



Département de Génie Mécanique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

En Génie Mécanique

Option : ENERGETIQUE

Thème :

---

---

### Etude d'une installation de chauffage géothermique

---

---

Proposé et dirigé par :

Mr Amirat Belkacem

Présenté :

Bachiri Abdelghani

Meloudj Moussa

*Année Universitaire : 2017 / 2018*

N° d'ordre : GM/...../2016



## **REMERCIEMENT**

**Nous tiens à exprimer notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements à notre encadreur Mr. BELKACEM AMIRAT, pour l'intérêt porté à notre travail, sa disponibilité, ses conseils précieux et surtout sa grande patience.**

**Nous tiens à remercierons Monsieur BOUDILMI pour avoir accepté d'évaluer ce travail, et qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.**

**Nos vifs remerciements vont aussi à Monsieur BELKHIRI.KH et Madame IHDDADEN.N, pour avoir accepté d'examiner ce travail et de prendre part au jury.**

**Enfin, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail, nous dis**

**MERCI**



# Dédicaces

---

Je tiens à dédier ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers :

Mes très chers parents pour qui je n'oublierai jamais leur grande affection ; leur soutien et leur encouragements ; tout le long de mes études.

A mes très chers frères Fateh et Basset

A mes très chères sœurs : Imen et Nabila

A ma future femme Khouloud

A mes très cher amis : Lamouri benzamouri, Kamel laouas et Madani

Saïd qu'ils ont m'aide beaucoup.

A toute la famille Bachiri, Tahri, Meloudj

A tous mes collègues de la promotion 2017-2018.

A tous ceux qui me sont chers et qui sont aujourd'hui absents.

Ghani

## Résumé :

La géothermie est certainement la filière qui présente le plus large spectre d'activités : production de chaleur, production d'électricité, production de chaleur sur réseau, production de chaleur individuelle. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent), ni même de la disponibilité d'un substrat. C'est donc une énergie fiable et stable dans le temps.

Le présent projet a pour objectif l'étude et la conception d'un système de chauffage d'hôtel du complexe de hammam ksana (Bouira).

Eu égard à toutes ces considérations le choix du site de hammam ksana répond à la plupart de nos préoccupations techniques et organisationnelles.

**Mots clés :** géothermie, énergie renouvelables, gradient géothermique

## ملخص

الطاقة الحرارية الأرضية هي بالتأكيد القطاع الذي لديه أوسع مجموعة من الأنشطة: إنتاج الحرارة، توليد الكهرباء، إنتاج الحرارة الشبكي، إنتاج الحرارة الفردية. بالمقارنة مع الطاقات المتجددة الأخرى، فإن الطاقة الحرارية الأرضية تتميز بعدم الاعتماد على الظروف الجوية (الشمس، المطر، الرياح)، أو توفر الرطوبة. ولذلك فهي طاقة موثوقة ومستقرة مع مرور الوقت.

يهدف هذا العمل إلى دراسة وتصميم نظام التدفئة لفندق مجمع حمامات كسانا (البويرة). مع مراعاة كل الاعتبارات في اختيار موقع حمام كسانا بما فيها التقنية والتنظيمية.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الحرارية الأرضية، الطاقة المتجددة، تدرج الحرارة الجوفية

## Abstract

Geothermal energy is certainly the sector that has the widest spectrum of activities: heat production, electricity generation, network heat production, individual heat production. Compared to other renewable energies, geothermal energy has the advantage of not depending on atmospheric conditions (sun, rain, wind), or even the availability of a substrate. It is therefore a reliable energy and stable over time.

The present project aims to study and design a hotel heating system of the ksana hammam complex (Bouira).

Considering all these considerations, the choice of the ksana hammam site meets most of our technical and organizational concerns.

**Key words:** geothermal energy, renewable energy, geothermal gradient

# Liste Des Figures

<b>Figure (I.1) :</b> Evolution de la consommation mondiale de l'électricité(Mtep).....	3
<b>Figure (I.2) :</b> Répartition des ressources de production d'énergie mondiale.....	4
<b>Figure (I.3) :</b> Schéma représentant le déplacement du vent. ....	6
<b>Figure (I.4) :</b> Schéma détaillé du fonctionnement d'une éolienne.....	6
<b>Figure (I.5) :</b> Eolienne à axes horizontal.....	7
<b>Figure (I.6) :</b> Eolienne à axe vertical.....	8
<b>Figure (I.7) :</b> Les composantes de l'aérogénérateur.....	8
<b>Figure (I.8) :</b> Composition de l'intérieur d'une éolienne.....	10
<b>Figure (I.9) :</b> barrage hydraulique.....	12
<b>Figure (I.10) :</b> La centrale géothermique de Palin Pinon (Philippines).....	16
<b>Figure (I.11) :</b> Évolution de la température interne de la Terre en fonction de la profondeur	16
<b>Figure (I.12) :</b> cellule photovoltaïque .....	18
<b>Figure (I.13) :</b> principe de la photosynthèse.....	22
<b>Figure (II.1) :</b> Exemple de système hydrothermal. Source .....	30
<b>Figure (II.2) :</b> magmas.....	32
<b>Figure (II.3) :</b> la nappe de la terre.....	35
<b>Figure (II.4) :</b> la structure de la terre .....	37
<b>Figure (II.5) :</b> Courbe illustrant le gradient géothermique.....	38
<b>Figure (III.1) :</b> une serre agricole.....	48
<b>Figure (IV.1) :</b> Hammam ksana.....	50
<b>Figure (IV.2) :</b> le bain de vapeur.....	51
<b>Figure (IV.3) :</b> schéma de l'installation du bain de vapeur .....	52
<b>Figure (IV.4) :</b> plan de l'hôtel.....	53
<b>Figure (IV.10) :</b> les dimensions de différents modèles de radiateurs.....	65
<b>Figure (IV.11) :</b> composition de radiateur.....	65

<b>Figure (IV.12) : les caractéristiques techniques des différents modèles.....</b>	<b>66</b>
<b>Figure (IV.5) : schéma de l'installation de chauffage.....</b>	<b>69</b>
<b>Figure (IV.6) : schéma d'un serpentín.....</b>	<b>71</b>
<b>Figure (IV.7) : Schéma du circuit de distribution.....</b>	<b>72</b>

# Liste des tableaux

<b>Tableau (I.1) : les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne.....</b>	<b>10</b>
<b>Tableau (II.1): Production électrique par les énergies renouvelables.....</b>	<b>39</b>
<b>Tableau (II.2) : Principales Caractéristiques physico-chimiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie.....</b>	<b>40</b>
<b>Tableau (III.1): l'utilisation de la géothermie à travers le monde.....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau (IV.1): données de base du chauffage suivant la zone C.....</b>	<b>50</b>
<b>Tableau (IV.2) : compositions de différentes parois.....</b>	<b>54</b>
<b>Tableau (IV.3) : les déperditions surfaciques de chambre 01.....</b>	<b>60</b>
<b>Tableau (IV.4) : les déperditions surfaciques des chambres 1-19.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau (IV.5) : les déperditions surfaciques de chambre 20.....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau (IV.6) : les déperditions surfaciques du couloir.....</b>	<b>62</b>
<b>Tableau (IV.8) : les déperditions linéiques.....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau (IV.9) : les déperditions totales des chambres.....</b>	<b>64</b>

# ***NOMENCLATURE***

<i><b>Symbole</b></i>	<i><b>Désignation</b></i>	<i><b>Unité</b></i>
<i><b>DS</b></i>	<i>Déperdition surfacique</i>	<i><b>W</b></i>
<i><b>DL</b></i>	<i>Déperdition linéique (à travers les liaisons)</i>	<i><b>W</b></i>
<i><b>Dr</b></i>	<i>Déperdition par renouvellement d'aire</i>	<i><b>W</b></i>
<i><b>Dt</b></i>	<i>Déperdition totale</i>	<i><b>W</b></i>
<i><b>e</b></i>	<i>Epaisseur</i>	<i><b>m</b></i>
<i><b>K</b></i>	<i>Coefficient d'échange d'une paroi par convection</i>	<i><b>W/m<sup>2</sup>k</b></i>
<i><b>R</b></i>	<i>Résistance thermique de matériaux</i>	<i><b>m<sup>2</sup>k/W</b></i>
<i><b>h</b></i>	<i>Coefficient d'échange par convection</i>	<i><b>W/m<sup>2</sup>K</b></i>
<i><b>S</b></i>	<i>Surface d'échange</i>	<i><b>m<sup>2</sup></b></i>
<i><b>QV</b></i>	<i>Débit volumique</i>	<i><b>m<sup>3</sup>/s</b></i>
<i><b>Qm</b></i>	<i>Débit massique</i>	<i><b>Kg/s</b></i>
<i><b>qinf</b></i>	<i>débit de volume d'aire entrant par les infiltrations</i>	<i><b>Kg/m<sup>3</sup></b></i>
<i><b>qr</b></i>	<i>débit volumique d'aire entrant par les orifices ou les bouches des ventilations</i>	<i><b>W<sup>2</sup>/n</b></i>
<i><b>Tce</b></i>	<i>Température d'entre de fluide chaud</i>	<i><b>•C</b></i>
<i><b>Tcs</b></i>	<i>Température de sortie de fluide chaud</i>	<i><b>•C</b></i>
<i><b>Tfe</b></i>	<i>Température d'entré de fluide froid</i>	<i><b>•C</b></i>
<i><b>Tfs</b></i>	<i>Température de sortie de fluide froid</i>	<i><b>•C</b></i>
<i><b>Te</b></i>	<i>Température d'entre dans le radiateur</i>	<i><b>•C</b></i>
<i><b>Ts</b></i>	<i>Température de sortie dans le radiateur</i>	<i><b>•C</b></i>

# SOMMAIRE :

<b>INTRODUCTION</b> .....	01
<b>CHAPITRE I : LES ENERGIES RENOUVELABLES</b>	
<b>I. Généralités</b> .....	03
<b>I.1.L'énergie éolienne</b> .....	05
I.1.1 introduction .....	05
I.1.2 Définition .....	05
I.1.3 L'origine du vent.....	05
I.1.4 Définition de l'éolienn.....	06
I.1.5.Les différents types d'éoliennes .....	07
I.1.5.1 Les éoliennes à axe horizontal:.....	07
I.1.5.2 Les éoliennes à axe vertical.....	07
I.1.6.Les composantes de l'aérogénérateur :	08
I.1.2.7.Fonctionnement :	09
I.1.8 Les avantages et les inconvénients :	10
<b>I.2.L'énergie hydraulique :</b> .....	11
I.2.1.Introduction :	11
I.2.2.Définition :	11
I.2.3.Historique :	12
I.2.4.Fonctionnement :	13
<b>I.3. L'énergie géothermique :</b> .....	14
I.3.1.Généralités:.....	14
I.3.2.Les types de la géothermie :	14
I.3.2.1.La géothermie haute énergie :	14
I.3.2.2.La géothermie basse énergie :	15
I.3.2.3. La géothermie très basse énergie :	15
I.3.2.4.Géothermie roche chaude sèche (HDR).....	15
I.3.3.GRADIANT GEOTHERMIQUE :	15
<b>I.4. L'énergie solaire</b> .....	17
I.4.1.Généralités :	17
I.4.2.L'énergie solaire passive :	17
I.4.3.L'énergie solaire thermique :	18
I.4.4.L'énergie solaire photovoltaïque :	18
I.4.4.1.Application de l'énergie solaire photovoltaïque :	19

I.4.5. Différences entre l'énergie solaire active et l'énergie solaire passive.....	19
I.4.6. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire .....	19
a. Les avantages :.....	19
b. Les inconvénients :.....	20
<b>I.5. L'énergie de la biomasse.....</b>	<b>21</b>
I.5.1. Introduction :.....	21
I.5.2. Définition :.....	21
I.5.3. L'origine de la biomasse :.....	21
I.5.4. Les applications :.....	22
I.5.4.1. La biomasse comme biocombustible pour produire de la chaleur et de l'électricité.....	22
I.5.4.2. La biomasse comme biomatériau traditionnel ou innovant.....	23
I.5.4.3. La biomasse comme matière première de la chimie.....	23
I.5.4.4. La biomasse pour les biocarburants.....	23
I.5.5. Les avantages et les inconvénients .....	24
<b>CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE</b>	
<b>. Introduction Générale :</b> .....	<b>25</b>
<b>II .1. GENERALITES SUR LA GEOTHERMIE</b> .....	<b>27</b>
II .1. 1 Introduction. ....	27
II .1. 2 Définition :.....	27
II .1. 3 Principe :.....	28
II .1. 4 Types de gisements géothermiques :.....	28
II .1. 5 Les systèmes géothermiques : .....	29
II .1.5.1 Les systèmes hydrothermaux.....	30
II .1.5.2 Les systèmes <i>Engineered ou Enhanced Géothermal Systems</i> (EGS)..	31
II .1.5.3 Les autres systèmes géothermiques: .....	31
II .1. 6. Les types de géothermie: .....	32
II .1. 6.1. La géothermie haute énergie :.....	33
II .1. 6.2. La géothermie basse énergie :.....	33
II .1. 6.3. La géothermie très basse énergie :.....	34

<b>II .2. Géothermie roche chaude sèche (HDR)</b> .....	34
<b>II .3. Forage géothermique</b> :.....	34
<b>II .4. Origine de la chaleur de la Terre</b> :.....	35
<b>II .4.1.L'origine de la chaleur terrestre</b> :.....	36
<b>II .4.2 Gradient géothermique</b> :.....	37
<b>II .5. Méthodes usuelle d’exploration</b> .....	38
<b>II .6. La géothermie dans le monde</b> .....	39
<b>II .7. La géothermie en Algérie</b> .....	39
<b>II .7.1. L’exploration</b> :.....	39
<b>II .7.2.l’exploitation</b> :.....	41
<b>II .8.Potentiel de l’Energie Géothermique</b> :.....	42
<b>II .9. Avantages et inconvénients de l’énergie géothermique</b> :.....	42

### **CHAPITRE III : LES APPLICATIONS DE L’ENERGIE GEOTHERMIQUE**

<b>. Introduction</b> :.....	45
<b>III.1. Historique</b> .....	46
<b>III.2. L’utilisation</b> : .....	46
<b>III.3. Chauffage des habitations</b> .....	47
<b>III.4. Agriculture</b> .....	48
<b>III.5. Industrie</b> .....	49

### **CHAPITRE IV : ETUDE D’UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA**

<b>Introduction</b> :.....	50
<b>IV.1. Présentation de la région d’étude</b> : .....	50
<b>IV.1.1 cadre géographique</b> :.....	50

<b>IV.2 Les sources chaudes de Hammam ksana.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.3. Les installations de chauffage géothermique actuel à Hammam Ksana:.....</b>	<b>51</b>
IV.3.1 le bain de vapeur : .....	51
<b>IV.4. étude d'un chauffage de l'hôtel de Hammam ksana :.....</b>	<b>53</b>
IV.4.1. Plan de l'hôtel :.....	53
IV.4.2. Compositions des parois :.....	54
<b>IV.5. Bilan thermique des chambres d'hôtel :.....</b>	<b>55</b>
IV.5.1 Calcule des coefficients de transmission surfacique :.....	55
<b>IV.6 Calcule des déperditions thermiques :.....</b>	<b>59</b>
IV.6.1 Calcule des déperditions surfaciques totales de la chambre :...59	
IV.6.2 Calcule les déperditions par renouvellement d'air :.....	62
IV.6.3 Calcule les déperditions à travers les liaisons :.....	63
IV.6.4 Les déperditions totales de chaque chambre :.....	64
<b>IV.7. Choix des corps de chauffage et détermination du nombre d'élément : .....</b>	<b>65</b>
IV.7.1. Caractéristique des radiateurs :.....	65
IV.7.2.Emplacement des radiateurs :.....	67
<b>IV.8. conclusion .....</b>	<b>68</b>
<b>IV.9. Dimensionnement de l'échangeur de chaleur .....</b>	<b>69</b>
IV.9.1 Introduction .....	69
IV.9.2.Principe générale .....	70
IV.9.3.Le choix technologique .....	71
IV.9.4.Dimensionnement thermique .....	72
IV.9.4.1.La puissance .....	72
IV.9.4.2.Calcul de $\Delta T_{LM}$ .....	73
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>74</b>

### Introduction générale :

La demande mondiale de l'énergie primaire a atteint sa forte croissance, elle ne cesse pas de diminuer à moyen terme, compte tenu du développement souhaitable et nécessaire pour la plupart des pays du monde. Les deux demandes les plus importantes concernent l'électricité dans les mégapoles et les carburants pour les transports.

Actuellement, les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon), fournissent 90% de l'énergie primaire, tandis que les hydrocarbures (pétrole et gaz) permettent de répondre à tout niveau de demande. Or, le lien entre la forte demande de l'énergie et le changement climatique est tenu maintenant pour hautement probable.

De plus, les réserves de pétrole et de gaz sont importantes, mais limitées ce qui représente le principal inconvénient qui se caractérise par une énergie non renouvelable, en plus de ce principal inconvénient, il existe d'autres limites économiques, politiques, environnementales, sanitaires, .....Etc.

Ce qui engendre une déviation vers l'exploitation d'autres types d'énergies qui proviennent des sources renouvelables, appelées aussi les énergies propres ou vertes qui peuvent être une alternative aux énergies fossiles et qui peuvent limiter les problèmes ou les contraintes engendrées par les énergies fossiles.

Notre travail est une étude théorique, pour les ressources énergétiques, et l'énergie géothermique avec une étude qui concerne par le dimensionnement d'hôtel de HAMMAM KSSANA, pour le chauffage par énergie géothermique.

Pour cette raison nous avons effectué un stage à la station thermal SARL FRAKSEN (HAMMAM KSSANA)

Le choix de HAMMAM KSSANA (BOUIRA), répond à la plupart de nos préoccupations techniques et organisationnelles, il se caractérise par rapport aux autres sites algériens par :

- Eaux thermale parmi les plus chaudes (environ 92 °C)
- Température très basse en hiver (environ -2°C)
- Existence d'un complexe thermal.

Ce mémoire s'articule au tour de quatre chapitre :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des principales énergies renouvelables et ses avantages, ses inconvénients et quelques statistiques.
- Le deuxième chapitre concernant l'énergie géothermique.
- Dans le troisième chapitre nous présenterons quelques applications de l'énergie géothermique

## **INTRODUCTION GENERALE :**

---

- Le quatrième chapitre est consisté à déterminer le bilan thermique des chambres d'hôtel de HAMMAM KSSANA.  
En termine par une conclusion où on rappellera l'essentiel des résultats obtenus.

***CHAPITRE I :***  
***LES ENERGIES***  
***RENOUVELABLES***

## I.1 GENERALITES :

La consommation d'énergie sous toutes les formes à travers le monde, notamment les énergies fossiles, a atteint son maximum.

Cette augmentation de la consommation de l'énergie est due principalement à la croissance démographique, Selon les experts, les échanges internationaux en énergie fossile occupent la part de lion par rapport à l'ensemble des autres échanges.

Ce constat est au centre des préoccupations de plusieurs pays dans un contexte d'insuffisance de la production des hydrocarbures, engendré par l'épuisement des réserves, face à la demande de plus en plus croissante des énergies fossiles. En plus de ce principal caractère non renouvelable de l'énergie fossile, son extraction, transport et utilisation engendrent beaucoup de problèmes principalement sur l'environnement et donc, sur l'écosystème.

L'action conjuguée de l'amenuisement des ressources fossiles et des gaz à effet de serre conduit à l'adoption inéluctable d'un mix énergétique dont les énergies fossiles constituent une composante incontournable.

Actuellement, le problème inhérent à l'utilisation des énergies non renouvelables, c'est leur disponibilité en quantité limitée et leurs effets nuisibles sur le plan environnemental, ce qui a forcé l'homme à rechercher des nouvelles sources d'énergie.

Ces sources sont inépuisables et elles sont également peu ou pas polluantes, l'énergie solaire, éolienne, géothermique ne rejettent aucune pollution lorsqu'elles produisent de l'énergie. Elles présentent aujourd'hui 14 % environ de la production mondiale de l'énergie (voir figure1, 2).

