



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Génie mécanique
Énergétique

Réf. : ...

Présenté et soutenu par :
Medjennah Salah Eddine

Le : ...

Faisabilité technique et économique de quelques systèmes éco_énergétiques dans la région Saharienne

Jury :

M.	Zellouf Miloud	MAA	Université de Biskra	Président
M.	Benchabane Adel	Pr	Université de Biskra	Examineur
M.	Labeled Adnane	Pr	Université de Biskra	Rapporteur

Remerciements

Je remercie avant tout Allah tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donnée afin de réaliser ce modeste travail.

Je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Adnane LABED, Professeur à l'Université de Biskra, pour m'avoir aidé et dirigé tout au long de ce travail de recherche et pour son soutien, surtout dans les moments les plus difficiles.

Mes remerciements s'adressent à Dr Amar ROUAG pour les conseils qui m'ont tant servi, qu'ils trouvent ici toutes les expressions de ma gratitude.

Mes sincères remerciements aux membres de jury, d'avoir accepté de juger ce modeste travail et pour le temps qu'ils ont consacré à l'expertise de ce mémoire.

Je remercie également tous mes collègues de la formation master Génie Mécanique.

Mes sincères remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, afin de réaliser ce travail.

Enfin, mes remerciements vont aussi à tous mes collègues de la formation master. Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, afin de réaliser ce travail.

Résumé

Dans ce travail, nous avons mené une étude technico-économique d'un échangeur de chaleur air/sol, dont le but d'examiner la faisabilité de connecter cet échangeur avec une maison afin de réduire la consommation en énergie électrique.

Deux projets types ont été étudiés : 1) La climatisation d'une maison dans la région de Biskra et 2) la climatisation d'une maison dans la région de El oued. Pour cela nous avons choisis d'utiliser trois systèmes de rafraîchissements : (A) un système classique mono-split, (B) un système d'un échangeur air/sol et (C) un d'un échangeur de chaleur hélicoïdal air/eau. Parmi les résultats les plus importants obtenus de point de vue écologique, on constate que le système (B) représente la meilleure solution dans le projet I, par rapport le Système (A) et on constate que le système (C) représente la meilleure solution dans le projet II, par rapport aux Système (A) et système (B).

Quant au point de vue économique, et selon la politique actuelle de soutien de l'État à la facture d'électricité, on constate que le Système (A) représente la meilleure solution en terme coûts d'investissement totaux, de consommation d'électricité et de maintenance. De point de vue coût d'électricité et de protection de l'environnement, l'étude réalisée sur les deux projets a montré la faisabilité de l'échangeur air/sol syst(B) pour des conditions liées au coût de l'électricité, ceci est uniquement dans le cas où l'état réoriente son soutien de cout de l'électricité du climatiseur mono-split syst(A) vers le soutien du coût d'investissement du système d'un échangeur air/sol syst(B) et l'échangeur de chaleur hélicoïdal air/eau syst(C) pour pouvoir remplacer le climatiseur mono-split syst(A).

Mots clés : climatiseur mono-split, échangeur de chaleur air/sol, échangeur de chaleur hélicoïdal air/eau, soutien d'État, facteurs d'électricité.

ملخص

في هذا العمل، أجرينا دراسة تقنية - اقتصادية لدراسة كفاءة مبادل حراري هواء/أرض، والغرض من ذلك هو دراسة جدوى ربط هذا التبادل بمنزل من أجل الحد من استهلاكه للطاقة الكهربائية

تمت دراسة مشروعين نموذجيين: (1) تكييف منزل في منطقة بسكرة و(2) تكييف الهواء لمنزل في منطقة الواد، باستخدام ثلاثة أنواع من المكيفات: (A) نظام كلاسيكي أحادي التقسيم و (B) نظام مبادل حراري هواء/أرض، و (C) نظام مبادل حراري حلزوني هواء/ ماء. ومن بين أهم النتائج التي تم التوصل إليها من وجهة النظر البيئية، نجد أن النظام (B) يمثل الخيار الأفضل في المشروع الأول، مقارنة بالنظام (A)، ونجد أن النظام (C) يمثل الخيار الأفضل في المشروع الثاني سواء بالنسبة للنظام (A) أو النظام (B).

من وجهة النظر الاقتصادية، وطبقاً للسياسة الحالية لدعم الدولة لفواتير الكهرباء، فإن النظام (A) يمثل الخيار الأفضل من حيث إجمالي تكاليف الاستثمار، واستهلاك الكهرباء وصيانتها، ومن وجهة النظر الإيكولوجية وتكاليف استهلاك الكهرباء، أظهرت الدراسة التي أجريت بشأن المشروعين جدوى نظام المبادل حراري هواء/أرض (B) بالنسبة للشروط المتعلقة بتكلفة الكهرباء فإن هذا لا يحدث إلا في الحالة التي تقوم فيها الدولة بإعادة توجيه دعمها لتكاليف الكهرباء الموجهة لنظام التكييف الكلاسيكي أحادي التقسيم (A) نحو دعم التكلفة الاستثمارية لنظام مبادل حراري هواء/أرض (B) ونظام مبادل حراري حلزوني هواء/ ماء (C) لاستبدال جهاز تكييف هواء الكلاسيكي أحادي التقسيم.

الكلمات المفتاحية: مكيف أحادي التقسيم، مبادل حراري للهواء / التربة، مبادل حراري حلزوني للهواء / ماء، دعم الدولة، فواتير الكهرباء.

TABLE DES MATIERES

Remerciement	I
Résumé.....	II
Table des matières.....	IV
Nomenclature.....	VIII
Liste des figures.....	IX
Liste des tableaux.....	XI
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités	
Introduction.....	3
I. État de l'art sur le climat et confort thermique.....	3
1. Le climat et les données climatiques.....	3
1.1. Le climat en Algérie	3
2. La spécificité climatique de Biskra.....	5
2.1. Situation géographique de la ville de Biskra.....	5
2.2. Analyse des données climatique de la ville de Biskra.....	5
3. La spécificité climatique de El oued.....	8
3.1. Situation géographique de la ville de El oued.....	8
3.2. Analyse des données climatique de la ville de El oued.....	8
4. Le confort thermique.....	10
4.1. Confort et Températures.....	11
4.2. Confort et Humidité relative	11
4.3. Confort et vitesse de l'air.....	11
II. État de l'art sur les modèles d'échangeurs air/sol.....	12
1. Eléments principaux d'un puits canadien/provençal.....	12
1.1. Entrée d'air neuf.....	12
1.2. Conduits.....	12
1.3. Type de tuyaux.....	14
1.4. Système d'évacuation des condensats.....	14
1.5. Système de régulation et ventilateur	15
2. Les impacts de la conception, du dimensionnement, de la mise en œuvre et de l'entretien sur la qualité de l'air intérieur.....	16
2.1 L'impact de la conception.....	16
2.2 Le dimensionnement	16

2.3	La mise en œuvre.....	16
2.4	L'entretien.....	16
3.	Les Avantages d'un puits canadien.....	16
	Conclusion.....	17
	Bibliographie.....	18
Chapitre 2 : Etude expérimentale et recherche bibliographique		
	Introduction.....	19
I.	Etudes expérimentaux antérieurs sur les échangeurs air/sol.....	19
II.	L'étude expérimentale d'un échangeur de chaleur air/sol.....	21
1.	Description de l'installation expérimentale.....	21
2.	Expériences réalisées.....	22
2.1.	Variation de la température de l'air à la sortie de l'échangeur	22
III.	L'étude expérimentale d'un échangeur de chaleur air/eau.....	24
1.	Description de l'installation expérimentale.....	24
2.	Expériences réalisées	25
	Conclusion.....	28
	Bibliographie.....	30
Chapitre 3 : Faisabilité technique du Système de rafraîchissement dans les régions d'études		
	Introduction.....	31
I.	Projet I : Le rafraîchissement d'une maison à Biskra	31
1.	Description du projet I.....	31
2.	Hypothèses	33
3.	Rafrâichissement par échangeur air/sol syst(B)	33
3.1	Dimensionnement du puits canadien	33
3.2	Mise en œuvre de l'installation	34
II.	Projet II : Le rafraîchissement d'une maison à El oued.....	36
1.	Description du projet II	36
2.	Détermination de la puissance de rafraîchissement.....	37
3.	Rafrâichissement par échangeur air/eau syst(C).....	37
3.1.	Dimensionnement de HWAHE	37
4.	Rafrâichissement par échangeur air/sol syst(B).....	39

4.1.	Dimensionnement de EAHE	39
Conclusion	.....	40
Bibliographie	.....	41
 Chapitre 4 : Rentabilité économique et étude comparative		
Introduction	.....	42
I. Projet I : Le rafraîchissement d'une maison à Biskra	.....	42
1.	Etude du système de climatiseur mono-split Syst(A)	42
1.1.	Sélection du système de climatiseur mono-split système (selon le marché)....	42
1.2.	Coût investissement.....	43
1.3.	Consommation électrique.....	43
1.4.	Coût Consommation électrique.....	43
1.5.	Emission des gaz CO2 par le système de climatiseur mono-split Système....	44
2.	Etude du système de rafraîchissement par échangeur air/sol Syst(B)	44
2.1.	La sélection du système.....	44
2.2.	Coût investissement.....	44
2.3.	Consommation électrique.....	46
2.4.	Coût Consommation électrique.....	46
2.5.	Emission des gaz CO2 par le système EAHE.....	47
3.	Comparaisons et discussions	47
4.	La durée d'amortissement	48
II. Projet II : Le rafraîchissement d'une maison à El oued	.....	50
1.	Etude du système de climatiseur mono-split syst(A)	50
1.1.	Sélection du système de climatiseur mono-split système (selon le marché)....	50
1.2.	Coût investissement.....	51
1.3.	Consommation électrique.....	51
1.4.	Coût Consommation électrique.....	51
1.5.	Emission des gaz CO2 par le système de climatiseur mono-split Système....	52
2.	Etude du système de rafraîchissement par échangeur air/sol Syst(B)	52
2.1.	La sélection du système.....	52
2.2.	Coût investissement.....	52
2.3.	Consommation électrique.....	53
2.4.	Coût Consommation électrique.....	54
2.5.	Emission des gaz CO2 par le système EAHE.....	54
3.	Etude du système de rafraîchissement par échangeur hélicoïdal air/eau Syst (C).....	54
3.1.	La sélection du système.....	54
3.2.	Coût investissement.....	55

3.3.	Consommation électrique.....	56
3.4.	Coût Consommation électrique.....	56
3.5.	Emission des gaz CO2 par le système HWAHE.....	56
4.	Comparaisons et discussions	57
5.	La durée d'amortissement	58
	Conclusion.....	61
	Bibliographie.....	62
	Conclusion générale.....	63
	Annexe.....	65
	Lexique.....	68

Nomenclature

Symbole	Définition	Unité
Eco ₂ /Eco ₂ réf	Emission CO ₂ / Emission CO ₂ réf	-
Cc syst A	Cout cumulé syst A	€
Cc syst B	Cout cumulé syst B	€
Cc syst C	Cout cumulé syst C	€
Ce	Consommation électrique	KWh
Ce réf	Consommation électrique de référence	KWh
Cce	Cout consommation électrique	€
Cce réf	Cout consommation électrique de référence	€
Ci	Cout investissement	€
Ci réf	Cout investissement référence	€
Cm	Cout de maintenance	€
Syst A	Système climatiseur mono-split	-
Syst B	Système échangeur de chaleur Air/Sol EAHE	-
Syst C	Système échangeur de chaleur Air/Eau HWAHE	-
Q _v	Débit volumique	m ³ /h
Cp	Capacité calorifique	KJ/kg/°c

Liste des figures

Figure. N°	Titre	Page
Figure 1.1	Zones climatiques d'été et d'hiver en Algérie	5
Figure 1.2	La variation de la température de l'air ambiant de Biskra en 2020	6
Figure 1.3	La variation de DJU de Biskra en 2020	7
Figure 1.4	La variation de la température de l'air ambiant de El oued en 2020	9
Figure 1.5	La variation de DJU de El oued en 2020	10
Figure 1.6	Les plages de confort hygrométriques	11
Figure 1.7	Échangeurs de chaleur enterrés de type horizontal	13
Figure 1.8	Évacuation des condensats sous-sol	15
Figure 1.9	Évacuation des condensats par un regard de visite	15
Figure 2.1	Vue isométrique de l'expérimental d'EAHE évaluée	21
Figure 2.2	Image de l'échangeur de chaleur horizontal à différentes profondeurs	22
Figure 2.3	Variation de la température de l'air à la sortie de l'échangeur	22
Figure 2.4	Comparaison entre la température d'entrée et celle de sortie de l'échangeur, pour chaque mois (a) juillet, (b) août.	23
Figure 2.5	Mise en place de l'échangeur HWAHE	24
Figure 2.6	Vue générale de l'échangeur HWAHE	25
Figure 2.7	L'évolution de la température ambiante et de la température du puits d'eau pour différentes profondeurs	26
Figure 2.8	Profil expérimental de la température du sol à différentes profondeurs (du 3 au 5 mai 2017)	27
Figure 2.9	Profil expérimental de la température d'air en fonction de débit et la longueur de tube	27
Figure 3.1	Vue en plan RDC	32
Figure 3.2	Vue en plan premier étage	32
Figure 3.3	Géométrie de pose finale	34
Figure 3.4	Vue en plan de maison	36
Figure 3.5	Plan de la maison et l'emplacement du puit d'eau	38
Figure 3.6	Illustration de la Méthode de la réduction de vitesse	38
Figure 3.7	Géométrie de pose finale du EAHE	39
Figure 4.1	Récapitulatif de l'étude comparative pour syst(A) et (B).	48
Figure 4.2	La durée amortissement pour les deux systèmes (sans soutien)	49
Figure 4.3	La durée amortissement pour les deux systèmes (avec soutien)	50
Figure 4.4	Récapitulatif de l'étude comparative pour syst(A), (B) et (C)	57
Figure 4.5	La durée amortissement pour les trois systèmes (sans soutien)	59
Figure 4.6	La durée amortissement pour les trois systèmes (avec soutien)	60

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre	Page
Tableau 1.1	Récupératif des valeurs de température ambiante à Biskra en 2020	6
Tableau 1.2	Récupératif des valeurs de l'humidité relative (HR) de Biskra en 2020	7
Tableau 1.3	Récupératif des valeurs de DJU de Biskra en 2020	7
Tableau 1.4	Récupératif des valeurs de température ambiante à El oued en 2020	8
Tableau 1.5	Récupératif des valeurs de l'humidité relative (HR) de El oued en 2020	9
Tableau 1.6	Récupératif des valeurs de DJU de El oued en 2020	9
Tableau 2.1	Récapitulatif des propriétés physiques	23
Tableau 2.2	Récapitulatif paramètres d'entrée pour la validation comparative	24
Tableau 2.3	Récapitulatif les propriétés physiques	28
Tableau 2.4	Récapitulatif Paramètres d'entrée pour la validation comparative	28
Tableau 3.1	Récapitulation du bilan de climatisation	32
Tableau 3.2	Récapitulation du volume de maison	35
Tableau 3.3	Récapitulation du type de ventilation selon le taux de brassage	35
Tableau 3.4	Récapitulation du débit d'air nécessaire de la maison et pour chaque pièce	35
Tableau 3.5	La puissance de rafraîchissement de la chambre	37
Tableau 3.6	Le débit d'air nécessaire pour rafraîchi la chambre	37
Tableau 4.1	Récapitulatif de la sélection du Syst(A)	42
Tableau 4.2	Récapitulatif de cout d'investissement TTC du syst(A)	43
Tableau 4.3	Récapitulatif de la sélection du Syst(B)	45
Tableau 4.4	Récapitulatif de la sélection de l'extracteur du Syst(B)	46
Tableau 4.5	Récapitulatif Syst(B)	47
Tableau 4.6	Coût investissement et coût Consommation électrique pour syst(A) et syst(B)	47
Tableau 4.7	Récapitulatif de la sélection du syst(A)	50
Tableau 4.8	Récapitulatif de cout d'investissement TTC du syst(A)	51
Tableau 4.9	Récapitulatif de la sélection du Syst(B)	52
Tableau 4.10	Récapitulatif de la sélection de l'extracteur du Syst(B)	53
Tableau 4.11	Récapitulatif de la sélection du Syst(C)	55
Tableau 4.12	Récapitulatif de la sélection de l'extracteur du Syst(C)	56
Tableau 4.13	Coût investissement et coût Consommation électrique pour les Syst (A), (B) et (C)	57

Introduction générale

Le confort thermique à l'intérieur des bâtiments est produit par les systèmes de Chauffage, ventilation et Climatisation (CVC), qui sont des gloutons énergétiques et contribuent fortement à rendre le secteur bâtiment responsable d'environ 40% de la consommation énergétique mondiale. Cette consommation d'énergie effroyable du secteur bâtiment augmente non seulement les crises énergétiques, mais constitue également un défi majeur pour l'environnement. De plus, la demande en énergie du secteur bâtiment a considérablement augmenté ces dernières années en raison de l'augmentation de la population, de la croissance économique et du niveau de vie. Environ 32 à 33% de l'énergie totale consommée par le secteur du bâtiment est utilisée pour le chauffage/refroidissement des locaux. L'utilisation de l'énergie géothermique est devenue l'une des sources les plus attrayantes pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments par des moyens passifs. Elle est utilisée depuis plus de trois décennies après la crise pétrolière de 1973. (Hamdi 2020).

Le secteur du bâtiment est parmi les plus grands consommateurs d'énergie, à cet effet, il doit pouvoir limiter au maximum ses besoins de chauffage en hiver, de ventilation et de rafraîchissement en été. Il existe plusieurs méthodes et opérations pour atteindre ce but ; telle : la forte isolation thermique visant à réduire le coefficient de déperdition thermique (réduire les échanges thermiques avec l'extérieure et l'étanchéité à l'air), le renouvellement et le rafraîchissement ou préchauffage de l'air, pour maintenir la bonne qualité de l'air à l'intérieur, parmi ces méthodes on favorise les échangeurs air/sol comme une technique de renouvellement et le rafraîchissement ou préchauffage de l'air des bâtiments à basse consommation d'énergie.(Benhamza 2018).

La méthodologie de la présente étude est basée sur une étude comparative entre les différents systèmes de rafraîchissement. Les systèmes étudiés sont des systèmes classiques mono-split (syst A), échangeur Air/Sol (syst B) et échangeur nommé HWAHE (syst C).

Cette étude comparative technico-économique est réalisée sur deux projets types (I et II) relatifs au site de Biskra et El oued respectivement. Une réflexion sur la faisabilité d'un système de rafraîchissement géothermique EAHE par rapport à son coût d'investissement, coût de consommation électrique et émission de CO₂ et surtout par rapport au soutien de l'état à la facturation de l'électricité.

En plus de l'introduction générale, notre travail est articulé sur quatre chapitres suivis d'une conclusion générale.

Le premier chapitre porte sur des notions fondamentales sur le climat et confort thermique et des solutions concernant l'étude technologique en spécifiant les échangeurs de chaleur air/sol et leur exploitation.

Le deuxième chapitre est réservé à la présentation de quelques études des échangeurs de chaleurs réalisées au sein de l'université de Biskra et une étude expérimentale effectués sur échangeur de chaleur hélicoïdal Air/Eau réalisée à l'université de El oued.

Le troisième chapitre présente une étude de faisabilité technique de l'échangeur Air/Sol à un cas d'étude type (Projet I) simulé sur le site de Biskra par rapport au climatiseur mono-split syst(A).

Le deuxième cas d'étude (Projet II) simulé dans le site d'El oued, il s'agit d'étudier la faisabilité de l'échangeur HWAHE syst(C), par rapport au climatiseur mono-split syst(A) et l'échangeur Air/Sol syst(B).

Le quatrième chapitre présente une étude comparative de faisabilité économique de l'échangeur EAHE. Dans ce chapitre : nous avons consacré la première partie à un cas d'étude type (Projet I) simulé sur le site de Biskra. On commence d'abord par l'étude de l'installation de climatiseurs classiques mono-split appelés syst(A). Par la suite, nous avons étudié une installation d'un échangeur Air/Sol, syst(B), afin de pouvoir comparer entre les deux systèmes selon le coût d'investissement et le coût de consommation électrique.

La deuxième partie de ce chapitre est consacré au deuxième cas d'étude (Projet II) simulé dans le site de El oued. Dont le but de choisir le climatiseur adéquat à la région d'étude, une étude comparative de l'échangeur Air/Sol syst(B) est présentée par rapport au climatiseur mono-split syst(A) et l'échangeur de chaleur hélicoïdal Air/Eau syst(C). Cette étude comparative est conduite sur ces systèmes en s'intéressant au coût d'investissement, coût de consommation électrique, et l'émission des gaz CO2

Enfin nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume les différentes étapes de l'étude, ainsi que les résultats obtenus et quelques recommandations et les perspectives envisagées.

Bibliographie

Benhamza, M" Contribution à l'étude du confort thermo-aéraulique par différents Typologies de constructions", thèse de doctorat, Département génie mécanique, Université de Biskra, pp.5, 2018

Hamdi, O "Contribution à l'étude de l'efficacité d'un système géothermique (air-sol) placé dans une zone aride « cas de la région de Biskra »". Thèse de doctorat Département génie mécanique, Université de Biskra, pp. 5,6, 2020

Chapitre 1 :

Généralités

Introduction

La recherche d'un confort thermique dans l'habitat a toujours été une préoccupation importante l'homme. En climat chaud et aride tel que celui du Sud de l'Algérie en général et à Biskra et El oued régions d'études en particulier, le problème majeur responsable de l'inconfort thermique chez l'homme n'est autre que la chaleur excessive. Il est plus fréquent d'avoir recours aux systèmes actifs de climatisation installés dans l'habitat. Ces derniers, consomment une quantité importante d'énergie électrique, résultants en des problèmes d'entretien et d'approvisionnement, un accroissement permanent des coûts ainsi qu'une contribution sensible à la pollution de l'environnement et au phénomène de réchauffement. La recherche d'autres possibilités de climatisation de l'habitat, parmi ces méthodes on favorise les échangeurs air/sol comme une technique de renouvellement et le rafraîchissement ou préchauffage de l'air des bâtiments à basse consommation d'énergie.

I. État de l'art sur le climat et confort thermique

1. Le climat et les données climatiques

Le climat désigne l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, vents, précipitations et pressions atmosphériques) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution dans un lieu. Il dépend de plusieurs paramètres comme la latitude du lieu, les conditions de l'environnement et la circulation atmosphérique.

1.1. Le climat en Algérie

Un climat varié :

Grâce à sa richesse géographique et sa nature variée, ce territoire est caractérisé par une variété de zones climatiques. « À cette vaste étendue territoriale correspond une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en deux grandes catégories ». (Dib, 1993).

Zones climatiques d'hiver : qui sont divisées elles-mêmes en trois zones :

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer, et qui comprend sept sous zones classées en fonction de l'altitude :
- Sous- zone H1a : littoral mer, altitude < 500m : caractérisée par des hivers doux avec des amplitudes faibles.

