



**UNIVERCITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des hydrocarbures de l'énergie**

**Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers**

**Département des énergies renouvelables**

**Mémoire**

**Présenté pour l'obtention d'un diplôme de**

**Master**

**Spécialité : Génie Mécanique**

**Option : Energies Renouvelables en mécanique**

**Présenté par :**

**NEZLI HOUSSAM**

**KESBI ISLAM**

**Thème**

**Étude Expérimental d'un Echangeur**

**Air/ Sol Dans La Région Ouargla**

**Soutenu publiquement le : 12 / 06/2023**

<b>Mr ZOUBEIDI Chahinaz</b>	<b>Président</b>	<b>MCB UKM Ouargla.</b>
<b>Mr HADJADJ Abdessamia</b>	<b>Examineur</b>	<b>MAB UKM Ouargla.</b>
<b>Mr BELATRACHE Djamal</b>	<b>Encadreur</b>	<b>MCB UKM Ouargla.</b>
<b>Mr MILOUDI Mustapha</b>	<b>Co-Encadreur</b>	<b>MCB UKM Ouargla.</b>

**Année universitaire 2022/2023**

## الملخص:

إن أهم مصادر الطاقة في العالم هي الطاقة الأحفورية ( بترول , غاز...الخ ) حيث تعتبر هذه الموارد غير صديقة للبيئة في السنوات الاخيرة أثبتت الدراسات ان طاقة حرارة باطن الأرض يمكن استخدامها كطاقة بديلة و التي تعتبر واحدة من أهم الطاقات المتجددة و النظيفة. أثبتت الدراسات السابقة في هذه المذكرة أن طاقة باطن الأرض لا يتم استغلالها سواء في العالم أو من حيث الاستخدام في الجزائر. تهدف هذه الدراسة الى اثبات امكانية استغلال المبادل الحراري الأرضي في مناطق الجنوب من أجل تحسين الراحة الحرارية داخل المنازل من جهة و تقليل الاستهلاك الكهربائي و الحفاظ على البيئة بتقليل انبعاث الغازات من جهة أخرى. قمنا بإنشاء مبادل حراري ( هواء- تربة) في صحراء الجزائر منطقة ورقلة – جامعة قاصدي مرباح حيث تمثلت أبعاده في 4 متر في العمق و 33 متر طول و تم استخدام انابيب من نوع PVC ذات قطر 110 مم , حيث تمت مقارنة النتائج التجريبية مع نموذج رياضي مقترح لحساب درجة حرارة التربة. أثبتت النتائج توافق جيد في عمق 4 امتار بنسبة اختلاق 6.01% بينما هناك اختلاف بين النتائج التجريبية و العددية في كل من 1, 2, 3 أمتار.

**الكلمات المفتاحية :** الطاقة الحرارية الأرضية , مبادل حراري (هواء- تربة) , التبريد , التسخين

## Abstract:

The most significant sources of energy in the world are fossil fuels (such as oil, gas, etc.), which are considered environmentally unfriendly. In recent years, studies have shown that geothermal energy can be used as an alternative energy source, and it is considered one of the most important renewable and clean energies. Previous studies have demonstrated that geothermal energy is not being utilized either globally or in Algeria. This study aims to demonstrate the potential of utilizing ground heat exchangers in southern regions to improve thermal comfort in homes, reduce electricity consumption, and protect the environment by reducing gas emissions. We have constructed an air-soil heat exchanger in the Algerian desert, specifically in the Ouargla region – Kasdi Merbah University, with dimensions of 4 meters in depth and 33 meters in length. PVC pipes with a diameter of 110 mm were used. The experimental results were compared with a proposed mathematical model for calculating the soil temperature. The results showed good agreement at a depth of 4 meters, with a difference of 6.01%. However, there were variations between the experimental and numerical results at 1, 2, and 3 meters.

**Keywords:** geothermal energy, air-soil heat exchanger, cooling, heating.

## Résumé :

Les sources d'énergie les plus importantes dans le monde sont les combustibles fossiles (comme le pétrole, le gaz, etc.), qui sont considérés comme néfastes pour l'environnement. Ces ressources ne sont pas durables. Ces dernières années, des études ont montré que l'énergie géothermique pouvait être utilisée comme une source d'énergie alternative, et elle est considérée comme l'une des énergies renouvelables et propres les plus importantes. Des études antérieures ont démontré que l'énergie géothermique n'était pas utilisée à l'échelle mondiale ni en Algérie. Cette étude vise à démontrer le potentiel d'utilisation des échangeurs de chaleur du sol dans les régions du sud pour améliorer le confort thermique dans les habitations, réduire la consommation d'électricité et protéger l'environnement en réduisant les émissions de gaz. Nous avons construit un échangeur de chaleur air-sol dans le désert algérien, plus précisément dans la région de Ouargla – Université Kasdi Merbah, avec des dimensions de 4 mètres de profondeur et 33 mètres de longueur. Des tuyaux en PVC d'un diamètre de 110 mm ont été utilisés. Les résultats expérimentaux ont été comparés à un modèle mathématique proposé pour calculer la température du sol. Les résultats ont montré une bonne concordance à une profondeur de 4 mètres, avec une différence de 6,01 %. Cependant, il y avait des variations entre les résultats expérimentaux et numériques à 1, 2 et 3 mètres.

**Mots clés :** géothermie, échangeur air-sol, refroidissement, chauffage.

## **Dédicace**

*J'ai fait ce travail à mes honorables parents, qui sont morts en prolongeant leur vie, pour leur vie amour, leurs soins et leurs encouragements continue.*

*Et dans un mon soutien à la vie, mes amis, que vous mouriez en accord avec le succès et que vous preniez soin deux.*

*Et à tous les membres de sa grande famille (la famille de Kesbi et la famille de Bebba), chacun en son nom.*

*A tous nos honorables professeurs qui n'étaient pas au courant de leurs cours. Académique.*

*ET à tous les amis.*

*Kesbi Islam*

## **Dédicace**

*À mes chers parents, qu'Allah les préserve : pour leur sacrifice, leur patience, leur soutien financier et moral afin d'atteindre là où nous en sommes aujourd'hui. À mes frères et sœurs bien-aimés.*

*À la famille de mon grand frère et à ses jeunes pousses, Yaman et Kenan.*

*À tous mes amis et proches qui ont partagé avec moi tout au long de mon parcours universitaire.*

*Nezli houssam*

## **Remerciement**

*Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis d'atteindre cette étape et de présenter ce travail. Ce mémoire a été rendu possible grâce à l'aide de nombreuses personnes à qui nous voudrions témoigner toute notre gratitude.*

*Nous exprimons notre gratitude et nous remercions à M. Djamel Belatrache pour avoir accepté la supervision scientifique.*

*Nous remercions également M. Mustafa Miloudi comme co-directeur de ce mémoire et pour son soutien matériel et moral.*

*Nous remercions également chacun des étudiants Ben Zaza AbdeLataif, Ommani Redwan et l'étudiant Drwich mohamed Soheib.*

## Tables des matières

### Sommaire

Introduction Générale .....	1
<b>CHAPITRE 1 : Etat et statistiques de la consommation énergétique.</b> .....	<b>3</b>
1.1 Introduction : .....	3
1.2 Energie fossile : .....	3
1.2.1 Les sources d'énergie fossile: .....	4
1.2.2 Production et consommation mondiales d'énergie fossile : .....	4
1.2.3 Production et consommation d'énergie fossile en Algérie : .....	7
1.3 Energie renouvelable : .....	9
1.3.1 Source de énergie renouvelable : .....	10
1.3.2 Potentiel mondial des énergies renouvelables : .....	13
1.3.3 Production et consommation mondiales d'énergies renouvelables : .....	15
1.3.4 Potentiel des énergies renouvelables dans l'Algérie : .....	16
1.3.5 Production et consommation d'énergie renouvelable en Algérie : .....	18
Conclusion : .....	19
<b>CHAPITRE 2 :Techniques utilisées pour réduire la Consommation énergétique.</b> .....	<b>20</b>
2.1 Introduction : .....	20
2.2 Le concept de bâtiments qui contribuent à la réduction d'énergie : .....	20
2.3 Conception architecturale pour réduire la demande énergétique: .....	21
2.4 L'utilisation des matériaux isolant : .....	22
2.5 Techniques de ventilation dans les bâtiments : .....	24
2.6 Utilisations des énergies renouvelables: .....	28
Conclusions : .....	36

## Tables des matières

<b>CHAPITER 3 : Méthodes et Résultats</b> .....	37
3.1. Introduction: .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Région d'étude : .....	37
3.3 Modélisation mathématique de la variation de température de sol :.....	39
3.3.1. Modélisation de la température du sol :.....	39
3.4 Setup expérimental:.....	40
3.4.1. Description du montage expérimental :.....	40
3.4.2 Emplacements des thermocouples :.....	41
3.5 Résultats et discussion: .....	43
3.5.1 Variation du Température de sol: .....	43
3.5.2 Etude paramétrique du sol: .....	43
Conclusion Générale.....	48
Références bibliographiques.....	49

## Liste des figures

Figure 1.1: Production mondiale d'énergie primaire en 2019 .....	05
Figure 1.2: production mondiale d'électricité (27004.7 TWH) en 2019.....	06
Figure 1.3 : Consommation d'énergie primaire (583.90 EJ) en 2019.....	06
Figure 1.4 : Consommation final mondial par secteur en 2019 .....	07
Figure 1.5 : Structure de la production d'énergie primaire.....	08
Figure 1.6 : Consommation par forme d'énergie.....	09
Figure 1.7: Consommation nationale par secteur.....	09
Figure 1.8 : composition de un panneau photovoltaïque. Et un panneau thermique.....	10
Figure 1.9: simulation d'une centrale électrique a partir du mouvement des vagues .....	11
Figure 1.10 : Produire de l'électricité à partir de la chaleur de la terre.....	13
Figure 1.11 : Evolution de la capacité de production d'électricité renouvelable entre (2002 et 2020).....	13
Figure 1.12 : la part des énergies renouvelables dans la production mondiale d'électricité (2019). (REN21).....	14
Figure 1.13 : la quantité de électricité produite a partir de l'énergie solaire Dans le monde entre(20102020).....	14
Figure 1.14: La quantité de électricité produite a partir de l'énergie solaire entre (2016 et 2020).....	16
Figure 1.15 : la quantité d'électricité produite a partir de l'énergie Éolienne entre (2016 et 2020).....	17
Figure 1.16 : la production d l'énergie renouvelables(MW) entre 2011 et 2020.....	18
Figure 1 .17: la Consommation d'électricité en Algérie entre l'année 1990 et 2020.....	19
Figure 2.1: forme de bâtiments académiques.....	22
Figure 2.2 : L'isolation par l'intérieur .....	22
Figure 2.3 : l'isolation par l'extérieure .....	23



Figure 2.4 : Schéma montrant la ventilation transversale et la ventilation unilatérale.....	24
Figure 2. 5 : Le principe de fonctionnement de la cheminée solaire .....	25
Figure 2.6: Brise-vent intégré avec toit venturi.....	26
Figure 2.7: Le mur composite Trombe pour le chauffage hivernal, Ma et al, 2019.....	26
Figure 2.8: Réfrigération basée sur le mode de fonctionnement du mur Trombe .....	27
Figure 2.9 : Murs végétalisés.....	28
Figure 2 .10: Un exemple d'utilisation de l'énergie solaire dans un bâtiment.....	29
Figure 2.11 : solaire thermique et four solaire.....	30
Figure 2.12 : éoliennes Savonius.....	31
Figure 2.13 : production d'électricité à partir du mouvement des vagues.....	32
Figure 2.14: Hydroélectricité stockage pompé.....	33
Figure 2.15 : Image montrant le fonctionnement du puits canadien, a) en hiver) en été .....	34
Figure 2.16: échangeur chaleur air-sol, a)vertical, b) horizontal.....	35
Figure 2.17 : Dispositif expérimentale de Moumami et al.....	36
Figure 3.1: Les données climatiques de la région d'Ouargla (2000-2019).....	38
Figure 3.2 : photo du expérimental de l'échangeur sol-air, qui a été réalisé à l'Université de Ouargla.....	40
Figure 3.3 : Le diagramme montre la position des thermocouples pour mesurer les températures à différentes distances.....	41
Figure 3.4: Les différents type de sol. ....	43
Figure 3.5: Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 1 m de profondeur.....	44
Figure 3.6: Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 2 m de profondeur .....	44
Figure 3.7: Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 3 m de profondeur.....	45
Figure 3.8: Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 4 m de profondeur...	45
Figure 3.9: Température du sol à différentes profondeurs dans la région d'Ouargla.....	46

## Liste des tableaux

Tableau 3.1: Propriétés thermo-physiques du sol, de l'air et des tuyaux .....	39
Tableau 3.2: Caractéristiques (pipe) utilisé dans la construction d'un échangeur sol-air .....	40
Tableau 3.3: Appareils de mesure de la température.....	42
Tableau 3.4: Température du sol dans la région Kasdi Merbah 2023.....	43

# Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
T	Température	(° C)
T <sub>0</sub>	Température initiale du sol	(°C)
T	mean annuel température	(°C)
A	amplitude de la variation de la température de Surface du sol	(°C)
$\alpha$	Diffusivité thermique	(m <sup>2</sup> /s)
D	diamètre intérieur du tuyau	(m)
Z	Profondeur à partir de la surface de la terre	(m)
R <sub>pipe</sub>	résistance thermique de la conduite enterrée,	(m K/W)
R <sub>sol</sub>	thermal resistance of the soil	(m K/W)
R <sub>conv</sub>	résistance thermique de la chaleur convective Échange entre l'air et le tuyau,	(m K/W)
K <sub>air</sub>	Conductivité thermique de l'air	(W/m °C)

**Numbers adimensionnels**

Pr : Nombre de Prandtl

Nu : Nombre de Nusselt

Re : Nombre de Reynolds

**Liste Des abréviations**

BP: British Petroleum

SPE : Société Algérienne de production d'électricité

M Tep : Million de tonnes équivalent pétrole

IPP : Producteurs indépendants d'électricité

CVC : systèmes de chauffage, ventilation et climatisation

EHAS : exchanger chaleur air-sol

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale**

Le monde est confronté à des problèmes sans précédent au cours des dernières décennies, qui résident dans la dégradation progressive du système écologique. Causée par l'exploitation des ressources naturelles et des énergies fossiles (gaz, pétrole, charbon) à une échelle massive dans divers secteurs (transport, industrie, santé, construction, etc.), où la consommation nette finale d'énergie prend différentes formes (électricité, carburant,.. etc.). La majeure partie provient des combustibles fossiles, qui génèrent des phénomènes de pollution environnementale. Des émissions de gaz à effet de serre et du réchauffement climatique dû à la combustion du dioxyde de carbone(CO<sub>2</sub>) [1].

Le secteur du bâtiment représente la plus grande part de la consommation d'énergie à l'échelle mondiale et nationale, en raison de l'augmentation de la croissance démographique florissante et de son expansion, ce qui entraîne une demande croissante en énergie [2]. Par conséquent, il est impératif que les scientifiques et les chercheurs travaillent à construire un avenir énergétique différent dans le secteur de l'industrie et de la construction afin de réduire radicalement la facture énergétique, en se basant sur le principe du respect de l'architecture climatique lors de la construction et en encourageant l'utilisation d'énergies renouvelables propres, durables et diversifiées (énergie solaire, éolienne, hydraulique et thermique), contrairement à l'énergie fossile qui est source de pollution environnementale et qui risque de s'épuiser avec le temps.

L'énergie géothermique est considérée comme l'une des sources d'énergie renouvelable les plus propres au monde, avec une multitude d'utilisations. Cependant, elle n'est pas exploitée dans notre pays malgré les conditions propices telles que le climat chaud et l'environnement désertique. Parmi ses utilisations, on trouve l'échangeur air-sol, un système connu sous le nom de "puits canadien", qui a connu un développement notable dans les pays européens et permet de réduire la consommation d'énergie. Il repose sur la technologie de la géothermie à réservoirs d'énergie autonome de la terre pour chauffer ou refroidir l'air intérieur des bâtiments afin d'assurer un confort thermique.

Dans cette optique, nous entreprenons une étude analytique pour concevoir un échangeur géothermique expérimental dans la région d'Ouargla.

Ce mémoire est composé de trois chapitres principaux :

Dans le premier chapitre, nous abordons les statistiques de la consommation énergétique à l'échelle mondiale et nationale, ainsi que le concept de l'énergie fossile, de l'énergie renouvelable et de leur diversité de sources.

Dans le deuxième chapitre, nous traiterons une description sur les techniques visant à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments, notamment l'utilisation des énergies renouvelables et les technologies de ventilation dans les bâtiments.

Le troisième chapitre est consacré à la réalisation expérimentale avec la modélisation mathématique et les simulations numériques qui nous aident à estimer la température du sol, ainsi que la profondeur appropriée pour l'échangeur géothermique.

Enfin, Nous terminons ce mémoire par une conclusion générale.

### **Problématique**

Quelles sont les technologies qui réduisent la consommation excessive d'énergie ?

### **Les Objectives**

- ❖ Améliorer l'efficacité du système de chauffage et de refroidissement des bâtiments.
- ❖ La tendance à la géothermie pour climatiser les bâtiments et assurer le confort thermique.
- ❖ Connaître la profondeur optimale pour exploiter l'échangeur sol-air.
- ❖ Etude de l'efficacité des échanges air-sol dans la région d'Ouargla.

# **CHAPITRE 1**

## **Etat Et Statistiques De La Consommation**

## 1.1 Introduction :

L'énergie est une substance essentielle et nécessaire à la vie humaine, elle est donc utilisée dans l'activité humaine de diverses manières, notamment sous des formes mécaniques, thermiques, chimiques, électriques et nucléaires. L'énergie est aussi un bienfait social, car elle nous fait vivre et sécurise notre bien, y compris les bâtiments avec ses différents secteurs, disponibles pour répondre aux besoins et de nombreux équipements (éclairage, cuisine, chauffage, etc.)[3]. Même leur utilisations dans divers domaines peuvent connaître une augmentation importante et excessive au niveau mondial et national, qu'il s'agisse d'énergie fossile ou renouvelable, alors que dans ce chapitre, nous verrons l'état de la consommation d'énergie et leurs statistiques au niveau mondial et en Algérie.

