



République Algérienne Démocratique Populaire

Université 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 du diplôme de

Master

Filière : Energies Renouvelables

Spécialité : Energies Renouvelables en Mécanique

Présenté par :

❖ BESSALAH Abdenmour

❖ HADID Abir

Thème

Etude expérimentale et développement d'un cuiseur solaire hybride

Soutenue en mercredi 05/06/2024 devant la commission d'examen :

Devant le jury composé de :

ROUAG Amar

MCA

Université Kasdi Merbah - Ouargla

Président

DERNOUNI M'hamed

MAA

Université Kasdi Merbah - Ouargla

Examineur

BELATRACHE Djamel

MCB

Université Kasdi Merbah - Ouargla

Encadreur

Année universitaire 2023/ 2024



الشكر و التقدير

قال تعالى (وَمَنْ يَشْكُرْ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ) {لقمان: 12}

وقال رسوله الكريم ﷺ : من لم يشكر الناس ، لم يشكر الله عز وجل
أحمد الله تعالى حمداً كثيراً طيباً مباركاً ملئ السماوات والأرض على
ما أكرمنا به من إتمام هذه الدراسة التي نرجو أن تنال رضاكم.

ثم نتوجه بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى كل من:

عميد الكلية البروفيسور عبد المجيد دوبي
رئيس القسم السابق جمال بن منين والحالي غربي إبراهيم
الأستاذ بالأطرش جمال لتفضله الكريم بالإشراف على هذه الدراسة، وتكرمه
بنصحننا وتوجيهنا حتى إتمام هذه الدراسة.

دكاترة القسم بوشكيمة، معمور حسين، عماري شعيب، حجاج عبد السميع،
حجاج عبد الصادق ، بلوفي يوسف ، شايش زينب، درنوني محمد، بربح محمد
حافظ ، قدوم ، لعناني، نصيب هشام على مجهوداتهم لهم جزيل الشكر وعظيم
الإمتنان .

و شكر موصول للدكتور رواق عمر على مجهوداته الكبيرة و تفانيه في تقديم
العلم و المعرفة و الإرشاد خلال مسيرتي الجامعية. نحن ممتنون لحكمته و
إرشاداته التي ساعدتنا في تطوير أنفسنا و لتحقيق أهدافنا مع تمانيتنا له
بالتوفيق والسداد.

و شكر خاص للطقم الإداري للقسم الطاقات المتجددة و عملاء المخبر و
أسمهان لها جزيل الشكر و الاحترام على مجهوداتها و نتمنى لها التوفيق.

الاهداء

اولا الحمد لله على منه وتوفيقه والشكر لله على
فضله وكرمه و الحد لله كما ينبغي لعظيم سلطانك

ثانيا اهدي هذا العمل المتواضع لوالدي، بفضل
تشجيعهم وتضحياتهم الكبيرة، حرصوا على اتمامي
لتعليمي رغم كل شيء جعلوا من هذا الابن يتفوق
ويصل الى ما عليه الان. لا توجد أي كلمات تكريم
يمكن أن تعبر عن احترامي واعتباري ومشاعري
العميقة تجاههم. ادعو الله أن يبارك فيهم
ويحفظهم، عسى أن يكونوا دائماً فخورين بي. وإلى
جميع الذين ضحوا بوقتهم معنا وإلى اصدقائي
وزملائي في الدفعة اقول لكم شكرا لكم على دعمكم
وعلى الاوقات الجيدة التي قضيناها معا.

بصالح عبد النور

الاهداء

أهدي ثمرة جهدي المتواضع إلى من وهبوني الحياة والأمل، والنشأة على شغف الاطلاع والمعرفة، ومن علموني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر؛ براء، وإحساناً، ووفاء لهما والدي العزيز عبد الرحمن، ووالدتي العزيزة نصيرة.

إلى قضيتنا، إلى أهلنا في فلسطين فبفضلهم زاد وعينا وأدركنا قيمة النعم ومن أهمها العلم فالدنيا كفاح وسلاحها العلم ، فاللهم نصرا قريبا وتصبح الفرحة فرحتين

إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى العقد المتين من كانوا عوناً لي في رحلة بحثي إخواني وأخواتي يمينه ، وفاء ، سماح ، فاطمة ، إيناس ، علي ، مسعود .

إلى من كاتفتني ونحن نشق الطريق معا نحو النجاح في مسيرتنا العلمية إلى رفيقاتي دربي رانية ، زينب ، هند ، وصال ، حورية ، إكرام ، رميساء ، سعاد ، نسرين ، آية تقوى .

وأخيراً إلى كل من ساعدني، وكان له دور من قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة.

سائلة المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة. ثم إلى كل طالب علم سعى بعلمه، ليفيد الإسلام والمسلمين بكل ما أعطاه الله من علم ومعرفة.

حديد عبير

Liste des Tableau

Figure I.16	(a) Cuiseur séchoir- pyramide, (b) cuiseur chauffe-eau, réalisé par Kumar et al	17
Figure I.17	Cuiseurs solaires boîte fabriqué et testé par Nahar. [2]: (a) avec un seul réflecteur; (b) avec deux réflecteurs	18
Figure I.18	Schéma du cuiseur boîte avec réflecteurs : (a) exposés par la face supérieure testé par Negi et al. [21]; (b) exposés par la face inférieure étudiée par Amer	19
Figure I.19	Schéma du cuiseur boîte avec un récipient mis sur support testé par Rao et al. 18	20
Figure I.20	Cuiseur solaire boîte réaliser et testé à l'URER /MS par Harmim et al	20
Figure I.21	Cuiseur boîte réalisé et examiné par Harmim et al. [29, 30, 31]: (a) avec un réflecteur parabolique; (b) le récipient de cuisson avec ailettes	21
	Chapitre II	
Figure II.22	Carte d'Ouargla	22
Figure II.23	Évolution des températures par mois dans la région d'Ouargla au cours de la période (2018-2023).	23
Figure II.24	Évolution de l'humidité relative en termes de mois dans la région d'Ouargla sur la période (2018-2023).	24
Figure II.25	Variations de la vitesse maximale du vent en fonction des mois dans la région d'Ouargla sur la période (2018-2023).	25
Figure II.26	La quantité de précipitations évolue selon les mois dans la région d'Ouargla sur la période (2018-2023).	26
Figure II.27	Représente une étude comparative entre la vitesse moyenne et la visibilité moyenne à Ouargla durant la période s'étendant de (2018-2023).	27
Figure II.28	Le verre	28

Liste des Tableau

Figure II.29	Le résistance	28
Figure II.30:	Le polystyrène	29
Figure II.31	Le Papier aluminium	29
Figure II.32	Le destin	30

NOMENCLATURE

NOMENCLATURE

Symbole	Description	Unité
T m	Température moyenne	(°C)
T max	La Température maximale	(°C)
T min	Température minimale	(°C)
T-amp	Température ambiante	(°C)
Q convection	Flux de chaleur par convection	(W)
Q conduction	Flux de chaleur par conduction	(W)
Q Pert thermique	Flux de chaleur par Pert thermique	(W)
Q absorbe	Flux de chaleur par absorbe	(W)
Q réfléchi	Flux de chaleur par réfléchi	(W)
R	Rayonnement solaire	W/m2
V	Vitesse du vent	m/s
T ba gr	Température de base cuisine avec du gravier	(°C)
T ba	Température de la base	(°C)
T gr	Température du gravier	(°C)
Tv_ex	Température de verre externe	(°C)
Tv_in	Température de verre interne	(°C)
T_v	Température de verre	(°C)
T_ca	Température du calcaire	(°C)
T_ba_ca	Température de la base de cuisine du calcaire	(°C)
T_ba_gr	Température de la base de cuisine du gravier	(°C)
T_eau	Température d'eau	(°C)
T_ba_bo	Température de la base de la cuisine avec une cuisinière électrique	(°C)

NOMENCLATURE

T_eau_bo	Température de eau de de la cuisine avec une cuisinière électrique	(°C)
----------	---	------

SOMMAIRE

SOMMAIRE

الشكر و التقدير.....	II
الاهداء.....	III
Liste des figures	IV
NOMENCLATURE.....	V
SOMMAIRE	VI
INTRODUCTION GÉNÉRALE	2
CHAPITRE I.....	4
I.1. Introduction	3
I.2. Modèles de base des cuiseurs solaires :.....	3
I.2.1. Le cuiseur de type boîte :	3
I.2.2. Le cuiseur parabolique :	4
I.3. Facteurs essentiels pour la cuisson solaire :	5
I.3.1. Températures de cuisson solaire :	5
I.3.2. Comparaison entre la durée de cuisson entre différents cuiseurs :	6
I.3.3. Moment d'utilisation du cuiseur solaire :.....	7
I.3.4. Types de récipients utilisés pour la cuisson des aliments :.....	7
I.4. Classification des cuiseurs solaires :	8
I.4.1. Les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur :	9
I.4.1.1. Les cuiseurs directs :	9
I.4.1.2. Les cuiseurs indirects :	11
I.4.2. Les cuiseurs solaires avec stockage :	12
I.4.2.1. Stockage de chaleur sensible :	12
I.4.2.2. Cuiseurs solaires avec stockage de chaleur latente :	13
I.4.3. Les avantages et les inconvénients des cuiseurs solaires :	14
I.4.3.1. Les avantages des cuiseurs solaires :	14
I.4.3.2. Les inconvénients des cuiseurs solaires :	15
I.4.5. Cuiseurs boîtes à usage multiple (cuiseurs hybrides) :	16
I.5. Etat de l'art sur les systèmes cuiseurs :	17
I.5.1. Nouvelle classification des cuiseurs solaires :	17
I.6. L'étude, la conception et le développement des cuiseurs solaires à travers le monde :	17
I.6.1. Les cuiseurs solaires de type boîte :	17
I.6.1.1. Cuiseurs boîtes sans et avec réflecteurs	17
I.6.1.2. Cuiseurs boîtes et récipients de cuisson	19
I.6.2. Cuiseurs boîtes en Algérie :	20
I.7. Conclusion :	21
II. 1. Introduction :	22

SOMMAIRE

II.2. La situation géographique de la région de Ouargla :	22
•Données climatiques mensuelles et annuelles moyennes de la région d’Ouargla (2018-2023).	23
II.3. Description du cuiseur solaire à boîte :	27
II.3.1. Le principe de Fonctionnement d’un four solaire :	27
II.3.1.1. Les composants du cuiseur solaire.....	27
II.4. Le matériel utilisé pour cette étude :	30
Conclusion générale.	32
Annex descriptif :	40

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La cuisinette solaire est l'une des applications possibles de cette forme d'énergie. Elle contribue à résoudre deux des problèmes majeurs dans le monde : le manque croissant d'énergie nécessaire à la cuisson et les maladies liées à l'eau. Environ la moitié de la population mondiale cuisine avec du bois de chauffage et vit dans des régions propices à l'utilisation de l'énergie solaire. Selon les Nations unies, deux tiers de la population mondiale, soit deux milliards de personnes, souffrent d'une pénurie de bois [1]. Dans les régions menacées par la déforestation, les efforts de préservation échouent lorsque les gens n'ont pas d'alternative à la cuisson au feu de bois. Chaque cuisinette solaire peut économiser une tonne de bois par an dans les régions ensoleillées mais arides [1].

Actuellement, bien que largement disponible et coûteuse dans les pays développés, elle est rare voire inexistante dans les régions reculées et désertiques, telles que l'Afrique centrale, orientale et occidentale, qui ont un besoin urgent de projets alternatifs d'énergie par rapport aux sources traditionnelles dans ces régions. L'utilisation de cuisinettes solaires est nécessaire pour réduire la consommation d'énergie dans les foyers pour la cuisson, la pasteurisation des boissons et d'autres aliments.

Les cuisinettes solaires peuvent être généralement classées en cuisinières directes et indirectes. Les avancées dans les applications de l'énergie solaire réalisées par le passé visent à améliorer l'efficacité et les performances des systèmes de cuisinette solaire.

De nombreuses innovations ont été réalisées dans la conception des systèmes de cuisinette solaire au cours des dernières années, en utilisant des formes et des méthodes innovantes. De nombreux chercheurs s'efforcent constamment d'améliorer l'efficacité et de réduire les coûts des systèmes de cuisinette solaire, en concevant et en améliorant les composants de la cuisinette ou en ajoutant des matériaux pour augmenter l'efficacité thermique. De nombreuses expériences ont été menées sur les cuisinettes solaires directes et indirectes par le passé pour améliorer l'efficacité thermique, la puissance de cuisson et le temps de cuisson, en raison de la facilité de construction et de transport.

L'objectif de cette étude est d'améliorer l'efficacité thermique, la puissance de cuisson et le temps de cuisson dans la cuisine à énergie solaire de type boîte. Dans ce contexte, le travail présenté dans cette thèse porte sur une étude expérimentale et le développement d'une cuisinette solaire hybride de type boîte sans réflecteurs. Notre thèse est présentée selon le plan suivant : une introduction générale, suivi du premier chapitre qui consiste en une recherche sur les

différents types et les dernières avancées des systèmes de cuiseur solaire à l'intérieur et à l'extérieur du pays, ainsi qu'une étude générale sur la cuiseur à énergie solaire et la classification des cuiseur solaires.

The translation of the text into French, following the style of Science Magazine, is as follows:

- Le deuxième chapitre se consacre à l'étude climatique de la région de Ouargla sur une période de 6 dernières années, de 2018 à 2023, afin de déterminer le climat de la région de Ouargla pour comprendre l'impact du changement climatique sur l'environnement et la vie quotidienne des habitants, ainsi que le principe de fonctionnement du four solaire et des composants essentiels pour sa fabrication.

- Dans le troisième chapitre, nous présenterons une étude appliquée des fours solaires dans lesquels les expériences seront menées après avoir déterminé les dimensions des matériaux de fabrication du four solaire, ainsi que les matériaux de stockage thermique et les dispositifs de mesure utilisés dans l'expérience. Nous avons mené 5 expériences en cinq jours avec l'évaluation des résultats obtenus, leur interprétation et leur discussion.

Enfin, une conclusion générale comprenant un résumé des trois chapitres avec des perspectives futures.