- Sous- zone H1b : arrière littoral montagne, altitude >500m : caractérisée par des hivers plus froids et plus longs.
- Sous- zone H2a : atlas tellien- montagne, 1 000m < altitude < 1500m : caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important.
- Sous- zone H2b : atlas saharien- montagne, altitude > 1 500m : caractérisée par des hivers encore plus froids.
- Sous- zone H3a : présaharien, 500m < altitude < 1 000m : caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.
- Sous- zone H3b : Sahara, 200m < altitude < 500m : caractérisée par des hivers moins froids que la zone H3a avec des écarts de température diurne.
- Sous- zone H3c : Hoggar, altitude > 500m : caractérisée par des hivers très froids

Analogues à la zone H3a, mais qui persistent même durant la journée.

- La zone H2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone H3 subit l'influence de la latitude.

Zones climatiques d'été : elles se divisent en cinq zones climatiques d'été et qui sont :

- La zone E1, littoral : caractérisée par des étés chauds et moins humides. L'écart de température diurne est faible.
- La zone E2, hauts plateaux- montagne : caractérisée par des étés plus chauds et moins humides avec des écarts de température diurne importants.
- La zone E3, pré-Sahara – Tassili : caractérisée par des étés très chauds et secs, mais moins pénibles qu'en zone E4.
- La zone E4, Sahara : caractérisée par des étés secs, mais plus chauds et plus secs qu'en zone E3.
- La zone E5, Tanezrouft : caractérisée par des étés chauds et secs et extrêmement pénibles par rapport aux zones E3 et E4 (Feliachi.2019).

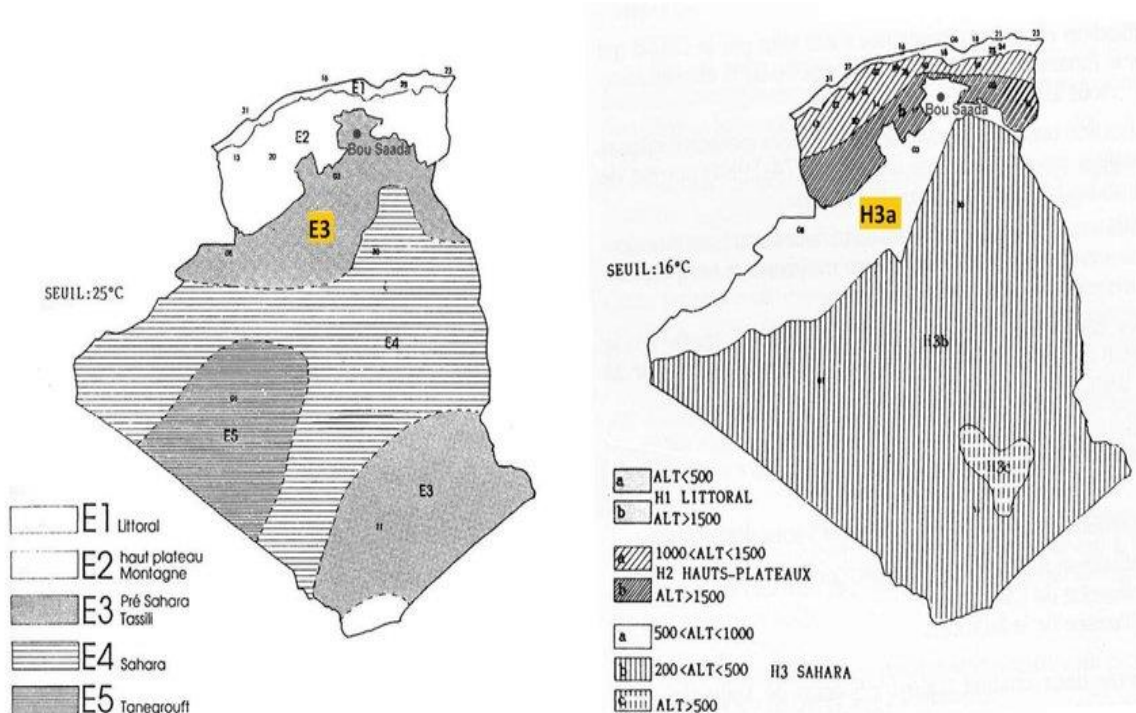


Figure 1.1 : Zones climatiques d'été et d'hiver en Algérie (OuldHenia 2003).

2. La spécificité climatique de Biskra

2.1. Situation géographique de la ville de Biskra

La ville de Biskra est située à 470 Km au Sud-Est de l'Algérie à une latitude de 34,80 Nord Et une longitude de 5,73 Est, elle occupe une superficie de 21 671 km², elle est située à une altitude moyenne de 87 m et voit sa topographie diminuer progressivement du nord vers le sud.

Biskra appartient à une région classée aride où prédomine un climat chaud et sec avec des hivers froids et des étés chaudes. Elle se caractérise par un ciel clair et ensoleillé presque pendant toute l'année, de grandes amplitudes de température saisonnières et journalières jusqu'à 10 C et une importante quantité de rayonnement solaire.

2.2. Analyse des données climatique de la ville de Biskra

La ville de Biskra est située au Nord de Sahara algérien, elle est classée dans la zone climatique chaude et aride, ses paramètres climatiques se définissent comme suit :

- **La température**

La température moyenne annuelle de la wilaya de El oued année 2020 le mois plus chaud est aout avec une température maximale de l'ordre de 42° et le mois plus froid est Décembre durant lequel la température descend à 7,9°C cette variation son regroupée dans le tableau suivant :

Tableau 1.1 : Récupératif des valeurs de température ambiante à Biskra en 2020 (Infoclimat).

Mois	Température moyenne	Température maximale	Température minimale
Janvier	11,6°C	18,5°C	4,7°C
Février	15,2°C	23,1°C	7,3°C
Mars	17,3°C	23,5°C	11,2°C
Avril	22,4°C	28,9°C	15,7°C
Mai	28,2°C	35,5°C	20,9°C
Juin	31,8°C	39,1°C	24,5°C
Juillet	33,6°C	40,9°C	26,4°C
Aout	34,6°C	42°C	27°C
Septembre	28,8°C	35°C	22,6°C
Octobre	22,1°C	28,4°C	15,9°C
Novembre	17,9°C	23,7°C	12°C
Décembre	13,2°C	18,6°C	7,9°C

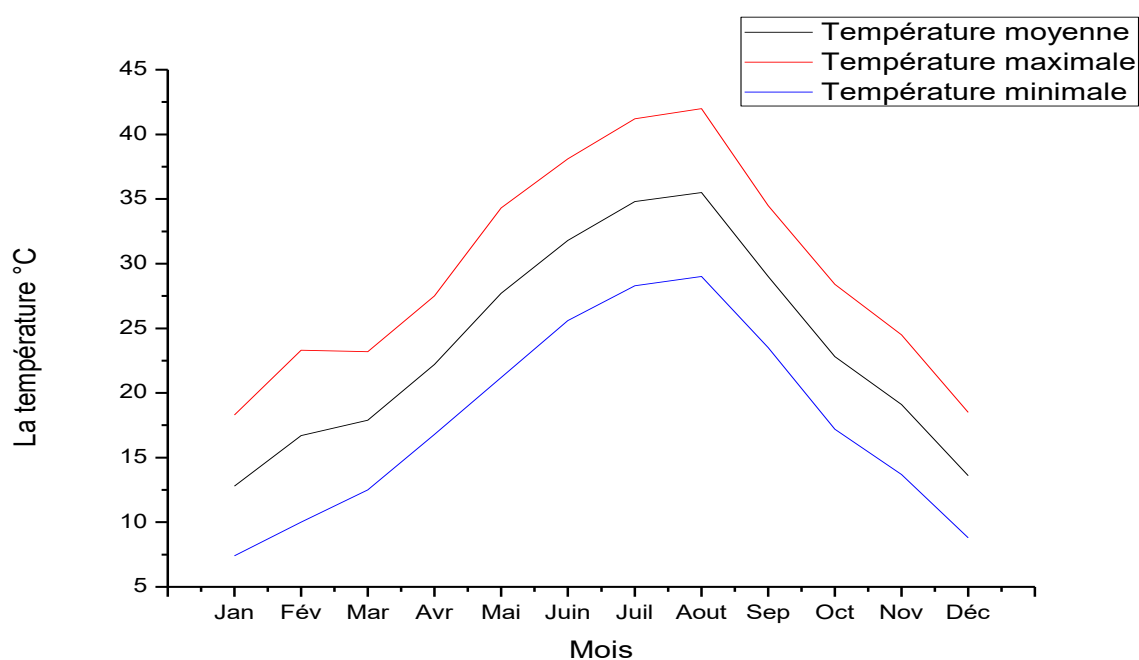


Figure 1.2 : La variation de la température de l'air ambiant de Biskra en 2020.

- **L'humidité relative**

L'humidité relative (HR) représente le rapport entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température (T_a) et la quantité maximale d'eau contenue à la même température les moyennes mensuelles de l'humidité ne dépassent pas 64% pour les périodes humides, ce qui prouve que la ville de Biskra est caractérisée par un climat sec même dans la saison hivernale, il est froid et sec.

Les valeurs de l'humidité relative de l'année 2020 de la région de Biskra présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1.2 : Récupératif des valeurs de l'humidité relative (HR) de Biskra en 2020 (Infoclimat).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
HR												
En %	60%	50%	40%	34%	30%	24%	22%	26 %	36%	43%	55%	62%

- **Dégréé jour unifié**

Abréviation de degrés jour unifiée. Unité de calcul thermique. Ils servent de base aux calculs thermiques en fonction de la sévérité du climat. Pour chaque jour, le nombre de degrés-jours est égal à la différence de la température intérieure du local (18°C) et la moyenne des températures minimale et maximale du jour considéré. Les valeurs de DJU de l'année 2020 de la région de Biskra présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1.3 : Récupératif des valeurs de DJU de Biskra en 2020 (Infoclimat).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
DJU chauf	167,1	81,1	57,2	13,4						12,9	38,3	143,7
DJU clima	5,9	42,8	52,9	134,7	302,2	416,1	519,9	526,3	331	162,6	70,6	11,6

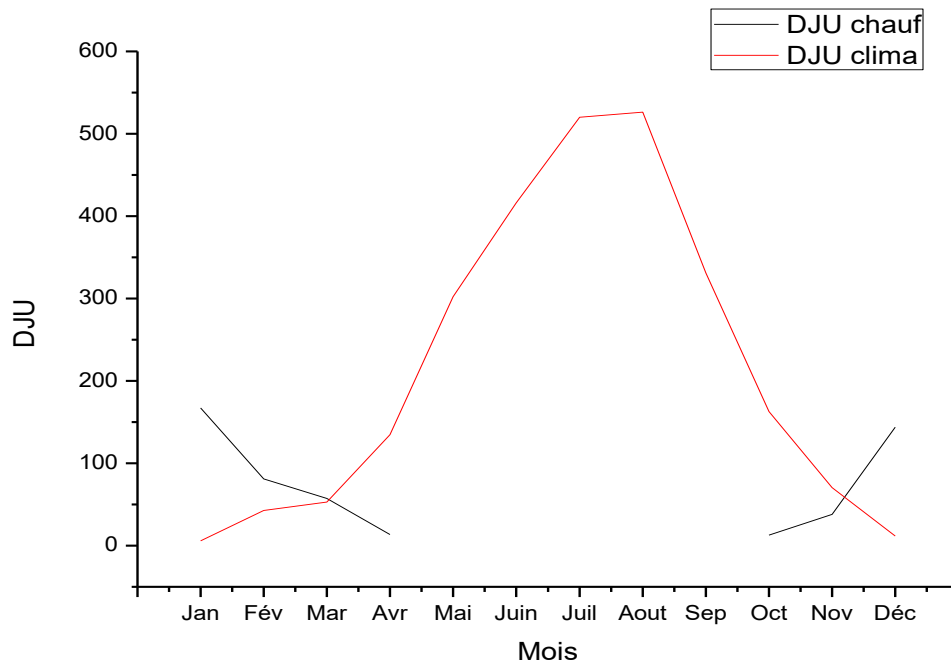


Figure 1.3 : La variation de DJU de Biskra en 2020.

3. La spécificité climatique de El oued

3.1. Situation géographique de la ville de El oued

La région d'El-Oued est située au Nord-est du Sahara algérien (Bas-Sahara), aux confins septentrionaux du Grand Erg Oriental, entre les parallèles : (33° et 34°) Nord, et (6° et 8°) Est. L'altitude moyenne d'El-Oued est de 80 m, alors que celle des Chotts, situés au Nord, elle descend jusqu'à moins 40 m (surface topographique) au-dessous du niveau de la mer.

El oued appartient à une région classée aride où prédomine un climat chaud et sec avec des hivers froids et des étés chauds.

Les mois d'été sont très chauds, et les températures atteignent 49° à l'ombre et plus de 50° les jours de sirocco (Chihili). La couche superficielle du sable frôle les 60°, mais la température chute à la nuit tombante d'une vingtaine de degrés.

3.2. Analyse des données climatique de la ville de El oued

La ville de El oued est située au Nord de Sahara algérien, elle est classée dans la zone climatique chaude et hyper aride, ses paramètres climatiques se définissent comme suit :

- **La température**

La température moyenne annuelle de la wilaya de El oued année 2020 le mois plus chaud est aout avec une température maximale de l'ordre de 42° et le mois plus froid est Décembre durant lequel la température descend à 7,9°C, cette variation son regroupée dans le tableau suivant :

Tableau 1.4 : Récupératif des valeurs de température ambiante à El oued en 2020 (Infoclimat).

Mois	Température moyenne	Température maximale	Température minimale
Janvier	11,6°C	18,5°C	4,7°C
Février	15,2°C	23,1°C	7,3°C
Mars	17,3°C	23,5°C	11,2°C
Avril	22,4°C	28,9°C	15,7°C
Mai	28,2°C	35,5°C	20,9°C
Juin	31,8°C	39,1°C	24,5°C
Juillet	33,6°C	40,9°C	26,4°C
Aout	34,6°C	42°C	27°C
Septembre	28,8°C	35°C	22,6°C
Octobre	22,1°C	28,4°C	15,9°C
Novembre	17,9°C	23,7°C	12°C
Décembre	13,2°C	18,6°C	7,9°C

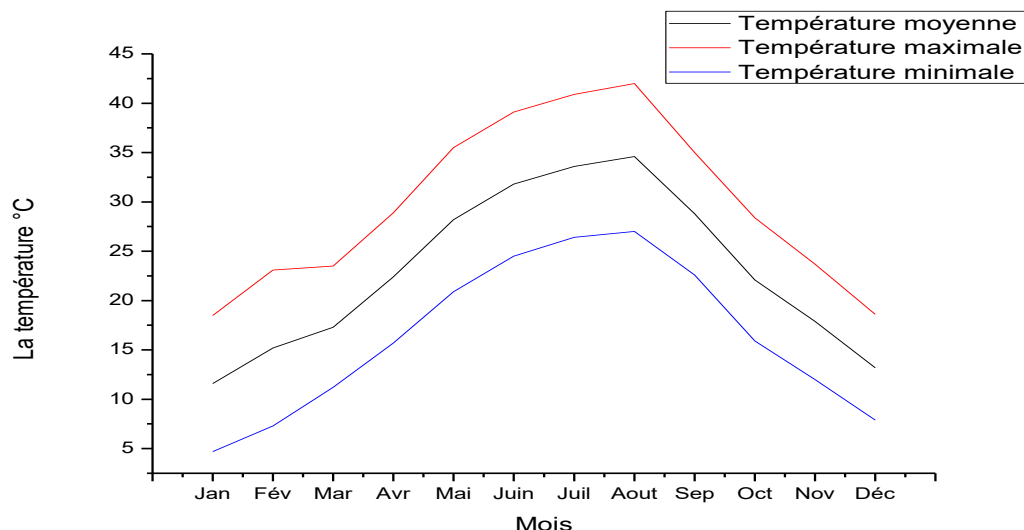


Figure 1.4 : La variation de la température de l'air ambiant de El oued en 2020.

• **L'humidité relative**

Les moyennes mensuelles de l'humidité ne dépassent pas 64% pour les périodes humides, ce qui prouve que la willaya d'El oued est caractérisée par un climat sec même dans la saison hivernale, il est froid et sec.

Les valeurs de l'humidité relative de l'année 2020 de la région de El oued présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1.5 : Récupératif des valeurs de l'humidité relative (HR) de El oued en 2020 (Infoclimat).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
HR En %	61%	47%	39%	32%	28%	25%	23%	26%	36%	43%	53%	63%

• **Dégréé jour unifié**

Les valeurs de DJU de l'année 2020 de la région de El oued présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1.6 : Récupératif des valeurs de DJU de El oued en 2020 (Infoclimat).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
DJU chauf	204,6	116,3	73,8	19,1	0,3				0,1	23,4	59,9	157,3
DJU Clima	5,7	35	53,2	145,7	318,2	414,7	485,1	497,1	324,9	151,3	55,3	9,9

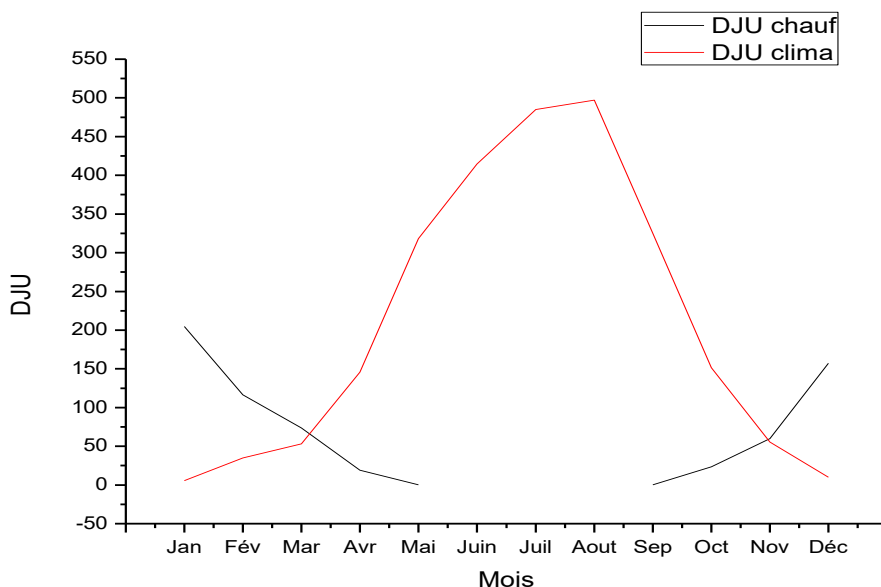


Figure 1.5 : La variation de DJU de El oued en 2020.

4. Le confort thermique

Le confort est assuré par un équilibre entre l'homme et l'ambiance. Dans les conditions habituelles, l'homme assure le maintien de sa température corporelle autour de 36,7 °C. Cette température est en permanence supérieure à la température d'ambiance, aussi un équilibre doit-il être trouvé afin d'assurer le bien-être de l'individu.

La **norme européenne NBN EN 13779 (2007)** définit des valeurs de références pour une température de confort (température opérative) :

En été : il est recommandé une plage de température opérative entre 23°C à 26°C.

En hiver : la plage de température opérative allant de 19°C à 24 °C.

- **La plage de confort température-humidité :**

Pour un confort optimal et pour une température de l'air aux environs de 22 °C, on peut dès lors recommander que l'humidité relative soit gardée entre 40 et 65 %, la plage de confort température-humidité illustré dans la figure 1.6.

1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.

2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.

3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.

4 : Polygone de confort hygrothermique

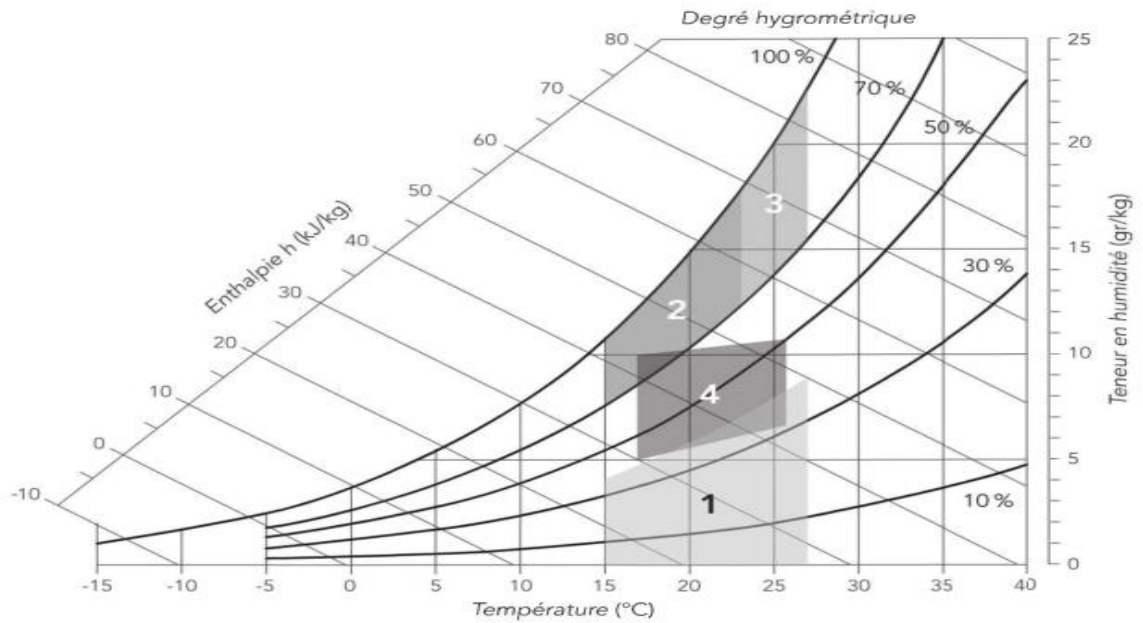


Figure 1.6 : Les plages de confort hygrométriques (Jedidi2016).

4.1. Confort et Températures

La température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires. Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe.

4.2. Confort et Humidité relative

Plus la température augmente, plus l'air peut contenir de la vapeur d'eau : à 15° C, l'air contient 10g de la vapeur d'eau par kg d'air, alors qu'à 20° C, cette quantité passe à 15g. Entre 30 et 70%, l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort thermique. Nous restons dans la zone de confort. Sous 20%, l'air est trop sec et au-delà de 80%, trop humide (Boussaada 2016)

4.3. Confort et vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un paramètre à prendre en considération, car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

À l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

Plus le mouvement de l'air est important plus le refroidissement plus du corps ou échange de chaleur par convection avec l'air ambiante est accéléré (Jedidi 2016).

II. État de l'art sur les modèles d'échangeurs air/sol

1. Eléments principaux d'un puits canadien/provençal

1.1. Entrée d'air neuf

- **Type d'entrée :**

Il s'agit généralement d'une bouche extérieure pour le secteur résidentiel et d'un plénum pour le secteur tertiaire nécessitant de plus gros volumes de renouvellement d'air.

- **Hauteur de la prise d'entrée d'air neuf :**

Elle doit être supérieure à 1,10 m pour limiter l'encrassement.

- **Chapeau de protection :**

Il permet d'éviter les infiltrations d'eau de pluie à l'intérieur du puits.

- **Grille de protection à fin maillage :**

Elle est indispensable pour éviter l'intrusion de rongeurs, oiseaux, insectes. Elle doit être facilement accessible pour le nettoyage.

