.09$	$\lambda_2 = 0.028$
Acier	$e_1 = 0.005$	$\lambda_1 = 50$

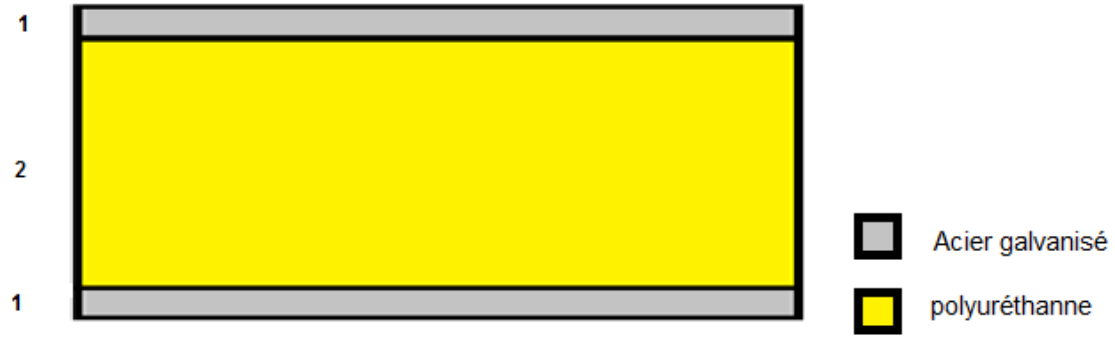

Figure III-12: schéma de plancher haut de la chambre froide avec des panneaux sandwich.

III.4.2. Pour la chambre froide avec de polystyrène expansé

Le plancher haut de cette chambre est composé de polystyrène expansé sous forme de panneaux, recouverts avec du trait à soudé et une couche d'enduit ciment.

Tableau III-5 : Les caractéristiques des matériaux composant le plancher haut de la chambre froide avec de polystyrène expansé. [31]

Couche	Epaisseur e (m)	Conductivité thermique λ (W/m.K)
Enduit ciment	$e_1 = 0.03$	$\lambda_1 = 1.1$
Polystyrène	$e_2 = 0.16$	$\lambda_2 = 0.034$
Enduit ciment	$e_1 = 0.03$	$\lambda_1 = 1.1$

Figure III-13 : Schéma de plancher haut de la chambre froide avec de polystyrène.

III.5. La résistance thermique surfacique R

Elle est obtenue par la somme des résistances de chaque matériau et les résistances superficielles intérieure et extérieure, elle est donnée par la relation suivante :

$$R = \frac{1}{hi} + \sum_{i=1}^{n} \frac{ei}{\lambda i} + \frac{1}{he} \qquad (m^2 . °C/W) \qquad \textbf{(III.1)}$$

Avec :

h_i : Coefficient d'échange convectif intérieur. (m^2.K/W)

h_e : Coefficient d'échange convectif extérieur. (m^2.K/W)

e_i: L'épaisseur du matériau. (m)

λ_i: La conductivité du matériau. (W/m.K)

Les coefficients des résistances superficielles sont donnés par le tableau suivant :

Tableau III-6 : Les valeurs des résistances superficielles. [31]

1/h en m².°C/W	Paroi en contact avec : - l'extérieur, - un passage ouvert, - un local ouvert.			Paroi en contact avec : - un autre local, chauffé ou non chauffé, - un comble, - un vide sanitaire.		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Latéral (Mur) α > 60°	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
Ascendant (toiture) α ≤ 60°	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
Descendant (plancher) α ≤ 60°	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Le coefficient de transmissions surfacique K est obtenu par l'inverse des sommes des résistances.

$$K = \frac{1}{R} \qquad (W/m^2.K)$$

III.6. Calcul du coefficient de transmissions surfacique K

- **Plancher bas des deux chambres froides (panneaux sandwich et polystyrène expansé)**

$$R_{pb} = \frac{1}{hi} + \frac{ec}{\lambda c} + \frac{em}{\lambda m} + \frac{ech}{\lambda ch} + \frac{ep}{\lambda p} + \frac{ed}{\lambda d} + \frac{1}{he} \qquad \textbf{(III.2)}$$

$$R_{pb} = 0.17 + \frac{0.02}{2.4} + \frac{0.02}{1.4} + \frac{0.07}{1.92} + \frac{0.16}{0.034} + \frac{0.1}{0.27}$$

$R_{pb} = 5.298$ (m².K /W)

$$K_{pb} = \frac{1}{Rpb}$$

$K_{pb} = 0.19$ (W/ m².K).

• **Plancher haut de la chambre froide (panneau sandwich)**

$$R_1 = \frac{1}{hi} + 2\,x\,\frac{e1}{\lambda 1} + \frac{e2}{\lambda 2} + \frac{1}{he} \quad \textbf{(III.3)}$$

$$R_1 = 0.17 + 2\,x\,\frac{0.005}{50} + \frac{0.09}{0.028}$$

$R_1 = 3.38$ (m².K /W)

$$K_1 = \frac{1}{Rpb}$$

$K_1 = 0.29$ (W/ m².K).

• **Plancher haut de la chambre froide (polystyrène expansé)**

$$R_2 = \frac{1}{hi} + 2\,x\,\frac{e1}{\lambda 1} + \frac{e2}{\lambda 2} + \frac{1}{he} \quad \textbf{(III.4)}$$

$$R_2 = 0.17 + 2\,x\,\frac{0.03}{1.1} + \frac{0.16}{0.034}$$

$R_2 = 4.92$ (m².K /W)

$$K_2 = \frac{1}{Rpb}$$

$K_2 = 0.2$ (W/ m².K).

• **Les murs de la chambre froide (panneaux sandwich)**

$$R_3 = \frac{1}{hi} + 2\,x\,\frac{e1}{\lambda 1} + \frac{e2}{\lambda 2} + \frac{1}{he} \quad \textbf{(III.5)}$$

$$R_3 = 0.17 + 2\,x\,\frac{0.005}{50} + \frac{0.07}{0.028}$$

$R_3 = 2.67$ (m².K /W)

$$K_3 = \frac{1}{Rpb}$$

$K_3 = 0.37$ (W/ m².K).

• Les murs de la chambre froide (polystyrène expansé)

$$R_4 = \frac{1}{hi} + 2\ \frac{e1}{\lambda 1} + \frac{e2}{\lambda 2} + \frac{1}{\text{he}} \qquad \textbf{(III.6)}$$

$$R_4 = 0.17 + 2\ \frac{0.03}{1.1} + \frac{0.16}{0.034}$$

$R_4 = 4.92$ (m².K /W)

$$K_4 = \frac{1}{\text{Rpb}}$$

$K_4 = 0.2$ (W/ m².K).

III.7. Bilan thermique des deux chambres froides (panneaux sandwich et polystyrène expansé)

Pour notre bilan thermique nous devons assurer une température intérieure de 6 °C, avec une température extérieure maximale de 47.2 °C donnée par les services de météorologie de Tizi-Ouzou.

	janv. 2017	fev. 2017	mars 2017	avr. 2017	mai 2017	juin 2017	juil. 2017	août 2017	sept. 2017	oct. 2017	nov. 2017	dec. 2017	Année complète
Tempé. maxi extrême	21,1 le 31	27,4 le 13	27,0 le 3	28,4 le 24	37,5 le 6	42,7 le 27	47,2 le 31	46,1 le 2	37,2 le 1	31,8 le 13	31,9 le 3	20,7 le 31	47,2 le 31 juil.
Tempé. maxi moyennes	13,8	18,2	21,6	23,0	29,6	34,7	37,6	37,4	31,3	26,9	18,8	14,3	25,6
Tempé. moy moyennes	9,9	13,6	15,3	16,8	22,4	27,2	29,8	30,7	24,8	20,6	14,3	11,2	19,7
Tempé. mini moyennes	5,7	8,9	9,0	10,6	15,3	19,8	22,1	23,9	18,2	14,2	9,6	7,6	13,7
Tempé. mini extrême	0,0 le 18	2,7 le 10	5,0 le 25	7,5 le 22	10,0 le 2	15,5 le 7	16,0 le 2	17,6 le 22	14,8 le 11	11,2 le 28	1,0 le 11	2,8 le 5	0,0 le 18 janv.