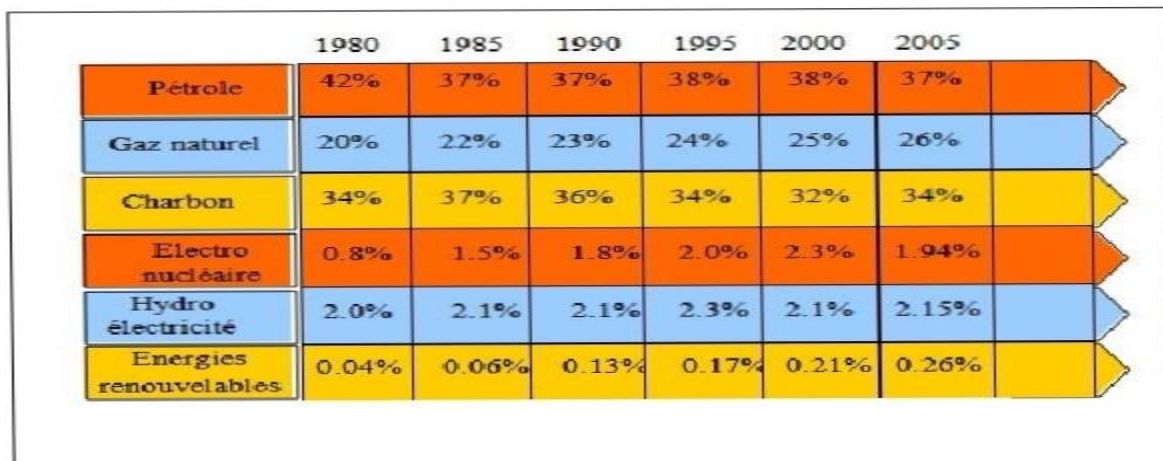
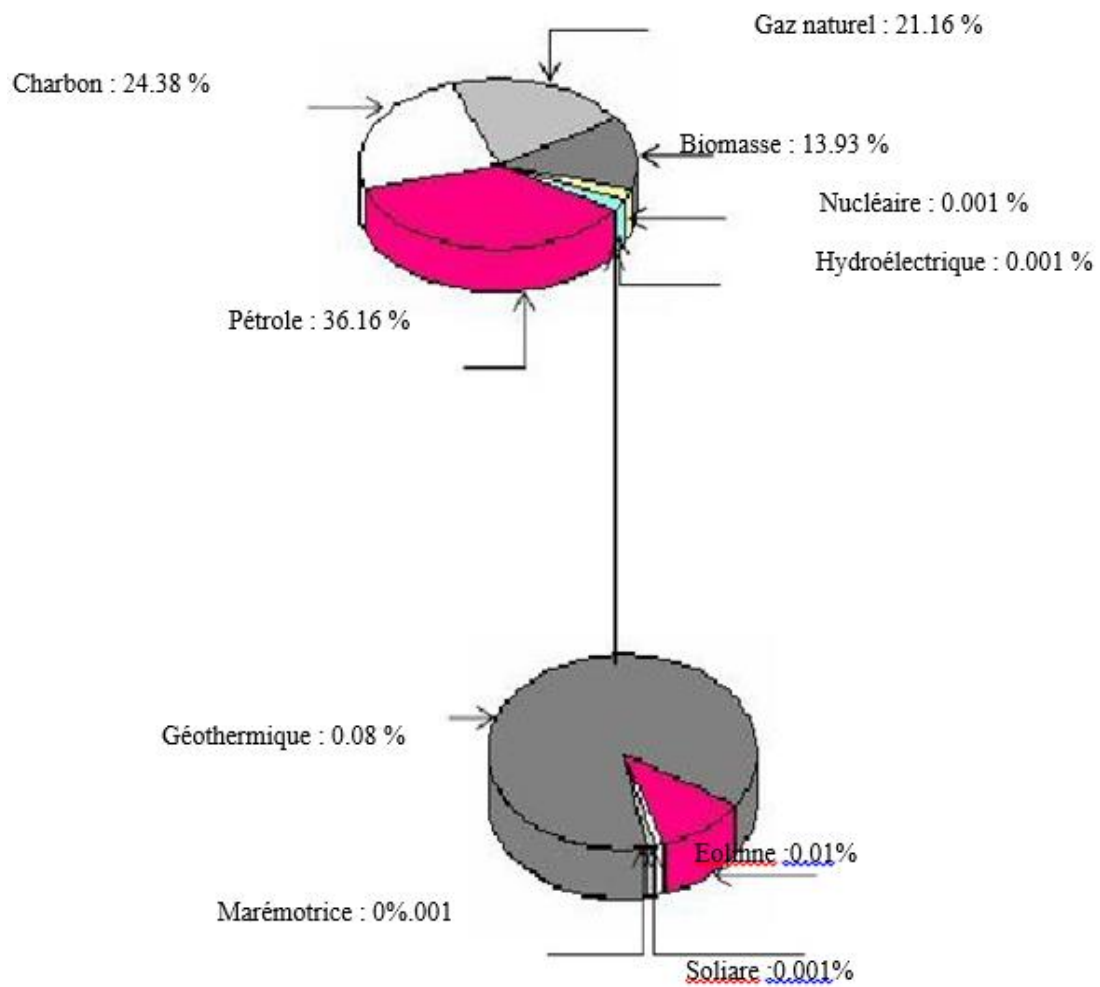


Figure (I.1) : Évolution de la consommation mondiale de l'électricité (Mtep) [1].



**Figure (I.2) :** Répartition des ressources de production d'énergie mondiale [2]

### I.2 L'énergie éolienne :

#### I.2.1.Introduction :

Depuis des siècles, l'homme utilise l'énergie du vent pour faire avancer des bateaux, moulin de grain ou pomper de l'eau. Cette technologie millénaire nous sert maintenant à produire de l'électricité. Bien au point techniquement, la production électrique éolienne est en plein essor. Que ce soit à l'échelle individuelle avec le petit éolien ou à grande échelle avec le grand éolien, du vent peut contribuer à diversifier la production électrique de façon l'énergie décentralisée, en ne produisant directement ni polluants ni CO<sub>2</sub> et sans crainte d'épuisement de la ressource.

#### I.2.2.Définition :

L'énergie éolienne est l'énergie cinétique générée par l'effet des courants d'air, et se transforme en d'autres formes utiles pour les activités humaines. L'énergie éolienne a été utilisée depuis les temps anciens pour déplacer les bateaux propulsés par la voile ou faire fonctionner les machines de l'usine pour déplacer leurs lames.

Actuellement, l'énergie éolienne est principalement utilisée pour produire de l'électricité grâce à des éoliennes. [3]

Les éoliennes convertissent l'énergie cinétique du vent en des formes d'énergies plus utiles, notamment l'énergie mécanique ou l'électricité. L'énergie éolienne ne produit pas de pollution et constitue une forme d'énergie indéfiniment durable. C'est un principe vieux comme les moulins à vent. Le vent fait tourner les pales qui sont elles-mêmes couplées à un rotor et à une génératrice. Lorsque le vent est suffisamment fort (15 km/h minimum), les pales tournent et entraînent la génératrice qui produit de l'électricité. C'est le même principe que celui de notre bonne dynamo de vélo. Il existe deux grandes catégories d'éoliennes : les aérogénérateurs domestiques de faibles puissances qui fournissent en électricité des sites isolés, pour des besoins individuels ou de petits réseaux collectifs, et les éoliennes de grandes puissances raccordées aux réseaux nationaux, dont les plus grandes ont une puissance aujourd'hui de 2500 kW. [4]

#### I.2.3 L'origine du vent :

L'énergie éolienne est liée au mouvement des masses d'air se déplacent des zones de haute pression atmosphérique autre basse pression adjacente, avec des vitesses proportionnelles au gradient de pression.

Les vents sont générés à cause du chauffage inégal de la surface de la terre par le rayonnement solaire. Entre 1 et 2% de l'énergie du soleil devient vent. Pendant la journée, les masses d'air sur les océans, les mers et les lacs restent froides par rapport aux zones voisines situées sur les masses continentales.

Les continents absorbent une plus petite quantité de lumière du soleil, et donc, l'air qui est sur la terre se dilate et devient plus léger et monte. L'air froid et lourd en provenance des mers, des océans et des grands lacs est mis en mouvement pour prendre la place laissée par l'air chaud. [5]

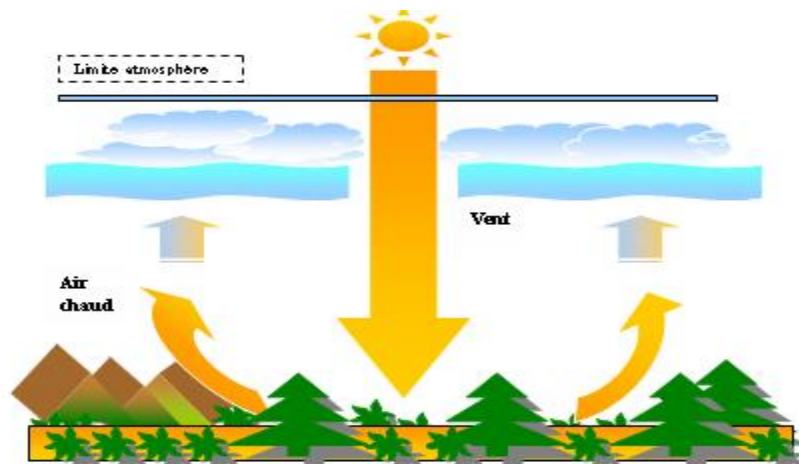


Figure (I.3) : Schéma représentant le déplacement du vent. [6]

### I.2.4 Définition de l'éolienne :

Une éolienne est un dispositif qui utilise la force du vent pour produire de l'électricité. Le mot éolien vient du nom Eole, le dieu des vents dans la mythologie grecque. Cette force peut être utilisée mécaniquement, grâce à une éolienne de pompage par exemple, ou pour produire de l'électricité dans le cas d'un aérogénérateur. Pour décrire un groupe d'éolienne, on parle de parc éolien. Elle est composée de pales en rotation autour d'un rotor et actionnée par le vent. Elles sont généralement utilisées pour produire de l'électricité.

#### Schéma de principe d'une éolienne

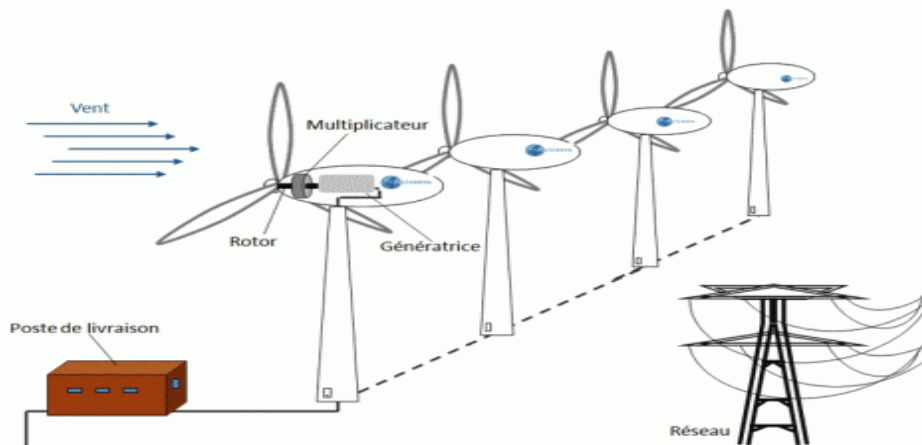


Figure (I.4) : Schéma détaillé du fonctionnement d'une éolienne.

### I.2.5. Les différents types d'éoliennes

#### I.2.5.1 Les éoliennes à axe horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal souvent appelées "éolienne à hélices" sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles s'orientent suivant la direction du vent et sont souvent constituées de trois pâles.

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et sont moins coûteuses.



Figure (I.5) : Eolienne à axes horizontal.

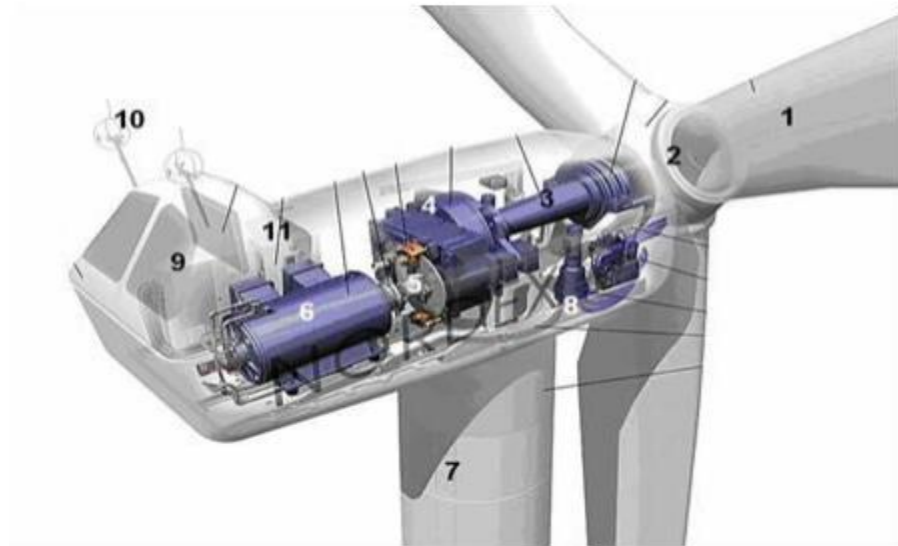
#### I.2.5.2 Les éoliennes à axe vertical :

L'axe du rotor est perpendiculaire au sol. Ces éoliennes n'ont pas besoin de systèmes pour les orienter dans la direction du vent, mais leur efficacité est médiocre par rapport au type horizontal, car elle capte deux fois moins d'énergie dans le vent.



**Figure (I.6) :** Eolienne à axe vertical

### I.2.6. Les composantes de l'aérogénérateur :



**Figure (I.7) :** Les composantes de l'aérogénérateur [7]

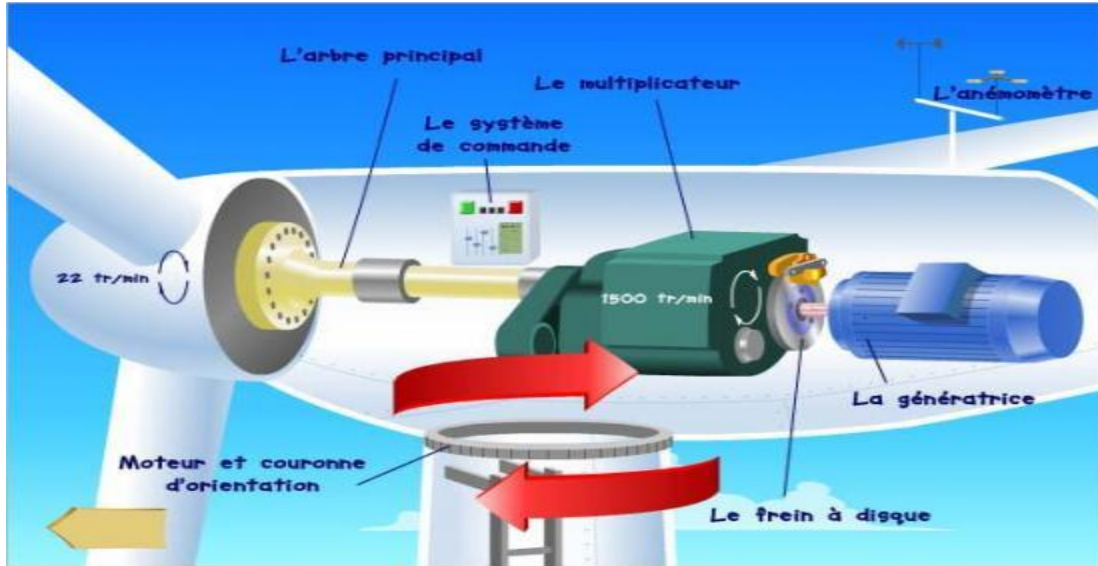
**1. Les pales :** ce sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor. Elles sont en fibres de verre et matériaux composites. Leur profil est le fruit d'études aérodynamiques complexes.

**2. Le moyeu :** il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.

3. **L'arbre primaire (ou arbre lent) :** il relie les pales au multiplicateur.
4. **Le multiplicateur :** il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
5. **L'arbre secondaire :** il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
6. **Le générateur électrique :** il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
7. **Le mât :** c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
8. **Le système d'orientation de la nacelle :** c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.
9. **Le système de refroidissement :** il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
10. **Les outils de mesure du vent :** girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
11. **Le système de contrôle électronique :** il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
12. Au pied du mât se trouve un transformateur

### I.2.7.Fonctionnement :

L'énergie cinétique contenue dans le vent est captée par les pales aérodynamiques de l'éolienne qui frein le vent. En effet, en freinant le vent, les pâles de l'éolienne sont soumises au-dessus et en dessous à un système de pressions qui génère la rotation du rotor. Le vent fait alors tourner le rotor à environ 13tours par minutes. De plus, pour augmenter sa vitesse, l'éolienne doit avoir un multiplicateur de vitesse qui multiplie la vitesse du rotor à environ 1500 tours par minutes. Cette rotation créer une énergie mécanique qui est transmise à l'arbre de la génératrice afin de produire une électricité utilisable.



**Figure (I.8) :** Composition de l'intérieur d'une éolienne [8]

**I.2.8 Les avantages et les inconvénients :**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est une énergie rentable.</li> <li>- Les éoliennes sont non polluantes.</li> <li>- Le vent est une source d'énergie inépuisable</li> <li>- Une fois l'installation payée, c'est une source d'énergie gratuite et abondante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En tournant, les hélices font du bruit.</li> <li>- Leur taille dérange et défigure le paysage.</li> <li>- Le prix lors de l'installation est élevé.</li> </ul>

**Tableau (I.1) :** les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne

### I.3 L'énergie hydraulique :

#### I.3.1.Introduction :

Depuis l'Antiquité, et au travers du Moyen-Âge, l'énergie hydraulique a accompagné les activités artisanales des Hommes, pour moudre les grains, scier le bois et la pierre, broyer des minerais, animer les soufflets et les marteaux des forges... C'est l'énergie hydraulique qui a permis que la révolution industrielle du XIXe siècle ait lieu : mines, forges, filatures, papeteries, ont pris leur essor avec les roues puis avec les turbines hydrauliques, bien avant d'utiliser le charbon. Au tournant du XIXe et du XXe siècle, l'hydroélectricité a permis de libérer les industries de la contrainte de la proximité des chutes d'eau. C'est une énergie renouvelable, stockable, qui représente pour la Planète une ressource pérenne et durable.

#### I.3.2.Définition :

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, marée. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique.

L'énergie hydraulique est une source d'énergie alternative et renouvelable qui exploite la transformation de l'énergie potentielle gravitationnelle, possédée par une certaine masse d'eau à une certaine altitude, en énergie cinétique pour surmonter une certaine différence de hauteur. Cette énergie mécanique peut être utilisée directement pour faire tourner l'arbre dans une application ou une machine qui fonctionne en énergie hydraulique. Quoi qu'il en soit, la chose la plus courante est d'utiliser cette énergie cinétique pour générer de l'énergie électrique. Dans ce cas, nous parlons d'énergie hydroélectrique.

En énergie hydroélectrique, l'énergie cinétique est finalement transformée en électricité grâce à un alternateur couplé à une turbine. Ce processus est effectué dans une centrale hydroélectrique.



**Figure (I.9) : barrage hydraulique**

### I.3.3.Historique :

Les premiers à utiliser l'énergie hydraulique étaient les Grecs et les Romains. Initialement, ces deux anciennes civilisations utilisaient ce type d'énergie renouvelable uniquement pour faire fonctionner de simples moulins à eau pour moudre le maïs. Au fil du temps, les usines ont évolué et les roues hydrauliques installées dans ces usines ont également commencé à utiliser l'énergie potentielle contenue dans l'eau, c'est-à-dire l'énergie hydraulique.

A la fin du Moyen Age, avec les découvertes apportées par les Arabes d'Afrique du Nord, d'autres méthodes d'exploitation de l'énergie hydraulique sont utilisées: les roues hydrauliques sont de plus en plus utilisées, tant pour l'irrigation des champs que pour la récupération de vastes zones marécageuses. La roue hydraulique est encore utilisée aujourd'hui dans les usines et pour la production d'électricité.

Un énorme progrès technique s'est produit à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Au début de la deuxième révolution industrielle, la roue hydraulique a évolué pour obtenir la turbine hydraulique. La turbine hydraulique est construite par une roue de roulette sur une machine d'essieu, ce qui était d'abord rude et schématisée, mais avec des innovations technologiques, en particulier dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, est devenu de plus en plus sophistiqué et fonctionnel. La turbine améliore l'efficacité de conversion de l'énergie potentielle de l'eau en énergie cinétique rotationnelle appliquée à un axe. [9]

### I.3.4.Fonctionnement :

L'hydroélectricité provient des rivières et des lacs grâce à la création de barrages et de conduits forcés. Il existe plusieurs types de centrales hydroélectriques: dans les régions montagneuses, on utilise des centres de saut, qui sont de grandes hauteurs de chute. D'autre part, dans les usines d'eau fluide, on utilise de grandes masses d'eau de rivière qui surmontent de petites différences de hauteur.