L'énergie entraîne tous les phénomènes naturels, tel que la croissance des plantes, le vent, les courants fluviaux, les vagues, la chute d'objets, etc. En physique, elle est définie comme la capacité d'un système à effectuer un travail. Il a plusieurs aspects (thermique, cinétique, électrique, etc.) et l'une de ses principales propriétés est qu'il peut être transformé d'une forme à une autre [4].

## 1.2 Energie fossile :

L'énergie fossile est celle qui est tirée principalement du charbon, du pétrole et du gaz naturel. Elles sont appelées fossiles car elles proviennent de la décomposition très lente d'éléments vivants (principalement des plantes) il y a plusieurs millions d'années. Elles sont donc, en toute logique, tirées de la terre. Leur quantité est limitée sur Terre, leur extraction provoque leur épuisement. Il est plus ou moins facile d'extraire cette énergie, en fonction des conditions géologiques et de l'évolution des techniques [5].

Ces matières sont utilisées en les brûlant, ce qui produit du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et est la cause principale du réchauffement climatique. En 2021, l'agence internationale de l'énergie reporte que les gaz à effet de serre atteint une valeur de 40.8 GT CO<sub>2</sub> [6].



### 1.2.1 Les sources d'énergie fossile:

#### a. Pétrole :

C'est une huile minérale naturelle très foncée qui est plus dense que l'eau douce. Le pétrole se forme à la suite de la décomposition du plancton (sédiments organiques et minéraux), qui s'est accumulé sur les fonds marins il y a environ 60 millions d'années, sous l'action de bactéries, sous l'influence de températures et de pressions élevées. Le liquide visqueux sombre qui en résultait était piégé par des roches imperméables. Essentiellement constitué de molécules constituées uniquement d'atomes de carbone et d'atomes d'hydrogène : les hydrocarbures. Le premier puits de pétrole a été foré aux États-Unis en 1859 [7].

#### b. Charbon :

Le charbon est une roche organique noire ou brun foncé, principalement déposée au Carbonifère. C'est une roche stratifiée provenant de restes de végétation. Il contient principalement du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène. Différents types de charbon ont des teneurs en carbone allant de 60 à 95 %. . Combiné chimiquement comme dans les produits de la photosynthèse ces teneurs dépendent du degré d'enrichissement du charbon de bois. [8].

#### c. Gaz naturel :

Le gaz naturel est constitué d'un mélange d'hydrocarbures gazeux enfouis dans les roches. Le gaz naturel est composé majoritairement de méthane, dans des proportions importantes L'éthane, le propane, le butane et les traces de C5 sont des hydrocarbures supérieurs, Les hydrocarbures du gaz naturel sont des alcanes de formule générale  $C_nH_{2n+2}$  [8].

### 1.2.2 Production et consommation mondiales d'énergie fossile :

#### a. Production énergétique mondiale :

La production mondiale d'énergie primaire en 2019 est de 584,9 exajoules (255,43 exajoules en 1973) selon l'Agence internationale de l'énergie. Les combustibles fossiles représentaient 81,1% de cette production (dont 33,1% de pétrole, 27% de charbon et 24,2% de gaz naturel).

La production d'énergie mondiale qui a été vendue était de 584,9 exajoules en 2019,

## Chapitre 1: Etat Et Statistiques De La Consommation Energétique

Selon British Oil, il atteint 12.1 puis 2009. Il est divisé en 33.1% Pétrole et 27% pour le charbon, 24.2% proviennent du gaz naturel, ce qui laisse le nucléaire avec 4.3% nucléaire, où le reste des taux reste à d'autres énergies [7].

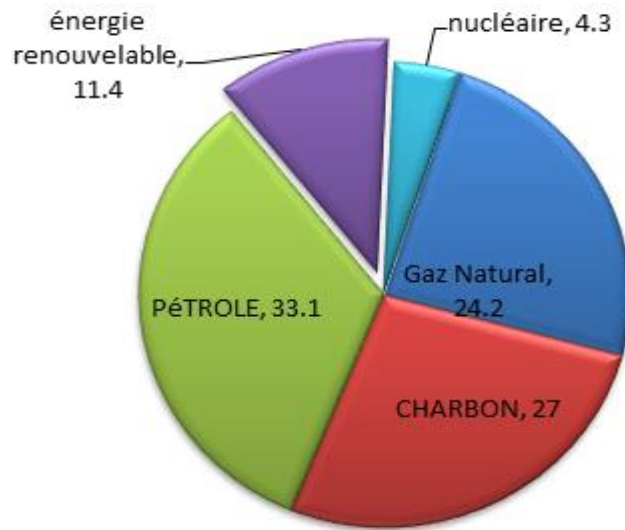
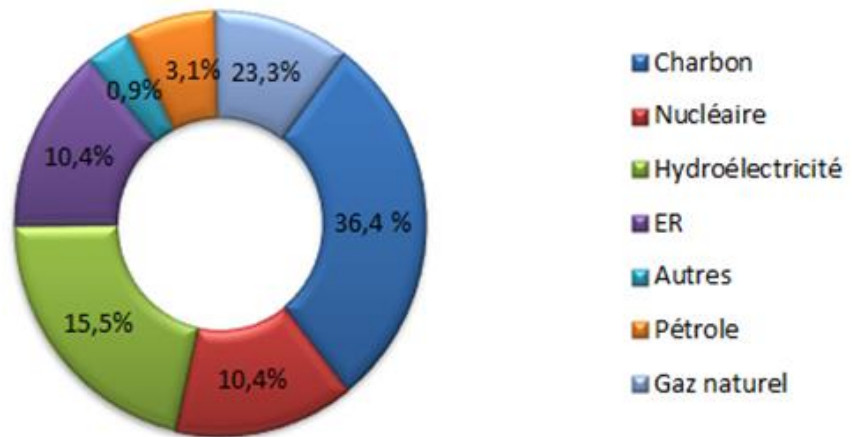


Figure 1.1: Production mondiale d'énergie primaire en 2019[7].

### b. Production d'électricité :

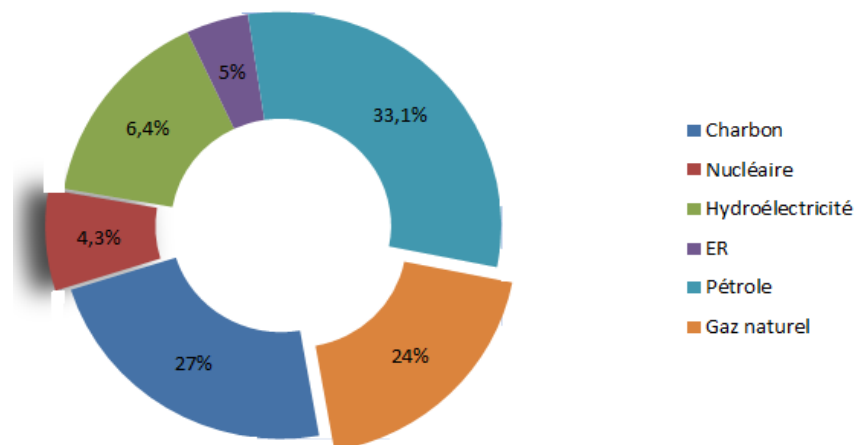
L'électricité peut contribuer à une transition électrique « bas en carbone » à l'échelle mondiale, et cela se produit lorsque la production d'électricité devient naturellement décarbonée. Cependant, malgré une baisse de 2.8 % de la production d'électricité à partir du charbon l'année dernière 2018, le charbon reste de loin la principale source de production d'électricité mondiale, il a représenté 36.4% de la production mondiale d'électricité. en 2019[9].



**Figure 1.2:** production mondiale d'électricité ( 27004 ,7 TWH) en 2019[11].

### c. Consommation de l'énergie primaire par source :

Une source d'énergie primaire est une forme d'énergie disponible dans la nature sans conversion. Parfois, il doit être converti en source d'alimentation secondaire pour faciliter son utilisation et sa portabilité. Dans le secteur de l'énergie, une distinction est faite entre la production d'énergie primaire, son stockage et son transport sous forme de sources d'énergie, et la consommation d'énergie finale [7].



**Figure 1.3 :** Consommation d'énergie primaire (583 ,90 EJ) en 2019 [11].

La consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 1.3 % en 2019 (contre 2,8 % en 2018). Cette augmentation de la consommation concerne "les trois quarts des énergies

## Chapitre 1: Etat Et Statistiques De La Consommation Energétique

renouvelables et du gaz naturel", selon BP. Cependant, le pétrole reste de loin la principale source d'énergie consommée dans le monde (33.1 % de la consommation mondiale d'énergie primaire en 2019), devant le charbon (27 %) [9]. Comme le montre la figure I.3.

### d. Consommation de l'énergie par secteur :

Le bâtiment et l'industrie sont aujourd'hui les deux secteurs les plus consommateurs d'électricité, respectivement pour près de 11800 TWh et 9300 TWh, tandis que le transport représente moins de 2 % de la consommation d'électricité. Compte tenu de l'efficacité supérieure des équipements utilisant l'électricité, par rapport aux équipements utilisant directement des combustibles, la part de l'électricité dans la satisfaction de la demande d'énergie utile est encore plus élevée, dépassant 43% d'ici 2040 dans le scénario de développement durable [10].

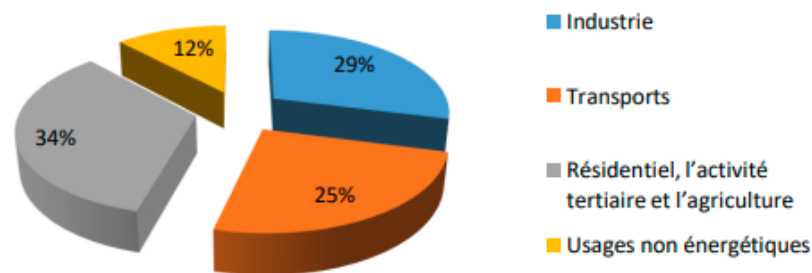


Figure 1.4 : Consommation finale mondiale par secteur en 2019 [7].

En 2019, le secteur résidentiel, troisième activité, et l'agriculture ont connu le taux de consommation le plus important avec 34% de la consommation totale, la consommation d'énergie pour l'industrie avec une valeur de 29%, les transports avec 25% et les 12% restants pour les usages non énergétiques.

### 1.2.3 Production et consommation d'énergie fossile en Algérie :

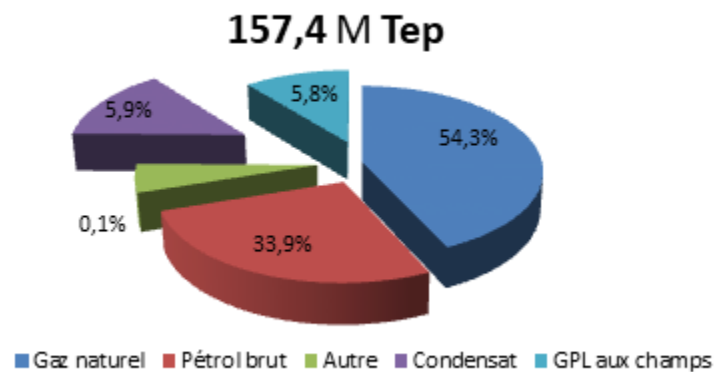
#### a. Production nationale énergétique :

La production commerciale d'énergie primaire en Algérie a baissé de 4,8 % par rapport à 2018, atteignant 157,4 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep), principalement en raison

## Chapitre 1: Etat Et Statistiques De La Consommation Energétique

d'une diminution de la production de tous les produits énergétiques, à l'exception de l'électricité.

Ainsi, la production d'électricité primaire est passée de 783 à 835 GWhs en 2019, tirée par une hausse (+30%) de la production de la filière hydraulique à la suite d'une pluviométrie favorable en 2019, où la production totale a été de 152 GWh contre 117 GWh en 2018 [12].



**Figure 1.5 :** Structure de la production d'énergie primaire [12].

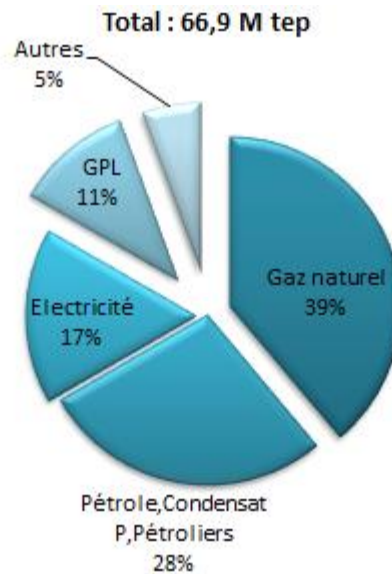
### b. Production nationale d'électricité:

En 2019, la consommation spécifique moyenne des centrales électriques (SPE, IPP et SKTM) en Algérie a connu une amélioration, passant de 2,48 kWh en 2018 à 2,33 kWh en 2019, grâce à une augmentation de 2,2% des prélèvements de gaz naturel destiné à la production d'électricité par les acteurs du secteur, qui ont atteint 18,3 millions de tonnes (par Sonelgaz et les producteurs indépendants) [13].

### c. Consommation par forme d'énergie :

La consommation finale a atteint de 65 Mtep en 2018 et de 66,9 Mtep en 2019, par rapport à 2018 elle a augmenté de 3 %, principalement grâce au gaz naturel et aux produits pétroliers (3,9 % chacun).

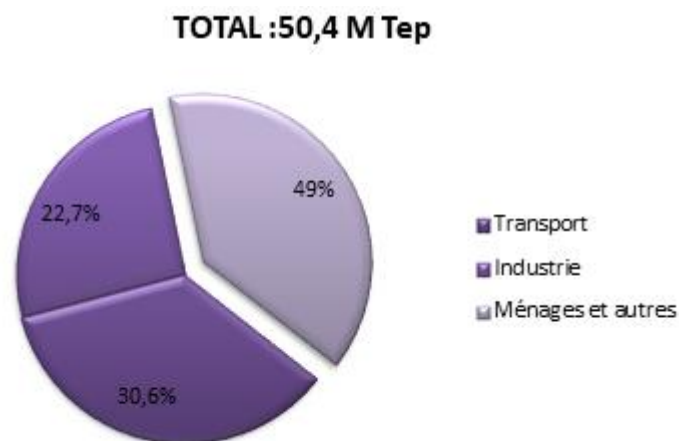
Le gaz naturel (38.4%), l'électricité (28.3%) et les produits liquides (26.6%), prédominent la structure de la consommation nationale, et enfin la consommation finale des GPL (4.1%) et Autre (2,7%). Comme illustré dans la figure I.6:



**Figure 1.6 :** Consommation par forme d'énergie [12].

#### d. Consommation énergétique par secteur:

L'évolution de la consommation finale en 2019, par secteur, dont la structure est encore dominée par le secteur des ménages (46.7%), suivi du secteur des transports (30.6%) et du secteur de l'industrie et de la construction avec une part de 22.7%. Comme illustré dans la figure I.7 :



**Figure I.7:** Consommation nationale par secteur [12].

### 1.3 Energie Renouvelable :

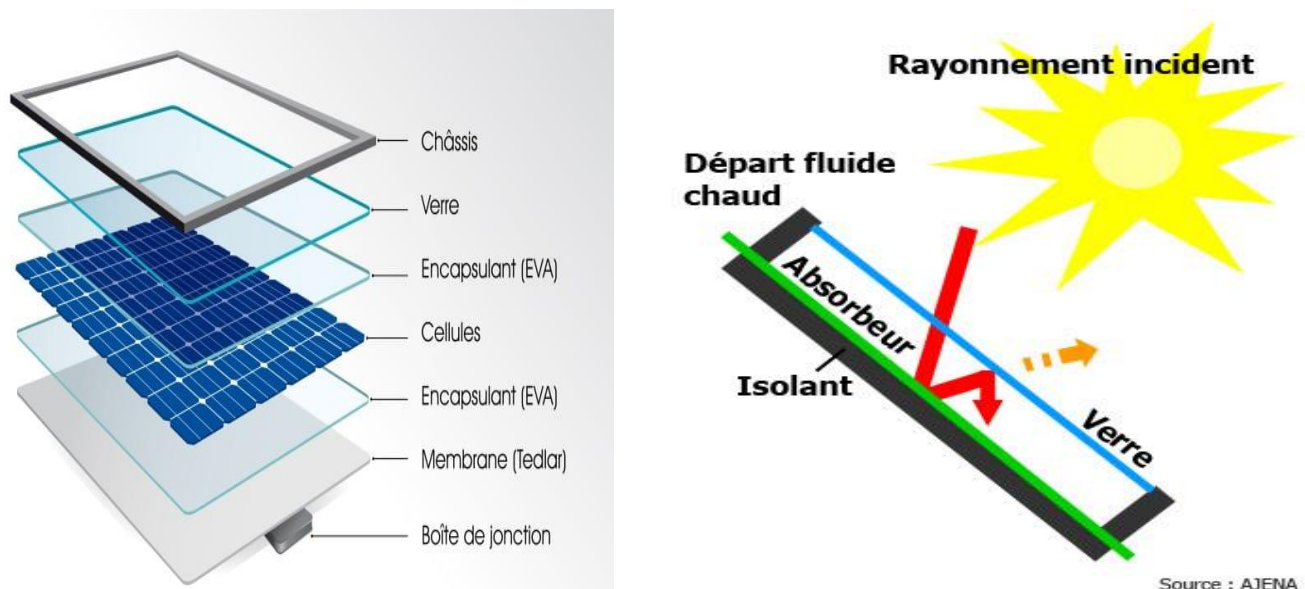
L'utilisation de sources d'énergie renouvelables est très importante lorsque l'on considère la durabilité de l'utilisation actuelle de l'énergie dans le monde. C'est la principale raison pour laquelle les énergies renouvelables sont étroitement liées à l'environnement. Selon de

nombreuses personnes, les énergies renouvelables peuvent être définie comme une énergie naturelle qui n'a pas d'approvisionnement limité, elle sera toujours utilisée et ne s'épuisera jamais. L'énergie renouvelable est générée à partir du soleil, de la pluie, des marées, de la chaleur géothermique et du vent. Ces sources se renouvellent naturellement et en permanence. Selon la précédente définition d'énergie renouvelable, nous trouvons nécessaire de parler d'énergie renouvelable en référence à ses sources, et ci-dessous nous trouvons une liste des sources d'énergie renouvelables.