CHAPITRE I

I.1. Introduction

Cette étude climatique revêt une importance capitale pour la compréhension de l'impact du changement climatique sur l'environnement et la vie quotidienne des populations, en évaluant notamment les variations de température et la quantité de nourriture préparée. La région de Ouargla est considérée comme un lieu crucial pour l'étude du climat en raison de ses conditions météorologiques uniques et de leur impact sur la vie humaine et l'environnement.

Dans ce chapitre, une étude sur les cuisines solaires sera présentée, couvrant les différentes variantes de cuisines solaires existants, y compris les cuisines à boîte, les cuisines paraboliques, les cuisines à stockage thermique, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces types, jusqu'aux cuisines solaires en Algérie. La cuisine solaire est l'une des applications solaires les plus populaires et répandues dans le monde [2].

I.2. Modèles de base des cuiseurs solaires :

Fondamentalement, il existe trois principaux types de base sont : A cuiseur de type boîte et a cuiseur parabolique et a cuiseur à panneaux.

I.2.1. Le cuiseur de type boîte :

Le cuiseur à boîte construit avec une caisse en bois isolée contenant une caisse plus petite dont le fond est noir et les parois intérieures des revêtements en aluminium colorés en noir ou des feuilles de fer noires. Un double vitrage recouvre l'ensemble et permet de produire un effet de serre [3]. En plus de la possibilité de placer d'un ou plusieurs panneaux plans réfléchissants qui concentrent les rayons du soleil sur le récepteur [4]. Solide et performant facile à fabriquer, le cuiseur boîte est le plus utilisé [4]. La principale difficulté de sa généralisation reste d'ordre culturel. De même qu'en Afrique, il est difficile de demander à un européen de remplacer son barbecue par un four solaire. Malgré cela, de nombreux amateurs de la cuisson solaire ont été séduits par ce concept et ont développé différents types de cuisines et cuiseurs solaires



Figure I.1: Schéma de principe d'un cuiseur de type boîte.

I.2.2. Le cuiseur parabolique :

Les cuiseurs solaires paraboliques utilisent un réflecteur de forme parabolique pour diriger la lumière du soleil sur une petite surface afin de générer de la chaleur pour la cuiseur. Ils peuvent atteindre des températures élevées, de 350°C (662°F) ou plus, ce qui leur permet d'être utilisés pour griller et frire. Ces températures sont nettement supérieures à celles que peuvent atteindre les cuiseurs solaires ou les cuiseurs à panneaux solaires et permettent aux temps de cuiseur sur un cuiseur parabolique d'être comparables à ceux d'un réchaud conventionnel, tel qu'un brûleur électrique ou à gaz.

La quantité d'aliments cuits et la manière dont la chaleur est utilisée sont généralement dictés par la taille du plat parabolique. [5].

Le réglage doit se refaire toutes les 10 minutes environ. Il est aussi possible de laisser la marmite une bonne demi-heure en place si on a anticipé le mouvement du soleil. Par contre, au-delà d'une grosse demi-heure, c'est sûr que la tâche n'est plus du tout sur la marmite, et ça ne chauffe plus [6]



Figure I.2: Schéma de principe d'un cuiseur parabolique.

I.2.3. Le cuiseur à panneaux :

Ce type est constitué de différents panneaux qui concentrent les rayons solaires sur un pot placé sous une cloche en verre. Ce cuiseur utilise à la fois le principe d'effet de serre du four solaire de type "boîte" et les bénéfices du réflecteur parabolique du cuiseur parabolique [4].

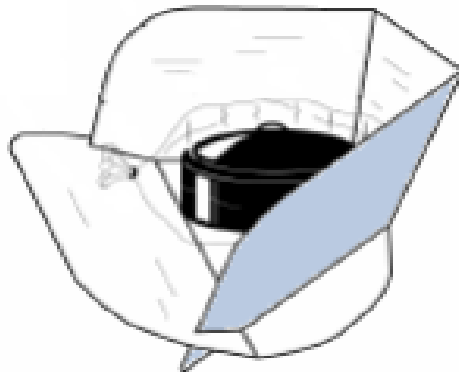


Figure I.3: : Schéma de principe d'un cuiseur parabolique.

I.3. Facteurs essentiels pour la cuisson solaire :

I.3.1. Températures de cuisson solaire :

La cuisine solaire est un moyen écologique et économique de préparer les aliments. Le fonctionnement des cuiseurs solaires dépend uniquement de l'ensoleillement et non de la température extérieure. Par conséquent, ils s'utilisent aussi bien en été qu'en hiver et ce dans toutes les régions ensoleillées du globe. Un minimum de 40 minutes d'ensoleillement suffit

pour un bon fonctionnement [3].

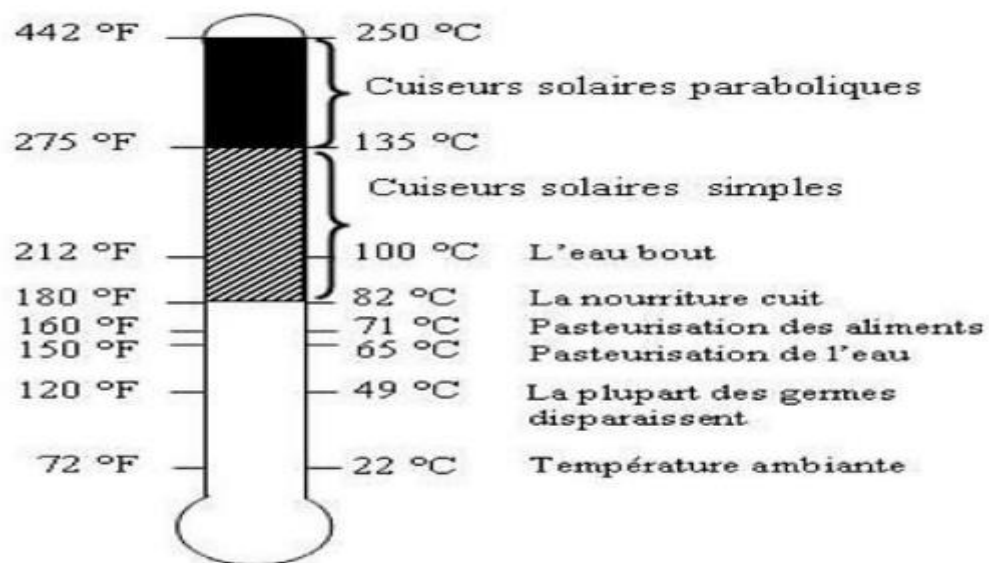


Figure I.4: Températures de cuisson pour les différents types de cuiseurs.[6]

La température atteinte par les cuiseurs solaires simples (de type boîte et les cuiseurs à panneaux réfléchissants) est généralement comprise entre 100 et 200 °C et dépend tout d'abord du nombre et de la taille des panneaux utilisés. La température atteinte par d'autres types de cuiseurs (les cuiseurs paraboliques) varie entre 150 et 250 °C en fonction du diamètre du réflecteur [4]. Cependant, des températures comprises entre 80 et 90°C suffisent pour cuire les nourritures et gardent leur goût, humidité et éléments nutritifs Figure I.4[4].

I.3.2. Comparaison entre la durée de cuisson entre différents cuiseurs :

La durée de la cuisson solaire dépend de la période de l'année, du moment de la journée, du degré d'ensoleillement, du type de cuiseur utilisé, de la cuisine et de la quantité de nourriture préparée [7]. En général, la cuisson dans un cuiseur "boîte" avec réflecteur prend deux fois plus de temps que dans un cuiseur traditionnel. Cependant, comme il est impossible de brûler réellement les aliments, alors il n'est pas nécessaire de surveiller le cuiseur ou de remuer les aliments pendant la cuisson. Il est possible de mettre plusieurs contenants avec différents aliments et de revenir plus tard pour trouver les aliments cuits correctement cuits et gardés au chaud jusqu'à ce qu'ils soient retirés du cuiseur. [3]

Dans les cuiseurs à panneaux, de petites portions sont souvent cuites dans un seul récipient, ce qui accélère la cuisson. Certains utilisateurs ont exprimé le besoin de remuer les aliments pour s'assurer qu'ils cuisent également (mais pas nécessairement) partout. La cuisson dans un cuiseur parabolique est très similaire à la cuisson sur un feu ordinaire. Comme la lumière solaire

concentrée va directement au fond du récipient, le récipient se réchauffe et cuit très rapidement. Mais pour éviter que les aliments ne brûlent, il est nécessaire de remuer et de surveiller attentivement, même si cela signifie "ralentir" en orientant le plat d'une manière non optimale [3].

I.3.3. Moment d'utilisation du cuiseur solaire :

En général, vous pouvez utiliser le cuiseur solaire quand la longueur de votre ombre sur le sol est plus petite que votre taille réelle. Cela signifie que le soleil est assez haut dans le ciel pour permettre la cuisson. Dans de nombreux pays les cuiseurs solaires simples ne peuvent pas être utilisés pendant plusieurs mois dans l'année[3].



Figure I.5: Heures propices à la cuisson solaire

I.3.4. Types de récipients utilisés pour la cuisson des aliments :

Les surfaces sombres deviennent très chaudes au soleil, tandis que les surfaces claires ne le font pas. Les aliments cuisent mieux dans des casseroles sombres, peu profondes et minces en métal avec des couvercles sombres bien ajustés pour retenir la chaleur et l'humidité.

Un cuiseur solaire a besoin d'un emplacement ensoleillé en extérieur pendant plusieurs heures, d'une protection contre les vents forts et de conditions de cuisson propres/sûres là où les aliments seront sains. Les cuiseurs solaires ne fonctionnent pas la nuit ou par temps nuageux, mais pendant les meilleures conditions ensoleillées. Certains cuiseurs solaires peuvent cuire des aliments sous des nuages intermittents.

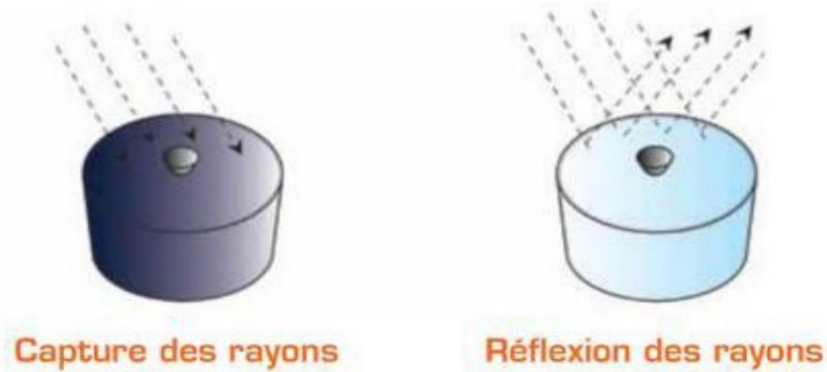


Figure I.6: Capture ou réflexion des rayons du soleil.

I.4. Classification des cuiseurs solaires :

Une vue mondiale des cuiseurs solaires prouve qu'une variété de poêles est conçue. Ces conceptions se répartissent en deux catégories principales : les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur et les récipients de cuisson avec un système de stockage de chaleur [4]

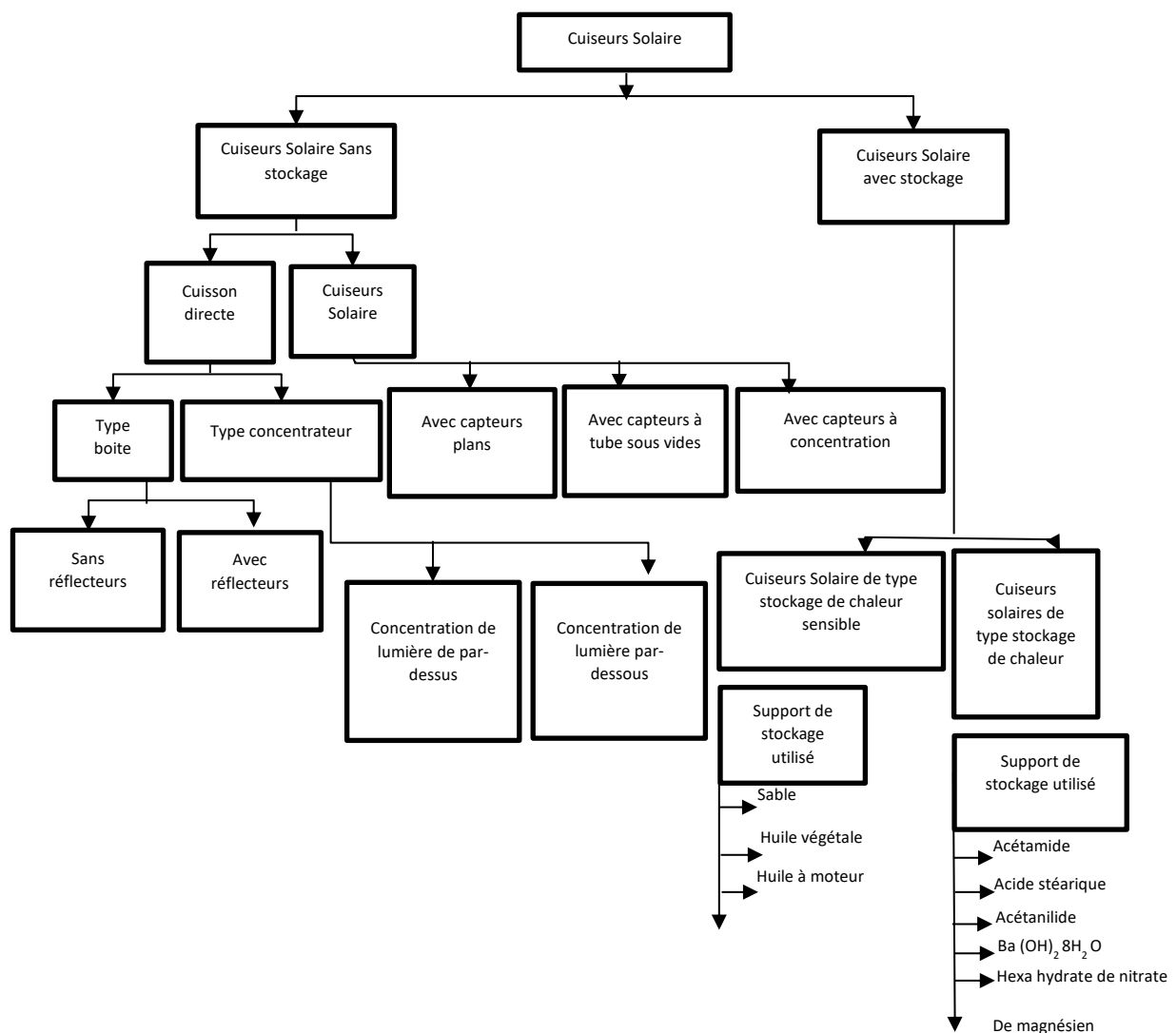


Figure I.7: Classification des cuiseurs solaires sans et avec stockage thermique [8].