Tableau III-7 : Climatologie de l'année 2017 à Tizi-Ouzou. [32]

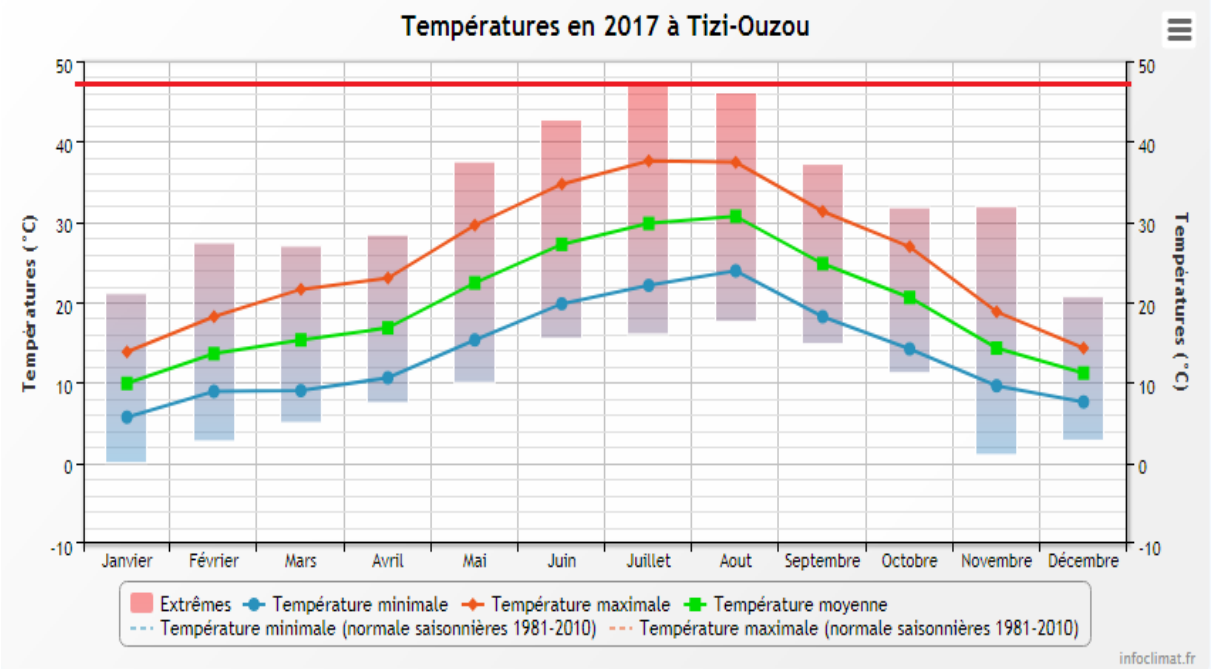

Figure III-14: Courbe de température en 2017 à Tizi-Ouzou. [32]

III.7.1. Les différents apports de chaleur pour les chambres froides [33,34]

- **Apport par les parois et le plancher haut et bas de la chambre froide Q_1**

$$Q_1 = \frac{\sum(Kp \times Sp \times \Delta T)}{1000} \times 24 \quad \text{(kWh)} \qquad \textbf{(III-7)}$$

Avec :

K_p: Le coefficient de transmission de la paroi (W/m^2K)

S_p: Surface de la paroi (m^2).

ΔT : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C).

- **Apport par introduction de la marchandise Q_2**

Dans notre cas, le produit qu'on veut stocker est la pomme de terre.

$$Q_2 = M \times Cs \times \Delta T \quad \text{(kWh).} \qquad \textbf{(III.8)}$$

Avec :

M: Masse de la pomme de terre introduite dans la chambre froide (kg).

Cs : Chaleur spécifique de la pomme de terre (kJ/kg.°C).

ΔT : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C).

- **Apport par la respiration de la marchandise Q_3**

Toujours avec le cas de stockage de la pomme de terre.

$$Q_3 = M \times Cr \quad \text{(kWh).} \qquad \textbf{(III.9)}$$

Avec :

M: Masse de la pomme de terre introduite dans la chambre froide (kg).

Cr: Chaleur de respiration de la pomme de terre (kJ/kg/24h)

- **Apport par renouvèlement d'air Q_4**

$$Q_4 = N \times \rho \times V \times (He - Hi) \quad \text{(kJ/kg).} \qquad \textbf{(III.10)}$$

Avec :

N : Nombre de renouvèlement d'air par jour.

N = 70 / (V)$^{1/2}$ pour les chambres positives.

N = 85 / (V)$^{1/2}$ pour les chambres négatives.

ρ : Masse volumique de l'air extérieur (kg/m^3)

V: Volume de la chambre froide (m^3)

Hi : Enthalpie intérieure de la chambre froide (kJ/kg)

He: Enthalpie extérieure de la chambre froide (kJ/kg)

Avec :

$h = Cpa \times T + w\ (Cpv \times T + Lv)$

$Hi = Cpa \times T_1 + w_1(Cpv \times T_1 + Lv)$

$He = Cpa \times T_2 + w_2(Cpv \times T_2 + Lv)$

w_1: humidité spécifique intérieure pour Hr_1 = 85%.

w_2: humidité spécifique extérieure pour Hr_2 = 65%.

- **Apport par le personnel Q_5**

$Q_5 = P \times n \times t$ (kWh). **(III.11)**

P : puissance dégagée par une personne (W)

n : nombre de personnes

t : temps de présence dans la chambre froide (h)

- **Apport par l'éclairage Q_6**

$Q_6 = P' \times t \times S$ (kWh). **(III.12)**

P' = 10 W/m² : puissance d'un niveau d'éclairage moyen par unité de surface

t : temps de marche par jour (h)

S : Surface de plancher haut de la chambre froide (m²)

- **Apport par la ventilation Q_7**

On estime la puissance dégagée par les moteurs empiriquement suivant la formule 30 W/m^2 de surface de la chambre froide.

$$Q_7 = P'' \times S \times t \quad \textbf{(III.13)}$$

P'' = 30 W/m² : puissance d'un niveau de ventilation moyenne par unité de surface

t = 16 (h)

S : Surface bas de la chambre froide (m²)

- **Apport par infiltration Q_a**

$$Q_a = \frac{Ki \times Si \times \Delta T + \sum(ai \times li)(R \times H)}{1000} \times 24 \quad \text{(kWh)} \quad \textbf{(III.14)}$$

$$\varphi_i = K_i \times S_i \times \Delta T + \sum(ai \times li)(R \times H) \quad \text{(W)}$$

Avec :

K_i: Coefficient de transmission surfacique de la vitre (W/m^2.K)

S_i : Surface de la vitre (m^2)

ΔT : La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (°C)

ai:Perméabilité du joint (W/m. K)

li: Longueur du joint (m)

R : constante du locale.

H : constante d'immeuble.

III.8. Calcul de la quantité de chaleur

III.8.1. Calcul de la quantité de chaleur totale de la chambre froide avec panneaux sandwich

- **Apport par les parois et le plancher haut et bas de la chambre froide Q_1**

Tableau III-8 : Bilan thermique des parois de la chambre froide avec panneaux sandwich.

Parois	Orientation	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m^2)	K (W/ .m^2)	Te (C°)	Ti (C°)	ΔT (C°)	K.S.ΔT (W)
Mur 1	O	8	3	24	0.37	47.2	6	41.2	365.856
Mur 2	N	4	3	12	0.37	47.2	6	41.2	182.928
Mur 3	E	8	3	24	0.37	47.2	6	41.2	365.856
Mur 4	S	4	3	12	0.37	47.2	6	41.2	182.928
Plancher Bas		8	4	32	0.19	47.2	6	41.2	250.496
Plancher Haut		8	4	32	0.29	47.2	6	41.2	382.336

$\varphi_T = \sum(Kp \times Sp \times \Delta T)$

φ_T = 1 730.4 (W)

$Q_1 = \frac{\sum(Kp \times Sp \times \Delta T)}{1000} \times 24$

Q_1= 41.53 (kWh)

- **Apport par introduction de la marchandise Q_2**

Nos pommes de terre sont introduites à une température de 24 °C, et la température à l'intérieur de la chambre est à 6°C. Ce qui nous donne un écart de température ΔT de 18°C :

Tableau III-9 : Calcul des apports par introduction de la marchandise.[33]

Produit	Masse (kg)	Chaleur Spécifique Cs (kJ/kg. °C)	ΔT (°C)	M.Cs. ΔT (kJ)
Pomme de terre	8 960	3.56	18	574 156.8

Q_2 = 574 156.8 (kJ)

Q_2 = 159.48 (kWh)

- **Apport par la respiration de la marchandise Q_3**

Tableau III- 10: Calcul des apports par la respiration de la marchandise. [33]

Produit	Masse M (kg)	Chaleur de respiration Cr (kJ/kg/24h)	M.Cr (kJ)
Pomme de terre	8 960	5.44	48 742.4

Q_3 = 48 742.4 (kJ)

Q_3 = 13.54 (kWh)

- **Apport par renouvellement d'air Q_4**

Tableau III-11 : Calcul des apports par renouvèlement d'air.

Volume V (m^3)	He (kJ/kg)	Hi (kJ/kg)	P (kg/ m^3)	N	N .ρ. V. (he – hi) (kJ)
96	115	15	1.2	9	103 680

Q_4 = 103680 (Wh)

Q_4 = 28.8 (kWh)

- **Apport par le personnel Q_5**

Tableau III-12 : Calcul des apports par le personnel.

