

Chauffage et Climatisation par Géothermie en Kabylie

Hakim MOHELLEBI

Maitre assistant A, Université Mouloud Mammeri de Tizi – Ouzou

Résumé :

Le confort thermique assuré par la géothermie, objet de cette étude, est assuré en enterrant un échangeur de chaleur dans le sol. Pour la Kabylie, région d'Algérie, les températures du sol permettent d'assurer le rafraîchissement en période d'été sans aucun recours aux énergies fossiles et le chauffage en période d'hiver à 80 %.

Des calculs ont été menés pour différentes profondeurs (3 ; 6 et 9m) pour une maison individuelle dont les déperditions thermiques hivernales et la charge frigorifique ont été évalués.

Mots clés : géothermie, échangeur, développement durable, confort thermique.

1. Introduction

Plus l'on fore profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. En moyenne, l'augmentation de température atteint 20 à 30 degrés par kilomètre. Ce gradient thermique dépend beaucoup de la région du globe considérée. Il peut varier de 3 °C par 100 m (régions sédimentaires) jusqu'à 15°C ou même 30°C (régions volcaniques, zones de rift comme en Islande ou en Nouvelle-Zélande) [1].

Le geyser (fig.1) [2], de par son étymologie islandaise *gjosa*, signifie jaillir. C'est un phénomène volcanique spectaculaire. Un geyser est une source d'eau chaude qui projette vapeur et eau à température chaude à intervalles plus ou moins réguliers. Certains vont jusqu'à 60 mètres de haut. On les trouve principalement en Islande. L'utilisation de sources chaudes remonte au paléolithique puisque les recherches attestent de l'existence de piscine chaude en Chine datant de 3000 av. J.C. En Europe, la ville de Thermal (Bath) utilise un système de chauffage par le sol grâce à l'eau chaude issue des sources.



Fig.1. Geysers en Island

Le travail présenté consiste à utiliser l'énergie géothermique faible profondeur pour assurer le confort thermique de l'Homme en toute saison pour une région d'Algérie pour laquelle les températures du sol pour des profondeurs variant entre 3 et 9 mètres ont été évaluées [3].

2. Données de base

2.1. Données géographiques

Latitude : 36°43' Nord

Longitude : 004°03 Est

Altitude : 230 m

2.2. Données architecturales

Pour notre projet, on a choisi la ville de Tizi-Ouzou pour y implanter notre habitation, il s'agit d'une maison individuelle correspondant aux concepts habituels à base d'une architecture moderne (matériaux, fenêtres, murs, etc.), elle est constituée d'un seul bloc R : Rez-de-chaussée comportant (figure 2):