### 1.3.1 Source de Energie Renouvelable :

#### a. L'énergie Solaire:

C'est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil. Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable. On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet que peu de CO<sub>2</sub>. Grâce à cette énergie, il est possible de produire de l'électricité. Elle sera captée par des panneaux solaires ou des capteurs thermiques. Ces installations captent les rayons produits par le soleil. Elles convertissent ensuite l'énergie du soleil en électricité ou en chaleur [14].



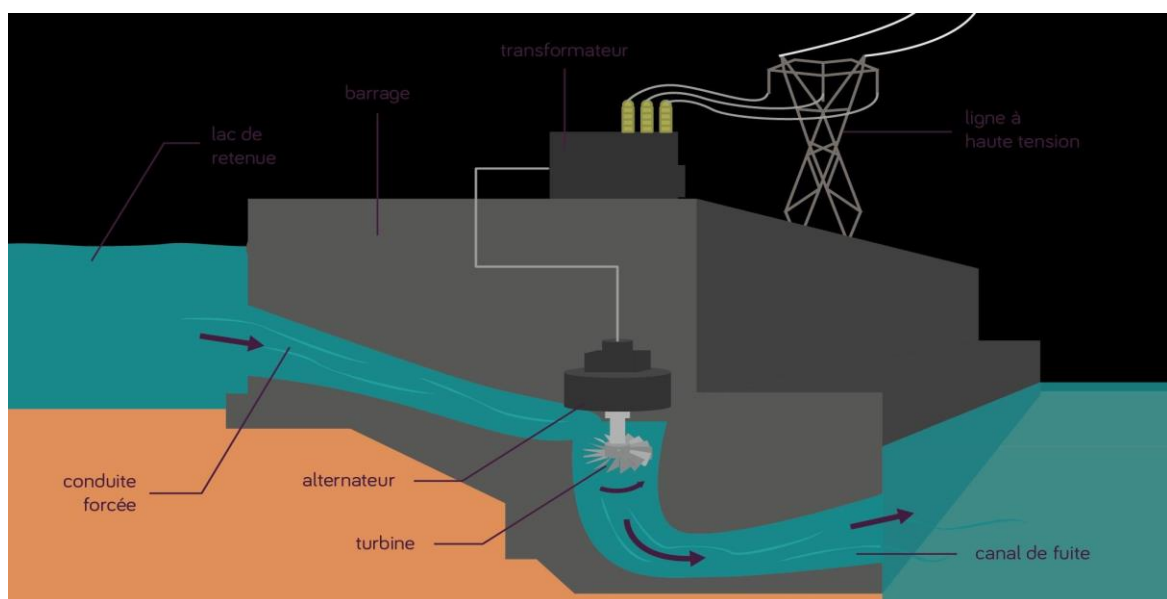
**Figure 1.8** : Composition De Un Panneau Photovoltaïque. Et Un Panneau Thermique [23][24].

### b. Énergie éolienne :

L'énergie éolienne est produite en déplaçant l'air avec la force du vent. Cette énergie peut être obtenue avec un dispositif tel qu'un système éolien. L'énergie éolienne est générée à l'aide d'éoliennes équipées de pales en forme de voile pour créer une résistance au vent. Elles sont généralement installées aux endroits où les vents sont les plus exposés (ex : près de la côte, au sommet des collines, etc.) et peuvent produire jusqu'à 4,5 mégawatts lorsque Le fonctionnement des éoliennes est très simple : le vent fait tourner les pales, entre 10 et 20 tours par minute, puis l'éolienne convertit l'énergie mécanique produite en énergie électrique [14]

### a. L'énergie des marées (o commencé u énergie lunaire):

De nombreux pays côtiers ont commencé à profiter de cette énergie cinétique pour produire de l'électricité et ainsi soulager la pression sur les centrales thermiques, et ainsi réduire la pollution résultant des centrales thermiques qui fonctionnent au charbon ou au pétrole, qui est un type d'énergie de mouvement stockée dans les courants résultant des marées et de la gravité de la lune Et du soleil et de la rotation de la terre autour de son axe, les centrales électriques fonctionnent à partir du mouvement des vagues avec le même principe que les centrales éoliennes, de sorte que l'énergie cinétique de l'eau est convertie en énergie mécanique puis en électricité [13].



**Figure 1.9:** Simulation D'une Centrale Electrique A Partir Du Mouvement Des Vagues [25].



### **b. Énergie Hydroélectrique:**

Cette énergie provient de la force de l'eau en mouvement, Plusieurs technologie permettent d'exploiter cette énergie, les roues à aubes peuvent la transformer directement en énergie mécanique (moulin à eau), tandis que les turbines et les générateurs électriques la transforment en électricité.

### **c. Énergie Biomasse :**

La biomasse désigne l'ensemble de la matière organique pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol). Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées :

- Les solides (ex : paille, copeaux, bûches) ;
- Les liquides (ex : huiles végétales, bio-alcools) ;
- Les gazeux (ex : biogaz).

La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique. Sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant. La biomasse est parfois considérée comme une source d'énergie renouvelable uniquement ; si sa régénération est au moins égale à sa consommation (par exemple, l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres) [16].

### **d. Énergie Géothermique :**

Son grand principe est d'extraire la chaleur de la terre pour l'utiliser pour le chauffage ou pour la transformer en électricité. Grâce au noyau chaud de la Terre, la chaleur rayonne vers la Terre grâce à sa radioactivité naturelle. Le noyau de la Terre peut atteindre 7000 degrés Celsius. Les sources chaudes sont souvent exploitées pour produire de l'électricité à partir de la vapeur émise [17].

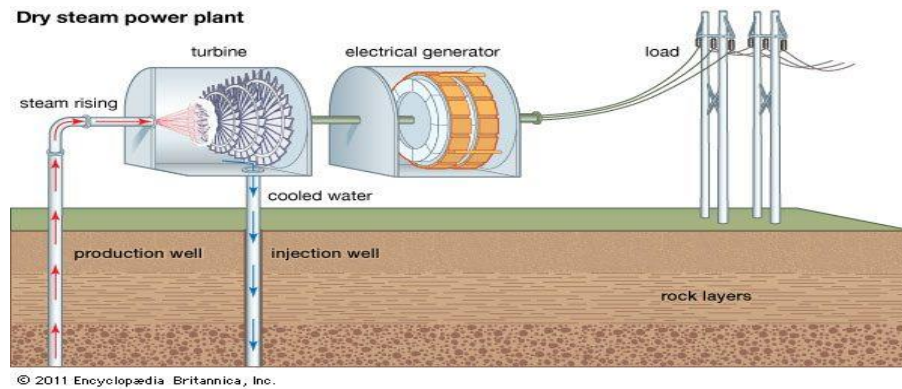


Figure 1.10 : Produire de l'électricité à partir de la chaleur de la terre [26].

## 1.3.2 Potentiel Mondial des Energies Renouvelables :

Actuellement, le charbon, le pétrole et le gaz naturel sont les principales sources d'énergie électrique avec une contribution d'environ (65%). Or, ces sources sont nocives pour l'environnement du fait des gaz à effet de serre résultant de leurs combustions, outre le fait que leur épuisement avec le temps est impératif. Les sources d'énergie renouvelables (SER) peuvent être un bon échange de combustibles fossiles pour couvrir les besoins énergétiques alimentés principalement par les énergies solaire, l'éolien, la géothermie et l'hydroélectricité. L'utilisation de ces sources d'énergie est propre et respectueuse de l'environnement sans émission de gaz à effet de serre, ce qui en fait les énergies de la future. Selon le rapport annuel "Renouvelable statistique 2020 de l'International Renewable Energy Agency (IRENA, 2020), un résumé de l'évolution des capacités cumulées de production d'électricité à partir des principales sources renouvelables dans le monde au cours des dix dernières années (2002-2020).

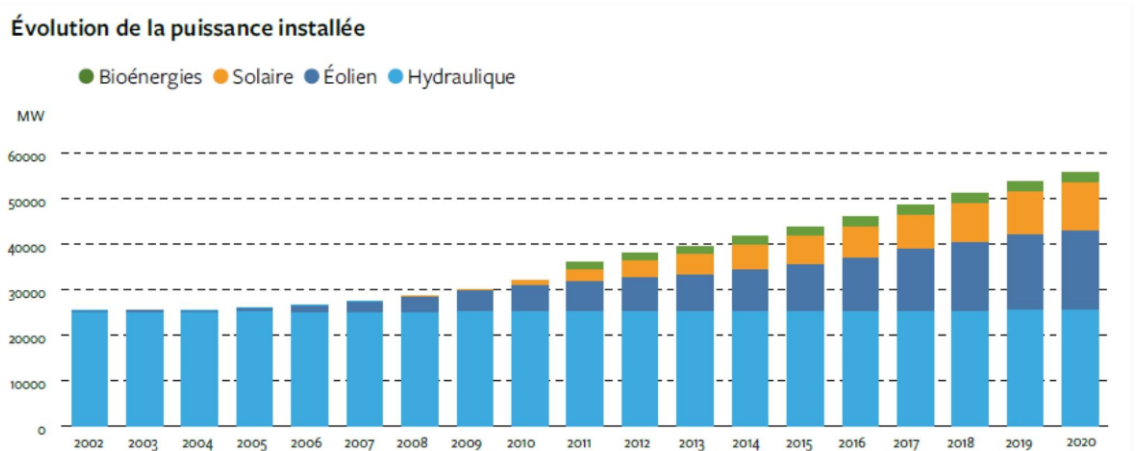


Figure 1.11 : Evolution de la capacité de production d'électricité renouvelable entre (2002 et 2020)

[27].

## Chapitre 1: Etat Et Statistiques De La Consommation Energétique

Cette augmentation significative de la production d'électricité renouvelable basée sur diverses technologies, notamment l'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque, traduit clairement la réelle volonté du monde de réaliser une transition énergétique et de sortir de la dépendance aux ressources énergétiques fossiles.

Une brève analyse des statistiques présentées permet déjà d'identifier les premiers éléments qui pourraient aider à orienter objectivement les choix de sources renouvelables à développer dans le cadre de la transition énergétique à ce jour, la capacité installée globale d'énergies renouvelables pour la production d'électricité est estimée à 27.3 % comme illustré dans la figure I.12 [18].

Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2019

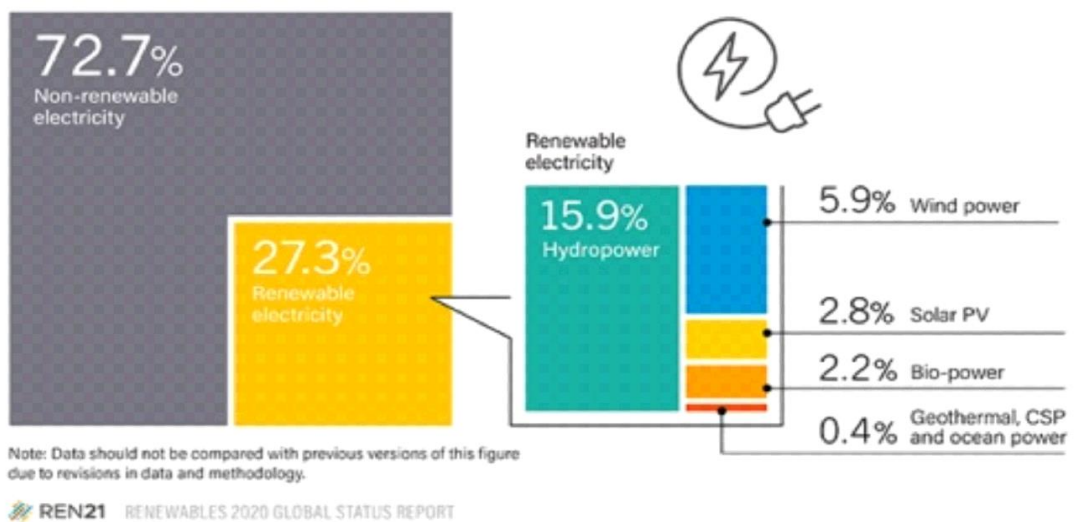


Figure I.12 : la part des énergies renouvelables dans la production mondiale d'électricité (2019). (REN21).

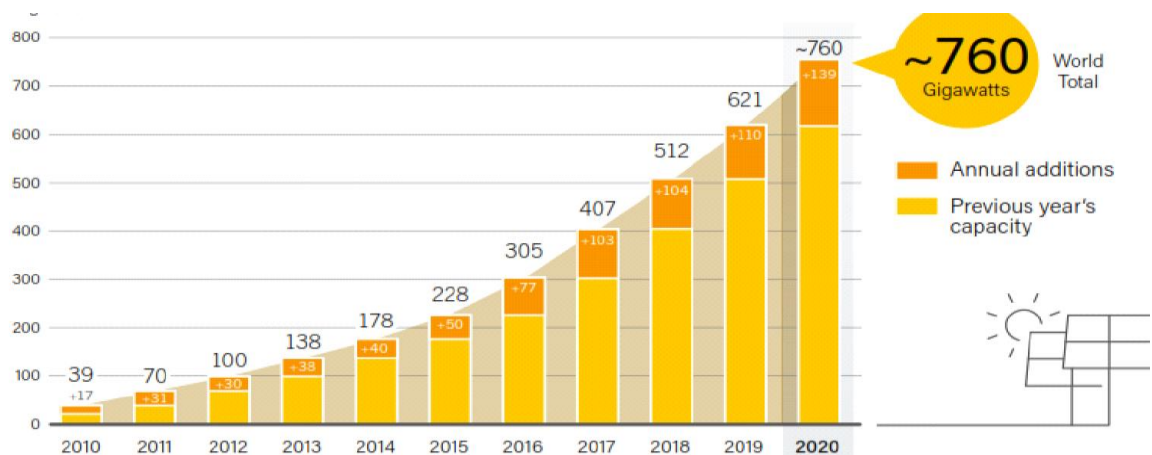


Figure 1.13 : la quantité de électricité produite a partir de l'énergie solaire dans le monde entre (2010 et 2020) [28].

### **1.3.3 Production et Consommation Mondiales d'énergies Renouvelables :**

#### **a. Production D'énergie Renouvelable Dans Le Monde :**

Les installations d'énergie solaire et éolienne étaient capables de produire plus de dix pour cent de l'électricité dans le monde en 2021, selon un rapport de centre britannique "Ember" spécialisé dans la recherche énergétique, un pourcentage enregistré pour la première fois. Le rapport mondial sur l'électricité, qui est le troisième du genre et comprend des données 2021 de 75 pays représentant 93 % de la demande mondiale, a indiqué que cinquante pays ont maintenant atteint le niveau de 10 %, dont la Chine et le Japon, qui ont atteint ce pourcentage l'année dernière pour la première fois.

Les Pays-Bas, l'Australie et le Vietnam ont connu les transformations les plus rapides, la part de l'énergie solaire et éolienne dans ces pays ayant gagné dix points au cours des deux dernières années. Dix pays tirent plus du quart de leur électricité de ces deux sources, dont le Danemark (52%), le Luxembourg (43%) et l'Uruguay (47%). Au total, 38 % de l'électricité mondiale était produite en 2021 à partir de sources dé carbonées, dont l'énergie nucléaire, et l'énergie renouvelable la plus utilisée restait celle de l'hydroélectricité (barrages), mais le charbon produisait également 36 % de l'électricité [19].

#### **b. Consommation énergétique mondiales :**

La consommation finale comprend toutes les utilisations finales d'énergie, a atteint 74,23 Giga joule consommée habitant en 2017, en 2018, la consommation mondiale d'énergie primaire a augmenté de 2.8%. Une augmentation doublée par rapport à 2019 (1,3%), et inférieure à la moyenne de celle des 10 dernières années (1,6%) [29].

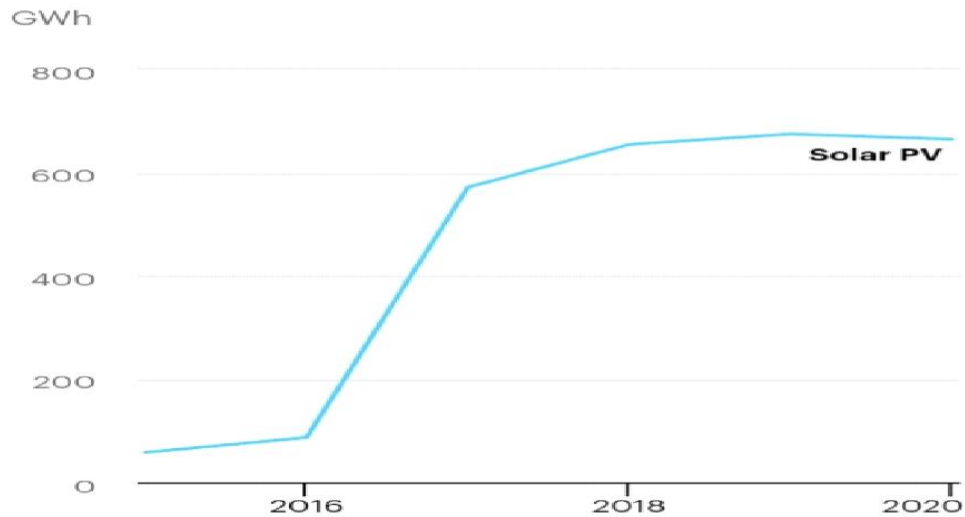
### **1.3.4 Potentiel des énergies renouvelables dans l'Algérie :**

La situation géographique de l'Algérie offre de nombreux avantages pour son utilisation. La vaste superficie de l'Algérie et la diversité tant du relief que du climat entraînent la diversité et la multiplicité des sources d'énergie (notamment renouvelables), et l'Algérie dispose d'un grand potentiel pour générer l'électricité à partir des deux types d'énergie solaire, l'énergie éolienne, en plus de l'énergie géothermique et de l'énergie hydraulique .

