

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N° d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

Faculté des Sciences et de la Technologie Département

Département d'Automatique et d'Electromécanique

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Maintenance industrielle

Spécialité : Maintenance industrielle

**THEME**

**Étude comparative entre deux systèmes de cuisson réalisés et testés à l'URAER-CDER, Ghardaïa**

Présenté par :

**Menad Brahim**

**Yahia Cherif Moussa**

Soutenu publiquement le 25/06/2025

Devant le jury :

<b>RAFIK Euldji</b>	MAB	Univ. Ghardaïa	Président
<b>YETTOU Fatiha</b>	Directeur de Recherche	URAER. Ghardaïa	Encadreur
<b>RECIQUI Lobna</b>	Doctorante	Univ. Ghardaïa	Co-encadreur
<b>CHERRA El Zeghm</b>	Ingénieur spécialiste	Représentant du partenaire économique	Examineur
<b>GAMA Amor</b>	Directeur de Recherche	URAER. Ghardaïa	Examineur
<b>BOUKHARI Abdelhamid</b>	Professeur	Univ. Ghardaïa	Examineur

Année Universitaire 2024/2025



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة غرداية

مشروع مؤسسة ناشئة في اطار القرار الوزاري 008/1275

اسم المشروع (Nom du projet):

Étude comparative entre deux systèmes de cuisson  
réalisés et testés à l'URAER-CDER, Ghardaïa

دراسة مقارنة بين نوعين من أنظمة الطهي بطاقة الشمسية

صورة العلامة التجارية



الاسم التجاري

الفرن الشمسي

السنة الجامعية: 2025/2024

---

# Remerciements

*Toutes les louanges et les remerciements vont à ALLAH Tout-Puissant, le Clément et le Miséricordieux, qui nous a accordé toutes les capacités et nous a permis de mener à bien ce modeste travail.*

*J'adresse ma profonde gratitude à mon encadreur DR. YETTOU Fatiha ; Directeur de Recherche à l'URAER-Ghardaïa et responsable de l'équipe MCTH à l'URAER-Ghardaïa, ainsi qu'à M<sup>elle</sup> RECIOUI Lobna, pour leur accompagnement, leur encadrement rigoureux et leurs conseils précieux tout au long de ce travail. Leurs encouragements constants ont été une source essentielle de motivation, et ce fut un réel honneur de travailler sous leur direction.*

*Je tiens également à exprimer mes sincères remerciements à DR. GAMA Amor ; Directeur de division de mini-centrales solaires à l'URAER-Ghardaïa, ainsi qu'au DR. DJAFER Djelloul; directeur de l'Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables (URAER-CDER, Ghardaïa), qui nous a permis et mis à notre disposition les outils nécessaires pour la réalisation de notre projet.*

*Nos remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants, ainsi qu'au personnel académique et administratif de l'Université de Ghardaïa, pour leur disponibilité et leur accompagnement.*

*Enfin, on est profondément reconnaissants envers nos familles, qui ont toujours été présent à nos côtés, nous soutenir avec amour, patience et dévouement. Leurs soutiens inconditionnels demeurent notre plus grande source d'inspiration.*

*Merci !*

---

## Résumé

Selon les recherches menées au sein de l'URAER-CDER de Ghardaïa, deux prototypes de cuiseurs solaires ont été conçus et testés dans le but d'évaluer leur efficacité énergétique, leur facilité d'utilisation, ainsi que leur adaptation aux conditions climatiques spécifiques de la région saharienne. Cette étude comparative vise à analyser les performances thermiques et fonctionnelles de ces deux dispositifs, en mettant en évidence leurs avantages et limites respectifs. L'objectif principal est d'identifier la solution la plus adaptée à un usage domestique quotidien, en particulier dans les zones éloignées où l'accès aux sources d'énergie conventionnelles reste limité. Nous envisageons de développer des dispositifs modulaires facilitant la maintenance préventive et corrective, tout en tenant compte des réalités du terrain. Ce type d'initiative s'inscrit pleinement dans la démarche de promotion des énergies renouvelables et de valorisation des ressources locales pour améliorer le confort de vie des populations.