- 03 chambres,
- 01 salle de séjour,

- 01 hall,
- 01 cuisine,
- 01 salle de bain
- Des sanitaires

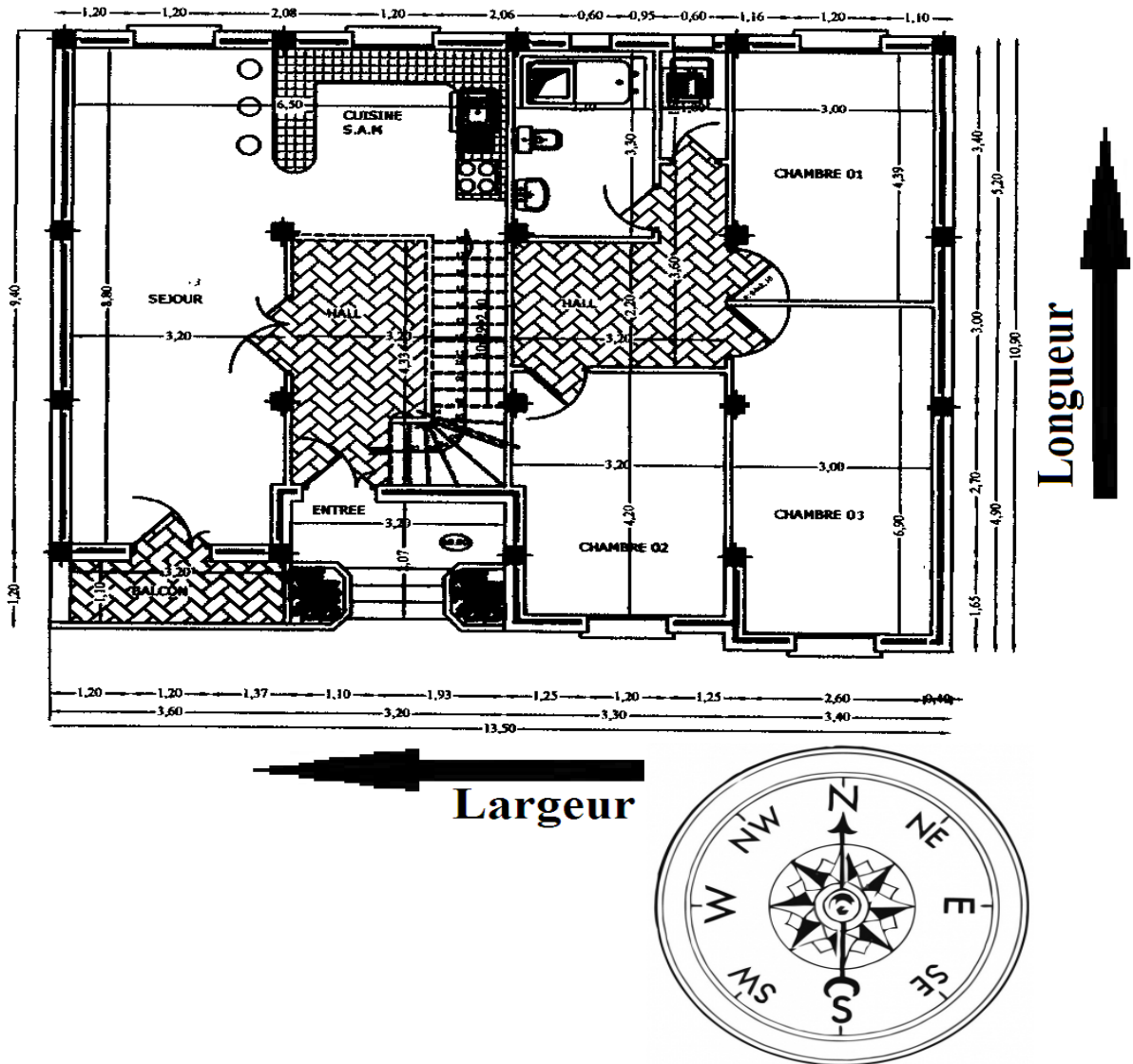


Figure 2. plan de l'habitation

2.3. Données géothermiques :

Les résultats de l'étude de la répartition de la température dans le sol pour la région considérée menée par [MAKHOULF et NEBBALI ,3] sont illustrés par le graphe de la figure 3.