P (W)	N	T (h)	P.N.t (Wh)
250	3	2	1500

$Q_5 = 1500$ (Wh)

$Q_5 = 1.5$ (kWh)

- **Apport par l'éclairage Q_6**

Tableau III-13 : Calcul des apports par l'éclairage.

P' (W m²)	t (h)	S (m²)	P.t.S (Wh)
10	2	24	480

$Q_6 = 480$ (Wh)

$Q_6 = 0.48$ (kWh)

- **Apport par la ventilation Q_7**

Tableau III-14 : Calcul des Apports par la ventilation.

P'' (W/ m²)	t (h)	S (m²)	P.t.S (Wh)
30	16	24	11 520

Q_7 = 11 520 (Wh)

Q_7 = 11.52 (kW)

- **Apport total de la chambre froide avec panneaux sandwich QT_1**

$QT_1 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$ **(III.15)**

QT_1 = 41.53 + 44.8 + 13.54 + 28.8 + 1.5 + 0.48 + 11.52

QT_1 = 142.17 (kWh)

La puissance frigorifique à installer sera déterminée à partir de QT sans majoration est pour un temps de fonctionnement de 48h pour les apports par introduction de la pomme de terre et de 16 à 18 heures pour le reste des autres apports.

$$PF_1 = \frac{QT1}{t} \quad \textbf{(III.15)}$$

$$PF_1 = \frac{Q1 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7}{16} + \frac{Q2}{48}$$

PF_1 : Puissance frigorifique (kW)

QT_1 : Apport total journalier (kJ/24h)

t : temps de fonctionnement du groupe frigorifique (h)

$$PF_1 = \frac{41.53+13.54+28.8+1.5+0.48+11.52}{16} + \frac{44.8}{48}$$

PF_1 = 7.01 (kW)

III.8.2. Calcul de la quantité de chaleur totale de la chambre froide avec de polystyrène expansé :

- **Apport par les parois de la chambre froide Q_1**

Tableau III-15 : Bilan thermique des parois de la chambre froide avec polystyrène expansé.

Parois	Orientation	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m²)	K (W/K.m²)	Te (C°)	Ti (C°)	ΔT (C°)	K.S.ΔT (W)
Mur 1	O	8	3	24	0.2	47.2	6	41.2	197.76
Mur 2	N	4	3	12	0.2	47.2	6	41.2	98.88
Mur 3	E	8	3	24	0.2	47.2	6	41.2	197.76
Mur 4	S	4	3	12	0.2	47.2	6	41.2	98.88
Plancher Bas		8	4	32	0.19	47.2	6	41.2	250.496
Plancher Haut		8	4	32	0.2	47.2	6	41.2	263.68

$\varphi_T = \sum(Kp \times Sp \times \Delta T)$

φ_T = 1 107.456 (W)

$Q_1 = \frac{\sum(Kp \times Sp \times \Delta T)}{1000} \times 24$

Q_1= 26.58 (kWh)

- **Apport par introduction de la marchandise Q_2**

Nos pommes de terre sont introduites à une température de 24 °C , et la température à l'intérieur de la chambre est à 6°C. Ce qui nous donne un écart de température ΔT de 18°C :

Tableau III-16 : Calcul des apports par introduction de la marchandise. [33]

Produit	Masse (kg)	Chaleur Spécifique Cs (kJ/kg. °C)	ΔT (C°)	M.Cs. ΔT (kJ)
Pomme de terre	8 960	3.56	18	574 156.8

Q_2 = 574 156.8 (kJ)

Q_2 = 159.48 (kWh)

- **Apport par la respiration de la marchandise Q_3**

Tableau III-17 : Calcul des apports par la respiration de la marchandise. [33]

Produit	Masse M (kg)	Chaleur de respiration Cr (kJ/kg/24h)	M.Cr (kJ/24h)
Pomme de terre	8 960	5.44	48 742.8

Q_3 = 48 742.4 (kJ)

Q_3 = 13.54 (kWh)

- **Apport par renouvèlement d'air Q_4**

Tableau III-18 : Calcul de l'apport par renouvèlement d'air.

Volume V (m^3)	He (kJ/kg)	hi (kJ/kg)	P (kg/ m^3)	N	N .ρ. V . (he – hi) (kJ)
96	115	15	1.2	9	103 680

Q_4 = 103680 (kJ)

$Q_4 = 103\,680 \times 0.0002777$

Q_4 = 28.8 (kWh)

- **Apport par le personnel Q_5**

Tableau III-19 : Calcul des apports par le personnel.

P (W)	N	T (h)	P.N.t (Wh)
250	3	2	1500

Q_5 = 1500 (Wh)

Q_5 =1.5 (kWh)

- **Apports par l'éclairage Q_6**

Tableau III-20 : Calcul des apports par l'éclairage.

P' (W m²)	t (h)	S (m²)	P.t.S (Wh)
10	2	24	480

Q_6 = 480 (Wh)

Q_6 = 0.48 (kWh)

• **Apport par la ventilation Q_7**

Tableau III-21 : Calcul des apports par la ventilation.

P'' (W/ m²)	t (h)	S (m²)	P.t.S (Wh)
30	16	24	11 520

Q_7 = 11 520(Wh)

Q_7 = 11.52 (kWh)

• **Apport total de la chambre froide avec de polystyrène expansé QT_2**

$QT_2 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$ **(III.17)**

QT_2= 26.58 + 44.8 + 13.54 + 28.8 + 1.5 + 0.48 + 11.52

QT_2 = 127.2 (kWh)

La puissance frigorifique à installer sera déterminée à partir de QT sans majoration est pour un temps de fonctionnement de 48h pour les apports par introduction de la pomme de terre et de 16 à 18 heures pour le reste des autres apports.

$$PF_2 = \frac{QT2}{t} \quad \textbf{(III.18)}$$

$$PF_2 = \frac{Q1 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7}{16} + \frac{Q2}{48}$$

PF_2 : Puissance frigorifique (kW)

QT_2 : Apport total journalier (kJ/24h)

t : Temps de fonctionnement du groupe frigorifique (h)

$$PF_2 = \frac{26.58+13.54+28.8+1.5+0.48+11.52}{16} + \frac{44.8}{48}$$

PF_2 = 6.08 (kW)

Conclusion

On a présenté dans ce chapitre deux bilans thermiques, et on a estimé les différentes déperditions en tenant compte d'un cas extrême dans la région de Tizi-Ouzou. Cela nous a permis de déterminer les besoins de deux chambres froides en termes de refroidissement, pour atteindre les conditions thermiques optimales surtout en période d'été.

Chapitre IV
Etude comparative des chambres froides

Introduction

D'après les structures des deux chambres froides (panneaux sandwich et polystyrène expansé) et leurs bilans thermiques, dans ce chapitre, nous allons faire une étude comparative entre ces deux dernières, tout en citons leurs avantages et inconvénients.

Cette étude se fera sur les différents plants suivants :

- Plan thermique.
- Plan économique.
- Plan environnementale.

IV.1.Etude comparative thermique

En se basant sur les résultats des deux bilans thermiques, obtenus au chapitre III, nous allons faire une comparaison entre ces deux cas.

	Chambre froide avec panneaux sandwich	Chambre froide avec polystyrène expansé
Apport total Q_t	142.17 (kWh)	127.2 (kWh)

D'après ce tableau, nous avons constaté que les apports thermiques totaux obtenus pour la chambre froide avec panneaux sandwichs sont supérieurs à ceux obtenus pour la chambre froide en polystyrène expansé.

On conclut que la chambre froide en polystyrène expansé est mieux isolée que la chambre froide en panneaux sandwich.

IV.2.Etude comparative technico-économique

Dans cette partie, nous allons estimer le coût total de réalisation de chaque chambre froide, y compris la plate forme avec son vide sanitaire et la charpente métallique en tôle (sous forme de casquette).

- Pour la chambre froide en panneaux sandwich :

Eléments de la chambre froide	Quantité	Prix unitaire en (D.A)	Coût en (D.A)
Panneaux sandwich pour les parois (3 m x1m x 0,080m)	24	17 000.00	408 000.00
Panneaux sandwich pour le toit (4m x 1m x 0,1m)	8	22 000.00	176 000.00
Main d'œuvre	-	390 000.00	390 000.00
Porte (2m x 1m x 0,080m)	1	68 000.00	68 000.00
Kits de réfrigération (10ch - MTZ 120)	1	432 000.00	432 000.00
Autres Accessoires	-	84 000.00	84 000.00
Plate forme plus Carrelage (6m x 10m)	1	520 000.00	520 000.00
Charpente en tôle	1	96 000.00	96 000.00
			2 174 000.00

- Pour la chambre froide en polystyrène expansé :

Eléments de la chambre froide	Nombre	Prix unitaire en (D.A)	Coût en (D.A)
Polystyrène expansé Plus l'enduit ciment pour les parois (Fourniture et pose 10m x 10m)	72	15 000.00	1 080 000.00
Polystyrène expansé Plus l'enduit ciment pour le toit (Fourniture et pose 10m x 10m)	32	15 000.00	480 000.00
Porte (2m x 1m x 0,08m)	1	68 000.00	68 000.00
Kits de réfrigération (10ch - MTZ 120)	1	432 000.00	432 000.00
Plate forme plus Carrelage (6m x 10m)	1	520 000.00	520 000.00
Charpente en tôle	1	96 000.00	96 000.00
			2 676 000.00

D'après les coûts de réalisation des deux chambres froides, on a constaté que la chambre froide en polystyrène est beaucoup plus coûteuse que la chambre froide en panneaux sandwichs, et cela revient à la cherté des matériaux et la construction de ces parois et de leurs durées de réalisation.