L'eau d'un lac ou d'un bassin artificiel est transportée en aval par des conduites forcées, transformant ainsi son énergie potentielle en pression et en énergie cinétique grâce au distributeur et à la turbine.

L'énergie mécanique est transformée par le générateur électrique, grâce au phénomène d'induction électromagnétique, en électricité. Des centrales hydroélectriques et des stations de pompage ont été établies pour stocker l'énergie et la rendre disponible au moment de la plus forte demande.

Dans les centrales hydroélectriques pompées, l'eau est pompée vers les réservoirs en amont par l'énergie produite et non requise la nuit. De cette façon, pendant la journée, lorsque la demande d'électricité est plus importante, des masses d'eau supplémentaires peuvent être fournies. Ces systèmes de pompage d'eau permettent de stocker de l'énergie en période de disponibilité en cas de besoin.

En dépit des avantages considérables en matière de pollution, la construction de barrages et de grands bassins ou de dépôts artificiels, avec l'inondation de grands sols, entraîne toujours et en tout cas un certain impact environnemental qui, dans les cas graves, peut causer la perturbation de l'écosystème de la zone avec de grands dommages environnementaux, comme cela s'est produit avec le grand barrage d'Assouan en Egypte, ou les risques hydrogéologiques comme cela s'est produit dans la catastrophe de Vajont.

La production d'énergie hydroélectrique peut également se faire à travers l'exploitation des vagues, des marées et des courants marins. Dans ce cas, nous parlons de l'énergie des marées ou de l'énergie marémotrice [10]

### **I.4. L'énergie géothermique :**

#### **I.4.1.Généralités :**

La géothermie, du grec géo (la terre) et thermos (la chaleur) est un mot qui désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur. [11].

Pour capter l'énergie géothermique, on fait circuler un fluide dans les profondeurs de la Terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe d'eau chaude captive naturelle, ou de l'eau injectée sous pression pour fracturer une roche chaude et imperméable. Dans les deux cas, le fluide se réchauffe et remonte chargé de calories (énergie thermique). Ces calories sont utilisées directement ou converties partiellement en électricité.

L'énergie géothermique est localement exploitée pour chauffer ou disposer d'eau chaude depuis des millénaires, par exemple : en Chine, dans la Rome antique et dans le bassin méditerranéen.

La géothermie s'intéresse à l'étude des phénomènes thermiques de la terre qui sont liés à la formation et à la composition du globe [12]. La terre est chaude. La chaleur terrestre qui se propage à travers la croûte continentale (appelé flux de chaleur) n'est pas homogène; le flux de chaleur varie donc d'un endroit à un autre.

#### **I.4.2.Les types de la géothermie :**

L'exploitation de la géothermie dépend du type de gisements et du fluide géothermique existant, ainsi, se distingue trois types de géothermie dans le monde :

##### **I.4.2.1.La géothermie haute énergie :**

La géothermie haute énergie, exploite les gisements de vapeur sèche ou humide (mélange eau et vapeur). Ces gisements se caractérisent par des températures supérieures à 150°C.

On rencontre cette géothermie haute énergie dans les régions volcaniques (volcans) et sismiques (frontières de plaques) ou le gradient géothermique est particulièrement élevé.

La géothermie haute énergie est destinée principalement à la production d'électricité.

La vapeur, qui est puisée dans le réservoir géothermique, est déchargée dans une turbine, reliée à un alternateur pour la production d'électricité.

La vapeur sèche est directement utilisée alors que la vapeur humide qui est plus fréquente nécessite l'utilisation d'un séparateur.

Un exemple de ce type de géothermie est donné par la centrale de Bouillante en Guadeloupe-France.

### **I.4.2.2. La géothermie basse énergie :**

La géothermie basse énergie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 150° C, elle est rencontrée à une profondeur moyenne de 1000 à 2500 m, dans les formations perméables remplies d'eau situées principalement dans les bassins sédimentaires de grandes dimensions.

Elle est destinée principalement au chauffage urbain et au chauffage de serres.

### **I.4.2.3. La géothermie très basse énergie :**

La géothermie très basse énergie est rencontrée à de faibles profondeurs (nappes phréatiques) ou la température est de l'ordre de 10 à 30°C. Elle est utilisée entre autre pour la pisciculture, l'horticulture et le séchage de produits agricoles.

### **I.4.2.4. Géothermie roche chaude sèche (HDR)**

D'autres techniques en géothermie ont été mises, c'est la géothermie roche chaude sèche ou Hot Dry Rock ou la géothermie HDR.

La technique consiste d'abord à prospector les sites géothermiques favorables qui sont les sites renfermant des roches sèches en profondeur (moins de 6 km), tels que les granites.

De l'eau froide sous forte pression est injectée par la suite en profondeur dans des puits ou forages d'injection. L'eau élargit les fissures dans les massifs rocheux. Elle acquiert ainsi une forte quantité de chaleur, puis elle remonte en surface par un forage production.

Avant de réinjecter cette eau dans le forage, ses calories sont récupérées et exploitées au niveau d'une centrale géothermique.

Le circuit ainsi formé peut produire une importante quantité d'énergie géothermique.

Depuis vingt-cinq ans, plusieurs projets de recherches sont menés dans ce domaine surtout aux Etats-Uni, au Japon et en Europe. Parmi ces projets, celui de l'union européenne, il est destiné à la création d'une centrale géothermique à Soultz-Sous-Forêts (Alsace –France).

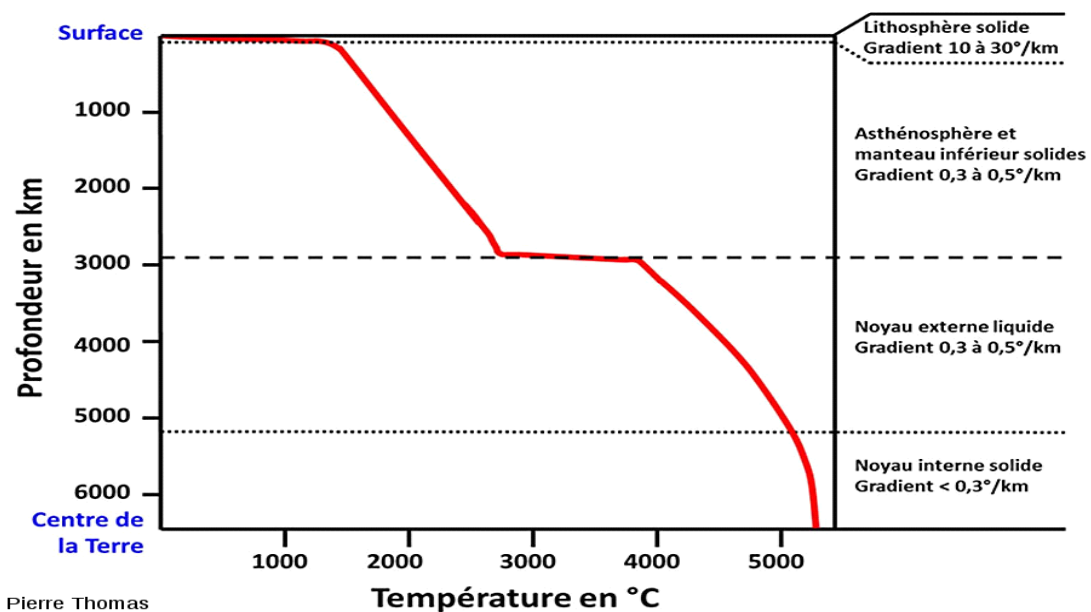
Cependant d'autres progrès dans l'exploitation restent à accomplir pour maîtriser ce type de gisement qui peut représenter l'essentiel du potentiel géothermique dans le monde compte tenu du fait de la grande répartition de roches chaudes en profondeur.

### I.4.3.GRADIENT GEOTHERMIQUE :

La température des roches augmente avec la profondeur, c'est ce qu'on appelle le gradient géothermique. Il varie selon les couches traversées. Le gradient géothermique observé dans la croûte continentale varie largement d'un endroit à un autre, bien que la valeur normale soit de l'ordre de  $3\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ , néanmoins certaines régions enregistrent plus de  $100\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$  comme c'est le cas à Larderello (Italie), alors que d'autres sites ne dépassent pas  $1\text{ }^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$  comme c'est le cas pour Padoue (Italie).



**Figure (I.10) :** La centrale géothermique de Palin Pinon (Philippines), le plus profond puits est de 3 800 m [13]



**Figure (I.11) :** Évolution de la température interne de la Terre en fonction de la profondeur [14]

### I.5. L'énergie solaire

#### I.5.1.Généralités :

Le terme d'énergie solaire fait référence à l'utilisation de l'énergie du soleil. Il est un type d'énergie renouvelable et l'énergie contenue dans le soleil est si abondante qu'elle est considérée comme inépuisable.

Le Soleil a 5 milliards d'années d'émission de rayonnement solaire et on est estimé qu'il n'a pas encore atteint 50% de son existence.

L'énergie solaire, en plus d'être inépuisable est abondante: la quantité d'énergie que le soleil déverse chaque jour sur Terre est dix mille fois plus que ce qui est consommé par jour dans le monde entier.

L'énergie solaire est l'énergie du rayonnement solaire qui est transformée par les dispositifs correspondants, sous forme thermique ou électrique, pour une utilisation ultérieure chaque fois que nécessaire. L'élément responsable de la capture du rayonnement solaire et la transformer en énergie utile est le panneau solaire.

Les panneaux solaires peuvent être de différents types en fonction du choix de l'utilisation du mécanisme de l'énergie solaire.

À l'heure actuelle, il existe trois façons d'exploiter l'énergie solaire :

- L'énergie solaire passive.
- L'énergie solaire photovoltaïque.
- L'énergie solaire thermique

#### I.5.2.L'énergie solaire passive :

L'énergie solaire passive est la méthode la plus ancienne d'exploiter le rayonnement solaire. Ceci est la méthode déjà utilisée par les cultures anciennes.

Ce système consiste à exploiter le rayonnement solaire sans l'utilisation d'un dispositif ou d'un dispositif intermédiaire, selon le lieu, l'agencement et l'orientation des bâtiments, en utilisant les propriétés des matériaux et des éléments architecturaux de celui-ci correctement: les isolants, le type de couvertures, protections, etc.

#### I.5.3.L'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique: c'est la transformation des rayons solaires en chaleur. Cette transformation en chaleur, et donc en énergie thermique, permet de chauffer de l'eau ou de l'air et de les utiliser dans différentes situations. Elle peut être utilisée directement, pour chauffer un bâtiment par exemple ou bien indirectement,

pour obtenir de l'énergie électrique. Cependant, son utilisation la plus courante est l'usage direct. L'énergie solaire thermique consiste à capter l'énergie du soleil pour la transférer à un support de transfert de chaleur, généralement de l'eau ou de l'air.

Parmi les diverses applications de l'énergie solaire thermique il est possible de produire de l'électricité. La technologie actuelle permet à l'eau de chauffer avec le rayonnement solaire pour produire de la vapeur et ensuite obtenir de l'électricité.

Les collectionneurs capteurs solaires thermiques sont classés comme faible, moyenne et haute température en fonction de la façon dont vous travaillez.

- Capteurs à basse température : Fournir de la chaleur utile à des températures en dessous de 65°C.
- Capteurs à moyenne température : Sont des dispositifs qui concentrent le rayonnement solaire pour fournir de la chaleur utile à une température plus élevée, généralement entre 100 et 300 ° C.
- Capteurs à haute température : Ils travaillent à des températures supérieures à 500 ° C. Ils sont utilisés pour la production d'énergie

### I.5.4.L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est la conversion directe du rayonnement solaire en énergie électrique.

Cette transformation en énergie électrique est réalisée en exploitant les propriétés des matériaux semi-conducteurs par des cellules photovoltaïques. Le matériau de base pour la fabrication de panneaux photovoltaïques est généralement du silicium. Quand la lumière solaire (photons) touche un côté de la cellule solaire, elle génère un courant électrique. Cette électricité peut être mise à profit comme source d'énergie.



**Figure (I.12) :** cellule photovoltaïque

### I.5.4.1. Application de l'énergie solaire photovoltaïque :

L'application principale de l'installation solaire photovoltaïque est la production d'énergie électrique à partir du rayonnement solaire.

La production d'énergie peut être à grande échelle pour la consommation en général ou sur une petite échelle pour la consommation dans de petites maisons, des cabanes de montagne ou des sites isolés.

Principalement on distingue deux types de systèmes photovoltaïques :

Installations photovoltaïques pour le raccordement au réseau, où l'énergie produite est utilisée entièrement à la vente au réseau de distribution d'électricité.

Réseau des systèmes photovoltaïques isolés, qui sont utilisés pour l'autoconsommation, soit un logement d'asile, une télécommunication de station de répéteur, pompage de l'eau pour l'irrigation, etc.

### I.5.5. Différences entre l'énergie solaire active et l'énergie solaire passive

L'énergie solaire peut être utilisée essentiellement de deux façons:

Grâce à l'énergie solaire active (énergie solaire photovoltaïque et énergie solaire thermique)

Grâce à l'énergie solaire passive.

La principale différence est que dans l'énergie solaire active, il y a un processus de transformation de l'énergie. Grâce à des panneaux photovoltaïques, nous transformons l'énergie solaire en énergie électrique ou à travers des panneaux solaires thermiques, nous transformons l'énergie solaire en énergie thermique.

L'énergie solaire passive est la technique qui permet à l'énergie solaire d'être exploitée directement sans avoir à la traiter. Par exemple, en fonction de la conception architecturale de la construction, la consommation d'énergie naturelle peut être considérablement améliorée

### I.5.6. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire

#### a. Les avantages :

##### L'avantage d'une source d'énergie inépuisable

L'avantage le plus important de l'énergie solaire est qu'elle est une énergie renouvelable, qui est considérée comme inépuisable. Ce type d'énergie vient du soleil.

En réalité l'énergie émise par le soleil n'est pas inépuisable, on considère qu'il lui reste une vie de 5000 millions d'années. Pour cette raison, il est considéré comme l'énergie solaire inépuisable.

### **La maintenance et le coût des installations**

Les installations solaires ne nécessitent pas beaucoup de maintenance, les coûts de maintenance sont minimes.

### **b. Les inconvénients :**

#### **L'efficacité énergétique**

Un panneau solaire consomme beaucoup d'énergie lors de sa fabrication. Il ne sera rentable qu'après deux ou trois années de sa fabrication.

#### **La dépendance climatique**

Il existe des variations dans les quantités produites en fonction de la situation météorologique (la pluie, la neige) qui entravent la prévision de l'énergie.

Une source d'énergie alternative ou l'utilisation de batteries pour les jours quand les conditions météorologiques ne sont pas bonnes ou la nuit est nécessaire.

#### **Les heures solaires**

Un des moments de plus grande demande d'énergie est précisément quand il n'y a pas de rayonnement solaire : dans la nuit. Pour cette raison, on nécessite d'un système de stockage d'énergie.

Les moyens de stockage de l'énergie solaire sont inefficaces par rapport, par exemple, les combustibles fossiles (le charbon, le pétrole et le gaz naturel), l'hydroélectricité (l'énergie de l'eau) et de la biomasse.

#### **Le stockage d'énergie**

Pour tout ce qui précède, il est évident du besoin d'un système de stockage efficace. Aujourd'hui, il y a des piles et autres articles pour stocker de l'énergie électrique, mais il n'y a pas de système pour stocker de grandes quantités d'énergie.

### I.6. L'énergie de la biomasse

#### I.6.1.Introduction :

La maîtrise du feu par nos ancêtres date de 450000 ans avant notre ère. Le bois et la biomasse constituent, depuis cette époque, une source d'énergie vitale pour l'homme (cuisson, chauffage).

Utilisée de façon intensive jusqu'à la première révolution industrielle, l'énergie issue de la biomasse a ensuite été massivement remplacée par les énergies fossiles.

Aujourd'hui, la lutte contre le changement climatique nous fait redécouvrir les nombreux avantages de cette énergie. Les technologies actuelles de combustion (en foyers domestiques ou dans de grandes chaufferies) permettent désormais d'atteindre de hautes performances énergétiques et environnementales.

#### I.6.2.Définition :

La biomasse se définit comme « la fraction biodégradable » des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. Toutes ces matières organiques peuvent devenir source d'énergie par combustion (ex : bois énergie), après méthanisation (biogaz) ou après de nouvelles transformations chimiques (bio-carburant). [15]

#### I.6.3.L'origine de la biomasse :

Les principales provenances de la biomasse sont :

- la forêt ;
- l'agriculture ;
- les milieux marins et aquatiques ;
- les haies, les parcs et jardins (déchets verts) ;
- les industries et activités humaines ayant traité de la matière d'origine vivante, y compris du bois (industries agro-alimentaires, papetières, de transformation du bois, etc.) et générant des coproduits, des déchets organiques (notamment les boues de stations d'épuration ou les sous-produits animaux) ou des effluents d'élevages.

La biomasse provient de l'énergie solaire par photosynthèse. Deux sources principales peuvent être utilisées :

- les déchets organiques provenant de la consommation domestique, de l'industrie ou de l'agriculture ;
- les plantes énergétiques dédiées (agricoles ou forestières) pour produire de l'énergie.

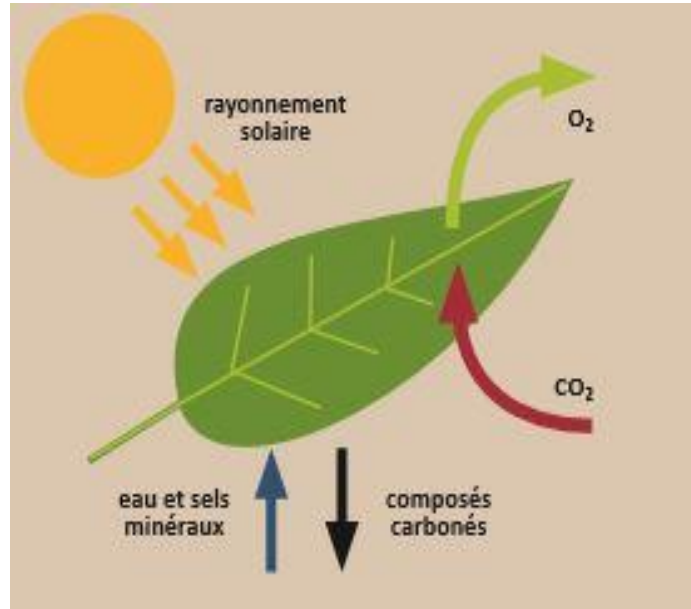


Figure (I.13) : principe de la photosynthèse [16]

### I.6.4. Les applications :

Les applications de la biomasse sont multiples et souvent anciennes. Hormis les usages alimentaires et pour la fumure des champs, la biomasse a de tout temps été utilisée comme combustible et comme matériau. Les applications de la biomasse comme matière première de la chimie et comme carburant, importantes au XIX<sup>ème</sup> et au début du XX<sup>ème</sup> siècle, redeviennent attractives, avec la hausse du prix du pétrole.

#### I.6.4.1. La biomasse comme biocombustible pour produire de la chaleur et de l'électricité

• le bois est utilisé sous la forme de bûches mais aussi de plaquettes forestières (sous-produits d'exploitation forestière broyés), d'écorces, de bois de récupération. Densifié, notamment pour les particuliers, le bois peut parfois être présenté sous forme de granulés ou de briquettes. Ces combustibles sont brûlés dans des appareils de chauffage domestique (chaudières, inserts, poêles, cuisinières). • la paille, mais aussi des résidus de culture et des productions dédiées, peuvent être utilisés comme combustibles. On peut également brûler à l'échelle industrielle du marc de raisin, des noyaux de fruits, des déchets d'usines papetières (liqueurs noires, boues papetières), des déchets de collectivités, etc. et aussi du biogaz issu de la fermentation de déchets divers mis en

décharge ou traités dans des méthaniers (déchets verts, effluents d'usines agroalimentaires, sous-produits animaux issus des centres d'équarrissage, déjections animales...).

### **I.6.4.2. La biomasse comme biomatériau traditionnel ou innovant**

Le bois et ses dérivés (papiers, cartons, panneaux de procès), mais aussi le chanvre et autres plantes textiles sont de plus en plus utilisés comme isolants y compris dans du béton composite. L'amidon de céréales ou de pomme de terre peut être utilisé pour la production de plastiques biodégradables et de nombreux autres polymères.

