



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

DÉPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

Mémoire Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Option : Énergétique

Présenté par :

BENCHEIKH El Hadj El Hocine

BENZINE Oussama

Thème

**Etude expérimentale de différents modes
de stockage d'énergie dans une cheminée
solaire**

Soutenu publiquement le: 13/06/2018

Devant le jury:

M^r. ACHOURI El Hadj Université Kasdi Merbah Encadreur

M^r. NEGROU Belkhir Université Kasdi Merbah Président

M^r. ATTIA Abbas Université Kasdi Merbah Examineur

Année universitaire : 2017/2018

REMERCIEMENTS

D'abord je remercie le grand Dieu de m'avoir aidé à réaliser ce modeste travail. Nous remercions sincèrement et très chaleureusement, notre encadreur Monsieur, El Hadj Achouri, pour tous ses efforts, les mots manquent pour lui exprimer toute notre profonde gratitude, que ce soit pour sa disponibilité permanente. Nous avons agréablement aimé travailler avec lui, nous sommes fiers d'être ses étudiants.

Nous tenons à remercier les membres du jury:

Mr. NEGROU Belkhir (Président)

Mr. ATTIA Abbas (Examineur)

D'avoir accepté de juger ce travail.

Nos remerciements vont également à nos camarades, et en particulier à Adel Bencheikh, Salah Eddine Bencheikh, SETTOU Belkhir, Souici Moustapha, Mhiri Ahmed Yacine, Habita Hakim. Charray Rēda. Bachkī Djamel.

Sommaire

| | |
|---|----|
| REMERCIEMENTS | |
| SOMMAIRE | |
| LISTE DES FIGURES ET DES GRAPHES | |
| LISTE DES TABLEAUX | |
| LISTE DES ABREVIATIONS | |
| INTRODUCTION GENERALE..... | 1 |
| Chapitre I : Synthèse bibliographie | |
| I.1. Introduction..... | 4 |
| I.2. Contexte climatique..... | 4 |
| I.2.1 Le climat..... | 4 |
| I.2.2 Réchauffement climatique..... | 4 |
| I.3. Définition développement durable..... | 5 |
| I.3.1 Objectif du développement durable..... | 6 |
| I.4. Contexte énergétique..... | 6 |
| I.4.1 Consommation d'énergie..... | 6 |
| I.4.2 Les différentes énergies..... | 7 |
| I.5. L'énergie renouvelable..... | 8 |
| I.6. Les sources d'énergies renouvelables..... | 8 |
| I.6. 1 L'énergie solaire thermique..... | 8 |
| I.6. 2 Le solaire photovoltaïque..... | 8 |
| I.6. 3 Energie Hydraulique..... | 9 |
| I.6. 4 L'énergie de la biomasse..... | 10 |
| I.6. 5 L'énergie éolienne..... | 10 |
| I.6. 6 L'énergie géothermie..... | 11 |
| Chapitre II : Description de la cheminée solaire et du stockage de l'énergie | |
| II.1. Introduction..... | 12 |
| II.2. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire..... | 12 |
| II.3. Principaux éléments de la cheminée solaire..... | 13 |
| II.3.1. Collecteur..... | 13 |
| II.3.2. Cheminée..... | 14 |
| II.3.3. Turbine éolienne..... | 14 |
| II.4. Les systèmes du stockage d'énergie..... | 15 |
| II.4.1. Le stockage d'énergie..... | 15 |
| II.4.2. Systèmes de stockage..... | 15 |
| II.5 Stockage sous chaleur sensible..... | 16 |
| II.5.1. Matériaux..... | 16 |
| II.5.2 Stockage par chaleur latente..... | 19 |
| II.5.3 Stockage Thermochimique..... | 19 |

Chapitre III: Conception et méthodes de mesure

| | |
|---|----|
| III.1. Introduction | 21 |
| III.2.Aspect climatique d’Ouargla | 21 |
| III.3. Prototype de cheminée solaire Ouargla | 21 |
| III.4. Structure et composant | 22 |
| III.5. Système de stockage de chaleur..... | 25 |
| III.6. Paramètre étudiées..... | 28 |
| III.7. Instruments de mesure utilisée dans l’expérience | 28 |

Chapitre IV: Résultats & Discussions

| | |
|--|----|
| IV.1.Introduction | 31 |
| IV.2. Premier prototype | 31 |
| IV.2.1 Interprétation et discussion des résultats..... | 34 |
| IV.3. Deuxième prototype | 35 |
| IV.3.1. Interprétations et discussions des résultats..... | 36 |
| IV.3.1.2. Interprétations et discussions des résultats..... | 36 |
| IV.3.1.3. Interprétations et discussions des résultats | 38 |

Liste des figures et des graphes

| | |
|--|----|
| Fig. I.1 : Concentrations en CO ₂ dans l'atmosphère | 5 |
| Fig. I.2 : Les différents stades de l'énergie..... | 7 |
| Fig. I.3 : Panneaux solaires photovoltaïques..... | 9 |
| Fig. I.4 : Energie hydraulique..... | 9 |
| Fig. I.5 : Éolienne..... | 10 |
| Fig. I.6 : La géothermie..... | 11 |
| Fig. II .1 : Schéma présentatif de la cheminée solaire..... | 13 |
| Fig. II .2 : Vue intérieure du collecteur solaire..... | 13 |
| Fig. II .3 : Cheminée du prototype d'espagnol..... | 14 |
| Fig. II .4 : Turbine éolienne du prototype de Manzanares (Espagne)..... | 14 |
| Fig. II .5 : Différents types de stockage thermique de l'énergie solaire..... | 15 |
| Fig. II .6 : Stockage avec garnissage..... | 19 |
| Fig. II .7 : Stockage avec gravier et sable..... | 19 |
| Fig. III.1 : Image de prototype optimale de cheminée solaire..... | 22 |
| Fig. III.2 : La cheminée..... | 23 |
| Fig. III.3 : Le collecteur..... | 23 |
| Fig. III.4 : Le support de la cheminée..... | 24 |
| Fig. III.5 : La plaque absorbante..... | 24 |
| Fig. III.6 : L'isolation thermique..... | 25 |
| Fig. III.7 : Couche de gravée concassée 05 cm..... | 26 |
| Fig. III.8 : Couche de gravée concassée 10 cm..... | 26 |
| Fig. III.9 : Prototype de cheminée solaire avec stockage..... | 27 |
| Fig. III.10 : Tube noire de PVC en serpentín..... | 27 |
| Fig. III.11 : Mac solar..... | 28 |
| Fig. III.12 : Appareil chauvin-Arnoux C.A 1051..... | 29 |
| Fig. III.13 : Emplacement de thermocouple dans une cheminée..... | 30 |

| | |
|--|----|
| Fig.IV.1 : Variations du rayonnement solaire et de la température ambiante en fonction du temps (Jour de: 02/05/2018)..... | 32 |
| Fig.IV.2 : Variations de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée, de l'éclairement solaire et de la vitesse du vent en fonction de temps (Jour de: 02/05/2018)..... | 32 |
| Fig.IV.344 Variations de la vitesse de l'écoulement à l'entrée de la cheminée et de la température ambiante en fonction du temps (Jour de: 02/05/2018)..... | 33 |
| Fig.IV.4 : Variations des températures aux différentes positions en fonction du temps (Jour de: 02/05/2018)..... | 33 |
| Fig.IV.5 : Variations du rayonnement solaire pour les jours: 02/04/06 et 13 mai 2018.... | 35 |
| Fig.IV.6 : Variations du rayonnement solaire et de la température en fonction de temps pour différents modes de stockage Jour de (02/04/06/13/06/2018)..... | 36 |
| Fig.IV.7 : Comparaison de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée les quatre cas en fonction de temps..... | 38 |
| Fig.IV.8 : Variation de la quantité d'énergie en fonction du temps..... | 40 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau. II.1 : Propriétés thermo physiques des fluides pour le stockage..... | 17 |
| Tableau. II.2 : Propriétés thermo physiques des solides pour le stockage..... | 18 |
| Tableau. III.1 : Propriétés thermo physiques des matériaux utilisés | 25 |
| Tableau. IV.1 : Vitesse moyenne pour les différents intervalles de temps..... | 39 |

Nomenclature

| Symbole | Définition | Unité |
|----------------|---------------------------------------|---------------------|
| t | Temps | s |
| m | Masse | kg |
| V | Vitesse | m s ⁻¹ |
| ρ | Masse volumique | kg m ⁻³ |
| T | Température | °C |
| U | Coefficient de transmission thermique | W/m ² .K |
| λ | Conductivité thermique | W/m.K |
| C _p | Capacité thermique massique | J/g.K |

Liste des abréviations

Tecl : Température à l'entrée du collecteur [$^{\circ}\text{C}$]

Tccl : Température au centre du collecteur [$^{\circ}\text{C}$]

Tech : Température à l'entrée de cheminée [$^{\circ}\text{C}$]

Tamb : Température ambiante [$^{\circ}\text{C}$]

Rs : Intensité du rayonnement solaire [W/m^2].

Vvent : Vitesse du vent [m/s]

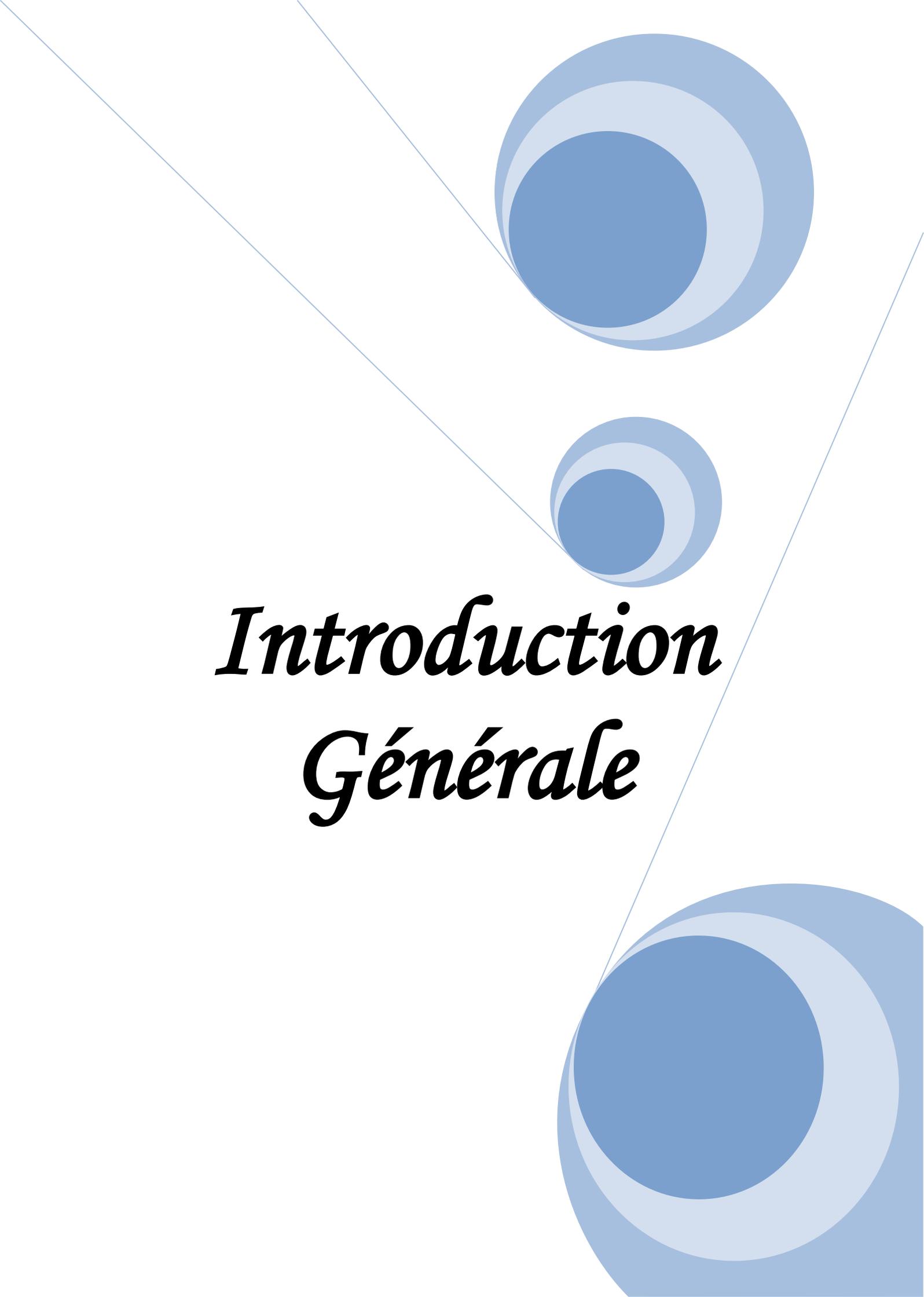
Vech : Vitesse de l'air dans l'entrée de la cheminée [m/s]

Tsch : Température à la sortie de la cheminée ($^{\circ}\text{C}$)

T30 : Température à une distance de 30cm de l'entrée du collecteur [$^{\circ}\text{C}$]

T60 : Température à une distance de 60cm de l'entrée du collecteur [$^{\circ}\text{C}$]

T90 : Température à une distance de 90cm de l'entrée du collecteur [$^{\circ}\text{C}$]

The background features a white page with three blue circular elements. Each circle is composed of three concentric rings: a dark blue inner circle, a medium blue middle ring, and a light blue outer ring. Two thin, light blue lines intersect at the top left, forming a large 'V' shape that frames the central text. The circles are positioned at the top right, middle right, and bottom right of the page.

***Introduction
Générale***

Introduction générale

L'énergie est une grandeur physique nécessaire à la réalisation d'un travail (mécanique, chimique, ...) matérialisée sous différentes formes : énergie calorifique ou énergie thermique (chaleur), énergie électrique (électricité), énergie mécanique, énergie chimique, énergie nucléaire. [1]

L'énergie thermique solaire est une forme d'énergie qui récupère l'énergie du rayonnement solaire sous forme de chaleur. Cette énergie est utilisée comme par exemple le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide des capteurs solaires, ou indirectement dans le cas de la production de l'électricité dans une centrale thermodynamique solaire. Le solaire thermique est basé sur l'utilisation de la chaleur transmise par rayonnement. [2]

Depuis le début des âges, l'énergie a été le moteur de l'activité humaine, c'est un élément essentiel de toutes les activités quotidiennes de l'homme. Les énergies jouent un rôle principal dans la génération du confort pour une nation et un rôle significatif dans le développement des secteurs technologiques, industriels, économiques et sociaux.

Dans le monde, il existe différentes sources d'énergies utilisables afin de pouvoir répondre aux nombreuses demandes de la population mondiale, qui elle augmente de jours en jours. Ces demandes énergétiques concernent les transports, le chauffage, ainsi que l'utilisation du téléphone ou même de la télévision. Cette utilisation de l'énergie a permis une amélioration du niveau de vie des populations des pays développés.

Dans ces différentes sources d'énergies, deux sortes se distinguent : les énergies dites non renouvelables et les énergies dites renouvelables. Ces énergies existent sous différentes formes ; elles peuvent être liquides ou gazeuse. Cependant, les énergies les plus utilisées restent non renouvelables à l'image du pétrole ou même du charbon.

L'énergie renouvelable est caractérisée par son aspect durable et en général, non polluante contrairement aux combustibles fossiles. Elle est renouvelable donc inépuisable.

L'énergie est collectée à partir de ressources renouvelables, qui sont naturellement reconstituées sur une échelle de temps humaine, comme la lumière du soleil, le vent, la pluie, les marées, les vagues et la chaleur géothermique. [3] L'énergie renouvelable fournit souvent dans quatre domaines importants : la production d'électricité, le chauffage et le refroidissement de l'air et de l'eau, le transport et les services énergétiques ruraux (hors réseau). [4]

Le développement et l'exploitation des ressources énergétiques renouvelables et des systèmes de production décentralisés d'électricité d'origine renouvelable ont connu une forte croissance ces dernières années.

La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays couvre certains de ses besoins en énergie solaire

L'énergie solaire est transformée en électricité par différentes méthodes tels que Photovoltaïque, cheminée solaire...Etc.

Une tour solaire est une centrale à énergie renouvelable, construite de manière à canaliser l'air chauffé par le soleil afin d'actionner des turbines pour produire de l'électricité. [5]

Dans le cas de l'énergie solaire, il reste toujours le problème de la continuité de la production de l'énergie thermique à cause de l'intermittence du rayonnement solaire pendant la journée ou l'absence totale à la nuit, cela a obligé l'utilisation du stockage de l'énergie.