- **Filtres :**

Les entrées d'air des puits canadiens/provençaux sont munies d'un filtre. La classe du filtre à utiliser dépend de la densité et du type de poussières à proximité de l'entrée d'air.

- **Positionnement de l'entrée d'air neuf :**

Celle-ci doit être implantée loin des sources de pollution (voirie, parking, poubelles) et loin de toute végétation pouvant produire des pollens allergisants.

1.2. Conduits

- **Nombre de tubes :**

Le conduit du puits peut être constitué d'un seul tube posé en méandre ou en boucle autour du bâtiment ou être organisé sous la forme d'un réseau de tubes parallèles installés entre des collecteurs afin d'augmenter le débit d'air circulant dans le puits.

- **Longueur de chaque tube :**

Elle est habituellement de l'ordre de 30 à 50m afin de limiter les pertes de charge. La longueur totale du conduit est calculée en fonction du débit d'air souhaité, de la nature du sol, de la zone géographique et du type d'installation choisie.

- **Diamètre des tubes :**

Pour optimiser les transferts thermiques sol/air, la vitesse de l'air au sein du puits doit être comprise entre 1 et 3 m/s. En fonction des débits d'air requis, le diamètre du conduit du puits est alors calculé pour respecter ces conditions de vitesse d'air.

- **Disposition des tubes :**

Afin de minimiser les pertes de charge au sein du conduit et de faciliter son entretien, il est conseillé de limiter le nombre de coudes.

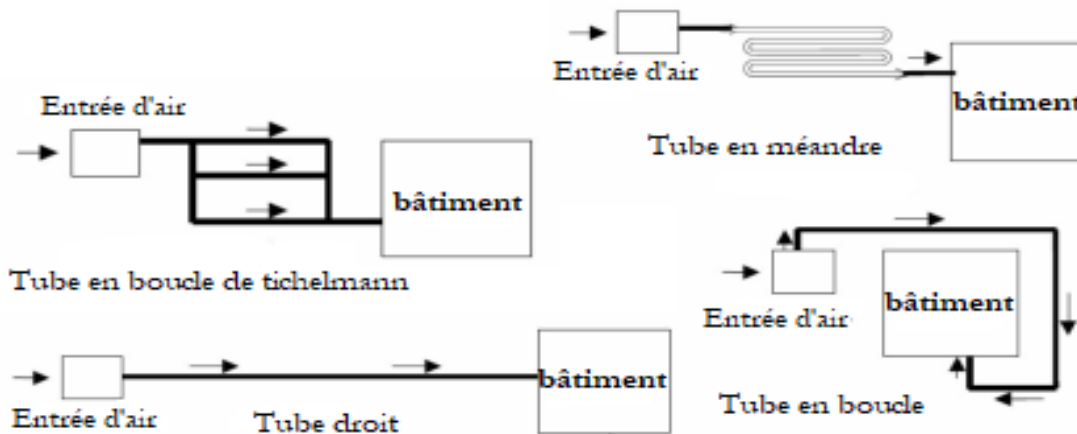


Figure 1.7 : Échangeurs de chaleur enterrés de type horizontal (Benhamza 2018).

Pour le cas d'une configuration en boucle de Tichelmann ou en méandres (les configurations les plus répandues), il faut prêter attention à la distance entre les tubes pour les échanges thermiques entre le sol et chacun des tubes ne soit pas perturbés.

- Profondeur d'enfouissement des tubes :

La profondeur préconisée est souvent comprise entre 1,5 et 3m. A ces profondeurs, la température du sol varie bien moins que la température de l'air extérieur entre l'été et l'hiver. Il est cependant possible d'enfouir les tubes plus profondément mais cela augmente les contraintes de terrassement et de pose du conduit.

- Espacement entre les tubes :

Il est préférable qu'il soit supérieur à 3 fois le diamètre des tubes afin de garantir un bon échange thermique de chaque tube avec le sol.

- Pente du conduit :

Elle doit être comprise entre 1 et 3% pour favoriser l'évacuation des condensats qui peuvent se former dans le conduit lorsque l'air extérieur chaud est en contact avec les parois plus froides du puits.

- Matériau constitutif des tubes :

Le choix du matériau est important car il influe directement sur les échanges thermiques sol/puits. L'utilisation de parois compactes à conductivité thermique élevée doit être favorisée car elle permet d'augmenter les échanges et ainsi de réduire la longueur du puits. Les matériaux utilisés doivent également avoir une bonne tenue à l'enfouissement. Les tubes entrant dans la composition des échangeurs air-sol actuellement en fonctionnement sont généralement en polyéthylène ou en polypropylène souple ou rigide. Certains tubes sont constitués de matières plastiques emprisonnant des bulles d'air, ce qui diminue l'échange thermique sol/conduit. Le recours à ce type de tube est donc déconseillé.

1.3. Type de tuyaux

- Polychlorure de vinyle (PVC) :

Le moins cher, pas très écologique. Il peut "éventuellement" dégager des vapeurs nocives dues au mode de fabrication.

- Polyéthylène (PE) :

Le plus écologique à prix équivalent au PVC. Tuyau annelé de Protection de Câbles

- Électriques (TPC) :

Très bon marché pour des petits diamètres. Annelé à l'extérieur, mais lisse à l'intérieur. Toutefois, ce type de tuyau n'est pas prévu à l'origine pour être enterré à forte profondeur, ce qui peut nuire à leur tenue dans le temps.

- Tuyaux de béton :

Utilisé pour des diamètres supérieurs à 300 mm. Les raccords sont difficiles à étanchéifier. L'échange thermique est plus important (la conductivité du béton est plus élevée que celle des tuyaux en plastique, relativement isolants). Le principal problème de ce type de tuyau (outre la mise en œuvre complexe), est qu'ils ne garantissent pas une véritable étanchéité sauf avec une mise en œuvre particulièrement soignée. Le radon du sol s'il y en a peut donc s'infiltrer dans le tuyau, et aller contaminer ensuite la maison.

- Tuyaux en fonte :

Sa rigidité, sa résistance mécanique et sa conductivité thermique élevée font de ce matériau une solution très compatible pour un puits canadien. Il faut veiller à ce que le revêtement extérieur du tuyau résiste à la corrosion (type zingage anticorrosion), ainsi que l'utilisation de joints en acier inoxydable.

- Étanchéité du réseau (tubes et raccords) :

Elle est indispensable pour empêcher la pénétration de racines ainsi que les phénomènes d'infiltration d'eau et de radon au sein du conduit. (Hamdi 2020).

1.4. Système d'évacuation des condensats

La vapeur d'eau contenue dans l'air qui circule dans les conduites de l'échangeur enterré, peut se condenser sur les parois intérieures des conduites. Cette condensation peut être très importante avec une forte humidité relative de l'air, au début de fonctionnement, qui coïncide avec une faible température de surface de la conduite qui est en contact avec l'air qui circule.

Cette condensation affecte sur la performance de l'échangeur et provoque une mauvaise ventilation ainsi que favorise le développement de bactéries. Parmi les solutions adoptées pour éviter ce phénomène, les pipes de l'échangeur inclinées pour assurer l'évacuation des condensats. La structure de ce système dépend de la présence ou non d'un sous-sol au sein du bâtiment :

- Présence d'un sous-sol :

Dans le cas où le bâtiment possède un sous-sol, l'évacuation des condensats peut alors se faire grâce à la pente des conduits de 2 à 3% et à un siphon raccordé au réseau des eaux usées (figure 8), ce qui permet une étanchéité plus au moins parfaite du puits, allons de l'entrée de l'air neuf

jusqu'au système de ventilation (sortie). Cette solution est donc à privilégier dans les zones très humides.

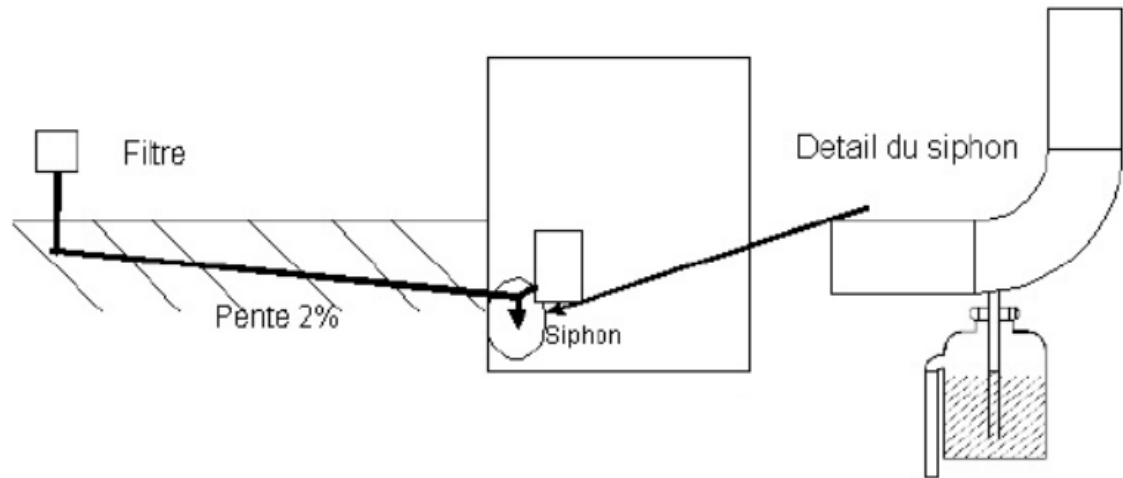


Figure 1.8 : Évacuation des condensats sous-sol (Saadeddine 2013).

- **Absence de sous-sol :**

Dans ce cas, un regard de visite peut être placé au niveau du point bas de l'installation (vers le bâtiment ou vers la prise d'air) dans le but d'évacuer les condensats soit par infiltration dans le sol si le sol est perméable, soit en utilisant une pompe de relevage, comme il est illustré sur la figure 1.9 (Benhamza 2018)

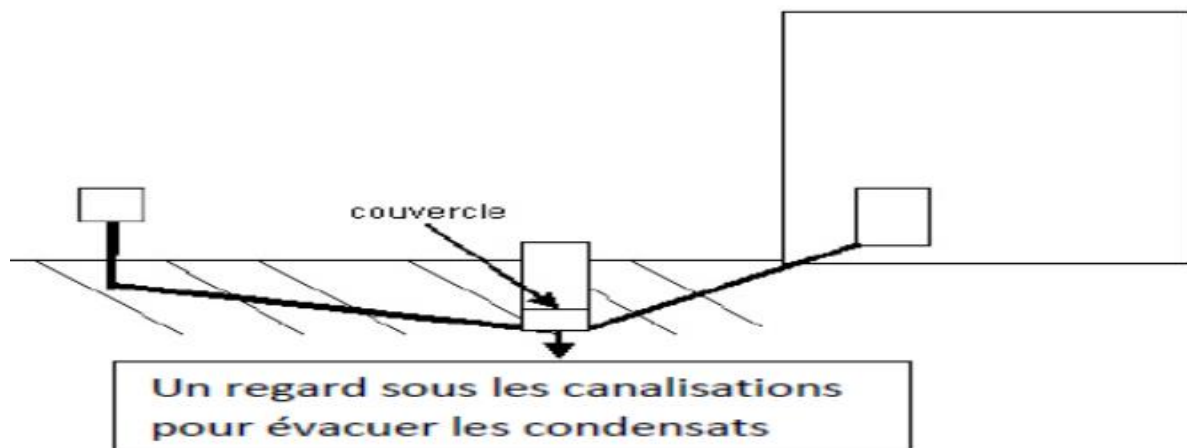


Figure 1.9 : Évacuation des condensats par un regard de visite (Saadeddine 2013)

1.5. Système de régulation et ventilateur

La régulation permet d'envisager un fonctionnement du ventilateur du système EAHE sur toute l'année.

Le ventilateur fonctionnera avec un thermostat placé à l'extérieur de l'habitation et fera varier à l'aide d'un by-pass l'air de l'échangeur et l'air extérieur. Le ventilateur doit être dimensionné en

fonction du débit d'air neuf nécessaire. Il doit avoir un rendement suffisant pour ne pas dégrader le facteur de performance de l'échangeur. (O. Hamdi 2020)

2. Les impacts de la conception, du dimensionnement, de la mise en œuvre et de l'entretien sur la qualité de l'air intérieur

Les experts proposent plusieurs conseils pour la réalisation des puits canadiens, ses conseils sont en lien direct avec la qualité de l'air. La plupart de ces conseils sont tirés de l'expérimentation.

2.1. L'impact de la conception

La prise d'air doit être éloignée des sources de pollution potentielle, elle doit être équipée d'un chapeau empêchant la pluie de pénétrer dans le puits, d'une grille et d'un filtre retenant les poussières et les pollens.

Les conduits doivent être enterrés entre 1 et 2m pour les puits individuels et entre 4 et 6m pour les puits de grandes dimensions. Les conduits doivent être d'une grande résistance et rigidité, montés sur une pente d'au moins 2 à 3% avec un système de récupération de condensats obligatoire.

2.2. Le dimensionnement

Le dimensionnement d'un puits canadien est assez délicat du fait du nombre de paramètres à optimiser : longueur, diamètre et nombre de tubes, profondeur d'enfouissement, distance entre les tubes, débit de ventilation.

2.3. La mise en œuvre

- Il faut mettre en œuvre le puits canadien en même temps que le bâtiment.
- Il faut sécuriser le chantier et la tranchée.
- Il faut protéger les conduits.

2.4. L'entretien

- Le nettoyage et le remplacement régulier des filtres en entrée, tous les 4 mois environ.
- Le nettoyage du puits tous les 2 ou 5 ans.
- L'entretien régulier du ventilateur. (Hetrafi 2014)

3. Les Avantages d'un puits canadien

Un puits canadien, en plus d'être écologique et naturel, dispense plusieurs avantages.

- L'air est renouvelé constamment et filtré, fini l'air stagnant et les maladies.
- L'entretien est facile et ne nécessite que de changer le filtre 3 fois par an. Il faut toutefois nettoyer tout le réseau tous les 5 ans.
- La consommation d'électricité nécessitée par le système est très faible et permet de réaliser jusqu'à 20 % d'économies. En effet, la ventilation d'un logement représente entre 20 % à 30 % des déperditions de chaleur. Un échangeur air/sol comme le puits canadien va réduire ces déperditions et donc vos dépenses en la matière. Il récupère 10 fois plus d'énergie qu'il n'en consomme !

- La durée de vie est de 15 ans minimum, ce qui est plutôt long (et pratique).
- Vous réduisez vos gaz à effet de serre et agirez ainsi pour le plan climat (et pour la planète).

Les avantages dépendent aussi de quelques critères :

- L'endroit où vous vivez. Plus l'écart de température entre l'été et l'hiver est important, plus le puits canadien est intéressant à utiliser.
- Le mode de diffusion de la chaleur (convection ou rayonnement) agira sur les économies réalisées
- L'isolation et la climatisation. Si votre isolation est réglementaire et que votre ventilation est de type classique, il est très rentable d'installer un puits canadien car la déperdition d'air est importante. (econo-ecolo).

Conclusion

L'étude ainsi réalisée a permis d'établir un état de l'art sur le climat et confort thermique, données climatiques de lieu de cas d'étude. Ainsi qu'un état de l'art sur les échangeurs de chaleur air/sol enterrés, celui-ci permettra de découvrir les problèmes d'intermittence limitant l'utilisation des échangeurs air/sol pour le rafraîchissement des bâtiments, et les facteurs affectant sur la performance de ce dernier.

Bibliographie

Benhamza, M" Contribution à l'étude du confort thermo-aéraulique par différents Typologies de constructions", thèse de doctorat, Département génie mécanique, Université de Biskra, pp.12-19, 2018.

Boussada, B" Etude de l'écoulement d'air dans un puits canadien' 'mémoire de Master, Département génie mécanique, Université de Bejaia, pp.18-19, 2019

Feliachi, A" L'effet de la double façade ventilée dans l'enveloppe architecturale sur le confort thermique' 'mémoire de Master, Département d'architecture Université de Biskra, pp.4-10, 2019.

Hamdi, O "Contribution à l'étude de l'efficacité d'un système géothermique (air-sol) placé dans une zone aride « cas de la région de Biskra »". Thèse de doctorat Département génie mécanique, Université de Biskra, pp. 7-11, 2020.

Hatraf, N"Etude systématique et optimisation des performances d'une chaîne énergétique utilisant un capteur solaire à air et un échangeur enterré pour le chauffage solaire et le rafraîchissement par la géothermie". Thèse de doctorat, Département génie mécanique, Université de Biskra, pp.14, 2014.

JEDIDI, Malek et BENJEDDOU, Oumrane. La thermique du bâtiment : Du confort thermique au choix des équipements de chauffage et de clim. Dunod, 2016.

Les Avantages d'un puits canadien sur : <https://www.econo-ecolo.org/le-puits-canadien/> consulter le 12/04/2021.

Les données climatiques de Biskra et El oued sur :<https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2020/biskra/valeurs/60525.html> consulter le 03/02/2021.

<https://www.infoclimat.fr/climatologie/annee/2020/biskra/valeurs/60525.html> consulter le 20/05/2020.

OuldHenia, A 'Choix Climatique et Construction. Zone Aride et Semi Arides. La Maison à Cour de Bou Saada', 2003, Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique de Lausanne, 'EPFL', Lausanne, pp.181, 2003.

Saadeddine, M "Identification et analyse des principaux facteurs influant le comportement thermique d'un échangeur air/sol enterré" 'mémoire de Magister, Département génie mécanique, Université de Biskra, pp10., 2013

Chapitre 2

Etude expérimentale et recherche bibliographique

Introduction

La plupart des personnes se sentent à l'aise à l'intérieur des bâtiments quand la température est entre 23 et 26°C en effet, la climatisation est souvent utilisée dans les climats de désert, par conséquent il y a une consommation considérable d'énergie, qui pousse à trouver des méthodes pour réduire cette exigence d'énergie et qui pourraient avoir des avantages économiques et environnementaux.

Parmi ces méthodes ; le rafraîchissement de l'air ambiant à partir des conduites enterrées, qu'on appelle échangeur de chaleur air/sol (EAHE) et échangeur de chaleur hélicoïdal eau-air (HWAHE), ce dispositif est économique en consommation d'énergie ; sert à réduire la charge de refroidissement du bâtiment.

À cet effet, le présent chapitre consacré à l'étude expérimentale d'un échangeur de chaleur enterré au niveau de l'université de Biskra. et une étude expérimentale de la stratégie de rafraîchissement du système (HWAHE) dans la région d'El Oued.

Cette partie est développée dont le but d'étudier l'efficacité de l'échangeur de chaleur enterré dans les régions chaudes et arides.

I. Etudes expérimentaux antérieurs sur les échangeurs air/sol

Plusieurs études ont abordé la technologie des échangeurs air-sol nous allons présenter ci-dessous quelques études expérimentales sur les échangeurs de chaleur air-sol. :

Bisoniya et al. (2014) Ont testé l'échangeur air sol dans les conditions chaudes et sèches à Bhopal en Inde. L'installation est composée de deux tubes cylindriques en PVC de 0,1016 m de diamètre interne, 9,144 m de longueur de chaque tube, raccordés en série. La longueur totale de l'échangeur est 19.228 m, y compris les coudes et les raccordements, enterré à une profondeur de 2m. Pour des vitesses de l'air égales à 2m/s, 3.5m/s and 5m/s, ils ont conclu que la température de l'air chute rapidement dans les premiers mètres du tube que les derniers mètres. L'échangeur

gagne 12,9 °C et 11,3 °C de température pour des vitesses de l'air de l'ordre de 2 m/s and 5m/s respectivement.

Un modèle numérique est développé par le solveur CFD et validé avec les résultats expérimentaux réalisés sur site.

Bansal et al. (2012) ont mené leur expérience à Ajmer en Inde. Le dispositif expérimental consiste en deux tuyaux cylindriques horizontaux de 150 mm de diamètre chacun, d'une longueur et d'une profondeur d'enterrement de 23,42 m et de 2,7 m respectivement. Un tuyau cylindrique est en chlorure de polyvinyle (PVC) tandis que l'autre est en acier galvanisé. Les résultats expérimentaux montrent que les performances du système n'étaient pas affectées par le matériau du tuyau enterré ni en été ni en hiver. Cependant, le coût du projet était supérieur de 20 à 25% si de l'acier galvanisé était utilisé.

Ozegener et al. (2011) ont réalisé une installation expérimentale d'un tunnel d'air souterrain pour le refroidissement d'une serre en Turquie. Avec une température ambiante de 18,67 °C et une humidité relative de 48,16%, il a été constaté que la température moyenne dans les serres était de 21,5 °C et l'humidité relative de 40%. Les résultats ont montré que le potentiel de chauffage moyen

obtenu à partir de l'installation était de 7,67 kW. Ainsi, les auteurs ont conclu qu'une utilisation efficace de l'EAHE avec une technologie appropriée est bénéfique pour le climat de la Turquie.

Vaz et al. (2011) ont réalisés une étude expérimentale des échangeurs de chaleur air-sol au sud du Brésil. Ce travail étudié la variation de la température de l'air à l'intérieur des conduits, à un cycle annuel. Selon les résultats obtenus avec un échangeur de 2 m de profondeur, les auteurs concluent que pour la saison de chauffage, il y a un potentiel de température supérieur à 8,0 °C, tandis que le refroidissement ne peut pas atteindre la valeur 4,0 °C.

Khabbaz et al. (2016) ont introduit le système EAHE pour le refroidissement d'un immeuble résidentiel situé à Marrakech (Maroc). Le système était composé de trois tuyaux en PVC parallèles d'une longueur de 72 m et d'un diamètre de 15 cm, enterrés à une profondeur de 2,2 à 3,2 m. Ils ont supposé que le système produisit une température de l'air de 25 °C avec une température extérieure de 40 °C. Il a été constaté que la réduction des amplitudes annuelles et quotidiennes de la température de l'air diminuait de manière exponentielle en fonction de la longueur de la conduite et de la longueur caractéristique. Encore une fois, des simulations pour ce système ont également été effectuées pour le système EAHE dans TRNSYS. Il y avait un bon accord entre les résultats expérimentaux et simulés. Les résultats simulés indiquaient une chute de température maximale de 19,5 °C. Il a donc été conclu que le système EAHE était avantageux pour l'utilisation dans les conditions climatiques de Marrakech (Maroc).

Abbaspour Fard et al. (2011) ont mené leur étude expérimentale en Iran pour analyser la performance de l'échangeur EAHE en fonction des paramètres tels que la vitesse, la longueur, le diamètre, la profondeur et le matériau du tuyau de l'échangeur. Les essais expérimentaux ont touché tous les paramètres et ont conduit à un coefficient de performance pour le refroidissement et le chauffage de 5.5 et 3.5 respectivement.

II. L'étude expérimentale d'un échangeur de chaleur air/sol

1. Description de l'installation expérimentale

L'échangeur réalisé par le Laboratoire de Génie Mécanique (LGM), se trouve à l'intérieur de l'enceinte de l'université de Biskra.

L'intégration de ce dispositif pour le but de rafraichir l'air dans une habitation, ce qui assure une économie d'énergie.