IV.3.Etude comparative sur le plan environnemental

Comparer les deux chambres froides (panneaux sandwich et polystyrène expansé) revient à parler des avantages et des inconvénients des matériaux constitutifs de ces dernières. Les matériaux d'isolation utilisés sont la mousse de polyuréthane et le polystyrène expansé.

IV.4.Les avantages et inconvénients du polyuréthane

Comme tous les types d'isolants thermiques, la mousse de polyuréthane et le polystyrène ont leurs avantages et leurs inconvénients.

Les avantages

- Coût moyen.
- Bon isolant thermique.
- Matériau très léger.
- Imperméable à l'eau.
- Bonne résistance mécanique.
- Facile à travailler.
- Très bonne isolation phonique.
- Longévité correcte.

Les inconvénients

- Fabrication polluante.
- Toxique sous l'effet d'une forte chaleur.
- Inflammable : dégage des gaz très toxiques en cas d'incendie.

L'installation

Disponible en mousse ou en panneaux, la mise en œuvre du polyuréthane nécessite une protection car il dégage des particules très toxiques sous l'effet de fortes chaleurs. Il peut

être employé pour l'isolation des sols, des toitures et des murs extérieurs. Cependant son installation est simple, de part la facilité et le temps minimum de sa fixation.

IV .5. Les avantages et inconvénients d'une chambre froide en polystyrène expansé

Les avantages

- Coût moyen.
- Bon isolant thermique.
- Matériau très léger.
- Imperméable à l'eau.
- Bonne résistance mécanique.
- Facile à travailler.

Les inconvénients

- Mauvais isolant phonique.
- Mauvaise longévité.
- Fabrication polluante.
- Inflammable : dégage des gaz toxiques en cas d'incendie.

L'installation

Disponible en panneaux, la mise en œuvre du polystyrène expansé ne nécessite aucune protection particulière car il ne dégage aucune particule toxique. Il peut être employé pour l'isolation des sols, des toitures et des murs intérieurs et extérieurs. Il nécessite cependant d'être ignifugé ou associé à un autre matériau comme par exemple le plâtre car il est très inflammable et dégage des fumées toxiques en cas d'incendie.

Conclusion

Dans ce chapitre nous pouvons constater qu‘après comparaison des deux types d’isolation, les deux chambres diffèrent sur le plan thermique comme le montrent les bilans thermiques obtenus pour la chambre froide en polystyrène expansé, qui est mieux isolée que la chambre froide en panneaux sandwich. Cependant sur le plan économique, elle est beaucoup plus coûteuse. Par contre, sur le plan environnemental, elles sont plutôt équivalentes sauf au niveau de leur longévité et de leur pouvoir en isolation phonique.

Chapitre V

Etude et dimensionnement de l'alimentation électrique en panneaux photovoltaïques

Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée ; il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'homme cherche depuis longtemps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.

V.1. Installation photovoltaïque

Les avantages

- Elle est caractérisée tout d'abord par une haute fiabilité. L'installation ne comporte pas de pièces mobiles qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées.
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Le coût de fonctionnement est très faible, vu les entretiens réduits et il ne nécessite ni combustible, ni son transport, ni personnel hautement spécialisé.
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

Les inconvénients

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert 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 compétitifs, par rapport aux générateurs diesel, que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur est élevé.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

V.2. La cellule solaire photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un composant semi-conducteur capable de transformer directement l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation d'énergie se fait via la création et le déplacement de charges électriques positives et négatives dans le matériau semi-conducteur sous l'effet de la lumière. Cette transformation est donc basée sur :

- L'absorption des photons grâce à l'écart entre les bandes de valence et de conduction. Ce qui représente d'ailleurs la caractéristique fondamentale des semi-conducteurs.
- La conversion de l'énergie photonique en énergie électrique permet de créer les paires électron/trou.
- La jonction P-N ou l'hétérojonction, lorsqu'il s'agit de deux semi-conducteurs différents permet de collecter les particules générées dans le matériau.

Afin d'avoir ce phénomène, il faut préciser que le matériau ou les matériaux de la cellule photovoltaïque doivent posséder deux niveaux d'énergie et être assez conducteur pour faciliter le passage du courant, d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie du photovoltaïque.

V.2.1. Constitution d'une cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés P (positif) et N (négatif), dénommé comme jonction P-N (ou N-P). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc un champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure.

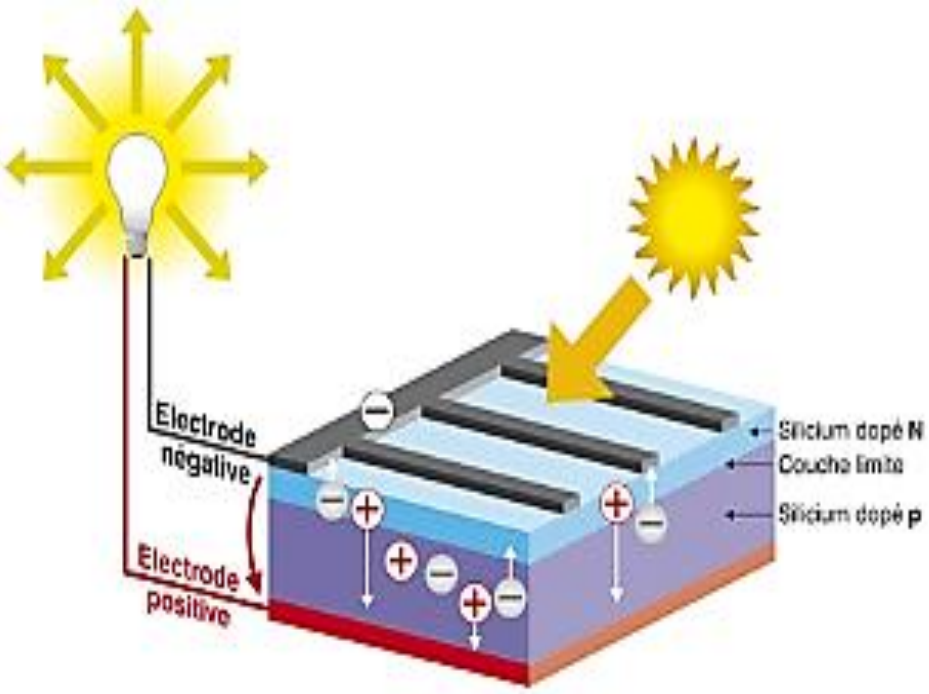

Figure V-1: Représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque**.** [36]

V.2.2. Le module photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque ou module (figure 4-2) est constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques élémentaires montées en série et/ou en parallèle afin d'obtenir des caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert, d'une protection contre les intempéries sous forme de vitre et de stratifiés, d'une protection contre les surtensions sous forme d'une ou plusieurs diodes by-pass et d'un dispositif de branchement.

Figure V-2 : Le module photovoltaïque. [38]

V.2.3. Les paramètres électriques du module photovoltaïque

Les différents paramètres caractérisant un module photovoltaïque sont la tension de circuit ouvert (Vco), le courant de court-circuit (Icc), la puissance maximale P_{max} et le rendement.

Ils sont extraits des caractéristiques courant-tension I(V), permettant de comparer différents modules éclairés dans des conditions identiques.

- ***Le rendement***

Le rendement énergétique d'un module PV est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par le module $Ƥ_m(l_m, V_{max})$ et la puissance solaire. Il est donné par :

$$\frac{Ƥm}{Ƥi} = \frac{lmVm}{Ƥi} \quad \textbf{(V.1)}$$

Avec $Ƥ_i$ qui est égale au produit de l'éclairement et de la surface totale du module PV. Ce paramètre reflète la qualité de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique.