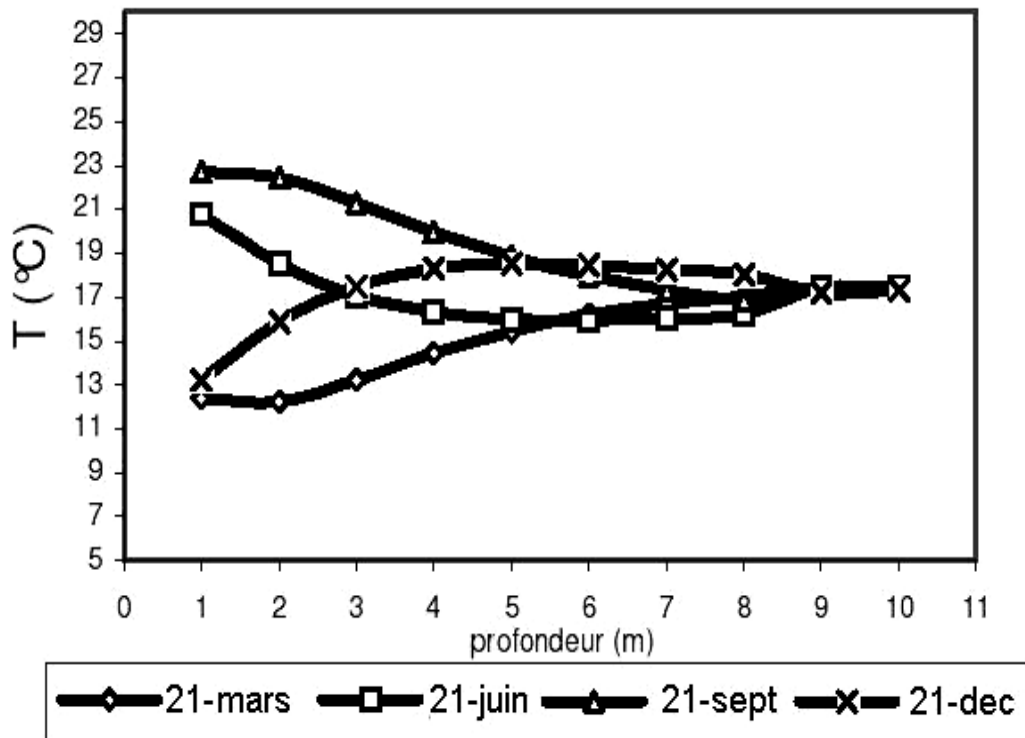


Fig. 3. Gradient géothermique pour la région de Tizi - Ouzou [03]

3. Bilan thermique hivernal [4]

Celui-ci permet de déterminer les besoins calorifiques afin d'assurer le confort thermique en période hivernale ; il passe par le calcul des déperditions thermiques par transmission à travers toutes les parois et par infiltration à travers les joints des ouvrants dans des conditions de températures de base intérieure (confort 20°C) et extérieure (02°C : moyenne des minimales sur dix ans).

Ce calcul donne le résultat suivant : $\Phi_{T(\text{hivernal})} = 8500 \text{ W}$

4. Bilan thermique estival [4]

Celui-ci permet de déterminer les besoins frigorifiques afin d'assurer le confort thermique en période estivale ; il passe par le calcul des apports thermiques, par transmission à travers toutes les parois, par l'éclairage, par les occupants et par les machines dans des conditions de températures de base intérieure (confort 22°C) et extérieure (35°C : moyenne des maximales sur dix ans).

Ce calcul donne le résultat suivant : $\Phi_F = 8400 \text{ W}$

5. Dimensionnement de l'échangeur

5.1. Détermination du diamètre

Le débit d'air est donné par :

$$\dot{M} = \frac{\Phi}{C_p(T_e - T_f)} \quad (1)$$

Soit : $\dot{M} = 0,558 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$

D'où $d = 0,450\text{m} = 450 \text{ mm}$

5.2. Détermination de la longueur

5.2.1. Evaluation du coefficient d'échange par convection

nombre de Reynolds est donné par la relation suivante

$$Re = V \cdot d_h \cdot \rho / \mu \quad (2)$$

soit $Re = 84132,07$

Le régime est turbulent d'où [4]:

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{0,3} \quad (3)$$

Le nombre de Prandtl est donné par :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (4)$$

$$Pr = 0,72 \quad (5)$$

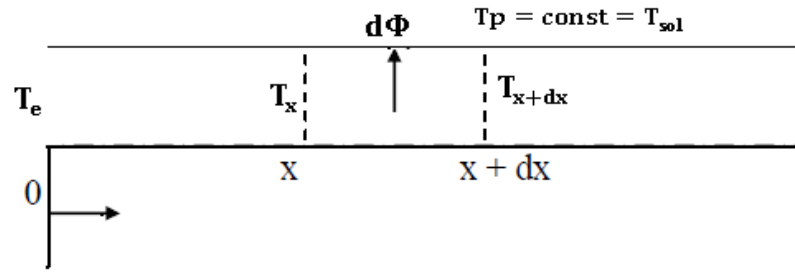
Tenant compte des valeurs de Reynolds et Prandtl, le nombre de Nusselt vaut :