Les canalisations dans lesquelles on fait circuler l'air nécessaire à ce rafraichissement, sont enfouies à une profondeur de 2 m et 3 m pour chaque échangeur, enroulé d'une manière serpentine et sinueuse sous une pente de 2 % pour le drainage de l'eau condensée. Les tubes sont en PVC, comportant une longueur de 60m et un diamètre de 0.11m disposés et séparés les uns des autres d'une distance entre axes de 2 m avec 4 nombres de tours. Une fosse de réception en béton est construite à la sortie de l'échangeur.

Un extracteur (ventilateur portatif de 75 Watt) d'air de débit variable est placé à l'entrée de l'échangeur pour assurer la circulation continue de l'air.

La vue isométrique de l'expérimental d'EAHE évaluée est montrée dans la figure 2.1.

Une série des sondes thermocouples a été placée tout au long du tube de l'échangeur avec une distance variable, pour mesurer la température de l'air sur la longueur de la conduite, ainsi que la température du sol sur la même profondeur (La longueur de la conduite enterrée horizontalement est de 45 m). (Benhamza 2018).

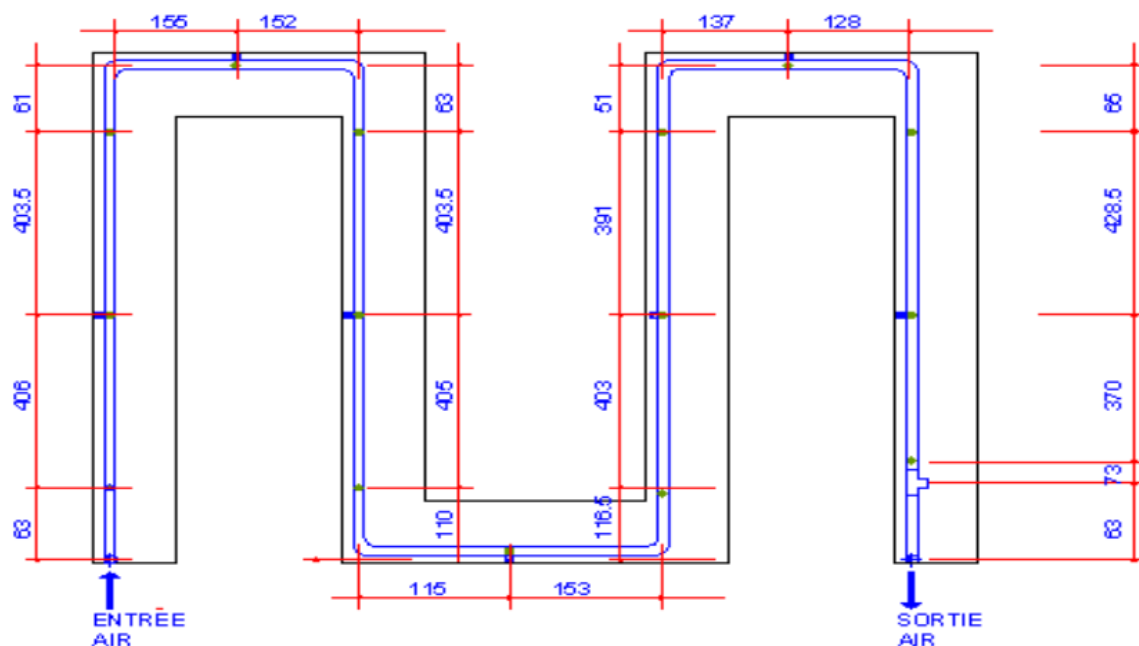


Figure 2.1 : Vue isométrique de l'expérimental d'EAHE évaluée (Hatraf 2014)



Figure 2.2 : Image de l'échangeur de chaleur horizontal à différentes profondeurs. (Hatraf 2014).

2. Expériences réalisées

Nous avons fait plusieurs essais durant l'année 2013, les mois les plus chauds de toute l'année, pour étudier réellement le comportement de l'échangeur et son efficacité

2.1. Variation de la température de l'air à la sortie de l'échangeur

La figure 2.3 représente la variation de la température de l'air à la sortie de l'échangeur de chaleur air/sol par rapport à la température ambiante, les mesures ont été réalisées entre le 05/05/ et le 18/05 de l'année 2013, et entre le 02/06 et 26/06 de la même année à partir du 10 :00 h jusqu' à 15 :00 h avec une vitesse d'écoulement de l'air $U=3,5\text{m/s}$.

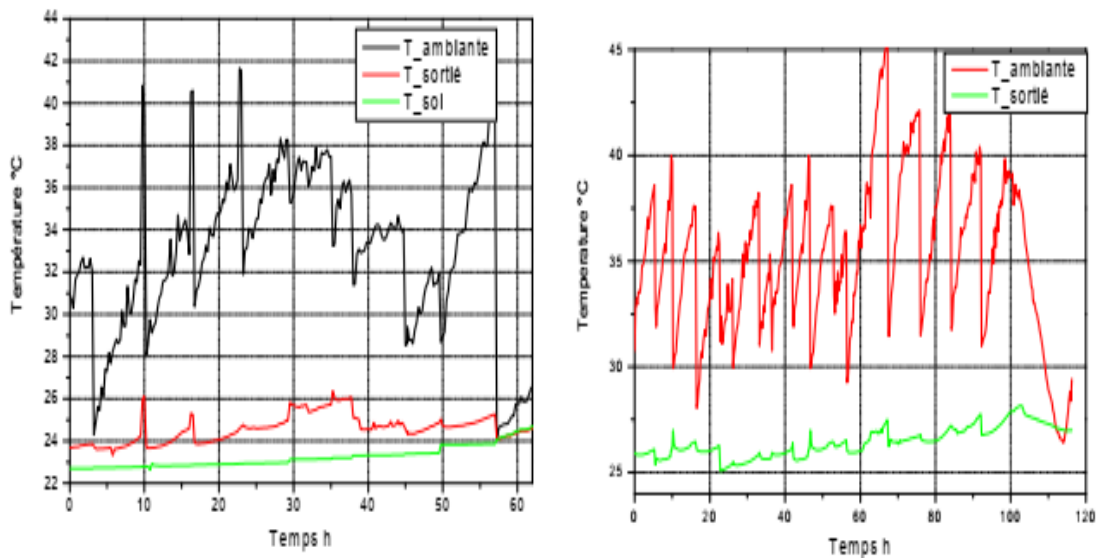


Figure 2.3 : Variation de la température de l'air à la sortie de l'échangeur. (Benhamza 2018).

Nous avons fait les mêmes mesures présentées dans la figure 2.3, mais quant à la figure 2.4 elle présente l'écart de la température entre l'entrée et la sortie de l'échangeur de chaleur enterrée pendant trois jours successifs (72 heures sans arrêt) pour les deux mois (a. Aout, b. Juillet), c'est la période la plus chaude de l'année.

Le fonctionnement de l'EAHE pendant 72 heures sans arrêt n'affecte pas sa performance. Ce qui affecte sa performance c'est bien la température du sol quand elle s'élève pour atteindre les valeurs de 29-30 °C après une période très chaude d'été

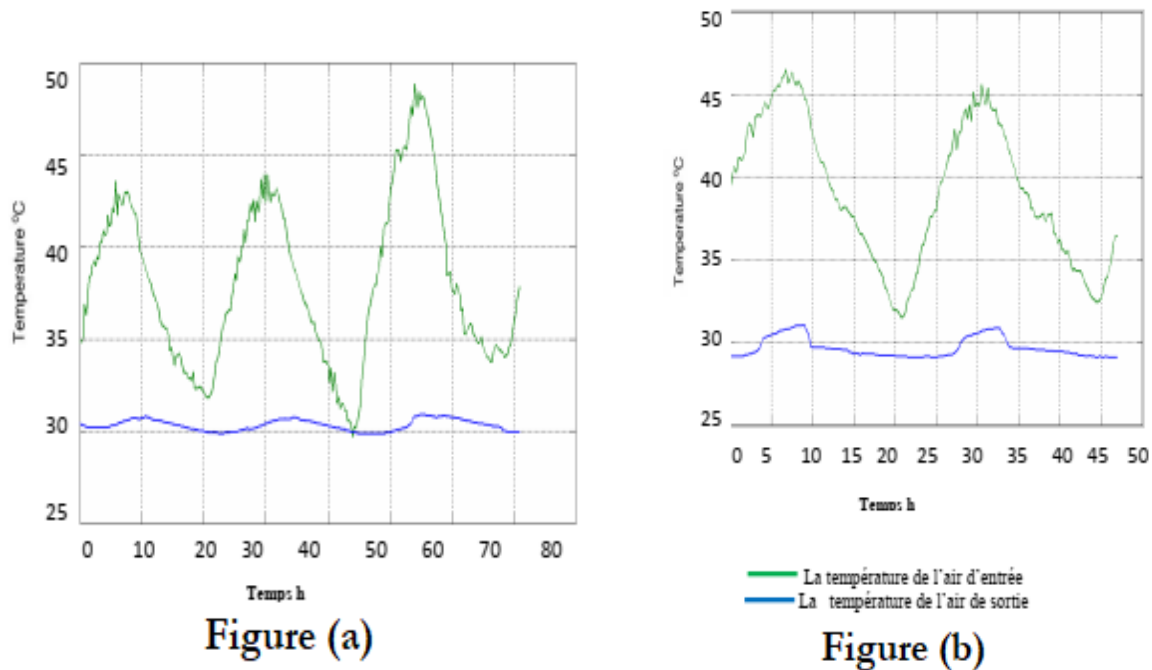


Figure 2.4 : Comparaison entre la température d'entrée et celle de sortie de l'échangeur, pour chaque mois (a) juillet, (b) août. (Benhamza 2018).

Le récapitulatif des propriétés physiques et paramètres d'entrée illustrée dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2.1 : Récapitulatif des propriétés physiques (Moummi 2010).

Propriétés	Valeurs
Conductivité thermique du sol (W/m °C)	2,01
Chaleur spécifique du sol (J/kg °C)	1380
Densité du sol (kg/m ³)	2300
Diffusivité thermique du sol (m ² /s)	$6,33 \times 10^{-7}$
Conductivité thermique du PVC (W/m °C)	1,17
Chaleur spécifique du PVC (J/kg °C)	900
Masse volumique du PVC (kg/m ³)	1380

Tableau 2.2 : Récapitulatif paramètres d'entrée pour la validation comparative (Moumami 2010).

Propriétés	Valeurs
Longueur du tuyau (m)	50
Diamètre du tuyau (m)	0,11
Profondeur du tuyau (m)	3
Vitesse de l'air (m/s)	4,5
Température d'entrée (°C)	37, 48
Température du sol ($z = 3$ m) en été (°C)	24, 28

III. L'étude expérimentale d'un échangeur de chaleur air/eau

1. Description de l'installation expérimentale

L'échangeur géothermique conçu et réalisé à El Oued région (Reguiba) qui consiste en une forme verticale hélicoïdale comme le montre la figure 2.5 et 2.6.

Cette la configuration permet de diminuer la zone d'installation de l'échangeur géothermique et pour assurer le maximum de transfert de chaleur du sol à sa surface grâce à la forme hélicoïdale de la verticale. L'échangeur de chaleur hélicoïdal eau-air a une forme hélicoïdale de 0,8 m diamètre et 3 m de longueur. L'échangeur de chaleur est constitué d'un tuyau en PVC de 30 m de long et 0,06 m de diamètre, et il est formé de 12 flèches où l'espace entre deux flèches consécutives est 0,3 m.

L'échangeur de chaleur est immergé dans un puits d'eau de 5 m de la mise en place et vue générale illustrée dans la figure 2.5 et figure 2.6 respectivement.



Figure 2.5 : Mise en place de l'échangeur HWAHE (Hadjadj 2021).

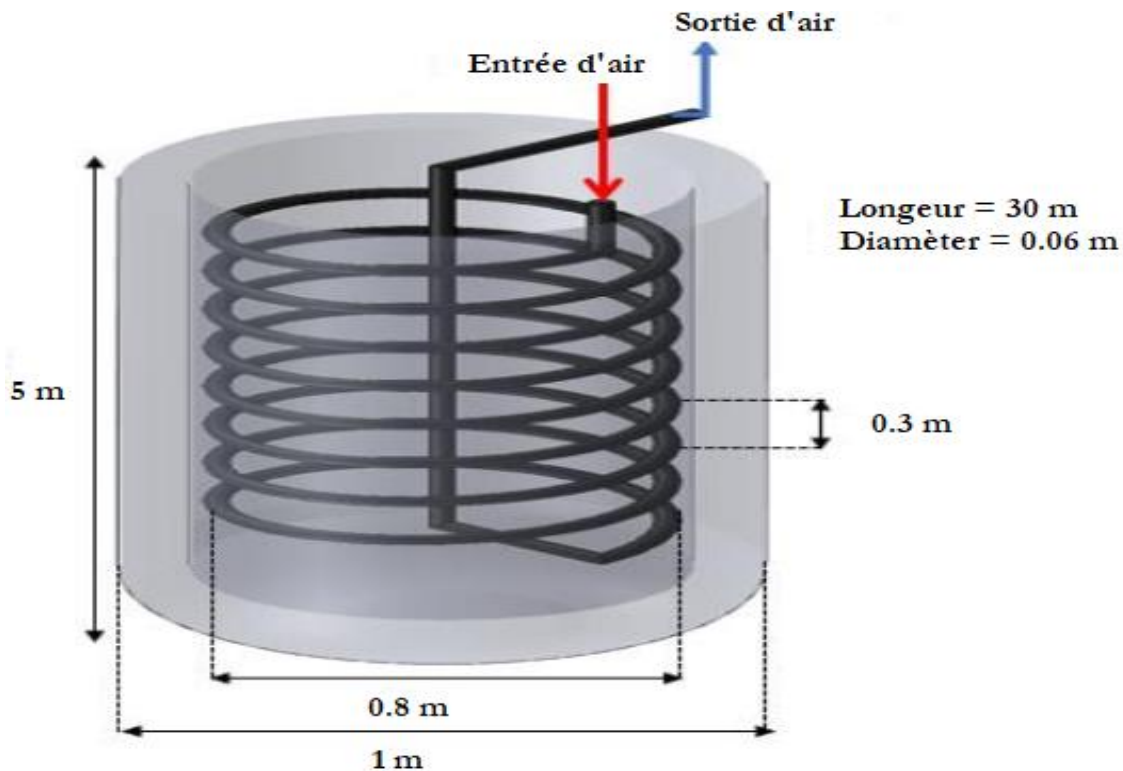


Figure 2.6 : Vue générale de l'échangeur HWAHE (Hadjdj 2021).

Le principe de fonctionnement est très intuitif, l'air à température ambiante est insufflé dans l'échangeur de chaleur par un ventilateur à vitesse constante. Il se déplace dans tout le tube et échange de la chaleur avec de l'eau. A l'entrée et à la sortie à 30 m de l'échangeur de chaleur, un anémomètre est placé à l'extrémité du tube PCV pour contrôler la vitesse de l'air de sortie et un thermocouple pour contrôler la température. Cette différence de température est l'un des facteurs qui affectent les performances du système. La figure 2.8 montre le positionnement des thermocouples de type K sur l'échangeur de chaleur immergé dans l'eau du puits. Il a également été utilisé pour mesurer l'air température dans différentes sections le long du tube. Un autre instrument, le débitmètre TESTO 416, est placé à la sortie de l'échangeur de chaleur pour mesurer la vitesse de l'air créée par un ventilateur.

2. Expériences réalisées

Des expériences ont été réalisées dans la région d'El Oued en mai 2017 de 10 :00 h à 18 :00 h. Les températures ont été mesurées chaque période d'une heure pour trois vitesses d'air différentes (10, 15 et 20 m / s).

En outre, il convient de noter que la température de l'eau bien au-delà 3 m était presque constant, variait entre 24 et 25 ° C. À cet égard, le HWAHE a été immergé dans l'eau au-delà de cette profondeur pour le maintenir dans un environnement à température constante.

Figure 2.7 montre côte à côte les mesures expérimentales de la température d'entrée, la Température de l'eau et température de sortie dans les trois cas de vitesse de l'air 10, 15 et 20m/s.

D'après les résultats de la figure 2.7 une augmentation de la température de sortie d'air est observée avec augmentation de la vitesse de l'air qui atteint sa valeur la plus élevée à 20 m / s.

L'augmentation de l'air vitesse provoque une augmentation de la température de sortie d'air en raison de la diminution du temps de séjour de l'air dans les tuyaux HWAHE. Par conséquent, les performances thermiques du HWAHE se détériore avec l'augmentation de la vitesse du flux d'air.

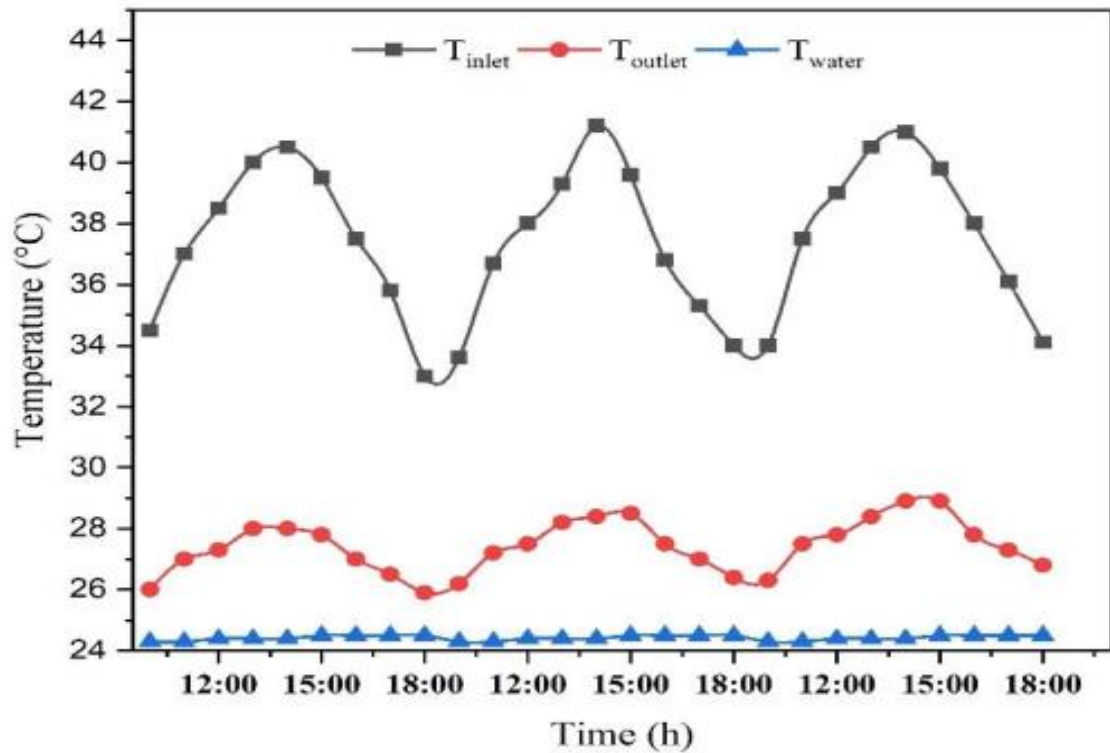


Figure 2.7 : L'évolution de la température ambiante et de la température du puits d'eau pour différentes profondeurs. (Hadjadj 2021).

Du 3 au 5 mai 2017 est présentée à la figure 2.8. Les résultats obtenus démontrent que la température ambiante variait de 18 °C à 38 °C.

La température de l'air ambiant et l'eau fluctuent en raison de l'effet de rayonnement solaire. De plus, le puits d'eau température se situe entre 23 et 25 °C pour différentes positions de profondeur.

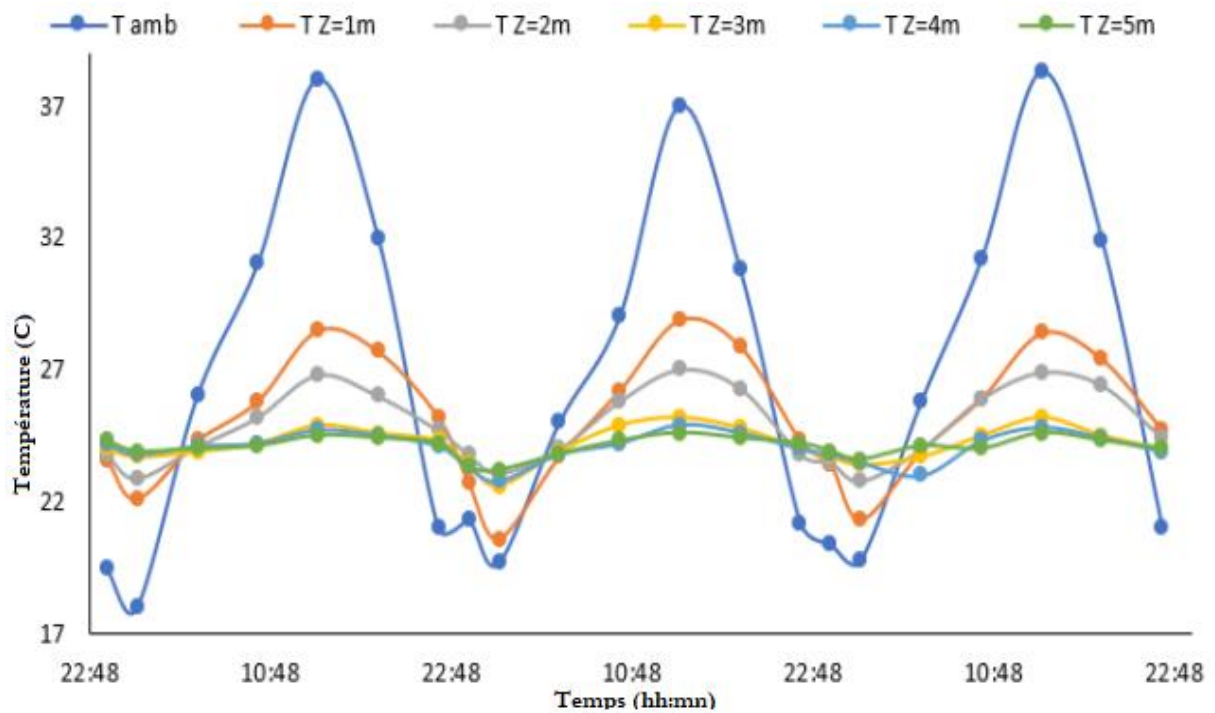


Figure 2.8 : Profil expérimental de la température du sol à différentes profondeurs (du 3 au 5 mai 2017) (Hadjadj 2021).

