

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE AKLI MOAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département Génie Mécanique

**Mémoire de fin d'étude**

Présenté par :  
Aggoun Amine  
Meziane Abderrahmane

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Filière : GENIE MECANIQUE  
Option : énergétique

**Thème :**

**Etude et dimensionnement d'un system de chauffage à énergie  
géothermique.**

**Devant le jury composé de :**

Dr.Aberkane Sofiane

UAMOB  
UAMOB  
UAMOB  
UAMOB

Président  
Encadreur  
Examineur  
Examineur

**Année Universitaire 2020/2021**

# *Remerciements*

De manière générale, Nous tenons à remercier tous ceux, qui nous ont, de près comme de loin, aidé pendant l'élaboration de ce mémoire.

Plus particulièrement, nous remercions notre encadreur Mr **ABERKANE Sofiane** pour ses précieux conseils et son aide.

En second lieu, nous tenons à remercier Monsieur **ADJOUdje Aissa** qui nous a accueillis dans son humble complexe.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier nos parents, nos frères, nos sœurs et tous nos amis qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



*DÉDICACES*

*JE DÉDIE CE TRAVAIL À TOUS MES AMIS,  
MA FAMILLE ET TOUS CEUX QUI M'ONT  
AIDÉ À LE RÉALISER*

*Abderrahmane*

## *DÉDICACES*

*JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL À  
L'ÊTRE LE PLUS CHERS DE MA VIE  
MA MÈRE, AINSI À MES FRÈRES, À MES  
PROCHES ET AMIES.*

*Amine*

# Sommaire

Introduction général .....	1
----------------------------	---

## **Chapitre I : Energie géothermique**

I.1 introduction .....	4
I.2 La géothermie .....	5
I.3 Types de gisements géothermiques.....	6
I.3.1 La géothermie à haute énergie.....	7
I.3.2 La géothermie à moyenne énergie .....	7
I.3.3 La géothermie à très basse énergie .....	7
I.3.4 Géothermie HDR (roche chaude sèche) .....	7
I.4. Les forages.....	8
I.4.1 Techniques de forage.....	9
I.4.2 Méthodes d'exploration .....	9
I.5. Les applications de l'énergie géothermique.....	10
I.5.1 Chauffage .....	10
I.5.2 Production d'électricité .....	13
I.5.3 Agriculture .....	15
I.6 Le potentiel des ressources géothermales en Algérie .....	16
I.6.1 Province géothermique du Nord-Ouest.....	19
I.6.2 Province géothermique du Centre-Nord .....	19
I.6.3 La province géothermique du Nord-Est.....	20
I.6.4 La province géothermique de la plate-forme saharienne.....	20
I.6.5 Utilisation géothermique.....	21
I.7. Conclusion.....	21

## **Chapitre II : Etude de l'installation de chauffage**

II.1 Présentation du complexe de Hammam K'sana e Bouira .....	23
II.1.1 Histoire .....	23
II.1.2 L'emplacement géographique .....	23
II.1.3 La structure de complexe de Hammam ksana .....	24
II.1.3.1 L'unité des bains traditionnels.....	24
II.2 Données des sources chaudes de Hammam ksana .....	28
II.2.1 Température.....	28
II.2.2 Débit .....	28
II.2.3 Autres paramètres et particularités de la ressource hydraulique .....	28
II.3 Utilisation de l'eau géothermique du complexe de Hammam KSANA.....	29
II.4 Détermination du besoin de chauffage du complexe.....	29
II.4.1 Introduction .....	29
II.4.2 Présentation de l'habitation .....	30
II.4.3 Déperditions de l'hôtel .....	31

## **Chapitre III : Dimensionnement de l'installation de chauffage**

III.1 Introduction .....	44
III.2 Définition d'un échangeur de chaleur .....	44
III.3 Principe général de fonctionnement.....	44
III.4 La conception technologique des échangeurs de chaleur.....	45
III.4.1 Les échangeurs tubulaires .....	45
III.4.2 Echangeurs à plaques .....	46
III.5 Dimensionnement de l'échangeur de chaleur .....	47
III.5.1 Analyse thermique de l'échangeur de chaleur .....	48
III.6 Dimensionnement et installation des radiateurs.....	54
III.6.1 Choix du modèle de radiateurs.....	54
III.6.2 Régime de température de l'eau.....	55

III.6.3 Calcul du débit des radiateurs.....	55
III.6.4 Nombre d'éléments d'un radiateur .....	56
III.7 Dimensionnement et installation de vase d'expansion .....	58
III.7.1 Introduction.....	58
III.7.2 Fonctionnement du vase d'expansion .....	58
III.7.3 Mesuré le volume d'expansion de vase .....	59
III.8 Dimensionnement et installation d'un circulateur .....	62
III.9 Conclusion .....	62

### **Chapitre IV : Résultats et discussions.**

IV.1 introduction .....	64
IV.2 Détermination du besoin de chauffage.....	64
IV.2.1 Calcul du coefficient de transmission surfacique des murs .....	64
IV.2.2 Calcule des déperditions surfaciques totales de la chambre .....	72
IV.2.3 Calcule les déperditions à travers les liaisons .....	76
IV.2.4 Calcule les déperditions par renouvellement d'air.....	77
IV.2.5 Calcul des apports thermique a travers du plancher bas .....	77
IV.2.6 Les déperditions totales de chaque pièce .....	78
IV.2.7 Estimation de puissance de chauffage .....	79
IV.3 Dimensionnement de l'installation de chauffage.....	79
IV.3.1 Dimensionnement de l'échangeur de chaleur .....	79
IV.3.1.1 La puissance disponible fournie par l'eau chaude .....	79
IV.3.1.2 Calcul du <i>DTLM</i> .....	79
IV.3.1.3 Calcul le débit massique de l'eau froid .....	79
IV.3.1.4 Calcul du coefficient global d'échange.....	79
IV.3.1.5 Calcul de la surface d'échange A.....	81

IV.3.2 Dimensionnement et installation des radiateurs.....	82
IV.3.2.1 Régime de température de l'eau.....	82
IV.3.2.2 Calcul du débit des radiateurs .....	82
IV.3.2.3 Nombre d'éléments d'un radiateur .....	82
IV.3.3 Dimensionnement et installation de vase d'expansion .....	83
IV.3.3.1 Calculé la pression de gonflage initial du vase .....	83
IV.3.3.2 Calculer la pression de remplissage à froid de l'installation.....	84
IV.3.3.3 Calculé le volume utile du vase.....	84
IV.3.3.4 Facteur de la pression du vase.....	84
IV.3.3.5 Volume nominal du vase.....	84
IV.4 Conclusion .....	84
Conclusion générale .....	85
Bibliographie.....	86
Annexe .....	88

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : PAC géothermique à captage horizontal.....	11
<b>Figure I.2</b> : PAC à captage vertical .....	12
<b>Figure I.3</b> : Les corbeilles géothermiques .....	12
<b>Figures I.4</b> : PAC à captage vertical sur nappe .....	13
<b>Figure I.5</b> : Centrale à vapeur sèche.....	14
<b>Figure I.6</b> : centrale à vaporisation par flash.....	15
<b>Figure I.7</b> : Agriculture géothermique .....	16



<b>Figure I.8</b> : Principales provinces géothermiques Algériennes.....	17
<b>Figure II.1</b> : Hammam KSANA.....	24
<b>Figure II.2</b> : bains individuelle.....	26
<b>Figure II.3</b> : Bains collectifs.....	26
<b>Figure II.4</b> : Bains de vapeur.....	26
<b>Figure II.5</b> : Salles d’attente et de repos .....	26
<b>Figure II.6</b> : Suites et studios d’hébergement .....	27
<b>Figure II.7</b> : Cafétéria.....	27
<b>Figure II.8</b> : Restaurent .....	27
<b>Figure II.9</b> : Aire de repos extérieure.....	27
<b>Figure II.10</b> : La source chaude géothermique .....	29
<b>Figure II.11</b> : Réservoir de refroidissement .....	29
<b>Figure II.12</b> : Plan de l’étage .....	31
<b>Figure II.13</b> : Schéma représentatif du mur extérieur et ces composants .....	34
<b>Figure II.14</b> : Schéma représentatif du mur intérieur et ces composants.....	34
<b>Figure II.15</b> : Schéma représentatif du plancher et ces composants.....	35
<b>Figure II.16</b> : Schéma représentatif du plafond et ces composants.....	36
<b>Figure III.1</b> : Échangeur monotube .....	45
<b>Figure III.2</b> : Échangeur coaxial.....	46
<b>Figure III.3</b> : échangeur multitubulaire .....	46
<b>Figure III.4</b> : Echangeur a plaque .....	47
<b>Figure III.5</b> : le schéma de tube serpentin .....	48
<b>Figure III.6</b> : distribution de température dans un échangeur à contre-courant.....	50

<b>Figure III.7</b> : Schéma du radiateur .....	55
<b>Figure III.8</b> : schéma de circulation de l'eau chaude.....	57
<b>Figure III.9</b> : la dimension de radiateur .....	57
<b>Figure III.10</b> : vase d'expansion .....	58
<b>Figure III.11</b> : Montage et pression de gonflage d'un flexcon.....	59
<b>Figure III.12</b> : circulateur d'eau.....	62

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : caractéristiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie .....	18
<b>Tableau I.2</b> : Données physico-chimiques de quelques forages albiens du sud de l'Algérie .	19
<b>Tableau II.1</b> : données de base du chauffage suivant la zone C .....	23
<b>Tableau II.2</b> : Les structures de l'unité 1 .....	25
<b>Tableau II.3</b> : Les données de sources chaudes .....	28
<b>Tableau II.4</b> : Données architecturales des studios .....	30
<b>Tableau II.5</b> : Données architecturales des Suits.....	30
<b>Tableau II.6</b> : les caractéristiques de mur extérieur.....	33
<b>Tableau II.7</b> : les caractéristiques de mur intérieur .....	34
<b>Tableau II.8</b> : les caractéristiques de plancher bas .....	35
<b>Tableau II.9</b> : les caractéristiques de plancher haute (toit) .....	35
<b>Tableau II.10</b> : Coefficient de transmission surfacique des fenêtres et de portes .....	39
<b>Tableau II.11</b> : les valeurs de Po pour les ouvrants courants [DTR 3.2].....	42
<b>Tableau III.1</b> : Caractéristique de tube hélicoïdal .....	48
<b>Tableau III.2</b> : Propriétés de l'eau chaude.....	49

<b>Tableau III.3</b> : propriétés de l'eau froide.....	51
<b>Tableau III.4</b> : Dimensions d'élément .....	57
<b>Tableau III.5</b> : Coefficient de dilatation de l'eau en fonction de température moyenne .....	61
<b>Tableau IV.1</b> : la résistance et conductivité des murs de chambre 01 .....	65
<b>Tableau IV.2</b> : la résistance et conductivité des murs de chambre 2-10. ....	66
<b>Tableau IV.3</b> : la résistance et conductivité des murs de chambre 11 .....	67
<b>Tableau IV.4</b> : la résistance et conductivité des murs de chambre 12 .....	68
<b>Tableau IV.5</b> : la résistance et conductivité des murs de chambre 13-21.....	69
<b>Tableau IV.6</b> : la résistance et conductivité des murs de chambre 22 .....	70
<b>Tableau IV.7</b> : la résistance et conductivité des murs de couloir .....	71
<b>Tableau IV.8</b> : Les déperditions surfaciques de chambre 01 .....	72
<b>Tableau IV.9</b> : les déperditions surfaciques de chambre 02 .....	72
<b>Tableau IV.10</b> : les déperditions surfaciques de chambre 03-10.....	73
<b>Tableau IV.11</b> : les déperditions surfaciques de chambre 11 .....	73
<b>Tableau IV.12</b> : les déperditions surfaciques de chambre 12 .....	74
<b>Tableau IV.13</b> : les déperditions surfaciques de chambre 13 .....	74
<b>Tableau IV.14</b> : les déperditions surfaciques de chambre 14-21 .....	75
<b>Tableau IV.15</b> : les déperditions surfaciques de chambre 22 .....	75
<b>Tableau IV.16</b> : les déperditions surfaciques de couloir.....	76
<b>Tableau IV.17</b> : les déperditions linéiques .....	76
<b>Tableau IV.18</b> : Les déperditions totales de chaque pièce.....	78

# Nomenclature générale

<b>Symbole</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
$D_i$	Les déperditions totales	[W/°C]
$D_b$	Les déperditions de base	[W/°C]
$D_T$	Les déperditions par transmission	[W/°C]
$D_R$	Les déperditions par renouvellement d'air	[W/°C]
$D_s$	Les déperditions surfaciques à travers les parties	[W/°C]
$D_{li}$	Les déperditions à travers les liaisons	[W/°C]
$D_{sol}$	Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol	[W/°C]
$D_{lnc}$	Les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés	[W/°C]
$D_m$	Déperdition par le mur extérieur	[W/°C]
$D_p$	Déperdition par les portes	[W/°C]
$D_f$	Déperdition par les fenêtres	[W/°C]
$D_{pb}$	Déperdition par le plancher bas	[W/°C]
$D_{ph}$	Déperdition par le plancher haut	[W/°C]
$D_{réf}$	Déperdition de référence	[W/°C]
$R_{th}$	Résistances thermiques	[m <sup>2</sup> .C°/W]
$\lambda$	Conductivité thermique	[W/m. C°]
$T_{bi}$	La température intérieure de base	[°C]
$T_{be}$	La température extérieure de base	[°C]
$k_l$	Coefficient de transmission linéique	[W/ (m. °C)]

$\rho$	Masse volumique	[kg/m <sup>3</sup> ]
$C_p$	Capacité calorifique massique	[kJ/kg °C]
$Q_v$	Le débit spécifique de ventilation	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_s$	Le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent	[m <sup>3</sup> /h]
$P_{pi}$	La perméabilité à l'air de la paroi i	[m <sup>3</sup> /h]
$e_{vi}$	Le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i	[-----]
$P_{oj}$	Le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi j	[m <sup>3</sup> /h]
$d_{se}$	Diamètre extérieur du tube de serpentin	[m]
$d_{si}$	Diamètre intérieur du tube de serpentin	[m]
$d_h$	Diamètre hydraulique d'espace annulaire	[m]
$D_s$	Diamètre de serpentin	[m]
$P_{chaude}$	Puissance d'eau chaude	[W]
$Q_{mc}$	Le débit massique d'eau chaud	[kg /s]
$Q_{mf}$	Le débit massique d'eau froid	[kg /s]
$U$	Coefficient d'échange thermique global	[W /m <sup>2</sup> .K]
$A$	Surface d'échange	[m <sup>2</sup> ]
$F$	Facteur de correction	[-----]
$T_{ce}$	Température d'entrée d'eau chaude	[°C]
$T_{cs}$	Température d'sortie d'eau chaude	[°C]
$T_{fe}$	Température d'entrée d'eau froide	[°C]
$T_{fs}$	Température d'sortie d'eau froide	[°C]

$\mu$	Viscosité dynamique	[kg/m. s]
$U_e$	Coefficient global d'échange rapporté à la surface extérieur	[W /m <sup>2</sup> .K]
$v$	La vitesse de l'écoulement	[m/s]
$Re$	Nombre de Reynold	[-----]
$Nu$	Nombre de Nusselt	[-----]
$h_e$	Le coefficient de convection côté calandre	[W /m <sup>2</sup> .K]
$h_i$	Le coefficient de convection côté serpentin	[W /m <sup>2</sup> .K]
$\vartheta$	Viscosité cinématique	[m <sup>2</sup> /s]
$L_s$	Longueur de serpentin	[m]
$L_c$	Longueur de calendre	[m]
$N$	Nombre de tour	[-----]
$p$	Pas	[m]
$P_0$	Pression de gonflage	[bar]
$P_{min}$	La marge de sécurité	[bar]
$P_{stat}$	La pression statique	[bar]
$P_a$	La pression atmosphérique	[bar]
$H$	La Hauteur statique	[m]
$P_1$	La pression de remplissage	[bar]
$V_{utile}$	Volume utile du vase	[l]
$V_n$	Volume nominale du vase	[l]
$C_{dila}$	Coefficient de dilatation de l'eau	[-----]
$P_s$	La pression de sécurité	[bar]
$F_p$	Facteur de pression du vase	[-----]

# Liste des abréviations

**PAC** Pompe à chaleur.

**L'ETH** Eidgenössische Technische Hochschule.

**DTLM** Différence de Température Logarithmique Moyenne (°C).

**PEHD** Polyéthylène haute densité.

**EGS** Enhanced geothermal System.

**L'ONDT** Organisation Nationale pour le Développement du Tourisme.

**DTR** Document Technique Réglementaire.

# Indice et exposants

**th** : thermique

**e** : extérieur

**i** : intérieur

**Ph** : plancher haut

**pb** : plancher bas

**b** : base

**pi** : perméabilité

**h** : hydraulique

# Introduction générale

## Introduction générale :

Depuis la préhistoire, les eaux naturellement chaudes s'écoulant de sources situées dans des régions volcaniques et les geysers ont été utilisées par l'Homme pour se chauffer, se baigner et cuire des aliments. (1) 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, et constituaient des lieux d'échange et de convivialité.

La géothermie ou "chaleur de la terre" se présente sous forme de réservoirs de vapeur ou d'eaux chaudes ou encore de roches chaudes. Lorsque le réservoir géothermique est à une température modérée, cette ressource est exploitée pour de la production de chaleur distribuée par un réseau de chaleur. Elle est particulièrement développée dans les bassins aquitain et parisien pour le chauffage urbain. Lorsque la température du réservoir géothermique est plus élevée et permet de produire de la vapeur, il est possible de produire de l'électricité. (2)

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. (3)

Dans ce contexte, notre travail se porte sur l'étude de dimensionnement d'un système de chauffage en utilisant l'énergie géothermique, une étude de cas est réalisée concernant un nouvel hébergement du complexe HAMMAM KSSANA de la wilaya de Bouira.

Le choix de HAMMAM KSSANA 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. (4)

Pour ce faire, nous avons subdivisé notre travail en 4 chapitres et une conclusion générale, à cet effet, le mémoire est organisé comme suit :



- **Le premier chapitre** : étude de l'énergie géothermique, ces différents types et ces multiples applications et le potentiel des ressources géothermales en Algérie.
  
- **Le deuxième chapitre** : détermination du bilan thermique du complexe de HAMMAM KSSANA.
  
- **Le troisième chapitre** : dimensionnement des différents appareils qui composent l'installation de chauffage.
  
- **Le quatrième chapitre** : résume les plus importants résultats

Enfin, le travail est clôturé par une conclusion générale

# CHAPITRE I

## Energie géothermique

## I.1 Introduction

L'énergie géothermique est classée comme source renouvelable et source illimitée de chaleur et d'énergie électrique, qui fait partie de la géophysique qui s'intéresse à l'étude des phénomènes thermiques de la terre qui sont liés à la formation et à la composition du globe, avec le bénéfice ultime de l'environnement et l'absence de dépendance aux conditions météorologiques, géothermique peut être fournie à tout moment de la journée et de la semaine.

L'énergie géothermique peut également être utilisées en fonction des besoins et de la capacité de la source, à la haute énergie se caractérisent par une température supérieure à 150°C et sont principalement destinées à la production d'électricité. La géothermie de moyenne et de basse énergie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 150°C et elle est destinée au chauffage des logements (60°C à 80°C), au chauffage de serres, la pisciculture, etc. (5)

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. (6)

La production de chaleur par géothermie est plus largement diffusée puisque plus de 80 pays y ont recours. L'activité s'est surtout développée pour des besoins de chauffage de bâtiments, avec trois zones privilégiées dans l'hémisphère nord : l'Europe, la Chine et l'Amérique du Nord. Le recours à la géothermie pour d'autres usages thermiques, notamment en agriculture, permettrait d'étendre l'activité géothermique à d'autres zones géographiques où le chauffage de bâtiments est moins indispensable. (7)

## I.2 La géothermie

Le terme de géothermie est formé à partir des mots grecs Géo (la Terre) et thermos (chaud) est un mot qui désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre.

La géothermie peut se définir simplement comme l'exploitation de la chaleur contenue naturellement dans le sous-sol. 80 % de la chaleur terrestre est issue de la désintégration des éléments radioactifs contenus dans les roches constituant la croûte terrestre, comme le thorium, le potassium ou l'uranium. Autrement dit, contrairement à une idée reçue, l'essentiel de cette chaleur ne provient pas du refroidissement de la Terre, au centre de laquelle le noyau atteint une température supérieure à 4 000 degrés Celsius (°C). À ce jour, le forage le plus profond n'excède pas 12 km de profondeur.