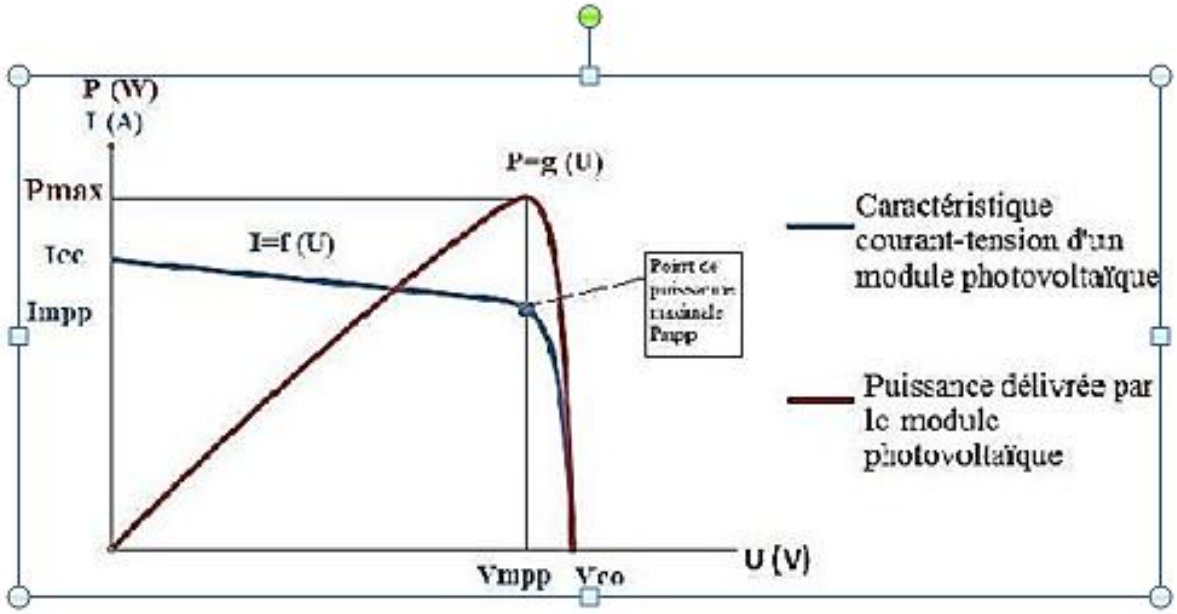

Figure V-3: Caractéristiques courant-tension d'un module photovoltaïque. [36]

V.2.4. Recyclage des modules

Les modules sont recyclables en fin de vie (après 25 à 30 ans). Il est possible de récupérer le verre, l'aluminium des cadres, le silicium des cellules et le cuivre des connecteurs. Ce recyclage permet de réduire le coût énergétique des modules, car une partie des opérations d'extraction et de raffinage n'est plus nécessaire.

V.2.5. Le champ photovoltaïque

Le champ photovoltaïque (figure 4-5) se compose de plusieurs modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique.

Figure V-4 : Champ photovoltaïque. [38]

V.2.6. L'effet photovoltaïque

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la lumière « attaquent » les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arracher. Dans les cellules PV, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons « arrachés » créent une tension électrique continue et faible.

V.3. Les matériaux de base de la cellule photovoltaïque

- **Silicium monocristallin**

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Les avantages

- Bon rendement, de 14 % à 16 % (~150 Wc/m^2)

Les inconvénients

- Coût élevé;

- Rendement plus faible sous un faible éclairement ou un éclairement diffus;
- Baisse du rendement quand la température augmente.

Figure V-5: Cellule en silicium monocristallin. [38]

- **Silicium poly-cristallin**

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuité, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

Les avantages

- Cellule carrée (à coins arrondis dans le cas du Si monocristallin) permettant un meilleur foisonnement dans un module,
- Bon rendement de conversion, environ 100 Wc/m^2, mais cependant un peu moins bon que pour le monocristallin,
- Rendement de 9 à 11 %.
- Moins cher à produire que le monocristallin.

Les inconvénients :

- Le rendement est faible sous un faible éclairement solaire ou diffus

Figure V-6 : Cellule en silicium poly-cristallin. [38]

- **Silicium amorphe**

Les cellules photovoltaïques en silicium amorphe sont fabriquées par dépôts sous vide, à partir de plusieurs gaz, une des techniques les plus utilisées étant la PECVD.

La cellule est en gris très foncé. .C'est la cellule des calculatrices et des montres dites « solaires ».

Avantages

- Elle fonctionne avec un éclairement faible ou diffus (même par temps couvert, y compris sous éclairage artificiel),
- Elle est un peu moins chère que les autres techniques,
- Son intégration se fait sur supports souples ou rigides.
- Son rendement est de 10 %.

Inconvénients

- Son rendement est faible en plein soleil, de 5 % à 7 %.
- Elle nécessite un recouvrement de surfaces plus importantes que lors de l'utilisation de

- silicium cristallin.
- Ses performances diminuent avec le temps dans les premiers temps d'exposition à la
- lumière naturelle (3-6 mois), pour se stabiliser ensuite.

Figure V-7: Cellule en silicium amorphe. [38]

V.3.1. Regroupement des cellules

On en distingue deux types:

G**roupement série :** permet d'augmenter la tension de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en série la tension de sortie Us a pour expression générale :

$$Us = n \cdot Uc \qquad (V.2)$$

Uc : tension fournie par une cellule

Pour ce groupement, le courant est commun à toutes les cellules.

G**roupement en parallèle :** permet d'augmenter le courant de sortie. Pour un groupement de n cellules montées en parallèle, le courant de sortie Is a pour expression générale :

$$Is = n \cdot I \qquad (V.3)$$

I : courant fourni par une cellule.

V.4. Schéma simplifié d'un system PV

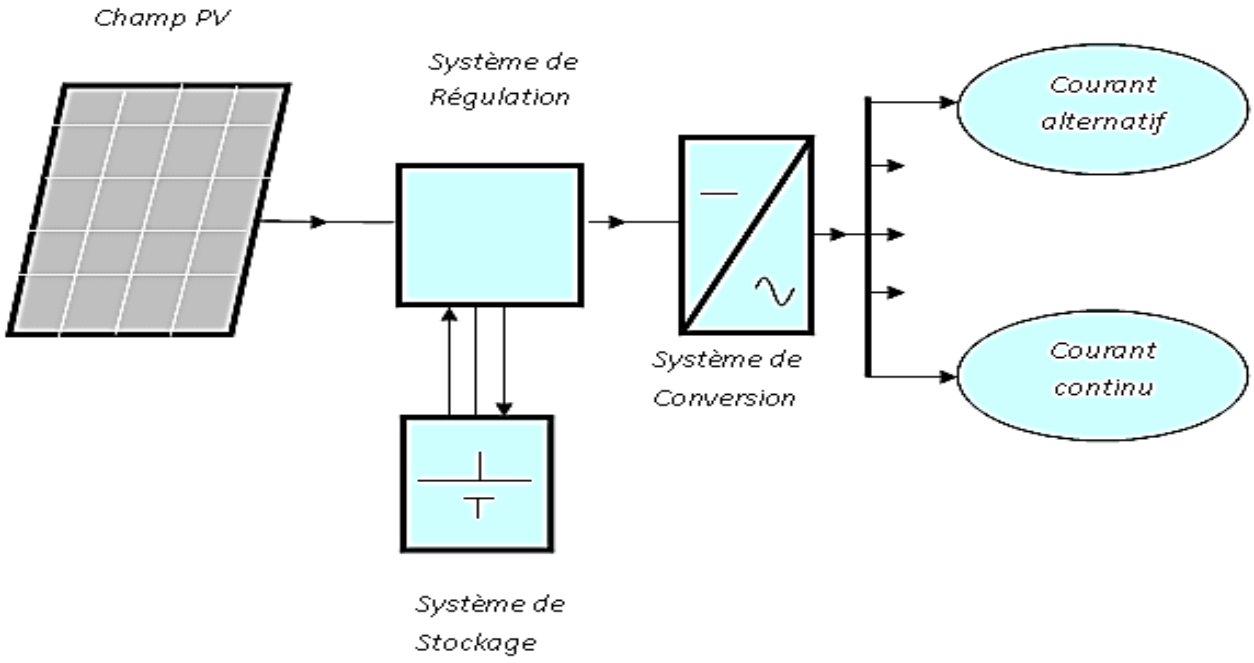

Figure V-8 : Schéma simplifié d'un système PV. [35]

V.4.1. Système de stockage

- **Les batteries pour le photovoltaïque**

Les batteries destinées au stockage de l'électricité, provenant de panneaux solaires, subissent un grand nombre de cycles de charge et de décharge. Leur état de charge évolue au fil de la journée, un phénomène accentué encore plus au cours des saisons : c'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont les plus déchargées en raison d'un ensoleillement plus limité. Lorsque l'on n'est pas raccordé au réseau, on doit consommer l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques sur place et installer des batteries tampons qui stockeront l'énergie pour les usages de nuit sans ensoleillement. Une batterie constitue l'élément de l'installation du système photovoltaïque qui requiert la plus grande attention. La durée de vie des batteries dépendra directement de son mode d'utilisation et d'un entretien régulier.