I.4.1. Les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur :

Les cuiseurs solaires sans stockage sont classés en cuiseurs solaires directs et indirects selon le mécanisme de transfert thermique. Le type direct emploie le rayonnement solaire directement dans le procédé de cuisson tandis que les cuiseurs solaires indirects emploient un fluide caloporteur pour transférer la chaleur du collecteur à l'unité de cuisson [3].

I.4.1.1. Les cuiseurs directs :

Les cuiseurs solaires fonctionnant en mode directe commercialement réussis sont de type boîte et de type concentrateur [4]

a) Type boîte :

Le cuiseur solaire boîte est un boîtier en bois avec des extrémités isolées thermiquement et un simple ou double vitrage en haut. Le principe de fonctionnement de ce type de cuiseur est basé sur l'effet de serre, le vitrage du cuiseur permet le passage des rayons ayant une courte longueur d'onde mais, il est opaque pour les rayons ayant des grandes longueurs d'onde comme les rayons infrarouges, ces dernières ont une grande quantité d'énergie. Dans un tel type de cuiseur, l'isolation joue un grand rôle pour maintenir la chaleur dans la chambre de cuisson, des miroirs peuvent être utilisés aussi pour une réflexion additionnelle des rayons solaires.

La vitesse de cuisson dépend de la conception, la configuration et, le rendement thermique du cuiseur. La figure I.8 illustre plusieurs configurations du cuiseur solaire boîte [4].

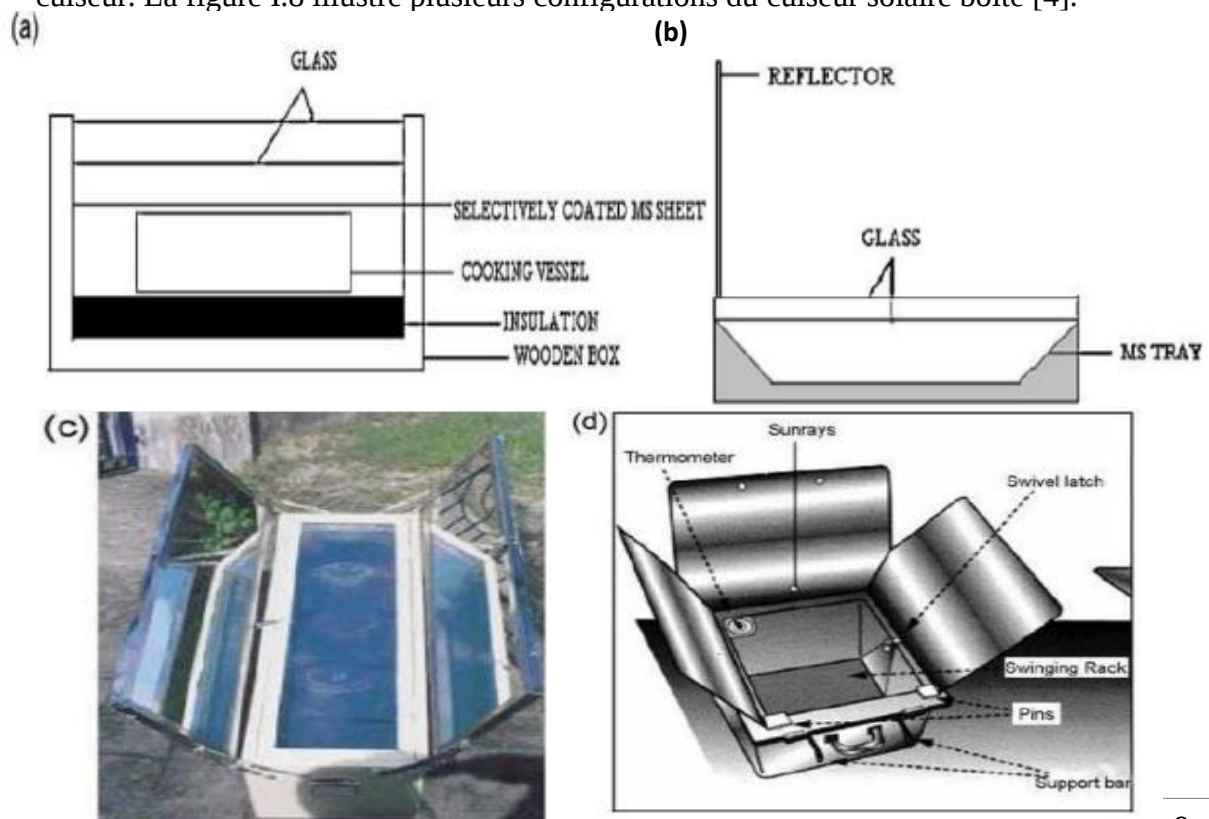




Figure I.8: Cuiseurs solaires boîtes : (a) sans réflecteur, (b) avec réflecteur, (c) avec deux réflecteurs, (d) avec trois réflecteurs, (e) avec quatre réflecteurs, et (f) avec huit réflecteurs [9].

b) Les cuiseurs à concentration :

Les cuiseurs solaires à concentration fonctionnent selon le principe de la concentration et de la réflexion des rayons solaires. Ils utilisent une surface réfléchissante dont la forme permet de concentrer en un même point la réverbération de l'énergie lumineuse. il existe de nombreux modèles [7].



Figure I.9: Cuiseur solaire à concentration : 1- parabolique, 2- parabolique orienté vers le haut, 3- forme carrée concave, 4- sphérique, 5- cylindre-parabolique, 6- à parois réfléchissantes en forme d'aile.

Possibilités de ce type de cuiseur concernent les hautes températures de cuisson, la possibilité de cuire n'importe quel type de nourriture en un temps réduit. Les inconvénients sont dus à leur taille, leur coût, le risque des feux et de brûlures et essentiellement le besoin d'un ajustement fréquent du dispositif afin de suivre le soleil en permanence [4].

I.4.1.2. Les cuiseurs indirects :

Dans le type des cuiseurs solaires indirects, le récipient de cuisson est physiquement séparé du collecteur, alors le récipient de cuisson reçoit indirectement de la chaleur, c'est à dire par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur [7].

On peut distinguer trois configurations possibles :

- Avec des capteurs solaires plans
- Avec tube collecteur
- Avec collecteur à concentration

Les cuiseurs solaires avec capteurs plans vitrés sont généralement équipés de deux

Casseroles avec la possibilité d'intégrer le poêle dans la construction du poêle, l'huile de tournesol est utilisée comme transfert thermique. Les avantages de ce type de cuisine sont les grandes dimensions des récipients, la vitesse de cuisson et la cuisson dans la maison [3].

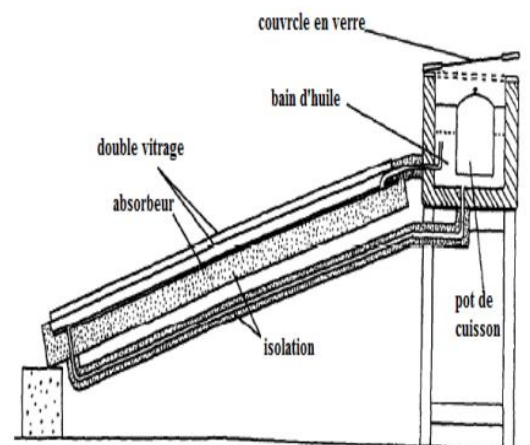


Figure I.10: Cuiseur solaire indirecte avec capteurs plans vitrés.

Le capteur est un tube central relié à la boîte isolée contenant le récipient de cuisson. Le tube contient généralement de l'huile et il est chauffé par un concentrateur

(Miroir cylindre-parabolique) ; cette l'huile chaude transfère alors la chaleur au navire de cuisson [4].

Les cuiseurs solaires avec capteurs à concentration utilisent souvent de grands concentrateurs paraboliques ou sphériques pour la génération de la vapeur nécessaire à la cuisson, ces concentrateurs sont généralement montés sur le toit et orientés vers le Sud. Le rayonnement solaire capté par les concentrateurs se concentre sur une chaudière cylindrique où la vapeur est produite pour faire cuire des repas à grande échelle. Les inconvénients de ce dernier type sont liés à leur taille et leur coût [7].



Figure I.11: Les cuiseurs solaires indirects à concentration [7].

I.4.2. Les cuiseurs solaires avec stockage :

Le stockage de l'énergie thermique est essentiel chaque fois qu'il existe un décalage entre l'offre et la demande d'énergie. Les cuiseurs solaires doivent contenir un matériau accumulateur de chaleur pour stocker l'énergie thermique afin de résoudre le problème de la cuisson à l'extérieur et l'impossibilité de cuire les aliments en raison des nuages fréquents pendant la journée ou en dehors des heures de pointe. L'énergie thermique peut être stockée sous la forme d'une modification de l'énergie interne d'un matériau sous forme de chaleur sensible, latente et thermochimique ou d'une combinaison de ces éléments [3].

I.4.2.1. Stockage de chaleur sensible :

Dans le cas de stockage par chaleur sensible, l'énergie thermique stockée se traduit par l'augmentation de la température du matériau stockeur, en général un solide ou un liquide.

L'huile moteur est souvent utilisée comme stockage dans les poêles-caisses [4]. Lorsque la température maximale de stagnation à l'intérieur du poêle avec l'équipement de stockage pendant la journée est similaire à la température à l'intérieur du poêle sans stockage mais supérieur de plus de 20 °C entre la fin de l'après-midi et minuit [3].

Le sable est un autre moyen de stocker la chaleur. En fait, le sable était utilisé comme méthode de cuisson à l'intérieur des locaux, et 6 heures de cuisson à l'extérieur et environ 3 heures par jour étaient enregistrées à l'intérieur [4].

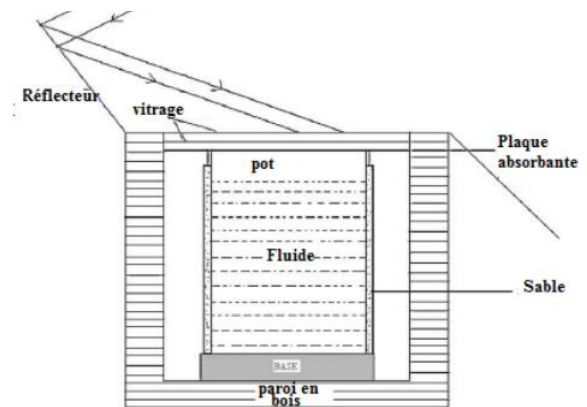


Figure I.12: Cuiseur solaire avec stockage de chaleur sensible

I.4.2.2. Cuiseurs solaires avec stockage de chaleur latente :

La chaleur latente est l'énergie mise en jeu lors des changements d'état de la matière. L'utilisation d'un matériau à changement de phase (PCM) pour stocker de la chaleur sous forme de chaleur latente est intéressante car cela constitue un système de stockage compact et efficace, dû à une densité de stockage élevée et à une température de fonctionnement constante [7].

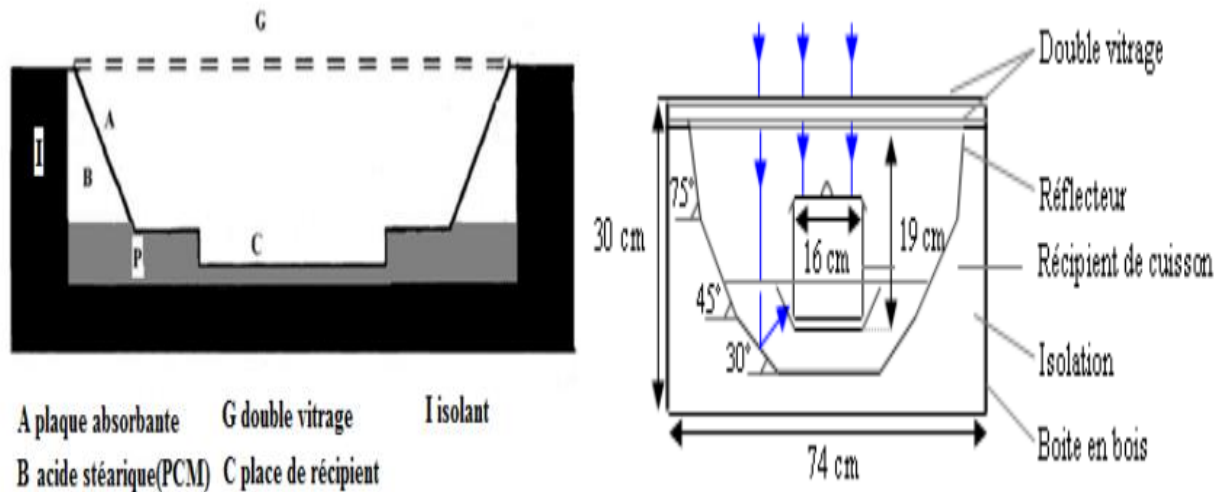


Figure I.13 : Schéma d'un cuiseur solaire à stockage de chaleur latente de type boîte avec PCM intégré en mode indirect

I.4.3. Les avantages et les inconvénients des cuiseurs solaires :

I.4.3.1. Les avantages des cuiseurs solaires :

La cuisson avec un cuiseur solaire présente de nombreux avantages qui sont :

1. La cuisson solaire utilise une énergie propre, non polluante, gratuite et inépuisable.
2. Elle n'irrite ni les yeux ni les branches car elle ne produit ni cendres, ni fumée. Elle ne contribue pas au réchauffement de la planète.
3. Comme à la cuisson vapeur ou à l'étouffée, les aliments cuits sont très goûteux. Cette cuisson qui ne nécessite pas l'ajout de matière grasse, est plus diététique que celle avec gras ajouté.
4. Cette cuisson préserve mieux les aliments qu'une cuisson à température élevée. Cuisinés à basse température, les aliments conservent une partie de leurs vitamines et de leurs sels minéraux, mais pas tous.
5. Les cuiseurs solaires sont pratiques, fabriqués à partir de matériaux légers, ils se transportent partout.
6. Les cuiseurs solaires offrent la possibilité de faire la cuisine à l'extérieur durant une grande partie de l'année.
7. Lorsque la cuisson dans le cuiseur solaire est en cours, vous disposez de votre temps pour d'autres occupations car votre présence n'est pas nécessaire.