### **I.6.4.3. La biomasse comme matière première de la chimie**

Elle est utilisée pour produire des tensioactifs, solvants, fluxant de bitumes, encres, peintures, résines, liants, lubrifiants, produits antigél... sans oublier les nombreux principes actifs et huiles essentielles utilisés en pharmacie et cosmétique.

### **I.6.4.4. La biomasse pour les biocarburants**

Les huiles de colza, tournesol, soja ou palme sont les matières premières de base pour fabriquer du biodiesel. L'utilisation des huiles végétales pures comme carburant est possible mais rencontre des limites techniques. Le bioéthanol est aujourd'hui produit à partir de la fermentation de blé, maïs, betterave ou canne à sucre. À l'horizon 2015-2020, des biocarburants dits "de seconde génération" pourront être produits à partir des matières cellulosiques que sont, par exemple, la paille et le bois. Les biocarburants dits de «3ème génération» (produits à partir d'algues) sont également amenés à se développer au cours des prochaines années.

## **I.6.5. Les avantages et les inconvénients**

### **a. Les avantages :**

- Coûts d'investissement de la biomasse forestière relativement faibles et stables.
- Source d'énergie continue, contrairement à l'éolien ou au solaire photovoltaïque.
- Densité énergétique moindre que celle des combustibles fossiles.
- Exploitation à grande échelle coûteuse, en raison de la dispersion de la ressource sur le territoire

### **b. les inconvénients :**

- Valorisation de déchets de bois industriels qui autrement seraient enfouis.
- Perte de biodiversité et appauvrissement des sols, si une quantité insuffisante de résidus de coupe sont laissés sur place.
- Émission de contaminants atmosphériques lors de la combustion et du transport de la biomasse (augmentation du transport routier pour les résidus de coupe).
- Impacts liés à l'entreposage de la biomasse : lixiviation de contaminants, nuisances visuelle et olfactive.

- Production de résidus ultimes (par exemple, cendres de bois) parfois difficiles à valoriser, en raison de la présence de métaux.

***CHAPITRE II :***  
***L'ENERGIE***  
***GEOOTHERMIQUE***

### Introduction Générale :

A toute époque, les manifestations naturelles de la chaleur de la Terre, telles les sources thermales, les geysers et les volcans, ont été des centres d'attraction de l'humanité. Les sources chaudes ont été utilisées depuis la haute Antiquité. Les Romains étaient vraisemblablement de grands amateurs de bains thermaux et aussi les premiers à mettre au point le chauffage par le sol dans certains de leurs édifices, une technique qui s'est ensuite perdue jusqu'au 20<sup>e</sup> siècle. De nombreuses villes européennes ont été fondées autour de sources thermales telles que Bath en Grande-Bretagne, Baden-Baden en Allemagne ou Aix-Les-Bains en France, pour ne citer que ces trois villes d'eau.

Plus de 99% de la masse de la terre est à une température de plus de 1000° C. Seule 0,1% de la masse de la terre (c'est-à-dire les trois premiers kilomètres) est plus froid que 100° C. A la surface de la Terre, la chaleur rayonne avec un flux moyen de 0,065 Watt. Cette chaleur dégagée n'a pas pour origine principale le refroidissement du globe terrestre, mais provient à 90% de la désintégration des éléments radioactifs (uranium, thorium, potassium) contenus dans les minéraux de la croûte. En s'enfonçant dans le sous-sol, la température des ouvrages tels que tunnels, galeries de mines et forages monte régulièrement, en moyenne le gradient géothermique augmente de 33° C par kilomètre de profondeur mais parfois des conditions géologiques spécifiques sont responsables de fortes augmentations de température et le gradient peut atteindre 40 à 50 °C/km, et même beaucoup plus dans des zones volcaniques. L'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol est appelée la géothermie, quelle que soit la température de la ressource, la profondeur à laquelle on l'exploite et l'usage que l'on en fait. Les profondeurs de la terre recèlent d'énormes quantités de chaleur naturelle, dont l'origine réside essentiellement dans la désintégration d'éléments radioactifs. Selon les connaissances actuelles, les températures culminent à 6000°C dans le noyau et atteignent jusqu'à 1300°C environ dans le manteau supérieur du globe terrestre. Le flux géothermique qui parvient à la surface du globe dépasse 40 milliards de kW. Plus de 99 % de la masse de notre Terre est soumise à des températures dépassant 1000 °C. Seul 0,1% est plus froid que 100 °C. En moyenne, la température augmente à partir de la surface terrestre de 3 °C environ par 100 mètres de profondeur, ce qui correspond à un gradient géothermique normal. En de nombreux endroits du globe, nous constatons toutefois des anomalies géothermiques (dites «positives»), c'est-à-dire des régions présentant des gradients de température nettement plus élevés, par exemple en Islande, en Italie, en Indonésie ou en Nouvelle-Zélande. Cependant, la chaleur contenue dans les roches est trop diffuse pour être extraite de manière économique : il est nécessaire d'avoir à disposition un fluide caloporteur, généralement de l'eau, afin de transporter l'énergie vers la surface. Ce fluide souvent présent dans le sous-sol, il s'agit des aquifères, bien connus à faible profondeur (moins de 100 m), mais certaines formations géologiques perméables peuvent être trouvées à des profondeurs de 200 à 3000 m, avec des températures qui s'échelonnent entre 15° et nettement plus de 250 °C selon les régions. En l'absence d'aquifères, d'autres techniques sont à disposition pour transférer la chaleur contenue dans les roches. C'est au moyen de forages que l'on peut faire remonter de l'eau souterraine contenant l'énergie thermique du sous-

## CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

---

sol. La technologie actuelle permet d'atteindre puis de capter des ressources géothermiques jusqu'à 5000 m de profondeur et 400 °C.

C'est en 1904 que la géothermie industrielle a démarré avec la production d'électricité en Toscane. A partir des années 1960, des centrales électriques géothermiques voient le jour progressivement dans 24 pays. L'utilisation directe de la chaleur souterraine, notamment pour le chauffage et pour le thermalisme, s'est développée dans 70 pays. En Suisse, les sondes géothermiques verticales pour le chauffage de villas familiales connaissent un fort engouement et les champs de sondes réalisés pour le chauffage et le refroidissement de bâtiments de grande taille se mettent en place avec succès. Récemment, des centrales de production couplée d'électricité et de chaleur utilisant des ressources géothermiques à grande profondeur ont vu le jour.

Le Sahara algérien a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques et géologiques, en vue de l'exploration de la nappe du Continental Intercalaire. En 1960, A. Cornet a achevé l'étude hydrogéologique du Sahara algérien qui est toujours considérée comme une référence dans le domaine. Elle comporte les divers aspects géologiques et hydrogéologiques des nappes aquifères dans le Sahara d'Algérie. Suite à ces nombreux travaux, une autre vaste étude de la nappe est engagée en collaboration entre l'Algérie et la Tunisie sous l'égide de l'Unesco entre 1968 et 1972. D'importants moyens matériels et humains étaient alors déployés dans le cadre du projet ERESS : Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Cette étude couvre une superficie de 800 000 km et concerne l'Algérie et la Tunisie. Une actualisation de l'étude ERESS est réalisée et présentée en 1981 dans le rapport PNUD : Actualisation de l'étude des ressources en eau du Sahara septentrional. L'objectif principal de ces dernières études est l'évaluation de la demande en eau des régions sahariennes entre 2000 et 2010 dans le but de construire un modèle mathématique du Continental Intercalaire dont les résultats permettront une meilleure exploitation des eaux du Continental Intercalaire tout en minimisant l'impact sur l'environnement. D'autres études ont été réalisées au niveau de la division géothermie du CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables). Elles rentrent dans le cadre de la recherche géothermique qui a pour objectif principal l'évaluation du potentiel géothermique de l'Algérie.

L'énergie géothermique est l'une des plus importantes sources d'énergies renouvelables dans le monde. Les utilisations de cette énergie sont multiples. Elles vont des utilisations directes telles que la pisciculture, le chauffage des serres et la balnéothérapie aux utilisations industrielles telle que la production d'électricité.

L'Algérie, de part, sa situation géographique (zone à forte activité tectonique) est considérée parmi les pays riches en eaux thermo minérales. Si le potentiel des ressources géothermiques du Nord de l'Algérie est bien connu, pour le Sud algérien aucune étude détaillée n'a été encore menée.

Les principaux points qui ont été développés dans ce chapitre sont : - Une introduction sur le domaine de la géothermie qui est principalement destinée à présenter la géothermie pour le lecteur, à travers un historique sur la géothermie, et les divers domaines d'intérêt de cette nouvelle science.

## **CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE**

---

Un aperçu sur la place de la géothermie dans le monde. Cette partie donnera une idée sur les différentes réalisations dans le domaine de l'exploitation de la géothermie dans le monde et les projets futurs pour cette science.

### II.1. GENERALITES SUR LA GEOTHERMIE

#### II.1.1 Introduction

La géothermie s'intéresse à l'étude des phénomènes thermiques de la terre qui sont liés à la formation et à la composition du globe.

La terre est chaude. La chaleur terrestre qui se propage à travers la croûte continentale (appelé flux de chaleur) n'est pas homogène; le flux de chaleur varie donc d'un endroit à un autre.

En présence d'un flux de chaleur élevé les eaux souterraines se réchauffent et se transforment en eau thermale. Les eaux deviennent chaudes et remontent en surface sous différentes formes. Ces formes peuvent être :

- **Geysers** : Dans les pays volcaniques, l'eau bouillante jaillit à la surface sous forme de jets atteignant jusqu'à 50 m de haut.

Exemple : Les geysers d'Islande, de Nouvelle-Zélande ou de Californie ;

-**Fumerolles** : Ce sont des fentes à partir desquelles des gaz volcaniques, la plupart du temps vapeur d'eau, s'échappent vers l'atmosphère.

Exemple: Fumerolles en Italie à Larderello ;

**Sources thermales** : Ce sont des émanations d'eau, de vapeur d'eau et d'anhydride carbonique à température élevée. Elles doivent leur origine à des émanations de vapeur d'eau provenant de zones profondes qui, lorsqu'elles atteignent les couches superficielles, se refroidissent et se condensent, donnant naissance à des eaux de températures très élevées.

Exemple : Les sources thermales du Nord de l'Algérie.

-

L'exploration géothermique s'intéresse essentiellement à définir et à classer, la source de chaleur, le réservoir géothermique et le fluide géothermique.

#### II.2 Définition :

Le terme de géothermie est formé à partir des mots grecs Géo (la Terre) et thermos (chaud). Il recouvre l'ensemble des techniques qui permettent de récupérer la chaleur naturellement présente dans le sous-sol terrestre, en particulier dans les aquifères (réservoirs rocheux renfermant des eaux souterraines). Cette énergie calorifique provient en part à peu près égale de la chaleur résiduelle produite par les phénomènes de formation de la planète (il y a 4,5 milliards d'années) et de la radioactivité naturelle.

La température des eaux géothermales augmente avec la profondeur, selon le gradient thermique de chaque région (hausse moyenne de la température en fonction de la profondeur). Le gradient a

## CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

---

une valeur mondiale moyenne de 3 °C pour 100 m de profondeur. Il s'échelonne ensuite entre 1 °C pour 100 mètres et 10 °C pour 100 mètres, selon les conditions physiques et géologiques de la région.

L'énergie géothermique provient de la chaleur accumulée dans le sous-sol. Elle est perpétuellement réapprovisionnée par la radioactivité des roches et la proximité du magma en dessous de la croûte terrestre. L'exploitation par l'homme de cette énergie renouvelable porte le nom de géothermie.

### II.3 Principe :

Le manteau terrestre étant chaud, la croûte terrestre laisse filtrer un peu de cette chaleur, cependant la plus grande partie de la puissance géothermique obtenue en surface (87 %) est produite par la radioactivité des roches qui constituent la croûte terrestre (désintégration naturelle de l'uranium, du thorium et du potassium).

Il existe dans la croûte terrestre, épaisse en moyenne de 30 km, un gradient de température appelé gradient géothermique qui définit que plus on creuse et plus la température augmente ; en moyenne de 3 K par 100 mètres de profondeur.

La géothermie vise à étudier et exploiter ce phénomène d'augmentation de la température en fonction de la profondeur (même si le flux de puissance obtenu diminue avec la profondeur, puisque l'essentiel de ce flux provient de la radioactivité des roches de la croûte terrestre).

### II.4 Types de gisements géothermiques [17]:

A travers le monde, il existe trois catégories de gisements géothermiques :

**-Les gisements géothermiques des zones volcaniques récentes** : Ce type de gisement se caractérise par l'existence en profondeur d'une chambre magmatique très chaude

(1300°C) qui représente la source de chaleur naturelle. Cette chambre magmatique cède sa chaleur aux couches géologiques superficielles. Dans ce cas, les eaux sont très chaudes; elles sont plus adaptées à la production d'électricité.

Parmi les pays concernés par ce type de gisements, on peut nommer la Nouvelle-Zélande et l'Islande

**-Les gisements des zones de plate-forme continentales stables**, recouvertes de terrains sédimentaires.

Dans ce type de gisement il n'existe pas de source de chaleur particulière en profondeur, mais la chaleur est uniquement due au gradient géothermique. Dans ce cas les réserves sont généralement très profondes et leur exploitation nécessite la réalisation de forages.

## CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

---

Ce type de gisements est rencontré en France (les bassins parisien et aquitain) et en Algérie (le bassin du Sahara septentrional.)

**-Les gisements géothermiques des zones continentales actives :** Dans ce troisième cas, les eaux résultent de la circulation d'eau thermique à travers les failles et les discontinuités géologiques et arrivent en surface sous forme de sources.

On retrouve ce type de gisement en Algérie, à travers les diverses sources thermales qui jaillissent au Nord.

Exemple : Hammam Bouhadjar

Suivant leurs thermalismes, ces gisements géothermiques sont classés en deux types de champs géothermiques :

**-Les champs hyperthermiques :** Concernent la première catégorie de gisements correspondants aux gisements géothermiques des zones volcaniques récentes.

**Les champs semi-thermiques :** Concernent la deuxième et la troisième catégorie de gisements correspondant aux gisements des zones de plate-forme continentales stables, recouvertes de terrains sédimentaires et aux gisements géothermiques des zones continentales actives.

### II.5 Les systèmes géothermiques :

Sous la croûte terrestre, la température augmente avec la profondeur, même si elle varie selon les endroits. Le gradient géothermique moyen se situe entre 25 et 30 °C/km, mais peut être plus élevé dans certaines régions, jusqu'à atteindre 300 °C/km, en cas d'anomalie géothermique. L'énergie géothermique devant être exploitée en surface, un système géothermique, qui achemine l'énergie thermique captée en profondeur à la surface, est alors nécessaire. Du point de vue pratique, un tel système se compose de quatre éléments principaux : (1) une source de chaleur ; (2) un réservoir ; (3) un fluide caloporteur, qui transfère la chaleur à la surface ; (4) un mécanisme de recharge.

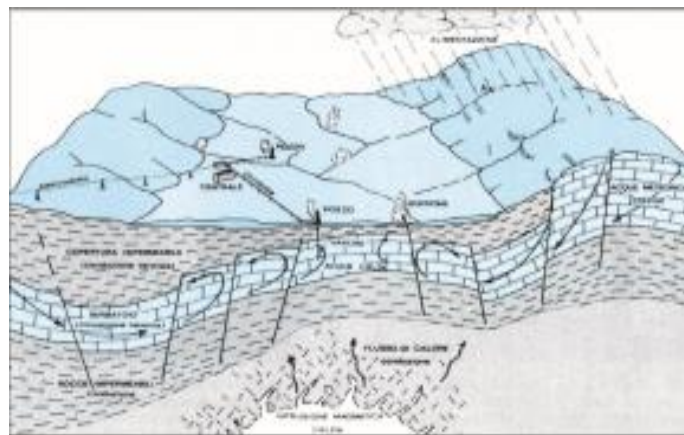
La source de chaleur peut être un corps magmatique peu profond ou la roche elle-même dont la température augmente avec la profondeur en fonction du gradient géothermique local. Le réservoir est une roche poreuse à l'intérieur de laquelle le fluide caloporteur, dit fluide géothermique, est recueilli et circule. Ce fluide peut être de tous types, mais dans les systèmes géothermiques existants dans la nature, il s'agit généralement d'eau chargée en sels et en gaz dissous. Le mécanisme de recharge peut être artificiel, ou naturel grâce aux eaux météoriques.

### II.5.1 Les systèmes hydrothermaux

Dans la nature, différents systèmes géothermiques existent, notamment le système hydrothermal, généralement utilisé pour produire de l'énergie électrique dite conventionnelle.

Dans un système de ce type, le fluide géothermique est composé d'eau, le plus souvent d'origine météorique (figure 1). La roche poreuse qui constitue le réservoir se trouve entre deux couches de roches imperméables, l'une inférieure et l'autre supérieure ; ces couches fracturées laissent passer du liquide par endroits, ce qui entraîne une circulation naturelle de l'eau qui fait remonter la chaleur à la surface. Les eaux météoriques froides, en effet, s'infiltrent dans le système en descendant vers les profondeurs, traversent la roche poreuse et se réchauffent ainsi sous l'effet du flux thermique auxquelles elles sont soumises, s'enrichissant au passage de sels et de minéraux facilement dissous dans l'eau sous l'effet d'une température locale élevée, avant de remonter vers la surface, créant ainsi des sources thermales. Si le système hydrothermal se situe à proximité d'une zone volcanique, il est possible qu'au flux de chaleur terrestre s'ajoute un flux issu du refroidissement d'éventuelles intrusions magmatiques, engendrant un flux de chaleur particulièrement élevé : dans ce cas, il arrive qu'en remontant, l'eau se transforme en vapeur, donnant lieu en surface à des phénomènes bien connus comme les geysers ou les fumerolles.

Dans un contexte hydrogéologique semblable, le forage d'un puits permet au fluide géothermique de remonter à la surface et d'être disponible à des fins d'exploitation dans une centrale électrique géothermique. En général, un puits de réinjection du fluide géothermique vient s'ajouter au puits de production (c'est-à-dire, de prélèvement), afin d'éviter que le réservoir ne s'appauvrisse dans l'hypothèse fréquente où le renouvellement des eaux météoriques serait insuffisant ou impossible.



**Figure (II.1) :** Exemple de système hydrothermal. Source : UGI, 2006.

### II.5.2 Les systèmes Engineered ou Enhanced Géothermal Systems (EGS) :

L'idée d'exploiter les formations rocheuses à haute température et faible perméabilité n'est pas nouvelle et remonte à la fin des années 1960, avec le concept de Hot Dry Rock : depuis, les choses ont évolué avec des hauts et des bas, jusqu'au développement des systèmes EGS. À l'origine, l'objectif du système Hot Dry Rock était de reproduire artificiellement ce que la nature crée spontanément dans les systèmes hydrothermaux, en associant une source de chaleur naturelle existante à un réservoir artificiel dans lequel pouvait circuler un fluide caloporteur approprié : il s'agissait avant tout d'identifier une formation rocheuse adaptée, éventuellement dans une région possédant un gradient géothermique local élevé à une profondeur suffisante pour garantir la bonne température, et de la fracturer artificiellement en injectant de l'eau à très haute pression afin de la rendre poreuse et perméable.

Le système EGS prévoit de récupérer l'énergie thermique des roches les plus profondes en créant dans la roche un système de fractures artificielles interconnectées, de façon à permettre la circulation de l'eau injectée par les puits, qui, une fois réchauffée au contact des roches chaudes, remonte en surface, formant ainsi un circuit pratiquement fermé. De l'expérience Hot Dry Rock, il ressort qu'il est plus facile d'agrandir des fractures déjà existantes que de créer des fractures dans une roche compacte, d'où le terme EGS.

Le grand avantage des EGS réside dans le fait que les exigences inhérentes à la création du système sont limitées et, dans les cas où le gradient thermique local est insuffisamment élevé, en compensant par une profondeur supérieure, on augmente considérablement l'extension des secteurs adaptés à la production d'électricité géothermique.

La possibilité de satisfaire à l'avenir une part non négligeable de la demande d'énergie électrique par le biais de la géothermie s'appuie sur l'utilisation des EGS, c'est-à-dire sur la capacité à réussir à fracturer la roche, à faire circuler un fluide caloporteur sans qu'il soit dispersé dans le réservoir, et à maintenir sous des niveaux acceptables (non perceptibles par la population et non dangereux) la microsismicité induite par l'injection de fluide, ce qui est le cas de l'Enhanced Oil Recovery, pratique très répandue dans le secteur pétrolier.