La figure 2.9 représente les résultats des mesures expérimentales, la variation de la température de l'air le long de la longueur estimée par les données mesurées pour trois débits massiques de 0,035, 0,05 et 0,07 kg/s. Dans la figure, il a été observé que l'augmentation de débit massique provoque une diminution de la température de l'air en raison de la diminution de la résidence de temps de l'air qui circule à l'intérieur du HWAHE

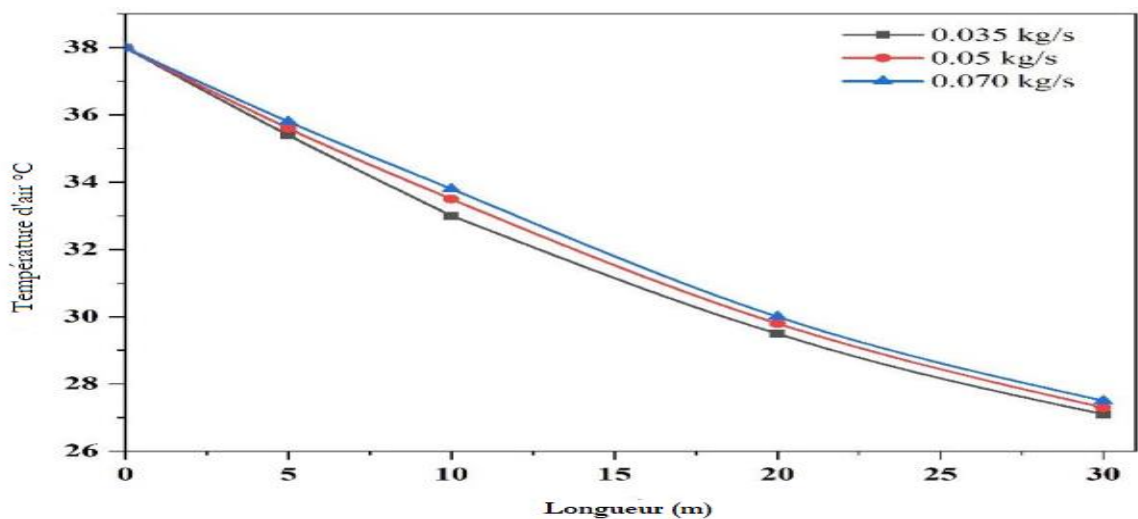


Figure 2.9 : Profil expérimental de la température d'air en fonction de débit et la longueur de tube. (Hadjadj 2021).

Le récapitulatif des propriétés physiques et paramètres d'entrée illustrée dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2.3 : Récapitulatif les propriétés physiques (Hadjadj 2021).

Propriétés	Valeurs
Conductivité thermique de l'air à 27 °C (W/m °C)	0,02624
Capacité thermique de l'eau (J/kg °C)	4180
Densité de l'eau (kg/m ³)	1000
Capacité thermique de l'air à 27 °C (J/kg °C)	1005,7
Densité de l'eau (kg/m ³)	1000
Conductivité thermique du PVC (W/m °C)	0,16
Capacité thermique du PVC (J/kg °C)	900
Masse volumique du PVC (kg/m ³)	1380

Tableau 2.4 : Récapitulatif paramètres d'entrée pour la validation comparative (Hadjadj 2021).

Propriétés	Valeurs
Longueur du tuyau (m)	30
Diamètre du tuyau (m)	0,06
Profondeur du tuyau (m)	5
Vitesse de l'air (m/s)	10, 15 et 20
Température d'entrée (°C)	18, 38
Température de l'eau (z = 3 m) en été (°C)	23, 25

Conclusion

Dans l'étude expérimental réalise par Moummi (2010) la température de l'air ambiant peut atteindre dans certains jours de l'année 49° C, mais après avoir traversé l'échangeur horizontale nos procédures de vérification des mesures in-situ indiquent une réduction remarquable à 31°C, ce qui consiste un écart de 18 °C.

Cet abaissement de température peut contribuer à l'objet d'un rafraichissement, chose qui nous donne une économie conséquente d'énergie de climatisation

L'influence de la longueur de l'échangeur sur la température de sortie est très importante jusqu'à environs 35m, au-delà de cette valeur, l'augmentation dans la longueur n'a qu'une très

légère influence. Un bon dimensionnement de l'échangeur est nécessaire pour éviter les surdimensionnements.

Dans l'étude réalisée par Hadjadj (2021), une nouvelle configuration hélicoïdale de l'échangeur de chaleur Air/Eau (HWAHE) a été présentée et testée expérimentalement en mode rafraîchissant dans la région d'El-Oued, en Algérie. Le HWAHE a été immergé dans un puits d'eau de 5 m de profondeur.

Effet de divers paramètres tels que l'air vitesse, la longueur de l'échangeur et la température de l'air de l'entrée du HWAHE ont été examinées. En outre un modèle analytique a été utilisé pour prédire l'évolution de la température de l'air à l'intérieur de la HWAHE en fonction des paramètres principaux.

Les principaux points conclus à partir de cette étude sont les suivantes :

- L'écart de température maximal obtenu entre l'entrée et la sortie de le HWAHE est de 14.1°C avec 10 m/s de vitesse de l'air.
- L'efficacité du HWAHE proposé a diminué avec l'augmentation de l'air vitesse. Pour les valeurs moyennes de vitesses d'air utilisées dans cette étude (10, 15 et 20 m/s), l'efficacité HWAHE sont de 82%, 81% et 80%, respectivement.
- Les résultats obtenus montrent que l'énergie fournie par le HWAHE est plus importante dans le sud de l'Algérie en raison d'une différence significative entre les températures du sol.

Bibliographie

- Benhamza, M" Contribution à l'étude du confort thermo-aéraulique par différents Typologies de constructions", thèse de doctorat, Département génie mécanique, Université de Biskra, pp.35-43, 2018.
- Hadjadj, A" Etude de la faisabilité technique et économique de l'installation d'un échangeur de chaleur géothermique dans la région d'El Oued-Algérie".Thèse de doctorat. Université de El oued, pp45-49,2021.
- Hatraf, N"Etude systématique et optimisation des performances d'une chaine énergétique utilisant un capteur solaire à air et un échangeur enterré pour le chauffage solaire et le rafraîchissement par la géothermie". Thèse de doctorat, Département génie mécanique, Université de Biskra, pp.47,48, 2014.
- J. Vaz, M.A. Sattler, E.D. Santos andL.A. Isoldi, Experimental and numerical analysis of an earth–air heat exchanger, *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 2476–2482, 2011
- L. Ozgener, "A review on the experimental and analytical analysis of earth to air heat exchanger (EAHE) systems in Turkey", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, pp. 4483- 4490, 2011.
- M. Khabbaz, B. Benhamou, K. Limam, P. Hollmuller, H. Hamdi, A. Bennouna, "Experimental and numerical study of an earth-to-air heat exchanger for air cooling in a residential building in hot semi-arid climate", *Energy Build.*, 2016.
- M.H. Abbaspour-Fard, A. Gholani, M. Khojastehpour, "Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for north–east of Iran with semi-arid climate", *Int. J. Green Energy*,vol. 84, pp. 499-510, 2011.
- Moummi N, Benfatah H, Hatraf N, Moummi A, Ali SY. Le rafraîchissement par la géothermie : étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra. *Revue des énergies Renouvelables* 2010;13(N°3):399–406.
- T. S. Bisoniya, A. Kumar and P. Baredar, Cooling potential evaluation of earth–air heat exchanger system for summer season, *Int J Eng Tech Res*, vol. 2 4, pp. 309-316, 2014.
- V. Bansal, R. Misra, G. D. Agrawal and J. Mathur, Performance evaluation and economic analysis of integrated earth–air–tunnel heat exchanger–evaporative cooling system, *Energy and Buildings*, 2012.

Chapitre 3

Faisabilité technique du Système de rafraîchissement dans les régions d'études

Introduction

L'intérêt particulier de ce chapitre est d'étudier la faisabilité de la géothermie Air/Sol sur un cas d'étude réalisé à Biskra (Projet I) et la faisabilité de la géothermie Air/Sol syst(B) et Air/Eau syst(C) sur un cas d'étude réalisé à El oued (Projet II). Nous commençons par l'étude de l'installation de climatiseurs classiques mono-split appelés syst(A) dans ces projets type.

Nous entamerons par la suite l'étude de la faisabilité technique de l'installation de syst(B) et syst (C).

I. Projet I : Le rafraîchissement d'une maison à Biskra

1. Description du projet I

Notre projet d'étude I est réalisé à Biskra situé au sud Est de L'Algérie,

Le projet I a une surface de cent mètre carré, bien isolée. Pour climatiser ou rafraîchir nous avons utilisé le climatiseur mono split, échangeur géothermique Air/Sol.

Dans ce projet I nous avons considéré un salon et deux chambres voir la figure 3.1 et la figure 3.4.

Pour la sélection des appareillages de climatisation il faut au débit estimer le bilan thermique de climatisation pour chaque chambre. Cette estimation du bilan de climatisation du projet I est donnée par le tableau 3.1

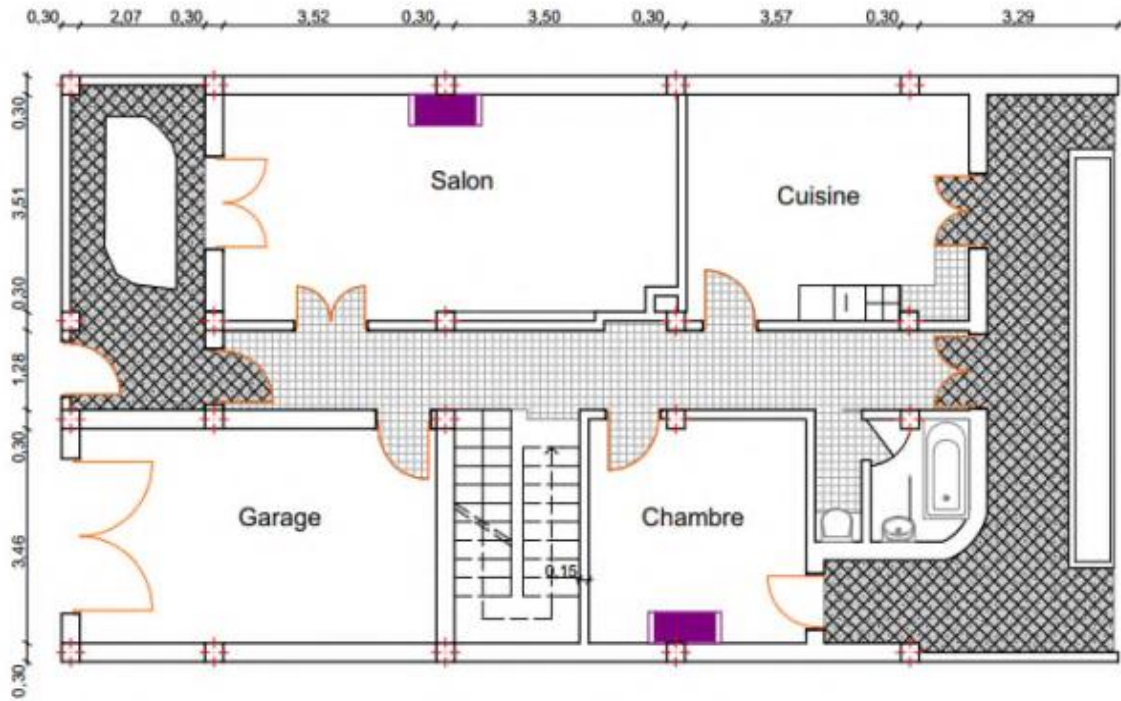


Figure 3.1 : Vue en plan RDC (Benfateh 2020).

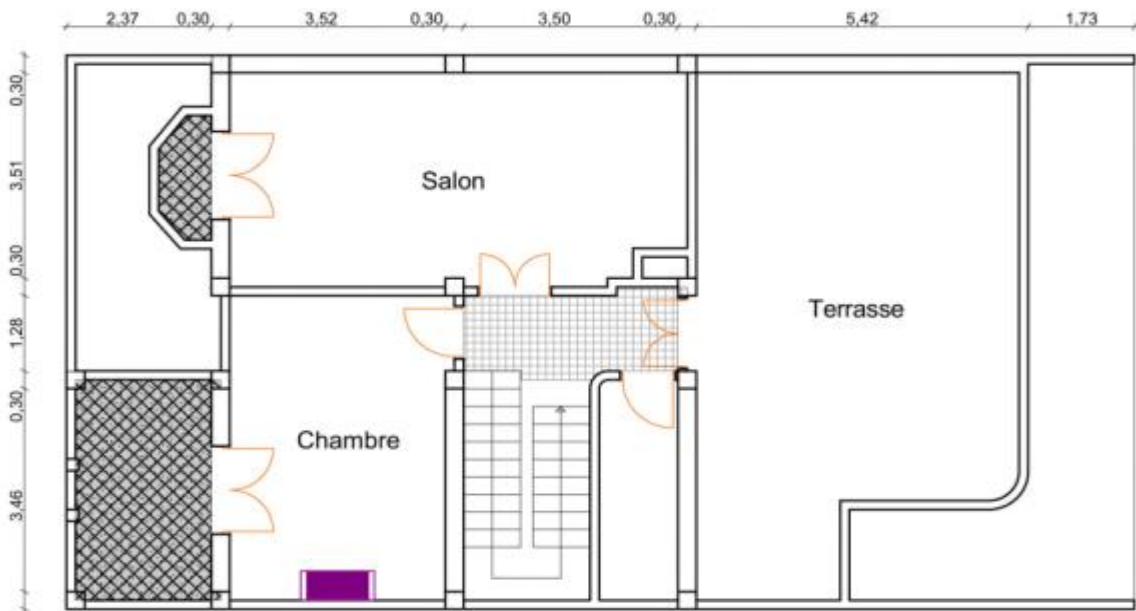


Figure 3.2 : Vue en plan premier étage (Benfateh 2020).

Tableau 3.1 : Récapitulation du bilan de climatisation (Benfateh 2020).

Désignation	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0	Total
Puissance Q0 en W	1562,55	2192,68	2977,21	8,8

Chambre RDC : chambre 0, salon RDC : Salon 0, chambre 1er étage : chambre 1

2. Hypothèses

Dans la présente étude, les hypothèses suivantes sont considérées :

- La température de confort imposée est de 25°C avec un degré hygrométrique de 50 %.
- Tous les prix exprimés en euros en toute taxe comprise avec 7% de TVA pour la consommation électrique et de 17% pour l'investissement.
- Le prix moyen unitaire de l'électricité (1kwh) dans l'union européen de 13,16 centimes d'euros € HT est considéré comme prix de référence, augmenté de 13% en cinq ans. Afin de pouvoir comparer, nous calculons le prix de l'électricité soutenu par l'état à un prix de 4,179 Dinars Algériens, DA, équivalent à 0,0354€.
- Le système mono split est considéré comme système de référence.
- Durée de vie climatiseur classique est 15ans, Durée de vie EAHE et HWAHE est 20 ans.

3. Rafraîchissement par échangeur air/sol syst(B)

3.1. Dimensionnement du puits canadien

- Pour rafraîchi ce projet on utilise le même dimensionnement de travail expérimental fait en Biskra par (Moummi 2010).
- Pour mieux commande de notre système on utilise quatre échangeurs (EAHE 1 pour chambre, EAHE 2 pour chambre 1, EAHE 3 ET EAHE 4 pour rafraîchi salon 0) selon le débit nécessaire de rafraîchissement (avec taux de brassage égal à 5 V/h).
- Pour un débit constant, le diamètre de l'échangeur doit être considéré comme un paramètre qui influe sur la température de l'air et par conséquent sur l'efficacité du puits, le débit choisi dans ce cas 150 m³/h. (Hatraf 2014).
- Place disponible pour l'enfouissement du conduit choisie pour notre projet d'étude est le terrain en face du local. C'est un espace vert d'une superficie égale à 300 m² qui est largement suffisant pour l'enfouissement.

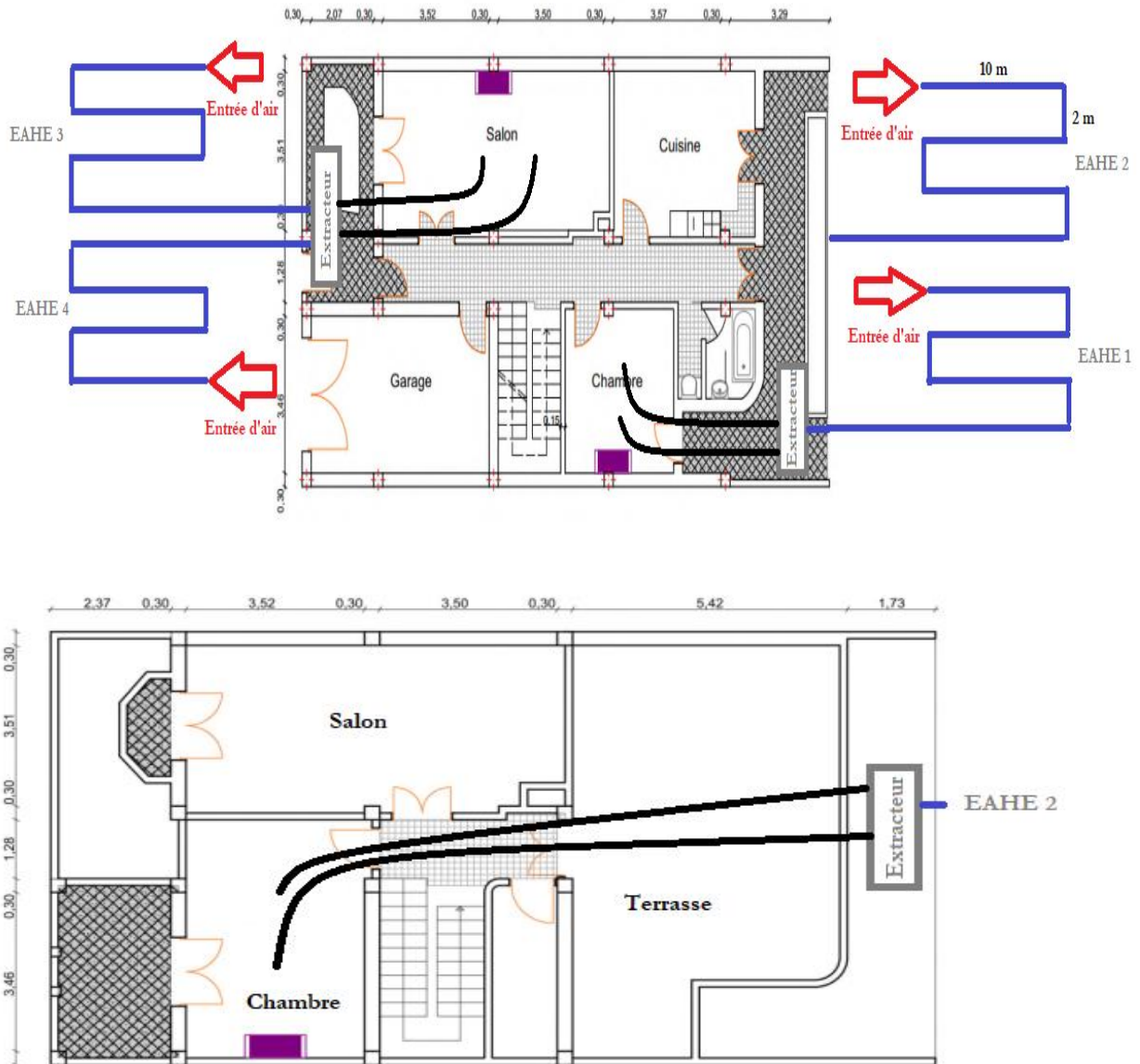


Figure 3.3 : Géométrie de pose finale.

3.2. Mise en œuvre de l'installation

Notre installation sera répartie selon les éléments suivants :

1. Entrée d'air neuf ;
2. Conduit,
3. Système d'évacuation des condensats ;

Tout d'abord on commence par des calculés du débit d'air total dans notre projet :

Le débit total de l'air circulant dans le puits canadien doit assurer l'ensemble des besoins de renouvellement d'air des pièces à ventiler.

Le régime de ventilation peut varier selon le mode de fonctionnement (réduit en préchauffage, plus élevé en rafraîchissement).

La détermination du débit d'air total maximal constitue l'un des premiers paramètres de dimensionnement d'un puits canadien.

Pour calculer le débit il faut d'abord calculer le volume des chambres à rafraîchi, le volume de maison et pour chaque pièce illustrée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3.2 : Récapitulation du volume de maison.

Désignation	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0	Total
Volume En m ³	30,275	44,352	64,233	138,3

Le taux de brassage représente le rapport entre le débit total d'air insufflé (en m³/h) et le volume du local (en m³)

$$Q_v = \tau \cdot V \quad (3.1)$$

Les taux de brassage varient en fonction du rôle de l'air qui est apporté, le tableau 3.3 illustre le type de ventilation et leur taux de brassage.

Tableau 3.3 : Récapitulation du type de ventilation selon le taux de brassage.

Type de ventilation	Taux de brassage
Aération standard	$\tau = 0.5 \text{ à } 2 \text{ [V/h]}$
Chauffage	$\tau = 2 \text{ à } 5 \text{ [V/h]}$
Climatisation	$\tau = 5 \text{ à } 10 \text{ [V/h]}$

Le taux de brassage de l'air dans notre cas est de 5 à 10, on prend une valeur de $\tau = 5$ vu que c'est une climatisation ou bien rafraîchissement (air/sol), le débit d'air nécessaire pour le rafraîchissement pour chaque pièce illustrée dans le tableau 3.4

Tableau 3.4 : Récapitulation du débit d'air nécessaire de la maison et pour chaque pièce.

Désignation	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0	Total
Volume En m ³	30,275	44,352	64,233	138,3
Q _v En m ³ /h	151,375	221,76	321,165	694,3

- **Matériau constitutif de tube :**

Dans notre cas, on a choisi le PVC comme matériau constitutif de tube du conduit. PVC : désigne une matière plastique particulière. Il renvoie à un polymère thermoplastique qu'on obtient par polymérisation du chlorure de vinyle.

Pour l'enfouissement du tube on a opté pour 3m de profondeur ou la température du sol est bien inférieure à celle de l'air extérieur entre l'été et l'hiver. Ceci est représenté sur figure.3.3

- **Pente du conduit :**

Elle doit être comprise entre 1 et 3% pour favoriser l'évacuation des condensats qui peuvent se former dans le conduit lorsque l'air extérieur chaud est en contact avec les parois plus froides du puits alors nous on a choisi la pente 2% pour éviter la cumulation des condensats. (Boussada 2019).

II. **Projet II : Le rafraîchissement d'une maison à El oued**

1. **Description du projet II**

Notre projet d'étude II est réalisé à El oued situé au sud Est de L'Algérie,

Le projet I a une surface de cinquante mètres carrés, bien isolée. Pour climatiser ou rafraîchir nous avons utilisé le climatiseur mono split, échangeur Air/Sol et échangeur géothermique hélicoïdal Air/Eau.

Dans ce projet I nous avons considéré un salon et deux chambres voir la figure.3.4 Pour la sélection des appareillages de climatisation il faut au débit estimer le bilan thermique de climatisation pour chaque chambre. Cette estimation du bilan de climatisation du projet II est donnée par le tableau 3.5.



Figure 3.4 : vue en plan de maison.

2. Détermination de la puissance de rafraîchissement

Une fois le modèle choisi, encore faut-il déterminer sa puissance. Celle-ci dépend non seulement de la surface de la pièce à rafraîchir mais aussi du climat, de l'exposition, des sources de chaleur présentes, du nombre d'occupants, de la qualité de l'isolation, etc.