I.4.3.2. Les inconvénients des cuiseurs solaires :

1. Le récipient peut atteindre des températures très élevées, attention aux risques de brûlures.
2. Attention aux risques d'éblouissement lors de son utilisation.
3. Le temps de cuisson des aliments est souvent multiplié par deux comparativement à un mode de cuisson traditionnel.
4. Il nécessite d'être bien orienté, étant plus lourd à manipuler qu'un four solaire parabolique.
5. Il ne faut pas ouvrir le four avant la fin de la cuisson pour éviter les pertes de chaleur, la prise en main du four solaire nécessite un petit temps d'apprentissage.
6. des poêles à accumulation conventionnels sont la détérioration des performances due au cycle réversible pendant la nuit et les périodes nuageuses du jour, ainsi que la grande capacité de chauffage et les casseroles fixes qui les rendent difficiles à nettoyer [7].

I.4.4. Cuiseurs suiveurs du soleil :

En 2010, Un cuiseur solaire cylindrons-parabolique avec système de poursuite solaire automatique Figure I.14, a été conçu, construit et testé par Al-Soud et al., un contrôleur programmable a été employé pour contrôler le mouvement du cuiseur solaire. Les résultats de l'essai ont prouvé que la température de l'eau à l'intérieur de la cuve du cuiseur a atteint 90 °C en jours typiques d'été, quand la température ambiante enregistre un maximum de 36 °C [9].

En 2011, l'effet d'un système de poursuite solaire à deux axes sur un cuiseur parabolique Figure I.14, a été étudié par Abu-Malouh et al. Le concentrateur parabolique a été construit pour concentrer le rayonnement solaire sur un récipient fixé au sommet du foyer, le cuiseur suit le soleil à l'aide du système de poursuite à deux axes, ce dernier est réalisé et ensuite testé. Les résultats expérimentaux obtenus montrent que la température à l'intérieur du récipient avait atteint les 93°C quand la température ambiante est de 32 °C, la température obtenue convient parfaitement pour faire cuire différents plats [11].

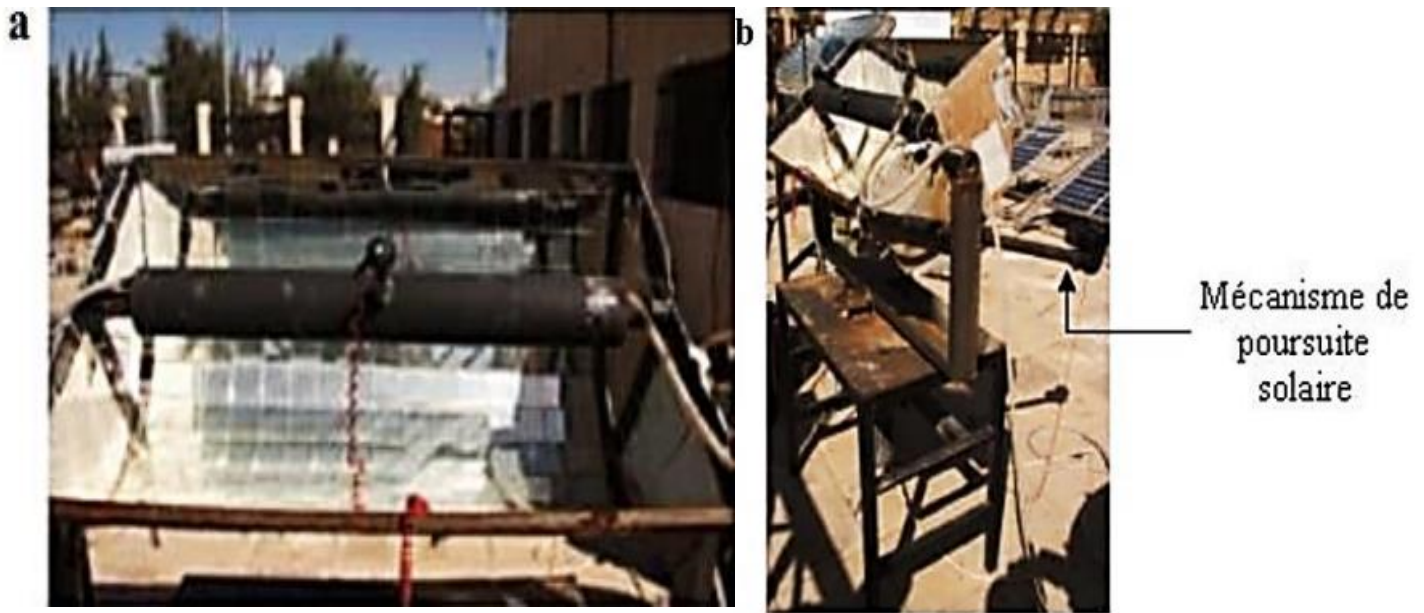


Figure I.14: (a) Cuiseur cylindro-parabolique ; (b) système de poursuite solaire, réalisé par AL-Soud et al. [10]

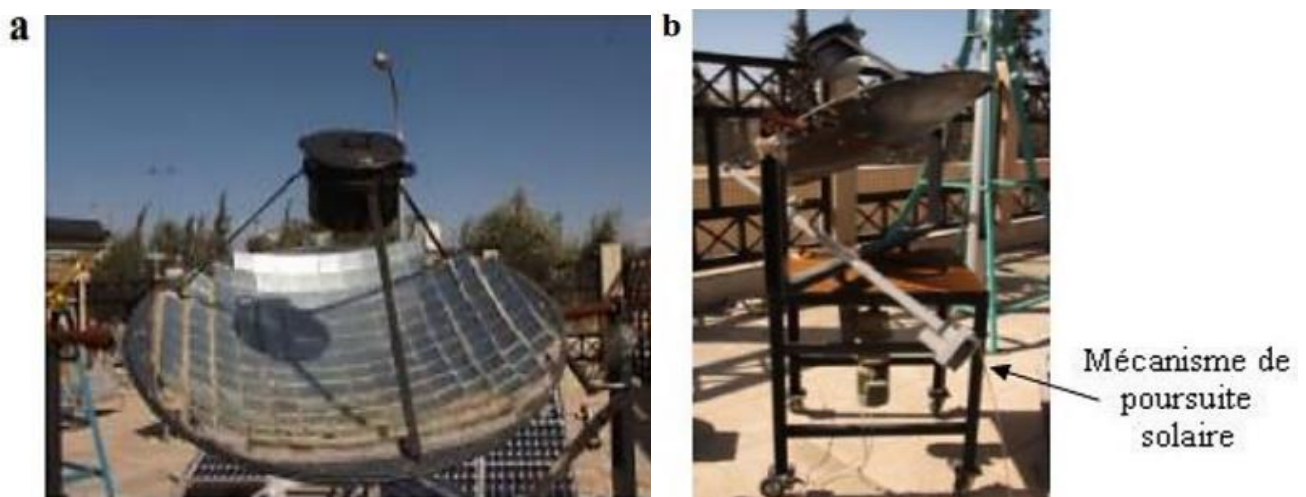


Figure I.15: (a) cuiseur parabolique ; (b) système de poursuite solaire réalisé par Abu-Malouh et al. [11]

I.4.5. Cuiseurs boîtes à usage multiple (cuiseurs hybrides) :

Kumar et al [3], Ont conçu et fabriqué un cuiseur-séchoir solaire de type pyramide tronqué, qui satisfait les normes prescrites par le Bureau des Standards de l'Inde concernant les cuiseurs solaires de type boîte, la géométrie tronquée de la pyramide concentre la lumière vers le bas du cuiseur, ils ont également recommandé quelques modifications pour obtenir de plus hautes températures et des temps de cuisson réduits. Le groupe de travail ont ensuite conçu, fabriqué

et testé un dispositif de type pyramide tronqué, qui pourrait être utilisé pour la cuisine domestique aussi bien que pour le chauffage de l'eau [3].

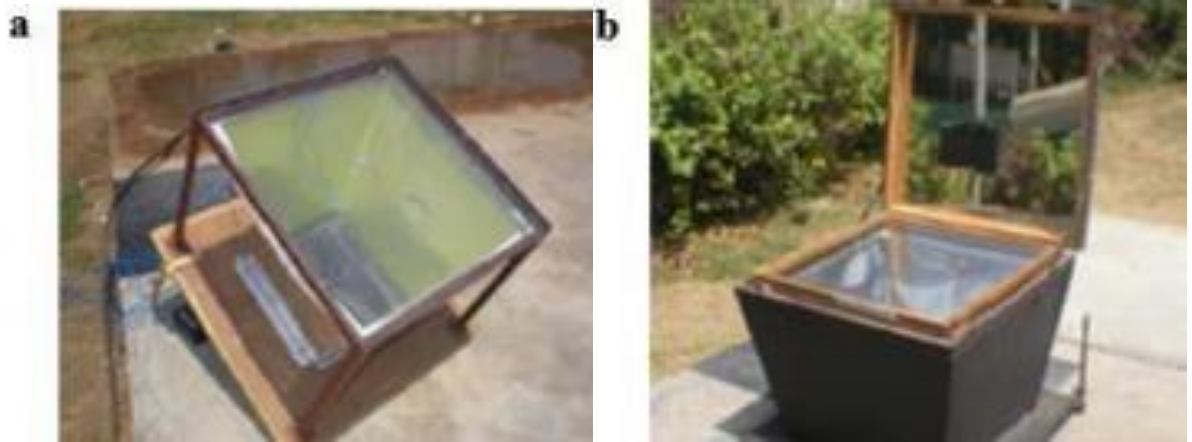


Figure I.16: (a) Cuiseur séchoir- pyramide, (b) cuiseur chauffe-eau, réalisé par Kumar et al

I.5. Etat de l'art sur les systèmes cuiseurs :

I.5.1. Nouvelle classification des cuiseurs solaires :

Récemment ; en 2014, Yettou el al. [12] ont publié une nouvelle classification des cuiseurs

Solaires, dans laquelle ces derniers sont répartis en trois grandes catégories selon le type de collecteur et de l'ordre de températures : les cuiseurs de type boîte, les cuiseurs de type concentrateur et les cuiseurs de type à foyer non-focal. Dans ces trois catégories principales sont inclus les cuiseurs avec modes de transfert de chaleur direct et indirect, cuiseurs avec ou sans stockage de chaleur et cuiseurs avec ou sans mécanisme de poursuite solaire intégré. Les cuiseurs solaires de type direct utilisent l'éclairement solaire d'une manière directe durant la cuisson, les cuiseurs indirects ont besoin d'un fluide caloporteur pour transférer la chaleur du collecteur à l'unité de cuisson. L'option 'stockage d'énergie' doit être associé à ces cuiseurs afin de permettre la cuisson en fin de soirée ou la nuit et remédier aux limites des cuiseurs solaires durant les moments nuageux ou l'insuffisance d'ensoleillement. Quelques fois, ces cuiseurs sont équipés d'un système de poursuite solaire à un seul ou deux axes.

I.6. L'étude, la conception et le développement des cuiseurs solaires à travers le monde :

I.6.1. Les cuiseurs solaires de type boîte :

I.6.1.1. Cuiseurs boîtes sans et avec réflecteurs

Beaucoup de travaux ont été effectués ces dernières décennies pour étudier et déterminer les performances thermiques des cuiseurs solaires de type boîte sans et avec réflecteurs, notamment en Inde [13-14], en Asie [15, 16], en Europe [17] et en Afrique [18, 19]. Kumar [20] a développé une corrélation pour le coefficient de pertes de chaleur d'un cuiseur solaire boîte qui a comme charge de l'eau, il a également présenté une analyse thermique pour évaluer le coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle du cuiseur [21]. Purohit et al. [13] ont construit et évaluer un prototype de cuiseur solaire avec 4 réflecteurs et 2 récipients de cuisson, la conception du cuiseur est optimisée pour les zones intertropicales. Les tests ont montré que le prototype, qui a besoin de seulement 4 simples mouvements tout au long de l'année, convient parfaitement pour faire cuire les repas principaux de base.

En 2001, Nahar [3] a conçu, fabriqué Figure I.16, testé et comparé les performances d'un cuiseur solaire boîte à double réflecteurs avec un matériau isolant transparent avec celle d'un cuiseur boîte possédant un seul réflecteur sans matériau isolant. Mohamad et al. [22] ont conçu un simple cuiseur solaire boîte en bois avec un seul réflecteur, ils ont aussi fabriqué plusieurs unités de démonstration qui ont montrées des performances acceptables concernant les essais effectués sur terrain

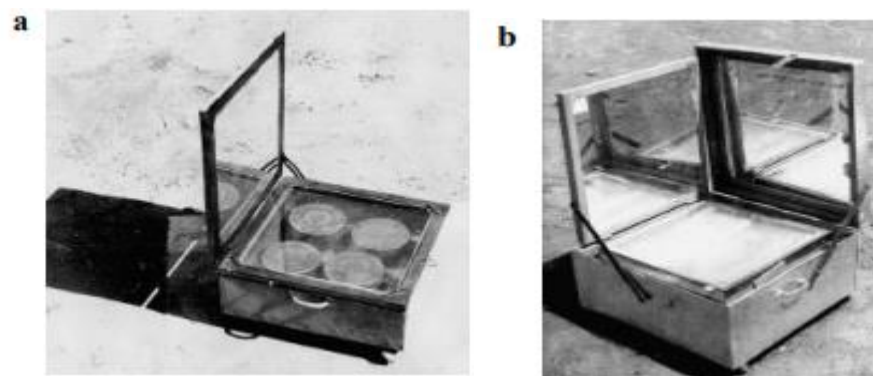


Figure I.17: Cuiseurs solaires boîte fabriqué et testé par Nahar. [3]: (a) avec un seul réflecteur; (b) avec deux réflecteurs.