#### **a. Énergie Solaire:**

L'Algérie dispose d'un fort potentiel d'énergie solaire, en particulier dans la région sud (le Sahara). Le rayonnement solaire moyen en Algérie varie de 2000 à environ 4000 heures par

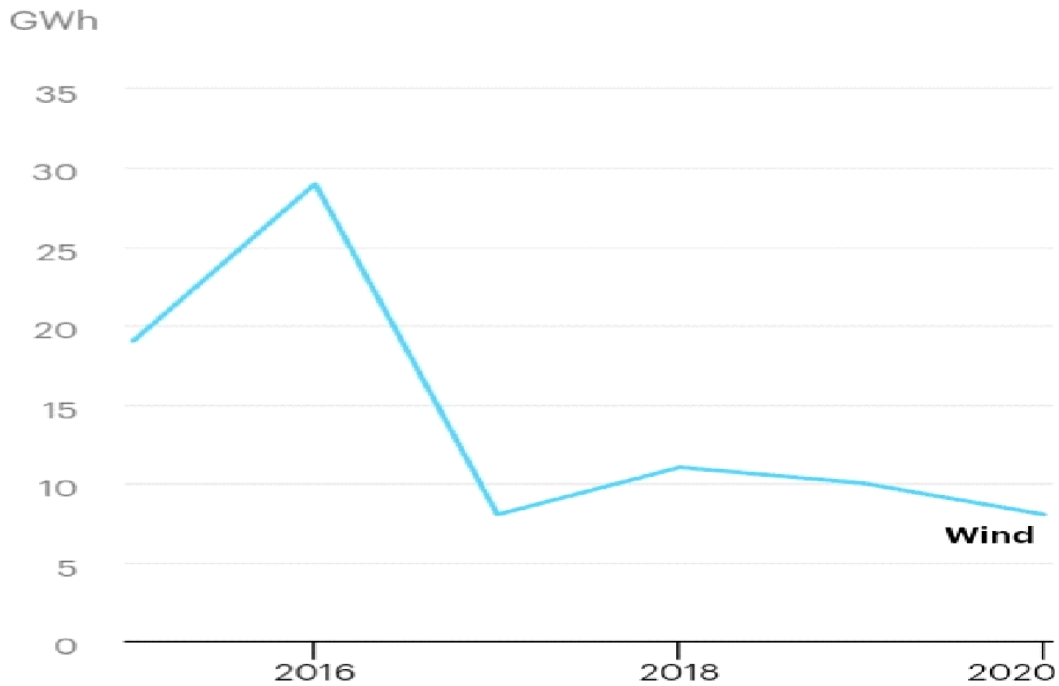
an, ce qui équivaut à 5,1 à 6,6 kilowattheures, selon les estimations du gouvernement. Parmi les plus importantes de ces gares figurent la gare de Laghouat et la gare de Djelfa, outre la gare d'Ain El Melh à M'sila, la gare de Hajira à Ouargla et Oued Nachou à Ghardaïa [21].



**Figure 1.14:** La quantité de électricité produite a partir de l'énergie solaire entre (2016 et 2020) [29].

### b. Énergie éolienne:

Les approvisionnements en énergie éolienne en Algérie se caractérisent par des différences régionales importantes. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse de l'éolienne, du vent, ainsi que des pales et des surfaces balayées par le vent. Le meilleur endroit est dans la région d'Adrar au sud, Hassi R'mel, une zone qui s'étend de Mejrès à Biskra. Haider à l'est jusqu'à Tiaret à l'ouest [22].



**Figure 1.15 :** la quantité d'électricité produite à partir de l'énergie éolienne entre (2016 et 2020) [29].

### c. Potentiel Hydraulique :

L'énergie hydroélectrique est la troisième source d'électricité en Algérie après le pétrole et le gaz naturel (et est considérée comme la première parmi les énergies renouvelables). L'Algérie compte 13 centrales, dont la plupart sont situées dans le nord du pays, où le taux de précipitations est élevé (REN21).

### d. Potentiel de La Géothermie :

La collecte de données géologiques, géochimiques et géophysiques a été possible. Carte géothermique préliminaire. Il y a plus de 200 sources chaudes stockées dans le nord du pays. Un tiers (33 %) d'entre eux avaient de la fièvre, au-dessus de 450°C [17].

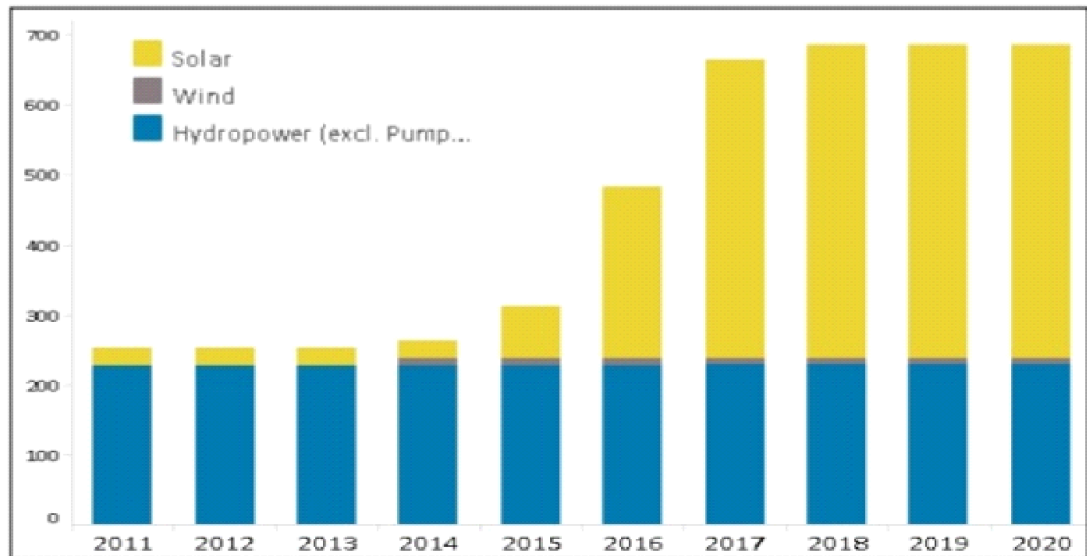
## 1.3.5 Production et Consommation d'énergie Renouvelable en Algérie :

### a. Production dans l'Algérie :

Selon les statistiques de l'Agence Internationale de l'énergie le pourcentage de la production algérienne d'énergie éolienne en 2020 s'élevait à environ 1,11% de la production totale d'énergies renouvelables, avec une diminution notable par rapport à la production de la même énergie en 2016. Alors que le pourcentage de production d'électricité à partir des barrages et des rivières pour l'énergie de l'eau a atteint 6,92 % en 2020, une baisse

## Chapitre 1: Etat Et Statistiques De La Consommation Energétique

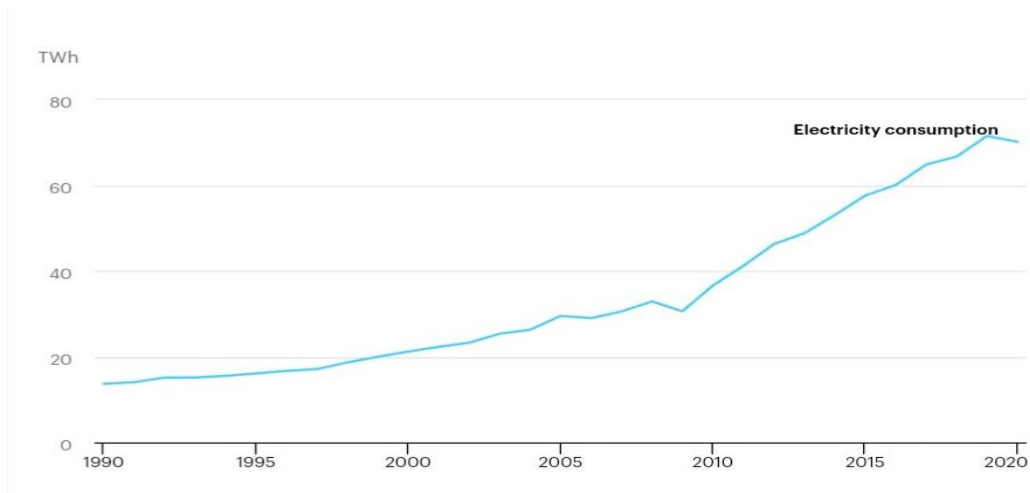
significative par rapport à l'année 2016, où le taux était d'environ 65,27 %. Quant à la production d'énergie solaire, le secteur a connu un grand développement et intérêt, puisque le pourcentage de production de cette énergie est passé de 26,05% en 2016 à environ 91,97% en 2020 de la production totale d'énergies renouvelables en Algérie pour la même année [20].



**Figure 1.16 :** La Production D L'énergie Renouvelables(MW) Entre 2011 Et 2020 [30].

### b. Consommation Dans l'Algérie:

Nous notons que la consommation d'électricité (demande d'énergie) de l'Algérie est ne cesse d'augmenter, en constat que le montant de la consommation d'électricité en 2020 est d'environ 70 TWh, soit une augmentation de plus de 30% par rapport au montant de 2015[29].



**Figure 1.17:** La Consommation D'électricité En Algérie Entre L'année 1990 Et 2020 [29].

### Conclusion :

Suite à notre analyse sur les sources d'énergies fossiles et les sources d'énergies renouvelables, que ce soit dans le monde ou en Algérie, nous remarquons que l'exploitation des énergies renouvelables est quasi négligeable par rapport aux énergies fossiles, surtout au niveau des pays en développement, bien qu'étant une énergie durable (énergie pour l'avenir) d'une part, et d'autre part, les réserves de pétrole dans le monde, notamment avec l'augmentation de la demande d'énergie.



## Chapitre 2

# Techniques Utilisées Pour Réduire La Consommation Énergétique

### **2.1 Introduction :**

Dans le chapitre précédent en constate que la grande consommation d'énergie est due à la forte demande dans divers secteurs aux niveaux mondial et national.

Le secteur résidentiel est l'un des secteurs dont la consommation a un impact significatif sur la consommation totale d'énergie, et représente plus d'un tiers de la consommation finale totale d'énergie (Chapitre I, page 6) et une source tout aussi importante d'émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) qui causent réchauffement et changements climatique. Atteindre une réduction significative de la consommation d'énergie et des émissions dans le secteur des bâtiments est un objectif politique difficile mais réalisable [31]. Pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de dioxyde de carbone dans le secteur des bâtiments, de nouvelles stratégies et techniques sera présenté dans ce chapitre.

### **2.2 Le concept de bâtiments qui contribuent à la réduction d'énergie :**

#### **A. Bâtiment Zéro Énergie (ZEB):**

Des bâtiments indépendants qui fournissent l'énergie nécessaire pour répondre à leurs besoins énergétiques. Ces bâtiments n'ont pas besoin d'être connectés au réseau électrique, avec la possibilité d'utilisé l'énergie stocker dans la nuit ou à d'autres moments [32].

#### **B. Bâtiments à énergie zéro (NZEB):**

Ces bâtiments utilisent des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire et éolienne, réduisent la consommation globale d'électricité avec des appareils à haut rendement, des systèmes de CVC «Chaleur Ventilation et Climatisation» et d'éclairage, et sont des bâtiments annuellement neutres, L'électricité exportée du bâtiment vers le réseau est équivalente à celle qui en est importée [32].

#### **C. Bâtiment à énergie positive (PEB) :**

Les bâtiments transmettent plus d'électricité au réseau d'approvisionnement qu'ils n'en importent annuellement pour produire de l'électricité excédentaire, car ils produisent plus d'énergie qu'ils n'en ont besoin. Le PEB contribue significativement à la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport aux autres bâtiments [32].

#### **D. Bâtiments intelligents (smart buildings):**

Un bâtiment intelligent est un bâtiment qui utilise la technologie pour permettre une utilisation efficace et rentable des ressources, tout en créant un environnement sûr et confortable pour ses occupants [33]. Les systèmes intelligents de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) utilisent plusieurs capteurs pour la surveillance et le contrôle. Le contrôle

## **Chapitre 2 : Technique utilise pour réduire la consommation énergétique**

---

CVC peut réduire la consommation d'énergie dans les zones inoccupées d'un bâtiment, détecter et diagnostiquer les défauts et réduire l'utilisation du CVC, en particulier pendant les périodes de demande énergétique de pointe [34].

### **2.3 Conception architecturale pour réduire la demande énergétique:**

#### **a. Choisir un emplacement stratégique pour le bâtiment :**

Choisissez un bon site du côté ensoleillé avec la meilleure position de vent pour la construction, pour bien s'adapter au paysage.

Pour que les bâtiments puissent capter le faible ensoleillement en hiver entre 9h et 15h afin d'utiliser directement l'énergie solaire pour le chauffer [35].

#### **b. Orientation et forme du bâtiment :**

Une conception spéciale pour les installations, en tenant compte de l'emplacement du soleil, pour réduire la consommation de grandes quantités d'énergie pour le chauffage et le refroidissement et la gagner en imaginant la forme générale du bâtiment, et donner une bonne silhouette pour entrer dans le soleil [35].

#### **✚ Les bâtiments modèles :**

La forme du bâtiment correspond aux différentes organisations de l'espace intérieur. Les types de Point et de Plateau sont les plus courants pour les bibliothèques académiques, qui sont généralement liées à chaque zone fonctionnelle avec l'atrium comme cœur. La zone de lecture de type Point est disposée autour de l'atrium, qui est principalement un espace ouvert fluide connecté les uns aux autres. La zone de lecture de type Plateau est symétrique le long de l'axe central du bâtiment. Comparé à un bâtiment de type Point avec des côtés égaux, le type Plateau augmente la zone sud et réduit les facteurs négatifs des côtés est et ouest [36].

#### **✚ Types de bâtiments :**

Le modèle de bâtiment est divisé en quatre types typiques avec un total de 8 types de formes de bâtiment, comme illustré à la figure (II.1).

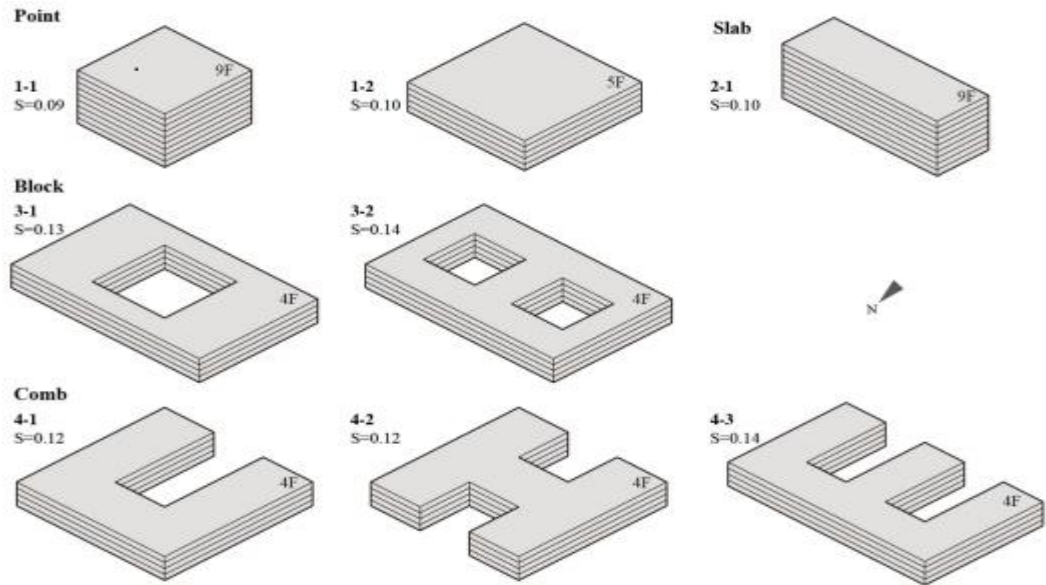


Figure 2.1: forme de bâtiments académiques [36].

### c. Direction nord :

Pendant l'hiver, le côté nord du bâtiment ne reçoit pas de rayonnement direct. Les pièces les plus froides et les plus sombres sont donc disposées le long du bord nord avec le moins de lumière et de chauffage. Ils serviront d'espaces tampons entre les logements et la face extérieure nord, la plus froide du bâtiment [35].

## 2.4 L'utilisation Des Matériaux Isolant :

### a. Isolation Thermique :

L'isolation thermique est le terme désignant les techniques utilisées pour réduire les transferts de chaleur en réalisant une liaison entre un environnement chaud et un environnement froid grâce à la résistance thermique élevée qu'elle peut offrir. Cette technologie permet, grâce à son efficacité, d'augmenter les paramètres thermiques des murs extérieurs du bâtiment, améliorer le confort thermique de l'intérieur et ainsi d'économiser l'énergie dans les bâtiments [37].

### b. Types De Matériaux Isolants :

Il existe de nombreux types d'isolation thermique pour les bâtiments

Et relèvent des matériaux de base, notamment organiques et inorganiques :

✚ matière organique :

"Matériaux fibreux" cellulose, coton, bois, Pâte, canne ou fibres synthétiques.

## **Chapitre 2 : Technique utilise pour réduire la consommation énergétique**

"Matériaux alvéolaires" liège et caoutchouc mousse, Polystyrène, polyéthylène, polyuréthane, polys cyanurâtes et autres polymères.

✚ matériaux inorganiques :

"Matériaux fibreux" verre, roche et laitier.

"Matériaux cellulaires" Silicate de calcium, li éPerlite, vermiculite et produits céramiques [38] .

### **c. Isolation Intérieure Et Extérieure des Murs :**

#### **❖ L'isolation Intérieure :**

C'est le procédé le plus utilisé par les constructeurs en raison de sa facilité d'utilisation dès la mise en œuvre. Lorsque le bâtiment est isolé de l'intérieur en plaçant un matériau isolant derrière une séparatrice construction ou charpente [39].



**Figure 2.2 :** L'isolation par l'intérieur [40].

#### **❖ L'isolation l'extérieure :**

C'est le meilleur isolant qui assure le confort été comme hiver, car il permet de maintenir une grande inertie thermique des parois intérieures et d'éliminer les ponts thermiques [39]. Il consiste à installer une isolation sur la surface extérieure du mur.