La présence de la chaleur dans le sous-sol se traduit en surface par des volcans, fumerolles, geysers, sources chaudes, etc., ainsi que par une augmentation constante de la température avec la profondeur, appelée gradient géothermique a une valeur mondiale moyenne la température croît d'environ 3°C pour 100 mètres, mais de nombreuses régions ont des gradients géothermiques anormaux 10 °C par 100 mètres en Alsace et même exceptionnellement 100 °C par 100 mètres à Larderello (Italie), par contre 1°C par 100 mètres près de Padoue. Dans le nord-Est du Maroc, le gradient élevé de 35 à 50 °C/ Km et jusqu'à plus de 65 °C/Km en Aboran (8), selon les conditions physiques et géologiques de la région, de l'ordre de 30°C par km mais pouvant atteindre plusieurs centaines de °C par km notamment dans les zones volcaniques actives. Le flux de chaleur terrestre représente la quantité de chaleur, par unité de surface et de temps, transmise des profondeurs vers la surface ; il est en moyenne de l'ordre de 60 mW/m<sup>2</sup> ; il peut atteindre 1 W/m<sup>2</sup> en zones volcaniques. L'intensité moyenne du flux de chaleur terrestre est 7 000 fois moins importante que celle du flux de chaleur due au rayonnement solaire. La géothermie présente néanmoins

L'avantage d'être une énergie disponible partout, en tout temps, non sujette aux aléas climatiques, et dont le potentiel d'exploitation est considérable. Ainsi, les ressources géothermiques reconnues représentent 60 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep) et les ressources potentielles sont évaluées à 700 milliards de tep, soit l'équivalent des réserves d'énergies fossiles prouvées. (7)

### I.3 Types de gisements géothermiques

De par leur position géographique, les gisements géothermiques sont classés en trois catégories :

- **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. Celle-ci 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 distingue la Nouvelle-Zélande, le Japon et l'Islande,
- **Les gisements des zones de plateformes continentales stables** : recouvertes de terrains sédimentaires : dans ce type de gisement, il n'existe pas de source de chaleur particulière en profondeur, la chaleur est uniquement due à la profondeur. Dans ce cas, les réservoirs sont généralement très profonds et leur exploitation nécessite la réalisation de forages. Ce type de gisement 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 thermale à travers les failles et les discontinuités géologiques et arrivent en surface sous forme de sources. On retrouve ce type de gisement au Nord de l'Algérie.

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.

### **I.3.1 La géothermie à haute énergie**

Ces sources d'eaux géothermales à haute température se trouvent essentiellement dans les régions volcaniques du globe, à des profondeurs qui dépendent des conditions géologiques, entre 1 500 et 5 000 mètres. (9) ces gisements se caractérisent par des températures supérieures à 150°C.

La géothermie haute énergie est destinée principalement à la production d'électricité et de la cogénération (production conjointe d'électricité et de chaleur grâce à des turbines à vapeur avec la récupération des condensats de la vapeur).

### **I.3.2 La géothermie à moyenne énergie**

La géothermie basse énergie se caractérise par une température comprise entre 30°C et 150°C, dans des gisements situés entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur.

L'essentiel des réservoirs exploités se trouve dans les bassins sédimentaires de la planète car ces bassins recèlent généralement des roches poreuses (grès, conglomérats, sables) imprégnées d'eau.

Le niveau de chaleur est insuffisant pour produire de l'électricité mais parfait pour le chauffage des habitations et certaines applications industrielles. (10)

### **I.3.3 La géothermie à très basse énergie**

La géothermie à 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. (11) et aussi bien dans les maisons individuelles que dans les immeubles collectifs ou les bâtiments commerciaux. (9)

### **I.3.4 Géothermie HDR (roche chaude sèche)**

Une autre technique géothermique qui a été mise au point, c'est la géothermie roche chaude sèche ou Hot Dry Rock. 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 de 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.

vingt-cinq ans, plusieurs projets de recherches sont menés dans ce domaine surtout aux Etats-Unis, au Japon et en Europe. Parmi ces projets, celui de l'union européenne, il est destiné à la création de centrales géothermiques. 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. (11)

#### **I.4 Les forages**

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

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. (12)

### **I.4.1 Techniques de forage**

La profondeur ciblée pour une exploitation efficace de la géothermie profonde se situe à environ 4 à 5 km, ce qui correspond à des températures de 120°C à plus de 160°C. Avec une centrale à système «flash» par exemple, la production d'électricité à partir de l'eau captée à une telle profondeur pourrait atteindre un taux d'efficacité électrique «raisonnable», supérieur à 15%.

Les techniques de forage actuelles permettent d'aller jusqu'à 7 ou 10 km de profondeur. Etant donné que les coûts de forage augmentent non pas de façon linéaire, mais exponentielle en fonction de la profondeur, il existe également une limite économique qui s'établit aujourd'hui à 5 km environ. Les nouvelles avancées, également prometteuses pour l'exploration géothermique, proviennent essentiellement de l'industrie du pétrole et du gaz, avec par exemple l'automatisation du procédé de forage ou la technique de forage horizontal, qui a notamment été perfectionnée ces dernières années pour l'exploitation des gisements de gaz de schiste. Cependant, l'expérience de l'industrie pétrolière et gazière se limite surtout au forage dans les couches sédimentaires, et ne contribue que de manière limitée au développement de systèmes pétro-thermaux visant les roches cristallines. Des techniques de forage considérées aujourd'hui comme originales, telles que la perforation «par fusion de la roche» développée notamment par l'ETH Zurich, laissent envisager à long terme une diminution considérable des coûts de forage. (12)

### **I.4.2 Méthodes d'exploration**

Lors du choix du site, il est indispensable de réaliser des études géophysiques afin de réduire les risques d'échec, en particulier pour les projets hydrothermaux. Les couches sédimentaires peuvent être modélisées à l'aide de méthodes sismiques consistant à envoyer des ondes sonores dans le sous-sol et à analyser les échos dans chacune des couches traversées. Cela permet d'obtenir un profil des couches sédimentaires le long d'une ligne (sismique 2D). De nouvelles technologies 3D permettent d'améliorer considérablement la modélisation, notamment lorsqu'elles peuvent être calibrées avec les vraies données de forage. La sismique 3D a été par exemple utilisée à l'hiver 2009/2010 pour le choix du site du projet hydrothermal à Saint-Gall. Si ces méthodes n'ont pas permis de trouver de l'eau, il a cependant été possible de mettre en évidence la présence de zones de failles pouvant présenter une perméabilité élevée.

Dans la perspective du développement des systèmes pétro-thermaux, il est particulièrement important d'enregistrer en continu les petites vibrations qui se produisent



lors de la phase de stimulation. Les mesures réalisées à Bâle ont permis de fournir des informations précieuses sur les relations entre la pression injectée, la vitesse d'écoulement, les vibrations sismiques et les fissures consécutives. Ces données sont utilisées encore aujourd'hui par des universités du monde entier, dont l'ETH Zurich, afin de mieux comprendre le processus de stimulation et de mettre au point de nouveaux concepts de gestion des risques.

## **I.5 Les applications de l'énergie géothermique**

Depuis des temps immémoriaux le noyau en fusion de la terre a réchauffé les couches de roches environnantes et envoyant l'eau souterraines, sous forme de geysers de vapeur et de sources d'eau chaude à travers le monde exploitent cette ressource naturelle de vapeur de roche chaude et d'eau chaude et vous obtenez l'énergie géothermique propre renouvelable, fiable et robuste la géothermie est aujourd'hui peut-être la seule énergie verte qui peut remplacer l'énergie les combustibles fossiles en toute sécurité, elle crée et soutient des emplois de manière importante et, une fois l'investissement initial est récupéré c'est une fontaine d'énergie pratiquement gratuite , la vapeur et l'eau chaude dans des turbines et vous obtenez de l'électricité puissante pour alimenter des villes entières et de grands complexes industriels ,pompes à chaleur géothermique le chauffage des locaux , le chauffage des serres et des bassins d'aquaculture, séchage des récoltes procédés industriels baignade refroidissement et la fonte des neiges alors que l'électricité géothermique a monopolisé les gros titres, l'utilisation directe s'est répandue rapidement et discrètement et chauffe des milliers de maisons, de bureaux et d'autres établissements dans des pays aussi divers que les États-Unis, la Chine, l'Islande Chili et Turquie Japon Italie la France et les Pays-Bas.

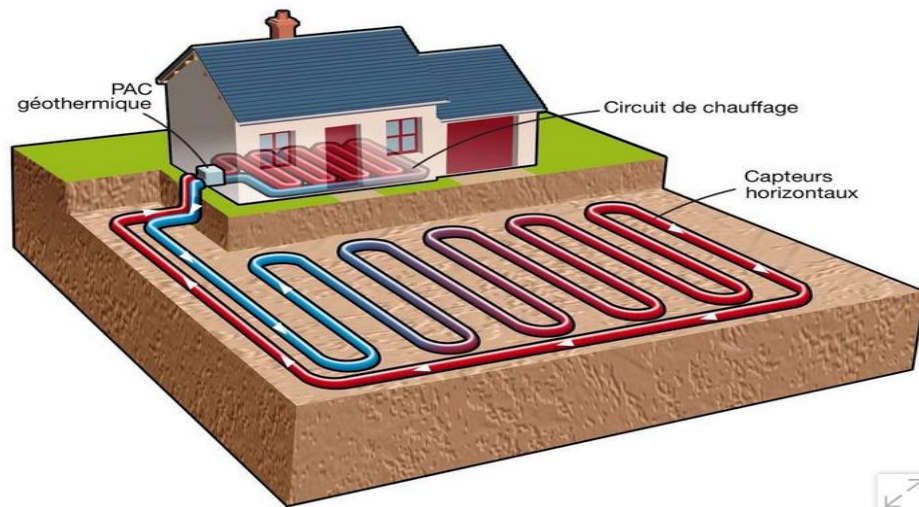
### **1.5.1 Chauffage**

La géothermie applicable à l'habitat peut utiliser quatre technologies différentes. Trois mettent à profit la chaleur du sol proprement dite, en la captant plus ou moins profondément. La quatrième extrait les calories des nappes d'eau souterraines. Une étude géologique permet de déterminer le système le mieux adapté au site. (13)

- **La PAC à captage horizontal**

La pompe à chaleur (PAC) fonctionne avec un réseau de tubes enterré dans le jardin de la maison, à une vingtaine de centimètres en dessous du point de mise hors gel réglementaire, soit à une profondeur moyenne comprise entre 80 et 120 centimètres. Les tubes véhiculent un fluide caloporteur qui circule en circuit fermé. Installés en boucles, ils sont en cuivre gainé de polyéthylène ou entièrement en PEHD (polyéthylène haute densité). Trois types de PAC peuvent être employées en fonction des caractéristiques du réseau et de l'installation

domestique : sol/eau, sol/sol (chacune pour chauffage seul) ou eau glycolée/eau, dite eau/eau (capable d'assurer le chauffage et le rafraîchissement) (14)



**Figure I.1** : PAC géothermique à captage horizontal

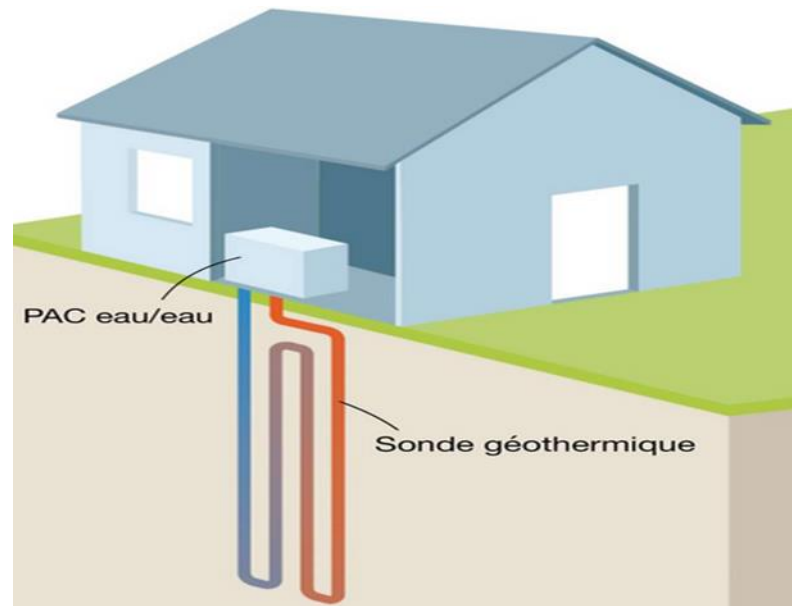
Le captage horizontal mobilise une superficie de terrain importante, qui peut être de 1,5 à 2 fois plus grande que la surface à chauffer.

La PAC à captage horizontal est la moins coûteuse des solutions géothermiques. Elle convient à des terrains peu pentus, plats dans l'idéal, et bénéficiant d'un bon ensoleillement. Buissons, massifs, potager... peuvent voisiner avec le réseau de tubes. Mais celui-ci doit, par exemple, se situer à plus de deux mètres des arbres et à trois mètres de canalisations d'eau. Bon à savoir : pour l'implantation d'un captage horizontal, il vaut mieux avoir un sol meuble que rocheux. (14)

- **La PAC à capteurs verticaux**

Ce procédé puise l'énergie du sous-sol au moyen de sondes (des tubes en PEHD) logées dans des forages pouvant atteindre une dizaine jusqu'à plus de 200 mètres de profondeur. Le captage vertical présente l'intérêt d'une très faible emprise au sol. Il est également plus performant, grâce à la stabilité de la source de chaleur en profondeur. Près de la surface, le sol est sensible aux variations climatiques. A contrario, les opérations de forage nécessitent un matériel et un personnel spécialisés (RGE QualiForage) qui accroissent notablement le coût du chantier. Les sondes verticales forment des doubles boucles permettant l'aller et le retour du fluide. Leur nombre se calcule en fonction des besoins domestiques. Elles se raccordent à une PAC eau/eau.

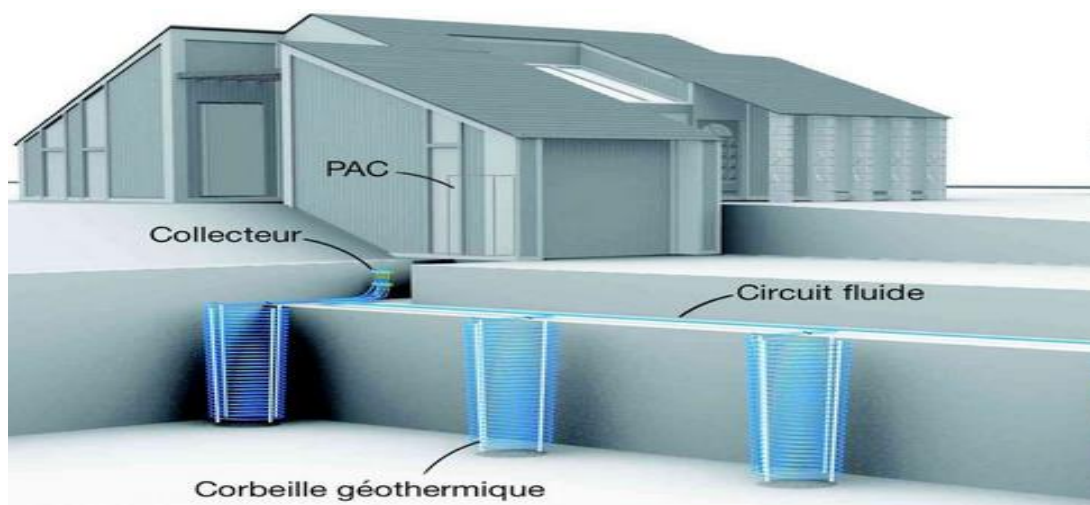
Le captage vertical peut se faire près de la maison et même (avant la construction) sous le vide sanitaire.



**Figure I.2 :** PAC à captage vertical

- **Les corbeilles géothermiques, une alternative à découvrir**

Cette solution encore peu connue fonctionne suivant un principe proche du captage horizontal. Principaux avantages une plus faible emprise au sol que celui-ci et un coût inférieur au captage vertical. Les corbeilles sont constituées de tubes spiralés. Elles sont enterrées à moins de cinq mètres de profondeur dans des trous qui, une fois comblés, peuvent être recouverts d'une pelouse, de massifs, etc. Leur raccordement à la pompe à chaleur s'effectue par l'intermédiaire d'un collecteur à plusieurs entrées et sorties, placé dans un regard de visite.

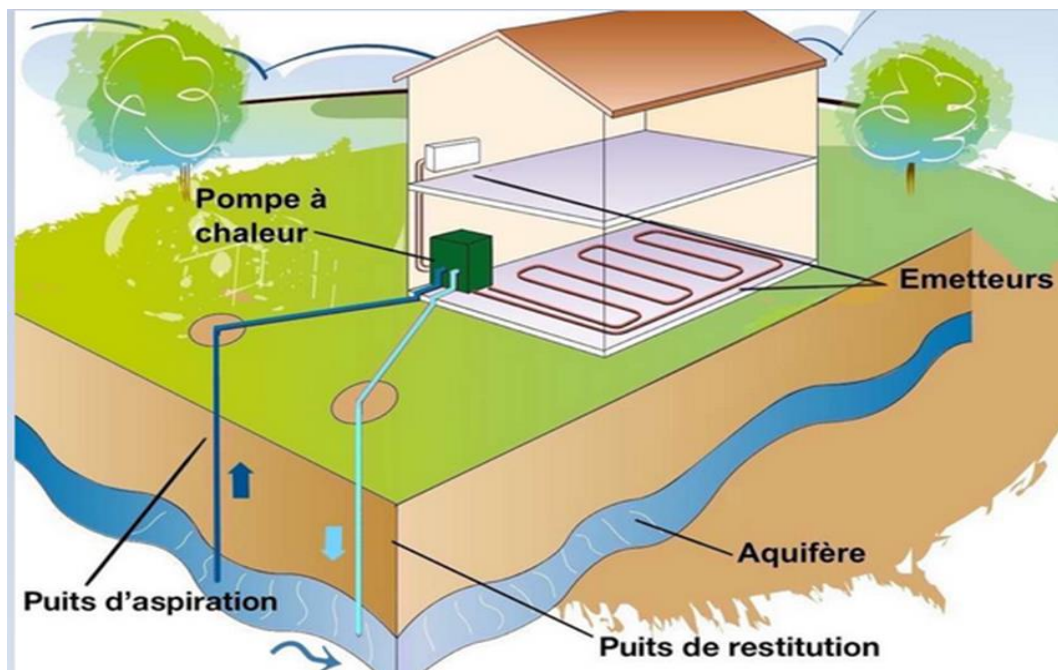


**Figure I.3 :** Les corbeilles géothermiques.

Les corbeilles doivent respecter un espacement donné. Chacune peut capter jusqu'à 1.260 kWh/an sur sol sec, 1.800 kWh/an en terrain humide et 2.160 kWh/an s'il est saturé d'eau.

- **La PAC à captage vertical sur nappe**

Deux systèmes sont en usage. Le plus écologique implique de réaliser deux forages. Le premier trou reçoit le puits servant à aspirer l'eau, que la PAC va valoriser en énergie. Il se situe en amont du sens d'écoulement de la nappe. Le second puits, creusé en aval de l'écoulement, se charge de renvoyer l'eau refroidie dans son milieu naturel, sans altérer sa qualité. L'autre système en usage ne demande qu'un seul forage. Le chantier est de ce fait moins coûteux mais ne permet pas de reconstituer la réserve d'eau. Les rejets se font dans un lac, dans une rivière, dans un réseau d'eaux pluviales... Un gaspillage d'autant plus inopportuniste, que la ressource souffre du réchauffement climatique.