Il est enfin intéressant de rappeler, qu'outre l'utilisation évidente d'eau comme fluide caloporteur, certaines études se sont intéressées à l'utilisation de CO<sub>2</sub>, éventuellement en synergie avec la capture et de la séquestration géologique du CO<sub>2</sub>, avec des performances remarquables.

### II.5.3 Les autres systèmes géothermiques

Les autres systèmes géothermiques, parfois appelés systèmes géothermiques non conventionnels (Unconventional Géothermal Systems - UGS), existent dans la nature, avec un potentiel local plus

## CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

---

élevé mais concentré dans des régions bien définies. Parmi les plus importants, citons les systèmes avec des fluides supercritiques et les systèmes géo pressurisés.

Comme la capacité potentielle d'un fluide géothermique à agir dans un environnement prédéfini augmente de manière plus que linéaire avec la pression et la température du fluide concerné, l'exploitation de fluides géothermiques ayant des caractéristiques thermodynamiques toujours plus élevées présente un intérêt évident, même s'il s'agit de cas nécessairement localisés et non répartis partout dans le monde. On parle ainsi des fluides supercritiques, qui se trouvent dans des conditions de pression et de température supérieures à celles du point critique de l'eau. Les systèmes géothermiques à fluides supercritiques sont présents dans les régions volcaniques : citons dans ce domaine les premiers projets de recherche, à savoir l'Iceland Deep Drilling Project en Islande et le Campi Flegrei Deep Drilling Project en Italie ; d'autres projets ont été lancés par la suite.

À l'inverse, les systèmes géo pressurisés sont des systèmes dans lesquels l'eau se trouve dans des nappes phréatiques sous une pression extrêmement élevée, proche de la pression litho statique, souvent en présence de méthane ; une centrale pilote exploitée dans les années 1989-1990 aux États-Unis en a confirmé la faisabilité technique mais pas la viabilité économique.

### II.6. Les types de géothermie:

L'énergie géothermique est obtenue par l'extraction de la chaleur interne de la Terre. Il y a plusieurs zones avec des eaux thermales. Ces eaux sont chauffées par la température à l'intérieur de la Terre. Dans les régions où les sources d'eau chaude sont très chaudes, le forage à faible profondeur se fait par des fractures naturelles.

L'eau chaude et / ou la vapeur peuvent circuler naturellement, par les impulsions des flux d'eau et de vapeur, mais aussi par pompage. Vous devez sélectionner la méthode à utiliser en fonction de la méthode économiquement la plus rentable. Il n'y a pas une seule méthode pour tirer parti de ce type d'énergie, car il y a eu des projets qui, dans certains pays, ont dû être rejetés en raison de leur infaisabilité économique.



**Figure (II.2) : magmas**

## **CHAPITRE II : L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE**

---

Le magma (roche fondue) est une grande source d'énergie géothermique, car les roches ne se trouvent qu'à l'état liquide à des températures extrêmement élevées. Malgré cela, avec la technologie disponible actuellement, il n'est pas possible de tirer profit de ce type de source, c'est économiquement irréalisable.

Les exploitations d'extraction d'eau chaude ont généralement un nombre pair de puits, car l'une des eaux chaudes est extraite et l'autre injecte de l'eau dans l'aquifère une fois refroidie. Ce système a plusieurs avantages:

Il est peu probable que l'eau du réservoir soit épuisée car, comme l'eau est continuellement injectée, le volume continue à couler.

Il n'y a pas d'émissions de gaz dissous, puisque le circuit d'eau est fermé, ce fait évite une éventuelle contamination à l'extérieur

L'exploitation de la géothermie dépend du type de gisements et du fluide

Géothermique existant, ainsi, se distingue trois types de géothermie dans le monde :

### **II.6.1. La géothermie haute énergie :**

La géothermie haute énergie, exploite les gisements de vapeur sèche ou humide (mélange eau et vapeur). Ces gisements se caractérisent par des températures supérieures à 150°C.

On rencontre cette géothermie haute énergie dans les régions volcaniques (volcans) et sismiques (frontières de plaques) ou le gradient géothermique est particulièrement élevé.

La géothermie haute énergie est destinée principalement à la production d'électricité.

La vapeur, qui est puisée dans le réservoir géothermique, est déchargée dans une turbine, reliée à un alternateur pour la production d'électricité.

La vapeur sèche est directement utilisée alors que la vapeur humide qui est plus fréquente nécessite l'utilisation d'un séparateur.

Un exemple de ce type de géothermie est donné par la centrale de Bouillante en Guadeloupe-France.

### **II.6.2. La géothermie basse énergie :**

La géothermie basse énergie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 150° C, elle est rencontrée à une profondeur moyenne de 1000 à 2500 m, dans les formations perméables remplies d'eau situées principalement dans les bassins sédimentaires de grandes dimensions.

Elle est destinée principalement au chauffage urbain et au chauffage de serres.

### II.6.3. La géothermie très basse énergie :

La géothermie très basse énergie est rencontrée à de faibles profondeurs (nappes phréatiques) où la température est de l'ordre de 10 à 30°C. Elle est utilisée entre autre pour la pisciculture, l'horticulture et le séchage de produits agricoles.

### II.7. Géothermie roche chaude sèche (HDR)

D'autres techniques en géothermie ont été mises en valeur, c'est la géothermie roche chaude sèche ou Hot Dry Rock ou la géothermie HDR.

La technique consiste d'abord à prospecter les sites géothermiques favorables qui sont les sites renfermant des roches sèches en profondeur (moins de 6 km), tels que les granites.

De l'eau froide sous forte pression est injectée par la suite en profondeur dans des puits ou forages d'injection. L'eau élargit les fissures dans les massifs rocheux. Elle acquiert ainsi une forte quantité de chaleur, puis elle remonte en surface par un forage production.

Avant de réinjecter cette eau dans le forage, ses calories sont récupérées et exploitées au niveau d'une centrale géothermique.

Le circuit ainsi formé peut produire une importante quantité d'énergie géothermique.

Depuis vingt-cinq ans, plusieurs projets de recherches sont menés dans ce domaine surtout aux Etats-Uni, au Japon et en Europe. Parmi ces projets, celui de l'union européenne, il est destiné à la création d'une centrale géothermique à Soultz-Sous-Forêts (Alsace –France).

Cependant d'autres progrès dans l'exploitation restent à accomplir pour maîtriser ce type de gisement qui peut représenter l'essentiel du potentiel géothermique dans le monde compte tenu du fait de la grande répartition de roches chaudes en profondeur.

### II.8. Forage géothermique :

L'exploitation de la géothermie nécessite l'existence en profondeur de la terre de deux paramètres importants la chaleur et l'eau. En effet c'est l'eau qui permet de véhiculer cette chaleur profonde en surface.

L'eau contenue dans les réservoirs géothermiques est remontée à la surface grâce à un forage ; le plus fréquent est le forage Rotary.

Si la pression dans le gisement est insuffisante pour que le forage soit artésien, la production peut s'établir par l'intermédiaire d'une pompe. Une fois l'eau géothermale utilisée, elle est soit rejetée dans l'environnement si l'eau n'est pas salée. Dans le cas contraire, elle est réinjectée dans la nappe d'origine à l'aide d'un puits de réinjection.

Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier.

## CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

---

Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outil et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).

### a. avantages :

- ✓ La profondeur du forage peut être très importante, pendant l'exécution de celui-ci, il n'y a pas de perturbation par les terrains peu stables ou plastiques, sous réserve de l'utilisation d'un fluide de forage adapté.
- ✓ Ce système permet un bon contrôle des paramètres de forage (poids de l'outil, vitesse de rotation, qualité de la boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser.
- ✓ Le forage rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.

### II.9. Origine de la chaleur de la Terre :

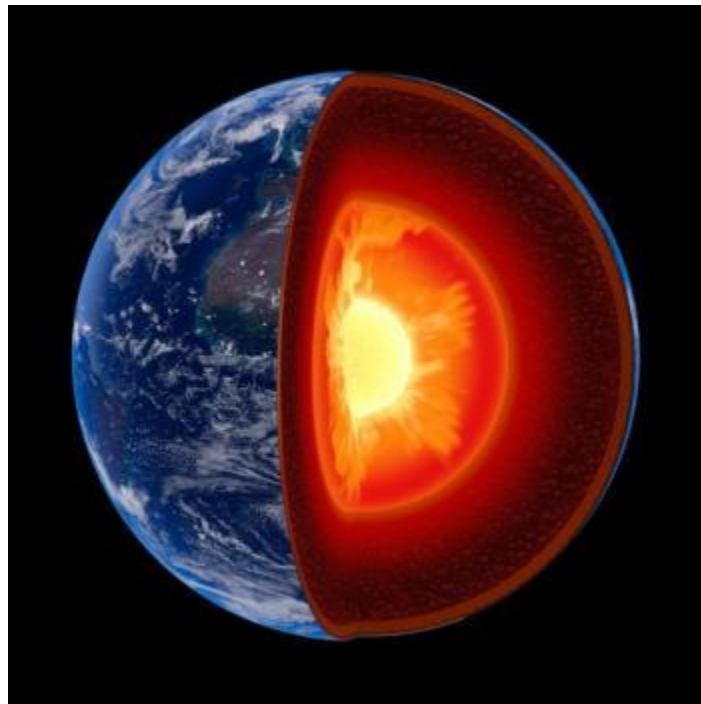


Figure (II.3) : la nappe de la terre

A la fin du XVIIIe siècle, la Terre conçue comme une masse en fusion avec un résultat de la croûte solide de refroidissement. Il a fallu attendre le XIXe siècle que les premiers calculs de l'âge de la Terre à partir de  $\epsilon \hat{A} < \hat{a} \epsilon$

## **CHAPITRE II : L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE**

---

Précisément, l'utilisation de cette énergie thermique est ce qui a conduit au développement de l'énergie géothermique. L'énergie géothermique nous permet de profiter de l'énergie thermique à l'intérieur de la Terre dans différentes applications, en utilisant les lois de la thermodynamique.

La Terre est un corps chaud immergé dans un espace froid qui perd continuellement de la température à un taux de 130°C tous les 1.000 millions d'années.

Les volcans et les systèmes hydrothermaux qui provoquent des crues d'eau à haute température sont les manifestations les plus évidentes de la chaleur interne de la Terre que nous pouvons observer en surface.

### **II.9.1.L'origine de la chaleur terrestre :**

L'origine de la chaleur terrestre est la somme des processus physiques et chimiques qui se déroulent différemment dans son intérieur.

Ce qui suit décrit les différents processus qui causent la chaleur de la Terre, en considérant la partie de l'intérieur de la planète où ils ont lieu.

La chaleur de cristallisation latente: c'est la limite entre le noyau interne et le noyau externe. Le noyau interne est à l'état solide tandis que le noyau externe est à l'état liquide. Dans le noyau externe, des réactions de cristallisation sont produites en continu; ces réactions sont exothermiques et provoquent donc de la chaleur. Cette chaleur est connue comme la chaleur latente de cristallisation.

Gravitation. La gravité exerce une force de compression vers le centre de la planète, et dans le processus de contraction de la masse de la Terre, un échauffement par friction est généré.

Chaleur résiduelle formation de la planète: Il est la chaleur, bien que présent, produit des collisions entre étoiles résidus de disque protoplanétaire a donné la Terre.

Cinétique de la chaleur ou friction: entre le noyau externe et le manteau. C'est l'énergie sous forme de chaleur qui est libérée à la suite du frottement produit par les différentes réponses que le noyau extérieur et le manteau ont devant le champ d'efforts de la Lune et du Soleil (forces de marée).

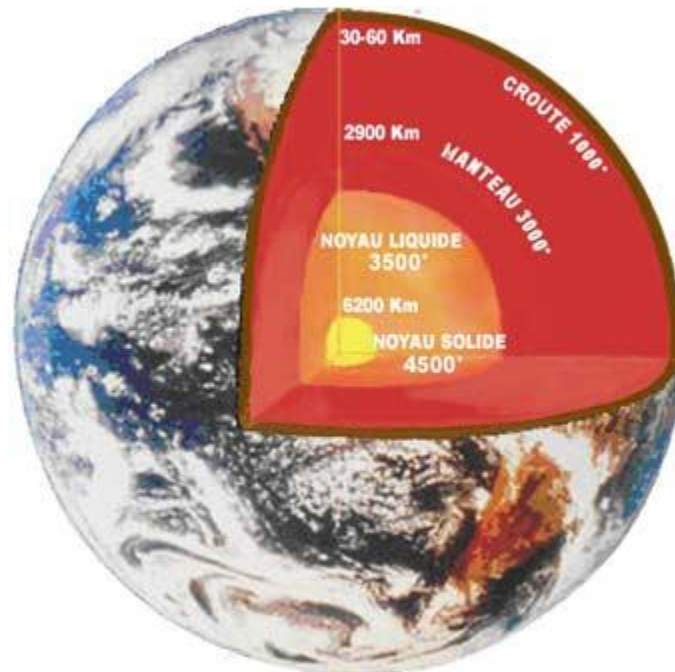
Réactions physicochimiques exothermiques: manteau. Les hautes pressions et les hautes températures rendent les minéraux instables et des changements de phase continus qui génèrent de l'énergie sous forme de chaleur se produisent.

Désintégration radiogénique des isotopes: écorce et manteau. Les roches qui composent la lithosphère (composée de la croûte et de la partie la plus élevée du manteau) sont riches en minéraux qui contiennent des éléments radioactifs tels que les isotopes 235U, 238U, 232Th et 40K. Les réactions de décomposition de ces isotopes sont exothermiques. La désintégration radiogénique des isotopes est le processus qui apporte le plus de chaleur à la surface de la Terre.

## CHAPITRE II : L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE

---

Il est nécessaire de prendre en compte que la température de la Terre augmente vers l'intérieur à partir d'une moyenne globale de 15°C à plus de 5000°C dans le noyau interne.



**Figure (II.4) :** la structure de la terre

- le noyau, composé de fer et de nickel à un rayon d'environ 3500 kilomètres et une température d'environ 4 200°C.

### II.9.2 Gradient géothermique :

La température des roches augmente avec la profondeur, c'est ce qu'on appelle le gradient géothermique. Il varie selon les couches traversées. Le gradient géothermique observé dans la croûte continentale varie largement d'un endroit à un autre, bien que la valeur normale soit de l'ordre de 3 °C / 100 m, néanmoins certaines régions enregistrent plus de 100 °C / 100 m comme c'est le cas à Larderello (Italie), alors que d'autres sites ne dépassent pas 1 °C / 100 m comme c'est le cas pour Padoue (Italie).

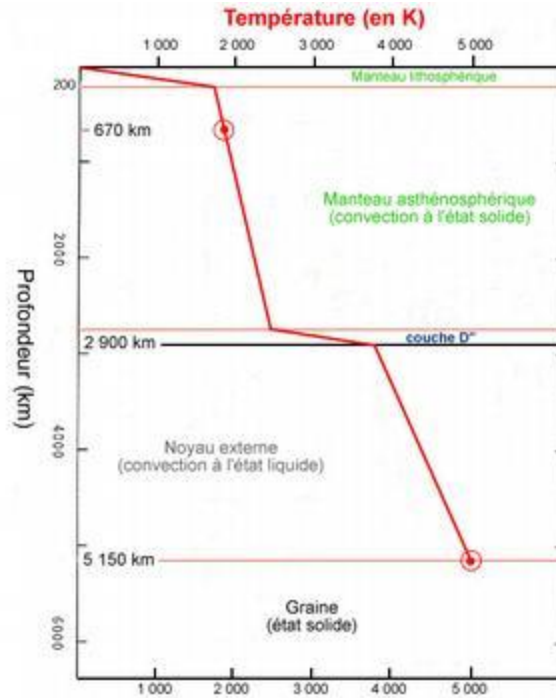


Figure (II.5) : Courbe illustrant le gradient géothermique.

### II.10. Méthodes usuelle d'exploration

Les méthodes d'exploration de la géothermie sont généralement celles utilisées dans la prospection pétrolière ou en hydrogéologie [18]:

- **Les méthodes géologiques** utilisent les données de terrain, les photographies aériennes et les images satellites.

Le but recherché est la détermination des structures géologiques, la localisation des zones et structures volcaniques et les altérations hydrothermales.

- **Les méthodes géochimiques** s'occupent des prélèvements des mesures et des analyses sur les eaux, les gaz et les dépôts hydrothermaux. Il est attendu de ces méthodes la détermination des caractéristiques physiques et chimiques des eaux telles que la température, le pH, les débits, la détermination de la température d'équilibre eaux-roches, etc. Ces méthodes sont généralement les moins coûteuses.

- **Les méthodes géophysiques** sont généralement celles utilisées dans la recherche hydrogéologique ou dans recherche pétrolière, cependant certaines méthodes ont été affinées et des techniques ont été développées pour les besoins de la prospection géothermique.

## CHAPITRE II : L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE

---

Les méthodes les plus courantes sont les mesures thermométriques dans les forages, la prospection électrique, la prospection magnétique et la prospection gravimétrique.

D'autres techniques d'exploration telles que le paléomagnétisme, les modèles de mélanges, l'étude des isotopes ou encore les méthodes magnétotelluriques sont venues compléter les méthodes classiques

### II.11. LA GEOTHERMIE DANS LE MONDE

La géothermie, comparée aux autres sources d'énergies renouvelables (Tableau II.1), se place au premier rang avec 79,6 % de la production électrique mondiale évaluée en 1996, à 42 053 GWh/an pour une capacité installée de 7 049 MWe [19]. Pour ce qui est de l'utilisation directe, mode d'exploitation le plus répandu dans le monde, la puissance totale est évaluée à près de 37.000 GWh/an pour une capacité installée de près de 10.000 GWh/an [20]. Selon les références citées plus haut, l'utilisation directe de cette énergie, se répartit comme suit : Chauffage des locaux 33 %, Balnéothérapie: 19 %, Chauffage des serres: 14 %, Pompe à chaleur: 12 %, Pisciculture: 11 %, Industrie: 10 %.

**Tableau (II.1): Production électrique par les énergies renouvelables**

Source	Capacité installée		Production par an	
	MWe	%	GWh/an	%
<b>Géothermie</b>	<b>7049</b>	<b>52</b>	<b>42053</b>	<b>79,6</b>
<b>Energie éolienne</b>	<b>6050</b>	<b>44,7</b>	<b>9933</b>	<b>18,6</b>
<b>Energie solaire</b>	<b>175</b>	<b>1,3</b>	<b>229</b>	<b>0,4</b>
<b>Energie des vagues</b>	<b>264</b>	<b>2,0</b>	<b>602</b>	<b>1,2</b>

### II.12. La géothermie en Algérie

#### II.12.1. L'exploration :

En Algérie la recherche géothermique rentre dans le cadre des activités du Centre de Développement des Energies Renouvelables C.D.E.R. de Bouzaréah et fut aussi l'objet de recherches à la SONATRACH (Direction Recherche et Développement, 1980)

Les études en géothermie ont été menées principalement sur le Nord algérien ; Ces études montrent que le Nord de l'Algérie compte un nombre important de sources thermales. Près de 200 sources ont été inventoriées, elles sont réparties à travers tout le territoire nord algérien, majoritaires au Nord-Est, Parmi les plus importantes, nous pouvons citer Hammam Meskoutine (98°C) à Guelma ; Hammam Boutaleb (52°C) à Sétif et Hammam Bouhanifia (66°C) à Mascara. Ces nombreuses sources thermales émergent principalement à partir des calcaires jurassiques du Nord de l'Algérie. Trois zones à fort gradient géothermique sont mises en évidence ; au Nord-Ouest, au Nord- Est et au Centre-Nord de l'Algérie, plus particulièrement dans les régions d'Oran, de la Kabylie et de Constantine.