**Figure 2.3 :** l'isolation par l'extérieure [40].

### 2.5 Techniques de Ventilation dans Les Bâtiments :

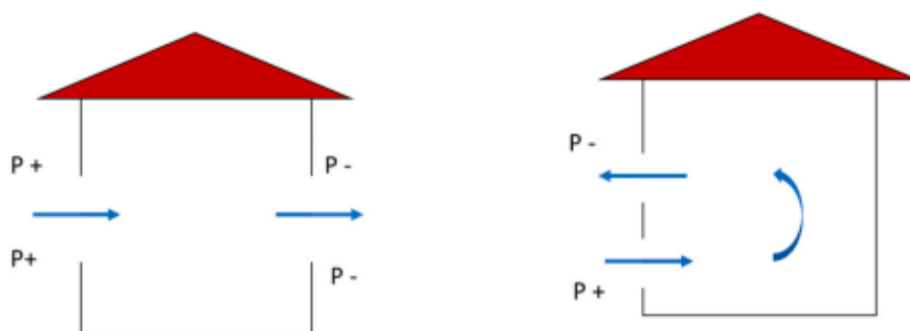
La ventilation naturelle, est devenue une passive prometteuse stratégie de refroidissement pour atténuer les problèmes provenant de l'air systèmes de conditionnement. Comme alternative économe en énergie pour réduire la consommation énergétique des bâtiments. Là où la ventilation naturelle fonctionne pour fournir un bon air intérieur sans aucune demande d'électricité pour déplacer l'air et améliorer le confort thermique en ventilant les utilisateurs [42].

#### a. Ventilation Unilatérale Et Transversale :

La ventilation unilatérale déplace l'air à travers les événements, la ventilation transversale est caractérisée par des événements sur deux façades ou plus, tandis que la ventilation unidirectionnelle est une condition dans laquelle les événements sont présents sur une seule façade. La haute pression causée par le vent d'un côté du bâtiment force l'air dans le bâtiment tandis que l'air sort du côté basse pression, une ouverture transversale est généralement plus efficace

Qu'une ouverture unilatérale car elle peut mieux utiliser la pente de pression plus élevée autour du bâtiment, tandis que l'efficacité d'une ouverture unilatérale dépend de la pente de la façade.

Cependant, dans la pratique, la ventilation unidirectionnelle est souvent utilisée, en particulier dans les bâtiments résidentiels [42].



**Figure 2.4** : Schéma montrant la ventilation transversale et la ventilation unilatérale [42].

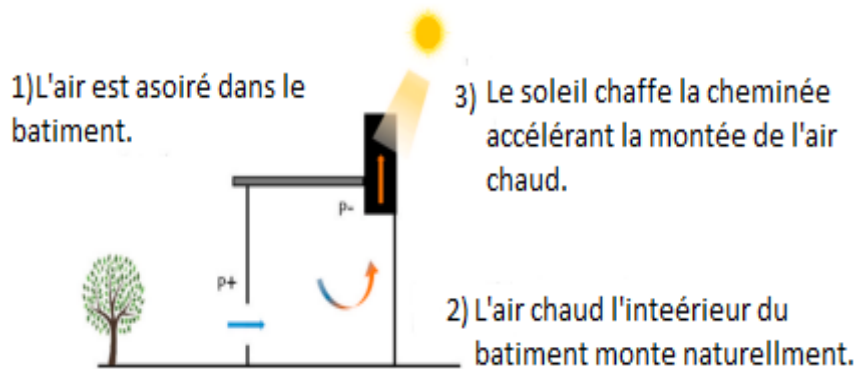
#### b. La Cheminée Solaire :

Une cheminée solaire utilise le rayonnement du soleil pour conduire la ventilation à travers le bâtiment. En mode diurne, le soleil chauffe la cheminée puis l'air à l'intérieur de

## **Chapitre 2 : Technique utilise pour réduire la consommation énergétique**

celle-ci. Ce qui fait monter l'air chaud par la cheminée, créant un tirage vers le haut. L'air frais est ensuite aspiré dans le bâtiment par les ouvertures inférieures pour ventiler le bâtiment [42].

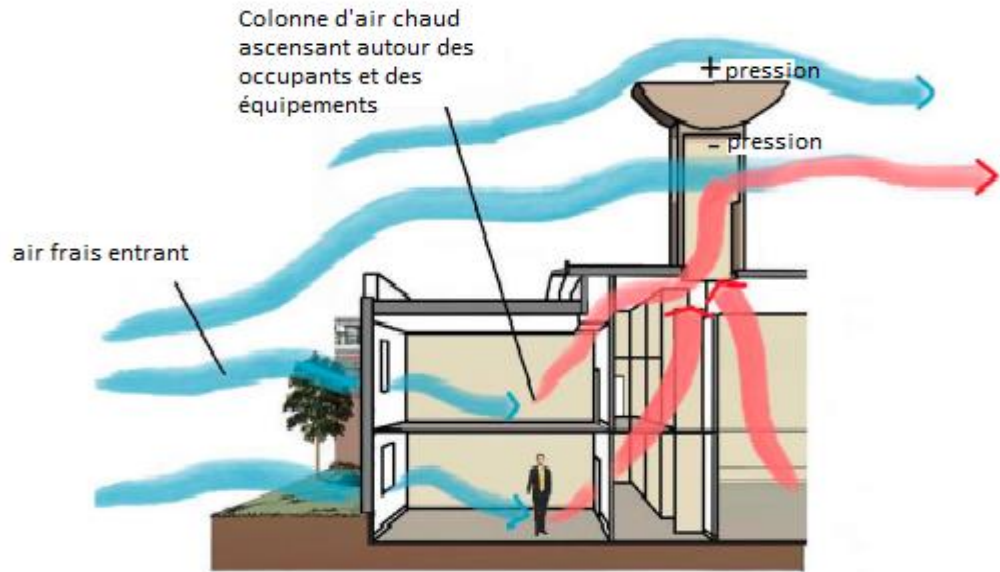
L'énergie solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée. En raison de la différence de la température d'air, un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée provoque un mouvement ascendant d'air [43].



**Figure 2.5 :** Le principe de fonctionnement de la cheminée solaire [42].

### **c. Tour A Vent :**

Un système de ventilation en forme de cheminée destiné à capter les vents extérieurs est également appelé une tour à vent [42]. Basé principalement sur la ventilation éolienne et les cheminées impact. Pendant la journée par le mouvement des vents extérieurs au niveau du toit, une pression positive et négative est produite simultanément du côté sous le vent de la structure. Cette différence de pression est tout à fait suffisante pour fournir de l'air frais aux espaces intérieurs et pour extraire l'air chaud et vicié, la nuit, en l'absence de mouvement d'air ou par vent faible le dispositif de capteur de vent fonctionne en utilisant la flottabilité naturelle du thermique [41]. La capacité d'augmenter la température de l'air soufflé pour répondre aux attentes de confort thermique des utilisateurs avec des coûts énergétiques associés minimales ou nuls réduira considérablement la demande énergétique totale dans les bâtiments [45].

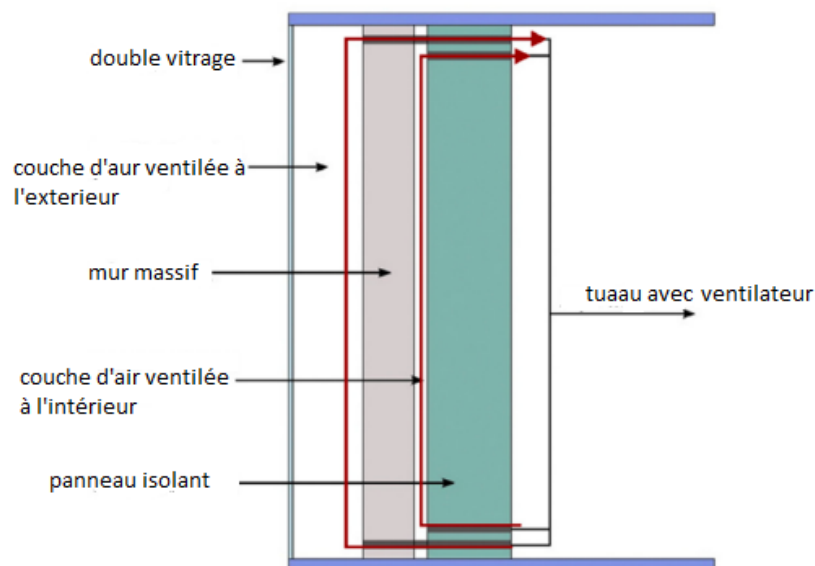


**Figure 2.6:** Brise-Vent Intégré Avec Toit Venturi [46].

### d. Le mur trombe :

✚ Là où en 2019 ils ont étudié l'amélioration énergétique d'un bâtiment administratif à l'aide d'un mur de trombe bien ventilé, en réalisant des simulations numériques par (ma et la), les capacités de chauffage ont été déterminées à l'aide du programme « THERB for HAM », pour estimer la charge thermique, de sorte que le nouveau mur de trombe composite se compose de deux chambres à air séparées et d'un tube avec un ventilateur, comme indiqué dans la figure suivante.

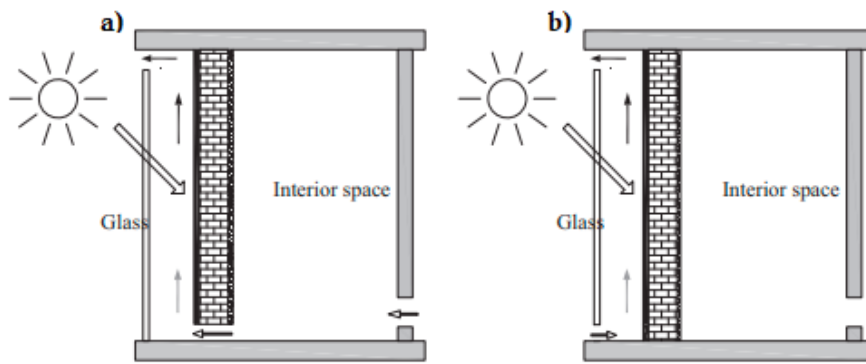
Grâce à cette étude, il est rapporté que le coût de l'énergie peut être réduit jusqu'à 8 % et que la demande annuelle de chauffage est de 3,7 % [48].



**Figure 2.7:** Le Mur Composite Trombe Pour Le Chauffage Hivernal, Ma et al, 2019[48].



✚ Un autre type de mur Trombe, basé sur le refroidissement, a été développé, ce qui correspond simplement à une autre configuration pour le fonctionnement du mur Trombe basé sur le chauffage. Dans les régions à climat tempéré, lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure, le type de mur Trombe basé sur le refroidissement fonctionne comme un système de ventilation naturelle (Figure 8(a)). Cependant, dans les régions chaudes, lorsque la température extérieure est supérieure à la température intérieure, il agit comme un isolant thermique pour réduire l'apport de chaleur dans la pièce (Figure 8(b)). Les deux modes de fonctionnement peuvent fournir un refroidissement passif de l'espace intérieur [47].



**Figure 2.8:** Réfrigération Basée Sur Le Mode De Fonctionnement Du Mur Trombe.

### e. Murs végétalisés ou façades végétalisées :

Les façades vertes sont une solution alternative visant à diminuer la consommation d'énergie résultant de la climatisation des espaces intérieurs. Cette approche repose sur l'utilisation d'une couche végétale appliquée directement sur la surface des murs ou des bâtiments à l'aide d'une structure métallique. Cette couche végétale agit comme un film qui contribue à rafraîchir la température de l'air intérieur, réduisant ainsi la demande en énergie.

Des chercheurs ont mené des études pour étudier la possibilité d'utiliser des plantes, et l'effet bénéfique de ce système passif utilisé sur la performance énergétique des bâtiments, Comme nous le verrons dans l'étude menée par (Wong et Baldwin) en 2016.

Un climat subtropical a été étudié où une longue période (sept mois par an) de refroidissement est nécessaire. Avec la proposition d'un système technique applicable aux bâtiments de grandes hauteurs, et compte tenu de la facilité d'entretien et de conception du système de Support, il a été obtenu dans cette enquête une réduction significative de la consommation d'énergie par rapport à la climatisation. L'utilisation du mur végétal a également un rôle

## **Chapitre 2 : Technique utilise pour réduire la consommation énergétique**

bénéfique dans le maintien d'un climat intérieur confortable et la réduction du niveau d'émission de dioxyde de carbone [48].



**Figure 2.9 : Murs végétalisés [48].**

### **2.6 Utilisations des énergies renouvelables:**

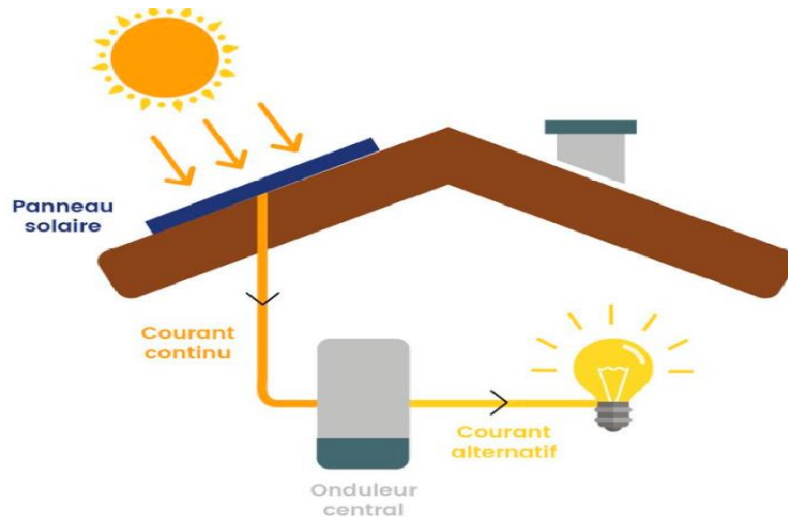
Les énergies renouvelables sont utilisées dans les bâtiments selon le type de source d'énergie : énergie soleil, éolienne, géothermique, hydraulique.

#### **a. L'énergie du soleil :**

Il est possible de concevoir des bâtiments de manière à exploiter l'énergie solaire pour le chauffage et l'éclairage, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie électrique. L'énergie solaire est également largement utilisée pour le chauffage, notamment dans les régions méditerranéennes [49]. Il existe deux types d'énergie solaire : l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie solaire thermique.

#### **☀ L'énergie Solaire Photovoltaïque :**

L'énergie photovoltaïque exploite également le rayonnement solaire, mais la convertit directement en électricité par des panneaux photovoltaïques capables de convertir directement la lumière du soleil en électricité [49].



**Figure 2.10:** Un exemple d'utilisation de l'énergie solaire dans un bâtiment [50]

### ✚ Le solaire thermique :

L'énergie solaire thermique consiste à capter le rayonnement solaire pour augmenter la température d'un objet. Cette technique est connue depuis longtemps, car s'exposer au soleil provoque une hausse de la température corporelle. L'énergie solaire thermique peut être utilisée directement pour chauffer l'eau sanitaire, par exemple avec un chauffe-eau solaire, ou pour alimenter des fours solaires [49]. Pour cela, une plaque capte la chaleur du rayonnement solaire et la transfère à un fluide caloporteur, c'est-à-dire un liquide capable de transférer la chaleur. Lorsque ce fluide caloporteur est chaud, il passe à travers un granulat et chauffe l'eau froide qu'il contient [50].

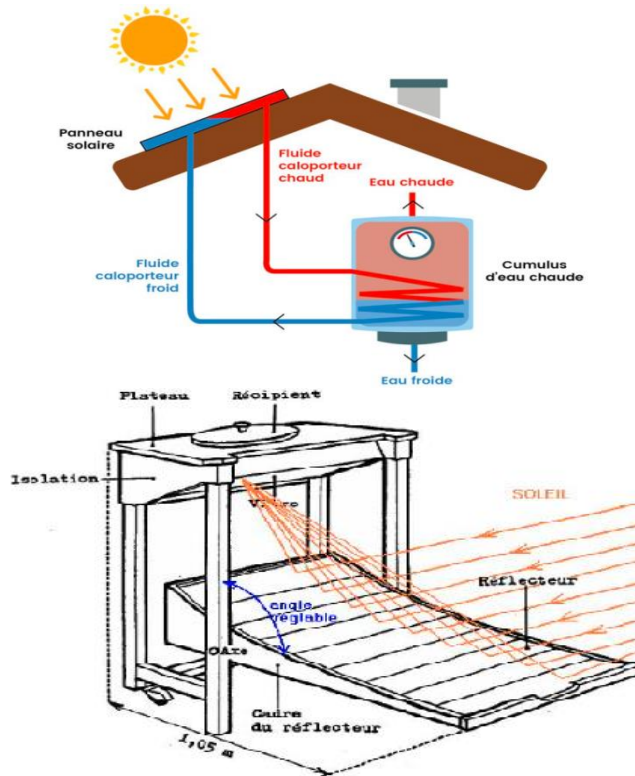


Figure 2.11 : solaire thermique et four solaire [50].

### b. L'énergie éolienne :

Les grandes éoliennes sont installées pour produire de l'électricité à grande échelle, comme les parcs éoliens, tandis que les petites éoliennes sont dites éoliennes intégrées ou éoliennes à axe vertical. Les dimensions de ce type correspondent aux normes de construction. Les principaux composants des éoliennes des deux types sont les pales (ailes), la boîte de vitesses et le générateur. Les petites éoliennes ont été conçues à l'origine avec un axe horizontal (HAWT) afin de les exploiter dans les zones urbaines et sur les toits des gratte-ciel, en plus de réduire le bruit et le champ magnétique générés par la grande éolienne. L'éolienne à axe vertical (200W-10kW) peut être utilisée comme système autonome ou comme système connecté au réseau. Parmi ses avantages, il peut être placé sur les toits des maisons et des bâtiments, dans les jardins et les places afin d'avoir un impact visuel relativement faible et de générer de l'énergie aux vitesses de vent les plus faibles. Les petites éoliennes peuvent également être connectées aux systèmes d'éclairage public (éclairage intelligent). En général, les éoliennes peuvent être divisées en deux groupes principaux :

Turbines Savonius (1929) VAWT, qui fonctionnent principalement sur le principe de la traction.