Parmi les trois types de stockage qui sont un stockage par chaleur sensible, un stockage par chaleur latente et un stockage thermochimique, on a entamé un travail au laboratoire sur le stockage par chaleur sensible pour assurer la production de l'énergie en cas de l'absence du rayonnement solaire, en utilisant le gravier concassé et l'eau comme des matériaux sous une cheminée solaire pour stocker l'énergie encours de la journée et la libérer aux premières heures du coucher de soleil.

Le présent mémoire de fin d'étude est organisé comme suite :

Deux parties (théoriques et pratiques) avec une introduction générale et une conclusion

La partie théorique est composée de deux chapitres.

- Le premier chapitre est réservé à la synthèse bibliographique.

- Le deuxième chapitre est consacré aux descriptions de la cheminée et le stockage d'énergie.

- La partie pratique renferme matériels et méthodes, résultats et discussions.

The background features a decorative graphic consisting of three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged in a vertical line, with the largest at the top and bottom, and a smaller one in the middle. Two thin, light blue lines intersect at the top left and extend diagonally across the page, framing the central text.

Chapitre I
Synthèse
Bibliographique

I.1.Introduction

La question du changement climatique a toujours été au premier plan pour la presse mondiale et des préoccupations du public pour l'humanité.

Sans aucun doute, l'humanité fait face à un grand défi. Notez le développement de la température croissante dans l'environnement augmente d'année en année. Ces changements climatiques sont directement ou indirectement attribuables à l'activité humaine qui modifie la composition de l'atmosphère globale et augmente les changements climatiques naturels observés pendant des périodes similaires.

En conséquence direct, les consommations énergétiques augmentent sensiblement avec l'évolution des exigences du confort accrues qui entraîne le développement et l'utilisation massive de la climatisation sous forme de centrale, Split ou monobloc [6]

Le problème de mode de production d'énergie et de leur répartition équitable est donc crucial pour l'humanité, le développement durable implique dans ce cadre une approche qui doit viser d'une part à réduire la consommation d'énergie, d'autre part à substituer de nouvelles sources d'énergie aux énergies fossiles

I.2. Contexte climatique

I.2.1 Le climat

Le climat au sens direct est généralement défini comme le «temps moyen», ou plus rigoureusement, comme la description statistique en termes de moyenne et de variabilité des quantités pertinentes sur une période allant de quelques mois à des milliers ou des millions d'années. La période classique est de 30 ans, selon la définition de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Ces quantités sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Le climat dans un sens plus large est l'état, y compris une description statistique, du système climatique [7]

I.2.2 Réchauffement climatique

Le changement climatique, également appelé réchauffement climatique, fait référence à l'augmentation des températures moyennes de surface sur Terre. Le changement climatique est principalement dû à l'utilisation humaine des combustibles fossiles, qui libère du dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre dans l'air. Les gaz emprisonnent la chaleur dans

l'atmosphère, ce qui peut avoir divers effets sur les écosystèmes, notamment l'élévation du niveau de la mer, les phénomènes météorologiques violents et les sécheresses qui rendent les paysages plus vulnérables aux incendies de forêt. [8]

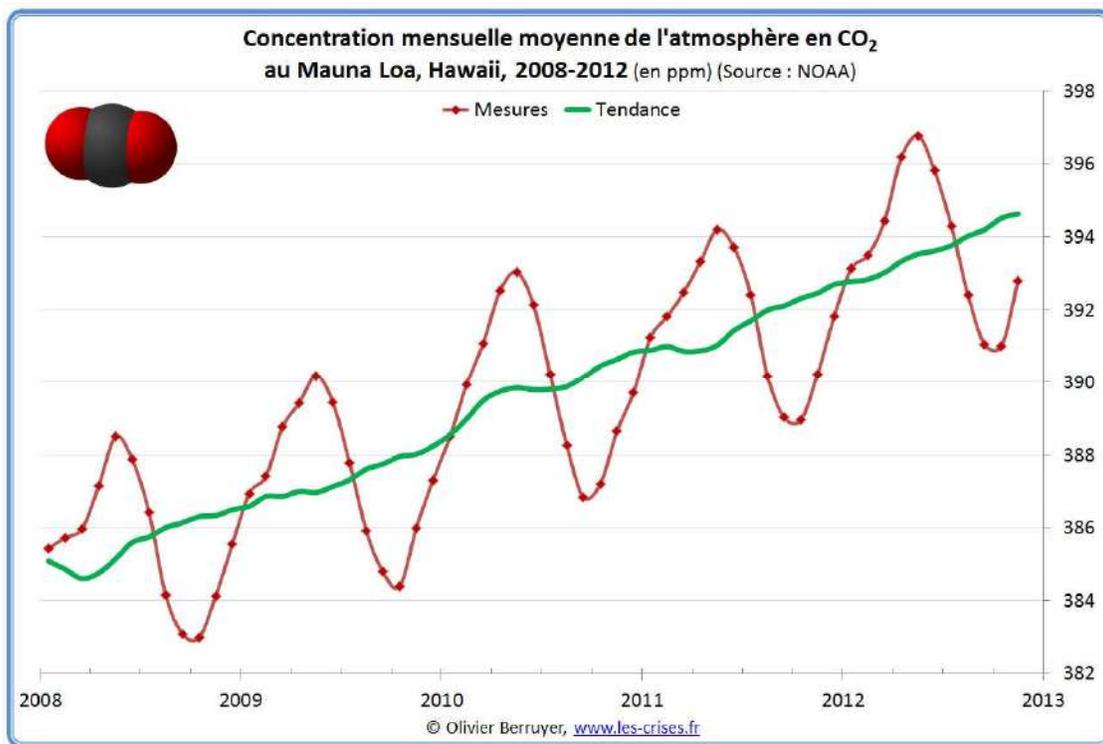


Fig. I.1: Concentrations en CO₂ dans l'atmosphère

I.3. Définition développement durable

Le développement durable, sur lequel nous développerons un concept, signifie un intérêt public qui transcende les frontières des États et stimule une nouvelle perspective de développement économique, plus écologique, de biodiversité et de conservation. De la planète. Les énergies renouvelables et la conservation de l'énergie sont essentielles au développement durable. Tous les principaux secteurs d'activité sont l'agriculture, l'industrie, le commerce, l'investissement, la banque, la production d'énergie, le tourisme, etc. Il favorise également l'égalité et la justice, à la fois globalement et dans la société. [9]

Afin de réagir à tous ces problèmes, un nouveau mode de développement a été défini, il sera durable donc pour cela ce développement dit durable comme combinaison de trois types de normes

- ❖ **Ecologique** : en préservant des espèces et les ressources naturelles et énergétiques.
- ❖ **Economie** : créer des richesses et améliorer les conditions de vie matérielles.
- ❖ **Sociale** : satisfaction des besoins en santé, éducation, habitat, emploi, prévention de l'exclusion intergénérationnelles [10]

I.3.1 Objectif du développement durable

Maintenir l'intégrité de l'environnement : pour assurer la santé et la sécurité des communautés humaines et préserver les écosystèmes qui entretiennent la vie.

Assurer l'équité sociale : pour permettre le plein épanouissement de toutes les femmes et de tous les hommes, l'essor des communautés et le respect de la diversité.

Viser l'efficacité économique : pour créer une économie innovante et prospère, écologiquement et socialement responsable. [11]

I.4.Contexte énergétique

I.4.1 Consommation d'énergie

Comme vu dans la partie précédente, c'est la consommation d'énergie fossile qui est responsable de la grande majorité des rejets de gaz à effet de serre. Si on s'intéresse à la consommation d'énergie il faut comprendre que l'énergie passe par plusieurs stades au cours de sa production, de son transport et de sa consommation et que chacun de ces états possède une dénomination propre. La (figure 2) présente les différents stades de l'énergie avec les pertes dues à chaque étape. [12]

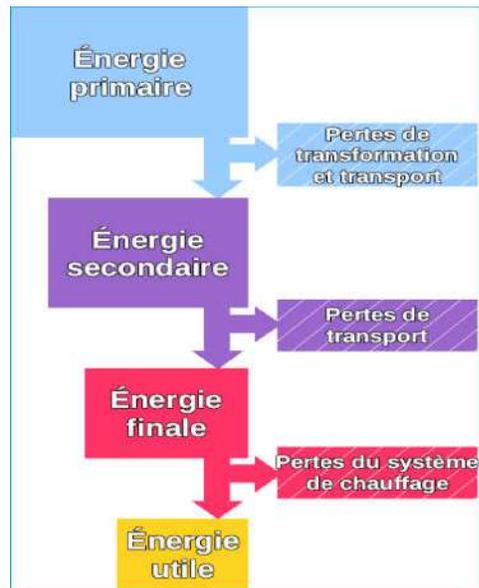


Fig. I.2: Les différents stades de l'énergie

I.4.2 Les différentes énergies

L'énergie primaire

Il s'agit de l'énergie brute, n'ayant subi aucune conversion, telle que peut l'être par exemple le pétrole non raffiné [12]

L'énergie secondaire

Ces énergies primaires sont transformées en énergies secondaires : produits pétroliers raffinés dont les carburants automobiles, électricité. [12]

L'énergie finale

L'énergie finale ou disponible est l'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer, fioul ou gaz « entrée chaudière ».) la consommation thermique finale est donnée avec ou sans correction du climat. [13]

Énergie utile

Énergie dont dispose effectivement l'utilisateur après la dernière conversion par ses propres appareils (rendement global d'exploitation). [14]

La maîtrise de la demande future d'énergie et des conditions d'approvisionnement constitue un enjeu politique majeur pour l'ensemble de la planète, sachant que les combustibles sont en voie de disparition, pour cela de nouvelles énergies vont être exploitées, caractérisées par leur aspect inépuisable, c'est les énergies renouvelables

I.5. L'énergie renouvelable

:Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie qui renouvellent constamment la nature. Autrement dit, ils n'émettent pas de gaz à effet de serre, qui sont moins polluants. Les énergies renouvelables dites «énergies propres» ou «énergies vertes» sont moins puissantes, s'opposent aux énergies fossiles, non renouvelables. Elle est renouvelable donc inépuisable. Elle est propre et non polluante, à la différence des combustibles fossiles qui Émettent des gaz dangereux dans l'air après leur combustion.

Une fois la production d'énergie renouvelable mise en place et les investissements récupérés, le coût de l'énergie sera moins cher que celui des Combustibles fossiles. [15]

I.6. Les sources d'énergies renouvelables

I.6. 1 L'énergie solaire thermique

L'énergie thermique solaire est une transformation de rayonnement solaire à une forme de chaleur, qu'on peut utiliser :

En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire cuisinière et séchoir solaire.

En usage indirect ou la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire. [16]

I.6. 2 Le solaire photovoltaïque

Elle permet de produire de l'électricité par transformations d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice le silicium est le plus employé ;

cependant, l'arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus onéreux. [16]



Fig. I.3: Panneaux solaires photovoltaïques

I.6. 3 Energie Hydraulique

L'énergie électrique est produit par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un rotor alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice. la quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source à l'avantage de ne pas être polluante. On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée. Le bruit, l'impact sur la vie principale inconvénients. [17]



Fig. I.4: Energie hydraulique

I.6. 4 L'énergie de la biomasse

La biomasse désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse. Des différents types sont à considérer : le bois énergie, les biocarburants et le biogaz. Le bois énergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde. Il s'agit aussi d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. Elle est exploitée par les quantités produites. [18]

I.6. 5 L'énergie éolienne

Le vent est une forme d'énergie solaire. Les vents sont causés par le réchauffement inégal de l'atmosphère par le soleil, les irrégularités de la surface terrestre et la rotation de la terre. Les régimes d'écoulement du vent sont modifiés par le terrain terrestre, les plans d'eau et la couverture végétale. Ce flux de vent, ou énergie de mouvement, lorsqu'il est «récolté» par les éoliennes modernes, peut être utilisé pour produire de l'électricité.

Le terme «énergie éolienne» décrit le processus par lequel le vent est utilisé pour générer de l'énergie mécanique ou de l'électricité. Les éoliennes convertissent l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Cette puissance mécanique peut être utilisée pour des tâches spécifiques (comme broyer du grain ou pour pomper de l'eau) ou un générateur peut convertir cette énergie mécanique en électricité pour alimenter les maisons, les entreprises, les écoles et autres. [19]



Fig. I.5: Éolienne

I.6. 6 L'énergie géothermie

La géothermie peut se définir comme étant la technique qui consiste à puiser dans le sous-sol ou dans les roches, les calories qui y sont contenues, afin de les rendre disponibles en surface pour des applications de chauffage ou de production d'électricité. Dans des cas particuliers, la géothermie peut consister à injecter de la chaleur dans le sous-sol afin de refroidir les installations de surface. Différentes sources de chaleur sont à l'origine de la chaleur interne de la terre : la radioactivité, la chaleur de différenciation et les mouvements différentiels. Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques ; c'est donc une énergie fiable et disponible dans le temps. Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans le sens où un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer. Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure, dans certains cas, très élevé. [20]

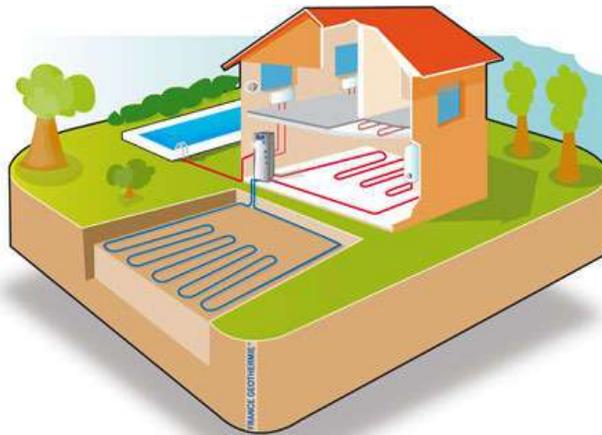
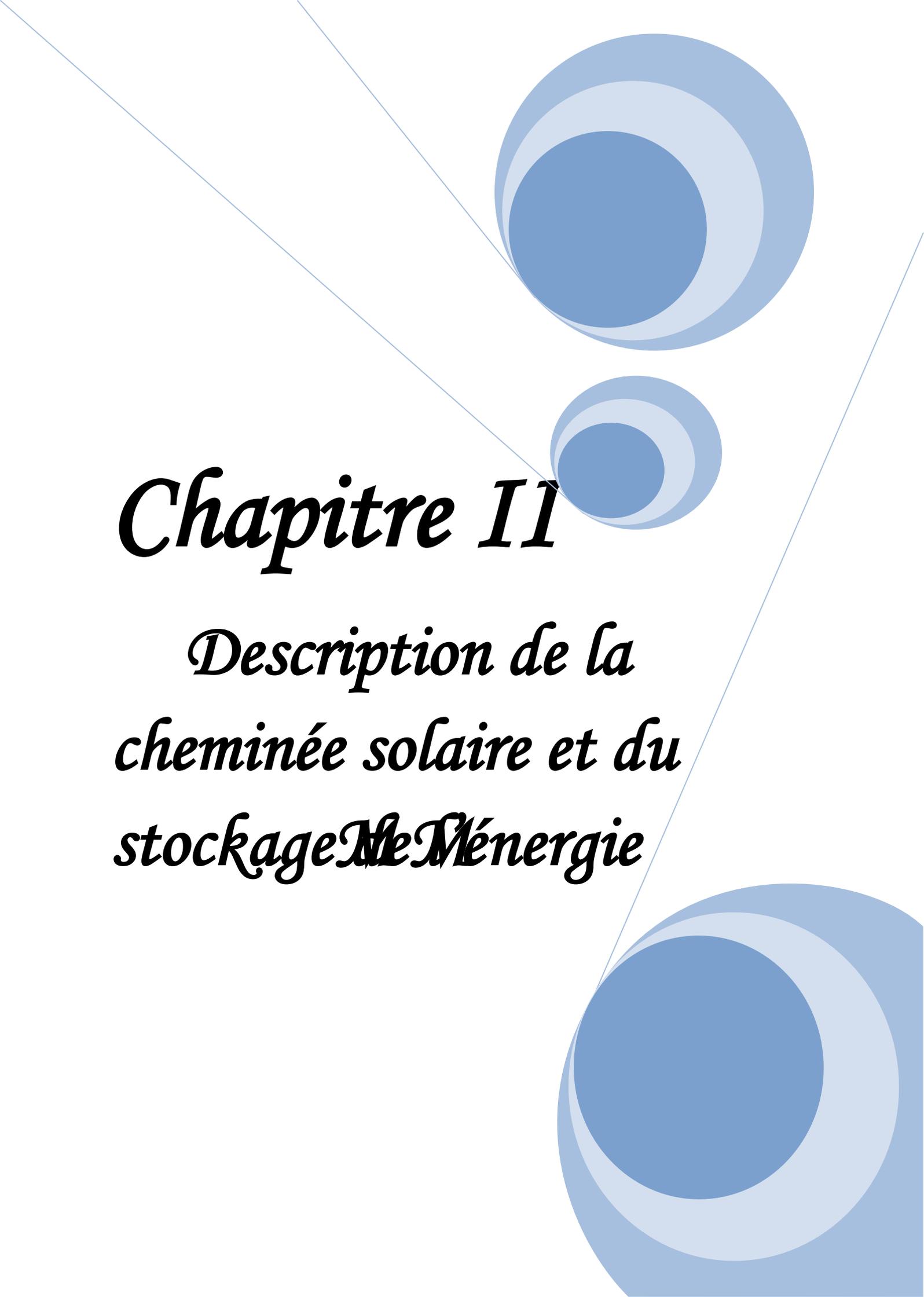


Fig. I.6: La géothermie

The page features three decorative blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings of different shades of blue. These circles are arranged in a vertical line on the right side of the page. Additionally, there are thin, light blue diagonal lines that intersect the circles and extend across the page.