$$Nu = 181,50$$

Sachant que : $h = Nu \cdot \lambda / d \quad (6)$

Il vient : $h = 10,37 \text{ W/m}^2\text{°C}$

5.2.2. Bilan thermique de l'échangeur



B

Fig. 3. Tranche du tube de l'échangeur tubulaire air/sol

Le bilan thermique pour un élément de la conduite (Fig3), de surface donne :

$$\dot{M}.C_p. dT = h(T_p - T_{(x)})P. dx \quad (7)$$

L'intégration de (7) donne :

$$\int_{T_e}^{T_{(x)}} \frac{dT}{T_p - T_{(x)}} = \int_0^x \frac{h.P}{\dot{M}.C_p} . dx \quad (8)$$

Soit :

$$\text{Ln} \frac{T_{(x)} - T_p}{T_e - T_p} = \frac{-h.P}{\dot{M}.C_p} x \quad (9)$$

La température de l'air à l'abscisse x s'écrit alors :

$$T_{(x)} = (T_e - T_p)e^{\frac{-h.P}{\dot{M}.C_p}x} + T_p \quad (10)$$

Le flux de chaleur échangé dans la conduite de longueur L s'écrit :

$$\Phi = \int_0^L h. P(T_p - T_{(x)}) . dx \quad (11)$$

En remplaçant (10) dans (11), il vient:

$$\Phi = h. P(T_p - T_e) \int_0^L e^{\frac{-h.P}{\dot{M}.C_p}x} . dx \quad (12)$$

Soit :

$$\Phi = \dot{M}.C_p(T_p - T_e) \left(1 - e^{\frac{-h.P}{\dot{M}.C_p}L} \right) \quad (13)$$

Tenant compte de (11), la longueur est donnée par ::

$$L = \frac{-\dot{M}.C_p}{h.P} . \text{Ln} \left(1 - \frac{\Phi}{\dot{M}.C_p(T_p - T_e)} \right) \quad (14)$$

6. Résultats et discussion

Les différents résultats pour les deux périodes sont consignés dans les tableaux 1 à 9

Tableau 1. Valeur de longueur de la conduite pour une profondeur d'un mètre et une température de sortie de l'échangeur de 24 °C en saison estivale

Profondeur (m)	Période	T _p (°C)	T _s (°C)	Ṁ (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (W/m ² °C)	T _p - T _e (°C)	L (m)
1	Juin	21	24	0,761	0,531	98184,90	0,72	205,38	10,05	14	70,53
	Septembre	23								12	113,99
	Moyenne	22								13	85,74

Tableau 2. Valeur de la température de sortie pour une profondeur d'un mètre et le pourcentage d'économie d'énergie en saison hivernale

Profondeur (m)	L (m)	Période	T _p (°C)	Ṁ (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (Kg/m ² °C)	T _e - T _p (°C)	T _s (°C)	Economie d'énergie (%)
1	70,53	Décembre	13,5	0,761	0,531	98184,90	0,72	198,74	9,73	-11,5	10,92	80,10
		Mars	12,5							-10,5	10,14	73,09
		Moyenne	13							-11	10,53	76,01
	113,99	Décembre	13,5							-11,5	12,47	94,02
		Mars	12,5							-10,5	11,56	85,85
		Moyenne	13							-11	12,01	89,89
	85,74	Décembre	13,5							-11,5	11,63	86,47
		Mars	12,5							-10,5	10,79	78,93
		Moyenne	13							-11	11,21	82,70

Tableau 3. Valeur de longueur de la conduite pour une profondeur de trois mètres et une température de sortie de l'échangeur de 22 °C en saison estivale

Profondeur (m)	Période	T _p (°C)	T _s (°C)	Ṁ (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (W/m ² °C)	T _p - T _e (°C)	L (m)
3	Juin	17,4	22	0,644	0,489	90418,86	0,72	192,28	10,22	17,6	55,49
	Septembre	21,5								13,5	136,93
	Moyenne	19,45								15,55	74,81