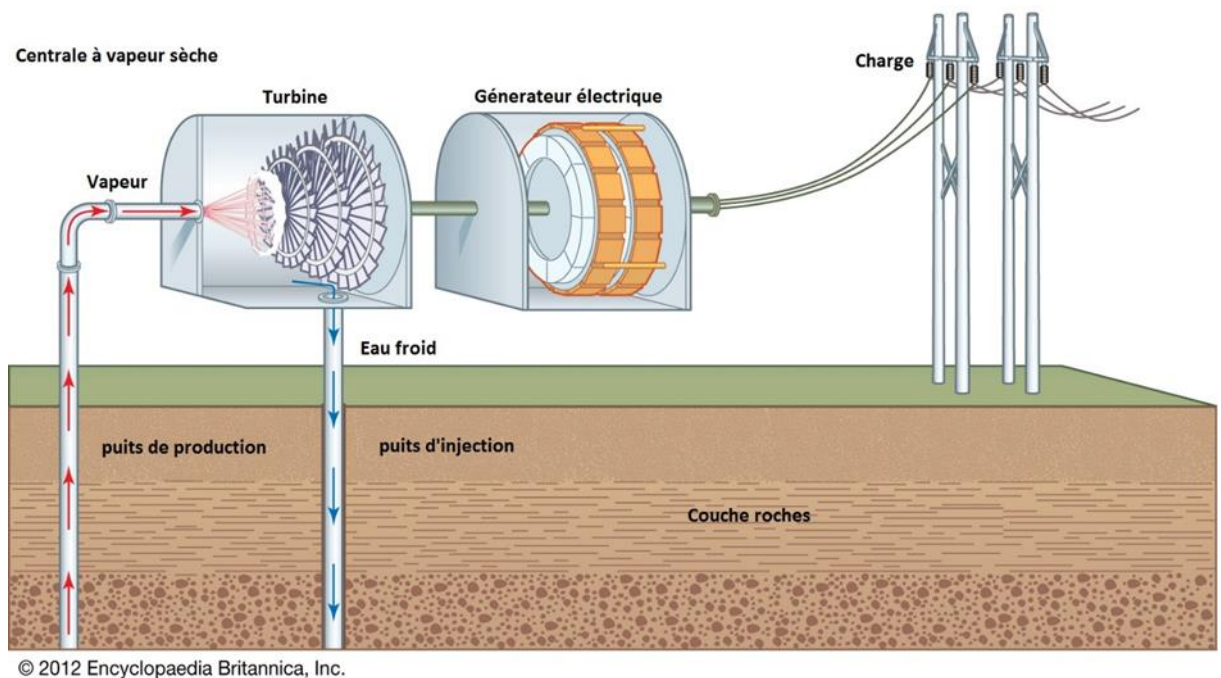
**Figures I.4 :** PAC à captage vertical sur nappe

Le captage sur nappe implique la présence d'une source souterraine accessible depuis la propriété. Il fonctionne avec une pompe à chaleur eau/eau. (14)

### I.5.2 Production d'électricité

Selon la température et le débit du fluide (vapeur), l'énergie géothermique peut être utilisée pour produire de l'électricité. Les centrales géothermiques peuvent produire de l'électricité de trois manières. Malgré leurs différences de conception, toutes trois contrôlent le comportement de la vapeur et l'utilisent pour entraîner des générateurs électriques. Étant donné que l'excès de vapeur d'eau à la fin de chaque processus est condensé et renvoyé dans

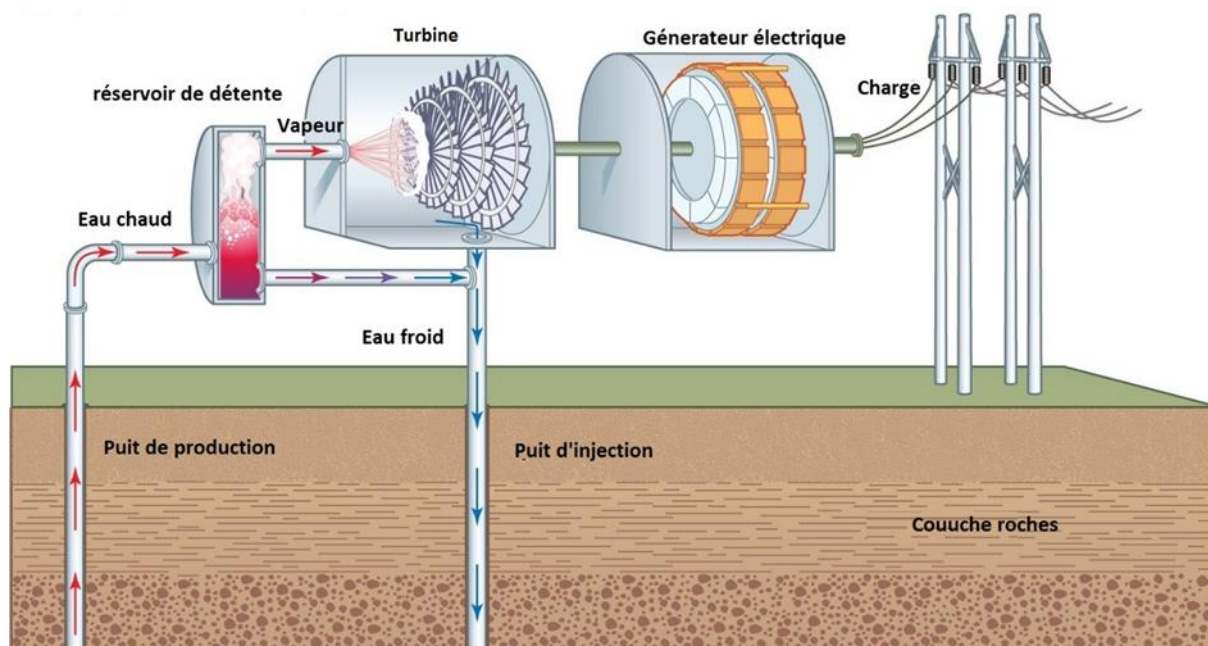
le sol, où il est réchauffé pour une utilisation ultérieure, l'énergie géothermique est considérée comme une forme d'énergie renouvelable. Certaines centrales géothermiques se contentent de recueillir la vapeur ascendante du sol. Dans ce type d'exploitation à "vapeur sèche", la vapeur d'eau chauffée est directement acheminée vers une turbine qui entraîne un générateur électrique. D'autres centrales, construites sur le modèle de la vapeur de revaporisation et du cycle binaire, utilisent un mélange de vapeur et d'eau chauffée ("vapeur humide") extrait du sol pour démarrer le processus de production d'électricité production d'énergie géothermique à vapeur sèche. (13)



**Figure I.5 :** Centrale à vapeur sèche

Dans les centrales à vapeur de détente, de l'eau pressurisée à haute température est aspirée du sous-sol dans des conteneurs à la surface, appelés réservoirs de détente, où la soudaine diminution de la pression provoque la vaporisation de l'eau liquide en vapeur. La vapeur est ensuite utilisée pour alimenter l'ensemble turbine-générateur. En revanche, les centrales à cycle binaire utilisent de la vapeur provenant d'un fluide de travail secondaire (comme l'ammoniac et les hydrocarbures) contenu dans un circuit fermé de tuyaux pour alimenter le groupe turbo-alternateur. Dans ce processus, l'eau chauffée par la géothermie est aspirée par un autre ensemble de tuyaux, et une grande partie de l'énergie stockée dans l'eau chauffée est transférée au fluide de travail par un échangeur de chaleur. Le fluide de travail se vaporise alors. Après avoir traversé la turbine, la vapeur du fluide de travail est recondensée et renvoyée vers l'échangeur de chaleur. (13)





© 2012 Encyclopaedia Britannica, Inc.

**Figure I.6** : centrale à vaporisation par flash

L'énergie électrique nécessite généralement une eau chauffée à plus de 175 °C (347 °F) pour être rentable. Dans les centrales géothermiques utilisant le cycle organique de Rankine (ORC), un type particulier de technologie à cycle binaire qui utilise des sources de chaleur à plus basse température (comme la combustion de la biomasse et la chaleur résiduelle industrielle), des températures d'eau aussi basses que 85-90 °C (185-194 °F) peuvent être utilisées. (13)

### I.5.3 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. (15)

En Algérie, les puits d'eau chaude qui étaient destinés depuis plusieurs décennies pour la consommation humaine et pour l'irrigation, ne furent exploités pour le chauffage des serres agricoles qu'à partir des années 70 et c'était une contribution assez modeste de l'énergie

géothermale dans le développement du secteur agricole. Le chauffage des serres a commencé d'être appliqué au début de 1950 en Hollande, en Belgique et notamment dans les cultures ornementales ; les pays comme l'Italie, la France et l'Espagne ont considéré jusqu'à lors que les conditions favorables d'ensoleillement et de température ne justifiaient pas tel outil de production. (16)

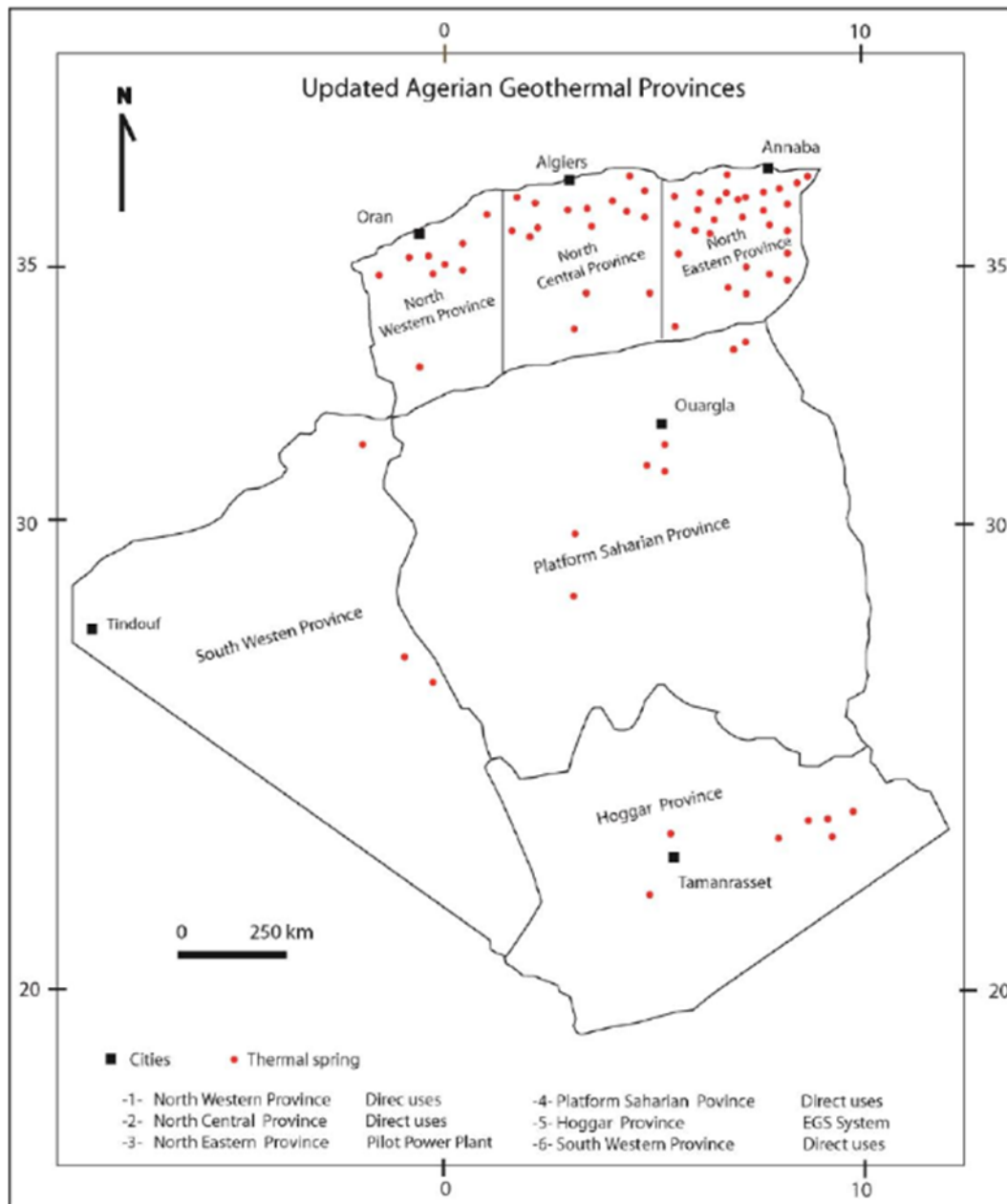


**Figure I.7 :** Agriculture géothermique

### **I.6 Le potentiel des ressources géothermales en Algérie**

L'Algérie dispose d'un fort potentiel d'énergie géothermique suffisant pour être utilisé dans le chauffage domestique, l'agriculture et la pisciculture. Jusqu'à présent, toutes les capacités géothermiques ne sont pas complètement utilisées. Le gouvernement algérien a maintenant une nouvelle stratégie pour soutenir les projets d'utilisation des énergies renouvelables et a récemment approuvé de nouvelles lois et fourni des ressources financières importantes aux investisseurs pour les aider à explorer et exploiter les énergies renouvelables pour la production d'électricité et d'autres usages. Les zones géothermiques les plus importantes sont inventoriées dans une nouvelle carte globale (Fig.I.8) pour l'ensemble du pays, un flux thermique très élevé se trouvant dans la zone géothermique du Sahara (90-110 mW/m<sup>2</sup>). Le deuxième potentiel géothermique élevé se trouvait dans la zone géothermique de l'Est, dans la source thermique de Hammam Debagh avec une température de 98°C. La localité de Hammam Debagh a été choisie comme projet pilote pour la mise en place d'une centrale électrique. Un bon EGS (Enhanced geothermal System) est également possible dans le bouclier du Hoggar. Le gouvernement investit aujourd'hui dans la protection de

l'environnement en explorant les énergies vertes telles que les eaux géothermiques en remplacement des ressources pétrolières fossiles. (17)



**Figure I.8 :** Principales provinces géothermiques Algériennes (17)

Dans ces deux tableaux, on retrouve les propriétés physiques et chimiques de diverses sources thermiques dans le nord de l'Algérie, ainsi que des forages artésiens dans le sud d'Algérie.



Source	wilaya	Temp (°C)	Résidus sec (mg/l)	Débit (l/s)	Faciès chimique
Hm.Ouled Aisha	Batna	35	7143	4	Chloruré-sodique
Hm.Sillel	Bejaia	46	2221	10	Chloruré-sodique
Hm. Chegun	Biskra	50	6210	20	Chloruré-sodique
Hm. Boughrara	Tlemcen	43	398	6.5	Chloruré-magnésien
Hm. Charef	Djelfa	42	1670	3.8	Chloruré-calcique
Hm. Sokhna	Sétif	50	2052	-	Sulfaté-sodique
Hm. Sidi Aisa	Saida	44.5	2505	5	Sulfaté-sodique
Hm. Salah Bey	Constantine	23	25582	-	Sulfaté-sodique
Hm. Touansa	Médéa	22	8970	5	Chloruré-sodique
Hm. Delaa	M'sila	42	1980	25	Sulfaté-sodique
Hm. Bouhanifia	Mascara	66	2012	23	Chloruré-sodique
Hm. Ain Franime	Oran	35	5343	-	Chloruré-sodique
Hm. Sidi Trad	El Taref	63	452	1.8	Chloruré-sodique
Hm. Sidi Slimane	Tissemsilt	42	2374	5	Chloruré-sodique
Hm. Elssalhine	Khenchla	70	2082	60	Chloruré-sodique
Hm. Serghine	Tiaret	40	4400	12	Chloruré-sodique
Hm. Righa	Ain Defla	68	2466	2.5	Chloruré-calcique
Hm. ksenia	Bouira	60	3520	50	Chloruré-sodique

**Tableau I.1** : caractéristiques de quelques sources thermales du Nord de l'Algérie (18)

Forage	Région	Débit (l/s)	Rédus secs (mg/l)	Temp (°C)	Faciés chimique
H011-516	El Oued	197	1970	65	Sulfaté-sodique
H011-516	El Oued	197	1970	65	Sulfaté-sodique
J0010-94	Ouargla	120	1620	51	Sulfaté-calciq
L011-11	Ouargla	22	3333	48	Sulfaté-sodique
H006-64	Laghouat	10	435	-	Sulfaté-sodique
H008-59	Laghouat	12	2300	34	Sulfaté-calciq
I009-55	Ghardaia	160	1569	40,75	Chloruré-sodique
J008-78	Ghardaia	22	1750	-	Chloruré-sodique
G010-84	Biskra	4	909	-	Sulfaté-sodique
G009-109	Biskra	100	2822	53	Chloruré-sodique
J0011-11	Ouargla	150	1760	60	Sulfaté-calciq

**Tableau I.2 :** Données physico-chimiques de quelques forages albiens du sud de l'Algérie (18)

### I.6.1 Province géothermique du Nord-Ouest

Dans la zone géothermique du Nord-Ouest, de nombreuses sources thermales se déversent à travers le système de failles, leur température varie de 25 à 65° C. Le gradient géothermique mesuré est supérieur à 4°C /100m. Le principal réservoir sédimentaire se trouve à des profondeurs comprises entre 600 et 1200 mètres. Les sources géothermiques les plus importantes de cette zone sont Hammam Bouhadjar et Sidi Ayad. La zone de recharge de ce réservoir provient du calcaire jurassique situé dans les monts Saida. Dans la zone de Mostaganem, le gradient géothermique est compris entre 4,4°C /100 m et 5,1°C /100m. Les analyses chimiques des eaux thermales montrent une dominante d'eaux chlorées-sodiques. Après calcul de la géothermie, la température du réservoir ne dépasse pas 110° C. (17)

### I.6.2 Province géothermique du Centre-Nord

Dans la zone géothermique centrale, le réservoir géothermique est constitué par le calcaire et la dolomite, avec une température moyenne des sources thermales variant entre 80°C et 90°C. Les eaux thermales lors de leur écoulement à partir du réservoir profond (2000 à 3000m) ont des échanges souterrains d'éléments sans modifier leurs compositions chimiques d'origine. Dans la région de Biban, plusieurs sources sont situées le long du contact anormal séparant deux unités tectoniques très importantes et affectant profondément les formations jusqu'au socle. Les eaux de cette région sont trop minéralisées à partir de calcaires jurassiques

traversant des formations triasiques. Le potentiel géothermique récemment calculé varie de 70 à 80 mW/m<sup>2</sup>. (17)

### **1.6.3 La province géothermique du Nord-Est**

La zone géothermique de l'Est est caractérisée par une abondance de sources et des valeurs de flux thermique élevées qui varient entre (45 et 99 mW/m<sup>2</sup>). Les eaux thermales semblent principalement contrôlées par la tectonique, la plupart des sources thermo-minérales sont situées sur des failles géologiques. Les sources les plus importantes de cette région sont : Hammam Debbagh (98°C), Hammam Ouled Ali (80°C). Une importante anomalie de flux thermique a été trouvée près de Guelema (85 mW/m<sup>2</sup>). Cette région est également caractérisée par l'apparition de signaux magmatiques d'hélium et une importante activité sismique Rezig (1991). Une autre anomalie a été localisée dans la partie la plus orientale de la province près de la frontière tunisienne. (17)

### **1.6.4 La province géothermique de la plate-forme saharienne**

Cette zone couvre les bassins du Sahara algérien caractérisés par un flux de chaleur élevé (80-120 mW/m<sup>2</sup>) comme rapporté par Takherist (1988) et (Nyblad et al. 1996). Cette région est une large zone de bassins sédimentaires avec quelques sources chaudes comme Hammam Zelfana (42°C). L'exploration des puits de pétrole par la Compagnie Nationale de Pétrole (Sonatrach) a révélé l'existence d'une grande anomalie thermique sous les bassins du Sahara (Takherist (1989). L'aire géothermique du Sahara est caractérisée par un réservoir géothermique en grès couvrant une superficie de 600 000 km<sup>2</sup>. L'aquifère de la zone géothermique du Sahara est principalement utilisé à des fins domestiques et agricoles. Les sources thermales sont peu fréquentes dans cette zone (Conrad, 1983). La principale lithologie du réservoir est calcaire, avec un type d'eau à chimie chlorurée dominant et une valeur moyenne de TDS de 1,5 g/L. Ait Ouali et al (2018). Province géothermique du Hoggar Le bouclier du Hoggar est considéré comme une large zone soulevée probablement due à l'activité passée d'un point chaud. La région a connu plusieurs épisodes magmatiques intra plaques au cours de l'ère Mio-Plio-Quaternaire. Un flux thermique moyen a été trouvé à 90-110 mW/m<sup>2</sup>. Dans la région du Hoggar, sept sources ont été signalées et la température maximale mesurée est de 29°C en surface. Province du Sud-Ouest Dans la partie la plus au sud-ouest de l'Algérie, le bassin sédimentaire paléozoïque de Tindouf avec un flux thermique moyen (80-90 mW/m<sup>2</sup>). La zone a connu un magmatisme mésozoïque sur une surface de 240 000 km<sup>2</sup> et présente peu de sources géothermiques ; trois sources thermales sont présentes sur la zone et la température maximale mesurée est de 26°C. (17)

### **1.6.5. Utilisation géothermique**

Les principales utilisations des eaux géothermiques en Algérie sont le chauffage domestique, le thermalisme et l'agriculture. Plusieurs projets ont été lancés pour des applications géothermiques directes dans le chauffage domestique et dans les domaines de l'agriculture (chauffage des serres et aquaculture). Un projet pilote de centrale géothermique est prévu dans la zone géothermique orientale de Hammam Debagh, dans la province de Guelma. Un projet réussi de pisciculture dans la zone géothermique du Sahara (Ouargla et Touggourt) est un bon exemple de l'utilisation de l'eau géothermique avec une température d'eau chaude de 60°C, comme le rapportent Bellache et al. (1984). Dix-huit serres couvrant une surface totale de 7 200 m<sup>2</sup> sont chauffées par les eaux géothermiques du Sahara à 57°C.