En plus des nombreuses sources thermales dans le Nord du pays, il existe dans le Sud algérien et plus exactement dans le Sahara septentrional une importante réserve en eau thermale qui est la nappe du Continental Intercalaire. [21]

**Tableau (II.2) :** Principales Caractéristiques physico-chimiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie

Sources thermales	Région	Faciès chimique	Résidus Secs (mg/l)	Température (°C)	Débit (l/s)
H. Chellala	Guelma	Sulfaté magnésien	1600	98	100
H.Bou Hadjar	Ain-Temouchent	Chloruré sodique	3210	66.5	-
H.Bouhanifia	Mascara	Bicarbonaté sodique	1400	66	-

## CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

---

H. Boutaleb	Sétif	Chloruré sodique	3416	52	-
H.Essalihine	Khenchla	Chloruré sodique	2082	70	-
H. Salhine	Skikda	Sulfaté magnésien	2046	55	-
H.Sidi Bou Abdellah	Relizane	Chloruré sodique	1194	51	-
H. Delaa	Msila	Sulfaté sodique	1980	42	-
H. Rabi	Saida	Chloruré sodique	1524	47	-
H. Sillal	Bejaia	Chloruré sodique	2221	46	-
H. Ben Haroun	Constantine	Chloruré sodique	3762	42	10

### II.12.2.l'exploitation :

En Algérie, depuis fort longtemps les eaux thermales ont été utilisées pour leurs bienfaits thérapeutiques. Les sculptures découvertes dans les régions des hammams indiquent que bien avant l'époque romaine des établissements balnéaires existaient à ces endroits. Mais ce sont surtout les romains qui ont le mieux développé les techniques de captation et de canalisation des eaux thermales. Très souvent, ils ont construit leurs villes à proximité des établissements thermaux afin de tirer le meilleur parti de ces sources thermales.

Aujourd'hui, bien que le potentiel géothermique soit très important dans notre pays, le domaine de l'exploitation reste limité et se restreint principalement à la balnéothérapie et aux utilisations domestiques.

Depuis 1990, une récente application de l'énergie géothermique a commencé dans le Sahara algérien. C'est dans la région de Touggourt qu'une première installation d'équipements destinés aux chauffages des serres est assurée par l'équipe du laboratoire Thermique du C.D.E.R. Bien que

## **CHAPITRE II : L'ENERGIE GEOTHERMIQUE**

---

cette application ait donné de bons résultats, elle ne s'est pas encore généralisée et reste très modeste en rapport avec le potentiel géothermique du Sud algérien. Il reste cependant à noter que l'exploitation de l'énergie géothermique peut être facilitée considérablement au Sud de l'Algérie grâce aux nombreux forages pétroliers qui traversent le sous-sol saharien [22].

### **II.12.3 .Potentiel de l'Energie Géothermique :**

La compilation des données géologiques, géochimiques et géophysique a permis d'identifier plus de deux cent (200) sources chaudes qui ont été inventoriées dans la partie Nord du Pays. Un tiers environ (33%) d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C. Il existe des sources à hautes températures pouvant atteindre 118°C à Biskra.

Des études sur le gradient thermique ont permis d'identifier trois zones dont le gradient dépasse les 5°C/100m [23] : - Zone de Relizane et Mascara

- Zone d'Aïne Boucif et Sidi Aïssa

- Zone de Guelma et Djebel El Onk

### **II.13 Avantages et inconvénients de l'énergie géothermique :**

L'énergie géothermique est une énergie renouvelable obtenue à partir de la chaleur stockée à l'intérieur de la Terre. Grâce aux lois de la thermodynamique, l'énergie thermique est transférée de

L'énergie géothermique repose généralement sur le fait que la température du sous-sol est plus chaude qu'à la surface, en hiver, et plus froide en été. C'est une conséquence du fait que les couches superficielles de la Terre sont chauffées et refroidies beaucoup plus facilement que l'intérieur, qui est maintenu à une température constante tout au long des saisons.

Cependant, l'utilisation de l'énergie géothermique implique certains avantages et inconvénients que nous analysons ci-dessous.

#### **a. Avantages de l'énergie géothermique :**

En général, les avantages de la géothermie sont supérieurs aux inconvénients. Nous listons ci-dessous les principaux avantages de l'énergie géothermique.

C'est l'énergie la plus efficace de toutes les énergies renouvelables. La quantité d'énergie thermique perdue en transportant la chaleur du fond du puits à la surface est minime.

## CHAPITRE II : L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE

---

L'énergie géothermique reste stable tout au long des différentes saisons de l'année. La source de chaleur étant de plusieurs mètres sous terre, l'inertie thermique est très élevée. La terre ci-dessus a une fonction isolante qui empêche les transmissions thermiques. L'effet est similaire à celui d'une grotte où la température est pratiquement constante tout au long de l'année.

C'est une source qui peut être trouvée n'importe où sur Terre, contrairement à ceux qui dépendent des dépôts. Cependant, il existe des sites plus favorables que d'autres. Par exemple, dans les zones volcaniques, la température dans le sous-sol est facilement plus élevée.

Il est indépendant des variations météorologiques. C'est une différence importante en ce qui concerne l'énergie solaire. Peu importe si le temps est nuageux, s'il pleut ou si les marais liés à l'énergie hydraulique sont pleins ou vides.

Il peut être utilisé d'une manière particulière, par exemple dans des maisons isolées où l'électricité n'arrive pas. Dans le cas des maisons unifamiliales, en fournissant une température constante toute l'année près de 15°, l'énergie géothermique peut être utilisée pour refroidir l'environnement.

L'énergie géothermique présente l'avantage de ne nécessiter aucune combustion de matériaux (ni uranium, ni combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon ou le gaz naturel). Par conséquent, il ne se termine pas avec les réserves de cela. C'est la raison pour laquelle il est considéré comme une énergie renouvelable.

Les déchets produits sont minimes et ont moins d'impact sur l'environnement que ceux produits par les énergies de combustion, nucléaires ou d'hydrocarbures. Un arrêt indépendant typique d'émission de deux tonnes par an de dioxyde de carbone en cas d'utilisation de l'énergie géothermique par rapport un boîtier avec chaudière à gaz naturel.

Un avantage important est la facilité de maintenance.

L'énergie géothermique à de hautes performances et une faible consommation.

Économies économiques. Par exemple, dans une maison d'environ 150 à 180 mètres carrés, les économies économiques impliquées sont de 70%.

Le temps de retour est très bas. Une installation d'énergie géothermique est amortie entre quatre et six ans, ce qui signifie que pendant ce temps, tout l'argent économisé en énergie est égal au prix qu'il a fallu pour installer la technologie.

L'impact visuel est minime, car il s'agit d'une installation à distance. Dans le cas de la climatisation est généralement fait avec chauffage par le sol. Il n'y a pas besoin de ventilateurs ou d'appareils intérieurs dans les chambres ou à l'extérieur, juste une pompe.

### **b. inconvénients de l'énergie géothermique :**

C'est une nouvelle technologie et moins connue que les autres sources d'énergie. Il est également difficile de calculer le nombre de projets.

Le principal inconvénient de l'énergie géothermique est précisément sa propre nature. Il est nécessaire de l'extraire du sous-sol. Pour cette raison, les premières phases du processus sont longues et coûteuses. Impossibilité d'exploiter cette source d'énergie partout, il faut d'abord identifier que le lieu est l'idéal et les caractéristiques géologiques de la terre. L'énergie géothermique n'est pas viable dans les terrains rocheux et instable en raison de la difficulté de construire des puits.

Il est plus difficile à installer en particulier dans les grandes villes. L'inconvénient des villes est que le sous-sol appartient à la mairie et est occupé par d'autres services tels que les canalisations d'égout, le gaz et l'électricité, etc.

Pour réaliser un projet d'installation d'énergie géothermique, il est nécessaire d'effectuer des études préalables. Ces études nécessitent des machines spécifiques et des investissements importants dans la phase initiale du projet.

En outre, les autres inconvénients de l'énergie géothermique sont les suivants:

Emissions toxiques. En cas d'accident ou de fuite, l'hydrogène sulfuré peut être libéré, ce qui est détecté par son odeur d'œufs pourris, mais qui n'est pas perçu en grande quantité et est mortel. Dans ces cas, il y aurait aussi un risque que des substances toxiques, telles que l'arsenic, l'ammoniac, etc., soient rejetées et contaminent les eaux avoisinantes.

Impact environnemental. Pour exploiter ce type d'énergie, il est nécessaire de forer la surface de la terre avec la détérioration conséquente du paysage. Cet inconvénient est particulièrement important dans les grandes installations géothermiques, dans les maisons unifamiliales, l'impact environnemental de l'énergie géothermique est pratiquement imperceptible.

Utilisation locale seulement. Il ne peut pas être transporté comme source principale de chaleur, il doit être consommé au même endroit d'où il provient. D'un autre côté, dans les centrales géothermiques, ce problème disparaît puisque l'électricité peut être transportée.

***CHAPITRE III :***  
***LES APLPLICATIONS***  
***DE L'ENERGIE***  
***GEOOTHERMIQUE***

### . Introduction :

Les possibilités d'utilisation de l'énergie géothermique sont multiples et variées. Elles vont de la pisciculture à la production d'électricité.

Elles ont été synthétisées par Lindal dans un diagramme qui porte son nom (Tableau III.1).

L'exploitation de cette énergie est divisée en deux catégories : production d'électricité et applications directes.

De nombreux pays exploitent activement cette ressource aussi bien pour la production d'électricité que pour d'autres utilisations.

En Algérie, la balnéothérapie demeure pratiquement la seule utilisation directe de cette énergie.

Les possibilités réelles de cette ressource demeurent mal connues.

La disponibilité d'autres ressources énergétiques et le coût élevé des opérations d'exploration sont probablement les principales raisons qui ont empêché le développement et la valorisation de cette énergie.

### III.1. Historique de l'énergie géothermique

La plus ancienne application des sources thermales est la balnéothérapie. Elle fut utilisée par les grecs, les turques, les romains...etc.

La plus importante exploitation de la géothermie est dans le domaine de la production d'électricité. En 1904, le prince Piero Ginori Conti promut cette industrie pour la première fois dans le monde à Larderello en Italie.

C'est donc grâce à l'Italie qu'un élan considérable dans le domaine de l'exploitation de l'énergie géothermique a été accompli.

Après un demi-siècle, la Nouvelle Zélande commença alors la production de l'énergie géothermique; suivie par la suite, par les Etats Unis en Californie notamment et à San Francisco en particulier.

Depuis, bien d'autres pays ont à leurs tours investis dans ce domaine, c'est le cas du Japon, du Mexique, du Salvador, de l'Islande et de la Turquie. [24]

### III.2. L'utilisation de l'énergie géothermique

-Les utilisations de la géothermie dans le monde sont nombreuses.

Elles sont résumées dans le tableau 2 suivant (diagramme de Lindal) :

**Tableau (III.1): l'utilisation de la géothermie à travers le monde**

T (°C)	Domaine d'utilisation	
190	Réfrigération par absorption	Production d'électricité par la méthode conventionnelle
180	Préparation de pâte à papier	
170	Fabrication d'eau lourde	
160	Séchage de poisson, séchage de bois	
150	Fabrication d'alumine	

## CHAPITRE III: LES APPLICATIONS DE L'ENERGIE GEOTHERMIQUE

140	Séchage de produits agricoles	
130	Evaporation	
120	Production d'eau douce par distillation	
110	Séchage de parpaings de ciment	Production d'électricité par cycle binaire
100	Séchage de légumes	
90	Déshydratation	
80	chauffage de serres. Chauffage urbain	
70	Réfrigération	
60	Elevage d'animaux	
50	Balnéothérapie	
40	Chauffage de sols	
30	Piscine, fermentation	

### III.3. CHAUFFAGE DES HABITATIONS

Le principe consiste à prélever des calories dans le sol à l'aide d'un réseau de tubes de cuivre qui constituent le capteur et à restituer ces calories dans un réseau traditionnel de plancher chauffant qui est l'émetteur. Ce type de chauffage est réservé de fait à la maison individuelle. Le cuivre trouve une application maîtresse dans ce système de chauffage aussi bien pour le réseau extérieur enterré que pour le plancher chauffant.

Le chauffage de logements est la première application de la géothermie dite de "basse énergie". De multiples solutions existent en fonction de la température de la ressource et de celle du réseau de chaleur. Pour une maison familiale ou un immeuble, le chauffage de basse température peut être assuré par une ou plusieurs sondes géothermiques installées dans des forages de 100 à 200 m et couplées à une pompe à chaleur.

Dans le cas d'un réseau de chauffage urbain de taille importante, un aquifère profond peut être exploité par un doublet géothermique. Selon le type d'installation, la géothermie couvre de 50% à

100% des besoins en chaleur. Après utilisation des sources chaudes pour le chauffage, l'eau récupérée peut assurer l'alimentation des piscines des stations thermales qui rentre dans le domaine de la santé et des loisirs.

### III.4. AGRICULTURE

Les deux applications principales de la géothermie dans le domaine agricole sont la pisciculture et les serres. Les cultures sous serres constituent une option intéressante, car les besoins en énergie sont élevés. C'est en Italie, en Hongrie et en Islande que l'on trouve les plus grands complexes de serres chauffées par la géothermie. En ce qui concerne la pisciculture, une augmentation de la température de quelques degrés et surtout son maintien à un niveau constant produit un accroissement du métabolisme chez les poissons et les crustacés. Dans le domaine de la fabrication de produits alimentaires, des températures entre 40° C et 100° C sont utilisées pour déshydrater fruits et légumes. A partir de 60° C, de l'air réchauffé peut servir au séchage de produits agricoles, de poissons et de bois.



Figure (III.1) : une serre agricole

### III.5. INDUSTRIE

La mise hors gel de grands bâtiments industriels peut être assurée par une ressource géothermique de température modérée, mais la plupart des besoins en eau chaude ou en vapeur de l'industrie se situent entre 100° C et 200° C. Si la ressource géothermique est inférieure à 100° C, elle sera utilisée pour préchauffer l'eau, dont la température sera ensuite relevée au moyen d'une chaudière

### **CHAPITRE III: LES APPLICATIONS DE L'ENERGIE GEOTHERMIQUE**

---

à gaz ou à fuel. De nombreux processus nécessitent de grandes quantités d'eau chaude, tels que la fabrication de pâte à papier, le lavage de textiles, l'extraction de substances chimiques ou encore l'évaporation de solutions concentrées

***CHAPITRE IV :***  
***ETUDE D'UNE***  
***INSTALLATION DE***  
***CHAUFFAGE DE***  
***HAMMAM KSANA***

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

### Introduction :

Le chauffage des locaux est l'une des applications les plus répandues de l'exploitation directe de l'énergie géothermique, il consiste à la distribution du fluide caloporteur à partir de la source géothermale vers les locaux à chauffer.

L'objectif principal du présent ce travail est le chauffage des chambres de l'hôtel de HAMMAM KSSANA (Bouira) et atteindre une température de 22°C

### IV.1. Présentation de la région d'étude :

#### IV.1.1.cadre géographique :

La région d'étude se situ à 37km au sud-ouest de la wilaya de Bouira (zone climatique C) qui comprend les Hauts-Plateaux compris entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien.

Température intérieure de base	Température extérieure de base	Altitude
18°C	-2°C	750m

Tableau (IV.1) : données de base du chauffage suivant la zone C [25]



Figure (IV.1) : Hammam ksana

## **CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA**

### **IV.2. Les sources chaudes de Hammam ksana :**

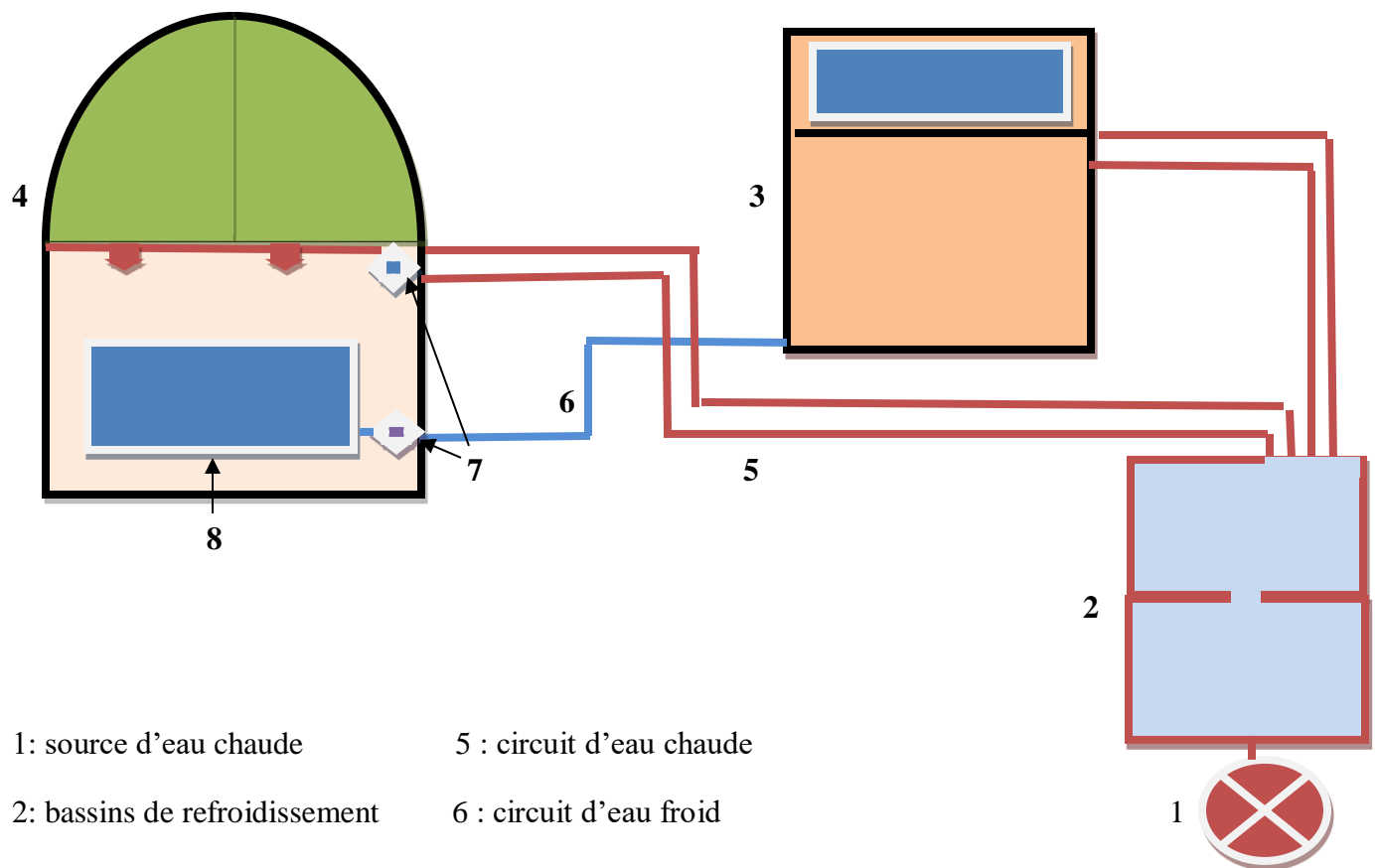
La source thermale de Hammam Ksana se situé dans le prolongement Ouest de la chaîne marno-calcaire des Bibans issue du cycle orogénique alpin. A Ce titre, la température observée provient exclusivement du gradient géothermique avec une influence probable des radiations à partir des roches plutoniques profondes. Quant aux minéralisations, elles s'expliquent par le lessivage des horizons évaporitiques supérieurs.