La réalisation d'un bilan thermique est nécessaire, soit avec l'aide d'un professionnel, soit par soi-même, grâce aux bilans thermiques simplifiés que proposent certains fabricants. Un climatiseur sous-dimensionné fonctionnera en sursrégime et consommera plus, pour une efficacité moyenne. Pour calculer la puissance nécessaire, il est conseillé de compter 100 W (0,1 kW) par mètre carré ou 45 W par mètre cube, en ajoutant 300 W par fenêtre, la puissance de climatisation de la chambre étudiée dans le tableau ci-dessous. (Que choisir).

Tableau 3.5 : La puissance de rafraîchissement de la chambre.

Caractéristiques	Chambre (1 fenêtre)
Puissance en kW	1,52

3. Rafraîchissement par échangeur air/eau syst(C)

3.1. Dimensionnement de HWAHE

- Pour rafraîchi ce projet on utilise le même dimensionnement de travail expérimental fait en El oued par (Hadjadj 2021).
- Selon (Hadjadj 2021) L'efficacité du HWAHE proposé a diminué avec l'augmentation de l'air vitesse. Pour les valeurs moyennes de vitesses d'air utilisées dans cette étude (10, 15 et 20 m/s), l'efficacité HWAHE sont de 82%, 81% et 80%, respectivement, l'augmentation de débit massique provoque une diminution de la température de l'air avec débit de 0,035 kg/s, 0,05 kg/s et 0,07 kg/s, dans notre cas choisir une vitesse de 10 m/s avec débit de 0,05 kg/s (139,5 m³/h).

- **Taux de brassage et débit d'air nécessaire :**

Selon le tableau 3.3 le taux de brassage de climatisation égale à 5 à 10 (v/h), le débit d'air nécessaire pour rafraîchi la chambre illustrée dans le tableau 3.6

Tableau 3.6 : Le débit d'air nécessaire pour rafraîchi la chambre.

Caractéristiques	Chambre
Volume (m ³)	26,16
Taux de brassage de climatisation (v/h)	5
Débit d'air nécessaire (m ³ /h)	130,8

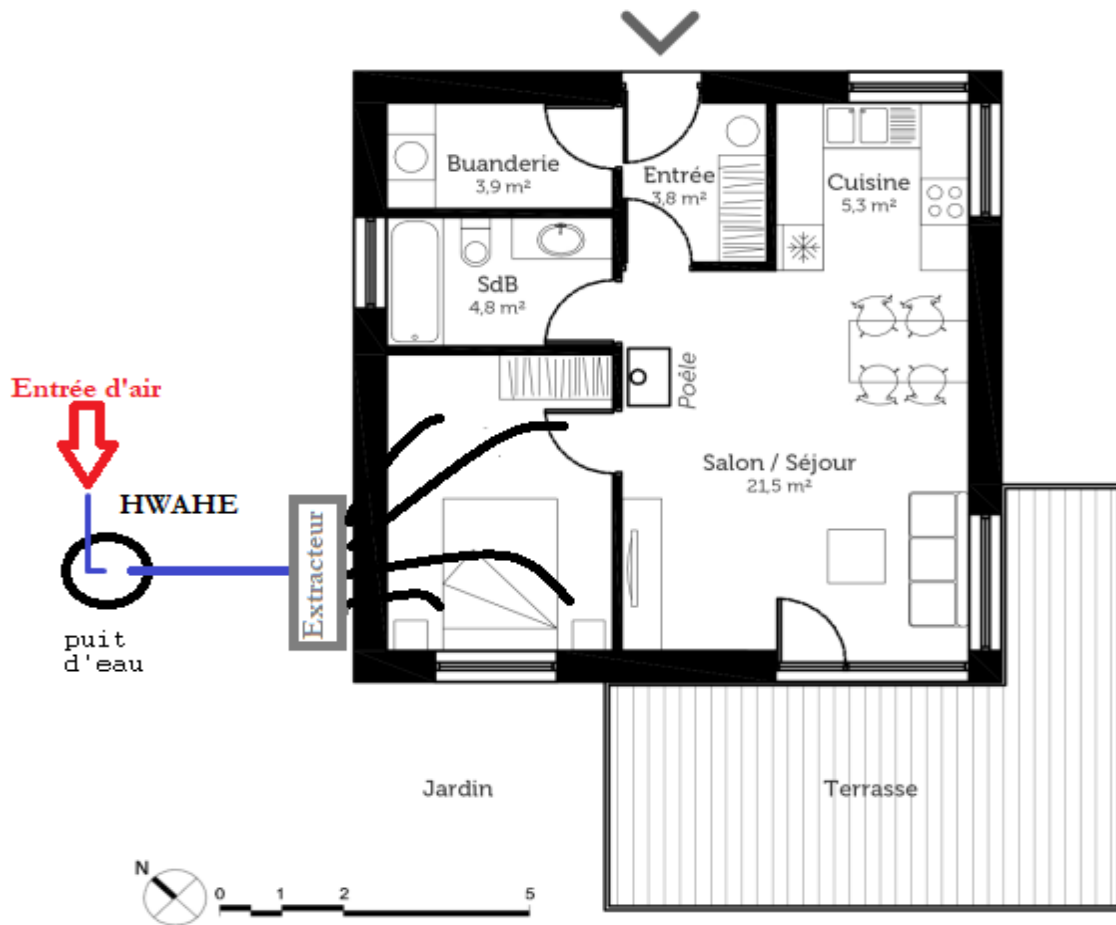


Figure 3.5 : Plan de la maison et l'emplacement du puit d'eau.

- **Méthode de la réduction de vitesse :**

Consiste, après avoir choisi la vitesse au départ dans notre cas 10 m/s cette valeur plus grande que la vitesse qui assure le confort acoustique entre, à la réduire graduellement, mais sans suivre une règle précise, jusqu'aux tronçons terminaux.

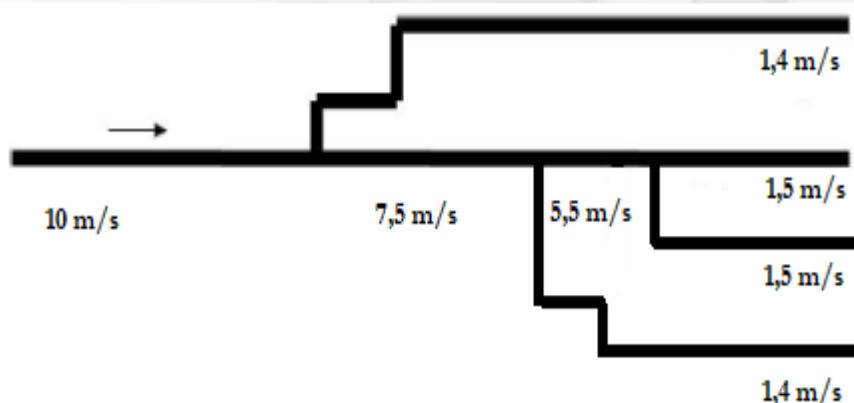


Figure 3.6 : Illustration de la Méthode de la réduction de vitesse. (Confédération construction).

4. Rafraîchissement par échangeur air/sol syst(B)

4.1. Dimensionnement de EAHE

- Pour rafraîchi ce projet on utilise le même dimensionnement de travail expérimental fait en Biskra par (Moumami 2010).
- Pour un débit constant, le diamètre de l'échangeur doit être considéré comme un paramètre qui influe sur la température de l'air et par conséquent sur l'efficacité du puits, le débit choisi dans ce cas $150 \text{ m}^3/\text{h}$. (Hatraf 2014).
- Place disponible pour l'enfouissement du conduit choisie pour notre projet d'étude est le terrain en face du local. C'est un espace vert d'une superficie égale à 200 m^2 qui est largement suffisant pour l'enfouissement
- Selon le tableau 3.5. Le débit d'air nécessaire pour rafraîchir la chambre c'est $130,8 \text{ m}^3 / \text{h}$ cette débit est assurer par l'échangeur étudiée.

La géométrie et pose final de notre échangeur, gain souple et extracteur utilisé illustré dans la figure 3.6.

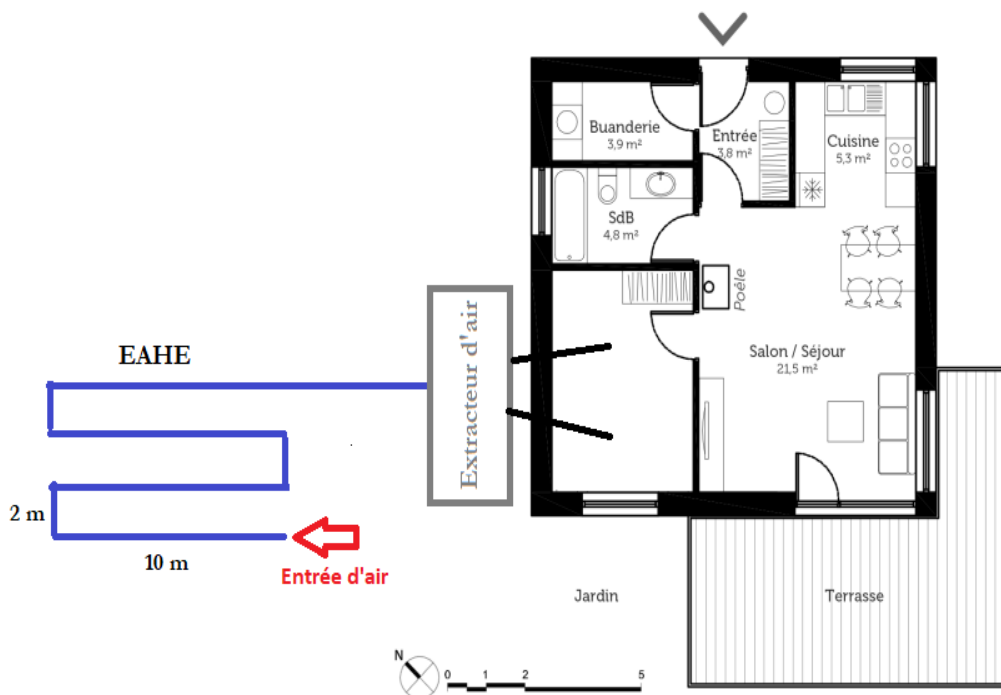


Figure 3.7 : Géométrie de pose finale du EAHE.

Conclusion :

À ce chapitre, nous avons présentés les différentes typologies et technologies de rafraîchissement de la maison utilisé dans les région chaude et aride pour améliorer le confort thermique dans ces régions.

Nous avons focalisé nos recherches sur la méthode de rafraîchissement de l'air ambiant à partir des conduites enterrées ; c'est ce qu'on appelle échangeur de chaleur air/sol (EAHE), et une autre méthode de rafraîchissement par un échangeur hélicoïdale enterrée dans un puit d'eau (HWAHE).

Selon la loi de taux de brassage ; le débit d'air de climatisation doit être adapté avec le volume du bâtiment (le débit d'air nécessaire est 5 à 6 fois le volume du local). Pour les pièces de petit volume, un débit d'air de 100 à 150 m³/h peut être suffisant pour une bonne climatisation. En ce qui concerne les pièces qui ont un volume dépassant 90 m³, le débit d'air adéquat ne peut pas prendre une valeur inférieure à 400 m³/h. et on a remarqué que EAHE et HWAHE peut pas être utilisés comme moyen de rafraîchissement direct pour les bâtiments et maison à grand volume, sous des conditions climatiques semi-arides avec des températures ambiantes très élevées qui dépasse 45°C. La température de sortie de l'échangeur dépasse 30 °C pour les débits d'air supérieur à 200 m³/h, c'est pour cela dans le cas de rafraîchissement des bâtiments de grand volume, durant toute une journée, la température de l'air de rafraîchissement dépasse le seuil de confort (supérieur à 26°C).

Bibliographie

Hadjadj, A” Etude de la faisabilité technique et économique de l’installation d’un échangeur de chaleur géothermique dans la région d’El Oued Algérie”.Thèse de doctorat. Université de El oued,2021.

Moummi N, Benfatah H, Hatraf N, Moummi A, Ali SY. Le rafraîchissement par la géothermie : étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra. Revue des énergies Renouvelables 2010;13(N°3):399–406

Méthode de la réduction de vitesse disponible sur :

<http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Cellule%20Energie%20Environnement/ventilation%20mecanique/presentation%20Christophe%20Delmotte.pdf> consulter le 05/06/2021.

Boussada, B” Etude de l’écoulement d’air dans un puits canadien’ ’mémoire de Master, Département génie mécanique, Université de Bejaia, pp.54-56, 2019

Chapitre 4

Rentabilité économique et étude comparative

Introduction

L'objectif de ce chapitre est de découvrir le système de rafraîchissement adéquat à la région saharienne Biskra et El oued grâce à l'étude de la faisabilité de l'échangeur géothermique Air/Sol (EAHE) syst(B) par rapport au climatiseur mono-split syst(A) dans le maison intitulé Projet I installés à la ville de Biskra et la faisabilité de l'échangeur géothermique Air/Sol (EAHE) syst(B) et l'échangeur de chaleur hélicoïdal Air/Eau (HWAHE) sys(C) par rapport au climatiseur mono-split syst(A) dans le maison intitulé Projet II installés à la wilaya de El oued située au Sud-Est de l'Algérie.

Une étude comparative entre ces trois systèmes est conduite, basée sur les mêmes hypothèses du troisième chapitre, sur le coût d'investissement, Coût Consommation électrique et l'émission des gaz CO₂.

I. Projet I : Le rafraîchissement d'une maison à Biskra

1. Etude du système de climatiseur mono-split Syst(A)

1.1. Sélection du système de climatiseur mono-split système (selon le marché)

Selon le catalogue (LG 2020) et en fonction du bilan thermique on donne Caractéristiques des modèles sélectionnés Syst(A).

Plus une récapitulatif de la sélection du climatiseur Syst(A) respectivement par le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Récapitulatif de la sélection du Syst(A)

Caractéristiques	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0
Puissance Q ₀ en W	1562,55	2192,68	2977,21
EER/COP	3,81/4,13	3,81/4,13	3,81/3,24
SEER/SCOP	7/4	7/4	6.6/4
Puissance restituée Froid Min. / Nom. / Max. En W	890 / 2500 / 3700	890 / 2500 / 3700	890 / 3500 / 4040
Puissance absorbée Froid	656	656	1080

Nom. En W			
Déshumidification l/h	1,1	1,1	1,3
Débit d'air Froid	300 / 456 / 546/666	300 / 456 / 546/666	300 / 486 / 576/666
MN/PV/MV/Max* m3/h			
Alimentation Ø / V / Hz	1 / 220-240 / 50	1 / 220-240 / 50	1 / 220-240 / 50
Consommation énergétique annuelle Froid En KWh	125	125	186
Réfrigérant Type	R32	R32	R32
Référence Unité Intérieure	AC09BH.NSJ	AC09BH.NSJ	AC12BH.NSJ
Référence Unité Extérieure	AC09BH.UA3	AC09BH.UA3	AC12BH.UA3

1.2. Coût investissement

Selon le catalogue (LG 2020) et le site Web climamarket on donne un devis estimatif avec Taxe le coût total d'investissement avec TTC est égal à 2839,08 €

Plus une récapitulatif du détail du coût d'investissement illustré dans le tableau 4.2.

Tableau 4.2 : Récapitulatif de cout d'investissement TTC du syst(A)

Climatiseur	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0	Total	Maintenance /an
Prix en € TTC	912,34	912,34	1014,40	2839,08	37,45

1.3. Consommation électrique

A partir du tableau.4.1 on détermine la consommation électrique pour l'ensemble des climatiseurs mono-split syst(A) tel que la consommation électrique totale= (2*656) + (1*1080) = 2392 Watt.

Pour un fonctionnement de 18 h/Jour pendant tout l'été (4 mois et 15 jours) donc un total des heures de fonctionnement de 2430 h/an c-à-d une consommation électrique annuelle de : $C_e=2,392*2430=5812,56$ KWh.

1.4. Coût Consommation électrique

En moyenne, les ménages de l'Union européenne payent leur électricité 13,16 centimes d'euros le kilowatt/heure (kWh) hors taxes (kelwatt 2020).

Le coût hors taxe de la consommation électrique annuelle est égal à $5812,56*0,1316=764,93€$

Le coût de consommation électrique avec tout taxe comprise est $764,93*1,07= 818,47€$

Nous calculons maintenant le coût de l'électricité soutenu par l'état à un prix de 4,179 Dinars Algériens, DA, équivalent à 0,0354€.

Le coût de consommation électrique soutenu par l'état hors taxe est

$$C_{ce} (HT) = 5812,56 \text{ KWh} * 0,0354 \text{ €} = 205,76 \text{ €}$$

Donc Le coût de la consommation électrique soutenu par l'état avec tout taxe comprise est

$$C_{ce} \text{ (en TTC)} = 205,76 \text{ €} * 1,07 = 220,16 \text{ €}$$

1.5. Emission des gaz CO₂ par le système de climatiseur mono-split Système

L'émission de CO₂ pour le climatiseur mono split syst(A) est le produit de l'émet de CO₂ de 1KWh par consommation électrique annuelle est donnée ;

En Algérie on considère 1kWh d'électricité émet 548g de CO₂ (Benfateh 2020).

$$E_{CO_2} = C_e * 0,548 = 5812,56 * 0,548 = 3185,28 \text{ Kg par an.}$$

Donc L'émission des gaz CO₂ par an pour le syst(A) est 3185,28Kg.

2. Etude du système de rafraîchissement par échangeur air/sol Syst(B)

2.1. La sélection du système

Pour cette installation on utilise le tube PVC comme capteurs géothermique. Ce type de capteur est réalisé localement, l'extracteur est Sélectionnée selon le catalogue (AXELAIR 2020).

La Sélection du système est faite selon le travail expérimental réalise par (Moumi 2010).

2.2. Coût investissement

On voit circuler sur internet beaucoup d'exemples de puits canadiens dont le coût d'investissement est inférieur à 1000 euros. Il est important de voir au-delà de ces prix ce que comprend l'installation. Dans cette partie nous montre que sous la dénomination puits provençal ou puits canadien, on retrouve une installation de ventilation complexe, qui peut être auto construite avec des matériaux bon marché mais pas forcément garants d'une bonne tenue dans le temps.

Dans les sites du point de ventes français afin de recenser les prix de chaque composant. À partir de ces prix. Nous avons dressé le devis estimatif de notre Puit Canadien

$$C_i \text{ (HT)} = 7254,29 \text{ €}$$

$$C_i \text{ (en TTC)} = 8740,12 \text{ €}$$

Plus une récapitulatif de la sélection du EAHE Syst(B) respectivement par le tableau 4.3.

Tableau 4.3 : Récapitulatif de la sélection du Syst(B)

Articles	Prix unitaires HT	Prix unitaires TTC	Quantités	Prix nets TTC
Tube PVC manchonné Ø 110 L 4 m	11,60/tube	13,57	55	746,35
Colle PVC GEBSOPLAST GEL+ boite 250ml	3,55	4,39	5	21,95
Coude mâle / femelle 87° pvc Diam.110 mm GIRPI	3,65	4,40	32	140,8
Té simple femelle / femelle 87° pvc Diam.110 mm GIRPI	8,83	10,10	4	40,40
Borne Galva d'Aspiration pour Puits Canadien ou Provençal Noire Standard (+ filtre poche G4)	275	330	4	1320
Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 100 Q Ø 96 mm	153,40	179,47	1	179,47
Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 100 Ø 96 mm	211,90	247,90	1	247,90
Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 125 Ø 122 mm	246,40	293,21	1	293,21
Bouche extraction et insufflation	4,26	5,26	6	26,3
Gaine souple en PVC isolée 10 m ø125 mm ATLANTIC	24,98	30,84	3	92,52
Regard à condensat réalisé par l'installateur		100	4	400
Kit de régulation (Registre motorisé + thermostat) ATLANTIC	409,80	493,74	3	1481,22
Grillage avertisseur 50 m	11,06	12,5	4	50
Le tarif d'installation		900	4	3600
Maintenance - Changement des filtres 1 fois/an		25	4	100

D'après le catalogue de AXELAIR on va donner une récapitulatif de la caractéristique du l'extracteurs d'air choisi illustré dans le tableau suivant ;

Tableau 4.4 : Récapitulatif de la sélection de l'extracteur du Syst(B)

Information	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0
Destination	Chambre 0	Chambre 1	Salon 0
Marque commerciale	AXELAIR	AXELAIR	AXELAIR
Référence du modèle	Lineo XL 100 Q	Lineo XL 100	Lineo XL 125
Débit Min / Max (m ³ /h)	155/200	180/255	250/365
Puissance électrique absorbée (W) Min / Max	12/15	20/23	25/33
Pression dispo Min / Max (Pa)	64/74	127/162	127/167

2.3. Consommation électrique

Le puits canadien engendre une consommation électrique au niveau du l'extracteur/insuffleur centrifuge Lineo de la marque AXELAIR.

A partir le tableau 4.4 Pour 2430 h/an de fonctionnement la consommation électrique en KWh/an est égale ;

$$C_e = (0,015+0,023+0,033) *2430=172,53\text{KWh.}$$

2.4. Coût Consommation électrique

En moyenne, les ménages de l'Union européenne payent leur électricité 13,16 centimes d'euros le kilowatt/heure (kWh) hors taxes (kelwatt 2020).

Le coût hors taxe de la consommation électrique annuelle est égal à $172,53*0,1316=22,70$ €

Le coût de consommation électrique avec tout taxe comprise est $22,70*1,07= 24,29$ €

Nous calculons maintenant le coût de l'électricité soutenu par l'état à un prix de 4,179 Dinars Algériens, DA, équivalent à 0,0354 €.

Le coût de consommation électrique soutenu par l'état hors taxe est

$$\text{Prix HTC} = 172,53 \text{ KWh} *0,0354 \text{ €} = 6,10 \text{ €}$$

Donc Le coût de la consommation électrique soutenu par l'état avec tout taxe comprise est

$$\text{Prix Cce (TTC)}= 6,10 \text{ €}*1,07= 6,53 \text{ €}$$

2.5. Emission des gaz CO2 par le système EAHE

L'émission de CO₂ pour le climatiseur mono split syst(A)est le produit de l'émet de CO₂ de 1KWh par consommation électrique annuelle est donnée ;

En Algérie on considère 1kWh d'électricité émet 548g de CO₂ (Benfateh 2020).

$$E_{CO_2} = C_e * 0,548 = 172,53 * 0,548 = 94,54 \text{ Kg par an.}$$

Donc L'émission des gaz CO₂ par an pour le syst(B) est 94,54 Kg

3. Comparaisons et discussions

Afin de pouvoir comparer, on donne le coût d'investissement et le coût de la consommation électrique annuelle avec et sans soutien de l'état pour les deux systèmes (A) et (B) par le tableau Selon le résumé de l'étude comparative donné par le tableau récapitulatif 4.6 et la figure 4.1 on peut conclure les résultats suivants :

Le coût d'investissement initial du EAHE Syst(B) est plus cher trois fois que le coût d'investissement initial du climatiseur mono-split Syst(A).

Selon le tableau 4.6. On remarque que le coût de la consommation du syst(B) est la plus faible.

L'inconvénient remarquable du EAHE syst(B) est son coût d'investissement initial très élevé par rapport au climatiseur mono-split syst(A), par contre il est avantageux de point de vue coût de consommation électrique ce qui nous oriente a étudié la durée d'amortissement du Syst(B) par rapport au climatiseur mono-split Syst(A).