Tableau 4. Valeur de la température de sortie pour une profondeur de trois mètres et le pourcentage d'économie d'énergie en saison hivernale

Profondeur (m)	L (m)	Période	T _p (°C)	M (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (Kg/m ² °C)	T _e - T _p (°C)	T _s (°C)	Economie d'énergie (%)
3	55,49	Décembre	17,5	0,644	0,489	90418,86	0,72	186,06	9,89	-15,5	13,27	85,64
		Mars	13,5							-11,5	10,36	63,53
		Moyenne	15,5							-13,5	11,82	74,62
	136,93	Décembre	17,5							-15,5	16,87	113,00
		Mars	13,5							-11,5	13,03	83,82
		Moyenne	15,5							-13,5	14,95	98,41
	74,81	Décembre	17,5							-15,5	14,81	97,35
		Mars	13,5							-11,5	11,50	72,19
		Moyenne	15,5							-13,5	13,16	84,81

Tableau. 5. Valeur de longueur de la conduite pour une profondeur de six mètre et une température de sortie de l'échangeur de 20 °C en saison estivale

Profondeur (m)	Période	T _p (°C)	T _s (°C)	M (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (W/m ² °C)	T _p - T _e (°C)	L (m)
6	Juin	16,4	20	0,558	0,455	84132,07	0,72	181,49	10,37	18,6	62,38
	Septembre	18,4								16,6	89,00
	Moyenne	17,4								17,6	72,68

Tableau 6. Valeur de la température de sortie pour une profondeur de six mètres et le pourcentage d'économie d'énergie en saison hivernale

Profondeur (m)	L (m)	Période	T _p (°C)	M (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (Kg/m ² °C)	T _e - T _p (°C)	T _s (°C)	Economie d'énergie (%)
6	62,38	Décembre	18,4	0,558	0,455	84132,07	0,72	175,64	10,03	-16,4	15,06	85,99
		Mars	16,4							-14,4	13,47	75,52
		Moyenne	17,4							-15,4	14,26	80,72
	89,00	Décembre	18,4							-16,4	16,70	96,79
		Mars	16,4							-14,4	14,91	85,00
		Moyenne	17,4							-15,4	15,81	90,93
	72,68	Décembre	18,4							-16,4	15,83	91,06
		Mars	16,4							-14,4	14,14	79,93
		Moyenne	17,4							-15,4	14,99	85,53

Tableau.7. Valeur de longueur de la conduite pour une profondeur de neuf mètres et une température de sortie de l'échangeur de 20 °C en saison estivale

Profondeur (m)	T _p (°C)	T _s (°C)	M (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (W/m ² °C)	T _p - T _e (°C)	L (m)
9	17,4	20	0,558	0,455	84132,07	0,72	181,49	10,37	17,6	72,68

Tableau 8. Valeur de longueur de la conduite pour les différentes profondeurs et températures de sortie de l'échangeur en saison estivale

Profondeur (m)	Période	T _p (°C)	T _s (°C)	Ṁ (Kg/s)	D (m)	Re _l	Pr	Nu	h (W/m ² °C)	T _p - T _e (°C)	L (m)
1	Juin	21	24	0,761	0,531	98184,90	0,72	205,38	10,05	14	70,53
	Septembre	23								12	113,99
	Moyenne	22								13	85,74
3	Juin	17,4	22	0,644	0,489	90418,86	0,72	192,28	10,22	17,6	55,49
	Septembre	21,5								13,5	136,93
	Moyenne	19,45								15,55	74,81
6	Juin	16,4	20	0,558	0,455	84132,07	0,72	181,49	10,37	18,6	62,38
	Septembre	18,4								16,6	89,00
	Moyenne	17,4								17,6	72,68
9	Toute la période estivale	17,4	20	0,558	0,455	84132,07	0,72	181,49	10,37	17,6	72,68

Tableau 9. Récapitulatif pour différentes profondeurs et gain d'énergie (saison hivernale)