Chapitre II

*Description de la
cheminée solaire et du
stockage de l'énergie*

II.1. Introduction

La cheminée solaire est un type d'énergie renouvelable qui produit de l'électricité à partir de l'énergie solaire. Et compter sur l'idée d'exploiter l'énergie cinétique de la convection naturelle de l'air chauffé par le soleil.

Tout cela fait du soleil une énergie incroyablement riche, et qui a surtout un avantage de son inépuisabilité.

La cheminée solaire est composée d'une grande serre appelée « collecteur » contient de l'air chauffé par le rayonnement solaire et guidé vers une cheminée. Cet air chaud naturellement aspiré par cette cheminée, est continûment renouvelé par l'air situé à la périphérie de la serre.

Le stockage thermique est d'une grande importance dans beaucoup de domaines puisqu'il offre de nombreux bénéfices pour la gestion des procédés industriels. Par exemple, un des problèmes les plus constants de l'industrie solaire est le décalage temporel qui existe entre la ressource solaire disponible et la demande en énergie. Par conséquent, il devient nécessaire de développer des systèmes efficaces pour collecter la chaleur pendant les périodes de fortes irradiances afin de la restituer plus tard durant les périodes de non-enseulement ou durant la nuit.

Le stockage de l'énergie thermique est assuré par des tubes noirs, remplis d'eau, et mis côte à côte sur le sol. Ces derniers sont remplis d'eau, une seule fois et restent par la suite fermés, afin qu'aucune évaporation ne puisse avoir lieu et qui absorbent la chaleur toute la journée pour la restituer pendant la nuit,

Un vent régulier se met alors en place. L'énergie cinétique de l'air est ensuite prélevée par un système des turbines éoliennes entraînant des générateurs d'électricité.

Le coût d'installation et de maintenance est réduit par rapport à d'autres types d'installations telles qu'une centrale nucléaire. De même, la maintenance d'une installation solaire n'est pas très coûteuse, de robustesse et de durée de vie.

II.2. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire

L'air est chauffé par le rayonnement solaire sous l'effet de serre dans le collecteur qui est ouvert à la périphérie pour introduire l'air frais, et puisque l'air le plus chaud est plus léger que l'air froid, il s'élève en haut d'une cheminée localisée au centre du collecteur.

Une turbine éolienne à la base de la cheminée est mise dans la trajectoire de l'écoulement de l'air pour convertir l'énergie cinétique de l'air écoulant en énergie mécanique, et le générateur entraîné par la turbine convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

Une cheminée solaire avec un terrain large pour le collecteur et une cheminée plus haute peut produire de 100 à 200 MW pendant la journée. [21]

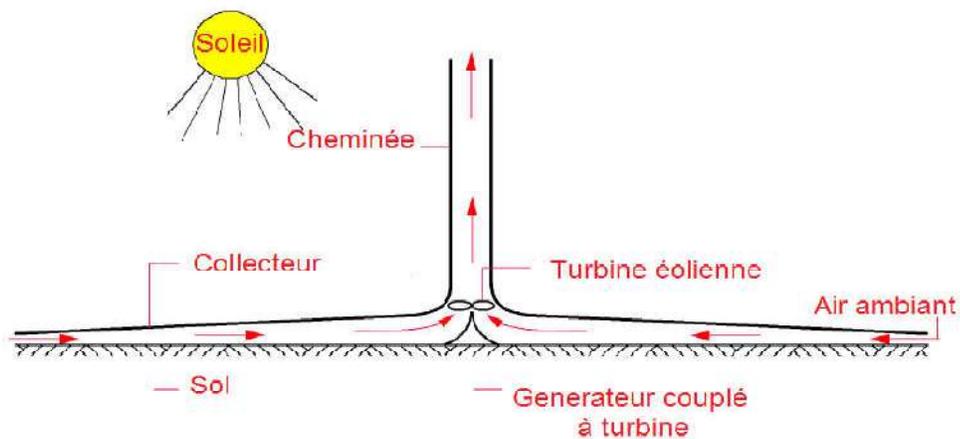


Fig. II .1: Schéma présentatif de la cheminée solaire

II.3. Principaux éléments de la cheminée solaire

II.3.1. Collecteur

L'air chaud pour la cheminée solaire est produit par l'effet de serre dans un simple collecteur d'air constitué uniquement d'un film de verre ou de film plastique étiré horizontalement de deux à six mètres au-dessus du sol. La hauteur du revêtement augmente à proximité de la base de la cheminée, de sorte que l'air est dévié vers le mouvement vertical avec une perte de friction minimale. Cette couverture admet la composante de rayonnement solaire à ondes courtes et retient le rayonnement à ondes longues du sol chauffé. Ainsi le sol sous le toit se réchauffe et transfère sa chaleur à l'air circulant radialement au-dessus de celui-ci de l'extérieur vers la cheminée. [22]



Fig. II .2: Vue intérieure du collecteur solaire

II.3.2. Cheminée

La cheminée elle-même est le moteur réel de l'équipement. Il s'agit d'un tube à faible frottement pour créer un écoulement d'air sous forme de vent, Il faut que la hauteur de la cheminée soit plus élevée, pour atteindre un niveau de basse pression par rapport au niveau de la base. [23]



Fig. II .3: Cheminée du prototype d'espagnol

II.3.3. Turbine éolienne

Les turbines sont toujours placées à la base de la cheminée où la vitesse d'écoulement d'air est plus élevée, pour transformer le maximum d'énergie cinétique en énergie mécanique.

Le générateur entraîné par la turbine transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. [24]



Fig. II .4: Turbine éolienne du prototype de Manzanares (Espagne)

II.4. Les systèmes du stockage d'énergie

II.4.1. Le stockage d'énergie

Les cheminées solaires fonctionnent en présence de rayonnement solaire qui fonctionne pendant la journée. En l'absence de rayonnement (la nuit), il va créer un arrêt à la cheminée et c'est pour cela qu'on utilise le rayonnement de la lumière du jour pour faire fonctionner la cheminée la nuit par la méthode de stockage d'énergie. [25]

On a plusieurs méthodes de stockage d'énergie pendant la nuit et actuellement on utilise les méthodes suivantes par chauffage de gravier consacré ou bien Des tubes noirs remplis de l'eau.

II.4.2. Systèmes de stockage

Il y a plusieurs façons de stocker l'énergie thermique. Ces appareils sont de première classe en fonction de la température à laquelle le stockage fonctionnera. Selon la valeur de ces températures, il est possible d'utiliser différents types de matériaux. Il y a trois options distinctes: stockage sous une chaleur sensible ou chaleur latente ou thermochimique. [26]

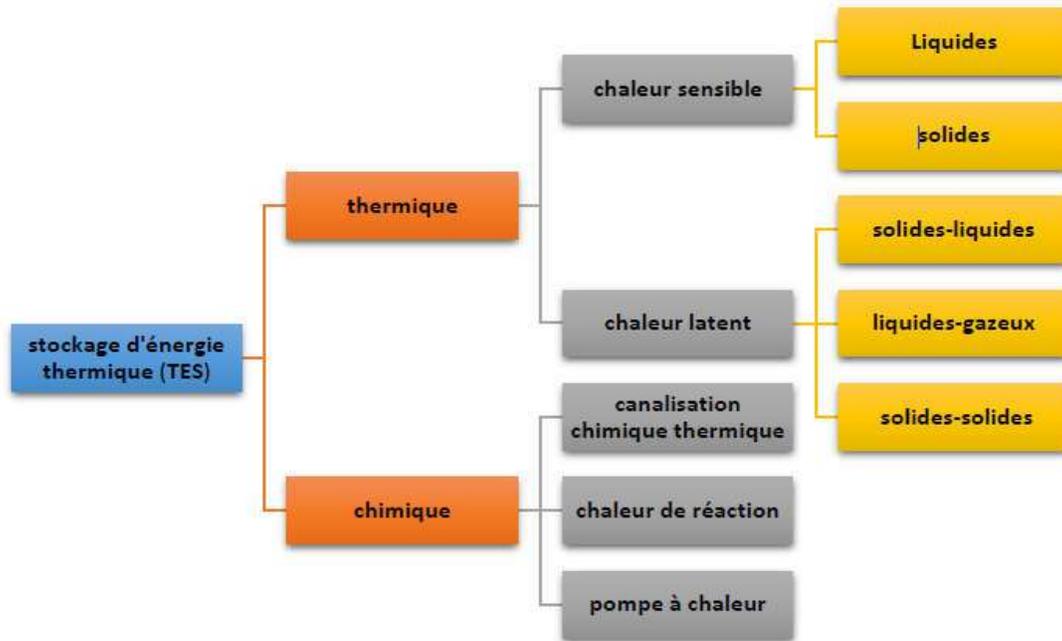


Fig. II .5: Différents types de stockage thermique de l'énergie solaire [27]

II.5. Stockage de l'énergie par chaleur sensible

Dans une unité de stockage de chaleur sensible, l'énergie thermique est stockée par modification de la température du support de stockage, qui peut être un liquide ou un solide. La quantité d'énergie stockée dans l'unité dépend de la capacité calorifique du fluide, des changements de température et de la quantité du matériau de stockage. Ainsi, il est souhaitable que le support de stockage ait une grande capacité thermique spécifique, stabilité à long terme sous le cycle thermique et surtout à faible coût. Le stockage de chaleur sensible peut être un stockage de milieux liquides tels que l'eau, les fluides à base d'huile, sel fondu, etc., ou solide et le stockage des supports comme des pierres, des métaux et d'autres. [28]

II.5
$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mC_p dT = mC_{ap}(T_f - T_i) \dots\dots\dots (1)$$

avec :

Q_{12} : chaleur sensible

T_1 et T_2 : températures initiales et finales

c_p : capacité thermique massique du corps pouvant dépendre de la température

m : masse du corps

II.5.1. Matériaux

Les matériaux utilisés pour le stockage de chaleur sensible peuvent être des fluides ou des solides :

Cas des fluides : on utilise généralement de l'eau pure dans les circuits d'eau chaude, ou avec adjuvant pour les circuits thermiques domestiques, les huiles et les sels fondus principalement utilisés par les centrales électriques solaires, On peut utiliser aussi, les métaux fondus (nucléaire), la vapeur d'eau. Chacun de ces fluides possède des caractéristiques thermo physiques propres et adaptées à une utilisation particulière (température, viscosité, coût, espace...). On trouve également des mélanges très particuliers parfois développés pour un site spécifique. Le tableau II.1 regroupe quelques-uns de ces fluides ainsi que leurs propriétés thermo physiques. [29]

Tableau. II.1 : Propriétés thermo physiques des fluides pour le stockage [29]

| Matériau | Masse volumique ρ [kg·m ⁻³] | Chaleur sensible C_p [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹] | Conductivité λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹] | Capacité volumique C_v [J·m ⁻³ ·K ⁻¹] |
|-------------------|---|--|---|---|
| Eau liquide | 1000 | 4186 | 0,6 | 4,18 |
| Eau vapeur | 0,5977 | 1864 | 0,018 | 3118,62 |
| Huiles | 700 - 900 | 1700 - 2700 | 0,1 - 0,7 | 1,19 - 2,43 |
| Sels fondus | 900 - 2600 | 1500 | 0,15 - 2,0 | 1,35 - 3,9 |
| TherminolVP-1 | 815 | 2319 | 0,1 - 0,7 | 1,35 - 3,9 |
| Hitec™ Solar Salt | 1870 | 1600 | 0,8 | 2,99 |

Cas des solides: Il est également possible de stocker l'énergie thermique sous forme de chaleur sensible dans des matériaux solides (Tableau II.2), que ce soit des roches telles que le béton, les briques, les céramiques ou des métaux. Les roches possèdent une conductivité beaucoup plus faible que les métaux. Il est donc possible d'y stocker une quantité d'énergie

approximativement équivalente mais de façon moins rapide, ce qui est plus adapté à du stockage sur du long terme. Le béton est par exemple utilisé dans le bâtiment sous forme de pieux échangeurs [30]. Dans le sol, au niveau des fondations pour des stockages saisonniers de chaleur. Les métaux peuvent être utilisés pour des stockages tampons à plus court terme en raison de leurs temps de réaction plus rapides.

Tableau. II.2 : Propriétés thermo physiques des solides pour le stockage [31]

| Matériau | Masse volumique ρ [kg·m ⁻³] | Chaleur sensible C_p [J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹] | Conductivité λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹] | Capacité volumique CV [J·m ⁻³ ·K ⁻¹] |
|-----------------------|---|--|---|--|
| Roche | 2150 - 2680 | 745 - 1105 | 2,15 - 5,38 | 1,6 - 2,96 |
| Sable | 1515 | 850 | 0,27 | 1,2 |
| Brique réfractaire | 2050 - 2645 | 960 | 1 - 1,18 | 1,97 |
| Béton | 2750 | 916 | 1,0 - 1,75 | 2,52 |
| Céramique | 3500 | 866 | 1,35 | 3,03 |
| Aluminium | 2707 | 896 | 204 | 2,43 |
| Cuivre | 8954 | 383 | 385 | 3,43 |
| Fer | 7897 | 452 | 73 | 3,57 |

Les matériaux de stockage solides peuvent s'utiliser conjointement avec un fluide. Ainsi, il est possible de remplir une cuve de stockage avec un garnissage granulaire, par exemple des billes de métal (figure 6) ou bien du gravier et du sable (figure 7), le tout baignant dans de l'eau ou dans un autre fluide. Ceci permet d'exploiter les capacités thermiques du fluide et du solide. Avec ce type de procédé, la quantité de fluide est réduite, la convection naturelle à l'intérieur de la cuve de stockage est inhibée et la stratification est bien conservée, ce qui permet généralement de diminuer le volume utile du module de stockage.

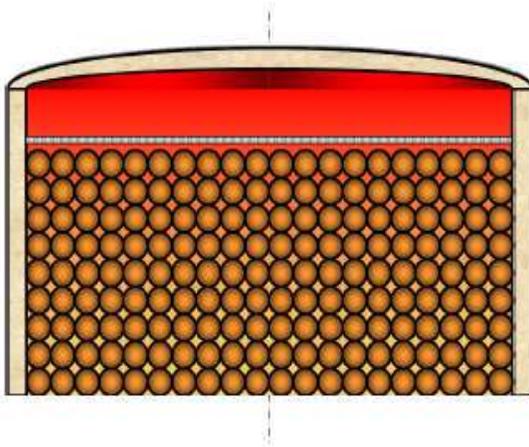


Fig. II .6: Stockage avec garnissage [32]

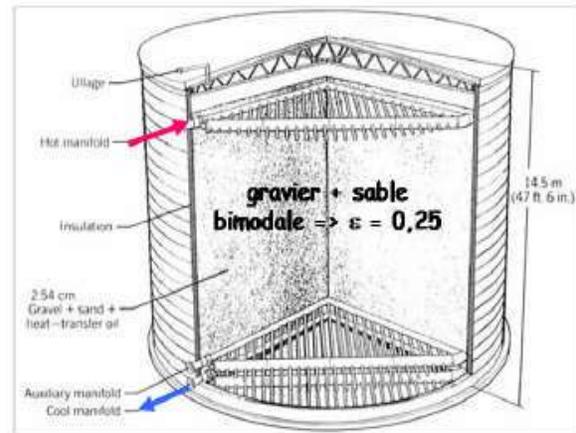


Fig. II .7: Stockage avec gravier et sable [32]

II.5.2. Stockage de l'énergie par chaleur latente

Ce type de stockage est très efficace parce que il a une capacité de stockage d'énergie très élevée et la chaleur en tant latente de fusion à une température constante correspondant à la température de transition de phase des matériaux. Par exemple dans le cas de l'eau, 80 fois plus d'énergie est nécessaire pour faire fondre 1 kg de glace pour élever la température de 1 kg d'eau de 1 ° C. Cela signifie qu'un poids et du volume de matière beaucoup plus faible est nécessaire pour stocker une certaine quantité d'énergie. [33]

$$\text{II.5.2} \quad Q = \int_{T_{\text{froid}}}^{T_{\text{fusion}}} m \cdot C_{p,s} \cdot dT + m \cdot \Delta L + \int_{T_{\text{fusion}}}^{T_{\text{chaud}}} m \cdot C_{p,l} \cdot dT \quad \dots\dots(2)$$

Où, Q est la quantité d'énergie stockée (J), m est la masse du matériau de stockage (kg), $C_{p,s}$ et $C_{p,l}$ sont respectivement les chaleurs spécifiques des matériaux solide et liquide ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$), ΔL est l'enthalpie infinitésimale de changement de phase (J.kg^{-1}) et dT est la variation infinitésimale de la température durant l'étape de charge (K).