### **IV.3. Les installations de chauffage géothermique actuel à Hammam Ksana :**

#### **IV.3.1. Le bain de vapeur :**



**Figure (IV.2) : le bain de vapeur**



- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| 1 : source d'eau chaude        | 5 : circuit d'eau chaude |
| 2 : bassins de refroidissement | 6 : circuit d'eau froid  |
| 3 : réservoir ouvert d'eau     | 7 : robinet              |
| 4 : bain de vapeur             | 8 : bassin               |

Figure (IV.3) : schéma de l'installation du bain de vapeur

**CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM  
KSANA**

**IV.4. Etude d'une installation de chauffage de l'hôtel de Hammam ksana :**

**IV.4.1. Plan de l'hôtel :**

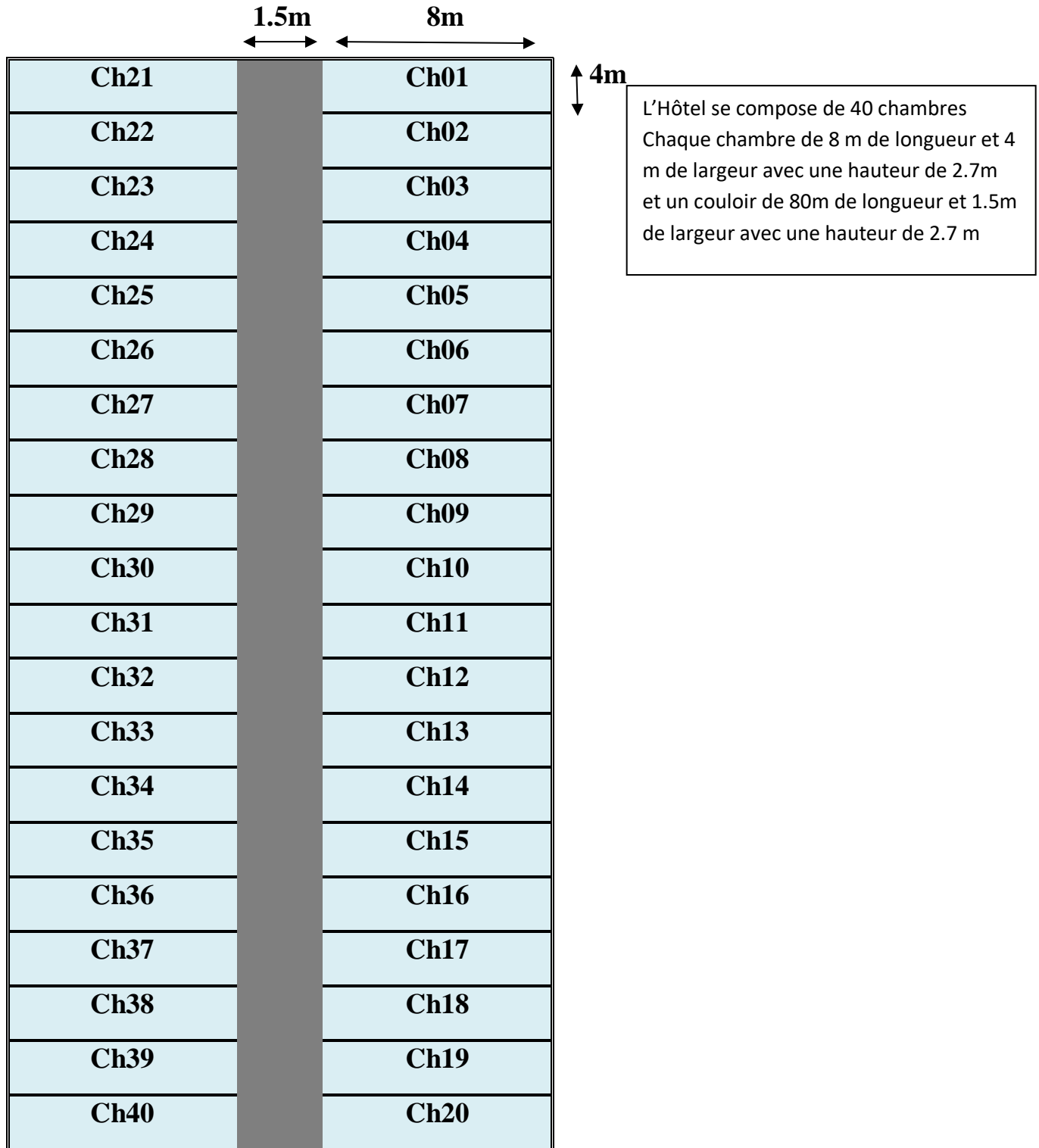
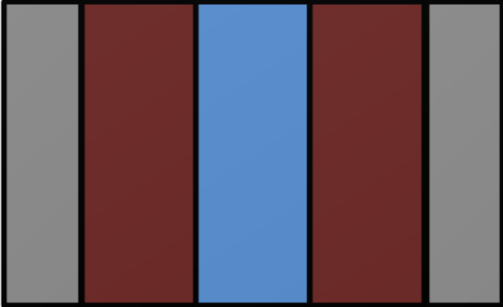
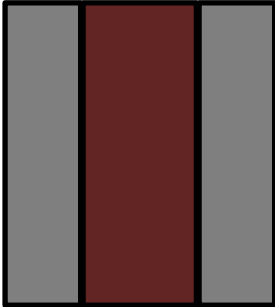
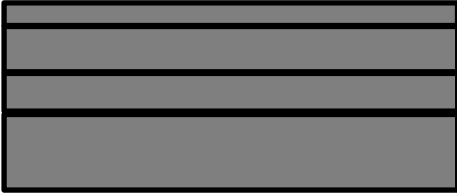



Figure (IV.4) : plan de l'hôtel

**CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM  
KSANA**

**IV.4.2. Compositions des parois :**

Désignation et représentation		Résistance	Epaisseur (m)	$\lambda$ w/mk	R m <sup>2</sup> K/w
<p>1 2 3 4 5</p>  <p>Mur extérieur</p>	Super ext	–	–	0.06	
	1. Enduit	0.01	0.35	0.02	
	2. Brique	0.1	0.69	0.14	
	3. L'air	0.1	–	0.16	
	4. Brique	0.1	0.69	0.14	
	5. Plâtre	0.01	0.17	0.06	
	Super Int	–	–	0.11	
<p>1 2 3</p> 	Super Int	–	–	0.11	
	1. Plâtre	0.01	0.17	0.06	
	2. Brique	0.1	0.69	0.14	
	3. Plâtre	0.01	0.17	0.06	
	Super Int	–	–	0.11	
<p>1 2 3 4</p>  <p>Plancher bas</p>	1. Dal de sol	0.01	1.05	0.01	
	2. Mortier	0.03	1.15	0.03	
	3. Sable	0.025	0.6	0.041	
	4. Béton	0.1	1.75	0.06	
<p>1 2 3</p>  <p>Plancher Haut</p>	Sup ext	–	–	0.05	
	1. béton plein	0.2	1.75	0.114	
	2. l'air	0.2	–	0.14	
	3. Placoplatre	0.02	0.17	0.12	
	Sup Int	–	–	0.09	

**Tableau (IV.2) : compositions de différentes parois**

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

### IV.5. Bilan thermique des chambres d'hôtel :

On va étudier les chambres de 01 à 20

#### IV.5.1. Calcul des coefficients de transmission surfacique :

##### a. Les chambres :

On calcule  $k$  pour chaque paroi, on a la formule générale :

$$K=1/R$$

$$R = 1/h_i + 1/h_e + \sum (e_i/\lambda_i)$$

##### Chambre 01 :

On a quatre murs : Nord, Sud, Est et Ouest

- **Mur Nord :**  
 $R=0.06+0.01/0.35+0.1/0.69+0.16+0.1/0.69+0.01/0.17+0.11$   
 **$R=0.7\text{m}^2\text{K/w}$  ,  $K=1.43\text{w/m}^2\text{K}$**
- **Mur Est :**  
Même coefficient de transmission  
 **$K=1.43\text{w/m}^2\text{K}$**
- **Mur Ouest :**  
 $R=0.11+0.01/0.17+0.1/0.69+0.01/0.17+0.11$   
 **$R=0.48\text{m}^2\text{K/w}$   $K=2.08\text{w/m}^2\text{K}$**
- **Mur Sud :**  
Même coefficient de transmission  
 **$R=0.48\text{m}^2\text{K/w}$  ,  $K=2.08\text{w/m}^2\text{K}$**

##### Chambre 02 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Ouest	0.48	2.08

##### Chambre 03 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Ouest	0.48	2.08

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

---

### Chambre 04 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 05 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 06 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 07 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 08 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 09 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

---

### Chambre 10 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 11 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 12 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 13 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 14 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 15 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

---

### Chambre 16 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 17 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 18 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 19 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.48	2.08
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### Chambre 20 :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.48	2.08
Mur Sud	0.7	1.43
Mur Est	0.7	1.43
Mur Oust	0.48	2.08

### b. Le couloir :

Orientation	R (m <sup>2</sup> K/w)	K (w/m <sup>2</sup> K)
Mur Nord	0.7	1.43
Mur Sud	0.7	1.43
Mur Est	0.48	2.08
Mur Oust	0.48	2.08

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

---

### c. Les planchers :

On calcule le coefficient de transmission thermique pour les planchers Bas et les planchers Haut

▪ **Planchers Bas :**

$$R=0.17+0.05+0.03/1.15+0.025/0.6+0.1/1.75$$

$$R=0.362 \text{ m}^2\text{K/w} \quad K= 2.76\text{w/m}^2\text{K}$$

▪ **Planchers Haut :**

$$R=0.05+0.09+0.2/1.45+0.14+0.02/0.17$$

$$R=0.54 \text{ m}^2\text{K/w} \quad K= 1.85 \text{ w/m}^2\text{K}$$

### d. Les portes :

$$K=3.08 \text{ w/m}^2\text{K}$$

### e. Les fenêtres :

$$K=5.5 \text{ w/m}^2\text{K}$$

## IV.6. Calcule des déperditions thermiques :

Les déperditions totales ( $D_t$ ) sont égales à la somme des déperditions :

- Surfaiques, à traverse les parois ( $D_s$ ).
- Linéiques, à traverse les liaisons ( $D_l$ ).
- Par renouvellement d'air ( $D_r$ ).

### IV.6.1. Calcule des déperditions surfaiques totales de la chambre :

La formule générale :

$$D_s = K. S. \Delta T \text{ (W)}$$

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

### Chambre 01 :

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	$\Delta T$	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur ext	Nord	8	2.7	21.6	—	21.6	1.43	24	741.3
Mur ext	Est	4	2.7	10.8	-1	9.8	1.43	24	336.33
Mur int	Sud	8	2.7	21.6	—	21.6	2.08	0	0
Mur int	Ouest	4	2.7	10.8	-2	8.8	2.08	0	0
Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.08	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.5	24	132
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	1.85	24	1420.8
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	2.76	4	353.28
							<b>Ds=2983.72 W</b>		

Tableau (IV.3) : les déperditions surfaciques de chambre 01

### Chambre de (02 –19) :

Les chambres de 02 jusqu'à 19 ont les mêmes caractéristiques

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	$\Delta T$	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.7	21.6	—	21.6	2.08	0	0
Mur ext	Est	4	2.7	10.8	-1	9.8	1.43	24	336.33
Mur int	Sud	8	2.7	21.6	—	21.6	2.08	0	0
Mur int	Ouest	4	2.7	10.8	-2	8.8	2.08	0	0

**CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM  
KSANA**

Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.08	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.5	24	132
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	1.85	24	1420.8
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	2.76	4	353.28
							<b>Ds=2110.41W</b>		

**Tableau (IV.4) : les déperditions surfaciques des chambres 1-19**

**Chambre 20 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur ext	Nord	8	2.7	21.6	—	21.6	2.08	24	0
Mur ext	Est	4	2.7	10.8	-1	9.8	1.43	24	336.33
Mur int	Sud	8	2.7	21.6	—	21.6	1.43	24	741.31
Mur int	Ouest	4	2.7	10.8	-2	8.8	2.08	0	0
Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.08	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.5	24	132
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	1.85	24	1420.8
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	2.76	4	353.28
							<b>Ds=2983.72W</b>		

**Tableau (IV.5) : les déperditions surfaciques de chambre 20**

**CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM  
KSANA**

**Le couloir :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur ext	Nord	1.5	2.7	4.05	—	4.05	1.43	24	138.99
Mur int	Est	80	2.7	216	-40	176	2.08	0	0
Mur ext	Sud	1.5	2.7	4.05	-2	2.05	1.43	24	70.36
Mur int	Ouest	80	2.7	216	-40	176	2.08	0	0
Port	Sud	1	2	2	—	2	3.08	4	24.64
Fenêtre	Est	/	/	/	—	/	/	/	/
Plancher.PH	—	80	1.5	120	—	120	1.85	24	5328
Plancher.PB	—	80	1.5	120	—	120	2.76	4	1324.8
							<b>Ds=6886.79W</b>		

**Tableau (IV.6) : les déperditions surfaciques du couloir**

**IV.6.2. Calcule les déperditions par renouvellement d'air :**

La formule générale :

$$D_r = 0.34 \cdot q_r \cdot \Delta T$$

Avec  $q_r = q_v + q_{inf}$  tel que :  $q_v = 0$  (pas de ventilation)

$$Q_{inf} = \sum (P_{pi} \times e_{vi}) \quad \int P_{pi} = (P_{oj} \cdot A_j)$$

**Donc :  $D_r = 0.34 \cdot [(P_{oj} \cdot A_j) \cdot e_{vi}] \cdot \Delta T$**

	Poj
Fenêtre	4
Porte	6

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

### Chambre de 01-20 :

Pour chaque chambre on a une porte et une fenêtre :

**Porte :  $D_r = 0$ , ( $\Delta T = 0$ )**

**Fenêtre :  $D_r = 0.34 \cdot (4.1 \cdot 3.51) \cdot 24 = 117.43W$**

### Le couloir :

Dans le couloir il y a une porte de 1m de largeur et 2m de hauteur

**$D_r = 0.34 \cdot (1.2 \cdot 3.51) \cdot 4 = 5.73 W$**

### IV.6.3. Calcule les déperditions à travers les liaisons :

La formule générale :

**$D_l = \sum k_i \cdot l_i \cdot \Delta T$  avec :**  $\int k_i$  = longueur de la liaison (m)

$\int l_i$  = conductibilité thermique de toutes les liaisons (w/mC°)

D'après le DTU on a les déperditions à travers les liaisons sont 20 % des déperditions surfaciques

Chambre 01	596.74W
Chambres 02-19	422.08W
Chambre 20	596.74W
Couloir	1377.36W

**Tableau (IV.8) : les déperditions linéiques**

**CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM  
KSANA**

**IV.6.4. Les déperditions totales de chaque chambre :**

$$DT = Dr + DI + Ds$$

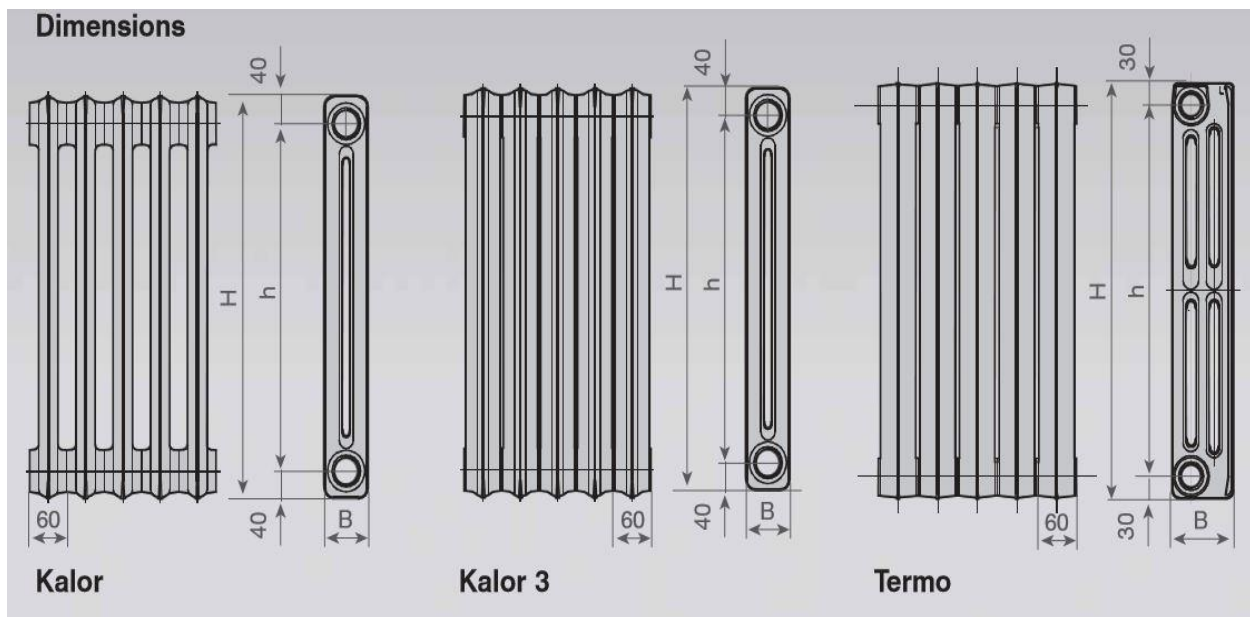
	<b>Déperditions surfactive</b>	<b>Déperditions linéiques</b>	<b>Déperditions par renouvellement d'air</b>	<b>Déperditions totales</b>
<b>Chambre01</b>	2983.72W	596.74W	117.43W	<b>3697.89W</b>
<b>Chambre02</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre03</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre04</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre05</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre06</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre07</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre08</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre09</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre10</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre11</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre12</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre13</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre14</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre15</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre16</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre17</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre18</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre19</b>	2110.41W	422.08W	117.43W	<b>2649.92W</b>
<b>Chambre20</b>	2983.72W	596.74W	117.43W	<b>3697.89W</b>
<b>Couloire</b>	6886.79W	1377.36W	5.73 W	<b>8269.88W</b>

**Tableau (IV.9) : les déperditions totales des chambres**

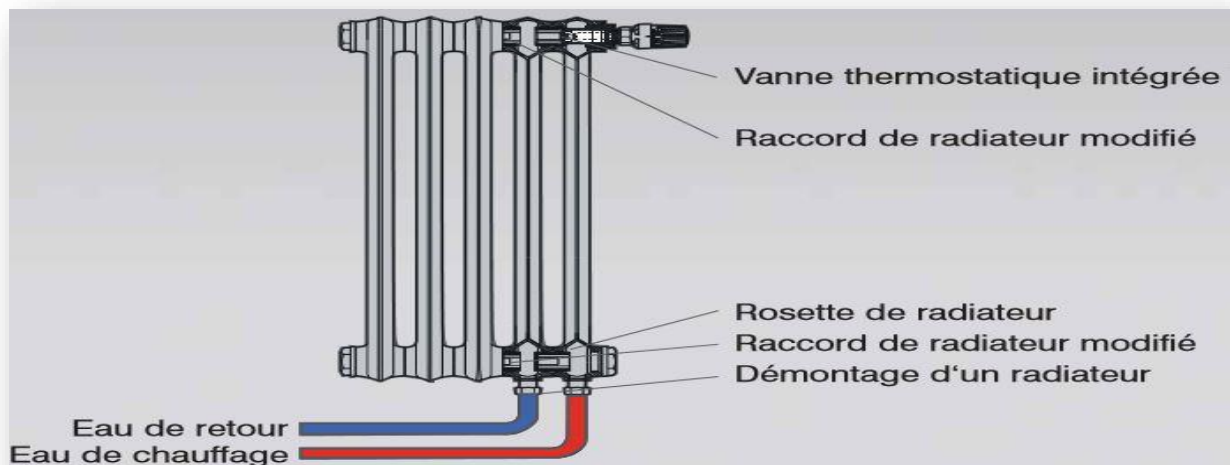
**IV.7. Choix des corps de chauffage et détermination du nombre d'élément :**

Pour ce faire, on a des modèles du radiateur présenté par VIADRUS, quand peut empaler avec choix du la hauteur et largeur et type (kolor, kolor3, thermo ...) les radiateurs performant pour nos chambres et pour une température de 22°C

**IV.7.1. Caractéristique des radiateurs [26] :**



**Figure (IV.10) :** les dimensions de différents modèles de radiateurs.



**Figure (IV.11) :** composition de radiateur

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

Caractéristiques techniques								
Type	Largeur d'assemblage / profondeur h/B mm	Vis d'assemblage pouces	Hauteur totale H mm	Poids d'un élément kg / élément	Puissance d'un élément 75/65/20°C    90/70/20°C W / élément    W / élément		Surface équivalente de chauffage m <sup>2</sup> / élément	Volume d'eau d'un élément l / élément
<b>KALOR</b>	350/160	5/4"	430	4,30	70,3	88,3	0,185	0,8
	500/70	5/4"	580	3,20	53,8	67,4	0,120	0,5
	500/110	5/4"	580	4,00	70,3	88,3	0,180	0,8
	500/160	5/4"	580	5,60	91,7	115,2	0,255	1,1
	500/220	5/4"	580	6,95	119,7	151,3	0,345	1,3
	600/160	5/4"	680	6,60	109,8	138,4	0,306	1,2
	900/70	5/4"	980	5,20	82,9	104,7	0,205	0,8
	900/160	5/4"	980	10,60	149,7	190,1	0,440	1,5
<b>KALOR 3</b>	350/160	5/4"	430	4,90	82,9	104,1	0,208	0,8
	500/70	5/4"	580	3,70	60,8	76,5	0,163	0,5
	500/110	5/4"	580	4,70	78,3	98,5	0,215	0,8
	500/160	5/4"	580	6,20	102,2	129,3	0,290	1,1
	900/70	5/4"	980	6,10	95,8	121,6	0,240	0,8
<b>TERMO</b>	500/95	1"	560	4,35	73,4	92,9	0,192	0,6
	500/130	1"	560	5,36	91,0	115,2	0,254	0,8
	623/95	1"	683	5,08	88,7	112,8	0,230	0,8
	623/130	1"	683	6,46	108,8	137,9	0,303	1,0
	813/95	1"	873	6,70	109,3	139,6	0,310	1,0
	813/130	1"	873	8,80	136,1	173,0	0,380	1,3

Figure (IV.12) : les caractéristiques techniques des différents modèles

## **CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA**

---

### **IV.7.2.Emplacement des radiateurs :**

#### **Chambre (01,20) :**

Déperditions totales : **3697.89W**

On place le modèle kalor avec une hauteur de 980 mm et une largeur de 900mm

Et une puissance de 149.7w par élément

Nombre d'éléments :

$$3697.89/149.7=24.7$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire est **25**

#### **Chambre (02 jusqu'à 19) :**

Déperditions totales : **2649.92W**

On place le modèle kalor avec une hauteur de 980 mm et une largeur de 900mm

Et une puissance de 149.7w par élément

Nombre d'éléments :

$$2649.92/149.7 =17.7$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire est **18**

#### **Le couloir :**

Déperditions totales : **8269.88W**

On place le modèle kalor avec une hauteur de 980 mm et une largeur de 900mm

Et une puissance de 149.7w par élément

Nombre d'éléments :

$$8269.88/149.7 =55.24$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire est **55**

**IV.8. Conclusion :**

D'après les déperditions de chaque locale chauffée on a installé le modèle KALOR comme suivant :

Le couloir : 55 éléments avec une hauteur de 980mm et largeur de 900m et puissance de 149.7w/élément

Chambre 01 et 20 : 25 avec une hauteur de 980mm et largeur de 900m et puissance de 149.7w/élément

Chambre de 02 jusqu'à 19 : 18 avec une hauteur de 980mm et largeur de 900m et puissance de 149.7w/élément

Pour atteindre une température de chauffage de 22°C



## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

---

Pour réaliser le **dimensionnement d'un échangeur de chaleur**, il faut considérer plusieurs phénomènes thermiques :

- La **convection** forcée de chacun des 2 fluides. La convection est la transmission calorifique entre une paroi et un fluide en déplacement, tous deux ayant des températures différentes. Dans le cas des échangeurs thermiques, on parle de convection forcée puisqu'elle est provoquée par circulation artificielle (pompes, turbines, ventilateurs...)
- La **conduction**. C'est le transfert calorifique qui s'effectue naturellement à travers les parois, les plaques et les tubes. Ce phénomène repose sur le principe d'agitation thermique sans qu'il y ait déplacement de matière.
- Le **rayonnement** thermique qu'on peut considérer comme négligeable

Donc, le transfert de chaleur qui a lieu au sein d'un échangeur fait intervenir le mode convectif dans chacun des deux fluides et le mode conductif à travers la paroi qui les séparent.