La température de la source combinée à un débit de 1 L/s est utilisée pour assurer une température minimale de 12°C à l'intérieur de chaque serre (Saibi, 2015). Un potentiel géothermique important a été trouvé dans la zone géothermique du Sahara, suffisant pour chauffer 9 000 serres et l'utilisation totale d'énergie pour la géothermie est d'environ 1 778,65 TJ/an, comme indiqué par Bellache et al. (1995). (17)

### **I.7 Conclusion**

La géothermie est l'une des plus importantes sources d'énergie renouvelable au monde. Les sources de chaleur sont concentrées sous de nombreuses formes, telles que les volcans et les sources chaudes, et leur efficacité thermique augmente à mesure que nous nous enfonçons plus profondément dans le sous-sol. Cette énergie géothermique est utilisée pour le chauffage, la production d'électricité et dans de nombreux domaines industriels et agricoles. Et l'Algérie dispose d'une grande réserve de cette énergie qui peut être utilisée comme alternative économique loin des hydrocarbures.

## **CHAPITRE II**

# **Etude de l'installation de chauffage**

## II.1 Présentation du complexe de Hammam K'sana de Bouira

### II.1.1 Histoire :

C'est dans une monographie écrite par le maire d'Aumale (actuellement Sour El Ghozlane) qu'apparut pour la première fois le nom de faraksen transcrit en langue française.

Selon cette monographie, Faraksen aurait été l'adjoint de Takfarinas, Après la débâcle infligée à celui-ci, Faraksen aurait échappé à la tête d'une petite troupe de rescapés, Après cela, il s'installe dans la vallée de Soummam, loin de la vue des Romains, et formerait une armée de combattants Il a remporté de nombreuses victoires, Et inflige de lourds dégâts aux Romains, avant d'être arrêté et exécuté publiquement.

La même monographie précise enfin que Faraksen serait issue de la tribu berbère des farakséna dont le territoire se situait au sud du Djurdjura, sur les hauteurs qui surplombent les villes actuelles entre Tazmalt et Sidi Aich. (19)

### II.1.2 En cadre géographique

Hammam K'sana est un site thermal sis au cœur de la forêt de K'sana, située dans la commune d'El Hachimia, à 34 km au sud du chef-lieu de la wilaya de Bouira et à 20 km de la ville historique de Sour El Ghozlane,( zone climatique C) entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien avec son importante émergence hydrothermale et des qualités thérapeutiques prouvées, la région de Hammam K'sana offre l'une des premières opportunités touristiques de la wilaya de Bouira, et ce, en rassemblant des atouts différents et nombreux, tels que le climat, la montagne, l'oued, la forêt et les pistes. La surface du terrain, sur lequel se situe la source thermale est de 60 m<sup>2</sup> sur une étendue approximative de 32 ha, elle est appréciée pour ses qualités curatives à travers tout le pays. (19)

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

**Tableau II.1** : données de base du chauffage suivant la zone C

### II.1.3 La structure de complexe de Hammam ksana

La structure actuelle fait partie d'un ensemble intégré comportent trois unités :



**Figure II.1 : Hammam KSANA**

1. L'unité des bains traditionnels
2. L'unité médicale
3. L'unité d'hébergement

Seule l'unité 1 a pu être édifiée pour connaître une exploitation partielle à hauteur de 40 % de ses capacités globales. La réalisation des unités 2 et 3 est toujours subordonnée au règlement de questions foncières.

#### II.1.3.1 L'unité des bains traditionnels

Mise en exploitation à la fin de l'année 2008, l'unité des bains traditionnels de Hammam Ksana se distingue par une conception architecturale adaptée à la sécurité et au confort de ses usagers. En sus des exigences relatives aux établissements classés recevant du public, les cabines de bains et les espaces de circulation bénéficient d'un système d'aération intégré autorisant un contrôle strict et continu de leur atmosphère et leur environnement immédiat. Elles bénéficient aussi de sols traités contre les risques de glissades. Pour prévenir les risques de brûlures, la température des eaux de bains peut être ajustée par un apport d'eau tiède à partir des refroidisseurs et des réservoirs de refroidissement. (19)

<b>Les structures de l'unité 1</b>	<b>Nombre de structure</b>
Salles de bain individuelles	60
Bains collectifs d'une capacité de 50 personnes	2
Bains de vapeur thermale d'une capacité de 30 personnes	1
Salles d'attente et de repos	6
Restaurent 60 couverts	1
Suites et studios d'hébergement	20
Restaurent locataires	1
Cafétéria	1
Terrasses de détente	2
Espace de rencontres (salle polyvalente)	1
Espace Enfants	1

**Tableau II.2** : Les structures de l'unité 1 (19)





**Figure II.2** : baignoires individuelles



**Figure II.3** : Baignoires collectives



**Figure II.4** : Baignoire à vapeur



**Figure II.5** : Salles d'attente et de repos



**Figure II.6 :** Suites et studios d'hébergement



**Figure II.7 :** Cafétéria



**Figure II.8 :** Restaurent



**Figure II.9 :** Aire de repos extérieure

## II.2 Données de la station thermale de Hammam ksana

### II. 2.1 Température

La température à l'émergence atteint **92° C**. La réalisation d'un refroidisseur a été nécessaire pour obtenir une eau à **60 – 65° C** dans les structures de bains.

### II.2.2 Débit

Les structures du Complexe de Thermalisme et de Détente de Hammam Ksana ont été dimensionnées en rapport avec un débit de **8 l/s**. Cette valeur de débit figure dans l'ancien compte-rendu de surveillance et de suivi régulier des sources et émergences naturelles antérieurs à l'année 1968. Les mesures effectuées par l'ONDT en 1986 et celles réalisées par nos soins en 2003 ont confirmé ce débit qui reste néanmoins tributaire des conditions météorologiques saisonnières et particulièrement du cycle récurrent propre à l'Algérie du nord (30 ans de pluviométrie régulière suivis de 10 années de sécheresse durant lesquelles les potentiels hydrauliques sont fortement diminués).

### II.2.3 Autres paramètres et particularités de la ressource hydraulique

Le tableau suivant contient les particularités de la ressource hydraulique

Type de paramètre	Valeur et particularités
Captage	Chambre de captage et galerie souterraine
Classe	Sulfatée sodique
Ph	7.15
Teneur en sels	faible
Teneur en gaz dissous	faible
Transfert	gravitaire
Traitement	Abaissement de la température par refroidisseurs et réservoirs

**Tableau II.3** : Les données de sources chaudes



### II.3 Utilisation de l'eau géothermique du complexe de Hammam KSANA

En raison de la longue distance du complexe à la source d'eau chaude, Ils ont creusé un col de 40 mètre de long pour transporter l'eau chaude, et puisque l'emplacement du complexe est bas par rapport à la source, il ne dépend donc que de la gravité pour le transporter sans utiliser des pompes.

Ensuite, l'eau chaude est transférée dans le réservoir de refroidissement afin de réduire la température de l'eau de 92°C degrés à 60°C jusque 70°C pour une utilisation dans le bain chaud.



**Figure II.10** : La source chaude géothermique



**Figure II.11** : Réservoir de refroidissement

### II.4 Détermination du besoin de chauffage du complexe

#### II.4.1 Introduction

Pour étudier le comportement thermique et énergétique du bâtiment, le modèle choisi est défini dans ce chapitre.

Afin de dimensionner une installation de chauffage il est nécessaire de connaître avec une bonne approximation les besoins thermiques. Dans le cas d'une habitation, nous allons définir plusieurs grandeurs représentatives des échanges thermiques avec l'extérieur.

On notera  $T_i$  la température de confort (consigne que l'on veut maintenir à l'intérieur de l'habitation) et  $T_a$  la température de l'environnement. Les pertes thermiques ont plusieurs

origines : les murs extérieurs et intérieurs, les vitrages, le plancher, la toiture et le renouvellement d'air

#### II.4.2 Présentation de l'habitation

Un hébergement d'une superficie de 800.7 m<sup>2</sup>, construite avec des matériaux locaux, située à Bouira dont les coordonnées géographiques sont les suivantes : Latitude 36°18' N ; Longitude 3°96' E.

Cette unité hébergement est composée de 20 studios et 2 suites, les besoins de cette habitation sont évaluer en fonction de ces caractéristiques architecturales, du nombre d'occupants et du taux de renouvellement d'air.

##### a. Données architecturales des studios

Hauteur d'un studio	2.8 m
Surface d'un studio	32 m <sup>2</sup>
Volume d'un studio	89.6 m <sup>3</sup>

**Tableau II.4 :** Données architecturales des studios (19)

##### b. Données architecturales des Suits

Hauteur de suit	2.8 m
Surface de suit	42,85 m <sup>2</sup>
Volume de suit	120 m <sup>3</sup>

**Tableau II.5 :** Données architecturales des Suits (19)

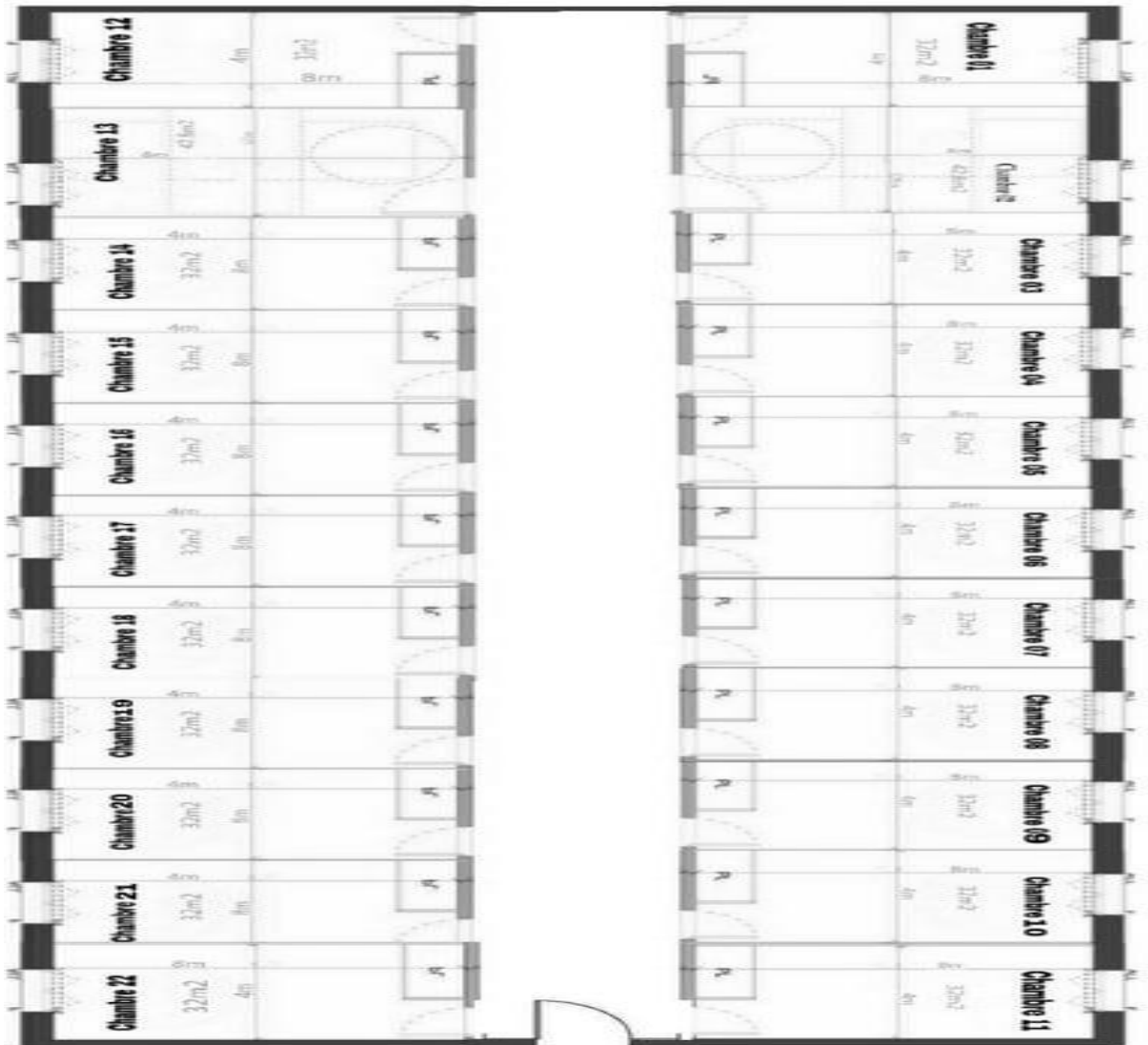


Figure II.12 : Plan de l'étage

### II.4.3 Déperditions de l'hôtel

Si l'on désire optimiser le confort tout en minimisant la consommation d'énergie achetée, il est nécessaire de comprendre où passent les flux de chaleur et connaître leur importance. Or il est difficile de mesurer tous les flux de chaleur traversant un bâtiment, et cette mesure est impossible sur un bâtiment en projet, c'est pourquoi le calcul du bilan énergétique du bâtiment est d'une grande utilité.

Les déperditions thermiques sont des calories sortantes d'un local, ou d'un groupe de locaux par :

- transmission de chaleur à travers les parois
- par renouvellement d'air
- par liaisons

Le calcul est basé sur le document technique réglementaire de l'Algérie (DTR C 3.2/4). Ce dernier nous permet de limiter les déperditions thermiques de notre local avec des méthodes de calculs très simples et qui ont été déjà approuvées pour trouver des solutions techniques admissibles.

Le document technique réglementaire (DTR) a pour objet de fixer les méthodes de :

- détermination des déperditions calorifiques des bâtiments.
- vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique.
- dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ; on introduit alors la notion de déperditions calorifiques de base.
- conception thermique des bâtiments.

Les déperditions totales  $D_i$  pour un logement, sont données par :

$$D_i = D_T + D_R \quad [W/^\circ C] \quad (II.1)$$

Où :

- $D_T$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions par transmission,

- $D_R$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions par renouvellement d'air.

#### ➤ **Déperdition par transmission**

Les déperditions par transmission  $(D_T)_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{inc})_i \quad [W/^\circ C] \quad (II.2)$$

Où

- $(D_s)_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur

- $(D_{li})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les liaisons,

- $(D_{sol})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol

$-(D_{inc})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

- **Déperditions surfaciques**

Les déperditions surfaciques par l'enveloppe de la maison sont calculées comme suit :

$$D_s = D_{mur} + D_{po} + D_f + D_{ph} + D_{pb} \quad [W/^\circ C] \quad (II.3)$$

Où :

- $D_m$  : Déperdition par le mur extérieur

- $D_{po}$  : Déperditions par les portes

- $D_f$  : Déperditions par les fenêtres

- $D_{ph}$  : Déperditions par le plancher

- $D_{pb}$  : Déperditions par le toit

- **Calcul des résistances thermiques**

- 1) **Le mur extérieur :**

Il est constitué de cinq couches de l'intérieur vers l'extérieur comme suit :

Matériaux	Epaisseur (m)	$\lambda(W/m.C^\circ)$	$R_{th}(m^2.C^\circ/W)$
<b>Plâtre</b>	0.01	0.50	0.02
<b>Brique creuse</b>	0.15	0.48	0.21
<b>Air</b>	0.05		0.16
<b>Briques creuse</b>	0.15	0.48	0.21
<b>Mortier du ciment</b>	0.02	1.4	0.01
			<b><math>\Sigma R_{th}=0.61</math></b>

**Tableau II.6 :** les caractéristiques de mur extérieur



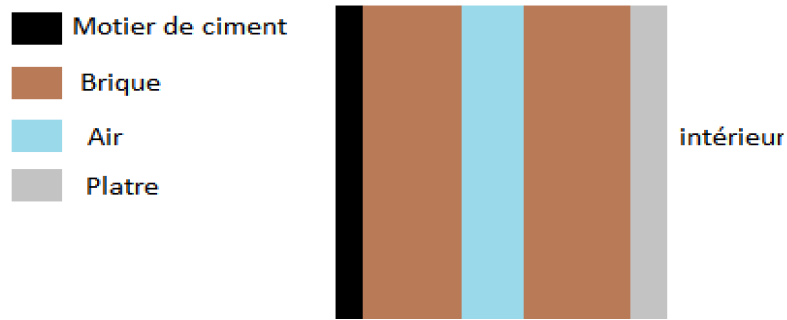


Figure II.13 : Schéma représentatif du mur extérieur et ces composants.

2) Le Murs intérieur

Ils sont composés de 3 couches comme suit :

Matériaux	Epaisseur (m)	$\lambda$ [W/m.C°]	$R_{th}$ [m².C°/W]
Plâtre	0.01	0.50	0.02
Brique	0.1	0.48	0.21
Plâtre	0.01	0.50	0.02
			$\Sigma R_{th} = 0.25$

Tableau II.7 : les caractéristiques de mur intérieur

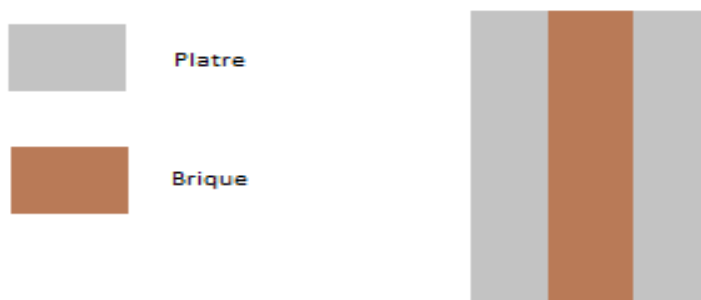


Figure II.14 : Schéma représentatif du mur intérieur et ces composants.

3) Plancher bas

Il est constitué de cinq couches du haut vers le bas comme suit

Matériaux	Epaisseur (m)	$\lambda$ [W/m.C°]	$R_{th}$ [m².C°/W]
Dal de sol	0.01	1.05	0.01
Ciment	0.04	1.15	0.03
Sable	0.02	0.3	0.06
Béton	0.10	2.1	0.05
Hourdis	0.10	1.65	0.06
			$\Sigma R_{th} = 0.21$

Tableau II.8 : les caractéristiques de plancher bas

dal de sol  
 ciment  
 sable  
 béton  
 hourdi



Figure II.15 : Schéma représentatif du plancher et ces composants.

## 4) plancher haut (toit)

Elle est constituée de trois couches du haut vers le bas comme suit :

Matériaux	Epaisseur (m)	$\lambda$ [W/m.C°]	$R_{th}$ [m².C°/W]
Béton plein	0.2	2.1	0.09
Air	0.1		0.16
Placoplatre	0.012		0.04
			$\Sigma R_{th} = 0.29$

Tableau II.9 : les caractéristiques de plancher haute (toit)



**Figure II.16** : Schéma représentatif du plafond et ces composants.

- **Calcul du coefficient de transmission surfacique des murs**

Le coefficient K est donné par la formule suivante

$$\frac{1}{k} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}] \quad (\text{II.4})$$

Donc :

$$\frac{1}{k_m} = \sum R_{mur} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$$

Où :

$\sum R_{mur}$  (en  $\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$ ) représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. La détermination de la résistance thermique d'une couche de matériau dépend de la nature du matériau, c'est à dire s'il est homogène ou non ;

La somme  $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$  en ( $\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$ ) représente la somme des coefficients d'échange superficiel, prise conformément aux conventions adoptées.