II.5.3. Stockage de l'énergie Thermochimique

L'énergie thermochimique est la chaleur absorbée ou libérée au cours d'une réaction chimique endothermique ou exothermique. Le stockage d'énergie thermochimique est basé sur l'énergie des liaisons des composés chimiques mise en jeu au cours des réactions chimiques réversibles.

Dans ce système, la capacité de stockage de chaleur est généralement élevée parce qu'une énergie chimique élevée se produit au cours de la rupture et de la recombinaison des liaisons moléculaires dans une réaction chimique réversible. Le stockage d'énergie thermochimique peut être effectué à l'aide de caloduc chimique ou d'une pompe à chaleur chimique. Ce système est plus compliqué que le stockage de la chaleur sensible et latente.

Pour ce système, la réaction chimique doit être réversible et les composés chimiques utilisés doivent être inoffensifs et non corrosifs. [34]

L'énergie thermique est stockée dans le produit B(s) sous forme d'énergie chimique (liaisons chimiques). La somme des énergies sensibles des matériaux et de la chaleur libérée par la réaction inverse (réaction exothermique) représente la quantité d'énergie (E) qui peut être stockée dans une réaction chimique du type $A(s) + \Delta H_r \rightleftharpoons B(s) + C(g)$, selon la relation

$$\text{II. 5.3} \quad E = \sum_{i=1}^N \int_{T_i}^{T_r} m_i \cdot C_{p_i} \cdot dT + n \cdot \Delta H \dots\dots\dots(3)$$

avec E la quantité d'énergie stockée (J), Cp la capacité calorifique à pression constante (J.kg-1.K-1), n le nombre de moles de réactif (mol), et ΔHr l'enthalpie de la réaction (J.mol-1)

Le produit B(s) peut être isolé séparément du gaz C(g) de sorte qu'il soit possible de le stocker indéfiniment en tant que solide stable avec un minimum d'effet sur l'environnement. De façon très avantageuse, le solide B(s) peut être refroidi et stocké à température ambiante, ce qui réduit les problèmes de réservoirs de stockage avec, notamment, pas de préoccupation à avoir concernant l'isolation du produit (pas de pertes thermiques si stockage à température ambiante), la présence de fluides corrosifs ou de problèmes liés au stockage de matériaux à haute température. Lors de la décharge, le produit B(s) est remis en présence du gaz C(g) à plus basse température pour libérer l'énergie stockée durant une réaction exothermique

The background features a white page with a decorative graphic. Three blue circles of varying sizes are arranged in a diagonal line from the top right to the bottom right. Each circle is composed of three concentric layers: a dark blue inner circle, a medium blue middle ring, and a light blue outer ring. Two thin, light blue lines intersect at the top center and extend downwards, forming a large 'V' shape that frames the circles and the text.

*Partie
Expérimentale*

The background features three large, overlapping blue circles of varying sizes, each with a lighter blue ring around its center. Two thin, light blue lines intersect at the top left corner, extending diagonally across the page.

*Chapitre
III*

*Conception
et
méthodes
de mesure*

III.1. Introduction

Le contexte énergétique a encouragé les scientifiques à envisager d'utiliser l'énergie solaire qui présente le double avantage d'être gratuite et propre. Cependant, l'inconvénient de cette source d'énergie est son intermittence. L'une des solutions les plus importantes pour remédier à cet inconvénient est le stockage d'énergie. Cette énergie peut être stockée sous forme de chaleur dans les réservoirs thermiques. Ces derniers diffèrent par la géométrie de l'échangeur et par la nature du matériau servant à stocker l'énergie [35-36]. Ainsi, l'énergie thermique peut être alors stockée sous forme de chaleur sensible, ou bien sous forme de chaleur latente ou même les deux à la fois. [37]

Afin de fonctionner de manière optimale, une cheminée solaire devrait être construite dans une zone très ensoleillée et avec de nombreux endroits inhabités, les dernières conditions sont disponibles dans le sud de l'Algérie.

Notre étude est basée à un stockage par chaleur sensible dans une cheminée solaire en cas de l'absence de rayonnement solaire. Ce travail a été effectué au département de génie mécanique de la faculté des sciences appliquées à l'Université Ouargla.

III.2.Aspect climatique d'Ouargla

La région d'étude se caractérise par un climat aride, très chaud en été avec une moyenne maximale de 42.8 °C au mois de juillet et une température moyenne minimale de 4.4 °C au mois de janvier. L'humidité dans la région d'Ouargla est limitée entre 24-62% pendant toute l'année. Le vent souffle du Nord-est et du Sud, les vents les plus fréquents en hiver sont les vents de l'Ouest, tandis qu'au printemps ce sont les vents du Nord-est et l'Ouest qui dominent, en été ils soufflent du Nord-est et du Sud-ouest. La vitesse moyenne annuelle $V_{moy} = 3.70 \text{ m/s}$. L'ensoleillement est considérable à Ouargla, car l'atmosphère présente un ciel clair durant toute l'année avec 138 jours en moyenne de l'année où le ciel est totalement clair, ce facteur est considéré comme avantageux et économique. [38]

III.3. Prototype de cheminée solaire Ouargla :

On a utilisé le prototype optimal crée et étudié dans le mémoire <<Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire>> qui a été présenté l'année passée. (MEHIRI Ahmed Yacine et BEN MAZOUZIA Mohamed Fares).[39]

Dans cette étude, notre objectif principal été de faire des études expérimentaux sur le comportement d'écoulement de la cheminée solaire par la variation des paramètres géométriques comme de celle-ci comme:

- le diamètre de la cheminée
- la hauteur de la cheminée
- la hauteur du collecteur



Fig. III.1: Image de prototype optimale de cheminée solaire

III.4. Structure et composant

III.4.1. La cheminée : les dimensions de la cheminée sont les suivants :

Une longueur de 4 mètre et 16 cm de diamètre fabriquée en PVC ($\lambda = 0.15 \text{ W/m.K}$ à 23°C) et revêtue par laine de verre pour éviter la perte de chaleur ($\lambda = 0.04 \text{ W/m.K}$). Le tube (cheminée) est fixé par un support métallique fileté.



Fig. III.2 : La cheminée

III.4.2. Le collecteur

Le collecteur à la forme octogone de 3 m de diamètre et d'une superficie de 6 m² est Composé de:

1. Une couverture de verre ordinaire de 4 mm d'épaisseur ($\lambda = 1 \text{ W/m.K}$ et le coefficient de transmission thermique $U = 5,8 \text{ W/m}^2\text{.K}$), choisi pour ses bonnes qualités physiques et le faible coût.
2. Plaque absorbante d'une superficie de 6 m² et de 0.3 mm d'épaisseur, peinte en noir mat pour absorber le maximum de rayonnement solaire global afin de le restituer en forme de chaleur, qui est responsable du chauffage de l'air.
3. Isolation thermique, d'épaisseur 30 mm faite en polystyrène afin de limiter les pertes thermiques.



Fig. III.3: Le collecteur

III.4.3. Le support de la cheminée

Une plateforme octogonale faite à partir de quatre planches d'acier ($C_p=0.44\text{KJ/Kg.}^\circ\text{C}$) température ambiante et $\lambda = (71.8 \text{ W/m.K})$ soudées transversalement entre elles. Au centre et dans les pontes des planches des longs boulons sont soudés afin de fixer le collecteur superposé et le donné des différentes positions en hauteur.



Fig. III.4: Le support de la cheminée

III.4.5. La plaque absorbante

Un cadre métallique d'une forme identique à la plateforme fabriquée en acier, perforé pour insérer dans les boulons au centre.



Fig. III.5: La plaque absorbante

III.4.6. L'isolation thermique

Base en polystyrène ($\lambda = 0.030 \text{ W/m.K}$) mise au-dessous de la plateforme et de même forme sert comme isolant thermique.



Fig. III.6: L'isolation thermique

III.5. Système de stockage de chaleur

Le stockage par chaleur sensible a fait ses preuves depuis des milliers d'années. Il s'agit par exemple du simple fait de poser une pierre près d'un feu, de la déplacer et de profiter de la chaleur qu'elle restitue dans le temps. C'est aussi le principe que l'on retrouve dans l'utilisation. La technologie de stockage a atteint une maturité, qui la rend prête à être exploitée pour une utilisation efficace des énergies renouvelables.

Parmi les techniques mises en œuvre, les critères de choix dépendent de la nature du besoin, des contraintes liées à la réglementation, du coût, et de l'environnement.

Sur cette base, nous avons choisi les 02 matériaux suivants :

01 : Des tubes noirs remplis de l'eau.

02 : Gravier concassé coloré avec une peinture noir mat. (Le nom du marché du gravier concassé est griflate)

On a étudié 02 cas pour le gravier : une couche de 05cm et une couche de 10cm

Tableau. III.1 : Propriétés thermo physiques des matériaux utilisés

| Eau [40] | Gravier [41] | Tube PVC [42] |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| $C_p = 4,18 \text{ (J.g-1.K-1)}$ | $C_p = 0.99 \text{ (J.g-1.K-1)}$, | longueur de tube 100 m |
| $\lambda = 0,6 \text{ W/m.K}$ | $\lambda = 0.4 \text{ W/m.K}$ | $\lambda = 0.2 \text{ W/m.K}$ |



Fig. III.7: Couche de gravée concassée 05 cm



Fig. III.8: Couche de gravée concassée 10 cm



Fig. III.9: Prototype de cheminée solaire avec stockage



Fig. III.10: Tube noire de PVC en spirale

III.6. Paramètre étudiées

A travers cette étude expérimentale, qui a pour but de rechercher un stockage de l'énergie par gravier et l'eau dans un tuyau noir

A ce niveau d'étude, nous avons considéré deux variantes à savoir :

- Première variante : couche de gravier 5 cm.
- Deuxième variante : couche de gravier 10 cm

Nombreux sont les paramètres qui agissent sur le fonctionnement de la cheminée solaire essentiellement on cite:

- T_{amb} : Température ambiante ($^{\circ}C$)
- T_{ecl} : Température à l'entrée du collecteur ($^{\circ}C$)
- T_{ccl} : Température au centre du collecteur ($^{\circ}C$)
- T_{ech} : Température à l'entrée de la cheminée ($^{\circ}C$)
- T_{sch} : Température à la sortie de la cheminée ($^{\circ}C$)
- T_{30} : Température à une distance de 30cm de l'entrée de collecteur
- T_{60} : Température à une distance de 60cm de l'entrée de collecteur
- T_{90} : Température à une distance de 90cm de l'entrée de collecteur
- R_s : Rayonnement du soleil (W/m^2)
- V_{ech} : Vitesse de l'écoulement à l'intérieur de la cheminée (m/s)
- V_{vent} : vitesse de vent (m/s)

III.7. Instruments de mesure utilisée dans l'expérience

III.7.1 Mesure du rayonnement solaire global

C'est un appareil pour qui mesurent le rayonnement solaire et la température ambiante et qui donne des valeurs instantanées pour une intensité lumineuse comprise entre 0 à 1 250 W/m^2 et une Température de -40 à +85 $^{\circ}C$



Fig. III.11: Mac solar

III.7.2 Mesure de la vitesse de l'air

La vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée doit être mesurée ; il est nécessaire d'avoir un instrument de mesure ayant la meilleure précision possible, le choix se porta alors sur un anémomètre à fil chaud et anémomètre à hélice.

III.7.3 Appareil chauvin-Arnoux C.A 1051 :

Le C.A 1051 offre toutes les mesures nécessaires pour effectuer le bilan complet des installations de climatisation, de chauffage et de ventilation. Ergonomique et précis, il est tenu dans la main et présent un accès aisé aux différentes fonctions. A la fois thermo-anémomètre à fil chaud ou à hélice, le C.A 1051 mesure aussi les températures.

Caractéristique technique :

- Thermo-anémomètre à fil chaud : Vitesse du fil chaud : 0 à 3 m/s et 3.1 à 30 m/s
- Thermo-anémomètre à hélice : Vitesse de l'hélice Ø100mm : 0.20) 3 m/s et 3.1 à 35 m/s
- Température 2 entrées Thermocouple K:-200 à +40 °C /-39 à +999 °C /+1000 à+1300°C



Fig. III.12: Appareil chauvin-Arnoux C.A 1051

III.7.4 Mesure de la température

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K étaient les températures à différents endroits de la cheminée solaire. Pour obtenir ces données, nous avons utilisé plusieurs thermocouples, les trois captures furent positionnées à des endroits déterminants de la cheminée solaire.

Thermocouple 1 : Température de l'air à l'entrée du collecteur (°C).

Thermocouple 2 : Température de l'air au centre du collecteur (°C).

Thermocouple 3 : Température de la face interne du vitrage (°C).

Thermocouple 4 : Température de l'air à la sortie de la cheminée (°C).

Thermocouple 5 : Température de l'air à l'entrée de la cheminée (°C).

Thermocouple 6 : Température à une distance de 30cm de l'entrée de collecteur (°C).

Thermocouple 7 : Température à une distance de 60cm de l'entrée de collecteur (°C).

Thermocouple 8 : Température à une distance de 90cm de l'entrée de collecteur (°C).

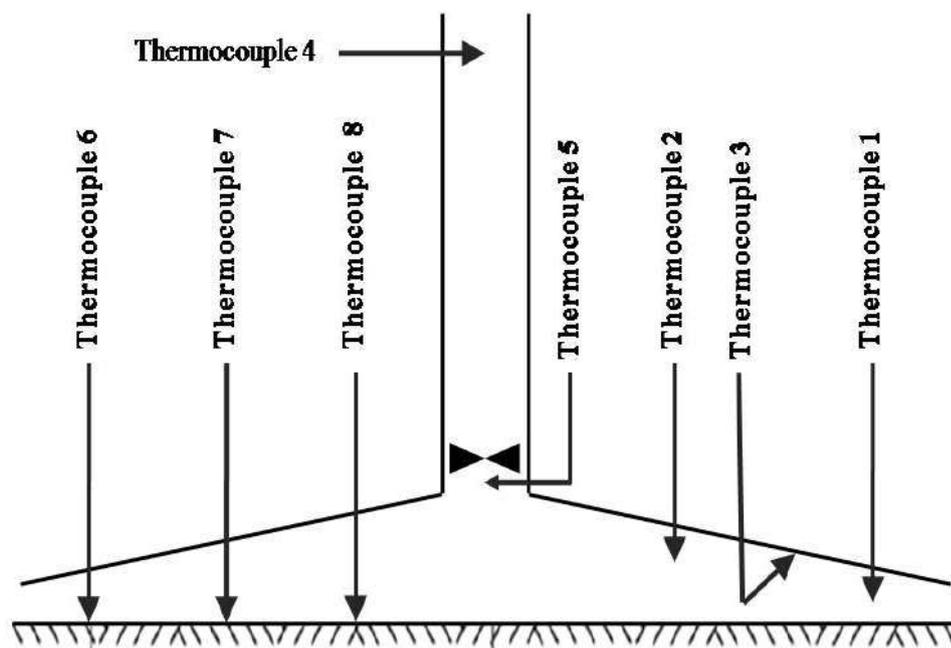


Fig. III.13: Emplacement de thermocouple dans une cheminée

The background features a white page with three blue circular elements. Each circle is composed of three concentric rings: a dark blue inner circle, a medium blue middle ring, and a light blue outer ring. Two thin, light blue lines intersect at the top left, forming a large 'V' shape that frames the central text. The circles are positioned at the top right, middle right, and bottom right of the page.

Résultats et Discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons exposer les résultats expérimentaux obtenus pendant les expériences effectuées dans chaque série expérimentale.