Negi et Purohit ont réalisé des tests sur les performances thermiques d'un cuiseur solaire type boîte Figure I.17a, utilisant des réflecteurs à concentration sans poursuite solaire. Ils ont montré que le cuiseur peut donner une meilleure collecte de la chaleur d'où une cuisson plus efficace [23]. Amer a présenté et largement étudié les performances d'un nouveau modèle de cuiseur solaire Figure I.17b, où l'absorbeur est exposé au rayonnement solaire par le haut et par la face inférieure, un ensemble de réflecteurs sont utilisés pour diriger le rayonnement sur la face inférieure de la plaque absorbante [24].

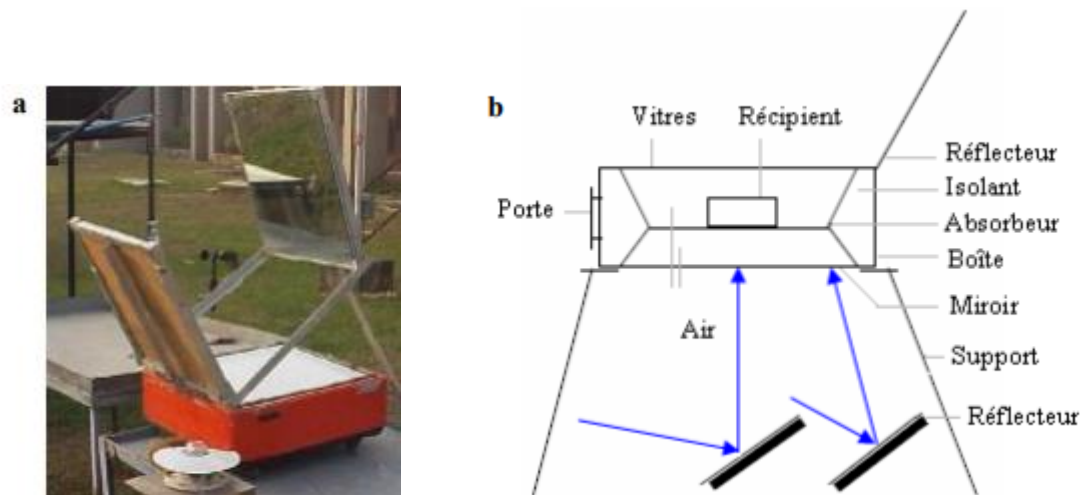


Figure I.18: Schéma du cuiseur boîte avec réflecteurs : (a) exposés par la face supérieure testé par Negi et al. [23]; (b) exposés par la face inférieure étudiée par Amer [21].

I.6.1.2. Cuiseurs boîtes et récipients de cuisson

Des études et des tests ont également été réalisés ces dernières années concernant le rôle du récipient à l'intérieur du cuiseur, la chaleur doit pénétrer dans le récipient et faire cuire la nourriture d'une manière uniforme. En 1999, Gaur et al. ont fait une étude des performances d'un cuiseur solaire boîte avec une modification de la forme des couvercles des ustensiles utilisés, ils ont conclu que les performances peuvent être améliorées si un ustensile avec une forme concave de couvercle est utilisé au lieu d'un couvercle ordinaire [25]. Rao et Subramanyam ont étudié l'utilité de soulever le récipient sur des crochets, ce qui engendrera au bas du récipient une surface de transfert thermique et permettra d'atteindre plus rapidement des températures de saturation pour la cuisson [26], ils ont également testé un récipient Figure I.18, mis sur une cavité annulaire centrale et ils ont conclu que cette nouvelle configuration permet de diminuer le temps de cuisson [27]. En 2007, Reddy et Rao traitent avec une étude théorique et expérimentale détaillée l'amélioration des performances obtenues par un récipient de cuisson avec une cavité cylindrique centrale par rapport à un récipient cylindrique classique [28]. Par la suite ils ont comparé les performances d'un récipient de cuisson muni d'un couvercle enfoncé avec celles d'un récipient de cuisson conventionnel et ils ont constaté que l'amélioration moyenne des performances du nouveau récipient est de 8.4 % meilleure que le récipient conventionnel [29].

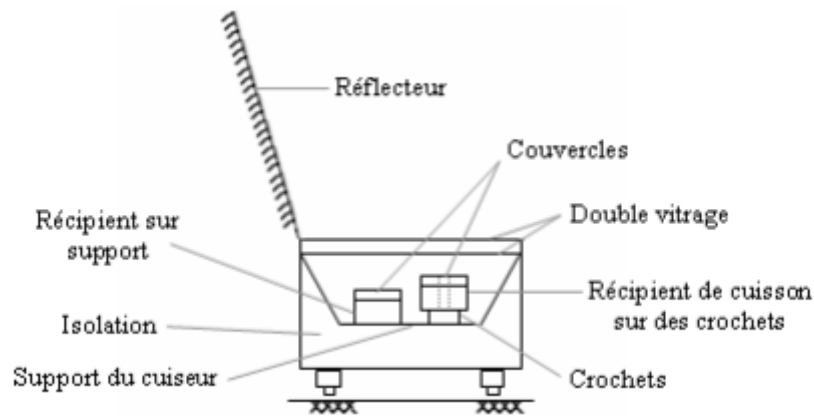


Figure I.19: Schéma du cuiseur boîte avec un récipient mis sur support testé par Rao et al. [3].

I.6.2. Cuiseurs boîtes en Algérie :

En Algérie, Un simple prototype de cuiseur solaire de type boîte Figure I.19 a été réalisé et testé expérimentalement par Harmim et al. En 2007, des tests ont été effectués à l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien d'Adrar, les températures atteintes sont très satisfaisantes pour une cuisson alimentaire saine, le rendement énergétique du cuiseur varie entre 25 % et 55 % [30]



Figure I.20: Cuiseur solaire boîte réalisé et testé à l'URER /MS par Harmim et al. [30].

Par la suite, le groupe de travail ont construit un cuiseur solaire à double exposition muni d'un réflecteur parabolique Figure I.20a, avec de simples moyens et des matériaux disponibles localement, le cuiseur est doté de trois réflecteurs plans sur la partie supérieure du boîtier pour augmenter l'irradiation solaire incidente sur la plaque chauffante et améliorer les performances du système [31]. Le prototype arrive à atteindre des températures favorables pour une cuisson

saine de différents produits et plats alimentaires [32]. En 2008, Harmim et al. ont examiné un récipient de cuisson avec ailettes Figure I.20b, afin d'accroître l'efficacité des cuiseurs solaires boîtes et de réduire le temps de cuisson [33]. Récemment; en 2010, Harmim et al. ont établi un code de calcul numérique simulant le fonctionnement d'un simple cuiseur solaire boîte [34], ce code a été utilisé pour étudier l'effet de la plaque absorbante à ailettes sur les performances du cuiseur. Les résultats démontrent que la température de stagnation de l'air intérieur du cuiseur équipé d'une plaque absorbante à ailettes est supérieure à celle du cuiseur solaire équipé d'une plaque absorbante ordinaire [35]. Récemment; en 2012, Harmim et al. ont conçu et construit un nouveau type de cuiseur solaire boîte équipé d'un concentrateur parabolique composé asymétrique, utilisé comme miroir réflecteur [36, 37].

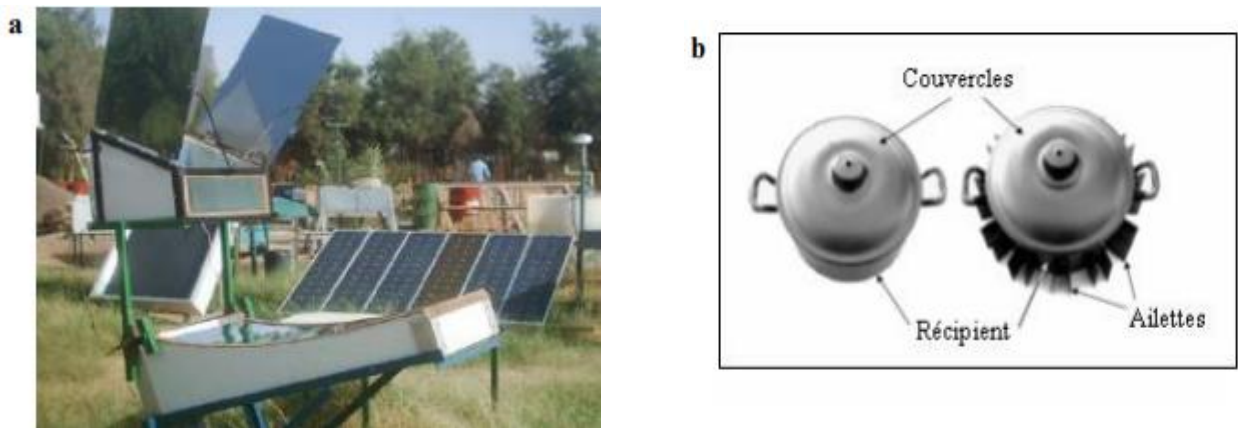


Figure I.21: Cuiseur boîte réalisé et examiné par Harmim et al. [31, 32, 33]: (a) avec un réflecteur parabolique; (b) le récipient de cuisson avec ailettes.

I.7.Conclusion :

Ce chapitre fournit un aperçu du cuiseur solaire en termes de ses différents types et des améliorations qui ont été apportées, en particulier le cuiseur solaire à boîte à l'intérieur et à l'extérieur du pays. Nous discutons également des avantages et des inconvénients de ce type de cuiseurs solaires, que nous aborderons dans notre étude appliquée.

CHAPITRE II

II. 1. Introduction :

Les cuisines solaires, également connus sous le nom de cuisines solaires de type caisson, sont abordables, respectueux de l'environnement, faciles à fabriquer, peu désagréables et simples à utiliser. De plus, la cuisson lente préserve la saveur des aliments. Ils ne présentent aucun risque d'incendie et, en d'autres termes, offrent une alternative écologique. Les cuisines solaires de type cuisson sont fabriqués à partir de carton ou de bois, de feuilles d'aluminium, d'isolants thermiques tels que le polystyrène ou le coton, de verre double vitrage et de réflecteurs. Dans ce chapitre, nous examinerons le climat de la région de Ouargla, en nous appuyant sur un échantillon couvrant une période de 6 ans, de 2018 à 2023, afin de déterminer le climat de la région de Ouargla [38]

II.2. La situation géographique de la région de Ouargla :

La région d'Ouargla est située dans la partie sud de la République algérienne, à la latitude $31^{\circ}56$ nord et à la longitude $24^{\circ}5$ sud. Ouargla se trouve à environ 144 m au-dessus du niveau de la mer, comme le montre la Figure II.1. Il est bordé au nord par les États de Djelfa et d'El Oued, à l'est par l'État de Tunisie, au sud par les États de Tamanrasset et d'Ilizi et à l'ouest par l'État de Ghardaïa. La population de la province Ouargla est estimée à 382391 personnes jusqu'en 2023[39]. Cette région bénéficie également d'un climat désertique généralement sec, avec des températures moyennes en été atteignant environ 37.6°C , alors qu'elles baissent en hiver.



Figure II.22: Carte d'Ouargla.

- **Données climatiques mensuelles et annuelles moyennes de la région d'Ouargla (2018-2023).**

Dans cette partie, nous aborderons l'étude climatique de la région de Ouargla en termes d'éléments physiques (température, vent, visibilité moyenne, précipitations, phénomène de poussière) à travers l'analyse temporelle et spatiale de la région [38].

➤ **Température :**

Cette région a un climat désertique sec en général, puisque la température maximale moyenne atteint 44.55 °C en juillet, considéré comme l'un des mois les plus chauds de cette région. Les températures les plus basses sont enregistrées en janvier et décembre, atteignant 4.33°C et 5°C, respectivement. Ces mois sont considérés comme les plus froides de la période allant de (2018-2023) Voir la Figure II.2.

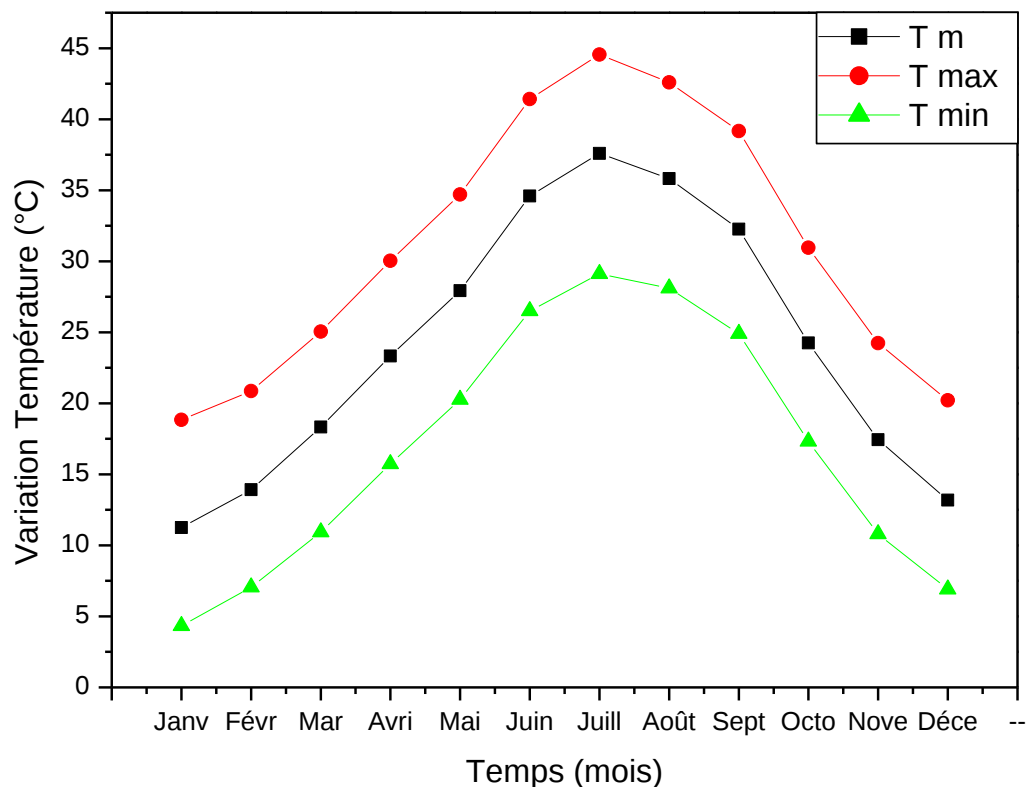


Figure II.23 : Evolution des températures par mois dans la région d'Ouargla au cours de la période (2018-2023).