❖ **Chambre 01 :**

Murs Est et Nord sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Ouest et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

❖ **Chambre 2-10:**

Murs Est sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Nord, Ouest et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

❖ **Chambre 11 :**

Murs Nord et Est sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Sud, Ouest et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

❖ **Chambre 12 :**

Murs Nord et Ouest sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Sud et Est sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

❖ **Chamber 13-21:**

Murs Ouest sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Nord, Est et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

❖ **Chamber 22 :**

Murs Nord et Ouest sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Sud et Est sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

❖ **Le couloir :**

Murs Nord et Sud sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Murs Ouest et Est sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

- **Calcul du coefficient de transmission surfacique des planchers**

- **Planchers bas :**

Le Pb est en contact avec un local chauffé donc

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0.34$$

$$\frac{1}{k_{pb}} = \sum R_{pb} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ / \text{W}]$$

- **Planchers Haut :**

Le Ph est en contact avec l'extérieur donc

$$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = 0.14$$

$$\frac{1}{k_{ph}} = \sum R_{ph} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{C}^\circ / \text{W}]$$

- **Coefficient de transmission surfacique des fenêtres (porte fenêtres) et les portes**

Les valeurs du coefficient de transmission surfacique des portes et fenêtres sont :

Portes et fenêtres	K [w/m <sup>2</sup> .C°]
Portes de bois opaque donnant vers l'extérieur	3.5
Fenêtres simple vitrage	5.8

**Tableau II.10 :** Coefficient de transmission surfacique des fenêtres et de portes

- **Calcule des déperditions surfaciques totales de la chambre**

La puissance totale de chauffage installée pour un logement ne doit pas être inférieure aux déperditions de base  $D_b$

Les déperditions de base pour un volume thermique  $D_b$  ont pour expression :

$$(D_b)_i = D_i \times (T_{bi} - T_{be}) \quad (\text{II.6})$$

Où :

$-D_i$  (en W/°C) représente les déperditions totales du volume thermique  $i$  ;

$-T_{bi}$  (en °C) est la température intérieure de base du volume considéré ;

$-T_{be}$  (en °C) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

- **Température intérieure de base :**

On prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base :

Immeuble d'habitation 21°C et la circulation chauffée en continu au-dessus de l'hébergement 40°C

- **Température extérieure de base :**

La température extérieure de base est fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet.

➤ **Déperditions à travers les locaux non chauffés**

Pas de paroi en contact avec les locaux non chauffés  $\Rightarrow D_{lnc} = 0 \text{ W}/^\circ\text{C}$

➤ **Calcule les déperditions à traverse les liaisons**

**Expression générale :**

Les déperditions à travers une liaison, ou pont thermique,  $D_{li}$ , pour une différence de température de 1°C, sont données par la formule :

$$D_{li} = k_l \times L \quad (\text{II.7})$$

Où :

- $k_l$  (en  $\text{W}/\text{m } ^\circ\text{C}$ ) représente le coefficient de transmission linéique de la liaison,

- $L$  (en m) représente la longueur intérieure de la liaison.

**Calcul simplifié :**

Les déperditions par ponts thermiques pour tout le logement peuvent être évaluées à 20% des pertes surfaciques par transmission à travers les parois du logement, soit :

$$\sum k_l \times L = 0.20 \sum K \times A$$

➤ **Calcule les déperditions par renouvellement d'air**

Les déperditions thermiques par renouvellement d'air pour un espace chauffé sont calculées par la relation suivante :

$$D_r = \rho \times C_p \times (Q_v + Q_s) \quad (\text{II.8})$$

Où :

- $Q_v$  (en  $m^3/h$ ) : le débit spécifique de ventilation ;

-  $Q_s$  (en  $m^3/h$ ) : le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

-  $\rho$  masse volumique de l'air =  $1,2 \text{ kg}/m^3$

-  $C_p$  ( $\text{kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ ) : capacité calorifique massique de l'air =  $1,005 \text{ kJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$

Or  $\rho \times C_p = 0,34$  (en  $\text{Wh}/m^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) est la chaleur volumique de l'air ; La relation devient alors :

$$D_r = 0.34 \times (Q_v + Q_s)$$

❖ Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent :

$$Q_s = \sum(P_{pi} \times e_{vi}) \quad (\text{II.9})$$

Où :

- $P_{pi}$  (en  $m^3/h$ ) sous une différence de pression ( $\Delta P = 1 \text{ Pa}$ ) est la perméabilité à l'air de la paroi  $i$  ;

- $e_{vi}$  (sans dimension) est le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi  $i$ .

La perméabilité d'une paroi  $i$  :

$$P_{pi} = \sum(P_{oj} \times A_j) \quad (\text{II.10})$$

Où :

- $P_{oj}$  (en  $m^3/h.m^2$  sous  $\Delta P = 1 \text{ Pa}$ ) est la perméabilité surfacique à l'air de l'ouvrant  $j$ ; les valeurs de  $P_o$  pour les ouvrants courants sont regroupées dans le tableau ci-après.

- $A_j$  (en  $m^2$ ) est la surface de l'ouvrant  $j$ .



Type de parois	Valeurs de $P_o$ ( $m^3/h.m^2$ 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

**Tableau II.11** : les valeurs de  $P_o$  pour les ouvrants courants [DTR 3.2]

## CHAPITRE III

# Dimensionnement de l'installation de chauffage

### III.1 Introduction

Des nombreux procédés impliquent l'échange d'énergie thermique et, en tant que tels nécessitent au moins un équipement capable de transférer la chaleur d'un milieu à un autre. Ces équipements sont communément appelés les échangeurs de chaleur. (20)

Dans ce chapitre, nous allons aborder le principe de fonctionnement et les différents types échangeurs thermiques.

### III.2 Définition d'un échangeur de chaleur

Un échangeur de chaleur est un appareil de transfert de chaleur qui est utilisé pour le transfert de l'énergie thermique interne entre deux ou plusieurs fluides à des températures différentes. Dans la plupart des échangeurs de chaleur, les fluides sont séparés par une surface de transfert de chaleur et idéalement ils ne se mélangent pas. (21)

Les échangeurs de chaleurs sont utilisés principalement dans les secteurs de l'industrie (Chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.).

### III.3 Principe général de fonctionnement

Le principe le plus général consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi qui est le plus souvent métallique ce qui favorise les échanges de chaleur.

On a en général un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid. En d'autres termes, le fluide chaud se refroidit au contact du fluide froid et le fluide froid se réchauffe au contact du fluide chaud. Les deux fluides échangent de la chaleur à travers la paroi. (20)

Les échangeurs à fluides séparés permettent le transfert de chaleur d'un fluide à un autre sans mélange. Les mécanismes de transfert thermique utilisés sont :

- la convection forcée entre fluide primaire et paroi
- la conduction à travers la paroi
- la convection libre ou forcée entre paroi et fluide secondaire

D'autre part, l'un des fluides peut subir un changement de phase : Condensation, évaporation.

Le problème majeur dans le dimensionnement consiste à définir une surface d'échange suffisante entre les deux fluides pour transférer la quantité de chaleur nécessaire dans une configuration donnée. Cette quantité dépend de la surface d'échange entre les deux fluides

mais aussi de nombreux autres paramètres, ce qui rend une étude précise de ces appareils assez complexe.

### III.4 La conception technologique des échangeurs de chaleur

Il existe plusieurs configurations industrielles des échangeurs de chaleur. Néanmoins, on peut distinguer deux grandes familles : les échangeurs à tubulaires et les échangeurs à plaques.

#### III.4.1 Les échangeurs tubulaires

Les échangeurs tubulaires sont constitués de tubes dont la paroi forme la surface d'échange, on distingue des échangeurs monotube (serpentin), bi tube (tube coaxiaux), faisceaux de tubes enfermés dans une enveloppe appelée calandre (tubes-calandre).

##### ➤ *Échangeur monotube (serpentin)*

Dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpentin.



**Figure III.1 :** Échangeur monotube

##### ➤ *L'échangeur bitubes (coaxial)*

C'est le type d'échangeur à fluides séparés le plus simple qui existe. Il est constitué de deux tubes concentriques, le premier fluide circulant à l'intérieur du tube intérieur, le second fluide circulant dans l'espace annulaire. Ce sont des échangeurs très efficaces et très simples à réaliser. L'inconvénient principal de ces échangeurs est qu'ils deviennent très vite très encombrants lorsque la puissance à échanger devient grande et la flexion du tube intérieur si la longueur est importante. Ajoutons à cela des pertes de charges qui peuvent être prohibitives pour les grandes longueurs. Ils sont néanmoins fabriqués pour les industries utilisant de faibles puissances d'échanges (Froid).

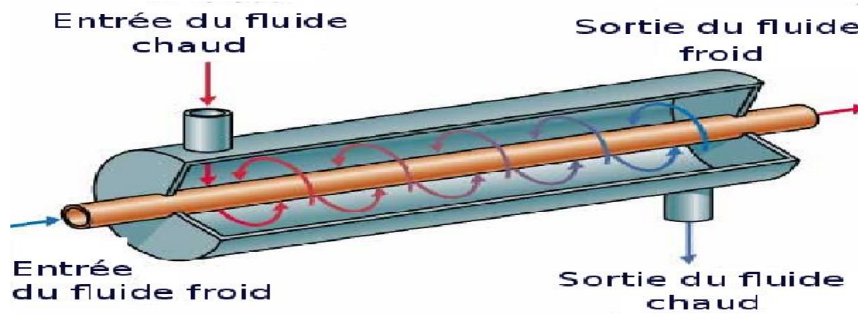


Figure III.2 : Échangeur coaxial

### ➤ Les échangeurs multitubulaires

Ce sont des échangeurs extrêmement répandus en industrie (Industries chimiques et pétrochimiques, froid industriel, centrales thermiques et nucléaires, industries alimentaires, pharmaceutiques ...).

Ils sont constitués d'un faisceau tubulaire inséré dans une calandre (l'échangeur est aussi appelé tubes et calandre). L'un des fluides circule à l'intérieur des tubes et l'autre dans la calandre, autour des tubes. Ils sont compacts et peuvent présenter des surfaces importantes jusqu'à 300 m<sup>2</sup>. Les principaux éléments constitutifs des échangeurs multitubulaires sont : la calandre, faisceau tubulaire, plaques tubulaires, les boîtes de distribution et les chicanes.

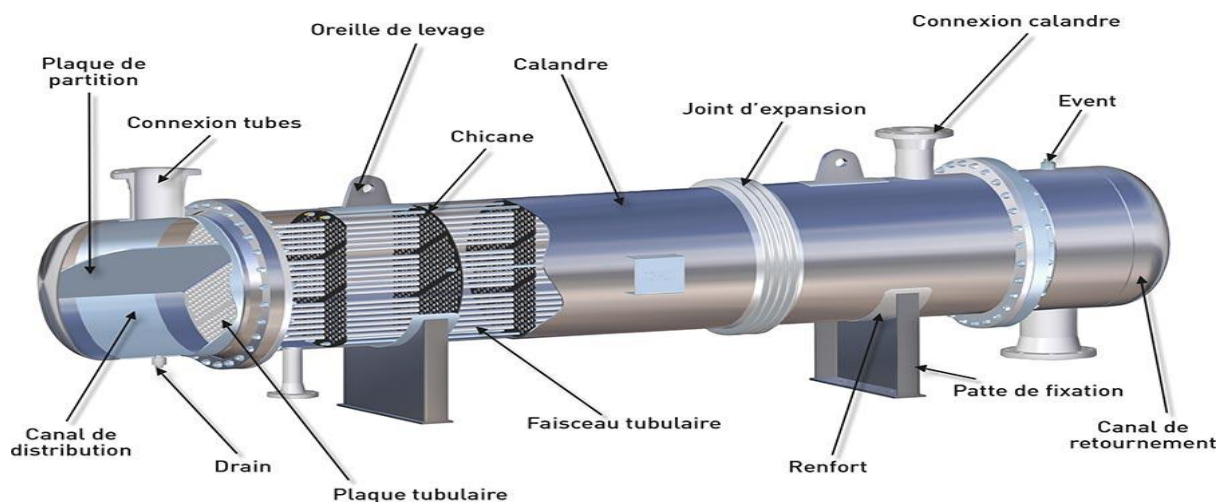
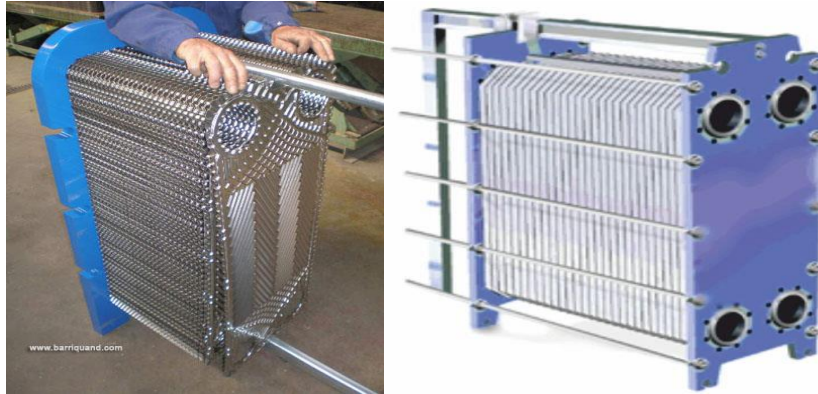


Figure III.3 : échangeur multitubulaire.

### III.4.2 Echangeurs à plaques

En règle générale, les échangeurs à plaques sont composés d'un nombre variant de plaques disposées les unes à côté des autres et séparées par un espace. Les fluides chauds et froids circulent en passages alternés, chaque fluide froid est entouré par deux fluides chauds et

inversement. Du fait de leur compacité, ces échangeurs permettent une grande surface d'échange dans un volume limité. Ils sont utilisés pour des échanges entre deux fluides de même nature liquide/liquide, son inconvénient les pertes de charges importantes.



**Figure III.4 :** Echangeur a plaque.

### III.5 Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

Notre choix c'est porté sur l'échangeur à serpentin qui sera émergé dans le réservoir de collecte d'eau géothermique de dimension (L x l x H) de (6 m× 4 m× 3 m). Le choix de cette configuration revient à sa structure compacte, le coefficient de transfert élevé, ça facilité de mise en œuvre par rapport à un échangeur multitubulaire ainsi que le son cout réduit de maintenance.

On note que la distance entre l'échangeur de chaleur et le réseau de distribution (premier radiateur) est de 50 m, les radiateurs seront installés à la même cote que l'échangeur (même dénivellation). On considère que les pertes de charge hydraulique sont peu importantes en raison de la linéarité de l'installation.

Dans notre contexte, on utilise cet échangeur de chaleur à effet double (chauffage centrale et l'abaissement de la température de l'eau des bains).

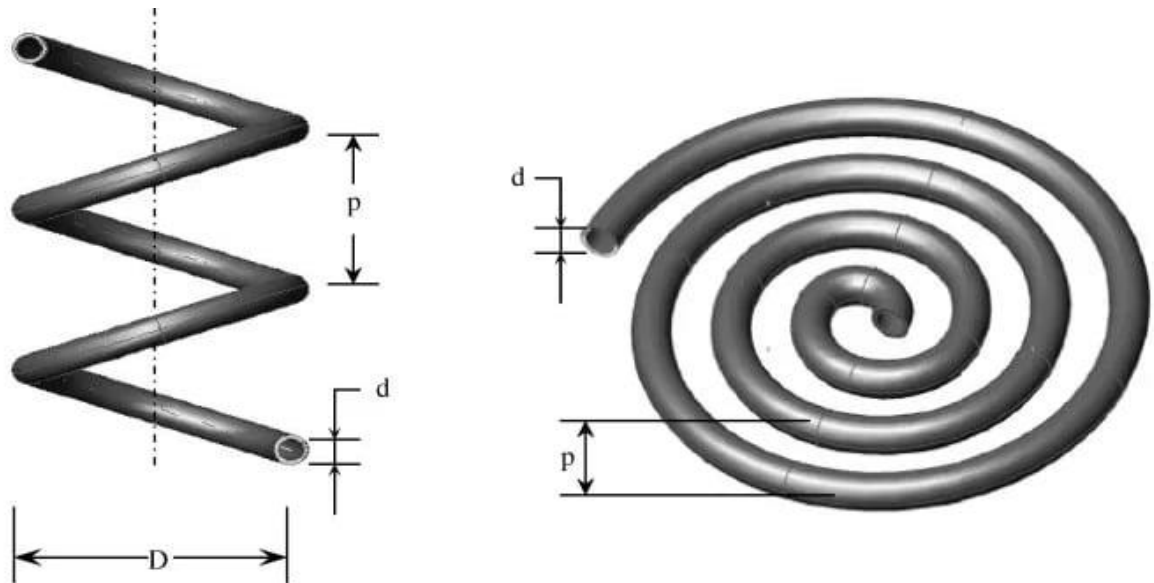


Figure III.5 : le schéma de tube serpentin

### Caractéristique de tube hélicoïdal

dsi	0.050m
Ds	0.3 m
$k_{acier}$	390 W/m °C.
Epaisseur (e)	4 mm

Tableau III.1 : Caractéristique de tube hélicoïdal

### III.5.1 Analyse thermique de l'échangeur de chaleur

- La puissance disponible fournie par l'eau chaude

$$P_{chaude} = Q_{mc} \times C_{pc} \times \Delta T_c \quad (III.1)$$

- Les caractéristiques de l'eau chaude

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

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

$$T_{cs} = 60^\circ\text{C}$$

Les propriétés thermiques de l'eau telles que la conductivité, la densité et la chaleur spécifique varient avec la température donc en utilisant les mêmes valeurs de propriétés des toutes températures conduit à l'échec de la conception.

Donc en prendre les propriétés de température moyenne de l'eau chaude

$$\frac{T_{ce} + T_{cs}}{2} = \frac{92 + 60}{2} = 76^{\circ}\text{C}$$

- Les propriétés de l'eau chaude a  $\Delta T_c = 76^{\circ}\text{C}$  :

Propriétés	Valeur
$\rho$	974.08 kg/m <sup>3</sup>
$C_p$	4084 J/kg. K
$\mu$	$0.373 \times 10^{-3}$ kg/m. s
$k$	0.647 W/m. K
$P_r$	2.34

**Tableau III.2** : Propriétés de l'eau chaude.

$$Q_{mc} = Q_v \times \rho \quad (\text{III.2})$$

- **La puissance du chauffage**

La puissance totale du chauffage envisagé pour la structure d'hébergement de Hammam Ksana est déterminée dans le chapitre précédent qui est estimé à **40975.326W**, par conséquent la puissance géothermique disponible couvre largement le besoin en chauffage de la structure d'hébergement.

On a

$$P = U \times A \times \Delta TLM \quad (\text{III.3})$$

P : Puissance réel d'échange (W)

U : Coefficient d'échange thermique global (W /m<sup>2</sup>.K)

A : Surface d'échange (m<sup>2</sup>)

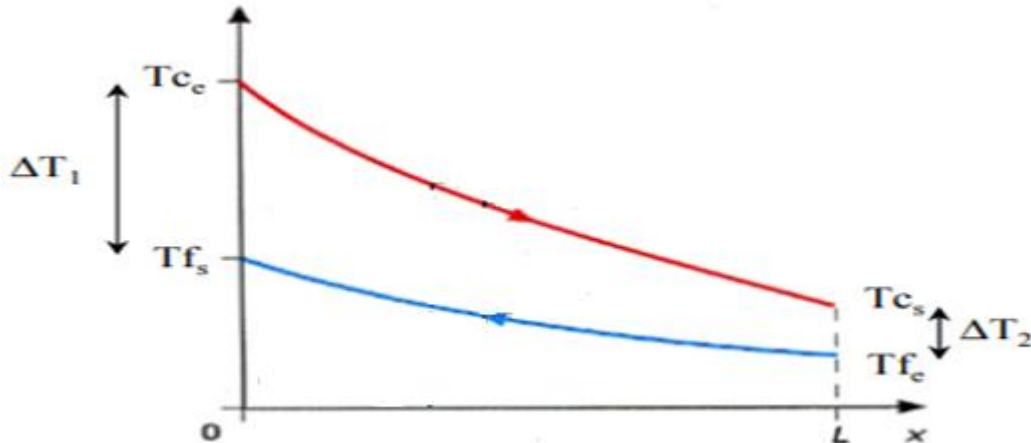


F : Facteur de correction

DTLM : Différence de Température Logarithmique Moyenne (°C)

- **Calcul du DTLM**

On a choisi le mode contre-courant :



**Figure III.6** : distribution de température dans un échangeur à contre-courant

$$\Delta TLM = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln\left(\frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}}\right)} \quad (\text{III.4})$$

Les températures d'entrées et de sortie du fluide froid dans l'échangeur dépend du régime de température d'eau choisi. Lors de leur installation avec une chaudière classique, ils ont souvent été dimensionnés pour couvrir les besoins avec une haute température d'environ 90 °C ou 75 °C de départ d'eau. Dans notre cas pour chauffer les chambres de l'hébergement à l'aide de l'énergie géothermique, nous avons choisi de travailler sur des radiateurs de type « Blitz » avec un régime de température de 65°C / 50°C.