Nous citons les symboles suivants qu'on va utiliser dans ce chapitre:

- **Tamb** : Température ambiante (°C)
- **Tecl** : Température à l'entrée du collecteur (°C)
- **Tccl** : Température au centre du collecteur (°C)
- **Tech** : Température à l'entrée de la cheminée (°C)
- **Tsch** : Température à la sortie de la cheminée (°C)
- **T30** : Température à une distance de 30cm de l'entrée du collecteur (°C)
- **T60** : Température à une distance de 60cm de l'entrée du collecteur (°C)
- **T90** : Température à une distance de 90cm de l'entrée du collecteur (°C)
- **Rs** : Rayonnement du soleil (W/m²)
- **Vech** : Vitesse de l'écoulement à l'entrée de la cheminée (m/s)
- **Vvent** : vitesse du vent (m/s)

IV.2. Premier prototype

La série des graphes concernant le premier prototype, regroupe les variations des paramètres climatiques, la différence de la température entre l'ambiante et au centre du collecteur aussi la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de la tour en fonction du temps local. Cette expérience a été réalisée dans le jour du 02/05/2018.

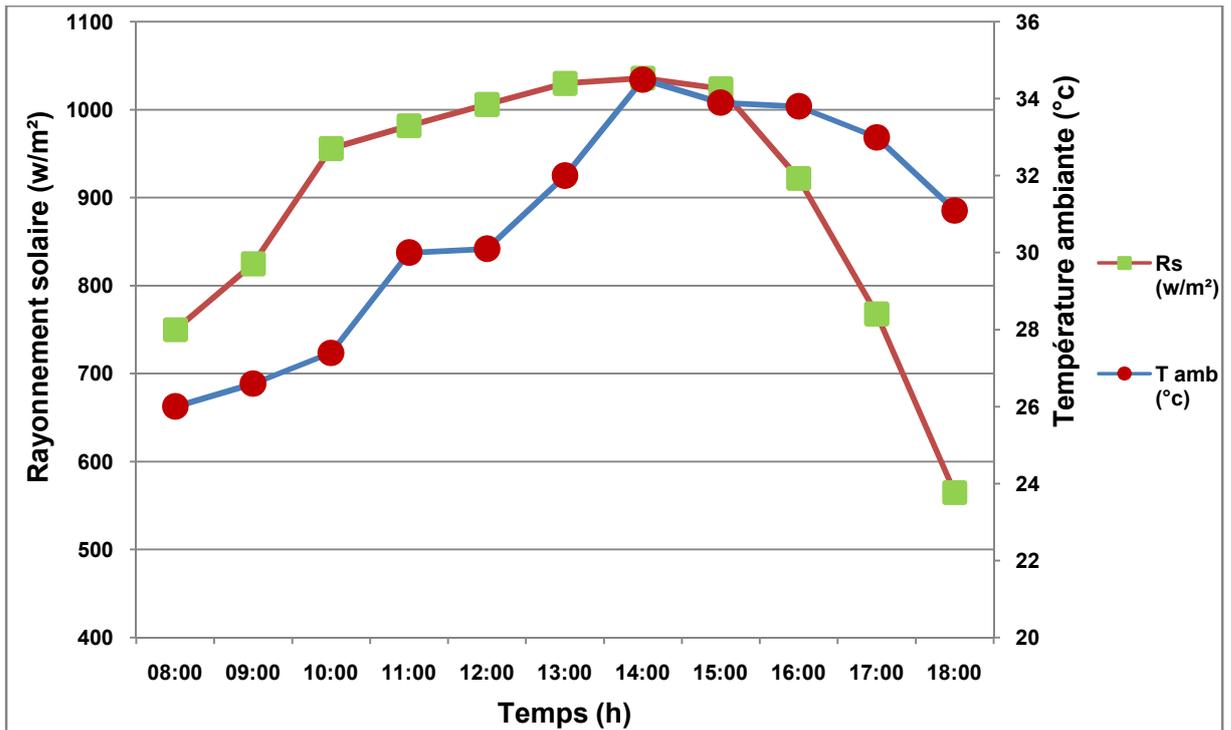


Fig.IV.1: Variations du rayonnement solaire et de la température ambiante en fonction du temps (Jour de: 02/05/2018).

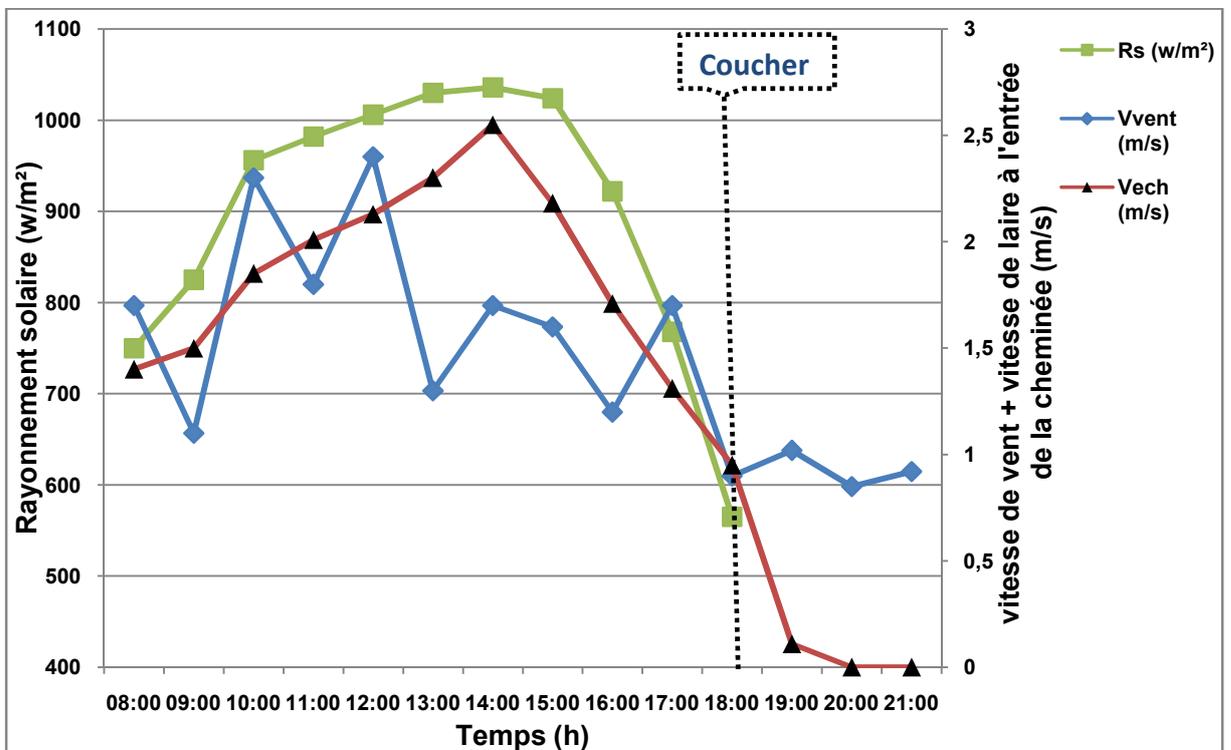


Fig.IV.2: Variations de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée, de l'éclairement solaire et de la vitesse du vent en fonction de temps (Jour de: 02/05/2018).

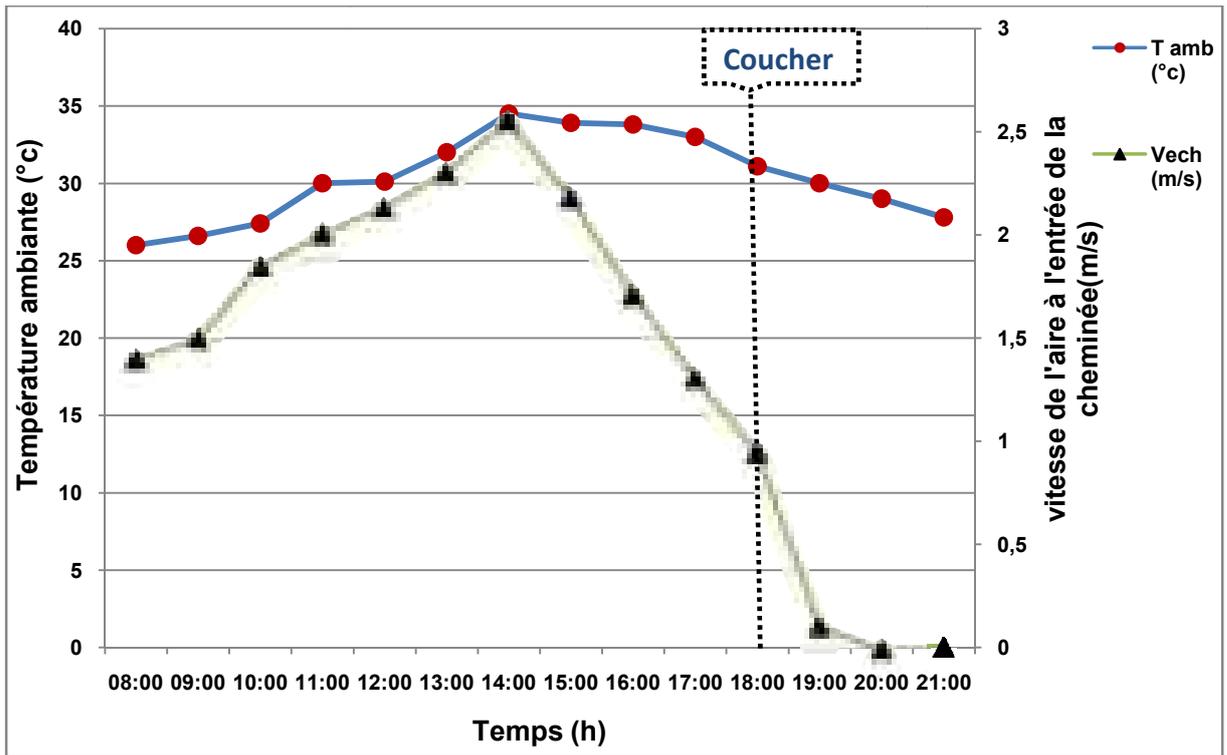


Fig.IV.3: Variations de la vitesse de l'écoulement à l'entrée de la cheminée et de la température ambiante en fonction du temps (Jour de: 02/05/2018).

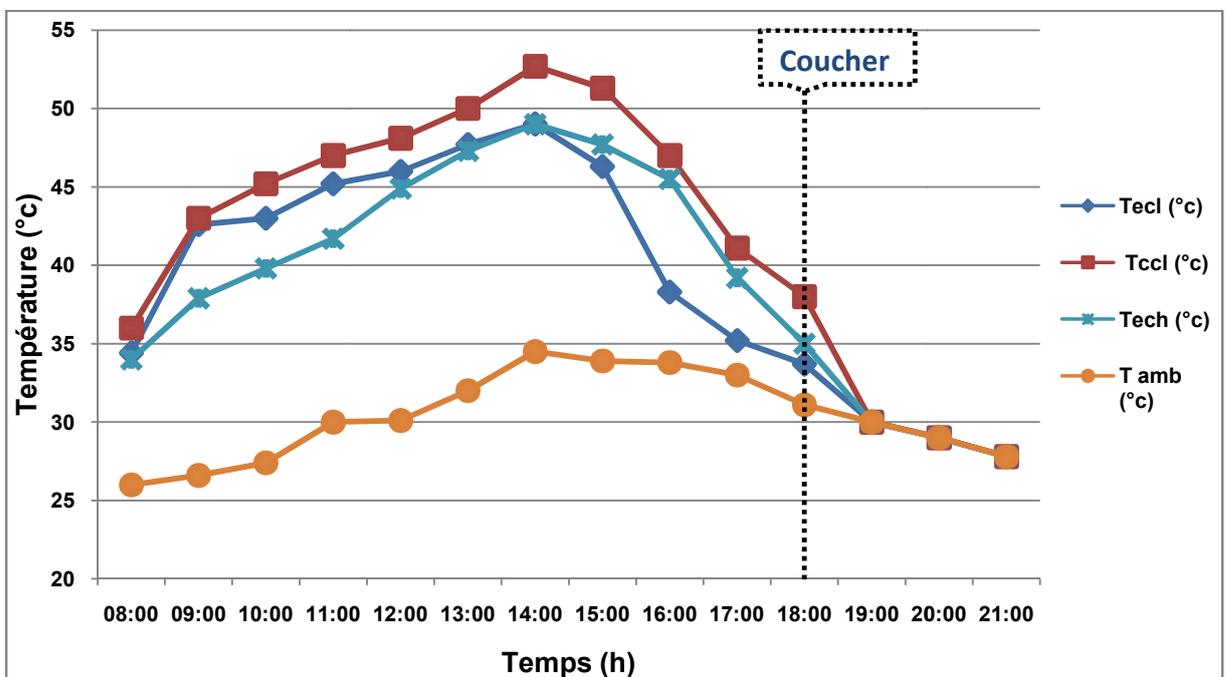


Fig.IV.4: Variations des températures aux différentes positions en fonction du temps (Jour de: 02/05/2018).

IV.2.1 Interprétation et discussion des résultats

Intensité du rayonnement, températures ambiante et vitesse de vent

D'après les résultats mentionnés (Fig.1 et Fig.2):

On observe que, l'intensité du rayonnement solaire commence à augmenter la matinée à partir 750 W/m² à 08h00 pour qu'elle atteigne sa valeur maximale 1036 W/m² à 14h00, puis elle diminue de nouveau, jusqu'à 565 W/m² à 18h00.

La trajectoire de la courbe de la température ambiante est similaire à celle de l'intensité, puisque généralement l'intensité solaire est le responsable de la variation de la température du milieu ambiant. La valeur de la température ambiante est maximale environ 14h00.

La vitesse du vent et sa direction généralement n'étaient pas uniformes. La vitesse enregistrée pour cette journée variait entre 0.85 et 2.4 m/s; la valeur moyenne obtenue est de 1.1 m/s.

La vitesse de vent n'a pas de corrélation avec la vitesse à l'entrée de la cheminée, les courbes du rayonnement solaire et de la vitesse à l'entrée de la cheminée sont similaires alors, on conclut que le rayonnement solaire est le premier responsable à la variation de la vitesse à l'entrée de cheminée où on a vu que cette vitesse est atteinte sa valeur maximale (2.55m/s) à 14h00 suivant la valeur maximale du rayonnement solaire 1036 W/m².

Cette corrélation est causée par l'effet de serre créée par le rayonnement solaire qui a augmenté la température dans la cheminée par rapport à la température ambiante, ce gradient de température provoque un vent artificiel continu.

Les paramètres influençant la vitesse de l'air

Les figures (Fig.2 et Fig.3) représentent la variation de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée, le rayonnement solaire et la température ambiante en fonction du temps. Il est clair que la vitesse de l'air augmente avec l'augmentation de l'éclairement solaire et de la température ambiante, mais l'effet de l'éclairement solaire a plus d'importance comparant à la température.

Par exemple quand l'éclairement solaire est de 1036 W/m² et la température ambiante est de 34.5°C on obtient une vitesse de l'air 2.55m/s. puis elle diminue de nouveau jusqu'à 0.95 m/s quand l'éclairement solaire est de 565 W/m² malgré la température ambiante est de 31.1°C (elle est presque constante).

Distribution de la température dans la cheminée solaire

La figure (Fig.4) expose les courbes de la température de l'air aux différents endroits du collecteur. La température augmente dans le collecteur de l'entrée vers le centre, ceci est expliqué par le fait que l'air dans celui-ci s'échauffe près du sol et s'élève vers le toit pour se refroidir, elle diminue progressivement dans l'autre partie de cheminée en allant vers la sortie.

La vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée

La vitesse de l'air à l'intérieur de la cheminée est le paramètre principal pour l'entraînement de la turbine pour la production de l'électricité. Les deux figures (Fig.2) et Fig.3 montre la variation de la vitesse de l'air en fonction du temps, elle augmente progressivement au début de la journée pour atteindre la valeur maximale de 2.55 m/s à 14:00h, puis elle diminue de nouveau l'après-midi, la valeur moyenne enregistrée entre 08:00h et 18:00h est d'environ 1.3 m/s .

IV.3. Deuxième prototype

La série des graphes concernant le deuxième prototype, explique l'influence de stockage de l'énergie par chaleur sensible sur les performances de la cheminée solaire dans la nuit et même le matin. Cette expérience a été réalisée dans les jours du 02/04/06 et 13 mai 2018.