Les opérations habituelles qui doivent être effectuées sur une batterie classique sont

les suivantes :

- Vérification tous les six mois du niveau de l'électrolyte qui doit être maintenue dans les niveaux « Maximum » et « Minimum ». Le niveau correct de l'électrolyte étant en l'absence de repères visuels de 20 mm au-dessous de la protection des séparateurs.

- Dans certains des éléments d'une batterie classique dont les niveaux sont insuffisants, le remplissage doit s'effectuer uniquement avec de l'eau distillée ou déminéralisée. Il ne faut jamais les remplir avec de l'acide sulfurique, comme lors de la mise en service.

- L'état des cosses métalliques de chaque batterie doit être vérifié, les cosses doivent rester nettes et propres et être nettoyées et brossées régulièrement pour éliminer toute trace de sulfate.

V.4.2. Les types de batteries

Tableau V.1. Types de batteries

Type de batterie solaire	Avantage
Batterie solaire à plomb ouvert : La batterie à plomb ouvert à plaque tubulaire est robuste elle nécessite un entretien régulier.	• Longue durée de vie, plus de 10 ans. • Très bonne résistance aux températures extrêmes. • Bacs transparents pour visualiser le niveau d'acide et l'état de la batterie
Batterie solaire étanche au gel : La batterie étanche à électrolyte gélifié est (haut de gamme) de batteries au plomb, elle ne nécessite pas d'entretien.	• Sans entretien • Résistance aux chocs et vibrations. • Durée de vie 5 à 15 ans. • Résistance aux températures extrêmes (-20 à +55 °C). • Performance excellente en cyclage.
Batterie solaire étanche AGM : La batterie AGM est un compromis entre	• Sans entretien. • Très bonne résistance aux chocs et

la batterie plomb ouvert et la batterie gel. Elle est souvent utilisée pour le démarrage des moteurs par exemple.	Vibrations • Très faible dégagement d'hydrogène (explosif)
Batterie solaire lithium : La batterie au lithium est légère, sans entretien et résiste aux charges profondes.	• Sans entretien • Plus légère que les batteries au plomb • Résiste mieux aux décharges profondes

V.4.3. Câblage des batteries

Pour augmenter la tension ou la capacité du banc de batterie, le câblage des batteries se fait en série ou en parallèle :

- En parallèle en reliant les bornes "+" aux bornes "+" et les bornes "-" aux bornes "-"pour additionner les capacités de stockage (en Ah) tout en conservant la même tension (en Volts).

- En série pour additionner la tension des batteries (en Volts). La capacité en Ah reste celle d'une seule batterie.

Il est risqué de brancher une batterie solaire directement sur un panneau solaire, car on risque d'endommager la batterie.

En installant un régulateur entre le panneau et la batterie, celle-ci est protégée entre autres contre la surcharge**.**

V.4.4. Installation des éléments de la batterie

- **L'utilisation de la batterie peut présenter des dangers :**

- Le risque d'explosion,

- Le dégagement de gaz toxiques (brouillard d'acide sulfurique).

- En outre, leur durée de vie et le bon fonctionnement de toute l'installation dépendent

aussi bien des conditions d'installation que d'exploitation. Compte tenu de cela, l'installation de ces éléments doit être effectuée avec un grand soin.

- Ils doivent être installés dans un local approprié à l'abri des intempéries, surtout quand le produit de la capacité par la tension de décharge est supérieur à 1000 V.

- Ce local doit satisfaire à certaines exigences, qui sont les suivantes :

  - être bien ventilé pour garantir la circulation des gaz.

  - être à une température proche de 25 °C, pour assurer le bon fonctionnement des éléments.

- **Les interrupteurs-disjoncteurs CC-**

Ces appareils doivent être en mesure d'assurer, sur commande manuelle ou par défaut (masse, court-circuit), le sectionnement complet du circuit électrique côté courant continu en charge (c'est-à-dire sous tension), ce qui signifie qu'ils doivent être capables de supprimer totalement l'arc électrique produit à l'ouverture (ce qui peut ne pas être le cas des interrupteurs-disjoncteurs à courant alternatif pourtant encore couramment utilisés dans les installations solaires en site isolé).

- **Position et calibrage**

L'interrupteur-disjoncteur CC du champ solaire : il se place à l'entrée « solaire » du régulateur. Il doit être calibré à une valeur légèrement supérieure à l'intensité de court-circuit du panneau ou du champ solaire. Il n'a pas de fonction de sécurité, puisqu'il ne réagira pas à la mise en court-circuit des panneaux, mais par contre, il est très utile pour couper l'alimentation solaire lors des contrôles ou de la maintenance. L'interrupteur-disjoncteur CC du régulateur : il se place à la sortie « batterie » du régulateur, et protège celui-ci contre le courant de la batterie en cas de défaut. Il doit être calibré à la même valeur que l'intensité maximale à la sortie « consommateur », mais peut, s'il n'y a pas de consommateur connecté à cette sortie, être calibré à la même valeur que l'interrupteur- disjoncteur d'entrée du régulateur.

L'interrupteur-disjoncteur CC des consommateurs : il se place à la sortie « consommateurs » du régulateur et permet d'isoler le circuit consommateur en cas de défaut, d'intervention ou de

maintenance, sans couper en même temps la charge solaire de la batterie.

- **Le fusible CC**

Celui-ci est destiné à protéger l'entrée CC du convertisseur. Bien souvent, ces derniers possèdent déjà un fusible interne, mais peu accessible, et comme il n'est pas recommandé d'ouvrir ces appareils en cas de défaut, il vaut mieux placer un fusible externe à l'entrée CC. Il doit être calibré à la valeur maximale du courant d'entrée, exprimé en Ampère (A) du convertisseur.

V.4.5. Comment définit-on 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. On dit "estimer" car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

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.

Pour donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 30%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents 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

V.4.6. Système de régulation

- **Le Régulateur de charge**

Cet élément sert à augmenter la durée de vie des accumulateurs tout en atteignant les rendements les plus élevés possibles, en adaptant de façon optimale l'électricité produite par le générateur photovoltaïque (tension et courant de charge) et destinée à la charge des accumulateurs.

Les régulateurs de charge assurent principalement les taches suivantes :

- ✓ Protection d'accumulateur contre les décharges profondes, limitation de la tension de charge terminale (protection contre les surcharges), prévention de la décharge des batteries pendant la nuit dans les résistances internes du générateur photovoltaïque. - Adaptation du comportement de la charge au type d'accumulateur (particulièrement important pour les accumulateurs gel).
- ✓ Protection contre les inversions de pôles.
- ✓ Protection contre les surcharges et le court-circuit.
- ✓ Affichage de la fonction de charge instantanée ainsi que du courant et de tension.

V.4.7.Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

L'onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil.

- **La charge**

La charge est l'équipement électrique alimenté par le système peut être de type continu comme des équipements de télécommunication, le pompage d'eau, ou de type alternatif dans les cas d'usage domestique (maison solaire), ce cas nécessite un onduleur.

V.4.8. Disposition des panneaux

Avant d`installer les panneaux d`une installation photovoltaïque, il faut tout d`abord localiser le site d'emplacement. Une fois la localisation faite on peut faire l'orientation.

- **Les coordonnées géographiques**
  Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent de repérer un point sur la terre.
- **La longitude (L)** C'est l'éloignement par rapport au méridien de Greenwich, mesurée en degrés. Elle est comptée positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest, à partir du méridien Greenwich.
- **La latitude (Ø)**
  C'est l'éloignement d'un point sur la surface de la terre par rapport à l'équateur, mesurée en degrés (mesurée à partir du centre de la terre), permettent de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur.

  Elle varie de 0° à 90°dans l'hémisphère nord et de 0° à 90 dans l'hémisphère sud.

- **L'altitude (Z)**

  C'est l'altitude d'un point correspondant à la distance verticale entre ce point et un surface de référence théorique (au niveau de la mer : Z = 0), elle est exprimée mètre.

- **L'orientation des panneaux**

  L'installation des modules peut se faire sur un toit si son orientation et son inclinaison sont bonnes ou à même le sol pour peu que l'endroit soit bien dégagé, aéré (10 cm d'espace sous les modules est vivement conseillé) et protégé. On les place habituellement avec la pente vers l'équateur (vers le sud dans l'hémisphère nord). L'inclinaison des panneaux n'est pas critique. On la prend en général égale à la latitude, avec une tolérance de 15°. La hauteur maximale du soleil variant au cours de l'année, on choisira une inclinaison supérieure ou inférieure à la latitude suivant quels besoins sont les plus importants, lorsque la course du soleil est basse (éclairage, besoins importants en hiver dans l'hémisphère nord) ou haute (irrigation...).

  Toutefois, l'inclinaison des modules devrait rester supérieure à 10° pour assurer l`auto-nettoyage lors des pluies.