Tableau 4.5 : Récapitulatif Syst(B)

Prix	Cout investissement	Cout Consommation électrique	Cout Consommation électrique avec soutien
HT en €	7254,29	22,70	6,10
TTC en €	8740,12	24,29	6,53

Un résumé comparatif entre les deux systèmes illustrés dans le tableau 4.6

Tableau 4.6 : Coût investissement et coût Consommation électrique pour syst(A) et syst(B).

Système	Ci € TTC	Ci/Ci réf	Cce € TTC	Cce/Cce réf	Cce € TTC avec soutien	Cce/Cce réf
(A)	2839,08	1,00	818,47	1,00	220,16	1,00
(B)	8740,12	3,07	24,29	0,02	6,53	0,02

Selon figure.4.1 on extraire les résultats suivants :

Le coût d'investissement initial du EAHE syst(B) est plus cher,

Le coût de consommation électrique du EAHE syst(B) est le moins cher ;

L'émission des gaz CO₂ par le EAHE syst(B) est la moins faible ;

Le coût d'investissement initial du climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher ;

Le coût de consommation électrique du climatiseur syst(A) est le plus cher ;

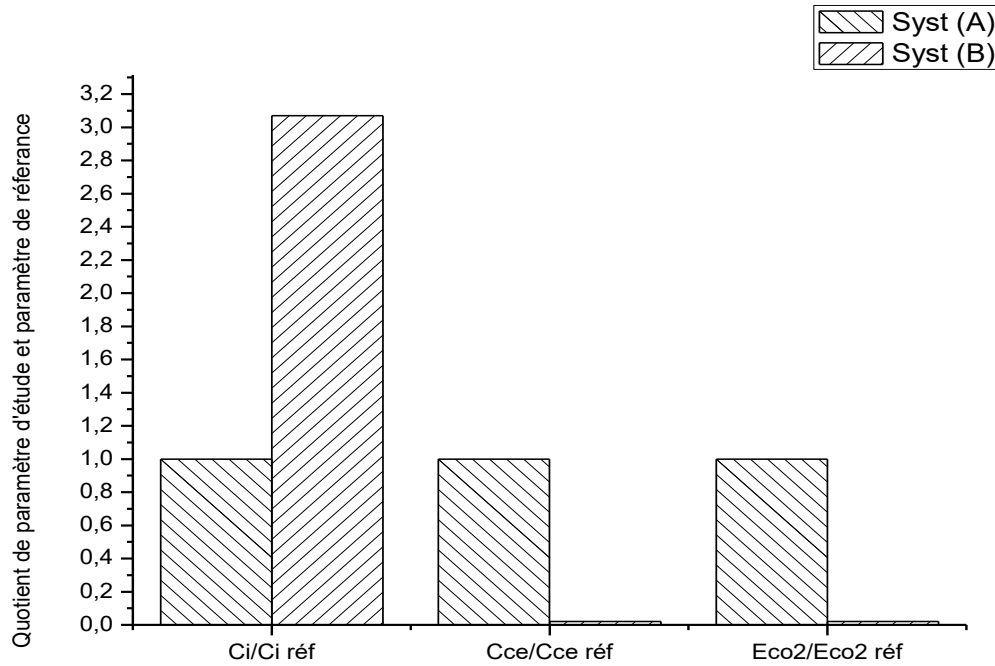


Figure 4.1 : Récapitulatif de l'étude comparative pour syst(A) et (B).

4. La durée d'amortissement

La durée d'amortissement est la durée de retour sur investissement d'une installation, afin de réduire au maximum la durée d'amortissement d'une installation, la meilleure option reste de diminuer sa consommation d'énergie le plus possible.

La durée de vie de puit canadienne syst(B) est nettement plus de 20 ans contre 15 ans au climatiseur mono-split syst(A) selon (consoglobe 2021).

Les équations suivantes donnent le coût d'investissement cumulé des climatiseurs examinés, elles sont données en fonction du coût d'investissement, coût de consommation électrique et coût de la maintenance. Pour l'électricité non soutenue par l'état on donne les équations **4.1** et **4.2** lient les différents facteurs influents sur le coût d'investissement cumulé du système de rafraîchissement.

$$C_{c \text{ syst}} = C_i + x(C_{ce} + C_m)$$

$$C_{c \text{ syst A}} = 2839,08 + x(818,47 + 37,45) = 2839,08 + x(855,92) \quad (4.1)$$

$$C_{c \text{ syst B}} = 8740,12 + x(24,29 + 100) = 8740,12 + x(124,29) \quad (4.2)$$

Pour étudier la durée d'amortissement lorsque l'état intervient (avec soutien) on donne les équations 4.3 et 4.4 lient les différents facteurs influents sur le coût accumulé d'un système de rafraîchissement.

$$C_{c \text{ syst } A} = 2839,08 + x (220,16 + 37,45) = 2839,08 + x (257,61) \quad (4.3)$$

$$C_{c \text{ syst } B} = 8740,12 + x (6,53 + 100) = 8740,12 + x (106,53) \quad (4.4)$$

La figure 4.2 est consacrée pour la durée d'amortissement pour les systèmes A et B sans soutien de l'état, on constate que :

Avant sept ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est le plus cher, le climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher.

Après sept ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est moins cher, que le climatiseur mono-split syst(A).

La figure 4.3 est consacrée pour la durée d'amortissement pour les deux systèmes A et B avec soutien d'état,

Avant Trente-neuf ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est le plus cher, le climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher.

Après Trente-neuf ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est moins cher, que le climatiseur mono-split syst(A).

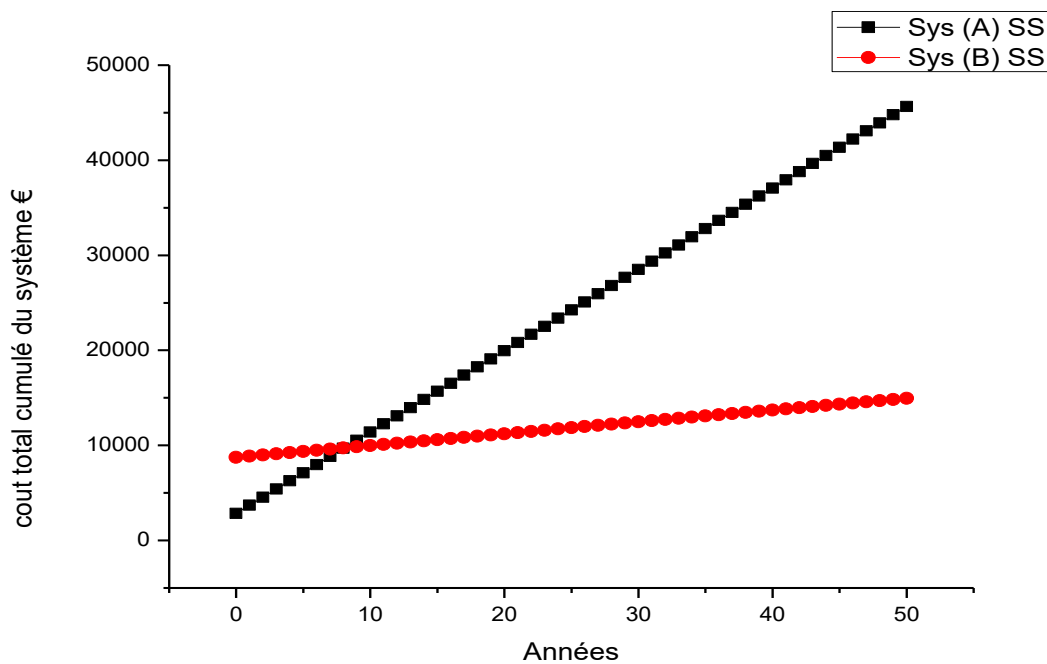


Figure 4.2 : La durée amortissement pour les deux systèmes (sans soutien)

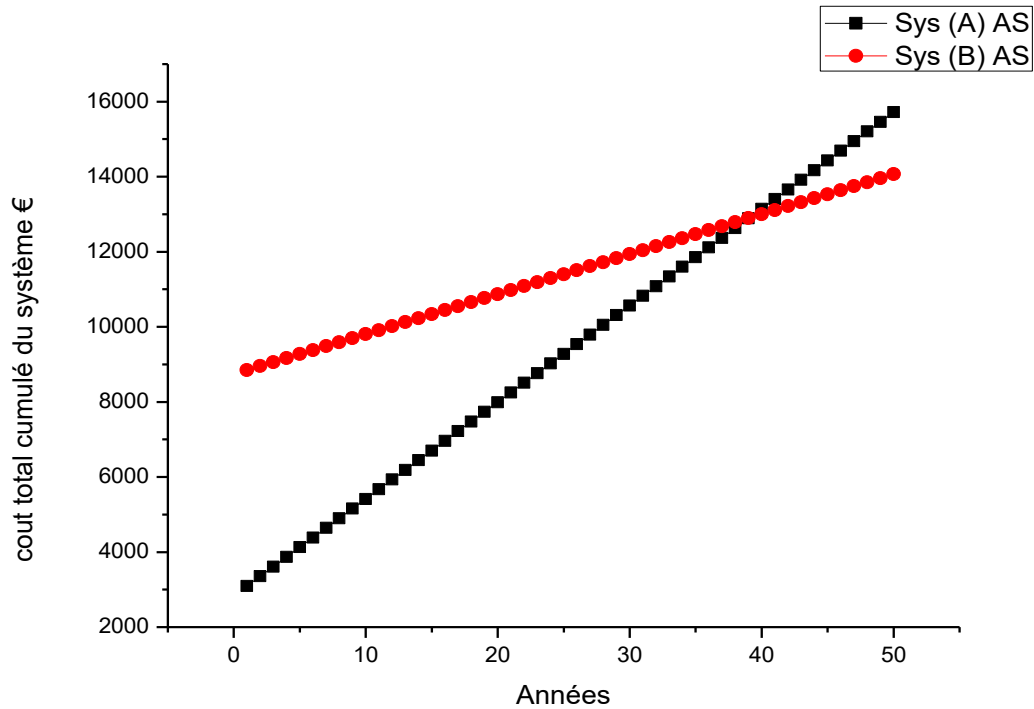


Figure 4.3 : La durée amortissement pour les deux systèmes (avec soutien).

II. Projet II : Le rafraîchissement d'une maison à El oued

1. Etude du système de climatiseur mono-split syst(A)

1.1. Sélection du système de climatiseur mono-split système (selon le marché)

Selon le catalogue (Haier 2021) et en fonction du bilan thermique on donne Caractéristiques des modèles sélectionnés Syst(A).

Plus une récapitulatif de la sélection du climatiseur syst(A) respectivement par le tableau 4.7.

Tableau 4.7 : Récapitulatif de la sélection du syst(A)

Caractéristiques	Chambre
Puissance en kW	1,52
EER/COP	3,23/3,71
SEER/SCOP	6,1/4
Puissance restituée Froid Nom	2600
En W	
Puissance absorbée Froid	800
Nom. En W	
Déshumidification l/h	1,0
Débit d'air Froid	300 / 456 / 546/666
MN/PV/MV/Max* m3/h	
Alimentation Ø / V / Hz	1 / 220-240 / 50

Consommation énergétique annuelle Froid En KWh	149
Réfrigérant Type	R32
Référence Unité Intérieure	AS25THMHRA
Référence Unité Extérieure	1U25YEFFRA

1.2. Coût investissement

Selon le catalogue (Haier 2021) et le site Web elettronewon donne un devis estimatif avec Taxe le coût total d'investissement avec TTC est égal à 359,97 €

Plus une récapitulatif du détail du coût d'investissement illustré dans le tableau 4.8

Tableau 4.8 : Récapitulatif de cout d'investissement TTC du syst(A)

Climatiseur	Chambre	Maintenance /an
Prix en € TTC	359,97	12,48

1.3. Consommation électrique

A partir du tableau 4.7 on détermine la consommation électrique pour le climatiseur mono-split syst(A) tel que la consommation électrique totale = 800 Watt.

Pour un fonctionnement de 18 h/Jour pendant tout l'été (4 mois et 15 jours) donc un total des heures de fonctionnement de 2430 h/an c-à-d une consommation électrique annuelle de : $C_e = 0,8 * 2430 = 1944$ KWh.

1.4. Coût Consommation électrique

En moyenne, les ménages de l'Union européenne payent leur électricité 13,16 centimes d'euros le kilowatt/heure (kWh) hors taxes (kelwatt 2020).

Le coût hors taxe de la consommation électrique annuelle est égal à $1944 * 0,1316 = 319,788$ €

Le coût de consommation électrique avec tout taxe comprise est $319,788 * 1,07 = 342,17$ €

Nous calculons maintenant le coût de l'électricité soutenu par l'état à un prix de 4,179 Dinars Algériens, DA, équivalent à 0,0354€.

Le coût de consommation électrique soutenu par l'état hors taxe est

$$\text{Prix HTC } 1944 \text{ KWh} * 0,0354 \text{ €} = 68,81 \text{ €}$$

Donc Le coût de la consommation électrique soutenu par l'état avec tout taxe comprise est

$$C_{cc} \text{ (en TTC)} = 68,81 \text{ €} * 1,07 = 73,62 \text{ €}$$

1.5. Emission des gaz CO₂ par le système de climatiseur mono-split Système

L'émission de CO₂ pour le climatiseur mono split syst(A) est le produit de l'émet de CO₂ de 1KWh par consommation électrique annuelle est donnée ;

En Algérie on considère 1kWh d'électricité émet 548g de CO₂ (Benfateh 2020).

$$E_{CO_2} = Ce * 0,548 = 1594,08 * 0,548 = 873,55 \text{Kg par an.}$$

Donc L'émission des gaz CO₂ par an pour le syst(A) est 873,55Kg.

2. Etude du système de rafraichissement par échangeur EAHE Syst(B)

2.1. La sélection du système

Pour cette installation on utilise le tube PVC comme capteurs géothermique. Ce type de capteur est réalisé localement, l'extracteur est Sélectionnée selon le catalogue (AXELAIR 2020).

La Sélection du système est faite selon le travail expérimental réalise par (Moumi 2010).

2.2. Coût investissement

Dans les sites du point de ventes français afin de recenser les prix de chaque composant. À partir de ces prix. Nous avons dressé le devis estimatif de notre EAHE

$$Ci \text{ (HT)} = 1946,35 \text{ €}$$

$$Ci \text{ (TTC)} = 2345 \text{ €}$$

Plus une récapitulatif de la sélection du EAHE Syst(B) respectivement par le tableau 4.9.

Tableau 4.9 : Récapitulatif de la sélection du Syst(B)

Articles	Prix unitaires HT	Prix unitaires TTC	Quantités	Prix nets TTC
Tube PVC manchonné Ø 110 L 4 m	11,60/tube	13,57	15	203,55
Colle PVC GEBSOPLAST GEL+ boîte 250ml	3.55	4.39	2	8,78
Coude mâle / femelle 87° pvc Diam.110 mm GIRPI	3.65	4,40	8	35,2
Té simple femelle / femelle 87° pvc Diam.110 mm GIRPI	8,83	10,10	4	40,40
Borne Galva d'Aspiration pour Puits Canadien ou Provençal Noire Standard (+ filtre poche G4)	275	330	1	330

Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 100 Q Ø 96 mm	153,40	179,47	1	179,47
Bouche extraction et insufflation	4,26	5,26	2	10,52
Gaine souple en PVC isolée 10 m ø125 mm ATLANTIC	24,98	30,84	1	30,84
Regard à condensat réalisé par l'installateur		100	1	100
Kit de régulation (Registre motorisé + thermostat) ATLANTIC	409,80	493,74	1	493,74
Grillage avertisseur 50 m	11,06	12,5	1	12,5
Le tarif d'installation		900	1	900
Maintenance - Changement des filtres 1 fois/an		25	1	25

D'après le catalogue de AXELAIR on va donner un récapitulatif de la caractéristique de l'extracteur d'air choisi illustré dans le tableau suivant ;

Tableau 4.10 : Récapitulatif de la sélection de l'extracteur du Syst(B)

Information	
Destination	Chambre
Marque commerciale	AXELAIR
Référence du modèle	Lineo XL 100 Q
Débit Min / Max (m ³ /h)	155/200
Puissance électrique absorbée (W) Min / Max	12/15
Pression dispo Min / Max (Pa)	64/74

2.3. Consommation électrique

Le puits canadien engendre une consommation électrique au niveau de l'extracteur/insuffleur centrifuge Lineo de la marque AXELAIR.

A partir du tableau 4.4 Pour 2430 h/an de fonctionnement la consommation électrique en KWh/an est égale ;

$$C_e = 0,015 \times 2430 = 36,45 \text{ KWh}$$

2.4. Coût Consommation électrique

En moyenne, les ménages de l'Union européenne payent leur électricité 13,16 centimes d'euros le kilowatt/heure (kWh) hors taxes (kelwatt 2020).

Le coût hors taxe de la consommation électrique annuelle est égal à $36,45 * 0,1316 = 4,79$ €

Le coût de consommation électrique avec tout taxe comprise est $4,79 * 1,07 = 5,13$ €

Nous calculons maintenant le coût de l'électricité soutenu par l'état à un prix de 4,179 Dinars Algériens, DA, équivalent à 0,0354 €.

Le coût de consommation électrique soutenu par l'état hors taxe est

Prix HTC = $36,45 \text{ kWh} * 0,0354 \text{ €} = 1,29 \text{ €}$

Donc Le coût de la consommation électrique soutenu par l'état avec tout taxe comprise est

Prix Cce (TTC) = $1,29 \text{ €} * 1,07 = 1,38 \text{ €}$

2.5. Emission des gaz CO₂ par le système EAHE

L'émission de CO₂ pour le climatiseur mono split syst(A) est le produit de l'émet de CO₂ de 1KWh par consommation électrique annuelle est donnée ;

En Algérie on considère 1kWh d'électricité émet 548g de CO₂ (Benfateh 2020).

$E_{CO_2} = C_e * 0,548 = 36,45 * 0,548 = 19,97 \text{ Kg}$ par an.

Donc L'émission des gaz CO₂ par an pour le syst(B) est 19,97 Kg.

3. Etude du système de rafraichissement par échangeur hélicoïdal air/eau Syst(C)

3.1. La sélection du système

Pour cette installation on utilise le PVC- U spirale comme capteurs géothermique à sous forme corbeille., en remplace dans ce cas le borne prise d'air à une autre qui réalise en PVC par l'installateur, et on utilise l'extracteur IN LINE de la marque ALDES de débit max 135 (m³/h)

La Sélection est faite selon le travail expérimental réalise par (Hadjadj 2021).

3.2. Coût investissement

Dans les sites du point de ventes français afin de recenser les prix de chaque composant. À partir de ces prix. Nous avons dressé le devis estimatif de notre échangeur Air/Eau

Ci HT = 1599,73 €

Ci (en TTC) = 1927,39 €

Plus une récapitulatif de la sélection du HWAHE Syst(C) respectivement par le tableau 4.11

Tableau 4.11 : Récapitulatif de la sélection du Syst(C).

Articles	Prix unitaires HT	Prix unitaires TTC	Quantités	Prix nets TTC
Tuyau spirale semi rigide PVC 30 m	498,10	582,77	1	582,77
Extracteur IN LINE 125 La marque Aldes	67,6	79,09	1	79,09
Gaine souple en PVC isolée 10 m ø125 mm ATLANTIC	24,98	30,84	2	60,96
Réduction extérieure excentrée PVC gris la marque Nicoll Ø 125/63 mm	12,10	14,58	1	14,58
Tube d'évacuation PVC, Diam.63 mm, L.2 m	11,00	12,87	3	38,61
Coude 45° PVC gris - Ø 63 mm la marque NICOLL	4,96	5,98	6	35,88
Bouche extraction	4,26	5,26	4	21,04
Regard à condensat réalisé par l'installateur		100	1	100
Kit de régulation (Registre motorisé + thermostat) ATLANTIC	409,80	493,74	1	493,74
Tarif d'installation				400-600
<u>Maintenance</u> Grille Filtre à Charbon Hy Filter - Ø 125mm 200m3/H			1 fois/an	16,15

D'après le catalogue de ALDES 2021 on va donner une récapitulatif de la caractéristique du l'extracteurs d'air choisi illustré dans le tableau suivant ;

Tableau 4.12 : Récapitulatif de la sélection de l'extracteur du Syst(C).

Information	
Marque commerciale	ALDES
Référence du modèle	IN LINE
Débit Max (m ³ /h)	135
Puissance électrique absorbée (W) Max	9,3

3.3. Consommation électrique

D'après les catalogues du fournisseur Aldes on donne la consommation électrique du l'extracteur IN LINE 125 La marque Aldes.

Pour 2430 h/an de fonctionnement la consommation électrique en KWh/an est égale ;

$$C_e = 0,0093 * 2430 = 22,599 \text{ KWh.}$$

3.4. Coût Consommation électrique

En moyenne, les ménages de l'Union européenne payent leur électricité 13,16 centimes d'euros le kilowatt/heure (kWh) hors taxes. (kelwatt 2020).

Le coût hors taxe de la consommation électrique annuelle est égal à $22,599 * 0,1316 = 2,97 \text{ €}$
Le coût de consommation électrique avec tout taxe comprise est $2,97 * 1,07 = 3,18 \text{ €}$ nous calculons maintenant le coût de l'électricité soutenu par l'état à un prix de 4,179 Dinars Algériens, DA, équivalent à 0,0354 €.

Le coût de consommation électrique soutenu par l'état hors taxe est :

$$\text{Prix HTC } 22,599 \text{ KWh} * 0,0354 \text{ €} = 0,80 \text{ €}$$

Donc Le coût de la consommation électrique soutenu par l'état avec tout taxe comprise est :

$$C_{ce} \text{ (en TTC)} = 0,80 \text{ €} * 1,07 = 0,856 \text{ €}$$

3.5. Emission des gaz CO₂ par l'échangeur HWAHE sys(C)

L'émission de CO₂ pour le syst(B) est le produit de l'émet de CO₂ de 1KWh par consommation électrique annuelle est donnée ;

En Algérie on considère 1kWh d'électricité émet 548g de CO₂ (Benfatch 2020).

$$E_{CO_2} = C_e * 0,548 = 22,599 * 0,548 = 12,38 \text{ Kg par an.}$$

Donc L'émission des gaz CO₂ par an pour le syst(B) est 12,38Kg.

4. Comparaisons et discussions

Afin de pouvoir comparer, on donne le coût d'investissement et le coût de la consommation électrique annuelle avec et sans soutien de l'état pour les trois systèmes (A), (B) et (C) par le tableau. Selon le résumé de l'étude comparative donné par le tableau récapitulatif 4.13 et la figure 4.4 on peut conclure les résultats suivants :

Le coût d'investissement initial du EAHE Syst(B) est plus cher sept fois que le coût d'investissement initial du climatiseur mono-split Syst(A).

Le coût d'investissement initial du HWAHE Syst(C) est plus cher cinq fois que le coût d'investissement initial du climatiseur mono-split Syst(A).