Profondeur (m)	Température fixé pour la période estivale T _d (°C)	L (m)	Période	T _p (°C)	Ṁ (Kg/s)	D (m)	Re	Pr	Nu	h (Kg/m ² °C)	T _e - T _p (°C)	T _s (°C)	Economie d'énergie (%)
1	24	70,53	Décembre	13,5	0,761	0,531	98184,90	0,72	198,74	9,73	-11,5	10,92	80,10
			Mars	12,5							-10,5	10,14	73,09
			Moyenne	13							-11	10,53	76,01
		113,99	Décembre	13,5							-11,5	12,47	94,02
			Mars	12,5							-10,5	11,56	85,85
			Moyenne	13							-11	12,01	89,89
		85,74	Décembre	13,5							-11,5	11,63	86,47
			Mars	12,5							-10,5	10,79	78,93
			Moyenne	13							-11	11,21	82,70
3	22	55,49	Décembre	17,5	0,644	0,489	90418,86	0,72	186,06	9,89	-15,5	13,27	85,64
			Mars	13,5							-11,5	10,36	63,53
			Moyenne	15,5							-13,5	11,82	74,62
		136,93	Décembre	17,5							-15,5	16,87	113,00
			Mars	13,5							-11,5	13,03	83,82
			Moyenne	15,5							-13,5	14,95	98,41
		74,81	Décembre	17,5							-15,5	14,81	97,35
			Mars	13,5							-11,5	11,50	72,19
			Moyenne	15,5							-13,5	13,16	84,81
6	20	62,38	Décembre	18,4	0,558	0,455	84132,07	0,72	175,64	10,03	-16,4	15,06	85,99
			Mars	16,4							-14,4	13,47	75,52
			Moyenne	17,4							-15,4	14,26	80,72
		89,00	Décembre	18,4							-16,4	16,70	96,79
			Mars	16,4							-14,4	14,91	85,00
			Moyenne	17,4							-15,4	15,81	90,93
		72,68	Décembre	18,4							-16,4	15,83	91,06
			Mars	16,4							-14,4	14,14	79,93
			Moyenne	17,4							-15,4	14,99	85,53
9		72,68	Toute la période estivale	17,4	0,558	0,455	84132,07	0,72	175,64	10,03	-15,4	14,99	84,81

7. Conclusion :

L'étude qui a été entreprise dans ce travail a aboutit aux résultats suivant :

Pour une maison individuelle de surface habitable de 140.75 m^2 implantée à Tizi-Ouzou, l'installation se compose :

- D'une conduite de diamètre de $D = 0.450 \text{ m}$ et de longueur $L = 72. \text{ m}$
- Un ventilateur ou extracteur de puissance $P = 144.09 \text{ W}$

La même installation couvre les besoins de chauffage à hauteur de 85.53% et l'étude menée pour différentes profondeurs inférieure à 9 m conduit à des longueurs de conduite différentes, pour la période estivale mais assurant les besoins considérés.

Le remplacement de l'air par l'eau conduirait à réduire de manière conséquente les dimensions de l'échangeur enterré mais nécessiterait par contre un autre échangeur.

Pour la période hivernale, l'étude pour différentes profondeurs a été menée en considérant les puissances produites et qui varient de 81.38 à 85.53%.

Il apparaît ainsi au terme de cette étude qu'il est possible de substituer les énergies fossiles par la géothermie et ce pour assurer le confort thermique estival et hivernal. En effet, pour les pays du sud pour lesquels le climat est très chaud, cette application trouve tout son intérêt et permet ainsi de répondre de manière très positive à l'impératif du développement durable et de la protection de l'environnement.

8. Bibliographie

[1] Encyclopédie Microsoft Encarta, Edition 2009

[2] A. Farhaoui, Bulletin des énergies renouvelables, N°4, Déc, 2003

[3] R. Nebbali et S.Makhlouf "Détermination de la distribution du champ de température dans le sol, par un modèle semi analytique. Conditions aux limites pour les besoins de simulation d'une serre de culture, Revue des énergies renouvelables CER'0 7 Oudjda 2007.