Les structures doivent être solides, fixées au sol, pour résister à des vents d'au moins de 150 km/h. De plus, elles doivent être fiables dans le temps, elles doivent utiliser un matériau de bonne fiabilité (outre l'aluminium anodisé, la visserie inox et la visserie inviolable).

- **Fixation des panneaux**

  La fixation des panneaux doit assurer correctement les fonctions suivantes :

  - Maintien de l'orientation.
  - Résistance contre le vent et les autres intempéries.
  - Résistance contre les agressions mécaniques.
  - Protection contre les salissures, et agressions venant du sol

V.5.Dimensionnement du système photovoltaïque

- ## Présentation du site

➢ Le site d'implantation du système photovoltaïque se situe à Tizi-Ouzou.

➢ Wilaya : Tizi-Ouzou.

➢ Site : chambre froide

➢ Température ambiante maximale : 47.2 °C

➢ Température ambiante minimale : 6 °C

- ## Bilan énergétique de chambre froide

Nous avons un moteur qui marche 15 min/h d'après sa fiche signalétique (il faut la mentionner ici avec ses données).

Durée de fonctionnement par jour du moteur : 15 min/h soit 06 heures par jour.

Calcul de l'énergie consommée (Wh) :

$$Ec = P \times t \qquad \textbf{(V.4)}$$

Ec = 7010 x 6 = 42000 Wh = 42 kWh

Tableau V-2: La consommation journalière en énergie de la chambre froide.

Appareils	Nombre	Puissance unitaire (W)	Puissance (W)	Durée d'utilisation (h)	Energie (Wh/j)
Moteur frigorifique.	1	7010	7010	6	42000

Calcul de la puissance des panneaux photovoltaïque :

Sachant que la durée minimale d'ensoleillement est estimée à 6,5 heures, et un coefficient de sécurité de 20%, la puissance des panneaux à utiliser pour faire fonctionner la chambre froide est :

$P_p = \frac{42\,000 \times 1.2}{6.5} = 7753.8$ W soit 7,75 kW

- 6.5 h est la durée minimale d'ensoleillement par jour .
- 1.2 est le coefficient de marge de sécurité.

Calcul du nombre total de panneaux nécessaire pour produire cette puissance, sachant qu'on utilise des panneaux de 300W. Ce qui nous donne :

$Np = \frac{7753.8}{300} = 25$ (Panneaux)

V.5.1. Dimensionnement de la batterie de stockage

La capacité utile de la batterie est donnée par la relation suivante :

$$C = \frac{C_J - N_J}{P_f - R_b} \quad \textbf{(V.5)}$$

Avec :

Nj : Le nombre de jours d'autonomie du système.

C_J : Consommation journalier.

Pf : Décharge de la batterie.

Rb : Rendement de la batterie.

Détermination du nombre d'éléments batteries en série :

On donne le nombre d'éléments batteries en série par la relation :

$$N_{bs} = \frac{U_I}{U_b} \quad \textbf{(V.6)}$$

Avec :

U_b : Tension de l'élément batterie donnée par le constructeur en Volts.

U_l : Tension de l'installation.

Détermination du nombre d'éléments batteries en parallèle :

Le nombre de branches d'éléments en parallèle :

$$N_b = \frac{C_u}{C_e} \quad \textbf{(V.7)}$$

Avec :

C_e : Capacité d'un élément batterie donné par le constructeur exprimée en (Ah).

Détermination du nombre total d'éléments batteries

Le nombre total d'éléments batteries est donné par :

$$N_b = N_{bp} \times N_{bs} \quad \textbf{(V.8)}$$

• Choix du régulateur :

La régulation de charge sera dimensionnée pour une installation sous une tension de charge U et un courant d'intensité maximale:

$$I_{max} = \frac{P_c}{U} \text{ (A)} \quad \textbf{(V.9)}$$

V.5.2. Les critères pour choisir son régulateur solaire

Pour choisir le régulateur, il faut prendre en considération trois éléments principaux :

- La tension maximum en circuit ouvert des panneaux : Les régulateurs acceptent des plages de tension plus ou moins larges.
- La tension minimum pour charger les batteries.
- Le courant maximum du régulateur : le courant du régulateur (exprimé en ampères) doit être supérieur à l'intensité du courant de court-circuit des panneaux solaires auxquels il est relié. Cette donnée est indiquée sur la notice de chaque panneau. Il est préférable de prendre en plus une marge de sécurité de 10 % à 20 %.

• Choix de l'onduleur :

Le choix de l'onduleur à utiliser sera fait selon ses caractéristiques qui conviennent à alimenter l'installation considérée. Dans notre cas nous avons :

- La tension d'entrée qui correspond à la tension du système mis en place U (24V) et à la demande d'électricité (Wh/j).
- La tension de sortie doit correspondre à la tension d'alimentation des charges utilisées, notre installation à besoin de 220/230 VAC pour son fonctionnement normal.

• Câblage du système :

Pour assurer le bon fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome, il reste les derniers éléments à prendre en considération lors de la phase de notre dimensionnement, il s'agit du câblage qui assure les liaisons entre les différents éléments de la centrale et leurs protections.

• Propriétés des câbles :

Tout câble électrique a une résistance qui est donnée par la formule suivante :

$$R = \frac{\rho.L}{S} \qquad \textbf{(V.10)}$$

Avec :

L : La longueur du câble en m.

S : La section du câble en mm^2.

ρ : La résistivité du matériau conducteur en (Ω.m)

Les protections électriques sont constituées de :

- Disjoncteur.
- Fusible.
- Mise à la terre.

V.5.2.a. Dimensionnement des équipements et appareils de la chambre:

On ajoute une marge de sécurité de 20% de la consommation journalière des équipements.

On donne :

Ro = 93% ; Rr = 95% ; UI = 48V ; Sm = 1.76 m^2

Nj = 2 jours ; pf = 70% ; Rb = 97% ; Ub = 12 V ; Pcm = 300 Wc ; Emin = 6.5

La consommation journalière: Cj = 42000+20%, Cj = 50 400 Wh/j.

a- Choix de l'onduleur : Po = 9000 W

b- choix de régulateur : régulateur de (160A - 48V)

c- énergie produite : Ep = 50400 Wh/j.

d- puissance crête : Pc = 7753.8 Wc.

e- Nombre de modules : Nm = 26 modules.

f- Nombre de modules en séries $\frac{U_I}{U_m}$ = 2 modules en série :

g- Capacité des batteries : C = 76108.5 Wh.

En Ah : Cu = 1585.59 Ah.

i- Nombre de batteries en série : Nbs = $\frac{U_I}{U_b}$ = 4

j- Nombre de batteries en parallèle : Nbp = $\frac{C_U}{C_e}$ = 7

k- Nombre total de batteries : Nbt = 28 batteries

V.5.2.b. Schéma du système

La figure ci-dessous montre la constitution du système photovoltaïque autonome

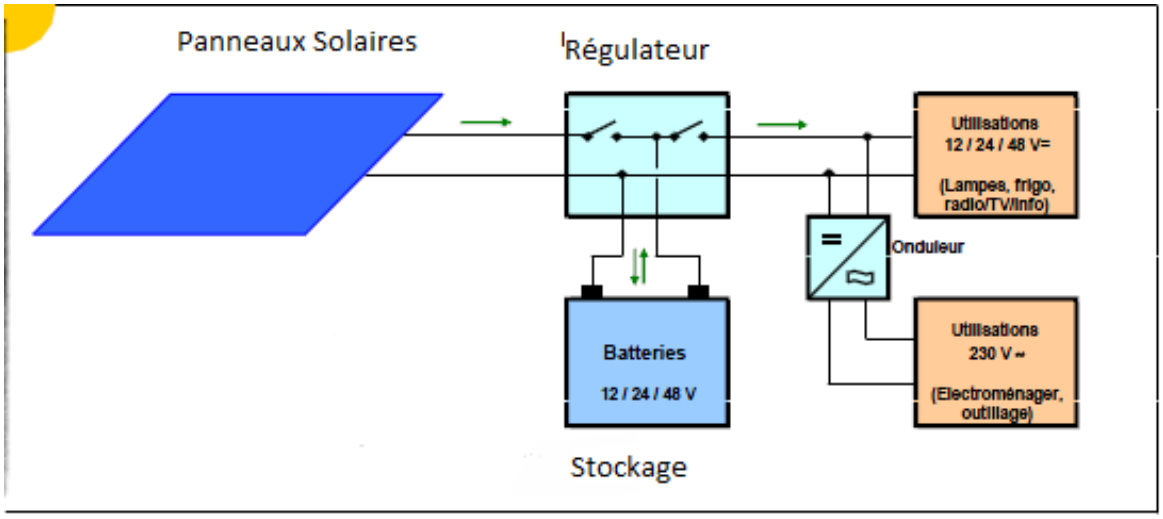

Figure 4-9 : Schéma de l'installation photovoltaïque autonome [07].