L'inconvénient remarquable du EAHE syst(B) et HWAHE syst(C) est son coût d'investissement initial très élevé par rapport au climatiseur mono-split syst(A), par contre il est avantageux de point de vue coût de consommation électrique ce qui nous oriente à étudier la durée d'amortissement du Syst(B) par rapport au climatiseur mono-split Syst(A).

Un résumé comparatif entre les trois systèmes illustrés dans le tableau 4.13

Tableau 4.13 : Coût investissement et coût Consommation électrique pour les Syst(A), (B) et (C).

Système	Ci € TTC	Ci/Ci réf	Cce € TTC	Cce/Cce réf	Cce € TTC avec soutien	Cce/Cce réf
(A)	359,97	1,00	342,17	1,00	73,62	1,00
(B)	2345	6,51	5,13	0,014	1,38	0.014
(C)	1927,39	5,35	3,18	0,01	0,856	0,01

Selon figure 4.4 on extraire les résultats suivants :

Le coût d'investissement initial du EAHE syst(B) est plus cher,

Le coût de consommation électrique du HWAHE syst(C) est le moins cher ;

L'émission des gaz CO₂ par le HWAHE syst(C) est la moins faible ;

Le coût d'investissement initial du climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher ;

Le coût de consommation électrique du climatiseur syst(A) est plus cher que celui du syst(B) et syst(C)

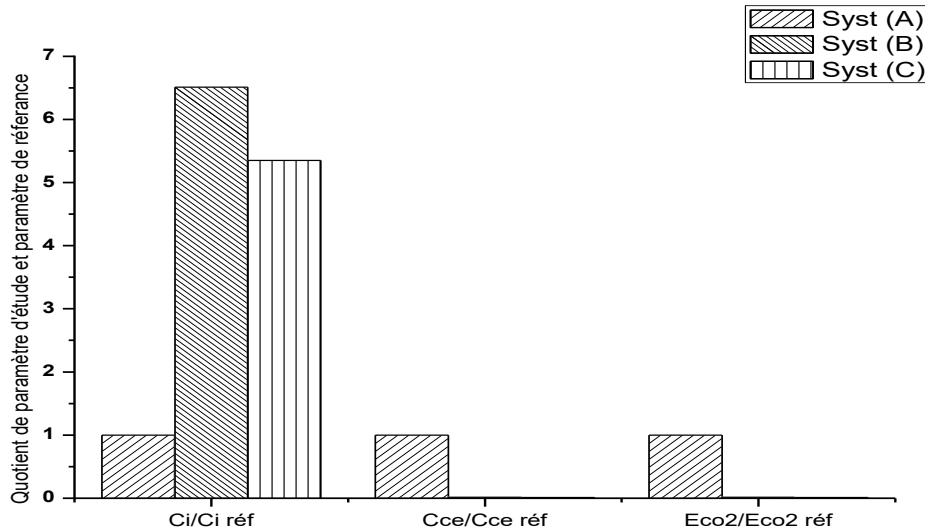


Figure 4.4 : Récapitulatif de l'étude comparative pour syst(A), (B) et (C).

5. La durée d'amortissement

La durée d'amortissement est la durée de retour sur investissement d'une installation, afin de réduire au maximum la durée d'amortissement d'une installation, la meilleure option reste de diminuer sa consommation d'énergie le plus possible.

La durée de vie d'échangeur Air/Sol syst(B) et Air/Eau syst(C) est nettement plus de 20 ans contre 15 ans au climatiseur mono-split syst(A) selon (consoglobe 2021).

Les équations suivantes donnent le coût d'investissement cumulé des climatiseurs examinés, elles sont données en fonction du coût d'investissement, coût de consommation électrique et coût de la maintenance. Pour l'électricité non soutenue par l'état on donne les équations 4.5, 4.6 et 4.7 lient les différents facteurs influents sur le coût d'investissement cumulé du système de rafraîchissement.

$$C_{c \text{ syst}} = C_i + x(C_{ce} + C_m)$$

$$C_{c \text{ syst A}} = 359,97 + x (342,17 + 12,48)$$

$$C_{c \text{ syst A}} = 359,97 + x (354,65) \quad (4.5)$$

$$C_{c \text{ syst B}} = 2345 + x (5,13 + 25) = 2345 + x (30,13) \quad (4.6)$$

$$C_{c \text{ syst C}} = 1927,39 + x (3,17 + 16,15) = 1927,39 + x (19,32) \quad (4.7)$$

Pour étudier la durée d'amortissement lorsque l'état intervient (avec soutien) on donne les équations 4.7 4.8 et 4.9 lient les différents facteurs influents sur le coût accumulé d'un système de rafraîchissement.

$$Cc_{\text{ syst A}} = 359,97 + x (73,62+12,48)$$

$$Cc_{\text{ syst A}} = 359,97+ x (86,1) \tag{4.8}$$

$$Cc_{\text{ syst B}} = 2345+ x (1,38+25) = 2345 +x (26,38) \tag{4.9}$$

$$Cc_{\text{ syst C}} = 1927,39+x (0,856+16,15) = 1927,39+x (17,006) \tag{4.10}$$

La figure 4.5 est consacrée pour la durée d'amortissement pour les systèmes A, B et C sans soutien de l'état, on constate que :

Avant six ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est le plus cher, le climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher.

Après six ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est moins cher que, le climatiseur mono-split syst(A).

Avant quatre ans le rafraîchissement par HWAHE syst(C) est le plus cher, le climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher.

Après quatre ans le rafraîchissement par HWAHE syst(C) est moins cher que, le climatiseur mono-split syst(A).

La figure 4.6 est consacrée pour la durée d'amortissement pour les trois systèmes A, B et C avec soutien d'état,

Avant trente-trois ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est le plus cher, le climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher.

Après trente-trois ans le rafraîchissement par EAHE syst(B) est moins cher que, le climatiseur mono-split syst(A).

Avant vingt-deux, ans le rafraîchissement par HWAHE syst(C) est le plus cher, le climatiseur mono-split syst(A) est le moins cher.

Après vingt-deux, ans le rafraîchissement par HWAHE syst(C) est moins cher que, le climatiseur mono-split syst(A).

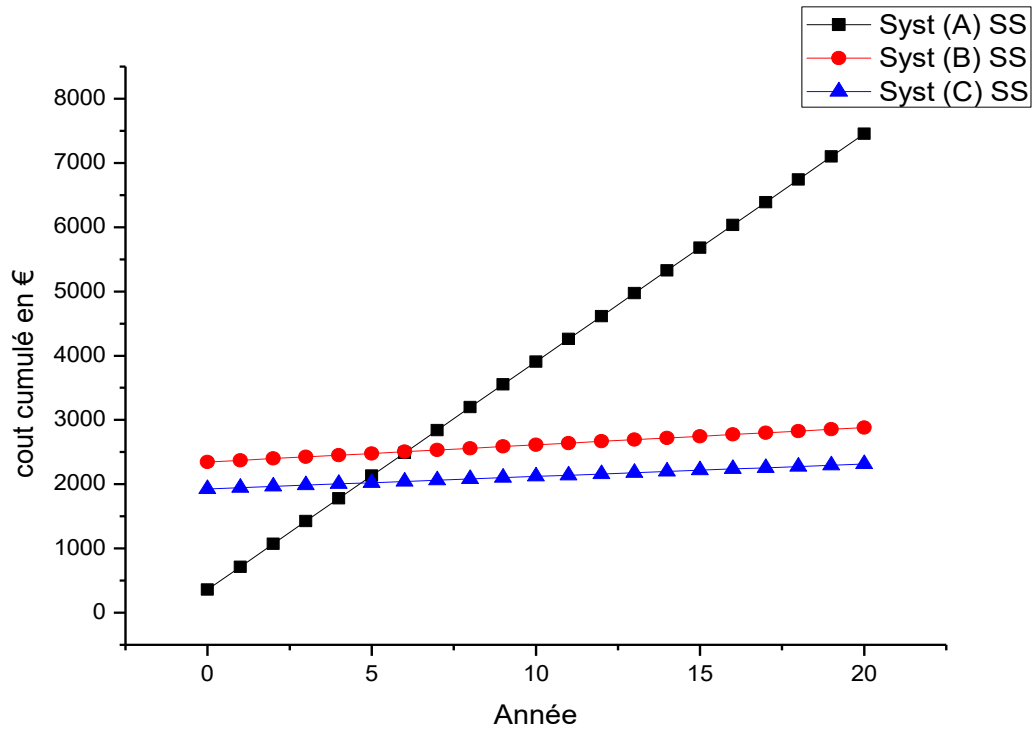


Figure 4.5 : La durée amortissement pour les trois systèmes (sans soutien)

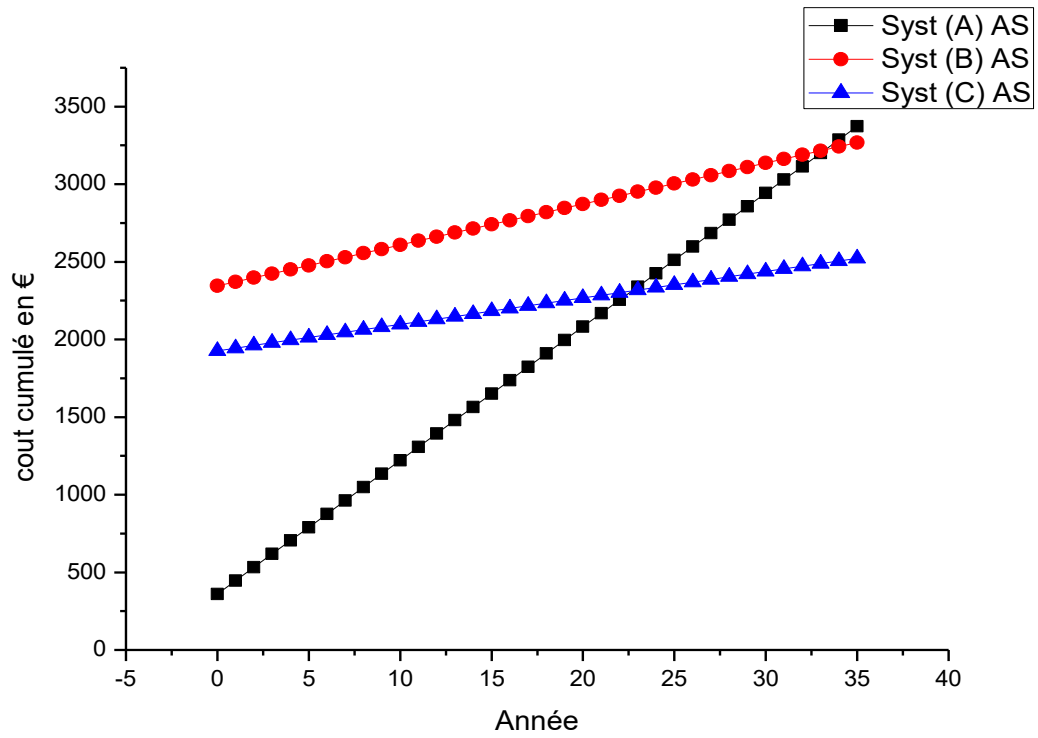


Figure 4.6 : La durée amortissement pour les trois systèmes (avec soutien)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré la faisabilité du rafraîchissement par EAHE syst(B) et HWAHE syst(C), par rapport au climatiseur mono-split syst(A) de point de vue coût d'investissement, coût consommation électrique et de protection de l'environnement.

L'étude comparative entre les trois système (A), (B) et (C) a montré que :

- Le seul inconvénient du EAHE syst(B) et HWAHE syst(C) est son coût d'investissement initial élevé.
- Le climatiseur mono-split syst(A) est le meilleur de point de vue coût investissement.
- Le EAHE syst(B) est le meilleur système des points de vue coût consommation électrique et émission des gaz CO₂ selon le projet I
- Le HWAHE syst(C) est le meilleur système des points de vue coût consommation électrique et émission des gaz CO₂ selon le projet II

En vertu de la politique actuelle de soutien de l'état à la facturation de l'électricité, les résultats de l'étude montrent que le système (A) présente le meilleur choix de point de vue coûts totaux d'investissement, de consommation électrique et de maintenance.

De point de vue environnemental, l'étude a montré que le système (B) reste toujours plus avantageux que le syst(A).

Il a été conclu que les conditions actuelles, marquées par le coût de l'électricité soutenu par l'état, n'encouragent pas le passage vers l'installation des systèmes de climatisation de sources renouvelables.

Bibliographie

BENFATAH, H. 'Etude et analyse des procédés solaire de production de froid par sorption en vue d'une réalisation d'un premier prototype à Biskra' Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider Biskra.

Moumami N, Benfatah H, Hatraf N, Moumami A, Ali SY. Le rafraîchissement par la géothermie : étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra. Revue des énergies Renouvelables 2010;13(N°3):399–406.

Hadjadj, A” Etude de la faisabilité technique et économique de l’installation d’un échangeur de chaleur géothermique dans la région d’El Oued Algérie’ ”Thèse de doctorat. Université de El oued, pp45-49,2021

Prix d’électricité en Europe disponible sur <https://www.kelwatt.fr/fournisseurs/edf/prix/tarifs-2020> consulter le 23/04/2021.

Le duré d vie de puit canadienne sur <https://www.consoglobe.com/puits-canadien-criteres-installation-4240-cg> consulter le 07/05/2021.

Catalogue LG 2020 disponible sur <https://www.climamaison.com/images/articles/589/LG-Artcool-Mirror.pdf> consulter le 14/03/2021

Catalogue HAIER 2020 disponible sur https://haierhvac.eu/sites/default/files/2020-05/Data%20Sheet%20-%20Jade%20-%20Monosplit%20-%20EN_0.pdf Consulter le 16/04/2021.

Catalogue ALDES 2021 disponible sur <https://pro.aldes.fr/media/10988/catalogue-aldes-2021-maj-tarif-010521.pdf> consulter le 24/04/2021.

Catalogue AXELAIR 2020 disponible sur <http://www.axelairventilation.fr/vdoc/resource/filecenter/document/042-0000n5-005/tarif-axelair-2021-bd.pdf> consulter le 20/04/2021.

Conclusion générale

Ce travail présente une étude technico économique du rafraîchissement par la géothermie dans deux régions sahariennes (chaudes et arides) : Biskra et El oued. L'objectif est de contribuer à l'étude de faisabilité d'un échangeur de chaleur géothermique dans ces régions par une démarche comparative entre les différents systèmes de rafraîchissement : de point de vue coût d'investissement, coût de consommation d'électricité, émission de CO₂ pour deux projets types (I et II) installés à Biskra et El oued respectivement.

En fonction du coût de l'électricité, l'étude technico-économique réalisée sur le projet type I (relatif au site de Biskra), a montré la faisabilité de l'échangeur air/sol, syst(B), par rapport au climatiseur classique mono-split syst(A), de points de vue coût d'investissement et coût de consommation électrique. Le coût d'investissement relatif aux syst(A) est beaucoup moins cher que celui du syst(B). L'inconvénient de ce dernier se résume dans son coût d'investissement initial très élevé. Par contre, le coût de consommation électrique du syst(B) est trouvé moins cher que le syst(A).

Ainsi, l'étude de la durée d'amortissement des deux systèmes a montré que le coût d'investissement du syst(B) peut être amorti en Algérie, pour concurrencer le système de référence, uniquement dans le cas où l'état réoriente son soutien de l'électricité vers le soutien du coût d'investissement du EAHE (syst B).

En fonction du coût de l'électricité, l'étude technico-économique réalisée sur le projet type II (relatif au site de El oued), a montré la faisabilité du l'échangeur de chaleur hélicoïdal air/eau, syst(C), par rapport au climatiseur classique mono-split, syst(A) et l'échangeur air/sol, syst(B) de points de vue coût d'investissement et coût de consommation électrique. Le coût d'investissement relatif aux syst(A) est beaucoup moins cher que celui du syst(B) et syst(C).

L'inconvénient de ce dernier résume dans son coût d'investissement initial très élevé. Par contre, le coût de consommation électrique du syst(B) est trouvé moins cher que le syst(A). Ainsi, l'étude de la durée d'amortissement des deux systèmes a montré que le coût d'investissement du syst(C) peut être amorti en Algérie, pour concurrencer le système de référence, uniquement dans le cas où l'état réoriente son soutien de l'électricité vers le soutien du coût d'investissement du HWAHE syst(C) et syst(B).

En vertu de la politique actuelle de soutien de l'état à la facturation de l'électricité, les résultats de l'étude montrent que le système (A) présente le meilleur choix de point de vue coûts totaux d'investissement, de consommation électrique et de maintenance.

Parmi les recommandations de la présente étude, on cite la nécessité de rediriger le soutien actuel du coût de l'électricité vers le soutien du coût d'investissement du système (B) et système (C).

Annexe

Liste de référence de la sélection d'article des systèmes (A), (B) et (C).

Système	Articles	Référence	Date de consultation
Syst (A)	Climatiseur mono split LG 9000 BTU	https://www.climamarket.eu/fr/climatiseur-mural-lg-artcool-mirror-ac09sqnsj-ac09bqua3	15/03/2021
	Climatiseur mono split LG 1200 BTU	https://www.climamarket.eu/fr/climatiseur-mural-lg-artcool-mirror-ac12sqnsj-ac12bqua3	15/03/2021
	Climatiseur mono split HAIER 9000 BTU	https://www.electronew.com/fr/climatisation/climatiseur-haier-geos-25kw-9000btu-aa-r32-wifi-23037.html	22/05/2020
Syst (B)	Tube PVC manchonné Ø 110 L 4 m	https://www.bricodepot.fr/saint-quentin-harly/tube-pvc-manchonne-110/prod14294/?jsessionid=89640DD72AFA76D5AE6FE77E9CE04D89.node31	13/04/2021
	Colle PVC GEBSOPLAST GEL+ boîte 250ml	https://www.manomano.fr/p/colle-canalisation-pvc-gebsoplast-250-ml-24675018?model_id=1021284	13/04/2021
	Coude mâle / femelle 87° pvc Diam.110 mm GIRPI	https://formatub-budget.com/male-femelle-87/490-coude-pvc-8730-mf-d110.html	15/04/2021
	Té simple femelle / femelle 87° pvc Diam.110 mm GIRPI	https://www.leroymerlin.fr/produits/chauffage-plomberie/evacuation-des-eaux-usees/tube-et-raccord-evacuation-eau/raccord-evacuation/te-simple-femelle-femelle-87-pvc-diam-110-mm-girpi-63069265.html	15/04/2021
	Borne Galva d'Aspiration pour Puits Canadien ou Provençal Noire Standard (+ filtre poche G4)	https://www.prosynergie.fr/borne-galva-daspiration-pour-puits-canadien-ou-puits-provençal-noire-standard-filtre-g4-p-210097	15/04/2021
	Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 100 Q Ø 96 mm	http://www.axelair-ventilation.fr/vdoc/resource/filecenter/document/042-0000n5-005/tarif-axelair-2021-bd.pdf	20/04/2021

	Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 100 Ø 96 mm		20/04/2021
	Extracteur centrifuge en conduit Lineo XL 125 Ø 122 mm		20/04/2021
	Bouche extraction et insufflation	https://www.manomano.fr/p/bouche-dextraction-insufflation-aurea-18072834?model_id=18070836	21/04/2021
	Gaine souple en PVC isolée 10 m ø125 mm ATLANTIC	https://www.manomano.fr/p/gaine-isolee-atlantic-pvc-diam-125-longueur-10m-55332	21/04/2021
	Kit de régulation (Registre motorisé + thermostat) ATLANTIC	https://www.electrissime.fr/kit-de-regulation-pour-puit-canadien-423156-a21907.html	23/04/2021
	Grillage avertisseur 50 m	https://www.leroymerlin.fr/produits/materiaux/p/arpaing-fer-a-beton/gaine-de-protection-et-grillage-avertisseur/grillage-avertisseur/	17/04/2021
	Tuyau spirale semi rigide PVC 30 m	https://www.atecfrance.fr/merchant/product/tuyau-spirale-pvc-diam-interieur-60-mm-couronne-30-m	22/05/2021
Syst (C)	Extracteur IN LINE 125 La marque Aldes	https://pro.aldes.fr/media/10988/catalogue-aldes-2021-maj-tarif-010521.pdf	22/05/2021
	Gaine souple en PVC isolée 10 m ø125 mm ATLANTIC	https://www.manomano.fr/p/gaine-isolee-atlantic-pvc-diam-125-longueur-10m-55332	23/05/2021
	Réduction extérieure excentrée PVC gris la marque Nicoll Ø 125/63 mm	https://www.pointp.fr/p/gros-oeuvre-bpe-voirie-tp/reduction-exterieure-excentree-mf-pvc-gris-nicoll-125-63-mm-A3606010	23/05/2021
	Tube d'évacuation PVC, Diam.63 mm, L.2 m	https://www.leroymerlin.fr/produits/chauffage-plomberie/evacuation-des-eaux-usees/tube-et-raccord-evacuation-eau/tube-evacuation/tube-evacuation-pvc-diam-63-mm-l-2-m-68731614.html	25/05/2021
	Coude 45° PVC	https://www.cedeo.fr/p/plomberie/coude-45-mf-	26/05/2021

gris - Ø 63 mm la marque NICOLL	ucl4-pvc-gris-63-mm-A1734044	
Bouche extraction	https://www.manomano.fr/p/bouche-dextraction-insufflation-aurea-18072834?model_id=18070836	26/05/2021
Grille Filtre à Charbon Hy Filter - Ø 125mm 200m3/H	https://www.cultureindoor.com/fr-fr/hy-filters-carbon/1255-filtre-a-charbon-actifs-hy-filter-v2-carbon-125mm-200m3-h-3700688504612.html	27/05/2021

Lexique

Confort thermique

Sensation de bien-être lorsqu'on est exposé à une ambiance intérieure. Correspond sur le plan physique à un état d'équilibre thermique entre le corps humain et les conditions d'ambiance dans lesquelles il se trouve.

Mono split

Type de climatiseur composé d'une unité intérieure et d'une unité extérieure.

RT

Réglementation thermique. Désigne la réglementation applicable en France en matière de comportement thermique des bâtiments.

RT 2012

Réglementation thermique 2012. Norme de consommation énergétique qu'il faut respecter toute nouvelle construction en France. Les trois critères principaux sont la consommation annuelle totale ($< 50 \text{ kWh/m}^2$), les déperditions instantanées et la température intérieure maximale normalisée.

Hygrométrie

S'exprime en pourcentage : 100 % d'hygrométrie dans l'air correspond au taux maximal au-delà duquel l'air ne peut plus absorber d'humidité. Le taux d'hygrométrie de l'air est variable en fonction de la température de l'air et de sa pression.

Étude thermique

Étude de la performance énergétique initiale d'un logement et des performances énergétiques après travaux d'amélioration énergétique. Ces derniers peuvent correspondre à différentes combinaisons de travaux ou à des travaux isolés. La méthode de calcul TH-CEex est imposée dans le cadre de l'éco-prêt à taux zéro ou de la réglementation thermique des bâtiments existants.

Ventilation

Permet le renouvellement et l'assainissement de l'air intérieur d'un local ou d'une construction. Le but est d'apporter suffisamment d'air frais ou d'air neuf hygiénique nécessaire aux individus et indispensable à la respiration du bâti.