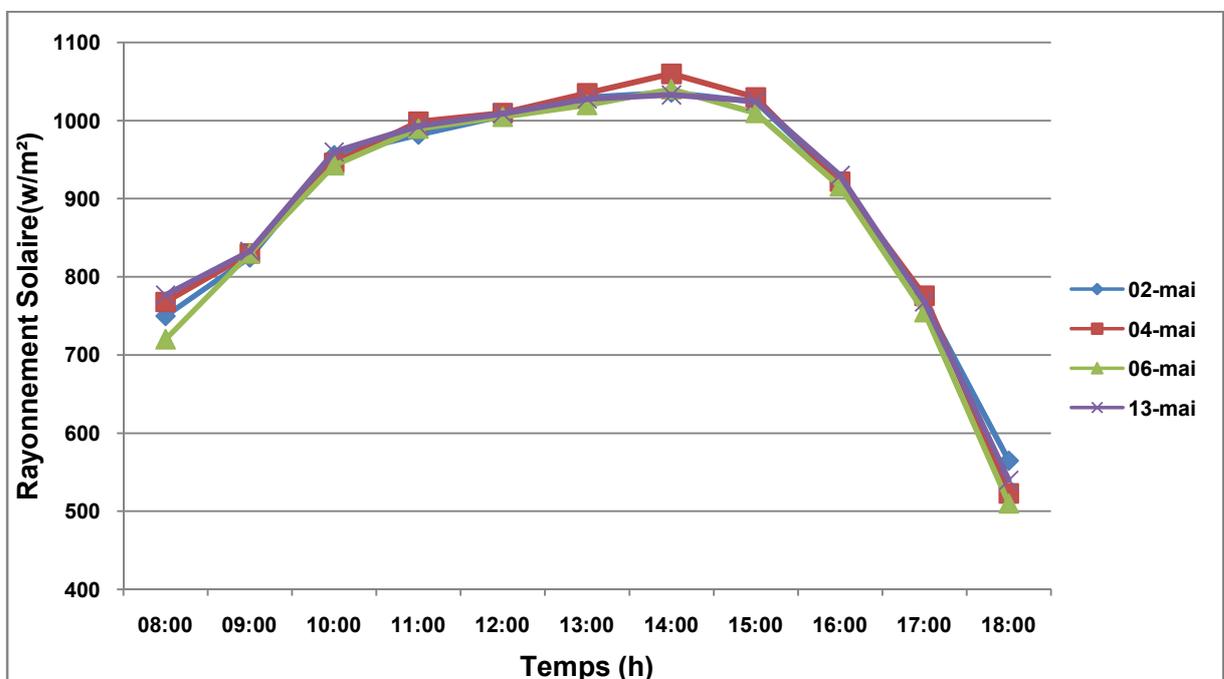


Fig.IV.5: Variations du rayonnement solaire pour les jours: 02/04/06 et 13 mai 2018.

IV.3.1. Interprétations et discussions des résultats

D'après la figure (Fig.5), on observe que le rayonnement solaire a de allures presque identique pour tous les jours de travail, ce qui signifie que nos expériences sont faites dans des conditions de rayonnement similaires même si nous les avons exécutés dans des jours différents tant que le rayonnement solaire est le paramètre principal qui influe sur la performance de la cheminée solaire.

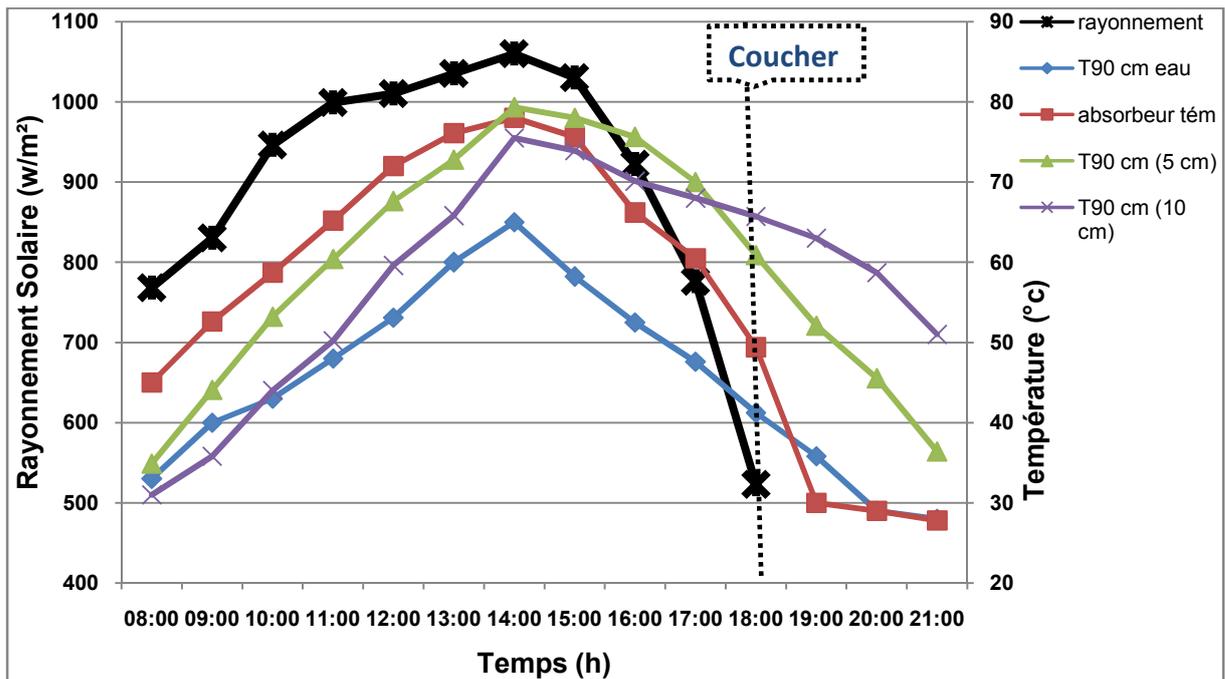


Fig.IV.6: Variations du rayonnement solaire et de la température en fonction de temps pour différents modes de stockage Jour de (02/04/06/13/06/2018)

IV.3.1.2. Interprétations et discussions des résultats

La figure (Fig.6) présente la variation de la température en fonction du temps pour le point qui distant de 90cm à l'entrée de collecteur en changeant le matériau à chaque fois.

On peut décomposer les quartes courbes en trois périodes :

- [8h00 – 14h00] dans cette période la température de témoin est supérieure aux températures des matériaux de stockage, par ce que le témoin a une grande conductivité thermique et une faible épaisseur.

La courbe verte présente la température en cas d'utilisation de gravier à une couche de 5cm, cette température est proche de celle de témoin et supérieure à la

température en cas d'une couche de gravier de 10cm car cette dernière prend plus de temps pour le stockage de la chaleur.

La courbe bleu présente la température en utilisant de l'eau dans un tube en PVC noir comme matériaux de stockage, on remarque que l'augmentation de la température était très petite par rapport aux autres matériaux par ce que la quantité de l'eau utilisée est faible et le tube noir a une conductivité aussi faible.

- [14h00 – 18h00] dans cette période on remarque une diminution rapide de la température de témoin à cause de la diminution du rayonnement solaire, et surtout à cause de sa faible capacité calorifique.

La température en cas d'une couche de gravier de 05cm et de 10cm diminué aussi à cause de la diminution du rayonnement, mais d'une façon faible par rapport au témoin, et la température avec une couche de 5cm reste toujours la plus élevée par rapport aux autres matériaux.

La température en cas d'utilisation d'eau présente une diminution lente par rapport aux autres matériaux à cause de la faible conductivité du tube.

- [18h00 – 21h00] après le coucher de soleil, cette période est la plus impérrante car elle va apparaitre l'effet de déstockage de la chaleur sensible pour le gravier et de l'eau.

On observe que la couche de 10cm de gravier garde une grande quantité de chaleur par rapport à la couche de 5cm. En termes de température il avait un écart de température de 4°C au coucher de soleil entre les deux cas, cet écart a augmenté jusqu'à 15°C à 21h00. On peut dire que la quantité de gravier joue un rôle important pour le stockage de la chaleur, dans notre cas la couche de 5cm a stocké la chaleur jusqu'à 02 heures après le coucher de soleil tandis que la couche de 10cm a stocké la chaleur 03 heures après l'absence de rayonnement.

La quantité de chaleur stockée dans l'eau a été déstockée dans une heure.

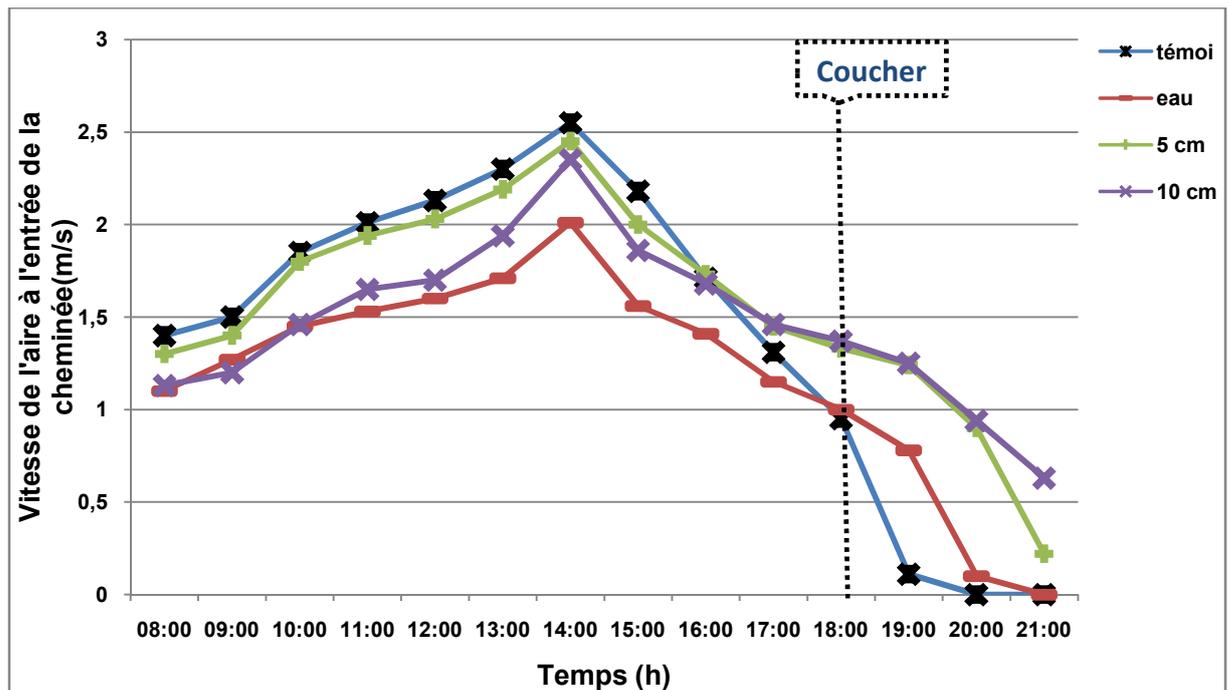


Fig.IV.7: Comparaison de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée les quatre cas en fonction de temps.

IV.3.1.3. Interprétations et discussions des résultats

La figure (Fig.7) représente la comparaison de la vitesse de l'air à l'entrée de la cheminée en matin et à la nuit avec et sans stockage, la vitesse de l'air augmente au début de la journée pour atteindre sa valeur maximale vers 14h00 à 2.55m/s pour le cas de témoin, 2.45m/s dans le cas de gravier d'une couche de 5cm, 2.35m/s pour le cas de gravier d'une couche de 10cm et de 2.01m/s dans le cas de l'eau dans un tube noir.

La trajectoire de la courbe de vitesse de l'air en cas de témoin et en cas de couche de gravier de 5cm sont presque similaires avec une supériorité pour le témoin. Cet écart dans la vitesse de l'air est observé de 08h00 jusqu'à 16h30, puis il est inversé où la vitesse en cas de couche de gravier de 5cm sera supérieure avec un écart qui va s'agrandir jusqu'à 20h00, ce qui confirme l'explication de l'écart à la température avant 16h30 pour la figure Fig.32, mais après 16h30 c'est l'effet de stockage qui a donné l'avantage pour le cas de gravier à une couche de 05cm.

Dans le cas de l'eau et de gravier avec une couche de 10cm, la vitesse de l'air était presque la même mais elle était faible par rapport au témoin, l'augmentation de la vitesse en cas d'une couche de gravier de 10cm sera importante après 12h00 puis elle commence à

se diminuer après 14h00, mais elle sera supérieure à celle du témoin et égale à celle de la couche de gravier de 5cm après 16h30 jusqu'à 20h00, avec une durée supplémentaire d'une heure jusqu'à 21h00 pour le cas d'une couche de 10cm de couche à cause de la quantité de gravier utilisée dans ce cas. L'augmentation de la vitesse de l'air en cas de l'eau était jusqu'à 14h00 mais elle était la plus faible, elle a commencé à se diminuer jusqu'à 19h00, cette faible augmentation est due à la quantité utilisée de l'eau et aux propriétés thermo-physiques du tube.

Pour savoir le meilleur matériau il faut calculer la vitesse moyenne pour les différents intervalles de temps.

Tableau. IV.1 : Vitesse moyenne pour les différents intervalles de temps.

| Intervalle \ Vitesse | 08h00-14h00 | 14h00-18h00 | 18h00-21h00 | Vitesse moyenne |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| V/Témoin | 1.96 m/s | 1.74 m/s | 0.26 m/s | 1.42 |
| V/Gravier/ che 5cm | 1.87 m/s | 1.79 m/s | 0.92 m/s | 1.57 |
| V/Gravier/ che 10cm | 1.63 m/s | 1.74 m/s | 1.04 m/s | 1.47 |
| V/L'eau | 1.52 m/s | 1.42 m/s | 0.47 m/s | 1.19 |

D'après les résultats expérimentaux, on observe que la moyenne de la vitesse à l'entrée de la cheminée de début à la fin de la journée pour le cas de gravier d'une couche de 05cm est la plus élevée alors c'est le cas le plus optimal.

Pendant notre travail on a remarqué qu'une quantité de chaleur est restée prisonnier au fond de la couche de gravier pourtant que la température de milieu égale à la température ambiante (il y'avait pas de gradient de température). Ce phénomène est dû à l'absence de la force motrice à cause de la faible conductivité de gravier pour crée un flux de chaleur vers la partie supérieure de gravier.

Il est très favorisé d'utiliser le gravier comme un matériau de stockage pour la chaleur sensible mais il faut mettre l'épaisseur de la couche en considération, puisque on a remarqué que avec une épaisseur importante on va avoir un stockage très important mais avec un faible débit, par contre avec une épaisseur faible, le stockage sera moins mais le débit est très considérable.