V.6. Estimation du cout de l'installation

Le tableau suivant présente le nombre et le coût d'éléments constituant ce système, sachant qu'on a choisi tous les éléments de la marque (VICTRON ENERGY).

Tableau V-3 : Coût total des éléments constituant de système photovoltaïque.

Eléments	Nombre	Prix unitaire (D.A.)	Coût en (D.A.)
Panneaux	26	27 600.00	717 600.00
Batteries	28	34 000.00	952 000.00
Régulateurs	1	160 000.00	160 000.00
Onduleurs	1	320 000.00	320 000.00
Disjoncteurs	1	3 200.00	3 200.00
Fusibles	1	700.00	700.00
Mise à la terre	1	12 000.00	12 000.00
			1 845 500.00

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents principes de fonctionnement de chaque élément ainsi que les notions qui entrent dans la constitution d'un système photovoltaïque.

Le dimensionnement des panneaux photovoltaïque et des panneaux thermiques nous a permis de définir la puissance dont nous avons besoin pour le bon fonctionnement de la maison ainsi que les économies d'énergie à réaliser grâce à l'utilisation de l'énergie solaire.

L'alimentation de la chambre froide et des équipements électriques par l'énergie solaire s'avèrent très utile et rentable pour un site agricole non raccordé au réseau électrique, même si l'investissement de départ parait coûteux. Il est montré dans cette étude que les gains thermiques réalisés par une isolation thermique des parois bien étudiée et adaptée réduisent la charge thermique de la chambre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Né d'une prise de conscience des difficultés que rencontre le secteur agricole en Algérie, ce projet nous a permis de mettre en application les connaissances acquises durant notre formation. Par ailleurs, il constitue une interaction de plusieurs domaines de l'ingénierie tels que, le froid, la transmission de chaleur, la rentabilité des projets …etc.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à la technologie thermodynamique et solaire, basé sur la chambre froide qui est un moyen rentable pour la conservation des produits agroalimentaires. Cette technologie qui ne cesse d'évoluer, permet de mieux préserver les bienfaits nutritionnels et l'aspect sensoriel des produits conservés.

L'étude visée est dans le but de réaliser des applications réelles et d'obtenir des résultats concrets.

Pour illustrer notre étude, nous avons choisi de travailler sur deux chambres froides dont la seule différence est le matériau utilisé pour l'isolation. L'objectif visé est de comparer ces deux dernières sur le plan thermique, économique et écologique.

Sur le plan thermique, les bilans thermiques ont montré que la chambre froide en polystyrène expansé est mieux isolée que la chambre froide en panneau sandwich.

Du côté économique, la chambre en polystyrène est plus coûteuse.

Toutes les deux sont équivalentes sur le plan environnemental. En revanche, elles sont différentes au niveau de la durée de vie et de l'isolation phonique.

Pour un gain économique et écologique nous avons opté pour une énergie renouvelable qui n'est autre que le soleil, grâce à une installation en panneaux photovoltaïques qui alimenteront notre système.

Après les différentes études nous constatons que la chambre froide isolée en panneaux sandwich nous convient plus que celle faite en polystyrène expansé. Cependant nous recommandons d'augmenter l'épaisseur de ses panneaux pour une isolation meilleure et optimisée.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] : Othman Jaber. Chambre froide. Autre. 2013. ffdumas-01222212f

[2] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Chambre_froide

[3] : https://www.abcclim.net/le-circuit-frigorifique.html

[4] : DOSSIER TECHNIQUE Chambre Froide à Température Positive

[5] : HADDAD Abdelkrim, « Transferts thermiques », Alger 2001.

[6] : BOUVENOT, A. « Transferts de chaleur », Edition 2010.

[7] : CLONED, J. « Les matériaux isolantes thermiques pour le bâtiment », Centre d'animation régional en matériaux avancé, Mai 2010.

[8] : REME, « Guide maghrébin des matériaux d'isolation thermique de bâtiment », Edition 2010.

[9] : HAKKOUM Soumia, « Etude des caractéristiques thermiques et mécaniques des briques en terre cuite traditionnelles dans les régions de la wilaya de Ouargla », Mémoire de Magister, Université de Ouargla 2015.

[10] : HOLLAERT, Laurie « Analyse de la rentabilité financière et des avantages liés à l'isolation thermique : étude de cas adaptés au modèle belge » Mémoire de Master, Université libre de Bruxelles 2014.

[11] : Mazari, M. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public/ Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi ouzou), Mémoire de Magistère, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou. 2012.

[12] : Dr. Mohammad S. Al-Homoud, "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials," Building and Environment, vol. 40, pp. 353-366, 2005

[13] : http://www.radiateur-electrique.org/calcul-deperditions.php

[14] : https://www.isolation-france.fr/isolation-thermique/isolation-thermique-murs/

[15] : Guide technique « Guide des matériaux isolants », énergivie.info.

[16] : "Guide des matériaux isolants," Espace info : Energie C.A.U.E. de la Haute-Loire, 16 rue Jean Solvain, 43000 Le Puy En Velay. www.eie43.fr.

[17] : HAFSSI, Fouad Contribution à l'étude de l'isolation thermique des bâtiments dans les zones désertiques. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla, 2010.

[18] : https://uz.ambafrance.org/Visite-de-la-chambre-froide-de-pommes-de-terre-dans-la-region-d-Andijan

[19] : l'Institut International du froid (IIF) (mars 2003). Cours de Formation Alger, 17-19. Le froid et la conservation des fruits et légumes. mars 2003)

[20] : http://comeqagri.fr/agriculture/caillebotis/caillebotis-de-ventilation/

[21] : https://www.sillonbelge.be/1477/article/2017-10-12/pommes-de-terre-poursuivre-la-ventilation-en-conservation

[22] : https://batiment-agricole.fr/batiment-frigo/

[23] : http://mccain.begooddogood.fr/la-pomme-de-terre-comme-vous-ne-lavez-jamais-vue/

[24] : http://ephytia.inra.fr/fr/C/21237/Pomme-de-terre-Noircissement-interne

[25] : https://www.mediaportail.com/construction-quest-ce-quun-panneau-sandwich/

[26] : https://www.maine-agrotec.fr/produits/les-panneaux-sandwichs/

[27] : http://www.enerclean.fr/polystirene/

[28] : http://jvgtrading.com/catalogue/emballage-et-conditionnement/plaque-polystyrene-expanse/

[29] : https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1536-vide-sanitaire.html

[30] : http://pascal85.over-blog.com/article-isoler-et-ventiler-son-vide-sanitaire-99921769.html

[31] : D.T.R. C 3-2, C 3-4

[32] : https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2017/tizi-ouzou/valeurs/60395.html

[33] : https://docplayer.fr/9574567-Bilan-thermique-pour-chambre-froide.html

[34] : https://energieplus-lesite.be/ameliorer/froid-alimentaire2/bilan-energetique-meuble-chambre-froide/bilan-frigorifique-d-une-chambre-froide/#Le_bilan_frigorifique

[35] : Jean-Paul Louineau, Guide pratique du solaire photovoltaïque, dimensionnement, installation et maintenance, 2e édition Obser'ER 2005.

[36] : Anne Labouret, Michel Villoz (Energie solaire photovoltaïque) édition LE MONITEUR.(Éditeur(s) DUNOD, Le moniteur ; Auteur(s) : Anne Labouret, Michelviloz ; Collection : Technique et ingénierie- Environnement et sécurité 2006

[37] : Installations photovoltaïques autonomes, Guide pour le dimensionnement et la réalisation, Pacer, Office fédérale question s conjoncturelles, coopération suisse au développement, 1999.

[38] : Anne Labouret et A.L, cellules solaires, les bases de l'énergie photovoltaïque, collection ETSF ,4 e édition Dunod 2005.

Résumé

Dans un premier temps, des généralités viendront fixer les idées sur les chambres froides et l'isolation thermique. Puis, nous allons passer aux généralités sur les méthodes de stockage des aliments. Ensuite, une étude théorique simplifiée permettra de donner les bilans thermiques de chacune des deux chambres froides. Suivra une comparaison générale de différents paramètres influents sur l'efficacité d'une chambre froide. En dernier et à base de modèles de calculs simplifiés, le dimensionnement d'une installation photovoltaïque sera effectué.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressées à la technologie thermodynamique et solaire, basé sur la chambre froide qui est un moyen rentable pour la conservation des produits agroalimentaires. Cette technologie qui ne cesse d'évoluer, permet de mieux préserver les bienfaits nutritionnels et l'aspect sensoriel des produits conservés.

Après les différentes études nous constatons que la chambre froide isolée en panneaux sandwich nous convient plus que celle faite en polystyrène expansé. Cependant nous recommandons d'augmenter l'épaisseur de ses panneaux pour une isolation meilleure et optimisée.

Mots clés :

Chambre froide, panneaux Sandwishs, polystyrène, isolation thermique…