➤ **Humidité relative**

Les niveaux d'humidité maximale sont également enregistrés en hiver, au cours des mois de Janvier et Décembre, où le pourcentage d'humidité varie entre 43 et 49 % respectivement. Par contre on remarque qu'une diminution jusqu'à atteindre 14 % en Juillet. Vous remarquez une

diminution du pourcentage d'humidité pendant l'été, et cela est dû à l'augmentation de la température rareté des pluies, Figure II.23.

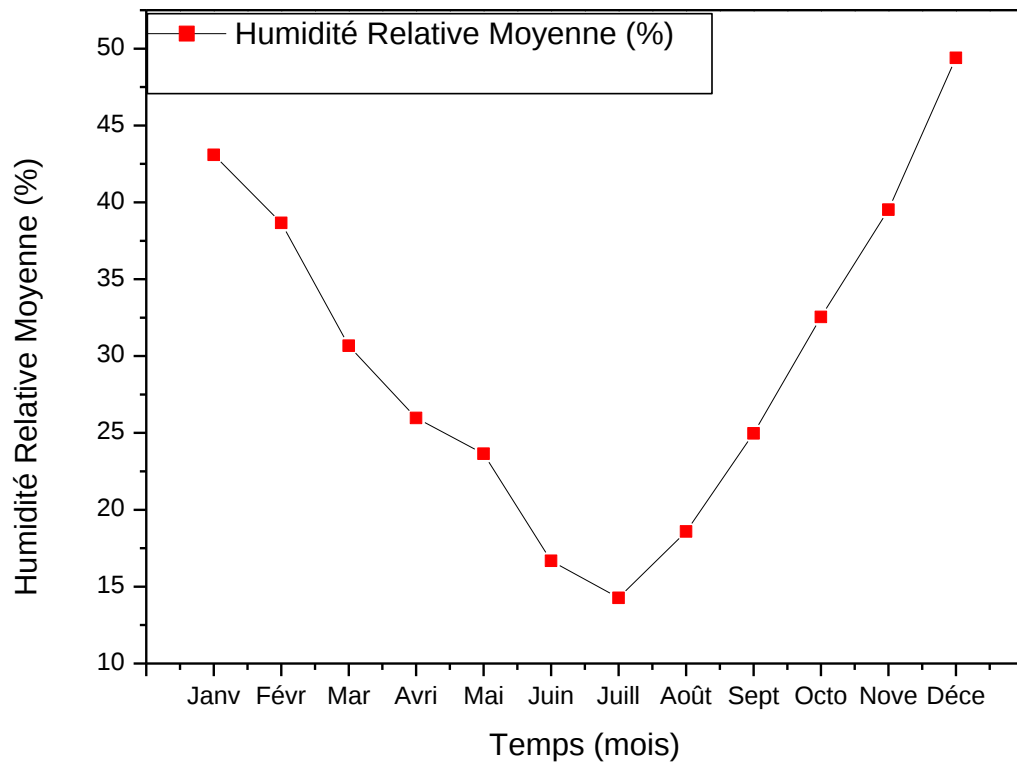


Figure II.24: Evolution de l'humidité relative en termes de mois dans la région d'Ouargla sur la période (2018-2023).

➤ Vent :

Il est évident dans cette région que Les vents dominants dans l'État sont continentaux du nord-est et du sud-est [5], avec une vitesse moyenne en janvier et décembre comprise entre 2.49 et 2.51 (m/s). Ces vents sont également actifs pendant la période de février à juillet. La vitesse atteint une valeur maximale de 4.4 (m/s) en Avril, Figure II.24.

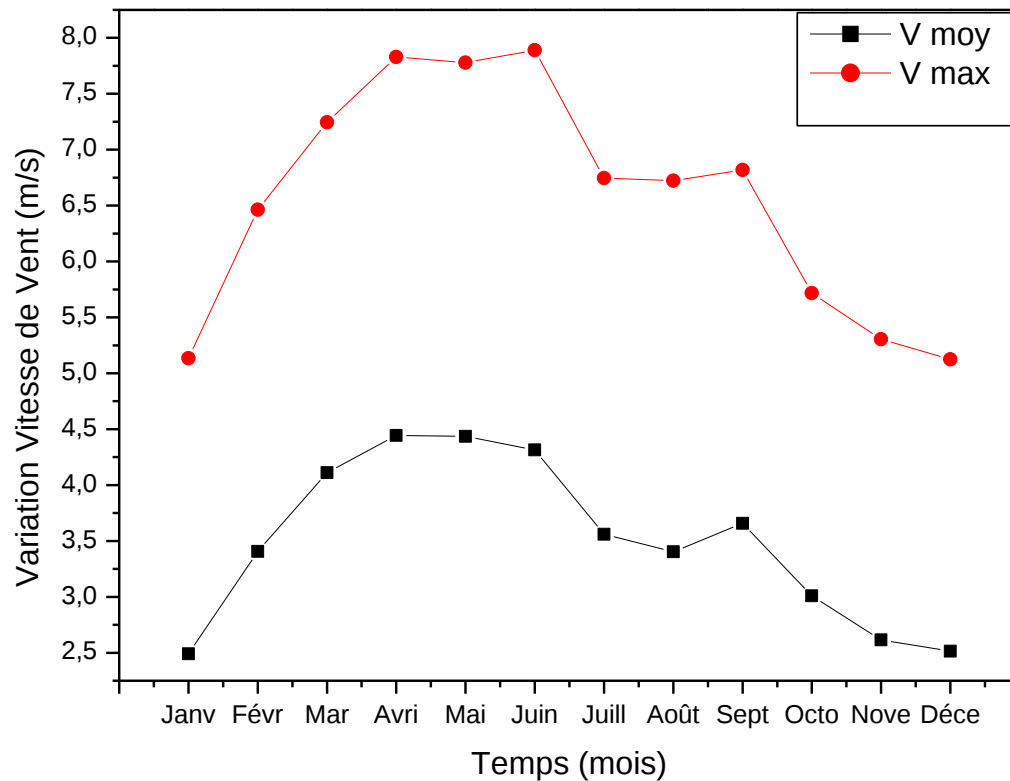


Figure II.25: Variations de la vitesse maximale du vent en fonction des mois dans la région d'Ouargla sur la période ([2018-2023](#))

➤ La quantité de précipitations

La région connaît une pénurie de pluie, puisque la moyenne annuelle des précipitations est de 21,75 mm. Le taux de précipitation le plus élevé est d'environ 6 mm en novembre et les précipitations sont inexistantes en juillet. Automne : janvier, juin, juillet et octobre sont également témoins d'un état de sécheresse et le taux de précipitations pour ces mois est estimé à moins supérieure à 1 mm, Figure II.25.

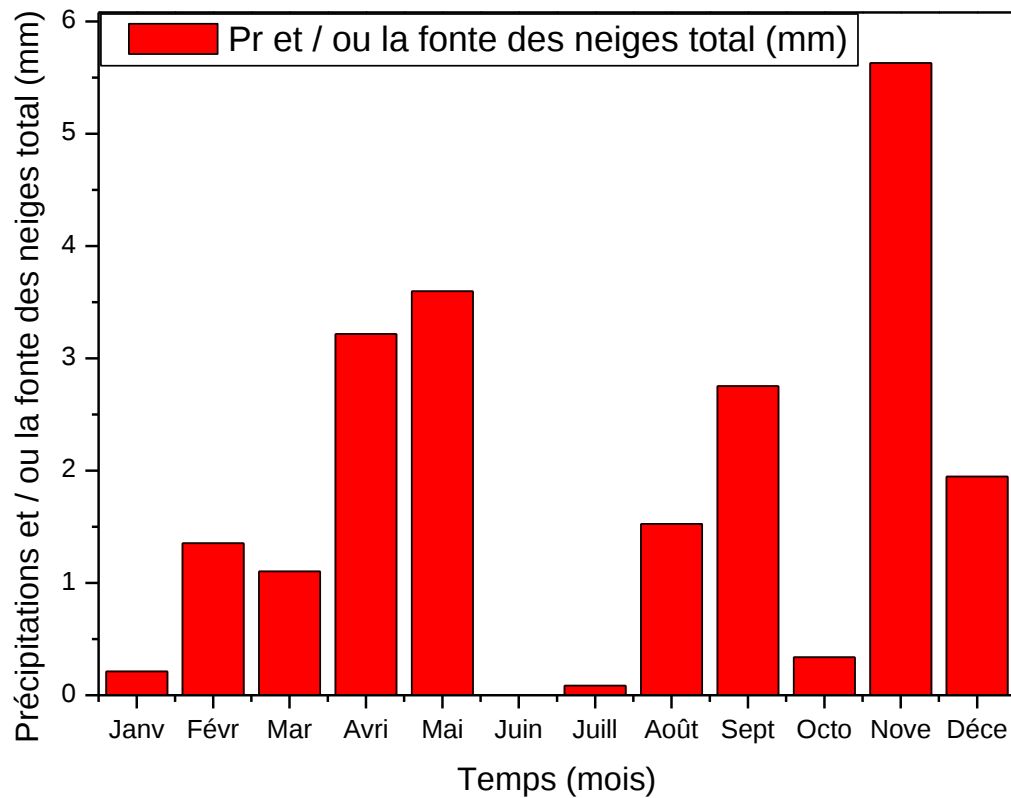


Figure II.26: La quantité de précipitations évolue selon les mois dans la région d’Ouargla sur la période (2018-2023).

➤ Phénomène de poussière

La Figure II.6 représente une étude comparative entre la vitesse moyenne et la visibilité moyenne à Ouargla durant la période (2018-2023). A travers notre observation, nous constatons qu'avant le début du phénomène du poussière, la valeur de la visibilité moyenne était (9,33 km) et la vitesse moyenne était de (8,96 Km/h). Lorsque la vitesse augmente au-delà de (8,96 m/h), la visibilité moyenne commence à diminuer, ce qui s'accompagne d'une augmentation des valeurs de vitesse. Cela se produit pendant les mois de janvier à Mai. Quant au début du mois de juin, on remarque une diminution notable des valeurs de vitesse et une augmentation de la visibilité moyenne jusqu'à ce qu'elle se stabilise à la valeur (9,2 km) pendant environ les mois de novembre et décembre, ce qui s'explique par la stabilité de l'atmosphère de la région et la fin du phénomène de poussière.

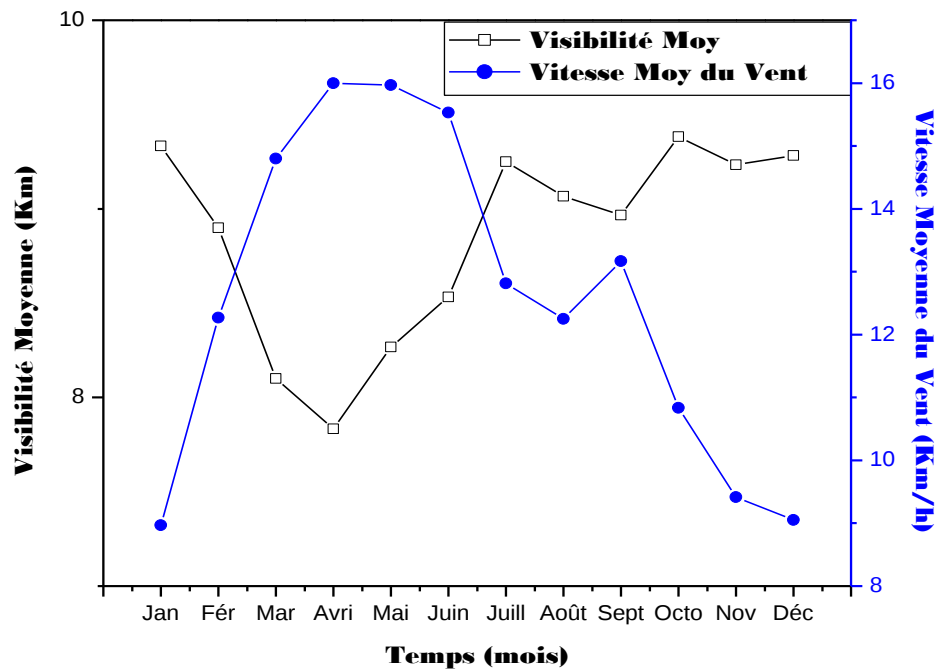


Figure II.27: représente une étude comparative entre la vitesse moyenne et la visibilité moyenne à Ouargla durant la période s'étendant de (2018-2023).

II.3. Description du cuiseur solaire à boîte :

II.3.1. Le principe de Fonctionnement d'un four solaire :

Le fonctionnement d'un four solaire est un procédé de chauffage reposant sur l'intensité des rayons solaires émis et leur conversion en chaleur. Cette concentration d'énergie permettra la réutilisation de la chaleur obtenue selon la capacité du four solaire.

Autrement dit les rayons qui pénètrent à l'intérieur du four solaire sont piégés après transformation en rayons infrarouge. Cette conservation de la chaleur à l'intérieur de l'enceinte provoque une augmentation de la température à l'intérieur du four solaire. Les différents composants du four solaire sont :

II.3.1.1. Les composants du cuiseur solaire

a) le verre :

Le verre est l'un des principaux composants de la cuisine solaire, permettant le passage des rayons du soleil tout en empêchant la chaleur de s'échapper de la cuisine solaire.