Et Turbines Darius (1931) HAWT, qui fonctionne sur le principe de la lévitation.

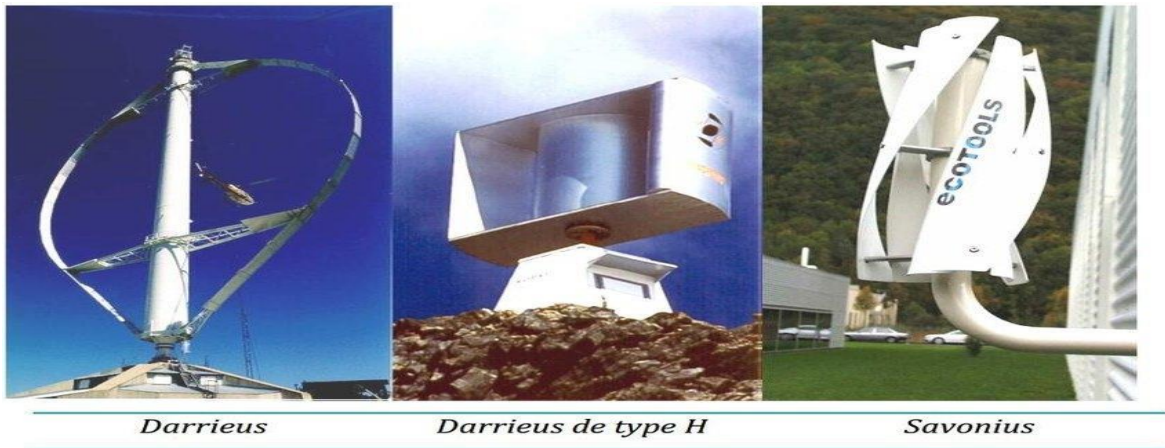


Figure 2.12 : éoliennes Savonius.

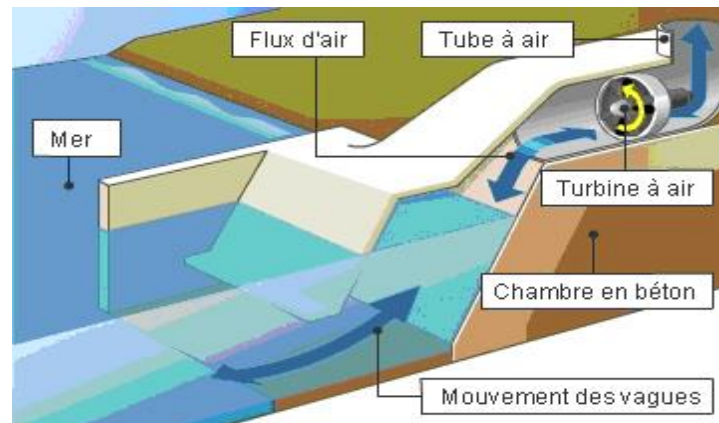
➤ **Avantages De L'éolienne Dans Les Bâtiments :**

Efficacité accrue à des vitesses de vent plus faibles, coûts d'investissement réduits car les pales des éoliennes sont désormais conçues avec des matériaux légers et des principes aérodynamiques, de sorte qu'elles sont sensibles aux petits mouvements d'air, ce qui nous permet de générer de l'énergie à des vitesses de vent de quelques mètres par seconde, les petites éoliennes sont également conçu pour être plus attrayant visuellement. Un autre objectif est de réduire/éliminer les bruits de raquette et de boîte de vitesses/alternateur sans compromettre les performances. Ceci peut être réalisé avec une conception de lame silencieuse. Isolateurs de vibrations pour réduire le bruit et les matériaux sonores autour des boîtes de vitesses et des générateurs.

c. **L'énergie hydraulique:**

➤ **Les colonnes d'eau oscillantes côtières qui recueillent les vagues en fin de course :**

L'eau entre dans un caisson où elle comprime de l'air qui fait tourner une turbine entraînant un générateur électrique.



**Figure 2.13** : production d'électricité à partir du mouvement des vagues.

### ➤ **Les Colonnes D'eau Submergées Oscillent :**

Les bouées sont installées au fond de la mer afin qu'elles montent et descendent et oscillent avec le mouvement des vagues, et leur mouvement active un piston qui pousse l'eau de mer dans les turbines ou comprime l'air ou l'huile, ce qui entraîne le fonctionnement du générateur d'électricité.

- **Des Boîtes Flottantes :**

Reliées entre elles par des charnières articulées formant une sorte de "serpent pelamis". Ces boîtes se déplacent avec le mouvement des vagues. L'électricité est générée par Récupération d'énergie au niveau des articulations mobiles entre chaque caisson grâce aux pistons qui entraînent les pompes à huile sous pression [51].

- **HYDROÉLECTRICITÉ À STOCKAGE PAR POMPE :**

L'hydroélectricité à accumulation par pompage (PSH) est un type de stockage d'énergie hydroélectrique. Il s'agit d'une configuration de deux réservoirs d'eau à des altitudes différentes qui peuvent générer de l'énergie lorsque l'eau descend de l'un à l'autre (décharge), en passant par une turbine. Le système nécessite également de l'énergie car il pompe l'eau dans le réservoir supérieur (recharge). Le PSH agit de la même manière qu'une batterie géante, car il peut stocker de l'énergie puis la libérer en cas de besoin [52].

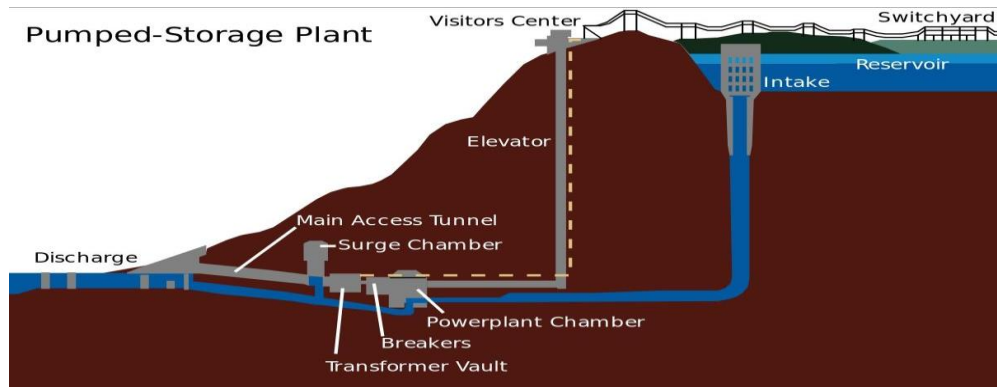


Figure 2.14: Hydroélectricité stockage pompé.

### d. Energie géothermique :

La géothermie utilise une variété de méthodes de captage pour extraire l'énergie emmagasinée sous la surface de la Terre et l'utiliser, principalement pour le chauffage des bâtiments et la production d'électricité. Cette forme d'énergie, appelée énergie géothermique, est une ressource renouvelable appartenant au domaine de la géo énergie [53].

- **Les ressources géothermiques:**

- ✚ La Géothermie à haute énergie :

Les caractéristiques du site géothermique à haute enthalpie, haute température et grande profondeur sont les suivantes :

- La profondeur du site est supérieure à 1500 mètres.
- La température varie entre 80 °C et 300 °C.
- L'objectif principal est de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur.
- Pour atteindre cet objectif, une turbine à vapeur est utilisée pour générer de l'électricité, tandis que les condensats de vapeur sont récupérés pour produire de la chaleur [55].

- ✚ La Géothermie basse énergie :

Une plage de température allant de 30°C à 150°C, se trouvant généralement à une profondeur moyenne de 1000 à 2500 mètres. Elle est présente dans des formations perméables remplies d'eau, principalement situées dans de vastes bassins sédimentaires [54].

- ✚ La Géothermie à très basse énergie :

- Profondeur : elle se situe à des centaines de mètres sous la surface de la Terre.
- Température : les températures des ressources géothermiques basse énergie se situent entre 10 et 30°C.

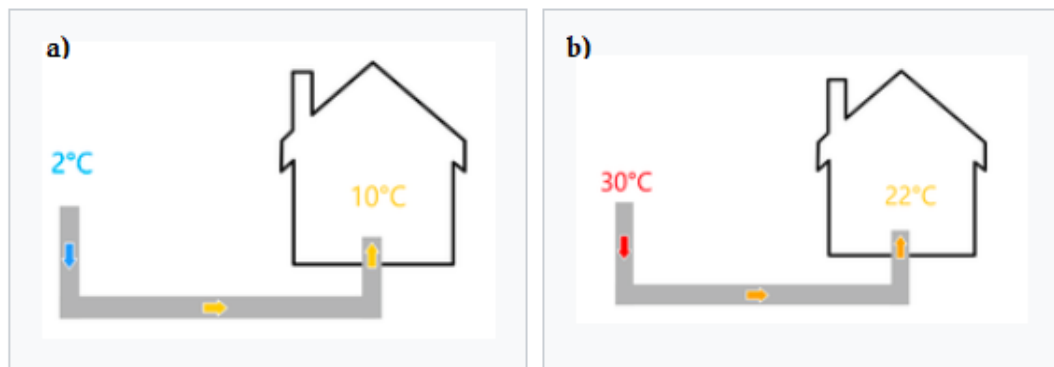
## **Chapitre 2 : Technique utilisée pour réduire la consommation énergétique**

- Objectif : son utilisation vise principalement la climatisation passive, notamment avec des systèmes tels que le puits provençal, ainsi que le chauffage et la climatisation.

- Méthode : pour exploiter ces ressources, on utilise des pompes à chaleur géothermiques qui extraient la chaleur non pas des profondeurs de la croûte terrestre, mais plutôt de l'énergie solaire et du ruissellement de l'eau de pluie. Le sol joue un rôle d'inertie thermique dans ce processus [54].

- **Echangeur air-sol (puits canadien) :**

Un puits canadien est un système dans lequel un ensemble de tubes, pouvant être un seul tube, est enterré horizontalement sous le bâtiment et est intégré au système de ventilation. Son fonctionnement repose sur l'exploitation de l'inertie thermique du sous-sol pour atténuer les variations de température de l'air extérieur. En été, il permet de récupérer la fraîcheur du sol, tandis qu'en hiver, il récupère la chaleur du sol [53].



**Figure 2.15** : Image montrant le fonctionnement du puits canadien, a) en hiver, b) en été [55].

- **Systèmes de captation de l'énergie géothermique:**

Les systèmes de captation de l'énergie géothermique utilisent des échangeurs. Il existe deux types de dispositions courantes ( les systèmes horizontaux et les systèmes verticaux).

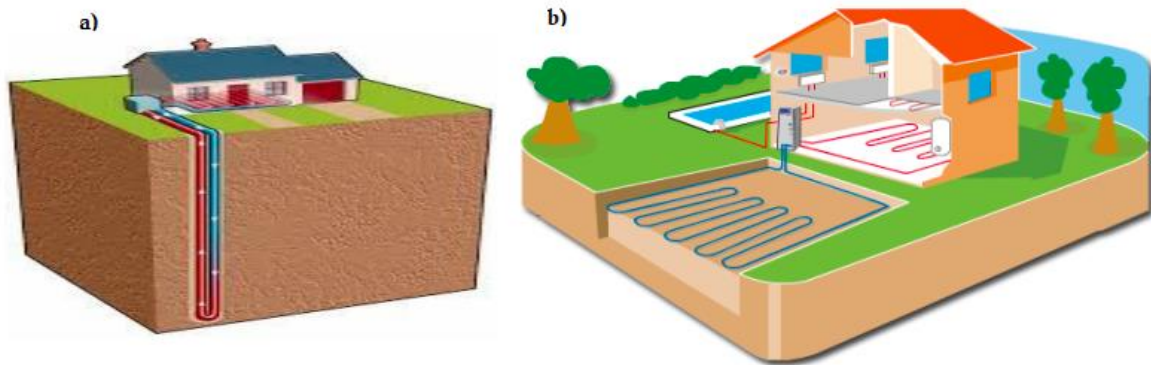
- **✚ Echangeur de chaleur vertical :**

Les sondes verticales sont insérées dans des puits de forage et scellées hermétiquement avec du ciment. Ces sondes peuvent atteindre des profondeurs allant de plusieurs centaines de mètres, où la température du sol reste stable tout au long de l'année. À l'intérieur de ces sondes, un circuit fermé contenant de l'eau glycolée est utilisé pour le transfert de chaleur [53].



### ✚ Echangeur de chaleur horizontale :

Actuellement, il n'y a pas de réglementation ni de normes en vigueur pour la mise en œuvre des capteurs horizontaux dans les installations géothermiques. Les seules ressources disponibles sont des recommandations et des conseils pratiques [53].



**Figure 2.16:** échangeur chaleur air-sol, a)vertical, b) horizontal [50].

- **Quelques installations expérimentales géothermales air/sol :**

Récemment Soni et al (Soni et al. 2015) ont réalisé une revue de littérature sur l'évaluation des performances des échangeurs air-sol. Les auteurs ont analysé aussi bien des études expérimentales que numériques sur les échangeurs de chaleur air-sol , seuls ou couplés avec d'autres systèmes passifs ou actifs, comme la tour à vent, le cheminée solaire, la pompe à chaleur réversible....etc. Une des principales conclusions des auteurs est que les performances thermiques d'un échangeur de chaleur air-sol sont beaucoup plus affectées par la nature et les conditions du sol que par le matériau des conduits enterrés [56].

Hollmuller et Lachal (Hollmuller & Lachal 2001) ont analysé les contraintes et le potentiel des conduits enterrés aussi bien pour le préchauffage que le rafraîchissement de l'air dans les bâtiments dans la ville de Genève en suisse caractérisées par des hivers froids et des étés assez chauds. Mentionnons, par ailleurs, que certains auteurs ont étudié le couplage des échangeurs air-sol avec un système de refroidissement évaporatif afin d'en augmenter l'efficacité de rafraîchissement (Bansal et al. 2011) [56].

Bansal et al. Ont étudié expérimentalement et numériquement l'effet de la conductivité thermique du sol et la période de fonctionnement continu de l'EAHE pour différentes longueurs de tuyaux. Les auteurs ont constaté que les performances de l'échangeur dépendent principalement de la conductivité thermique et aussi de la durée de fonctionnement. Les résultats montrent également que l'épaisseur du sol de la couche du sol est constant est égal 2

## **Chapitre 2 : Technique utilise pour réduire la consommation énergétique**

fois le rayon du tube [57].

Moummi et al, ont menés une étude théorique et expérimentale en 2010 sur le procédé du rafraîchissement de l'air par la géothermie dans le site de Biskra (figure 2.17). Le banc des essais expérimentaux est monté sur site à l'université de Biskra. Il s'agit d'un réseau de quatre traçons d'une longueur totale d'environ 60 m. Le diamètre interne du tube est de 110 mm L'ensemble est placé à une profondeur de 3 m sous une pente de 2 %. Pour le site de Biskra, cette profondeur (3 m a été déterminée préalablement grâce à une étude effectuée en fonction des données locales du site). Les tubes sont disposés et espacés les uns des autres d'une distance entre axes de 2 m [57].



**Figure 2.17 :** Dispositif expérimentale de Moummi et al [57].

### **Conclusions :**

Il est possible de réduire la consommation d'énergie et le réchauffement climatique résultant des émissions de CO<sub>2</sub> dans le secteur des bâtiments, en préservant l'énergie fossile et en exploitant les solutions adoptées dans ce chapitre de stratégies et de techniques de conception dans les bâtiments pour exploiter la nature qui garantit le confort et le bien-être du bâtiment qui réduit les besoins de chauffage, de climatisation et d'électricité, tout en s'appuyant sur les énergies renouvelables, qui contribuent grandement aux bâtiments, car il s'agit d'une énergie propre et respectueuse de l'environnement.

# **CHAPITER 3**

## **Méthodes et Résultats**

**3.1. Introduction :**

Dans le cas de l'échange air-sol, il y a deux éléments en contact avec les tubes, la terre et l'air circulant dans les tubes. Pour que la source d'air soit chaude en hiver et froide en été. Ainsi la température de l'air à l'entrée des tubes et la température du sol forment les conditions aux limites de l'échangeur. Dans ce chapitre, la modélisation et les méthodes permettant de déterminer la température de la terre à différentes profondeurs et la température de l'air sortie dans l'échangeur sont présentées. Un échangeur géothermique a été conçu dans la région d'Ouargla, à l'Université Kasdi Merbah.

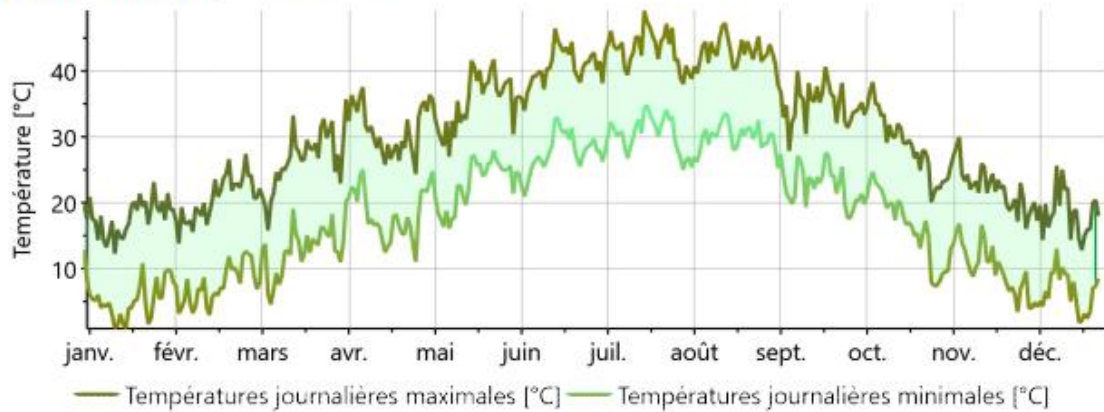
**3.2. Région d'étude :****a. Région Ouargla :**

La wilaya d'Ouargla est située au Sud-est algérien, à une distance de 800 km de la capitale Alger. Elle couvre une superficie de 163 323 km<sup>2</sup>. Elle partage ses frontières avec les wilayas de Biskra et d'El Oued au Nord, les wilayas d'Illizi et Tamanrasset au Sud, les wilayas de Ghardaïa et Djelfa à l'Ouest, et la Tunisie à l'Est. La ville d'Ouargla, quant à elle, est située à une altitude de 128 mètres. Elle se trouve à 190 km à l'est de Ghardaïa, à 160 km au sud-ouest de Touggourt, et à 388 km au sud de Biskra. La population de la ville est estimée à 210 175 habitants [58].