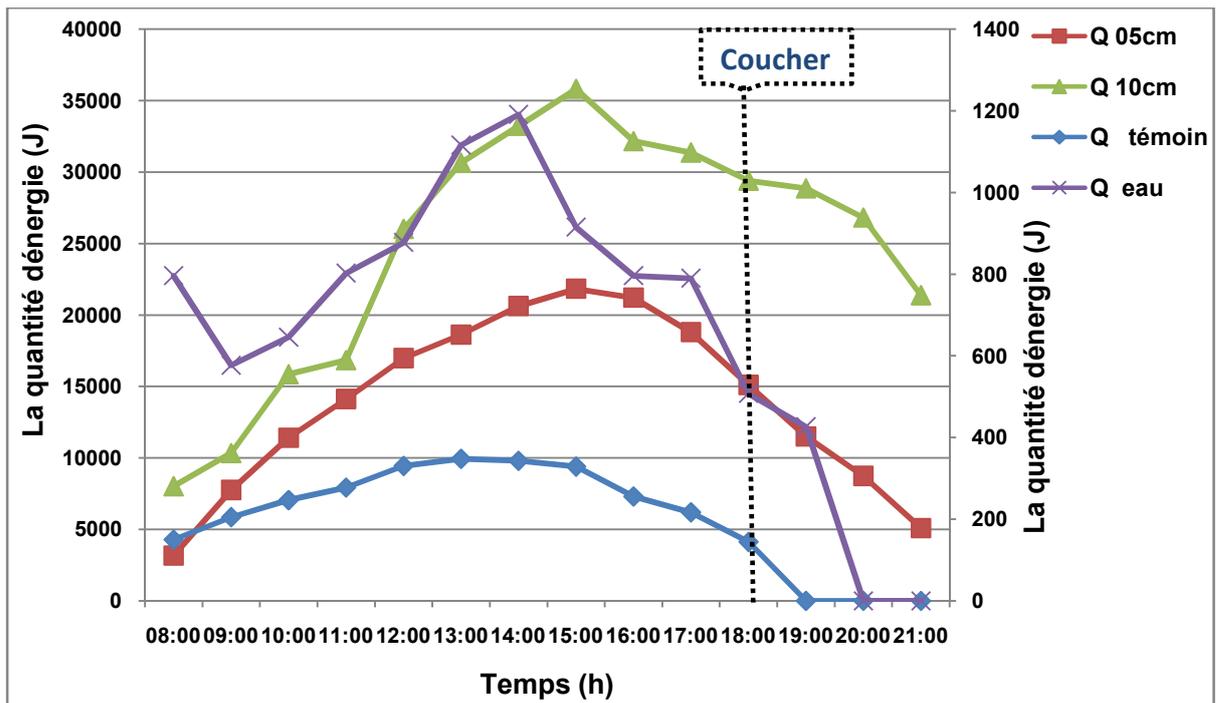


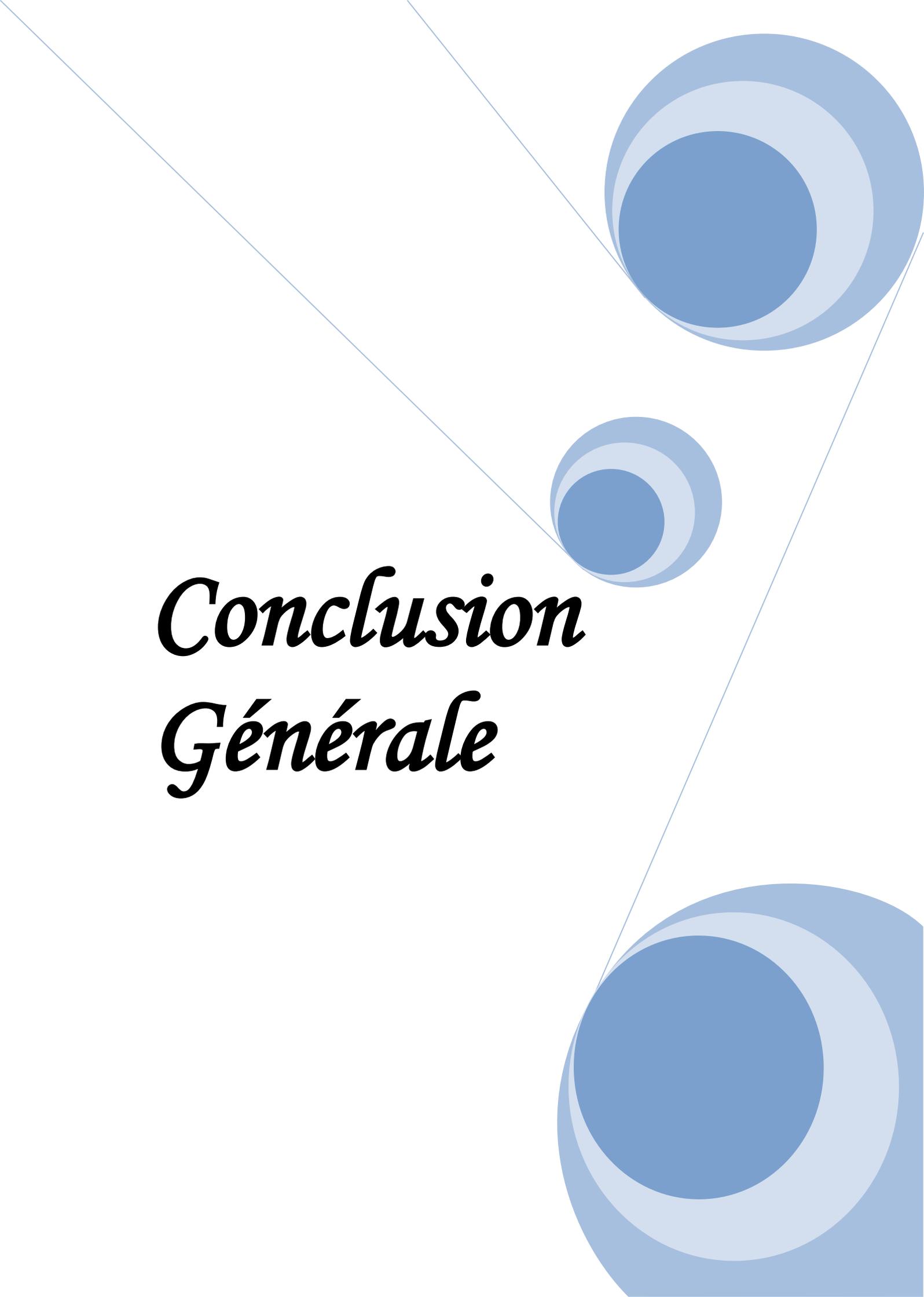
Fig.IV.8: Variation de la quantité d'énergie en fonction du temps

D'après la figure (Fig.8), qui représente la variation de la quantité d'énergie en fonction du temps, on observe que la quantité d'énergie augmente de 08h00 jusqu'à sa valeur maximale à 14h00, et puis elle commence à diminuer avec le temps, cette variation est liée au gradient de la température créée par le rayonnement solaire.

En comparant les différents matériaux et surtout quand on compare le gravier dans les deux cas de 05cm et 10cm d'épaisseur de couche on observe que la quantité de chaleur augmente avec la masse de matériau.

A partir de la courbe on conclut que la vitesse de l'air à l'entrée de cheminée n'a pas une relation avec la quantité de l'énergie, on peut voir que la quantité de l'énergie au niveau de la couche de 10cm pour le gravier est toujours supérieure à celle de la couche de 05cm pourtant que la vitesse de l'air d'une couche de 10 cm est moins pendant la durée de notre expérience.

Comme une conclusion générale on peut dire que la vitesse de l'air qui peut entraîner la turbine a une relation directe avec la chaleur dégagée à partir de la surface du corps utilisé pour le stockage.

A decorative graphic on the right side of the page. It features three blue circles of varying sizes, each composed of concentric circles in different shades of blue. These circles are connected by thin, light blue lines that form a triangular shape. The lines extend from the top-left and top-right corners towards the center, meeting at the top of the middle circle. Another line extends from the top-right corner towards the bottom-right corner, meeting at the top of the bottom-right circle. The overall effect is a stylized, geometric design.

***Conclusion
Générale***

Conclusion générale

L'énergie renouvelable a prouvé sa nécessité dans la vie humaine et industrielle comme alternative de l'énergie fossile qui est très polluante et trop cher.

Comme le désert algérien est un endroit clair et ensoleillé toute l'année, l'utilisation de l'énergie solaire est très recommandée, cette énergie peut être exploitée pour la production de l'électricité soit par un système photovoltaïque ou par l'installation d'une cheminée solaire qui est un dispositif économique pour la production de l'électricité mais l'utilisation de la cheminée restait toujours limitée à la journée par ce que la nuit est un handicap pour la production de l'énergie à cause de l'absence du rayonnement, ce qui impose le stockage de l'énergie pour la fournir pendant la nuit.

Le stockage par chaleur sensible est le procédé le moins cher parmi tous les autres types.

L'objectif principal de notre étude était d'atteindre la plus grande vitesse d'écoulement de l'air possible au sein de la cheminée dans le matin et la nuit afin d'utiliser cette vitesse pour faire lancer une turbine électrique.

Les résultats obtenus durant cette étude montrent l'influence de différents modes matériaux utilisés pour le stockage sur la vitesse moyenne de l'écoulement pendant le jour et la nuit;

Pour une couche de gravier de 5 cm

- La vitesse moyenne et le seuil maximum de l'air à l'entrée de la cheminée
1.57 m/s , 2.45 m/s respectivement
- La température moyenne et le seuil maximum du centre d'absorbeur 59.3 °C ,
79.3 °C respectivement

Pour une couche de gravier de 10 cm

- La vitesse moyenne et le seuil maximum de l'air à l'entrée de la cheminée
1.47 m/s , 2.35 m/s respectivement
- La température moyenne et le seuil maximum du centre d'absorbeur 58 °C , 75.5 °C
respectivement

Pour une tube noire remplis eau

- La vitesse moyenne et le seuil maximum de l'air à l'entrée de la cheminée 1.19 m/s , 2.01 m/s respectivement.
 - La température moyenne et le seuil maximum du center d'absorbeur 45.3 °c , 65 °c respectivement.
-
- L'eau a une grande capacité de stockage mais il faut bien choisir le type approprié pour le tube utilisé qui ne doit pas être en PVC.
 - Le gravier nous a donné une longue durée de stockage mais avec un débit d'écoulement un peu faible.
 - Le gravier à une couche de 05cm d'épaisseur était mieux que le gravier de 10cm d'épaisseur en termes de vitesse moyenne d'écoulement, mais il reste toujours de faire une optimisation pour trouver l'épaisseur optimale qui mène a la vitesse moyenne maximale. (longue durée de stockage + débit maximal).

On peut noter comme perspective:

- L'utilisation des cuvette en acier galvanisé remplie de l'eau à la place du tube.
- De faire une optimisation pour savoir qu'elle est l'épaisseur de gravier optimale.
- L'utilisation d'une couche de gravier à une épaisseur variable entre l'entrée du collecteur et l'entrée de la cheminée.

Bibliographie

- [1] Site web: <https://www.climamaison.com/lexique/energie.htm>. [Consulté le 13 février 2018].
- [2] Site web: http://www.eldjazaircom.dz/index.php?id_rubrique=347&id_article=4176. [Consulté le 12 février 2018].
- [3] Fontecave, Marc. "Energy for a Sustainable World. From the Oil Age to a Sun-Powered Future. By Nicola Armaroli and Vincenzo Balzani." *Angewandte Chemie International Edition* 50.30 (2011): 6704-6705.
- [4] Armstrong, Robert C., et al. "Deconstructing Biomass [part of The frontiers of energy]." *Nature Energy* 1.1 (2016).
- [5] ELBAHJAOU, Radouane. 12ème Congrès de Mécanique, 21-24 Avril 2015, Casablanca (Maroc).
- [6] S.KHALDI, «Etude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire thèse de magister en mécanique énergétique», sous la direction de A.N. KORTI, Tlemcen, UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD, 2013,1 p.
- [7] CHANGE, ON CLIMATE. "Intergovernmental panel on climate change." World Meteorological Organization. Disponible en: <http://wmo.int/sites/default/files/documents/meetings/session20/doc2.pdf>. 2007.
- [8] "Glossary". *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001-01-20. Archived from the original on 2017-01-26. Retrieved 2008-05-22.
- [9] <http://www.developpementdurable.org/guide/developpement-durable.htm> .[Consulté le 13 mars 2018].
- [10] http://www.habiter-autrement.org/37-ecovillage-afrique/eco-afro_ca.htm. [Consulté le 14 mars 2018].
- [11] <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/developpement/definition.htm>. [Consulté le 15 mars 2018].
- [12] Julien Eynard. «Gestion optimale de l'énergie dans un procédé multi-source pour le chauffage de bâtiments». *Automatique / Robotique*. Université de Perpignan, 2010. Français, 13 p.

Bibliographie

- [13] Recknagel, Sprenger, Hönmann, Schramek (3ème édition), Le Recknagel, Manuel pratique du génie climatique, 1- Données fondamentales, page 597-598 - PYC Edition, 757 pages.
- [14] INSEE (maj du 08/02/2010), Définitions - INSEE, dossiers internet.
Ministère en charge de l'énergie (MEEDDM), Questions / Réponses : généralités sur l'énergie - MEEDDM, dossiers internet
- [15] http://www.ohmymag.com/politique/les-energies-renouvelables-definition-des-5-types-d-039-energies_art107622.html. [Consulté le 09 avril 2018].
- [16] http://www.energies-renouvelables.org/solaire_photovoltaique.asp. [Consulté le 10 avril 2018].
- [17] C. Darras, « Modélisation de Systèmes Hybrides Photovoltaïque / Hydrogène : Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE », Thèse de Doctorat, Université de Corse-Pascal Paoli, May 2011.
- [18] A. Mirecki, « Etude comparative de Chaînes de Conversion d'Énergie dédiées à une Éolienne de petite puissance », Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, Avril 2005.
- [19] F. Kendouli, K. Nabti, K. Abed and H. Benalla, « Modélisation, Simulation et Contrôle d'une Turbine Éolienne à Vitesse Variable basée sur la Génératrice Asynchrone à double alimentation », Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 14 N°1, pp. 109-120, 2011.
- [20] S. Haffen, « Caractéristiques Géothermiques du Réservoir Gréseux du Buntsandstein d'Alsace », Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, Septembre 2012.
- [21] Solar Chimney-Technology. Retrieved 10.11.2004
- [22] A brief history of solar chimney. Retrieved 10.11.2004
- [23] Isidoro Cabanyes, « Proyecto de motor solar », La Energía Eléctrica, 25 août 1903
- [24] « Wind turbine power curves » [archive] (consulté le 18 mars 2017)
- [25] JÖRG SCHLAICH, —The solar chimney: electricity from the sun—, Edition Axel Menges, November 2004.
- [26] Atul Sharma et al, « Review on thermal energy storage with phase change materials and applications », Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2009, pp.318-345.

Bibliographie

- [27] Atul Sharma, V.V. Tyagi, C.R. Chen, and D. Buddhi. « Review on thermal energy storage with phase change materials and applications». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2):318 {345, 2009.
- [28] Atul Sharma et al, «Review on thermal energy storage with phase change materials and applications», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2009, pp.318-345.
- [29] Souad BABAY et al, «Review on thermal energy storage systems», *Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur*, Vol. 1 N° 4/2009.
- [29] Xavier Py. «Stockage de l'Énergie par chaleur sensible», Cours de Master 2 _ Énergie Solaire, Université de Perpignan Via Domitia, Laboratoire PROMES. 2008, 2008.
- [30] D. Pahud, A. Fromentin, and Markus Hubbuch. «Heat exchanger pile system of the dock midfield at the Zurich airport, detailed simulation and optimization of the installation». Technical Report 120.110, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, LASEN, EPFL, Décembre 1999. Rapport final.
- [31] Harmeet Singh, R.P. Saini, and J.S. Saini. A «review on packed bed solar energy storage systems». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3) :1059 {1069, 2010.
- [32] Xavier Py. «Stockage de l'Énergie par chaleur sensible», Cours de Master 2 _ Énergie Solaire, Université de Perpignan Via Domitia, Laboratoire PROMES. 2008, 2008.
- [33] H. Bouguettaia et al, «Survey on thermal energy storage systems», *Mechanical Power Generation Based on Solar Thermodynamic Engines "POWERSOL"*, 2008, pp27.
- [34] Amina Akrouche, «Étude du stockage et déstockage d'énergie dans un matériau à changement de phase», mémoire du magister, Université M'Hamed BOUGARA – Bouverdes-, 2011, 108.
- [35] D.E. Beasley and C. Ramanarayan, «Thermal Response of Packed Bed of Spheres Containing a phase change material», *International Journal of Energy Research*,13, 253-265, 1989.
- [36] A. Benmansour and M.A. Hamdan, «Simulation du stockage de l'énergie thermique dans un lit fixe de sphères contenant un matériau à changement de phase», *Revue d'Énergie Renouvelable*,4, 125-134, 2001.

Bibliographie

- [37] J. Milette, «Conception, instrumentation, modélisation et analyse d'un élément de stockage d'énergie par chaleur latente», Thèse Ph.D., Université de Sherbrooke, Canada, 2000.
- [38] D. BECHKI, «Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes». Thèse de Doctorat, Université hadj lakhdar Batna, 2011.
- [39] F.BENMAZOUZIA, A.Y.MEHIRI, «Expérimentation de l'effet des différents paramètres dimensionnels sur les paramètres énergétiques d'une cheminée solaire». Thème Master, Université Kasdi Merbah d'Ouargla, 2017
- [40] J.Ph. Pérez et A.M. Romulus, Thermodynamique, fondements et applications, Masson, p. 155
- [41] D. BECHKI, «Stockage de l'énergie thermique dans un lit fixe», Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah d'Ouargla, 2000
- [42] <https://www.latrach.net/pvc-leur-propriete>. [Consulté le 19 juin 2018].