[4] Techniques de l'ingénieur, traité Génie énergétique échangeurs de chaleur B234.

[5] S. Thiers, bilans énergétiques et environnementaux des bâtiments à énergie positive, thèse de doctorat.



La figure ci-dessous nous donne le gradient géothermique à Tizi-Ouzou ; qui indique la variation de température en fonction de la profondeur et cela pour le 21 Mars, 21 juin, 21 septembre et 21 décembre. On remarque que la température est constante au delà de 9 m de profondeur et elle vaut 17,4 °C

IV.2.2. Situation géographique :

La ville de Tizi-Ouzou est située comme suit :

Latitude (φ) : 36°43' Nord,

Longitude (G) : 004°03 Est,

Altitude (Alt) : 230 m,

Les besoins en chauffage et en rafraîchissement évalués dans ce chapitre et correspondant aux déperditions (saison hivernale) et aux apports internes et externes du local (saison estivale) ont conduit aux résultats suivants :

- Besoins en chauffage : $\Phi_{T(\text{hivernale})} = 8525.02 \text{ W}$
- Besoins en rafraîchissement : $\Phi_{T(\text{estivale})} = 8428.99 \text{ W}$

V.2. Dimensionnement de l'installation :

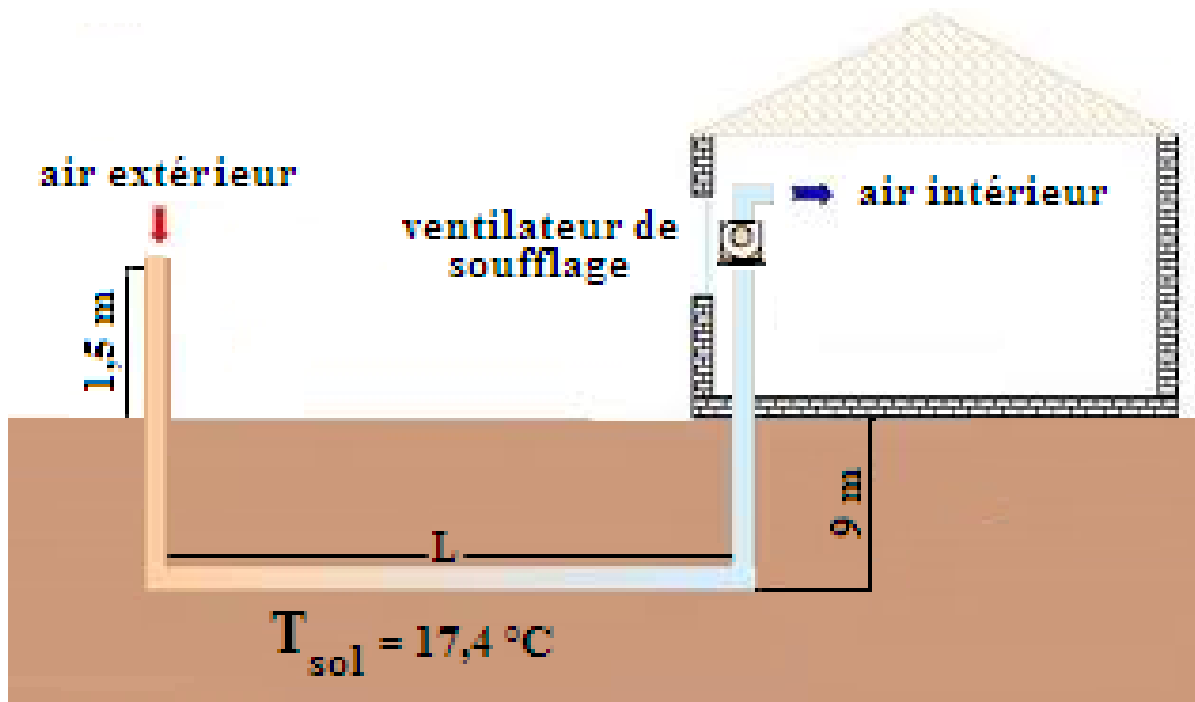


Fig. V.1. Schéma de l'installation extérieure

$$\Phi = \dot{M}C_p(T_e - T_f) \quad (\text{V.1})$$

l'installation suivante :

La figure 5 illustre l'installation de chauffage et rafraîchissement de l'habitation considérée, pour une profondeur de 9m.