Généralement, le rayonnement est faible et sera négligé.

### IV.9.2.Principe générale :

Le principe est de faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. Ces fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi métallique ce qui favorise les échanges de chaleur.

En générale, le fluide chaud cède de la chaleur au fluide froid.

Le principale problème consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée. la quantité de chaleur transférée ne dépend pas seulement de la surface d'échange entre les deux fluides mais aussi de nombreux autre paramètres.

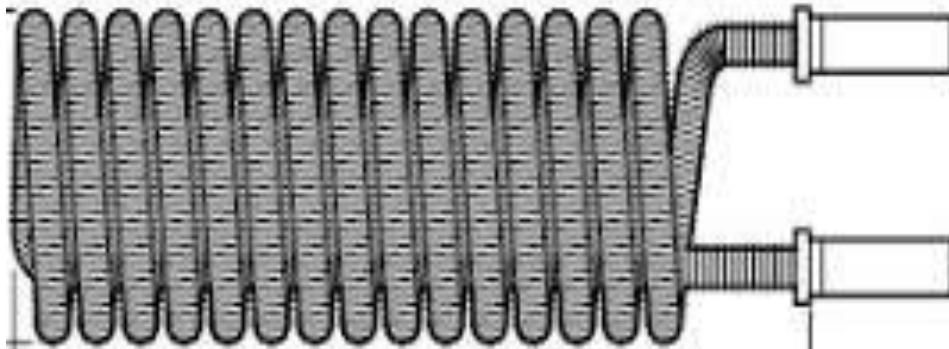
Les flux de chaleurs transférées dépendent aussi :

- Des températures d'entrée.
- Des caractéristiques thermiques des fluides (chaleur spécifiques, conductivité).
- Des coefficients d'échange par convection

**IV.9.3. Le choix technologique :**

L'échangeur de chaleur utilisé est de type serpentin, cette sélection est liée au :

- La nature de fluide : le fluide est très agressif.
- La facilité de l'entretien et le nettoyage.
- L'application : l'utilisation de l'échangeur est pour le chauffage des locaux.
- L'échangeur de chaleur de type serpentin a un bon rendement.



**Figure (IV.6) : schéma d'un serpentin**

#### **IV.9.4.Dimensionnement thermique :**

On utilise l'échangeur de chaleur à effet double (chauffage centrale et l'abaissement de la température de l'eau des bains).

##### **IV.9.4.1.La puissance :**

On a les formules suivantes :

$$P_{chaud} = P_{froid}$$

$$P_{chaud} = Q \times C_p \times \Delta T_{chaud}$$

$$P_{froid} = Q \times C_p \times \Delta T_{froid}$$

Les caractéristiques de l'eau chaude :

$$Q_v = 8 \text{ l/s}$$

$$T_{ce} : 92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{cs} : 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Les caractéristiques de fluide froid :

$$T_{fe} : 35 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (température d'entre de l'échangeur)}$$

On a choisi le régime de  $\Delta T = 30$  de radiateur

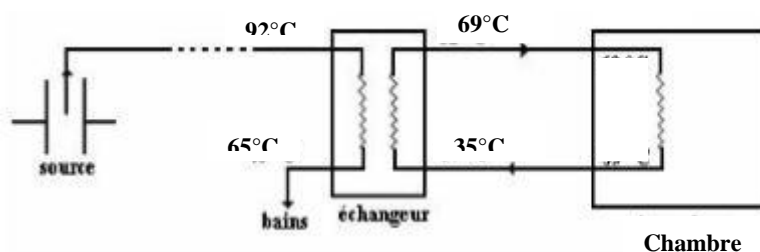
$$\Delta T = T_e + T_s / 2 - T_{\text{ambient}}$$

$T_{fe} = T_s$  (on néglige les pertes de charge avec  $T_s$  : température de sortie de radiateur)

Donc :

$$\Delta T = T_e + 35 / 2 - 22$$

$$T_e = 69 \text{ } ^\circ\text{C}$$



**Figure (IV.7) : Schéma du circuit de distribution**

## CHAPITRE IV : ETUDE D'UNE INSTALLATION DE CHAUFFAGE DE HAMMAM KSANA

---

$$P_{chaude} = q_m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_m = Q_v \cdot \rho$$

$$Q_m = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3$$

$$Q_m = 8 \text{ kg/s}$$

$$P_{chaude} = 8 \cdot 4180 \cdot (92 - 65)$$

$$P_{chaude} = 902880 \text{ W}$$

On a  $P_{chaude} = P_{froid}$  donc

$$902880 = Q_{mf} \cdot C_p \cdot \Delta T_f$$

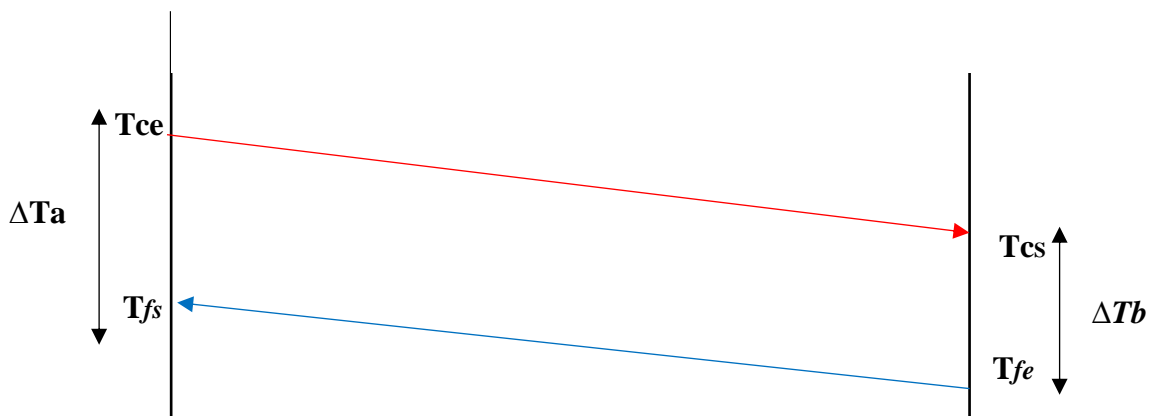
$$Q_{mf} = 902880 / 4180 \cdot (69 - 35)$$

$$Q_{mf} = 6.35 \text{ Kg/s}$$

$$Q_{vf} = 6.35 \text{ l/s}$$

### IV.9.4.2. Calcul de $\Delta T_{LM}$ :

On a choisi le mode contre-courant :



$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)}$$

$$\text{Avec : } \Delta T_a = T_{ce} - T_{fs}$$

$$\Delta T_b = T_{cs} - T_{fe}$$

$$\Delta T_a = 92 - 69 ; \Delta T_a = 23$$

$$\Delta T_b = 65 - 35 ; \Delta T_b = 30$$

$$\Delta T_{LM} = \frac{23 - 30}{\ln(23 / 30)}$$

$$\Delta T_{LM} = 26.41$$

### Conclusion Générale :

L'énergie géothermique est l'une des plus importantes énergies renouvelables largement utilisées dans le monde, en raison de son absence de désavantages et de sa grande fiabilité, notamment en utilisation directe, utilisable en permanence et non liée aux changements d'air comme les autres énergies renouvelables.

Son utilisation répandue est due à la multiplicité des applications telles que la production d'électricité, le chauffage des habitations et la serre agriculture

Le travail que nous avons fait c'est un étude théorique et dimensionnement d'une installation de chauffage géothermique de hammam ksana avec l'utilisation d'un échangeur de chaleur.

Les calculs thermiques nous ont permis de déterminer les caractéristiques et l'emplacement des systèmes de chauffage (radiateurs) avec leur distribution

L'étude et le dimensionnement de système de chauffage a prise en compte les nécessaires de hammam ksana notamment le besoin d'abaissé la température de l'eau thermal pour l'utiliser dans les bains.

L'absence d'informations sur les propriétés chimiques de l'eau thermale nous a gênés à la sélection de matériau de l'échangeur de chaleur donc l'absence de la valeur du coefficient d'échange et la surface d'échange

La Détermination des propriétés chimiques de l'eau thermale à l'avenir permettra la réalisation et finir de cette étude.

Enfin, l'étude de ce projet nous ouvre des voies prometteuses pour l'avenir de l'utilisation de l'énergie géothermique et la valorisation du gisement géothermique en Algérie, ceci dans le domaine de chauffage de l'habitation.

# Bibliographie

- [1] Planète-énergies. [En ligne]. [Consulté le 15 Mai 2009]. Disponible sur :  
<http://www.planete-energies.com/contenu/energie/consommation.html>
- [2] Energies nouvelles. [En ligne]. [Consulté le 15 Mai 2009] Disponible sur :  
[www.energiesnouvelles.free.fr/Sources/fossile\\_fissile/nucleaire.html](http://www.energiesnouvelles.free.fr/Sources/fossile_fissile/nucleaire.html).
- [3] <http://www.energies-renouvelables.org> (baromètre européen de la filière éolienne)
- [4] <https://www.slideshare.net/ImeneImene2/prsentation-nergie-olienne>
- [5] <http://s2.e-monsite.com/2010/02/12/09/>
- [6] <http://s2.e-monsite.com/2010/02/12/09/eolienpresentat1vent>.
- [7] <http://www.espace-eolien.fr> : site d'un bureau d'étude spécialisé en énergie éolienne
- [8] <http://s2.e-monsite.com/2010/02/12/09/eolienpresentat1vent>.
- [9] [http : www.etapenergie.com](http://www.etapenergie.com)
- [10] [www.energiesrenouvelables.org](http://www.energiesrenouvelables.org)
- [11] Centrale géothermique de Nesjavellir en Islande
- [12] Centre d'Information sur l'Energie et l'Environnement, 2005: Les énergies renouvelables, la géothermie. Rapport d'activité 2005. [www.ciel.org](http://www.ciel.org)
- [13] <https://commons.wikimedia.org>
- [14] [www.explorateurs-energie.com](http://www.explorateurs-energie.com)
- [15] l'article 19 de la loi n°2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement
- [16] Syndicat des énergies renouvelables françaises [www.enr.fr](http://www.enr.fr)
- [17] : OUALI SALIMA .Mémoire de Magister En géophysique. ETUDE GEOTHERMIQUE DU SUD DE L'ALGERIE.
- [18] A. Fekraoui et A. Abouriche Centre de Développement des Energies Renouvelables. BP 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger
- [19] I.B Fridleifsson, 'Geothermal in Comparison with other Energy Resources'; IGA NEWS, Newsletter of the International Geothermal Association. N°35,1999.

- [20] I.B. Fridleifsson, 'Direct Use of Geothermal Energy Around the World', GEO-HEAT, Center Bulletin, Vol. 19, N°4; 1998
- [21](Kedaid et al, 1988) ; (Rezig, 1992) ; (Rezig, 1991)
- [22](Kedaid et al, 1988) ; (Rezig, 1992) ; (Rezig, 1991)
- [23] D. SEMMAR Chargé de Recherche Université Saad Dahleb Blida, Bulletin des Energies Renouvelables, N°5 Juin 2004
- [24] OUALI SALIMA .Mémoire de Magister En géophysique. ETUDE GEOTHERMIQUE DU SUD DE L'ALGERIE
- [25] Document technique réglementaire
- [26] VIADRUS. [www.viadrus.net](http://www.viadrus.net)

# ANNEXE



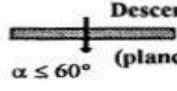
## ANNEXE 01

### 1. Zonage climatique

Wilaya	Communes	Zone
07 BISKRA	Toutes les communes	D
08 BECHAR	Toutes les communes	D
09 BLIDA	Toutes les communes	B
10 BOUIRA	<p>Groupe de Communes 1 : Aghbalou - Ahl El Ksar - Aidane - Ain El Hadjar - Ain Laloui - Ain Turk - Bechloul - Bordj Okhriss - Bouira - Chorfa - Dirah - El Adjiba - El Asnam - El Hachimia - El Hakimia - Hadjera Zerga - Halzer - Maamora - M'Chedallah - Mezdour - Oued El Berdi - Ouled Rached - Saharidj - Taghzout - Tsguedit</p> <p>Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.</p>	C B

## ANNEXE 02

### 2. Les résistances thermique d'échange superficiels intérieur $r_i=1/h_i$ et extérieur $r_e=1/h_e$

$\frac{1}{h}$ en $m^2 \cdot ^\circ C/W$	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 Ascendant (toiture) $\alpha \leq 60^\circ$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 Descendant (plancher) $\alpha \leq 60^\circ$	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

## ANNEXE 03

### 3. Les valeurs de température extérieure de base

ZONE	Altitude (m)	$t_{be}$ (en °C)	ZONE	Altitude (m)	$t_{be}$ (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000 ≥ 1000	-2 -4
	300 à 500	3			
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
B'	< 500	0	D'	< 1000	5
	≥ 500	voir Zone B			

## ANNEXE 04

### 4. Résistance thermique d'une lame d'air

Position de la lame d'air	Sens du flux de chaleur	Epaisseur de la lame d'air en mm						
		5 à 7	8 à 9	10 à 11	12 à 13	14 à 24	25 à 50	55 à 300
Horizontale	Ascendant	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
Verticale		0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
Horizontale	descendant	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,20

## ANNEXE 05

### 5. Le coefficient k pour les vitrages.

Type de vitrage	Epaisseur de la lame d'air (en mm)	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Vitrage Simple	-	Bois	5,0	5,5
		Métal	5,8	6,5
Vitrage Double	5 à 7	Bois	3,3	3,5
		Métal	4,0	4,3
	8 à 9	Bois	3,1	3,3
		Métal	3,9	4,2
	10 à 11	Bois	3,0	3,2
		Métal	3,8	4,1
	12 à 13	Bois	2,9	3,1
		Métal	3,7	4,0
Double Fenêtre	plus de 30	Bois	2,6	2,7
		Métal	3,0	3,2

## ANNEXE 06

### 6. Coefficient k des portes :

	Portes donnant sur l'extérieur	Portes donnant sur un local non chauffé
<b>Portes en bois</b>		
- Portes opaques	3,5	2
- Portes avec une proportion de vitrage < 30%	4,0	2,4
- Portes avec une proportion de vitrage comprise entre 30% et 60%	4,5	2,7
<b>Portes en métal</b>		
- Portes opaques	5,8	4,5
- Portes équipées de vitrage simple	5,8	4,5

## ANNEXE 07

### 7. La perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant

Type de parois	Valeurs de $P_0$ ( $m^3/h.m^2$ sous $\Delta P = 1 Pa$ )
Fenêtre ou porte fenêtre	4,0
Porte avec seuil et joint d'étanchéité	1,2
Porte	6,0
Double fenêtre	2,4

## ANNEXE 08

### 8. Le coefficient d'exposition au vent

Hauteur H <sup>(1)</sup> (m)	Classes de rugosité <sup>(2)</sup>				
	V	IV	III	II	I
H ≤ 4	0,40	1,47	2,71	4,06	6,36
4 < H 7	1,10	2,30	3,51	4,82	7,08
7 < H 11	1,76	3,00	4,19	5,46	7,67
11 < H 18	2,57	3,87	4,97	6,17	8,32
18 < H 30	3,50	4,80	5,80	6,93	9,02
30 < H 50	4,47	5,78	6,66	7,71	9,72



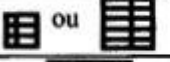


<sup>(1)</sup> La hauteur H correspond à la moyenne de la distance entre le sol et la mi-hauteur des ouvrants de la paroi considérée.

<sup>(2)</sup> Les classes de rugosité du site d'implantation du bâtiment sont définies ci-dessous :

- Rugosité de classe I : bord de mer ;
- Rugosité de classe II : rase campagne, aéroport ;
- Rugosité de classe III : zones rurales avec arbres, haies, zones faiblement urbanisées ;
- Rugosité de classe IV : zones urbaines ; zones industrielles ; forêts ;
- Rugosité de classe V : centre des grandes villes.

## ANNEXE 09

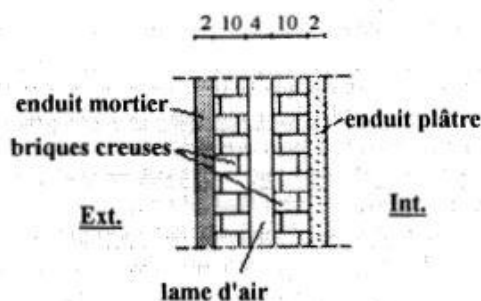
### 9. Valeurs des résistances thermiques

Résistance thermique (en m <sup>2</sup> .°C/W)									
Formes-types des briques creuses	Épaisseur des briques (cm)								
	(Résistances superficielles non comprises)								
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25
	0,10								
		0,16	0,20						
 ou 				0,27	0,30	0,33			
						0,38	0,39	0,42	0,45

## ANNEXE 10 :

### 10. Exemple de calcul

**Exemple :** Calcul du coefficient K d'un mur extérieur composé d'un doublage en briques, d'une lame d'air, enduit aux deux faces.



Le calcul est mené conformément à la méthode décrite dans le chapitre 3.

- o Enduit plâtre,  $\lambda_1 = 0,35 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  (annexe 2) .....  $r_1 = e_1 / \lambda_1 = 0,02 / 0,35 = 0,057$  arrondi à 0,06
- o Briques creuses,  $e_2 = 10 \text{ cm}$  .....  $r_2 = 0,20$  (annexe 3)
- o lame d'air,  $e_3 = 4 \text{ cm}$  .....  $r_3 = 0,16$  ( chapitre 3)
- o Briques creuses,  $e_4 = 10 \text{ cm}$  .....  $r_4 = 0,20$  (annexe 3)
- o Enduit mortier,  $\lambda_5 = 1,15 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$  (annexe 2) ....  $r_5 = e_5 / \lambda_5 = 0,02 / 1,15 = 0,02$
- o Résistances superficielles (chapitre 1) .....

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0,17$$

$$\frac{1}{K} = 0,81 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

$$K = 1,234 \text{ arrondi à } 1,23 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$