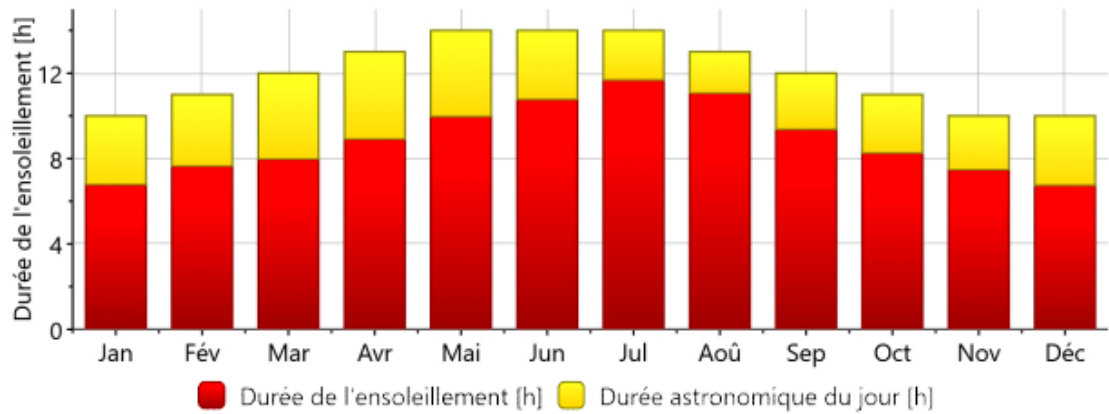
**b. Situation Climatique Dans La Région d'Ouargla :**

La région d'Ouargla est célèbre pour son climat doux pendant les quatre saisons, car elle est considérée comme l'une des régions les plus chaudes d'Algérie pendant l'été avec peu de pluie en hiver. Nous verrons des données thermiques et de luminosité solaire dans la région d'Ouargla au cours d'une année.

### Température journalière



### Durée d'insolation



### Rayonnement mensuel

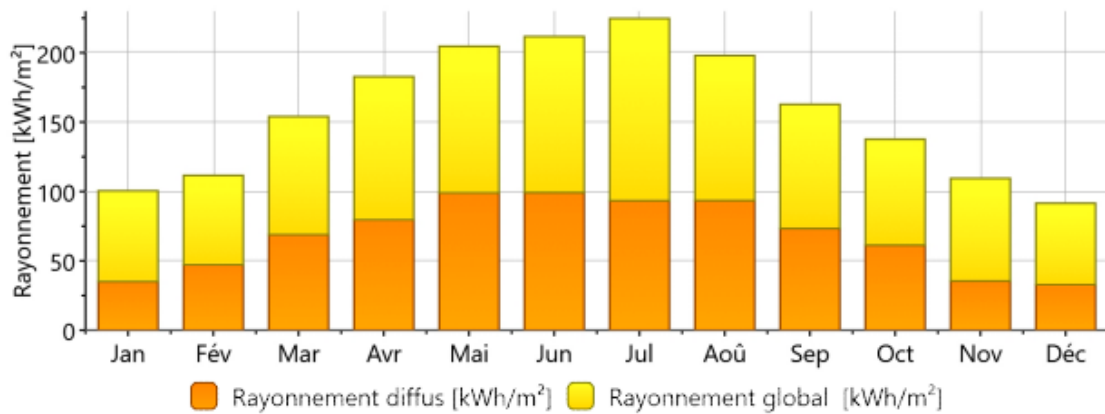


Figure 3.1: Les données climatiques de la région d'Ouargla (2000-2019) [58].

**3.3. Modélisation Mathématique De La Variation De Température Du Sol :**

**3.3.1. Modélisation De La Température Du Sol :**

La théorie de la conduction thermique est utilisée pour développer un modèle de sol en supposant que le sol se comporte comme un solide homogène semi-infini ayant des propriétés thermo-physiques constantes en fonction de la profondeur, et que la température de surface du sol est égale à la température ambiante de l'air [60].

**a. Caractéristiques De Sol :**

**Tableau 3.1:** Propriétés thermo-physiques du sol, de l'air et des tuyaux [60].

Matériel	densité (kg/m3)	Capacité thermique spécifique (J/kg. °C)	Conductivité thermique (W/m°C)
Air	1.185	1004	0.0260
Sol	2050	1840	0.52
PVC	1380	900	0.16

**a. Équations:**

L'équation différentielle régissant la conductivité thermique dans la terre est exprimée par

$$l'équation : \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} - \left( \left( \frac{1}{\alpha} \right) \times \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) \right) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

Les conditions aux limites en Z=0 et Z=∞ sont les suivantes :

$$T(0, t) = T_{mean} + A \times \text{COS}(\omega(t - t_0)) \dots \dots \dots (2)$$

$$T(\infty, t) = T_{mean} \dots \dots \dots (3)$$

Exprime  $\alpha$  :  $\alpha = K_{soil}(\rho_{soil} \times Cp_{soil})$

Avec :

Z : profondeur à partir de la surface de la terre (m)

$Cp_{sol}$  : Capacité thermique spécifique du sol (J/kg°C)

$K_{sol}$  : Conductivité thermique du sol (W/m °C)

$\rho_{sol}$ : Densité du sol (kg/m3)

Nous utilisons l'équation (4) dérivée de la solution analytique (1) pour estimer la température du sol à n'importe quelle profondeur de la surface terrestre au fil du temps (années, jours, heures):

$$T_{sol} = T_{mean} + A \times Exp\left(-z \sqrt{\frac{\pi}{365 \times \alpha}}\right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365}\left(t - t_0 - \frac{z}{2} \sqrt{\frac{365}{\alpha \times \pi}}\right)\right) \dots \dots \dots (4)$$

[60].

**3.4. Setup Expérimental:**

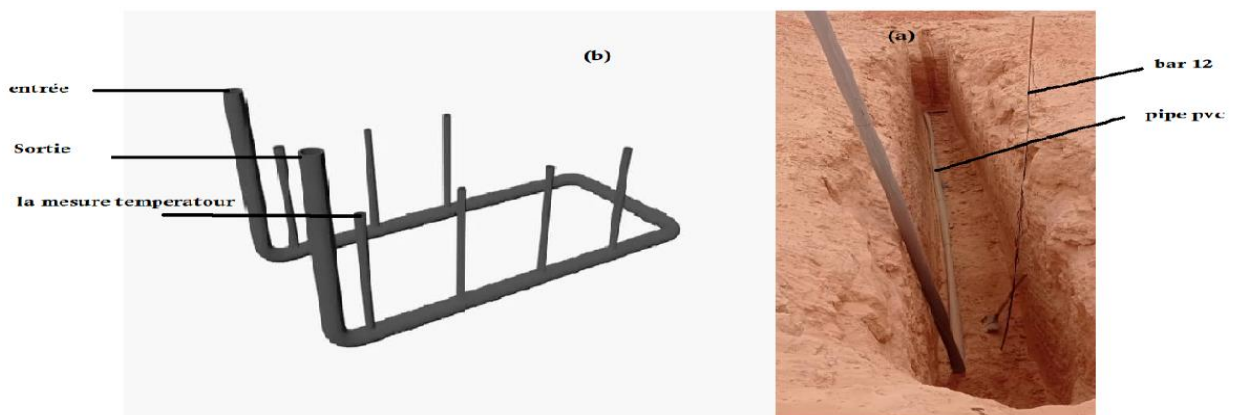
**3.4.1. Description Du Montage Expérimental :**

Ce travail expérimental a été fait dans l'objectif de réalisation d'un échangeur air-sol dans la région d'Ouargla, à l'Université Kasdi Merbah. Le tube utilisé pour la construction de l'échangeur réalisé en PVC cylindrique de diamètre interne de 110 mm, cet échangeur a été installé sous la forme d'un "U". La longueur totale du tube est de 33 m, enterré à une profondeur de 4 mètres avec une circulation d'air condensé à l'intérieur du tube. Les sections transversales sont espacées de 4.80 mètres, avec deux sections verticales connectées pour permettre à l'air de circuler à l'intérieur et à l'extérieur du tube.

**Tableau 3.2:** Caractéristiques (pipe) utilisé dans la construction d'un échangeur sol-air

PIPE	Diamètre (mm)	Epaisseur (mm)	Pression (bar)	Longueur (m)
PVC	110	2.20	4	6

De plus, un morceau de fer d'une longueur de 5 mètres de type 12 bars a été préparés et enterré à une profondeur de 4.5 verticalement pour mesurer la température du sol à différentes profondeurs.



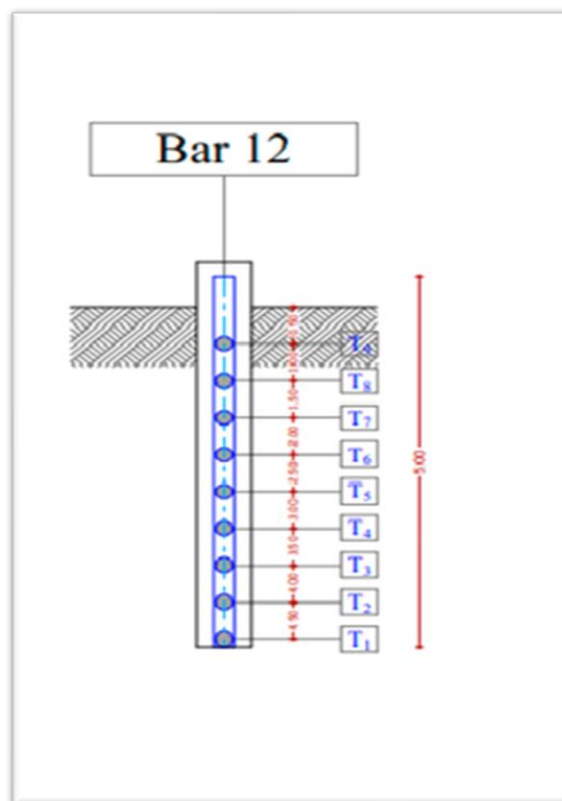
**Figure 3.2 :** photo du expérimental de l'échangeur sol-air, qui a été réalisé à l'Université de Ouargla.

### 3.4.2. Emplacements des thermocouples :

a. **L'échangeur air-sol:** des thermocouples de 5 m de long ont été placés à plusieurs endroits le long du tube enterré pour mesurer la température de l'air à l'intérieur du tube à différentes distances de l'entrée. Le premier à 0 m (l'entrée de l'échangeur), 5 m, 10 m, 20 m, 25 m, 30m, 33m (sortie du tube).

b. **La terre:**



Des thermocouples ont été reliés à du fer (12 barres) enterrés profondément dans le sol verticalement pour mesurer la température avec différentes dimensions : 4.5 mètres ; 4m ; 3.5 m ; 3 m ; 2.5 m ; 2m ; 1.5 m sur 1 m ; 0.5 m.



**Figure 3.3:** Le diagramme montre la position des thermocouples pour mesurer les températures à différentes distances.



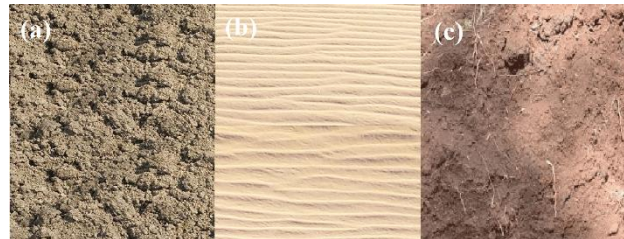
Tableau 3.3: Appareils de mesure de la température

	Caractéristiques	Photo
Thermocouple type k	<p>Length: 5m</p> <p>Measuring range: -40-500(°C)</p> <p>Measure temperature, °C or °F</p>	
Thermomètre FLUKE 54-II	<p>Type d'affichage: LCD</p> <p>Type de capteur: J / K / T / E / R / N / S</p> <p>Gamme de température min. -250 °C</p> <p>Gamme de température max. 1 767 °C</p> <p>Mémoire / Enregistreur 500 mesures</p> <p>Alimentation 3 piles 1,5 V type LR06</p> <p>Dimensions 86 x 173 x 38 mm</p> <p>Poids 280 g</p>	

**3.5. Résultats Et Discussion :**

**3.5.1. Variation Du Température De Sol :**

La ville de Ouargla se caractérise par de nombreux types de sols différents, car elle occupe une superficie de 211980 km<sup>2</sup>, qui se reconnaît à des sols variables d'une sous-région à l'autre. Dans cette étude, il y a trois sols différents, a (sol sableux), b (sol fendu) et c (sol argileux). Comme le montre la **figure .3.4** Dessous :



**Figure 3.4:** Les différents type de sol. [61]

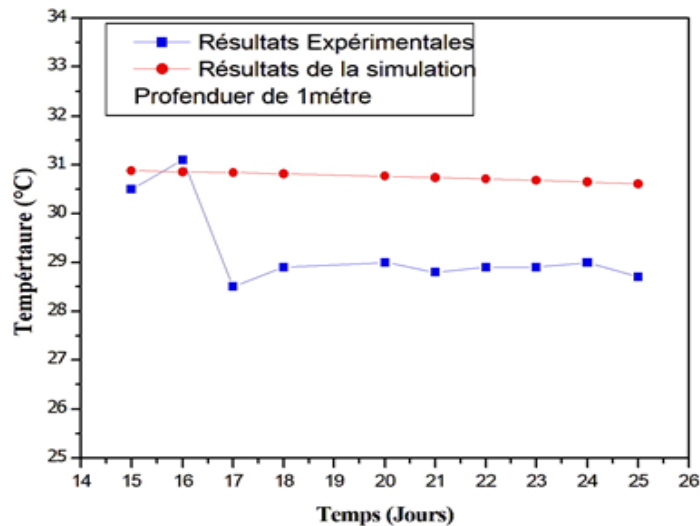
Le tableau dans le tableau présente les résultats du travail expérimental que nous avons réalisé en mesurant la température de la terre au cours du mois de mai du (15-25) à une profondeur de 0,5 m à 4,5 m à l'Université Kasdi Merbah.

**Tableau 2.4:** Température du sol dans la région kasdi merbah 2023.

Profondeur	Température du Sol (C°)									
	15	16	17	18	20	21	22	23	24	25
0.5	31.6	32	29.8	29.8	29.6	29.4	29.7	29.3	29.6	29.2
1	30.5	31.1	28.5	28.9	29	28.8	28.9	28.9	29	28.7
1.5	29.9	30.7	27.9	28	28.4	28.3	28.5	27.8	28.4	27.9
2	28.5	29.5	27.1	27.5	27.9	27.9	27.9	27.5	27.6	27.4
2.5	27.9	28	26.2	26.6	27.6	27.2	27.1	26.2	26.8	26.7
3	27.3	27.6	25.4	25.9	27.1	26.7	26.4	25.7	26.1	26.1
3.5	26.9	27.2	25.1	25.5	26.3	26.2	25.9	25.3	25.7	25.8
4	26.6	26.6	24.7	25.1	25.6	25.7	25.5	25.1	25.4	25.2
4.5	26.1	25.8	24.3	24.8	25.1	25.2	25.1	24.8	25	24.9

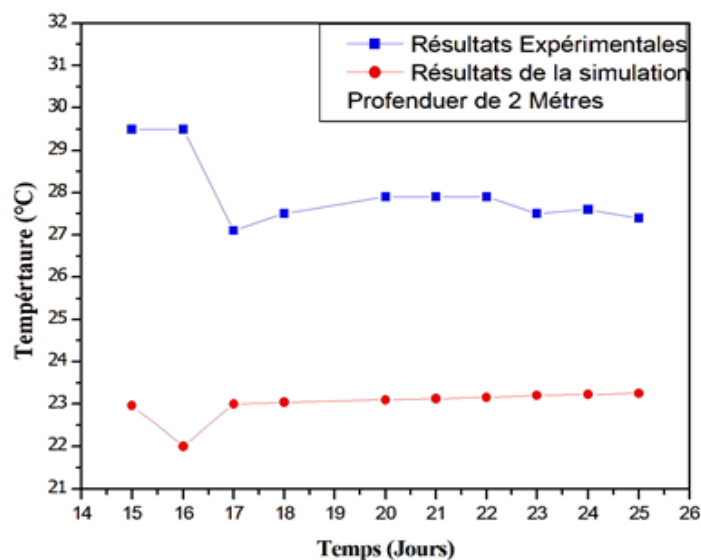
**3.5.2. Etude Paramétrique du Sol :**

Nous avons simulé différentes profondeurs  $z = [1 : 2 : 3 : 4]$  dans le logiciel MATLAB pour comparer les résultats obtenus dans le travail expérimental Pendant la période (15mai au 25mai).



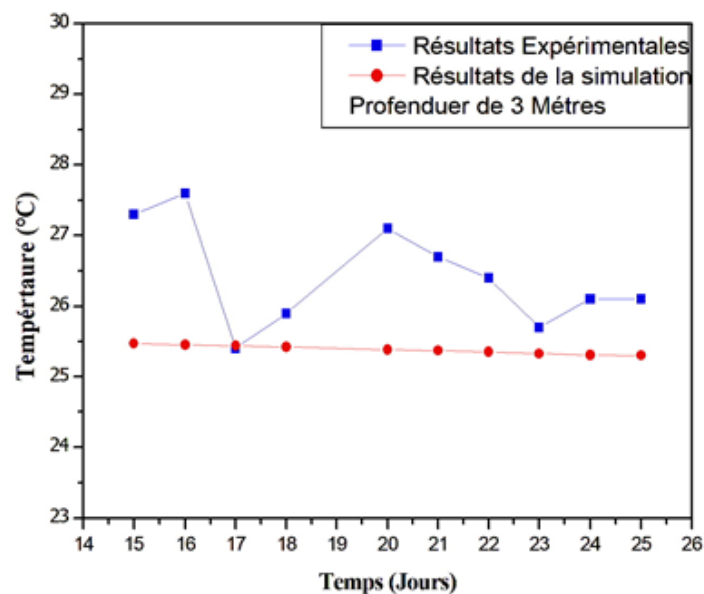
**Figure 3.5:** Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 1 m de profondeur.