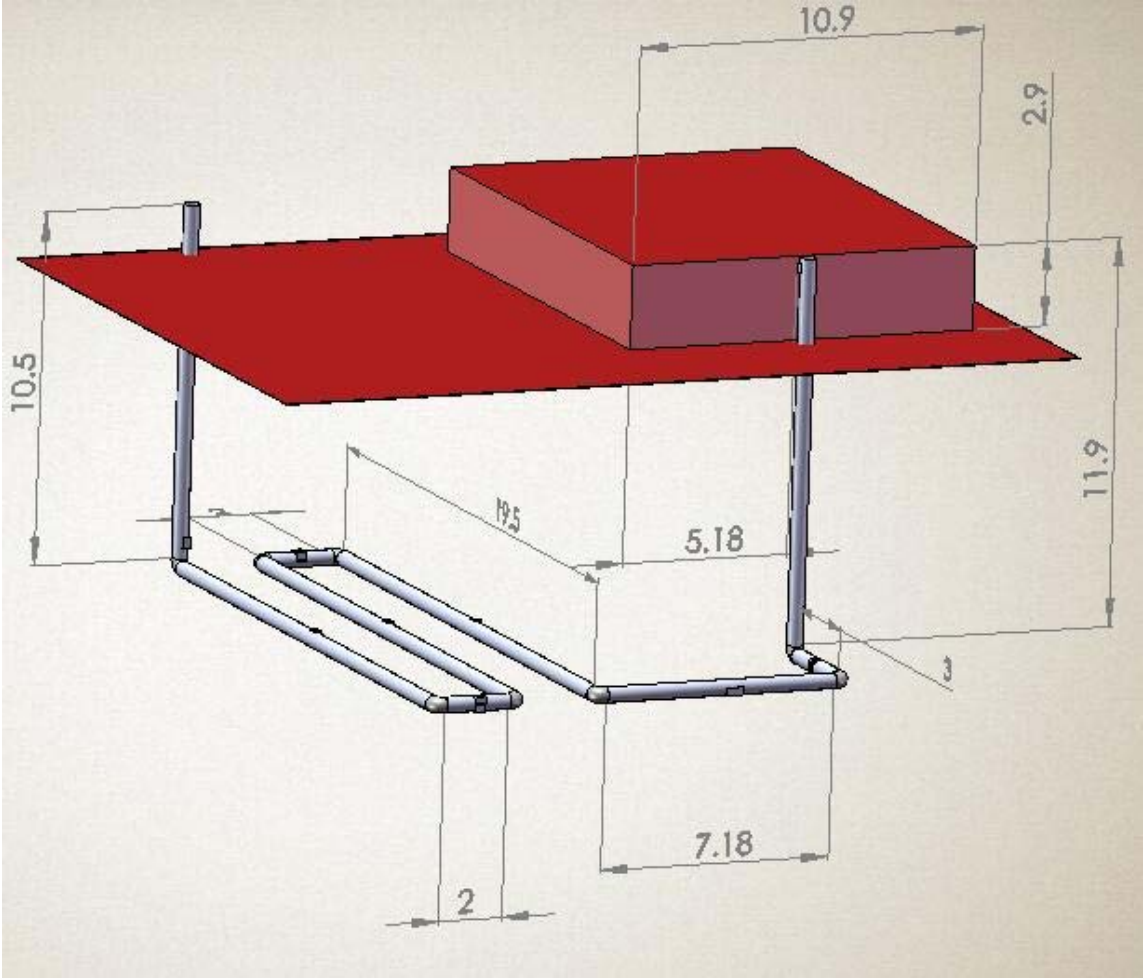


Fig. 5. Schéma de l'installation