- **Les caractéristiques de l'eau froide :**

$$T_{fe} = 65 \text{ °C}$$

$$T_{fs} = 50 \text{ °C}$$

La température moyenne de l'eau froide

$$\frac{T_{fe} + T_{fs}}{2} = \frac{65 + 50}{2} = 57.5 \text{ °C}$$

- Les propriétés de l'eau froide a  $\Delta T_f = 57.5^\circ\text{C}$  :

Propriétés	Valeur
$\rho$	984.66 kg/m <sup>3</sup>
$C_p$	4183 J/kg. K
$\mu$	$0.489 \times 10^{-3}$ kg/m. s
$k$	0.643W/m. K
$P_r$	3.18

**Tableau III.3** : propriétés de l'eau froide.

$$P_{froid} = Q_{mf} \times C_{pf} \times \Delta T_f \quad (\text{III.5})$$

$$P_{froid} = Q_{mf} \times C_{pf} \times \Delta T_f = 40975.326\text{W}$$

$$Q_{mf} = \frac{P_{froid}}{C_{pf} \times \Delta T_f} = \frac{40975.326}{4183 \times (65-50)} = 0.65 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- **Calcul du coefficient global d'échange**

$$\frac{1}{U_e} = \frac{d_{se}}{h_i d_{si}} + \frac{d_{se} \ln \left( \frac{d_{se}}{d_{si}} \right)}{2\pi k} + \frac{1}{h_e} \quad (\text{III.6})$$

Ou :

$U_e$  : coefficient global d'échange rapporté à la surface extérieur,

$d_{se}$  : diamètre extérieur du tube de serpent,

$d_{si}$  : diamètre intérieur du tube de serpent,

$k$  : conductivité thermique du serpent,

- **Calcul de  $h_i$  (côté serpentín)**

On détermine le régime de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement de l'eau froide :

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \times S} \quad (\text{III.7})$$

Le nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times v \times d_{si}}{\mu} \quad (\text{III.8})$$

Le nombre de Nusselt pour le régime turbulent est calculé à partir de la corrélation suivante :

$$Nu = 0.023 Re^{0.85} Pr^{0.4} \left( \frac{d_{si}}{D_c} \right)^{0.1} \quad (\text{III.9})$$

Finalement on a :

$$h_i = \frac{Nu \times k}{d_{si}} \quad (\text{III.10})$$

$h_i$  = coefficient de convection intérieur  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

- **Calcul de  $h_e$  (côté calandre)**

On détermine le régime de l'écoulement dans l'espace annulaire

La vitesse de l'écoulement de l'eau chaude :

Calcul du diamètre hydraulique de l'espace annulaire  $d_h$  :

$$d_h = \frac{4 \times S}{P} \quad (\text{III.11})$$

$d_h$  : Diamètre hydraulique d'espace annulaire (m)

**S** : Section de l'espace annulaire ( $m^2$ )

**P** : Périmètre d'espace annulaire (m)

$$S = \left( (L \times l) - \left( \frac{1}{4} \pi d_{se}^2 \right) \right) \quad (\text{III.12})$$

$$P = \left( (\pi \times d_{se}) + 2 \times (L + l) \right) \quad (\text{III.13})$$

Calcul de la vitesse d'écoulement :

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \times S} \quad (\text{III.14})$$

Le nombre de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \times v \times d_h}{\mu}$$

Le nombre de Nusselt est calculé à partir de la corrélation suivante :

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (\text{III.15})$$

Le coefficient de convection côté calandre est :

$$h_e = \frac{Nu \times k}{d_h} \quad (\text{III.16})$$

Le coefficient d'échange global devient :

On a

$$d_{si} = 0.050 \text{ m}$$

$$d_{se} = 0.054 \text{ m}$$

$$U_e = \frac{1}{\frac{d_e}{h_i d_i} + \frac{d_e \ln(d_e/d_i)}{2\pi k} + \frac{1}{h_e}}$$

- **Calcul de la surface d'échange A**

$$A_e = \frac{P}{U_e \times \Delta TLM} \quad (\text{III.17})$$

$$\text{Et } A_e = \pi \times d_e \times L_s \quad (\text{III.18})$$

Où  $L_s$  est la longueur du serpentin qui est exprimé par la relation suivante (22) :

$$L_s = N\sqrt{(2\pi R_s)^2 + p^2} \quad (\text{III.19})$$

$N$  est le nombre de tour du serpentin

$R_s$  : rayon de serpentin

$p$  : pas

La longueur de la calandre est donnée par cette relation (22) :

$$L_c = N \times p \quad (\text{III.20})$$

Donc

$$\begin{cases} L_s = N\sqrt{(2\pi R_s)^2 + p^2} \dots \dots (1) \\ L_c = N \times p \dots \dots (2) \end{cases}$$

En remplaçant l'équation (2) dans l'équation (1) se trouve

Le nombre de tour

$$N = \sqrt{\frac{L_s - L_c}{(2\pi R_s)^2}}$$

La valeur de pas

$$p = \frac{L_c}{N}$$

### III.6 Dimensionnement et installation des radiateurs

Au sein d'une installation de chauffage central, le radiateur assure le transfert de chaleur du l'eau chaude à l'air ambiant de la pièce où il est installé. L'installation comprend donc un ou plusieurs radiateurs dans chaque pièce de l'habitation. (23)

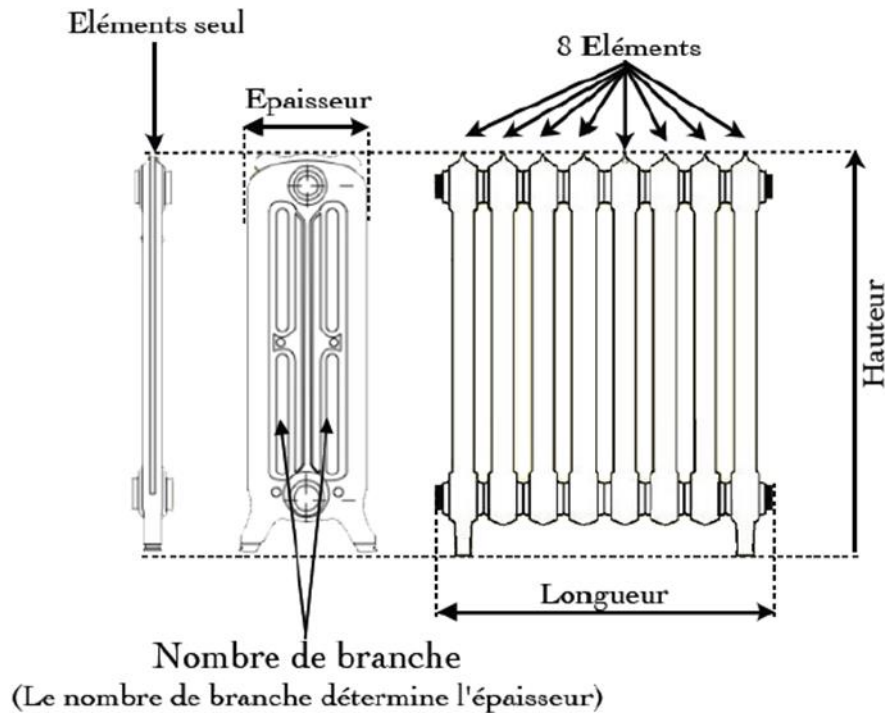
Dans cette partie, On le fera traiter les différents paramètres de radiateur

#### III.6.1 Choix du modèle de radiateurs

Il existe plusieurs épaisseurs, hauteurs et longueurs de radiateurs fonte ou acier. Pour déterminer les dimensions d'un radiateur, il faut simplement mesurer sur plan ou physiquement l'emplacement défini pour ce dernier.

- Pour une même puissance, les dimensions peuvent être différentes d'un modèle à l'autre
- La longueur du radiateur fonte dépend du nombre d'éléments assemblés.

Dans notre cas, nous allons travailler sur un radiateur de type « Blitz » (voir Annexe B), fait d'alliage d'aluminium.



**Figure III.7 :** Schéma du radiateur

### III.6.2 Régime de température de l'eau

On va choisir un régime de température de 65°C à l'entrée et 50°C à la sortie du radiateur et une température ambiante de 21°C à l'intérieur du local. Afin qu'on puisse dimensionner le radiateur dont nous aurions besoin pour chauffer le locale, il faut user d'un delta T qui est la différence de température entre la température moyenne de l'eau dans le radiateur et la température ambiante.

$$\Delta T = \frac{T_e + T_s}{2} - T_{ambiant} \quad (\text{III.21})$$

$T_e$  : la température du fluide à l'entrée du radiateur,

$T_s$  : la température du fluide à la sortie du radiateur,

### III.6.3 Calcul du débit des radiateurs

Le débit des radiateurs est exprimé en (L/h), il est déterminé par la relation suivante :

$$Q = \frac{P \times 3.6 \cdot 10^6}{\rho \times c_p \times \Delta T} \quad (\text{III.22})$$

### III.6.4 Nombre d'éléments d'un radiateur

Le nombre des éléments du radiateur est déterminé en fonction de la puissance à installer et de la puissance d'un élément du radiateur.

$$\text{Nombre d'élément} = \frac{\text{Puissance à installer}}{\text{Puissance d'un élément}} \quad (\text{III.23})$$

- **Le nombre d'élément**

On place le modèle Blitz (800/80) avec une hauteur de 877 mm et une longueur de 80 mm, pour déterminer correctement la puissance thermique des radiateurs à installer, se référer aux normes en vigueur dans la détermination du nombre des éléments qui vont composer chacune des batteries.

Pour un calcul de première approximation, on peut également obtenir la valeur de la puissance thermique pour les différentes valeurs de  $\Delta T$  en utilisant le tableau des coefficients de correction, calculés pour une valeur moyenne de  $n=1.33$  : dans ce cas, la marge d'erreur pour la détermination de la puissance thermique est de  $\pm 3\%$  en utilisant les coefficients de correction, on obtient la puissance recherchée en multipliant la valeur de puissance à  $\Delta=50K$  voulu (voir annexe B) (24)

$$\Phi (36 K) = \Phi (50 K) \times C_c \quad (\text{III.24})$$

Calculer la puissance de chambre

$$I_{pb} = \Delta T \times K \times A_{pb}$$

$$P_{ch} = \text{déperdition} - I_{pb}$$

Nombre d'éléments :

$$\text{Nb de élément} = \frac{P_{chambre}}{P_{été}}$$

- La circulation de l'eau chaude dans les radiateurs

L'eau chaude se déplace en série dans les radiateurs selon le schéma ci-dessous :

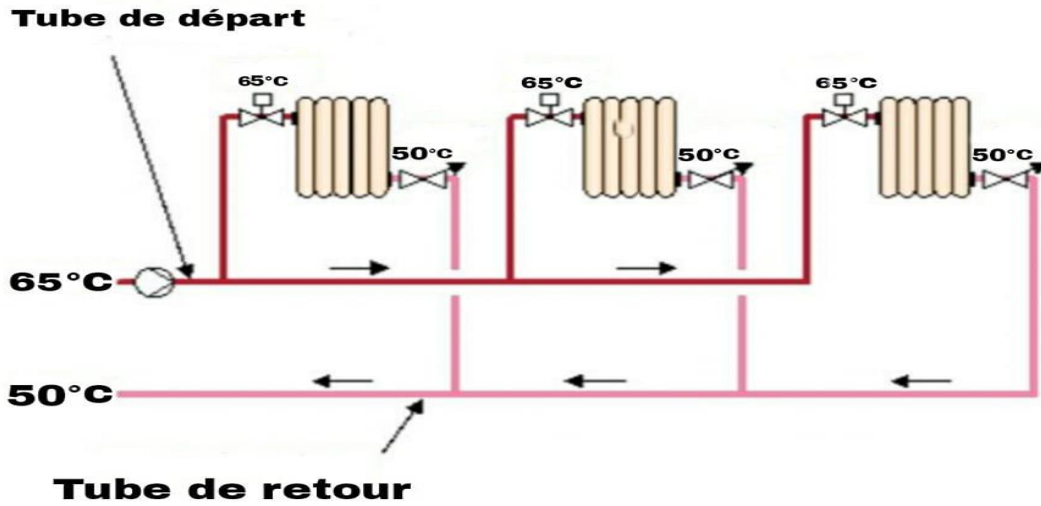


Figure III.8 : schéma de circulation de l'eau chaude

- Dimension du radiateur

De la fiche technique (voir annexes) on peut retirer les dimensions d'un seul élément et par conséquent on peut remonter à celle d'un radiateur.

	Profondeur (mm)	Hauteur(mm)	Longueur (mm)
Element	80	877	80

Tableau III.4 : Dimensions d'élément.

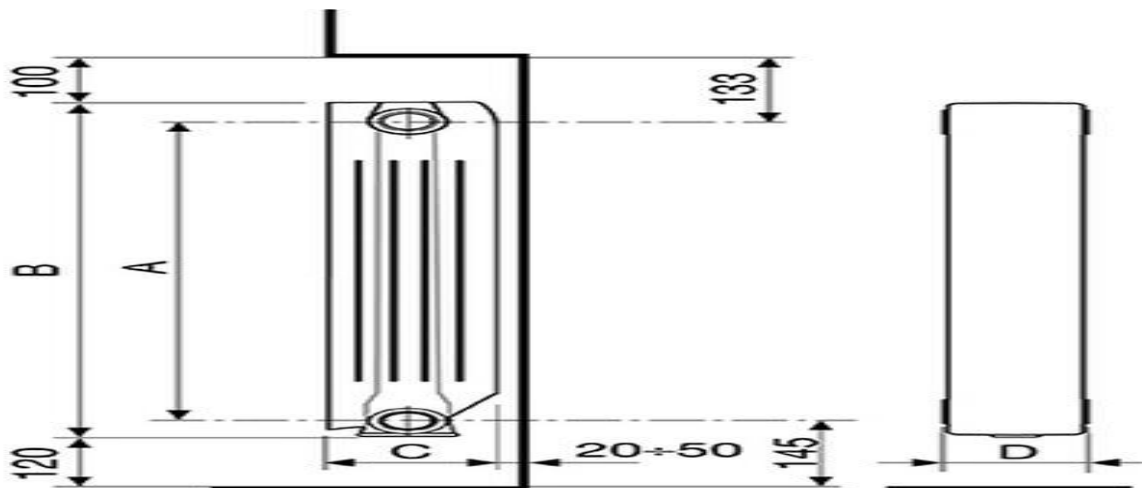


Figure III.9 : la dimension de radiateur



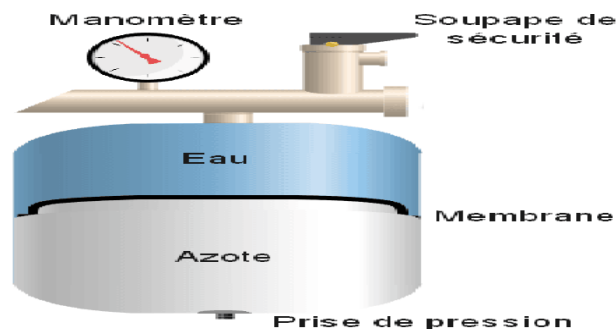
### III.7 Dimensionnement et installation de vase d'expansion

#### III.7.1 Introduction

Le vase d'expansion est un élément important de toute installation de chauffage. Il est intégré directement dans le système de chauffage géothermie son rôle principal est d'absorber les variations de volume de l'eau générées par les changements de température. Son second rôle est de garder une pression constante dans le circuit de chauffage afin d'éviter qu'il ne se détériore. (25)

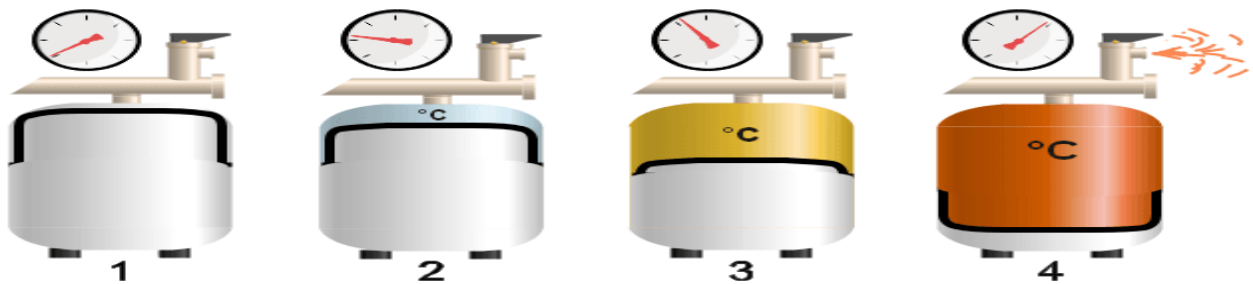
#### III.7.2 Fonctionnement du vase d'expansion :

Lorsque l'eau chauffée dans le circuit de chauffage elle se dilate. Cette dilatation thermique a pour effet d'augmenter le volume de l'eau ce qui provoque un surplus de pression (entre 10 et 90°C, 1m<sup>3</sup> d'eau se dilate d'environ 40 litres soit 4%). Le rôle du vase d'expansion est de recueillir cet excédent de volume d'eau et d'empêcher une dépression dans l'installation lorsque l'eau aura refroidie. (25)



**Figure III.10** : vase d'expansion (4)

Le montage du vase d'expansion s'effectue sur le retour de l'installation sans vanne, si celle-ci existe il faudra que la manette soit démontée afin d'éviter d'isoler par mégarde le vase de l'installation.



**Figure III.11** : Montage et pression de gonflage d'un flexcon

1. Au montage, à la livraison, le vase d'expansion est vide d'eau. La pression initiale de l'azote pousse la membrane contre la paroi du flexcon.
2. Le vase d'expansion est partiellement rempli d'eau, l'eau comprime l'azote, la pression monte. La température de l'eau est à la température ambiante. La pression de l'azote est égale à la pression de service de l'installation.
3. En mode chauffage la température de l'eau monte, la pression augmente, l'eau se dilate et remplit une grande partie du flexcon. La pression n'atteint pas la pression de tarage de la soupape ou pression finale, car le vase d'expansion est correctement dimensionné.
4. Toujours en mode chauffage, l'eau se dilate et remplit une grande partie du vase d'expansion. La pression devient supérieure à celle de tarage de la soupape de sécurité. La soupape ouvre et évacue l'excédent de pression. La contenance du flexcon est mal calculée.

Une pression de remplissage correcte est primordiale pour le bon fonctionnement d'une installation hydraulique. Une pression d'eau trop importante serait de nature à faire ouvrir la soupape de sécurité quand l'eau a atteint sa température maximale. Une pression trop faible ne remplirait pas suffisamment le flexcon celui-ci deviendrait inutile, des appareils ne seraient pas alimentés en eau, le réseau serait en dépression générant des entrées d'air dans l'installation.

### III.7.3 Mesuré le volume d'expansion de vase

- **La pression de gonflage initial du vase**

La pression de gonflage  $P_0$  est la pression nécessaire pour combattre la hauteur statique du bâtiment et assurer une pression suffisante en tout point du circuit en toute circonstance.

La différence en hauteur entre l'emplacement du vase et le point le plus haut de notre installation est estimé à 5 m. on estime la pression de pré-gonflage du vase  $P_0$  (à vide) sera déterminée de telle sorte que :

$$P_0 = H \times 0.11 + P_{min} - 0.5 \quad (\text{III.25})$$

$P_0$  : La pression de gonflage (bar).

$P_{min}$  : est la marge de sécurité nécessaire pour être certain que la pression relative (bar).