La **figure 3.5** présente les variations de la température terrestre à une profondeur de 1 m, à la fois pour les résultats expérimentaux et les simulations. Les simulations révèlent une légère diminution pendant la période s'étendant du 15 au 25 mai, avec une température maximale de 31 C° le (15 mai) et une valeur minimale de 30.7 C° le (25 mai). En ce qui concerne les résultats expérimentaux, ils sont plus fluctuants. La température atteint 30.5 degrés le 15 mai, augmente jusqu'à une valeur maximale de 31.1 C° le 16 mai, puis descend à une valeur minimale de 28.5 C° le 17 mai. La température oscille entre environ 28.5C° et 29 C° les autres jours.



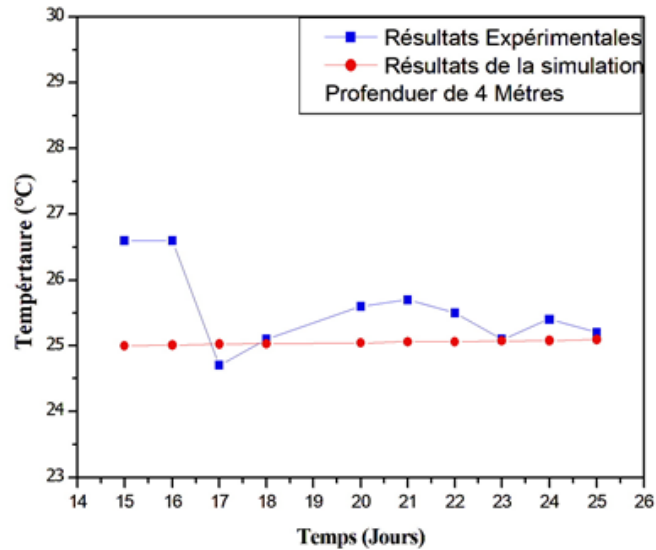
**Figure 3.6:** Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 2 m de profondeur.

La figure 3.6, présente la variation de température de sol dans une profondeur de deux mètres. On constat qu'il y a des changements de température du sol a été observé pour les résultats expérimentaux et simulés. Durant la simulation, nous constat une augmentation de la température, avec une valeur maximale de 23.4 °C le (25 Mai). Et une valeur minimale estimée de 22 °C le (16 mai). En ce qui concerne les résultats expérimentaux, la température reste stable avec une valeur maximale de 23.5 °C les (15 et 16 mai), puis une diminution avec une valeur minimale de 27.1 °C (le 17 mai). La température est restée entre 27.5 et 27.9 °C tout au long des résultats expérimentaux.



**Figure 3.7:** Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 3 m de profondeur.

**La figure 3.7,** illustre la variation de la température de sol dans une profondeur de 3 mètres. On remarque qu'il y a une stagnation de la température dans les résultats de la simulation au cours des jours avec une valeur de 25.5 °C. Pour les résultats expérimentaux, nous avons remarqué une fluctuation des températures avec une température maximale de 27,6 °C pendant la journée de 16 Mai) et une valeur minimale de 25.4°C Le 17 Mai.

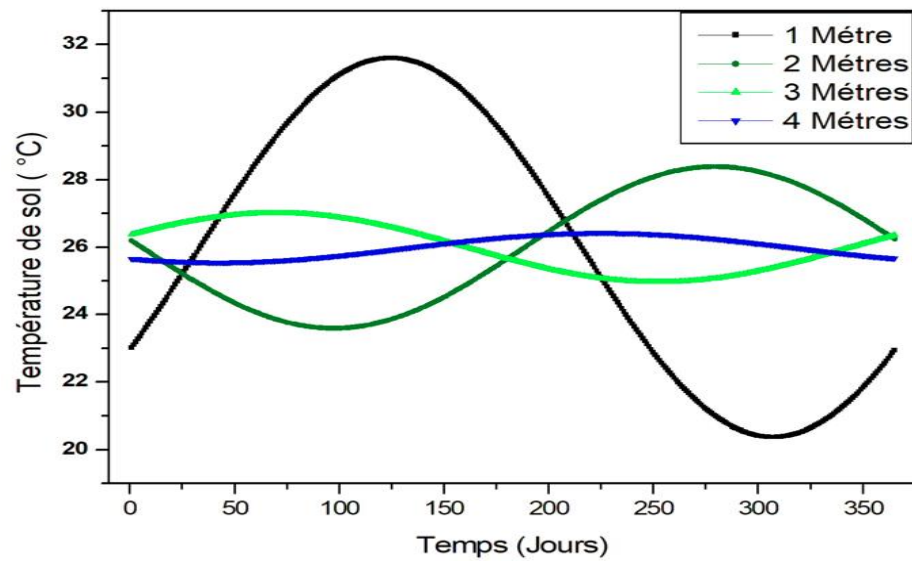


**Figure 3.8:** Évolution de la température en fonction du temps (jours) à 4 m de profondeur.

**Figure 3.8** montre l'évolution de la température du sol à une profondeur de 4 mètres, expérimentalement et par simulation. Dans la simulation, la température est maintenue constante à 25 °C. Dans la partie expérimentale, la température de sol est prise une valeur maximale de 26.6 C° dans les jours de (15 et 16 Mai), puis une chute à une valeur de 24.8 C° le (17 mai), et dans les restes journées, en remarque que les températures fluctuent entre (25 et 25.6) C° expérimentales.

✚ En analysant les résultats présentés :

D'après l'analyse des figures (III.4, III.5, III.6, III.7), on constate qu'il y a une différence entre les résultats expérimentaux et simulés. L'instabilité des températures mesurées due aux travaux de réalisation qui influent sur la stagnation des couches de sol et leurs caractéristiques. Car les températures ont tendance à se stabiliser avec l'augmentation de la durée de l'expérience, contrairement aux premiers jours qui ont connu des températures fluctuantes et instables. Ceci s'applique à toutes les profondeurs étudiées.



**Figure 3.9:** Température du sol à différentes profondeurs dans la région d'Ouargla.

La **figure 3.9** montre la température du sol dans la région d'Ouargla tout au long de l'année à différentes profondeurs (1/2/3/4) m, où l'on note qu'avec l'augmentation de la profondeur de la terre, la variation annuelle de la température de la terre diminue jusqu'à ce que la température atteigne un niveau relativement stable. Niveau La valeur de température à une profondeur de 4 mètres de la surface de la terre, qui a été choisie pour la conception de l'échangeur de chaleur (air\_sol).

# **Conclusion générale**

## Conclusion Générale

Dans notre étude actuelle, le but est de réaliser un échangeur de chaleur (air/sol). Pour ce faire, nous avons cherché à comprendre les lois physiques régissant le fonctionnement de ce système, ce qui nous a permis de créer deux modèles mathématiques. Le premier montre la température de sol quotidienne par profondeur et toute l'année. Le modèle est basé sur les propriétés du sol et la base de données météorologiques à la région d'Ouargla. Les résultats expérimentaux obtenus à l'aide du logiciel, il a été constaté que la température diminue à mesure que la profondeur du sol augmente pendant l'été, avec une stabilisation de la température à différentes profondeurs (1 m, 2 m, 3 m, 4 m). Pour simuler les paramètres qui définissent la fonction, nous avons écrit un programme informatique dans MATLAB, qui comprend un modèle basé sur un modèle mathématique de la température du sol, pour estimer la variation de température du niveau du sol à un certain degré de profondeur durant une année.

De ce travail, on propose pour les futures études d'étudier expérimentalement :

- La variation de température durant une année.
- La variation de température de l'air durant son passage dans les pipes pvc.
- L'effet de fonctionnement d'un échangeur air sol sur la saturation de sol



# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] ACHEMRAH, Y. La transition énergétique au Maroc: réalisations et perspectives. Revue Internationale des Sciences de Gestion, 5(2).2022 .
- [2] Rouag, A. Contribution à l'étude du transfert thermique dans les échangeurs de Chaleur des machines frigorifiques à adsorption, 2017, Université Mohamed Khider Biskra.
- [3] Benali L, kandouci t, La relation entre la consommation d'énergie et la croissance Économique en Algérie -Etude économétrique, Journal of Business Administration and Economic Studies, Vol (06), PP : 289-304, 2020.
- [4] Chabani, Z. (2014). La part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national à l'horizon 2030, Mémoire de magister, Université de boumer dès - M'Hamed Bougera , Hydrocarburés et de la chimie ,2014.
- [5] Site web <https://www.geo.fr/environnement/energie-fossile-definition-et-explications-193609> Consulté le 12/02/2023.
- [6] Sit web <https://www.en-former.com/en/energy-related-co2-emissions-rebound-to-a-new-high-in-2021/> Le consulte 13/03/2023
- [7] ELHELLI, A. Enjeux de la transition énergétique en Algérie, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA, Génie mécanique, 2021.
- [8] TachTache, H., Halloufi, O. E. La transition énergétique fossile vers l'énergie solaire dans les équipements éducatifs en Algérie: Cas d'étude école primaire Gharbi à El Aakabi Jijel dissertation, Mémoire de master académique, d'Architecture , Université de Jijel.2020.
- [9] CDE, BP Statistical Review of World Energy 2020 : les chiffres clés de l'énergie dans le monde. 2020.
- [10] World Energy Outlook 2020. <http://www.iea.org/weo>
- [11] BP, l., Statistical Review of World Energy, 2020, 2020, Bp.
- [12] Ministère de l'énergie, Bilan Énergétique national année 2019 Edition 2020
- [13]. <https://www.algerie-eco.com/2020/12/24/consommation-et-production-denergie-le-bilan-de-lannee-2019/> Le consulte 13/03/2023
- [14] ATMANIA, H. La stratégie d'implantation des énergies renouvelables en Algérie Cas de la photovoltaïque. Memory of Magister, University of Oran .(2015)
- [15] <https://www.planete-energies.com/fr/media/article/lenegie-houlomotrice-lutilisation-mouvement-perpetuel> La consulte 13/04/2023.

- [16] Djeridi, Moufida, and Nadia Niboua. Conversion de l'énergie géothermique en énergie par un cycle binaire dans le Sud Algérien. Mémoire de master. Université de Kasdi Merbah-Ouargla.(2010).
- [17] ELHELLI, A. Enjeux de la transition énergétique en Algérie (Doctoral dissertation, UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA).
- [18] DIDA, Mustapha .Etude et amélioration des systèmes de conservation photovoltaïque dans les zones arides et semi-arides thés doctoral dissertation, université de Kasdi Merbah-Ouargla(2021).
- [19] <https://www.Ember-climate.org> le consulte 30/03/2023.
- [20] [<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>]2/04/2023
- [21] Kaddouri, H., & Tinamri, A. Réalisation d'un bilan carbone pour les différents secteurs en Algérie (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah–Ouargla.)
- [22] Bouraiou, A., Necaibia, A., Boutasseta, N., Mekhilef, S., Dabou, R., Ziane, A., ... & Touaba, O. Status of renewable energy potential and utilization in Algeria. Journal of Cleaner Production, 246, 119011.(2020).
- [23] <https://www.jade-technologie.com/composition-dun-panneau-solaire/> le consulte 27/05/2023
- [24] [https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRtnOB8IMaiqfY7I3uH-  
asb0wqrAbi\\_rb2-EYGa0bmAK1xHAVdj](https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRtnOB8IMaiqfY7I3uH-<br/>asb0wqrAbi_rb2-EYGa0bmAK1xHAVdj) le consulte 27/05/2023
- [25][https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT1xrAGIbq1pU2baN  
GX33jDz0Ehceqis5kV0z21F3iSzRWwzN6](https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT1xrAGIbq1pU2baN<br/>GX33jDz0Ehceqis5kV0z21F3iSzRWwzN6) le consulte 27/03/2023
- [26] <https://solarabic.com/learn/2019/05/geothermal-energy-explained/> le consulte 31/03/2023
- [27] [https://www.planete-batiment.com/lelectricite-renouvelable-continue-sa  
progression/22585/](https://www.planete-batiment.com/lelectricite-renouvelable-continue-sa<br/>progression/22585/) le consulte 05/04/2023.
- [28] <https://www.kursum.az/elage/> le consulte 08/04/2023
- [29] <http://www.iea.org/countries/algeria> le consulte 08/04/2023
- [30] IRENA, I.R.E.A., Renewable Energy in Algérie. 2021.
- [31] Transition to Sustainable buildings strategies and opportunities to 2050.
- [32] MOKHTARA, C. Modeling and Development of an Optimal Methodology for Design A Multi-Sources System in Plus Energy Buildings (Doctoral dissertation).
- [33] <https://www.irisys.net/blog/what-is-a-smart-building> le consulte 2023/03/19

- [34] King, Jennifer, and Christopher Perry. Smart buildings: Using smart technology to save energy in existing buildings. Washington, DC, USA: American Council for an Energy-Efficient Economy, 2017.
- [35] HIMOUD, I. EQUIPEMENT SANITAIRE A HAUTE PERFORMANCE ENERGETIQUE CAS D'OUED ZENATI. Mémoire de Master, à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, d'Architecture 2017.
- [36] Deng, X., Wang, M., Sun, D., & Fan, Z. Effect of building form on energy consumption of academic library buildings in different climate zones in China. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 531, No. 1, p. 012060. IOP Publishing. 2020, July;
- [37] Nelson, A. P. Etude de matériaux biosourcés pour l'isolation thermique des bâtiments en climat tropical humide, (Doctoral dissertation, Antilles). (2020).
- [38] Al-Homoud, Mohammad S. "Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials." Building and environment 40.3:P 353\_366 .2005.
- [39] Aichaoui, S., & Cheggouri, A. Contribution à l'étude des matériaux de construction aux bâtiments à basse consommation d'énergie dans les zones aride , Mémoire master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA , Génie mécanique 2019 .
- [40]<https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/logement/l-isolation> thermique-par-l-extérieur-et-l-intérieur le consulte 2023/03/19
- [41] Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Yusof, M. B. M., Zaki, S. A., Hughes, B. R., Yazid, M. N. A. W. M. A review on wind catcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. Renewable and Sustainable Energy Review, 70, 736-756.(2017).
- [42] Ahmed, T., Kumar, P., Mottet, L. Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. Renewable and sustainable energy reviews, 138, 110669.(2021).
- [43] Zineb, Akchiche. Étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique. Memoir Magister thesis, University of Kasdi Merbah Ouargla, Algeria (2011).
- [45] Calautit, J. K., O'Connor, D., Tien, P. W., Wei, S., Pantua, C. A. J., & Hughes, B. Development of a natural ventilation windcatcher with passive heat recovery wheel for mild-cold climates: CFD and experimental analysis. Renewable Energy, 160, 465-482.2020.
- [46] Jomehzadeh, F., Hussen, H. M., Calautit, J. K., Nejat, P., & Ferwati, M. S.. Natural ventilation by wind catcher (Badgir): A review on the impacts of geometry, microclimate and macroclimate. Energy and Buildings, 226, 110\_396. (2020).

- [47] Hu, Z., He, W., Ji, J., Zhang, S A review on the application of Trombe wall system in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 976-987 .p 5. (2017).
- [48] Sosoi, G. Contribution to the study of a heat pipe system to improve the energy performance of buildings (Doctoral dissertation, Aix-Marseille) (2019).
- [49] ALIOUANE, A., & DACI, A.. Contribution à l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments d'habitation en Algérie Application à la ville de Bouira, Mémoire de Master. Université akli mohand oulhadj-bouira. (2022).
- [50] <https://www.otovo.fr/blog/le-solaire-et-vous/panneau-solaire-fonctionnement/> consult le 25/05/2023
- [51] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-houlomotrice-ou-energie-des-vagues> consulté le 12/04/2023
- [52] <http://www.hydroworld.com/> consulté le 11/04/2023
- [53] Sid, I. kherfi, I. boublel, N. « UTILISATION DES ECHANGEURS AIR-SOL POUR LE CHAUFFAGE ET LE RAFRAICHISSEMENT DES BATIMAENTS: ETUDE DE MODELISATION-SIMULATION », Mémoire de Master, Université KASDI MERBAH. OUARGLA, 2022.
- [54] BENDJENIDI, B. « Simulation d'un échangeur de chaleur air/sol de forme spirale » Mémoire de Master, Université KASDI MERBAH. OUARGLA, 2017.
- [55] [https://fr.wikiversity.org/wiki/Recherche:Pastech/243-3\\_puits\\_canadien](https://fr.wikiversity.org/wiki/Recherche:Pastech/243-3_puits_canadien) consulté le (27/05/2023).
- [56] Khabbaz, M. (2016). Contribution à l'étude d'un échangeur de chaleur air-sol (puits canadien) pour le rafraîchissement de l'air sous le climat chaud et semi-aride de Marrakech (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).
- [57] N. Moumami, H. Benfatah, N. Hatraf, A. Moumami and S. Y. Ali, Le rafraîchissement par la géothermie: étude théorique et expérimentale dans le site de Biskra, *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 13 3, pp. 399-406, 2010.
- [57] SAIFI, N. (2015). Contribution à la conception des bâtiments a faible consommation d'énergie dans les zones arides (Doctoral dissertation).
- [58] Meteonorm V8.0.3.15910
- [59] Belatrache, D.Bentouba, S.Bourouis, M. Numerical analysis of earth air heat exchangers at operating conditions in arid climates. *International journal of hydrogen energy*, 42(13), 8898-8904.2017) ).

[60] Anshu, K., Kumar, P. Pradhan, B. Numerical simulation of stand-alone photovoltaic integrated with earth to air heat exchanger for space heating/cooling of a residential building. *Renewable Energy*, 203, 763-778.

[61] Belatrache, Djamel, et al. "Modelling and Numerical Investigation of the thermal properties effect on the soil temperature in Adrar region." *Algerian Journal of Renewable Energy and Sustainable Development* 2.2 (2020): 165-174.