Figure II.28: Le verre.

b) Résistance électrique :

La résistance électrique génère de l'énergie thermique supplémentaire, surtout les jours peu ensoleillés, c'est-à-dire avec peu de rayonnement solaire, que nous utilisons en la faisant fonctionner à travers des panneaux solaires couplés en courant continu, ce qui est crucial ici.



Figure II.29: Le résistance.

c) Isolation :

L'une des caractéristiques importantes de la cuisinière solaire à boîte est la fourniture d'isolation, qui est l'une des principales causes de la fourniture de chaleur nécessaire pour la cuisson. En l'absence d'isolation, nous ne pouvons pas atteindre la température nécessaire pour la cuisson, ce qui signifie qu'il y a un manque de rétention de chaleur nécessaire ici.

Nous utilisons du polystyrène, qui est disponible sur le marché et qui est très efficace en termes d'isolation et léger.



Figure II.30: Le polystyrène.

d) Papier aluminium :

la Papier aluminium est utilisé pour augmenter la réflexion des rayons du soleil, ainsi que pour sa légèreté et sa facilité de manipulation ; et aussi parce qu'il est peu coûteux.



Figure II.31: Le Papier aluminium.

e) Destin :

Afin de fournir de la chaleur supplémentaire et de ne pas la perdre, nous avons besoin que la marmite ou tout ce sur quoi nous cuisinons soit noir afin d'augmenter l'absorption de la chaleur et de la lumière du soleil entrant dans la cuisine solaire.



Figure II.32: Le destin.

II.4. Le matériel utilisé pour cette étude :

À travers les expériences antérieures et les conclusions de nombreux chercheurs dans le domaine du développement de la cuisine solaire à boîte, nous avons décidé de trouver d'autres moyens. À travers cette description, nous résumerons ce que nous allons faire dans notre étude appliquée. Pour cette étude, nous avons utilisé deux cuisines solaires fabriquées avec le même matériau, les mêmes dimensions et le même volume. Pour nous assurer que les variations de température y étaient similaires, nous avons testé les performances des deux cuisines dans les mêmes conditions le mardi 5 mars 2024, et les résultats ont été conformes à nos attentes. Ensuite, pour confirmer l'obtention de résultats très satisfaisants, nous avons décidé de mener des expériences en avril ou en mai. Les expériences ont eu lieu en mai en raison des conditions Hmétéorologiques défavorables en avril, avec quatre sessions commençant les 14, 15, 21 et 23 mai 2024.

La première expérience a été faite en 14 Mai 2024, On ajoute deux types de gravier aux cuisines pour déterminer lequel d'entre eux était plus efficace pour stocker la chaleur durant la journée. D'après les résultats de la première expérience, on constate que le gravier rond est plus efficace par rapport le premier matériau, et pour cela nous proposant le 15 mai 2024 une deuxième expérience. Nous avons placé du gravier rond dans une cuisine, tandis que l'autre cuisine est restée vide.

Dans l'expérience du mardi 21 mai 2024, nous avons ajouté des graviers ronds et placé dans chaque cuisine un pot contenant 2,2 kilogrammes d'eau.

Par une journée très lumineuse et ensoleillée du jeudi 23 mai 2024, nous avons utilisé une résistance électrique dans l'une des cuisines alimentées par un panneau solaire. Au-dessus se trouvait une casserole d'eau pesant 2,24 kilogrammes. Nous avons fait fonctionner cette résistance par conversion. Courant continu en courant alternatif à l'aide d'un transformateur électrique que l'on a connecté à la résistance électrique. Quant à la deuxième cuisine solaire, il ne s'agit que d'une marmite d'eau contenant la même masse que la première marmite.

II.5. Conclusion :

A travers l'étude que nous avons menée sur la distribution spatiale et temporelle des températures, de l'humidité, des vents, des précipitations et des phénomènes de poussière dans la région de Ouargla pendant la période ([2018-2023](#)) et sa caractérise par un climat sec et chaud, avec des températures élevées, une faible humidité, des précipitations rares et une visibilité affectée par la vitesse du vent dans certaines conditions météorologiques. Ainsi, nous pouvons conclure que le climat d'Ouargla est un climat désertique sec.

Conclusion Générale

Conclusion générale.

Le travail présenté dans cette thèse consiste à étudier un système de stockage thermique pour stocker l'énergie solaire, utilisant des matériaux économiques et respectueux de l'environnement. Le calcaire et le gravier ont été choisis car ils sont largement disponibles dans les régions arides et semi-arides. La région de Ouargla présente une efficacité solaire élevée, puisque sa valeur la plus élevée lors des expériences a atteint 1038 W/m^2 . Elle se caractérise également par la vitesse du vent, puisque sa valeur la plus élevée était de 6,3 mètres/seconde lors de la dernière expérience et la valeur la plus basse était de 0,5 m/s dans la quatrième expérience. Ces valeurs n'ont pas d'impact sur le déroulement de l'expérience, et peuvent même contribuer à réduire la dissipation thermique de la cuisine solaire. Cela peut emprisonner plus de chaleur à l'intérieur de la cuisine solaire et augmenter sa température.

L'étude a été réalisée afin d'analyser le comportement thermique du gravier et du calcaire dans une cuisine solaire. L'étude a commencé par un examen détaillé des systèmes de cuisine solaire basé sur des résultats largement publiés. Dans le deuxième chapitre, l'accent a été mis sur l'étude des cuisines solaires, et leurs types, et des expérimentations pratiques ont été menées sur des cuisines solaires directes utilisant... Des matériaux solides (calcaire, graviers) et hybridation d'une cuisine solaire avec un système d'énergie solaire. L'étude appliquée a montré les résultats suivants :

Nous avons constaté que la température du support et du gravier de la cuisine (a) est légèrement supérieure à celle de la cuisine (b) qui contient du calcaire avec une valeur moyenne de 2,2 et 4,1 °C Celsius

Nous avons constaté que la température du gravier est supérieure à la température de base de la cuisine (a) et à la température de base de la cuisine vide (b) (sans matériaux), mais une diminution lente de la température du substrat de gravier et une diminution rapide. Dans la cuisine vide (b) (sans matériaux), la température de base a été observée à une valeur modérée, elle a atteint 3,2 °C Celsius pour la base.

Nous avons constaté que la température du fond et de l'eau cuite (a) contenant des graviers est bien supérieure à celle du cuiseur vide (b) (sans matériaux) avec une valeur moyenne de 1,8 °C Celsius pour l'eau et 1,3 °C Celsius pour la base.

Conclusion Générale

En conclusion et surtout de notre étude, nous avons constaté que le gravier conserve sa chaleur plus longtemps que le calcaire, ce qui indique que les cuisines qui contiennent des matériaux de stockage thermique (calcaire et gravier) et des serpentins de cuisson électriques sont bien meilleures qu'une cuisine vide (sans matériaux).

- À la suite d'expériences, nous avons découvert que le gravier possède des caractéristiques qui lui permettent de mieux emmagasiner la chaleur que le calcaire.

Notre travail s'est orienté vers le stockage thermique et l'hybridation du système de cuisine solaire avec le système d'énergie solaire (photovoltaïque) en raison des avantages qu'il offre par rapport à d'autres alternatives, et ces avantages comprennent :

Ce système contribue à réduire les coûts d'électricité, car il utilise l'énergie solaire pour produire de l'électricité et faire fonctionner le dispositif de serpentin de cuisson électrique au lieu de recourir à l'énergie électrique traditionnelle.

L'utilisation de l'énergie solaire est considérée comme un système respectueux de l'environnement, car elle ne produit pas d'émissions nocives affectant l'environnement par rapport aux combustibles fossiles.

- L'hybridation d'un système d'énergie solaire et d'une cuisine solaire peut offrir une indépendance énergétique aux utilisateurs, en particulier dans les zones reculées dépourvues de réseaux électriques centraux et de ressources énergétiques traditionnelles. L'exploitation de l'énergie générée par le stockage thermique est considérée comme une alternative durable aux combustibles fossiles.- Les petites entreprises peuvent bénéficier du stockage thermique et hybrider une cuisine solaire avec un système d'énergie solaire pour atteindre une efficacité auto-énergétique.

Le stockage thermique et l'hybridation des cuisines solaires peuvent être considérés comme une solution alternative, économique et respectueuse de l'environnement pour la production et la distribution d'énergie.

-Ceci est utilisé dans le domaine de la cuisson des aliments dans des cuisines solaires conçus

الملخص:

يستهلك الطهي كمية هائلة من الطاقة الشمسية هي طاقة متعددة الاستخدامات ومجانية الغرض من هذه الدراسة هو التحقق التجريبي في الكفاءة الحرارية في حالة التخزين الحراري و الطاقة الشمسية الكهروضوئية على وقت الطهي وقوة الطهي بالمطبخ الشمسي .

تم إنتاج واختبار الطباخ الشمسي غير مزود بمواد التخزين الحرارية و الطباخ المزود بها ، و الاخير بالمطبخ الطهي الكهربائي . تم إجراء العديد من الاختبارات الطهي في الهواء الطلق للتحقق من الأداء الحراري للمطبخ.

وجدنا ان المطبخ الذي يحتوي على لفائف الطهي الكهربائية يمكن أن تصل إلى درجة حرارة عالية بشكل معقول بكفاءة أفضل . تم تسخين 3 لترات من الماء إلى درجة حرارة 100 درجة مئوية و درجة حرارة القاعدة 274.3 درجة مئوية خلال 1 ساعة ، بينما في طباخ الذي يحتوي على الحصى، لم تتجاوز درجة حرارة الماء بنفس الدرجة 93 درجة مئوية و القاعدة 75 درجة مئوية خلال (4 ساعات و 45 دقيقة) بينما المطبخ الفراغ لم تتجاوز درجة حرارة الماء 71 درجة مئوية و القاعدة 71.9 درجة مئوية خلال (6 ساعات) تعمل لفائف الطهي الكهربائية الموصولة بنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على تحسين كفاءة الطاقة الشمسية من نوع الصندوق التجريبي، لذا يوصى باستخدامها في تطبيقات الطهي.

أما من الناحية الاقتصادية في حالة استخدام المنضومة الكهروضوئية مجموع كل من لوح شمسي و محول و معدل كهلايائي و بطارية ايضا ثمن صنع المطبخ الشمسي وصل مجموع ما تكلفته 305.45 دولار أي مايقابل 41150 دينار جزائري وهو ما نراه معقول و في المتناول.

Résumé

La cuisson consomme une énorme quantité d'énergie solaire, qui est une source d'énergie polyvalente et gratuite. L'objectif de cette étude est d'investiguer expérimentalement l'efficacité thermique du stockage de chaleur et de l'énergie solaire photovoltaïque sur le temps de cuisson et la puissance de cuisson dans une cuisine solaire.

Le cuiseur solaire a été produit et testé sans matériaux de stockage thermique et le cuiseur qui en est équipé, et ce dernier dans la cuisine électrique. Plusieurs tests de cuisson en extérieur ont été réalisés pour vérifier les performances thermiques de la cuisine.

Nous avons constaté que les cuisines équipées de serpentins électriques peuvent atteindre une température raisonnablement élevée avec une meilleure efficacité. 3 litres d'eau ont été chauffés à une température de 100 degrés Celsius et une température de base de 274,3 degrés

Celsius en 1 heure, tandis que dans une cuisinière contenant du gravier, la température de l'eau à la même température ne dépassait pas 93 degrés Celsius et une température de base de 75 degrés Celsius pendant (4 heures et 45 minutes) alors que la température de l'eau de la cuisine sous vide n'a pas dépassé 71°C et la température de base n'a pas dépassé 71,9°C pendant (6 heures). Les serpentins électriques de cuisson connectés au système solaire photovoltaïque s'améliorent. l'efficacité de l'énergie solaire de type boîte pilote, elle est donc recommandée pour une utilisation dans les applications de cuisson.

D'un point de vue économique, lors de l'utilisation d'un système photovoltaïque, le coût total de fabrication d'une cuisine solaire, y compris le panneau solaire, le convertisseur, le régulateur de charge et la batterie, s'élève à 305,45 dollars, ce qui équivaut à 41150 dinars algériens. Ce coût est considéré comme raisonnable et abordable.

Summary

Cooking consumes a huge amount of solar energy, which is a versatile and free source of energy. The aim of this study is to experimentally investigate the thermal efficiency of heat storage and photovoltaic solar energy on cooking time and cooking power in a solar kitchen.

The solar cooker was produced and tested without thermal storage materials and the cooker equipped with them, and the latter in the electric cooking kitchen. Several outdoor cooking tests were performed to verify the thermal performance of the kitchen.

We found that kitchens with electric coil cooking can reach a reasonably high temperature with better efficiency. 3 liters of water were heated to a temperature of 100 degrees Celsius and a base temperature of 274.3 degrees Celsius within 1 hour, while in a cooker containing gravel, the water temperature at the same temperature did not exceed 93 degrees Celsius and a base temperature of 75 degrees Celsius during (4 hours and 45 minutes) while the vacuum kitchen water temperature did not exceed 71°C and the base temperature did not exceed 71.9°C during (6 hours). The electric cooking coils connected to the solar photovoltaic system improve the efficiency of pilot box-type solar energy, so it is recommended for use in cooking applications.

From an economic standpoint, when using a photovoltaic system, the total cost of manufacturing a solar kitchen, including the solar panel, converter, charge controller, and battery, amounts to \$305.45, which is equivalent to 41150 Algerian dinars. This cost is considered reasonable and affordable.