0.5 : Cette valeur de correspond à la nécessité que, lors du remplissage, une partie du vase soit remplie en fluide (bar). (26)

Avec :

$$P_{min} = 1.5 - P_{stat} \quad (\text{III.26})$$

$$P_{stat} = \frac{\rho \times g \times H}{P_a} \quad (\text{III.27})$$

$P_{stat}$  : La pression statique (bar).

$P_a$  : La pression atmosphérique (bar).

$H$  : La Hauteur statique (m).

- **La pression de remplissage à froid de l'installation**

Lors du remplissage de l'installation (à froid), la pression de remplissage  $P_1$  sera définie de telle sorte que la pression résiduelle dans les capteurs soit égale à  $P_{min}$ :

$$P_1 = (H \times 0.11) + P_{min} \quad (\text{III.28})$$

$P_1$  : La pression de remplissage (bar).

- **Volume utile du vase**

Le volume utile sera dimensionné pour compenser la variation de volume du fluide primaire entre 0 et 120°C, il est calculé comme suite (26) :

$$V_{utile} = V_{dila} = V_{fluide} \times C_{dila} \quad (\text{III.29})$$

$V_{utile}$  : Volume utile pour compenser la variation de volume du fluide primaire, (l).

$V_{dila}$  : Le volume de dilatation correspond à l'expansion du fluide lorsque la température passe de la température minimale du lieu où se situe le vase à  $T_{max}$ , (l).

$V_{fluide}$  : Le volume de fluide contenu dans l'installation global, (l).

$C_{dila}$  : Coefficient de dilatation de l'eau à la température maximale de l'installation.

Tmoy (°C)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coef de dilatation	0,004	0,0018	0,0044	0,0079	0,0121	0,0171	0,0228	0,0296	0,0359	0,0435	0,0515	0,0603

**Tableau III.5** : Coefficient de dilatation de l'eau en fonction de température moyenne. (26)

$$V_{fluide} = V_{radiateur} + V_{tuyetrie} + V_{echangeur}$$

$$V_{fluide} = (contenance\ d'\ eau \times n_{\text{element}}) + (\pi \times r_t^2 \times L_t) + (\pi \times r_e^2 \times L_e)$$

avec  $L_t = 510.29\ m$  et  $r_t = 0.025\ mm$

contenance d'eau =  $0.52 \frac{l}{\text{element}}$  et  $n_{\text{element}} = 270\ \text{element}$

- **Facteur de la pression du vase**

C'est un rapport de pression définit comme suite :

$$F_p = \frac{P_s - P_1}{P_s + 1} \tag{III.30}$$

$P_s$  : La pression de sécurité (bar).

$F_p$  : Facteur de pression du vase.

Avant qu'on entame le calcul, on doit savoir la pression de sécurité de notre vase qu'elle est en général 6 bar (26)

- **Volume nominal du vase**

Le calcul du volume nominal du vase se fait par la relation suivant :

$$V_n = \frac{V_{utile}}{F_p} \times 1.5 \tag{III.31}$$

$V_n$  : Volume nominal du vase (l).

### III.8 Dimensionnement et installation d'un circulateur

Sur un circuit fermé contenant généralement de l'eau (ou un liquide caloporteur), une pression suffisante est nécessaire pour que chaque radiateur soit alimenté et permette de réguler la température dans la pièce qu'il équipe. Aussi loin de l'échangeur que soit ce radiateur, il devra recevoir un débit d'eau chaude suffisant pour jouer son rôle. (27)

Cet organe est indispensable au fonctionnement de votre circuit. Il fonctionne presque comme une pompe : il crée une circulation d'eau afin de transporter la chaleur du générateur aux émetteurs (28)

Les circulateurs de chauffage mal réglés entraînent soit une consommation d'énergie trop importante, soit une mauvaise répartition de l'eau chaude dans les radiateurs des différentes pièces. Il faut donc veiller à son bon fonctionnement, ainsi qu'à son bon réglage.



**Figure III.12** : circulateur d'eau

Si le « circuit est fermé » (si l'eau ne peut pas tourner en boucle : vannes fermées par exemple). Ceci endommagerait votre circulateur, et pourrait créer un phénomène de cavitation de la pompe, très dangereux pour votre circuit. Pour éviter ceci, installer une soupape de pression de pression. (28)

### III.9 Conclusion

L'installation de chauffage dans ce système dépendait de l'échangeur de chaleur (serpentin) qui fonctionne sans pont thermique vers l'extérieur ni choc thermique où effet mécanique néfaste et en plus avec un entretien facile.

Ensuite, nous avons choisi un radiateur de type « Blitz » de grande taille afin de réduire le nombre des éléments.

Pour garantir un débit et une vitesse d'écoulement constant entre les échangeurs de chaleur et les radiateurs, nous avons ajouté d'autres composants comme la vase d'expansion et le circulateur après faire les calculs nécessaires.

# CHAPITRE IV

## Résultats et discussions

### IV.1. introduction

Afin de dimensionner le system de chauffage qui composé principalement de l'échangeur et des radiateurs on doit passer par des calculs pour déterminer le besoin de chauffage par calculer les déperditions thermique d'hébergement, et après avoir fait les calculs nécessaires selon les données en nos mains nous sommes arrivés à ces résultats, que nous présenterons dans ce chapitre .

### IV.2. Détermination du besoin de chauffage

#### IV.2.1. Calcul du coefficient de transmission surfacique des murs

##### ❖ Chambre 01 :

Le coefficient K est calculé par la formule (II.4) :

Murs Est et Nord sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Ouest et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur Nord (exterieur)	0.78	1.282
Mur Sud	0.47	2.12
Mur Ouest	0.47	2.12
Mur Est (exterieur)	0.78	1.282

**Tableau IV.1 :** la résistance et conductivité des murs de chambre 01

❖ **Chambre 2-10:**

Murs Est sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Nord, Ouest et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$



<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur nord	0.47	2.12
Mur sud	0.47	2.12
Mur est (exterieur)	0.78	1.282
Mur ouest	0.47	2.12

**Tableau IV.2 : la résistance et conductivité des murs de chambre 2-10**

❖ **Chambre 11 :**

Murs Sud et Est sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle >60° on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Nord et Ouest sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur Nord	0.47	2.12
Mur Sud (exterieur)	0.78	1.282
Mur Ouest	0.47	2.12
Mur Est (exterieur)	0.78	1.282

**Tableau IV.3** : la résistance et conductivité des murs de chambre 11

❖ **Chambre 12 :**

Murs Nord et Ouest sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Sud et Est sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur Nord (exterieur)	0.78	1.282
Mur Sud	0.47	2.12
Mur Ouest (exterieur)	0.78	1.282
Mur Est	0.47	2.12

**Tableau IV.4** : la résistance et conductivité des murs de chambre 12

❖ **Chamber 13-21:**

Murs Ouest sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Nord, Est et Sud sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur sud	0.47	2.12
Mur nord	0.47	2.12
Mur est	0.47	2.12
Mur ouest (exterieur)	0.78	1.282

**Tableau IV.5 :** la résistance et conductivité des murs de chambre 13-21

❖ **Chamber 22 :**

Murs Sud et Ouest sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Nord et Est sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur sud (exterieur)	0.78	1.282
Mur nord	0.47	2.12
Mur ouest (exterieur)	0.78	1.282
Mur est	0.47	2.12

**Tableau IV.6 :** la résistance et conductivité des murs de chambre 22

Murs Nord et Sud sont en contact avec l'extérieur d'après DTR C3.2, une paroi en contact avec l'extérieur + Mur latéral angle  $>60^\circ$  on a :

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.17 + 0.61 = 0.78 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 1.282 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

Murs Ouest et Est sont en contact avec des locaux chauffés donc :

$$\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} = 0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

$$\frac{1}{k_{mur}} = R_t = 0.22 + 0.25 = 0.47 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ/\text{W}$$

Donc :

$$k_{mur} = 2.12 \text{ W/ m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

<i>orientation</i>	$R_t$	$K$
Mur sud(exterieur)	0.78	1.282
Mur nord (exterieur)	0.78	1.282
Mur ouest	0.47	2.12
Mur est	0.47	2.12

**Tableau IV.7 :** la résistance et conductivité des murs de couloir

- **Calcul du coefficient de transmission surfacique des planchers**

- **Planchers bas :**

Le Pb est en contact avec un local chauffé donc

$$\frac{1}{k_{pb}} = R_{pb} = 0.34 + 0.21 = 0.55 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ / \text{W}$$

$$k_{pb} = 1.81 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

- **Planchers Haut :**

$$\frac{1}{k_{ph}} = 0.14 + 0.29 = 0.43 \text{ m}^2 \cdot \text{C}^\circ / \text{W}$$

$$K_{ph} = 2.32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}^\circ$$

## IV.2.2 Calcule des déperditions surfaciques totales de la chambre

## ❖ Chambre 01 :

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur ext	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	1.282	23	660.48
Mur ext	Est	4	2.8	11.2	-1	10.2	1.282	23	300.75
Mur int	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur int	Ouest	4	2.8	11.2	-2	9.2	2.12	0	0
Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	2.32	23	1707.52
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	1.81	/	/
							<b>D<sub>s</sub>=2802.15W</b>		

Tableau IV.8 : Les déperditions surfaciques de chambre 01

## ❖ Chambre 02 (suite) :

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur ext	Est	5.35	2.8	14.98	-1	13.98	1.282	23	412.21
Mur int	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur int	Ouest	5.35	2.8	14.98	-2	12.98	2.12	0	0
Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	5.35	42.8	—	42.8	2.32	23	2283.80
Plancher.PB	—	8	5.35	42.8	—	42.8	1.81	/	/
							<b>D<sub>s</sub> = 2829.41W</b>		

Tableau IV.9 : les déperditions surfaciques de chambre 02

❖ **Chambre 03-10 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur ext	Est	4	2.8	11.2	-1	10.2	1.282	23	300.75
Mur int	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur int	Ouest	4	2.8	11.2	-2	9.2	2.12	0	0
Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	2.32	23	1707.52
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	1.81	/	/
							<b>D<sub>s</sub> = 2141.67W</b>		

**Tableau IV.10 :** les déperditions surfaciques de chambre 03-10❖ **Chambre 11 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur ext	Est	4	2.8	11.2	-1	10.2	1.282	23	300.75
Mur ext	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	1.282	23	660.48
Mur int	Ouest	4	2.8	11.2	-2	9.2	2.12	0	0
Port	Ouest	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Est	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	2.32	23	1707.52
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	1.81	/	/
							<b>D<sub>s</sub>=2802.15W</b>		

**Tableau IV.11 :** les déperditions surfaciques de chambre 11



❖ **Chambre 12 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur ext	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	1.282	23	660.48
Mur int	Est	4	2.8	11.2	-2	9.2	2.12	0	0
Mur int	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur ext	Ouest	4	2.8	11.2	-1	10.2	1.282	23	300.75
Port	Est	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Ouest	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	2.32	23	1707.52
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	1.81	/	/
<b>Ds = 2802.15W</b>									

**Tableau IV.12 :** les déperditions surfaciques de chambre 12❖ **Chambre 13 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur int	Est	5.35	2.8	14.98	-2	12.98	2.12	0	0
Mur int	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur ext	Ouest	5.35	2.8	14.98	-1	13.98	1.282	23	412.21
Port	Est	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Ouest	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	5.35	42.8	—	42.8	2.32	23	2283.80
Plancher.PB	—	8	5.35	42.8	—	42.8	1.81	/	/
<b>Ds = 2829.41W</b>									

**Tableau IV.13 :** les déperditions surfaciques de chambre 13

❖ **Chambre 14-21 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur int	Est	4	2.8	11.2	-2	9.2	2.12	23	0
Mur int	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur ext	Ouest	4	2.8	11.2	-1	10.2	1.282	0	300.75
Port	Est	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Ouest	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	2.32	23	1707.52
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	1.81	/	/
							<b>Ds = 2141.67W</b>		

**Tableau IV.14 :** les déperditions surfaciques de chambre 14-21❖ **Chambre 22 :**

Désignation		Dimension		Surface (m <sup>2</sup> )			K	ΔT	Dép.
Paroi	Orientation	L(m)	H(m)	Total	Ouvrant	Nette	/	/	/
Mur int	Nord	8	2.8	22.4	—	22.4	2.12	0	0
Mur int	Est	4	2.8	11.2	-2	9.2	2.12	0	0
Mur ext	Sud	8	2.8	22.4	—	22.4	1.282	0	660.48
Mur ext	Ouest	4	2.8	11.2	-1	10.2	1.282	0	300.75
Port	Est	1	2	2	—	2	3.5	0	0
Fenêtre	Ouest	1	1	1	—	1	5.8	23	133.4
Plancher.PH	—	8	4	32	—	32	2.32	23	1707.52
Plancher.PB	—	8	4	32	—	32	1.81	/	/
							<b>Ds=2802.15W</b>		

**Tableau IV.15 :** les déperditions surfaciques de chambre 22

## ❖ 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	2.8	4.2	—	4.2	1.282	23	123.84
Mur int	Est	50	2.8	140	-44	96	2.12	0	0
Mur ext	Sud	1.5	2.8	4.2	-2	2.2	1.282	23	64.86
Mur int	Ouest	50	2.8	140	-44	96	2.12	0	0
Port	Sud	1	2	2	—	2	3.5	3	21
Fenêtre	Est	/	/	/	—	/	/	/	/
Plancher.PH	—	50	1.5	75	—	75	2.32	23	4002
Plancher.PB	—	50	1.5	75	—	75	1.81	/	/
							<b>D<sub>s</sub> = 4190.7W</b>		

Tableau IV.16 : les déperditions surfaciques de couloir

## IV.2.3 Calcule les déperditions à travers les liaisons

Les résultats calculés par la formule (II.7)

Les pièces d'hébergement	Déperdition linéique
Chambre 01	560.23 W
Chambre 02	565.882 W
Chambre 03-10	428.334 W
Chambre 11	560.23 W
Chambre 12	560.23 W
Chambre 13	565.882 W
Chambre 14-21	428.334 W
Chambre 22	560.23 W
Couloir	838.14W

Tableau IV.17 : les déperditions linéiques

#### IV.2.4 Calcule les déperditions par renouvellement d'air

Calculé les déperditions par la formule (II.8) :

Tel que :  $Q_v = 0$  (pas de ventilation)

❖ Débit supplémentaire par infiltrations dues au vent :

Utiliser les formules (II.9) et (II.10) :

- 1ère paroi, Fenêtre,  $P_o = 4 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ ,  $A = 1 \text{ m}^2$ ..... $Pp1 = 4 \text{ m}^3/\text{h}$

- 2ème paroi, porte d'entrée,  $P_o = 6 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$  (tableau II.10),  $A = 2 \text{ m}^2$ ..... $Pp2 = 12 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour les zones rurales,  $H \leq 4$  chaque chambre on a une porte et une fenêtre :

Le coefficient d'exposition  $e_{vi} = 2.71$  [DTR C3.2]

❖ **Chambre 01-22 :**

Porte :  $D_r = 0$  parce que ( $\Delta T = 0$ )

Fenêtre :  $D_r = 0.34(4 \times 2.71) \times 23 = 84.76 \text{ W}$

❖ **Le couloir :**

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

$$D_r = 0.34 \times (6 \times 2 \times 2.71) \times 23 = 254.30 \text{ W}$$

#### IV.2.5 Calcul des apports thermique a travers du plancher bas

Comme on a le rez de chaussé chauffer à  $40^\circ\text{C}$ , on n'aura pas de déperditions mais des apports thermique.

$$\|\Delta T\| = \|21 - 40\| = 19^\circ\text{C}$$

On a  $A_{pb} = 800.7 \text{ m}^2$  qui est la surface complète du plancher bas

Donc

$$I_{pb} = \Delta T \times K \times A_{pb} = 19 \times 1.81 \times 800.7 = 27532.634 \text{ W}$$

## IV.2.6 Les déperditions totales de chaque pièce

<b>Les pieces</b>	<b>Déperditions surfacique</b>	<b>Déperditions linéiques</b>	<b>Déperditions par renouvellement d'air</b>	<b>Déperditions totales</b>
<b>Chambre01</b>	2802.15W	560.23W	84.76W	<b>3447.14W</b>
<b>Chambre02</b>	2829.41W	565.882W	84.76W	<b>3480.05W</b>
<b>Chambre03</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre04</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre05</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre06</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre07</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre08</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre09</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre10</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre11</b>	2802.15W	560.23W	84.76W	<b>3447.14W</b>
<b>Chambre12</b>	2802.15W	560.23W	84.76W	<b>3447.14W</b>
<b>Chambre13</b>	2829.41W	565.882W	84.76W	<b>3480.05W</b>
<b>Chambre14</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre15</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre16</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre17</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre18</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre19</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre20</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre21</b>	2141.67W	428.334W	84.76W	<b>2654.76W</b>
<b>Chambre22</b>	2802.15W	560.23W	84.76W	<b>3447.14W</b>
<b>Couloir</b>	4190.7W	838.14W	254.30 W	<b>5283.14W</b>
				<b>68507.96W</b>

Tableau IV.18 : Les déperditions totales de chaque pièce

La somme des déperditions dans le tableau présenter le maximum d'énergie perdu de l'hébergement et si on a ajouté les apports dégagé par le locaux au-dessous, la puissance de chauffage des pièces sera réduirai énormément.

#### IV.2.7 Estimation de puissance de chauffage

$$P = \text{déperdition total} - \text{les apports} = 68507.96 - 27532.634 = 40975.326W$$

### IV.3 Dimensionnement de l'installation de chauffage

#### IV.3.1 Dimensionnement de l'échangeur de chaleur

##### IV.3.1.1 La puissance disponible fournie par l'eau chaude

$$Q_{mc} = 8 \times 10^{-3} \times 974.08 = 7.79 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$P_{chaude} = 7.79 \times 4084 \times (92 - 60) \\ = 1018059.52 \text{ W}$$

##### IV.3.1.2 Calcul du *DTLM*

On a choisi le mode contre-courant :

Utilise la formule (III.4) pour calculé le  $\Delta TLM$  :

$$\Delta TLM = \frac{(92 - 60) - (65 - 50)}{\text{Ln} \left( \frac{92 - 65}{65 - 50} \right)} = \frac{32 - 15}{\text{Ln} \left( \frac{32}{15} \right)} = 22.43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

##### IV.3.1.3 Calcul le débit massique de l'eau froid

Utilise la formule (III.5) :

$$P_{froid} = Q_{mf} \times C_{pf} \times \Delta T_f = 40975.326W$$

$$Q_{mf} = \frac{P_{froid}}{C_{pf} \times \Delta T_f} = \frac{40975.326}{4183 \times (65 - 50)} = 0.65 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

##### IV.3.1.4 Calcul du coefficient global d'échange

- *Calcul de  $h_i$  (côté serpent):*

On détermine le régime de l'écoulement

La vitesse de l'écoulement de l'eau froide :

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \times S} = \frac{\dot{m}}{\rho \left( \frac{1}{4} \pi d_{si}^2 \right)} = \frac{0.65}{984.66 \left( \frac{1}{4} \times 3.14 \times (0.05^2) \right)} = 0.34 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Le nombre de Reynolds

$$Re = \frac{v \times d_{si}}{\nu} = \frac{0.34 \times 0.05}{0.496 \times 10^{-6}} = 33908.28$$

$Re > 2300 \Rightarrow$  Régime est turbulent

Le nombre de Nusselt pour le régime turbulent :

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.4} \left(\frac{d_{si}}{D_s}\right)^{0.1} = 0.023 \times 33908.28^{0.85} \times 3.18^{0.4} \left(\frac{0.05}{0.3}\right)^{0.1} = 216.59$$

Alors :

$$Nu = \frac{h_i \times d_{si}}{k} \Rightarrow h_i = \frac{Nu \times k}{d_{si}} = \frac{216.59 \times 0.643}{0.05} = 2785.38 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

- **Calcul de  $h_e$  (côté calandre) :**

$$S = \left( (6 \times 4) - \left(\frac{1}{4} \times 3.14 \times 0.054^2\right) \right) = 24 - 0.002 = 23.99 \text{ m}^2$$

$$P = ((\pi \times d_{se}) + 2 \times (L + l)) = 0.17 + 20 = 20.17 \text{ m}$$

$$d_h = \frac{4 \times 23.99}{20.17} = 4.75 \text{ m}$$

Calcul de la vitesse d'écoulement :

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \times S} = \frac{7.79}{974.08(24 - 0.002)} = 0.333 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

Le nombre de Reynolds

$$Re = \frac{v \times d_h}{\nu} = \frac{0.333 \times 10^{-3} \times 4.75}{0.3829 \times 10^{-6}} = 4130.97$$

$Re > 2300 \Rightarrow$  Régime est turbulent

Le nombre de Nusselt :

$$Nu = 0.023Re^{0.85}Pr^{0.4} = 0.023 \times 4130.97^{0.85} \times 2.34^{0.4} = 25.25$$

Le coefficient de convection côté calandre est :

$$h_e = \frac{Nu \times k}{d_h} = \frac{25.25 \times 0.647}{4.75} = 3.44 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Le coefficient d'échange global devient :

On a

$$k_{cuiivre} = 390 \frac{W}{m.k}$$

$$d_{si} = 0.05 \text{ m}$$

$$d_{se} = 0.054 \text{ m}$$

$$U_e = \frac{1}{\frac{d_{se}}{h_i d_{si}} + \frac{d_{se} \ln\left(\frac{d_{se}}{d_{si}}\right)}{2\pi k} + \frac{1}{h_e}}$$

$$U_e = \frac{1}{\frac{0.054}{2785.38 \times 0.05} + \frac{0.054 \ln\left(\frac{0.054}{0.05}\right)}{2 \times 3.14 \times 390} + \frac{1}{3.44}} = 3.44 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

#### IV.3.1.5 Calcul de la surface d'échange A

$$A_e = \frac{40975.326}{3.44 \times 22.43} = 531.05 \text{ m}^2$$

$$L_s = \frac{A_e}{\pi \times d_e} = \frac{531.05}{3.14 \times 0.054} = 3131.92 \text{ m}$$

On a

$$L_c = 6 \text{ m}$$

Donc

$$\begin{cases} L_s = N \sqrt{(2\pi R_s)^2 + p^2} \dots \dots (1) \\ L_c = N \times p \dots \dots (2) \end{cases}$$

En remplaçant l'équation (2) dans l'équation (1) se trouve

$$N = \sqrt{\frac{L_s - L_c}{(2\pi R_s)^2}} = \sqrt{\frac{3131.92 - 6}{(2 \times 3.14 \times 0.305)^2}} = 330.05$$

Donc

La valeur de pas est égale

$$p = \frac{L_c}{N} = \frac{6}{10} = 0.018 \text{ m}$$

Selon le résultat précédent on observe que le tube serpentin est très long, alors on va le diviser en plusieurs mini échangeur qui on a laissé de exploité tous le volume de réservoir.