Bibliographie

| 21:00 | 20:00 | 19:00 | 18:00 | 17:00 | 16:00 | 15:00 | 14:00 | 13:00 | 12:00 | 11:00 | 10:00 | 09:00 | 08:00 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| 27,5 | 29,7 | 33,2 | 40,3 | 42,5 | 41,7 | 42,3 | 51,5 | 45,8 | 42,2 | 39,8 | 37,7 | 34,1 | 25 | Tecl (°c) |
| 28,6 | 32,1 | 36,3 | 46 | 52,6 | 55,7 | 57 | 59,4 | 53 | 50,7 | 49,5 | 42,4 | 39,7 | 29,5 | Tccl (°c) |
| 28,5 | 30,1 | 32,6 | 36,6 | 45,1 | 52,2 | 51,7 | 52,6 | 48 | 46,9 | 42,5 | 38,6 | 32,4 | 27,5 | absorbeur (°c) |
| 27,5 | 27,8 | 30,4 | 34,9 | 43,2 | 49,2 | 48,7 | 48,4 | 44,8 | 43,2 | 38,6 | 35,5 | 29,6 | 26,6 | Tvitre (°c) |
| 27,8 | 30,7 | 33,2 | 41 | 45,7 | 54,8 | 53,8 | 53,5 | 51,5 | 50 | 44,5 | 38,3 | 32 | 26,4 | Tech (°c) |
| 27,9 | 30,8 | 33 | 43 | 48,3 | 54,8 | 54,4 | 53,2 | 52,4 | 50,5 | 45,5 | 38,6 | 33,3 | 27,5 | Tsch (°c) |
| 48,7 | 53 | 55 | 57,1 | 58,6 | 60 | 62,7 | 64,1 | 58 | 48,8 | 42,6 | 37 | 31,9 | 28,9 | 30 cm |
| 50,5 | 56 | 61,2 | 63 | 65,2 | 68 | 70,4 | 71,2 | 62,5 | 55,6 | 48 | 40,9 | 34,2 | 30,1 | 60 cm |
| 51 | 58,7 | 63 | 65,7 | 68 | 70,1 | 73,9 | 75,5 | 65,8 | 59,6 | 50,2 | 44 | 35,8 | 31 | T90 gravé 10 cm |
| 1,05 | 0,38 | 0,42 | 0,53 | 0,73 | 1,29 | 0,3 | 0,38 | 0,67 | 0,5 | 1,01 | 0,72 | 0,94 | 0,8 | Vvent (m/s) |
| 27 | 28,6 | 30,6 | 32,7 | 32,8 | 34 | 33,7 | 38,2 | 31,4 | 30,4 | 31,3 | 26,2 | 24,2 | 22 | T amb (°c) |
| 0,63 | 0,94 | 1,25 | 1,37 | 1,46 | 1,68 | 1,86 | 2,35 | 1,94 | 1,7 | 1,65 | 1,46 | 1,2 | 1,13 | Vech (m/s) |
| | | | 510 | 755 | 916 | 1010 | 1040 | 1020 | 1005 | 990 | 943 | 830 | 720 | Rs (w/m²) |

The page features a decorative design with three blue circles of varying sizes, each composed of concentric rings in different shades of blue. These circles are positioned in the top right and bottom right corners. Two thin, light blue lines intersect at the top left, forming a large 'V' shape that extends across the page.

ANNEXES

ANNEXES

1- Journée de 2 Mai 2018

| 21:00 | 20:00 | 19:00 | 18:00 | 17:00 | 16:00 | 15:00 | 14:00 | 13:00 | 12:00 | 11:00 | 10:00 | 09:00 | 08:00 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------------|
| 27,8 | 29 | 30 | 33,7 | 35,2 | 38,3 | 46,3 | 49 | 47,7 | 46 | 45,2 | 43 | 42,6 | 34,4 | T _{cl} (°c) |
| 27,8 | 29 | 30 | 38 | 41,1 | 47 | 51,3 | 52,7 | 50 | 48,1 | 47 | 45,2 | 43 | 36 | T _{cl} (°c) |
| 27,8 | 29 | 30 | 49,4 | 60,5 | 66,2 | 75,6 | 78 | 76,1 | 72 | 65,2 | 58,7 | 52,6 | 45 | absorbeur (°c) |
| 27,7 | 29 | 29,8 | 36,6 | 39,2 | 44 | 47,1 | 51 | 48,8 | 47 | 45,1 | 42 | 40,8 | 35 | T _{vitre} (°c) |
| 27,8 | 29 | 30 | 35 | 39,2 | 45,5 | 47,7 | 49 | 47,3 | 44,9 | 41,7 | 39,8 | 37,9 | 34 | T _{ech} (°c) |
| 0 | 0 | 0 | 35,6 | 40,1 | 46,6 | 48,9 | 50,7 | 49 | 46,1 | 43 | 40,3 | 38,5 | 35,2 | T _{sch} (°c) |
| 27,8 | 29 | 30,1 | 45 | 52,8 | 59,1 | 68,2 | 71,2 | 69,4 | 64 | 57 | 51,2 | 44,6 | 42 | entree de absorbeur (°c) |
| 0,92 | 0,85 | 1,02 | 0,9 | 1,7 | 1,2 | 1,6 | 1,7 | 1,3 | 2,4 | 1,8 | 2,3 | 1,1 | 1,7 | V _{vent} (m/s) |
| 27,8 | 29 | 30 | 31,1 | 33 | 33,8 | 33,9 | 34,5 | 32 | 30,1 | 30 | 27,4 | 26,6 | 26 | T _{amb} (°c) |
| 0 | 0 | 0,11 | 0,95 | 1,31 | 1,71 | 2,18 | 2,55 | 2,3 | 2,13 | 2,01 | 1,85 | 1,5 | 1,4 | V _{ech} (m/s) |
| | | | 565 | 768 | 922 | 1024 | 1036 | 1030 | 1006 | 982 | 956 | 825 | 750 | R _s (w/m ²) |

Tableau des mesures pour le Témoin

2- Journée de 5 Mai 2018

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| 21:00 | 20:00 | 19:00 | 18:00 | 17:00 | 16:00 | 15:00 | 14:00 | 13:00 | 12:00 | 11:00 | 10:00 | 09:00 | 08:00 | |
| 24,2 | 27,9 | 30,9 | 35,1 | 35,3 | 37,4 | 49,2 | 50,8 | 42 | 41,3 | 37 | 34,4 | 28,4 | 26,7 | Tecl (°c) |
| 28,1 | 29,3 | 32,7 | 38,5 | 38,9 | 42,8 | 50,3 | 52,2 | 46 | 43 | 40 | 36,1 | 30 | 28 | Tccl (°c) |
| 24 | 26,6 | 27,4 | 32 | 38 | 40,3 | 41,6 | 48,5 | 46,4 | 45,2 | 42,4 | 38,9 | 33,8 | 31,3 | absorbeur (°c) |
| 23 | 25,9 | 26,6 | 30 | 33,6 | 37,2 | 37,8 | 41,9 | 41,8 | 40 | 38,3 | 32,8 | 27 | 25,5 | Tvitre (°c) |
| 27 | 28,6 | 29,3 | 35,1 | 36,5 | 41,3 | 44,6 | 46,1 | 44,2 | 40,8 | 36,6 | 32,5 | 27,5 | 26,5 | Tech (°c) |
| 26,1 | 27,6 | 28 | 34,7 | 37,5 | 42,2 | 45,8 | 47,5 | 45 | 44 | 37,8 | 34 | 27,3 | 24,4 | Tsch (°c) |
| 30 | 41 | 48,9 | 57,7 | 60,4 | 71,5 | 73,4 | 73,6 | 67,6 | 60,2 | 50,9 | 40,9 | 31 | 24,8 | 30 cm |
| 34,2 | 43,2 | 51,7 | 59,2 | 66,4 | 74,7 | 76 | 76,4 | 72 | 63,4 | 53,2 | 42,6 | 31,8 | 25,9 | 60 cm |
| 36,4 | 45,5 | 52,1 | 60,9 | 70 | 75,6 | 78 | 79,3 | 72,8 | 67,6 | 59,8 | 51,6 | 41,6 | 30,5 | T90 gravé 5 cm |
| 0,4 | 1,01 | 0,35 | 0,43 | 1,02 | 0,56 | 0,44 | 0,6 | 0,7 | 1,1 | 1,5 | 0,99 | 1 | 1,5 | Vvent (m/s) |
| 25 | 25,9 | 26,3 | 27 | 27,8 | 28 | 29 | 33 | 31 | 29,5 | 28,1 | 26 | 24,2 | 23,4 | T amb (°c) |
| 0,53 | 0,9 | 1,24 | 1,33 | 1,45 | 1,73 | 2 | 2,45 | 2,19 | 2,03 | 1,94 | 1,8 | 1,4 | 1,3 | Vech (m/s) |
| | | 0 | 523 | 776 | 922 | 1030 | 1060 | 1035 | 1010 | 999 | 946 | 830 | 768 | Rs (w/m²) |

Tableau des mesures Pour une couche de gravie de 5 cm

3- Journée de 10 Mai 2018

| 21:00 | 20:00 | 19:00 | 18:00 | 17:00 | 16:00 | 15:00 | 14:00 | 13:00 | 12:00 | 11:00 | 10:00 | 09:00 | 08:00 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------|
| 27,5 | 29,7 | 33,2 | 40,3 | 42,5 | 41,7 | 42,3 | 51,5 | 45,8 | 42,2 | 39,8 | 37,7 | 34,1 | 25 | Tecl (°c) |
| 28,6 | 32,1 | 36,3 | 46 | 52,6 | 55,7 | 57 | 59,4 | 53 | 50,7 | 49,5 | 42,4 | 39,7 | 29,5 | Tccl (°c) |
| 28,5 | 30,1 | 32,6 | 36,6 | 45,1 | 52,2 | 51,7 | 52,6 | 48 | 46,9 | 42,5 | 38,6 | 32,4 | 27,5 | absorbeur (°c) |
| 27,5 | 27,8 | 30,4 | 34,9 | 43,2 | 49,2 | 48,7 | 48,4 | 44,8 | 43,2 | 38,6 | 35,5 | 29,6 | 26,6 | Tvitre (°c) |
| 27,8 | 30,7 | 33,2 | 41 | 45,7 | 54,8 | 53,8 | 53,5 | 51,5 | 50 | 44,5 | 38,3 | 32 | 26,4 | Tech (°c) |
| 27,9 | 30,8 | 33 | 43 | 48,3 | 54,8 | 54,4 | 53,2 | 52,4 | 50,5 | 45,5 | 38,6 | 33,3 | 27,5 | Tsch (°c) |
| 48,7 | 53 | 55 | 57,1 | 58,6 | 60 | 62,7 | 64,1 | 58 | 48,8 | 42,6 | 37 | 31,9 | 28,9 | 30 cm |
| 50,5 | 56 | 61,2 | 63 | 65,2 | 68 | 70,4 | 71,2 | 62,5 | 55,6 | 48 | 40,9 | 34,2 | 30,1 | 60 cm |
| 51 | 58,7 | 63 | 65,7 | 68 | 70,1 | 73,9 | 75,5 | 65,8 | 59,6 | 50,2 | 44 | 35,8 | 31 | T90 gravé 10 cm |
| 1,05 | 0,38 | 0,42 | 0,53 | 0,73 | 1,29 | 0,3 | 0,38 | 0,67 | 0,5 | 1,01 | 0,72 | 0,94 | 0,8 | Vvent (m/s) |
| 27 | 28,6 | 30,6 | 32,7 | 32,8 | 34 | 33,7 | 38,2 | 31,4 | 30,4 | 31,3 | 26,2 | 24,2 | 22 | T amb (°c) |
| 0,63 | 0,94 | 1,25 | 1,37 | 1,46 | 1,68 | 1,86 | 2,35 | 1,94 | 1,7 | 1,65 | 1,46 | 1,2 | 1,13 | Vech (m/s) |
| | | | 510 | 755 | 916 | 1010 | 1040 | 1020 | 1005 | 990 | 943 | 830 | 720 | Rs (w/m²) |

Tableau des mesures Pour une couche de gravie de 10 cm

4- Journée de 13 Mai 2018

| 21:00 | 20:00 | 19:00 | 18:00 | 17:00 | 16:00 | 15:00 | 14:00 | 13:00 | 12:00 | 11:00 | 10:00 | 09:00 | 08:00 | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|
| 29 | 29 | 36,3 | 40 | 45,1 | 46 | 42,5 | 42,9 | 41,5 | 39,5 | 38 | 36,1 | 32,6 | 32,1 | Tecl (°c) |
| 29 | 29 | 37,8 | 40,3 | 44,9 | 48,2 | 47,1 | 47,4 | 44,5 | 42,2 | 41 | 39,1 | 35,2 | 33,4 | Tccl (°c) |
| 29 | 29,1 | 35 | 39,3 | 44,1 | 46,1 | 50,4 | 52 | 49,4 | 47,1 | 44,5 | 41,5 | 39,1 | 37,2 | absorbeur (°c) |
| 29 | 29,1 | 34,2 | 37,5 | 40,9 | 42 | 46,1 | 47,8 | 46,5 | 44,1 | 43 | 40 | 38,7 | 37,4 | Tvitre (°c) |
| 28,9 | 28,8 | 34 | 38,3 | 42,7 | 44 | 44,3 | 46 | 44,3 | 43,4 | 42,6 | 38,6 | 34,5 | 33,2 | Tech (°c) |
| 29 | 29 | 33,8 | 38 | 42,3 | 43,9 | 46,1 | 47,2 | 46 | 45,3 | 43,8 | 40,4 | 34,5 | 33,7 | Tsch (°c) |
| 28 | 29 | 34,9 | 39,4 | 45,4 | 47 | 48,1 | 51 | 48 | 46,2 | 42,6 | 40,5 | 36,4 | 36,2 | 30 cm |
| 28 | 29 | 35 | 40,2 | 47 | 49,5 | 51,1 | 56,6 | 55 | 49,1 | 47,5 | 42,1 | 38 | 37,6 | 60 cm |
| 28 | 29 | 35,8 | 41,2 | 47,6 | 50,1 | 53,6 | 58,2 | 56,7 | 50,2 | 48 | 43 | 40 | 37,7 | T90 eau |
| 1,3 | 0,88 | 1,02 | 1,1 | 1,01 | 1,19 | 1,37 | 2,06 | 1,83 | 1,68 | 1,34 | 0,89 | 0,6 | 0,9 | Vvent (m/s) |
| 28 | 29 | 29 | 33,1 | 35 | 37,4 | 39 | 39,2 | 38,1 | 36,2 | 35,2 | 32,7 | 30,8 | 25 | T amb (°c) |
| 0,11 | 0,15 | 0,78 | 1 | 1,15 | 1,41 | 1,56 | 2,01 | 1,71 | 1,6 | 1,53 | 1,45 | 1,27 | 1,1 | Vech (m/s) |
| | | 0 | 540 | 768 | 930 | 1025 | 1033 | 1028 | 1009 | 993 | 960 | 833 | 777 | Rs (w/m²) |

Tableau des mesures Pour une tube noire remplis eau

ملخص :

هذا العمل مساهمة علمية في الطاقات المتجددة التي تعتبر من أهم الطاقات البديلة للطاقات الأحفورية اليوم, من بين احد الطرق المستعملة في هذه الطاقة المتجددة نجد المدخنة الشمسية.

في هذا الموضوع التجريبي قمنا بدراسة سرعة تدفق الهواء عند مدخل المدخنة وبالتالي على إنتاجيتها الطاقوية, ولزيادة مدة اشتغالها في ظل غياب أشعة الشمس في الليل أو التقطعات التي تحدث لها خلال النهار قمنا بحل تجريبي وذلك باستخدام احد أنواع تخزين الحرارة وهو التخزين بالحرارة الحساسة والمتمثل في استعمال الحصى وأنابيب سوداء مملوءة بالماء الموجودة في صحراء الجزائر وبالخصوص منطقة ورقلة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة المتجددة, المدخنة الشمسية, تخزين الطاقة, الحرارة الحساسة

Résumé:

Ce travail est une contribution scientifique aux énergies renouvelables, qui est l'une des plus importantes énergies alternatives des énergies fossiles aujourd'hui, Parmi les méthodes utilisées dans cette énergie renouvelable on trouve la cheminée solaire.

Dans ce sujet expérimental, nous avons étudié la vitesse d'écoulement d'air à l'entrée de la cheminée et ainsi sa productivité de l'énergie, et pour augmenter la durée de fonctionnement en absence de la lumière du soleil pendant la nuit ou les intermittences qui se produisent pendant la journée, nous avons effectué une solution expérimentale en utilisant l'un des types de stockage de chaleur, qui est le stockage par chaleur sensible en utilisant le Gravier et un tuyaux noirs remplis d'eau qui se trouvent dans le désert d'Algérie, en particulier dans la région de Ouargla.

Mots-clés: énergie renouvelable, cheminée solaire, stockage d'énergie, chaleur sensible

Abstract:

This work is a scientific contribution to renewable energies, which is one of the most important alternative energies of fossil fuels today. Among the methods used in this renewable energy is the solar chimney.

In this experimental subject, we studied the airflow velocity at the entrance of the chimney and also its energy productivity, and to increase the operating time in the absence of sunlight during the night or the intermittences that occur during the day, we carried out an experimental solution using one of the types of heat storage, which is the sensible heat storage using Gravel and a black pipes filled with water that are available in the desert of Algeria, especially in the region of Ouargla.

Keywords: renewable energy, solar chimney, energy storage, sensible heat