- [1] A. Dizier, F. Pignon, «Manuel de cuisson solaire,» Edition commune SCI / iD COOK, Paris, France, 2005.
- [2] REZZAG Sabrin et DINE Fatima Zohra, Développement d'une carte de commande d'un système de poursuite solaire pour un cuiseur boîte, master Automatique et Système, Université de Ghardaïa Faculté des Sciences et Technologies Département d'Automatique et Electromécanique, 2019 /2020
- [3] CHIKH Mohammed EL-amine et BENRAMDANE Ahmed Yasser, Analyse des Profils Thermiques de Deux Cuiseurs Solaires Expérimentés Sous Climat Aride du Sud Algérien (Etude expérimentale-Centre de recherché GHARDAIA). Mémoire de MASTER 2018/2019.
- [4] YETTOU Fatiha. Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au site saharien (Ghardaïa, Algérie). Thèse de Doctorat en Sciences, 2014/2015.
- [5] [Solarcooking.fandom.com/wiki/Category:Parabolic_solar_cooker_designs](https://solarcooking.fandom.com/wiki/Category:Parabolic_solar_cooker_designs).
- [6] BOUHAMIDA Mohammed Abdeldjalil, HENICHI Ismail, Etude et conception d'un cuiseuse solaire a réflecteurs compose (cpc) avec tubes sous vide, master Énergies Renouvelables en Electrotechniques, Université de Ghardaïa,2020
- [7] Melle Hermime Nora. Contribution à l'étude du comportement thermique d'un cuiseur solaire boîte installer dans le Nord de l'Algérie. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie Mécanique 2012/2013.
- [8] Thirugnanasambandam M, Iniyan S, Goic R, «A review of solar thermal technologies,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, pp. 312-322, 2010.
- [9] MOSBAH Abdelwahab et ACHOUR Abdelaziz, Contribution à la détermination expérimentale des performances d'un cuiseur solaire testé sous climat aride du Sud Algérien, master Energies Renouvelables en Electrotechnique, Université de Ghardaïa ,Faculté des Sciences et Technologies Département d'automatique et électromécanique, 2020/2021.
- [10] Al-Soud MS , Abdallah E, Akayleh A , Abdallah S , Hrayshat ES, «A parabolic solar cooker with automatic two axes sun tracking system,» Applied Energy, vol. 87, p. 463–470,2010.

- [11] Abu-Malouh R, Abdallah S, Muslih IM, «Design, construction and operation of spherical solar cooker with automatic sun tracking system,» *Energy Conversion and Management*, vol. 52,p. 615–620, 2011.
- [12] Yettou F, Azoui B, Malek A, Gama A, Panwar NL, «Solar cooker realizations in actual use: An overview,» *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 37, pp. 288-306, 2014.
- [13] Purohit I, Purohit P, «Instrumentation error analysis of a box-type solar cooker,» *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 365-375, 2009.
- [14] Kumar S, «Estimation of design parameters for thermal performance evaluation of box-type solar cooker,» *Renewable Energy*, vol. 30, pp. 1117-1126, 2005.
- [15] Kurt H, Atik K, Özkaymak M, Recebli Z, «Thermal performance parameters estimation of hot box type solar cooker by using artificial neural network,» *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 47, pp. 192-200, 2008.
- [16] Algifri AH, Al-Towaie HA, «Efficient orientation impacts of box-type solar cooker on the cooker performance,» *Solar Energy*, vol. 70, n° %12, pp. 165-170, 2001.
- [17] Schwarzer K, Vieira da Silva ME, «Characterisation and design methods of solar cookers,» *Solar Energy*, vol. 82, pp. 157-163, 2008.
- [18] Ekechukwu OV, Ugwuoke NT, «Design and measured performance of a plane reflector augmented box-type solar-energy cooker,» *Renewable Energy*, vol. 28, pp. 1935-1952, 2003.
- [19] El-Sebaili AA, Ibrahim A, «Experimental testing of a box-type solar cooker using the standard procedure of cooking power,» *Renewable Energy*, vol. 30, pp. 1861-1871, 2005.
- [20] K. S, «Thermal performance study of box type solar cooker from heating characteristic curves,» *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp. 127-139, 2004.
- [21] Kumar S, «Natural convective heat transfer in trapezoidal enclosure of box type solar cooker,» *Renewable Energy*, vol. 29, pp. 211-222, 2004.
- [22] Mohamad MA, EI-Ghetany HH, Dayem AMA, «Design, construction and field test of hot -box solar cookers for African Sahel region,» *Renewable Energy*, vol. 14, n° %11-4, pp. 49-54, 1998.

- [23] Negi BS, Purohit I, «Experimental investigation of a box type solar cooker employing a nontracking concentrator,» *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 57
- [24] Amer EH, «Theoretical and experimental assessment of a double exposure solar cooker,» *Energy Conversion and Management*, vol. 44, pp. 2651-2663, 2003.
- [25] Gaur A, Singh OP, Singh SK, Pandey GN, «Performance study of solar cooker with modified utensil,» *Renewable Energy*, vol. 18, pp. 121-129, 1999.
- [26] Rao AVN, Subramanyam S, «Solar cookers. Part I. Cooking vessel on lugs,» *Solar Energy*, vol. 75, pp. 181-185, 2003.
- [27] Rao AVN, Subramanyam S, «Solar cookers. Part II. Cooking vessel with central annular cavity,» *Solar Energy*, vol. 78, p. 19–22, 2005.
- [28] Reddy AR, Rao AVN, «Prediction and experimental verification of performance of box type solar cooker. Part I. Cooking vessel with central cylindrical cavity,» *Energy Conversion and Management*, vol. 48, pp. 2034-2043, 2007.
- [29] Reddy AR, Rao AVN, «Prediction and experimental verification of performance of box type solar cooker. Part II. Cooking vessel with depressed lid,» *Energy Conversion and Management*, vol. 49, p. 240–246, 2008.
- [30] Harmim A, Boukar M, Amar M, «Etude expérimentale d'un cuiseur solaire de type boîte à trois réflecteurs plans et une surface d'ouverture inclinée,» *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 10, n° 11, pp. 31-38, 2007.
- [31] Harmim A, Boukar M, Amar M, «Augmentation du gain énergétique d'un cuiseur solaire à double exposition,» *chez Colloque International sur les Energies Renouvelables (CER07), Ouajda - Maroc, 4-5 Mai 2007*.
- [32] Harmim A, Belhamel M, Boukar M, Amar M, «Développement et expérimentation d'un cuiseur solaire à double exposition,» *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 11, n° 13, pp. 371-377, 2008.
- [33] Harmim A, Boukar M, Amar M, «Experimental study of a double exposure solar cooker with finned cooking vessel,» *Solar Energy*, vol. 82, p. 287–289, 2008.

- [34] Harmim A, Belhamel M, Boukar M, Amar M, «Contribution à l'amélioration des performances d'un cuiseur solaire boîte,» *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 12, n° 13, pp. 419 - 432, 2009.
- [35] A. Harmim, M. Belhamel, M. Boukar, M. Amar, «Experimental investigation of a box-type solar cooker with a finned absorber plate,» *Energy*, vol. 35, p. 3799–3802, 2010.
- [36] Harmim A, Merzouk M, Boukar M, Amar M, «Mathematical modeling of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator,» *Solar Energy*, vol. 86, p. 1673–1682, 2012.
- [37] Harmim A, Merzouk M, Boukar M, Amar M, «Performance study of a box-type solar cooker employing an asymmetric compound parabolic concentrator,» *Energy*, vol. 47, pp. 471-480, 2012.
- [38] <https://fr.tutempo.net/climat/2018/ws-605800.html>
- [39] <https://www.dcommerce-ouargla.dz/ar/exe2.php?art=wilaya>
- [40] DJEGHAB Abdenmour et BOUGOFFA Elkhir , Étude expérimentale d'un cuiseur solaire à faible coût pour les applications domestiques, MASTER Domaine Science et Technologie, Spécialité Energies renouvelable en mécanique, 2022 /2023 .

Annex descriptif :

Données climatiques de Moyens mensuels et totaux:2018:2023. [36].

	Description
T	Température moyenne (°C)
TM	La température maximale (°C)
Tm	température minimale (°C)
H	Humidité relative moyenne (%)
PP	Précipitations et / ou la fonte des neiges total (mm)
VV	visibilité moyenne (Km)
V	Vitesse moyenne du vent (Km/h)
VM	Vitesse maximale de vent soutenu (Km/h)
VG	Vitesse maximale du vent (Km/h)

Données climatiques :2018.

Jour	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
Janvier	12.6	20.2	5.9	44.3	0	9.1	12.2	21.9
Février	13.2	19.5	7	45.6	5.33	9.2	11.9	23.8
Mars	19.4	26.1	12	26.5	0	7.1	17.6	29.7
Avril	23.4	30	16.1	26	0	7.3	17.9	29.6
Mai	27.6	34.8	20.1	26	5.08	7.7	19.7	32.1
Juin	32.4	39.4	24.5	20.2	0	9.2	15.2	26.1
Juillet	39.2	47.1	30.5	12	0	8.5	13.6	26.3
Août	33.6	40.1	26.8	26.7	1.02	8.3	13.9	28.6
Septembre	31.7	38.1	24.9	28.1	10.92	9	15.9	24.9

Annex descriptif

Octobre	23.2	29.7	16.9	35.3	0	9.1	12.4	21.8
Novembre	16.6	23.3	10.3	42.4	0.76	9.5	11	20.6
Décembre	11.8	19.9	5	50.3	0	9.5	7.8	14.8

Données climatiques:2019

Jour	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
Janvier	10.8	18.4	4	40.8	0	9.1	10.3	21.3
Février	12	19.2	4.9	37.8	0	8.7	13.8	26
Mars	16.9	24.2	9.2	33.5	4.07	8.4	14.4	26.1
Avril	23.2	30.2	15.5	25.9	13.97	8	14.9	27.6
Mai	26.7	33.3	19	25	3.81	8.7	16.1	27.8
Juin	35.3	42.6	26.6	13.9	0	8.4	17.5	31.3
Juillet	37.4	44.5	28.8	13.8	0	9.6	13	23.7
Août	36.9	43.5	29.7	17.8	0	9	13.3	25.3
Septembre	31.8	39.1	24	27.5	1.53	9.2	12.8	25.5
Octobre	24.2	31	17.2	35.8	2.03	9.5	10.4	20.3
Novembre	16.2	23.3	9.3	37.3	0	9.3	11	22.9
Décembre	13.8	21.1	7.1	46.7	0	8.8	10.3	22.8

Données climatiques:2020

Jour	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
Janvier	10.6	19	3.4	46.1	0	9.6	8	16.7

Annex descriptif

Février	15	23.4	6.7	35.5	0	9.9	8.3	18.6
Mars	18.9	25.8	11.3	33.3	2.03	8.1	16.4	30.7
Avril	24.1	30.7	16.4	29	5.08	8.7	16.4	30.5
Mai	30	37.1	21.7	19.2	3.05	8.6	16.3	30
Juin	33.7	40.6	25.5	17	0	8.5	14.5	28.6
Juillet	36.1	42.7	28.1	17.2	0	9.3	14.2	28
Août	36.1	43.2	27.7	16	0	9.6	11.6	23.3
Septembre	30.2	37.3	23	30.4	3.05	9.3	12.6	24.4
Octobre	22.8	29.6	15.6	33.6	0	9.2	12.2	22.7
Novembre	18.1	24.6	11.4	42.5	0	9.6	8.8	17.3
Décembre	13.2	19.7	6.9	45.3	0	9.2	10.9	21.9

Données climatiques:2021

Jour	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
Janvier	13	20.7	5.7	36.6	0	9.2	9.2	19.8
Février	16.2	22.7	9.8	31.7	0	7.9	15	24.5
Mars	17.4	23.7	10.4	32	0	8.9	14.9	25.7
Avril	24.1	30.7	16.4	24.4	0	8.2	16.7	28.5
Mai	29.2	35.8	21.8	25	2.79	8.5	14	24.8
Juin	36.5	43	28.7	15.2	0	7.3	17	32.4
Juillet	37.7	44.4	29	15.1	0	9.5	11.8	21.1
Août	37.4	44.8	28.6	12.7	0	9.2	11.7	24.1

Annex descriptif

Septembre	34.2	41.4	26.3	18.9	1.02	8.3	13.8	26.6
Octobre	23.8	30.2	17.2	33	0	9.9	10.9	20.6
Novembre	16.5	22.6	10.1	43.7	29.97	9.5	9.2	19.2
Décembre	11.9	18.3	6.4	54.7	0	9.4	7.5	16

Données climatiques:2022

Jour	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
Janvier	9.8	16.7	3.2	46.9	0	9.5	6.4	15.7
Février	14	20.7	7.5	37.8	0	9	11.4	22.8
Mars	17.9	24.1	11.1	32.2	0.51	7.2	14.2	25.5
Avril	22.1	28.5	15.1	27.8	0.25	6.6	15.9	29
Mai	27.3	34.2	19.2	20.6	0.5	8.8	12.9	22.9
Juin	36.4	43.4	27.9	13	0	9.4	13	24.5
Juillet	36.2	42.6	28.4	15.9	0	9.4	12.4	22.4
Août	36	42.8	28.3	18.2	0	9.1	11.3	21.7
Septembre	33.5	40.5	25.8	21.3	0	8.9	10.9	21.9
Octobre	25.5	32.3	18.4	30	0	9.3	7.6	15.8
Novembre	18.2	25.1	11.6	33.7	0	8.9	8.1	17.8
Décembre	15.2	22.5	8.6	47.1	1.01	9.5	7.8	15.7

Données climatiques:2023

Jour	T	TM	Tm	H	PP	VV	V	VM
------	---	----	----	---	----	----	---	----

Annex descriptif

Janvier	10.7	18	3.8	43.8	1.27	9.5	7.7	15.5
Février	13.1	19.7	6.4	43.6	2.79	8.7	13.2	23.9
Mars	19.5	26.4	11.6	26.5	0	8.9	11.3	18.8
Avril	23.1	30.1	14.9	22.7	0	8.2	14.2	23.9
Mai	26.8	33	19.8	26.1	6.35	7.3	16.8	30.4
Juin	33.3	39.5	25.8	20.8	0	8.4	16	27.5
Juillet	39	46	29.9	11.6	0.51	9.2	11.9	24.2
Août	34.9	41.2	27.5	20.1	8.13	9.2	11.7	22.2
Septembre	32.2	38.6	25.4	23.6	0	9.1	13	24
Octobre	26	32.9	18.6	27.6	0	9.3	11.5	22.3
Novembre	19	26.5	12.1	37.5	3.05	8.6	8.4	16.8
Décembre	13.2	19.8	7.4	52.3	10.67	9.3	10	19.5