### IV.3.2 Dimensionnement et installation des radiateurs

#### IV.3.2.1 Régime de température de l'eau

$$\Delta T = \frac{T_e + T_s}{2} - T_{ambient} = \frac{65 + 50}{2} - 21 = 36.5^\circ\text{C}$$

#### IV.3.2.2 Calcul du débit des radiateurs

$$Q_m = \frac{40975.326 \times 3.6 \times 10^6}{984.66 \times 4183 \times (65 - 50)} = 2387.59 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

#### IV.3.2.3 Nombre d'éléments d'un radiateur

La puissance thermique d'un élément

$$\Phi (36 \text{ K}) = 161.30 \times 0,646 = 104.20 \text{ W}$$

Donc la puissance d'un élément est 104.20 W

#### Chambre (01, 11, 12,22) :

Calculer la puissance de chambre

$$I_{pb} = \Delta T \times K \times A_{pb} = 19 \times 1.81 \times 32 = 1100.48$$

$$P_{ch} = 2802.15 - 1100.48 = 1701.67 \text{ W}$$

Nombre d'éléments :

$$\text{Nb de élément} = \frac{P_{chambre}}{P_{élé}} = \frac{1701.67}{104.20} = 16.33$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire à chaque chambre est 17 éléments

#### Chambre (02,13) :

Calculer la puissance de chambre

$$I_{pb} = \Delta T \times K \times A_{pb} = 19 \times 1.81 \times 42.85 = 1473.61 \text{ W}$$

$$P_{ch} = 2829.41 - 1473.61 = 1355.80 \text{ W}$$

Nombre d'éléments :

$$\text{Nb de élément} = \frac{P_{chambre}}{P_{élé}} = \frac{1355.80}{104.20} = 13.01$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire à chaque chambre est 13 éléments

**Chambre (03 jusqu'à 10) et (14 jusqu'à 21) :**

Calculer la puissance de chambre

$$I_{pb} = \Delta T \times K \times A_{pb} = 19 \times 1.81 \times 32 = 1100.48W$$

$$P_{ch} = 2141.67 - 1100.48 = 1041.19W$$

Nombre d'éléments :

$$\text{Nb de élément} = \frac{P_{chambre}}{P_{élé}} = \frac{1041.19}{104.20} = 9.99$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire à chaque chambre est 10 éléments

**Couloir :**

Calculer la puissance de chambre

$$I_{pb} = \Delta T \times K \times A_{pb} = 19 \times 1.81 \times 75 = 2579.25W$$

$$P_{ch} = 4190.7 - 2579.25 = 1611.45W$$

Nombre d'éléments :

$$\text{Nb de élément} = \frac{P_{chambre}}{P_{élé}} = \frac{1611.45}{104.20} = 15.46$$

Donc le nombre d'éléments nécessaire à chaque chambre est 16 éléments

D'après les résultats on trouve que le nombre d'éléments totaux égale 270 éléments et selon l'annexe « tableau B2 » le nombre d'éléments maximal pour un radiateur c'est 10, donc le nombre des radiateurs est 27 radiateurs répartis sur les chambres et le couloir.

**IV.3.3 Dimensionnement et installation de vase d'expansion****IV.3.3.1 Calculé la pression de gonflage initial du vase**

$$P_{stat} = \frac{984.66 \times 9.81 \times 5}{10^5}$$

$$P_{stat} = 0.48 \text{ bar}$$

Alors :

$$P_{min} = 1.5 - 0.48 = 1.02 \text{ bar}$$

Donc :

$$P_0 = 5 \times 0.11 + 1.02 - 0.5 = 1.07 \text{ bar}$$

#### IV.3.3.2 Calculer la pression de remplissage à froid de l'installation

Calculé par la formule (III.28) :

$$P_1 = (5 \times 0.11) + 1.02 = 1.57 \text{ bar}$$

#### IV.3.3.3 Calculé le volume utile du vase

$$\begin{aligned} V_{\text{fluide}} &= (270 \times 0.52) + (510.29 \times 3.14 \times 0.025^2) + (3131.92 \times 3.14 \times 0.025^2) \\ &= 7287.83 \text{ l} \end{aligned}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$V_{\text{utile}} = 7287.83 \times 0.0171 = 124.62 \text{ l}$$

#### IV.3.3.4 Facteur de la pression du vase

$$F_p = \frac{6 - 1.57}{6 + 1} = 0.63$$

#### IV.3.3.5 Volume nominal du vase

$$V_n = \frac{124.62}{0.63} \times 1.5 = 296.71 \text{ l}$$

D'après le résultat nous avons trouvés, on choisira donc un vase d'expansion de volume nominal  $V_n = 300 \text{ l}$

### IV.4 Conclusion

Après avoir fait les calculs numériques sur les déperditions thermiques des pièces d'hébergement, on a estimé la puissance de chauffage nécessaire, et à travers sa nous avons pu calculer les dimensions de l'échangeur serpentin et des radiateurs, puis mesuré le volume de la vase d'expansion.

## Conclusion générale

L'énergie géothermique est une énergie multifonctionnelle qui peut être utilisée de plusieurs façons pour la société, que ce soit pour le chauffage domestique, l'industrie, l'agriculture et l'aquaculture, le séchage, la production d'électricité et même la production de chaleur.

Au cours de ce travail réalisée dans le cadre du projet de fin d'études, nous avons pu mettre en évidence l'intérêt de l'exploitation de l'énergie géothermique pour le chauffage d'habitats, qui est pour notre cas le chauffage de la partie hébergement du complexe Hammam Ksana , et cela à l'aide d'un échangeur de chaleur immergé dans un réservoir d'eau thermal qui va chauffer l'eau qui alimente des radiateur et ainsi chauffer les lieux.

Pour dimensionner notre échangeur, en premier lieux on a eu à estimer le besoin totale en chauffage en calculant les déperditions et les apports thermiques, ensuite on a calculé la surface d'échange nécessaire de l'échangeur à serpentin où on a trouvé comme résultat une surface d'échange importante, en conséquence on propose de mettre plusieurs échangeurs au lieu d'un seul.

En ce qui concerne des autres appareils du système de chauffage, nous avons mesuré les dimensions des radiateurs d'une manière qui nous garantit le chauffage de toutes les pièces en même temps, et en réduisant les coûts par l'installation moins d'éléments possible qui produisent des puissances très élevées, et afin d'assurer un débit d'eau et un écoulement constant nous avons ajouté à ce système un vase d'expansion et un circulateur.

# Bibliographie

## Références

- [1] Association pour la Recherche sur le Brésil en Europe.  
[http://arbres.asso.fr/fichiers/geothermie/histoire\\_geothermie\\_frey.pdf](http://arbres.asso.fr/fichiers/geothermie/histoire_geothermie_frey.pdf). [En PDF]
- [2] [actuenvironnement.com.https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire\\_environnement/definition/geothermie.php4](https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/geothermie.php4). [En ligne] 05/06/2019.
- [3] S. OUALI. Mémoire de Magister En géophysique, ETUDE GEOTHERMIQUE DU SUD DE L'ALGERIE, Université de Boumerdes, 2006.
- [4] A. Bachiri, M. Meloudj. Mémoire de master, Etude d'une installation de chauffage géothermique Université de M'sila, 2018.
- [5] S. Ouali, A. Khellaf et K. Baddari. Etude des ressources géothermiques du sud algérien Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°3 (2007) 407 – 414.
- [6] I. Benchemsa. Mémoire de master, L'Utilisation de l'énergie thermique pour le chauffage domestique, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA, 2017.
- [7] Philippe Laplaige. ADEME Fiche technique PRISME, Géothermie ,2016
- [8] M. Ndiaye. Mémoire de master, Etude de la géothermie et production d'énergie Electrique, Université de Dakar, 2004.
- [9] Planète énergies. <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-geothermie-haute-energie-productrice-d-electricite>.
- [10] Les énergies renouvelables  
[.https://sites.google.com/site/energiesrenouvelablegeothermie/ii-les-differents-types-de-geothermie/la-geothermie-basse-ener](https://sites.google.com/site/energiesrenouvelablegeothermie/ii-les-differents-types-de-geothermie/la-geothermie-basse-ener).
- [11] F.Z. Kherbache. Mémoire de master en physique, Contribution à l'étude et dimensionnement d'une installation à base d'énergie géothermique pour la production d'énergie électrique, Université de Tlemcen, 2015.
- [12] C. Boukrif, D. Zerrouki. Valorisation de la ressource géothermale pour la production de l'électricité en utilisant les cycles organiques de Rankine, Université de Bouira, 2020.
- [13] Britannica. <https://www.britannica.com/science/geothermal-energy>.

- [14] Futura Maison. <https://www.futura-sciences.com/maison/>
- [15] D. Semmar. Recherche et Développement, Application Directe de l'Énergie, Blida, 2004.
- [16] B. Bouchekima, Y. Babi. Utilisation de l'Énergie Géothermique pour le Chauffage des Serres Agricoles au Sud Algérien, Universitaire de Ouargla, 2001.
- [17] A. Ait Ouali, A. Ayadi, D. Maizi, A. Issaadi, S. Ouali, K. Bouzidi, K. Imessaad. Updating of the most important Algerian geothermal provinces, Reykjavik, Iceland, 2020.
- [18] S. Ouali, M.M. Hadjiat, A. Ait-Ouali, K. Salhi et A. Malek. Cartographie et caractérisation, CDER Alger, 2018.
- [19] A. Adjoudj. Station thermale de Hammam Ksana, Sarl FRAKSEN ,2021.
- [20] THEODORE L. BERGMAN, ADRIENNE S. LAVINE, FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th edition. JOHN WILEY & SONS, 2011.
- [21] Yunus A. Çengel. Heat transfer. 2ed
- [22] R. K. Patil, B. W. Shende, P. K. Ghosh. Chemical Engineering, Designing a helical-coil heat exchanger, 1982.
- [23] Quelle énergie. <https://www.quelleenergie.fr/economies-energie/radiateur-electrique-inertie/radiateur-chauffage-central>.
- [24] Radiateurs en alliage d'aluminium, Blitz.
- [25] izy by edf. <https://www.izi-by-edf-renov.fr/blog/role-vase-d-expansion-chaudiere>.
- [26] Y. Damous, S. Saidi. Diplôme d'Ingénieur d'état en Energétique, Dimensionnement d'un système solaire thermique pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, polytechnique de Constantine, 2018.
- [27] comptoir par bricozor. <https://comptoir.bricozor.com/comment-fonctionne-circulateur-chauffage.html>,2020.
- [28] Les chronique de goliath. <https://www.leschroniquesdegoliath.com/conseils-maison-bricolage/le-confort-de-la-maison-renovation-bricolage/2701-2/>,2020.

# Annexes A



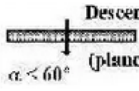
$l$ en $m^2 \cdot ^\circ C/W$ $h$	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 Ascendant (toiture) $\alpha < 60^\circ$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 Descendant (plancher)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

Tableau A1 : Les résistances thermiques d'échanges superficiels intérieurs

<b>10</b> <b>BOUIRA</b>	<b>Groupe de Communes 1 :</b> Aghbalou - Ahl El Ksar - Aïdane - Ain El Hadjar - Ain Laloui - Ain Turk - Bechloul - Bordj Okhriss - Bouira - Chorfa - Dirah - El Adjiba - El Asnam - El Hachimia - El Hakimia - Hadjera Zerga - Haïzer - Maamora - M'Chedallah - Mezdour - Oued El Berdi - Ouled Rached - Saharidj - Taghzout - Taguedit <b>Groupe de Communes 2 :</b> Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.	<b>C</b> <b>B</b>
----------------------------	--	----------------------

Tableau A2 : Zone climatique de bouira.

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

Tableau A3 : Les valeurs de la température extérieure de base.

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

**Tableau A4** : Les coefficients K<sub>vn</sub> des vitrages.

	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

**Tableau A4** : Les coefficients des portes.



## Annexes B

Coefficients de correction pour n = 1,33								800/80					
$\Delta T$	Valeur	$\Delta T$	Valeur	$\Delta T$	Valeur	$\Delta T$	Valeur	nb éléments	$\Delta T$ 60K W	$\Delta T$ 50K W	$\Delta T$ 40K W	$\Delta T$ 35K W	$\Delta T$ 30K W
30	0,507	43	0,818	56	1,163	69	1,535	1	206,48	161,30	119,23	99,51	80,76
31	0,530	44	0,844	57	1,190	70	1,564	2	412,95	322,60	238,46	199,01	161,52
32	0,552	45	0,869	58	1,218	71	1,594	3	619,43	483,90	357,69	298,52	242,27
33	0,575	46	0,895	59	1,246	72	1,624	4	825,90	645,20	476,92	398,03	323,03
34	0,599	47	0,921	60	1,274	73	1,654	5	1032,38	806,50	596,15	497,53	403,79
35	0,622	48	0,947	61	1,303	74	1,684	6	1238,86	967,80	715,39	597,04	484,55
36	0,646	49	0,973	62	1,331	75	1,715	7	1445,33	1129,10	834,62	696,54	565,30
37	0,670	50	1,000	63	1,360	76	1,745	8	1651,81	1290,40	953,85	796,05	646,06
38	0,694	51	1,027	64	1,389	77	1,776	9	1858,28	1451,70	1073,08	895,56	726,82
39	0,719	52	1,054	65	1,418	78	1,807	10	2064,76	1613,00	1192,31	995,06	807,58
40	0,743	53	1,081	66	1,447	79	1,837						
41	0,768	54	1,108	67	1,476	80	1,868						
42	0,793	55	1,135	68	1,505								

Assemblé par batteries jusqu'à 10 éléments entraxe

**Tableau B1** : Facteurs de correction BLITZ 80. **Tableau B2** : La puissance d'élément.

Tuyau de cuivre		DIN EN 1057	[Se substitue à DIN 1786]		
Ø Extérieur [mm]	Epaisseur de paroi [mm]	Poids du tuyau [kg/m]	Capacité en eau [l/m]	Tuyau + eau [kg/m]	
10,0	1,0	0,25	0,05	0,30	
12,0	1,0	0,31	0,08	0,39	
15,0	1,0	0,39	0,13	0,53	
18,0	1,0	0,48	0,20	0,68	
22,0	1,0	0,59	0,31	0,91	
28,0	1,5	1,12	0,49	1,61	
35,0	1,5	1,41	0,80	2,22	
42,0	1,5	1,71	1,19	2,90	
54,0	2,0	2,93	1,96	4,89	
64,0	2,0	3,49	2,83	6,32	
76,1	2,0	4,17	4,08	8,25	
88,9	2,0	4,89	5,66	10,55	
108,0	2,5	7,42	8,33	15,76	
133,0	3,0	10,98	12,67	23,65	
159,0	3,0	13,17	18,39	31,56	
219,0	3,0	18,24	35,63	53,87	
267,0	3,0	22,29	53,50	75,80	

**Tableau B3** : les valeurs de diamètre d'échangeur

Modèle	Profondeur (C)	Hauteur (B)	Entraxe (A)	Longueur (D)	Diamètre raccord	Contenance en eau
	mm	mm	mm	mm	pouce	litres/élém.
350/100	97	427	350	80	G1	0,32
500/80 3A	80	578	500	80	G1	0,36
600/80 3A	80	678	600	80	G1	0,39
700/80	80	777	700	80	G1	0,46
800/80	80	877	800	80	G1	0,52

**Tableau B4** : le volume d'eau pour un élément de radiateur

**Résumé :**

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet UNESCO IGCP 636 « Ressources géothermiques pour la transition énergétique ». Il consiste à une étude de dimensionnement d'un système de chauffage à base d'énergie géothermique pour le complexe de hammam ksana de Bouira. Pour l'Algérie, le potentiel de la ressource géothermique est négligeable devant le potentiel solaire que regorge le pays. Toutefois la géothermie reste quand même une ressource fiable, non intermittente et pourrait être mieux exploitée et mieux valorisée en optant d'avantage pour des systèmes de cogénération répondant simultanément aux besoins des stations thermales mais également en produisant leurs besoins de chauffage et d'électricité.

Ce travail se focalise sur le dimensionnement d'un échangeur de chaleur répondant aux besoins en chauffage de l'hôtel du complexe de hammam ksana de Bouira.

**Mots Clés :** Energie géothermique, Echangeurs de chaleur, Système de chauffage

**Abstract:**

This work was carried out within the framework of the UNESCO IGCP 636 project "Geothermal resources for the energy transition". It consists in a dimensioning study of a heating system based on geothermal energy for the complex of hammam ksana of Bouira. For Algeria, the potential of the geothermal resource is negligible before the solar potential that abounds in the country. However, geothermal energy is still a reliable, non-intermittent resource and could be better exploited and enhanced by opting for cogeneration systems that simultaneously meet the needs of spas but also produce their heating and electricity needs.

This work focuses on the sizing of a heat exchanger to meet the heating needs of the hotel complex hammam ksana of Bouira.

**Keywords:** Geothermal energy, Heat exchangers, heating system

**الملخص**

تم تنفيذ هذا العمل في إطار مشروع اليونسكو IGCP 636 "موارد الطاقة الحرارية الأرضية من أجل لانتقال الطاقوي" وهو يتألف من دراسة تحجيم لنظام التدفئة القائم على الطاقة الحرارية الأرضية لمجمع حمام كسانا في البويرة. بالنسبة للجزائر، فإن إمكانات موارد الطاقة الحرارية الأرضية لا تذكر مقارنة بالإمكانات الشمسية التي تزخر بها البلاد. ومع ذلك،

لا تزال الطاقة الحرارية الأرضية موردًا موثوقًا به وغير متقطع ويمكن استغلاله بشكل أفضل وتقييمه بشكل أفضل من خلال اختيار المزيد لأنظمة التوليد المشترك التي تلبي في الوقت نفسه احتياجات المنتجعات الصحية ولكن أيضًا من خلال إنتاج احتياجات التدفئة والكهرباء

يركز هذا العمل على تحجيم المبادل الحراري لتلبية احتياجات التدفئة في فندق مجمع حمام كسانا في البويرة

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الحرارية الجوفية، المبادلات الحرارية، نظام التدفئة .