Mots clés : Energie solaire, Cuiseurs solaires, Environnement saharien, Maintenance et fiabilité, Etude de performances.

## Abstract

According to research conducted at the URAER-CDER in Ghardaïa, two prototypes of solar cookers were designed and tested in order to evaluate their energy efficiency, ease of use, and their adaptability to the specific climatic conditions of the Saharan region. This comparative study aims to analyse the thermal and functional performance of the two devices, highlighting their respective advantages and limitations. The main objective is to identify the solution best suited for daily household use, particularly in remote areas where access to conventional energy sources remains limited. We also aim to develop modular systems that facilitate both preventive and corrective maintenance, while taking into account the realities on the ground. This type of initiative is fully in line with efforts to promote renewable energy and valorise local resources in order to improve the quality of life of local populations.

**Keywords:** Solar energy, Solar cookers, Saharan environment, Maintenance and reliability, Performance study.

---

## ملخص

وفقًا لبحث أُجري في غرداية، صُمم نموذجان أوليان لموقدين شمسيين واختُبرا لتقييم كفاءتهما في استخدام الطاقة، وسهولة استخدامهما، وقدرتهما على التكيف مع الظروف المناخية الخاصة بمنطقة الصحراء. تهدف هذه الدراسة المقارنة إلى تحليل الأداء الحراري والوظيفي للجهازين، مع إبراز مزاياهما وعيوبهما. الهدف الرئيسي هو تحديد الحل الأنسب للاستخدام المنزلي اليومي، لا سيما في المناطق النائية حيث لا يزال الوصول إلى مصادر الطاقة التقليدية محدودًا. كما نهدف إلى تطوير أنظمة معيارية تُسهّل الصيانة الوقائية والتصحيحية، مع مراعاة الواقع في الميدان. يتماشى هذا النوع من المبادرات تمامًا مع الجهود المبذولة لتعزيز الطاقة المتجددة وتثمين الموارد المحلية من أجل تحسين نوعية حياة السكان المحليين

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الشمسية، أجهزة الطهي الشمسية، البيئة الصحراوية، الصيانة والموثوقية، دراسة الأداء.

---

## Liste des figures

I.1	Le système de cuisson à énergie solaire de type boîte .....	6
I.2	Cuiseur solaire de type boîte .....	8
I.3	Cuiseur solaire à panneaux.....	10
I.4	Cuiseur solaire de type parabolique .....	11
I.5	Application d'un cuiseur solaire (chauffage de l'eau) .....	12
I.6	Carte de la répartition géographique de l'irradiation solaire en Algérie.....	15
I.7	Types de défaillances fréquentes .....	17
I.8	Exemple d'intervention de maintenance préventive.....	18
I.9	Types de maintenance, préventive et corrective .....	19
II.1	Description du système de cuisson ordinaire de l'URAER.....	24
II.2	Principe de fonctionnement d'un cuiseur solaire boîte.....	25
II.3	Le test réalisé sur le cuiseur solaire ordinaire en fonctionnement à vide. ....	27
II.4	Un essai a été réalisé sur un cuiseur ordinaire en fonctionnement avec eau .....	28
II.5	Essai du cuiseur solaire avec du poulet et des œufs .....	29
II.6	cuiseur solaire réalisé.....	31
II.7	Intégration des dispositifs de maintenance dans le cuiseur solaire optimisé.....	34
II.8	Un essai a été réalisé sur un cuiseur optimisé en fonctionnement vide.....	36
II.9	Un essai a été réalisé sur un cuiseur optimisé en fonctionnement avec eau.....	38
II.10	Résultats des tests de cuisson dans le cuiseur solaire optimisé .....	41
II.11	Évolution de l'éclairement solaire direct en fonction du temps. ....	43

II.12	Comparaison des composantes du rayonnement solaire.....	45
II.13	Evolution de la température de l'absorbeur $T_p$ et la température de l'eau $T_w$ avec la température ambiante.....	47
II.14	Schéma synoptique de l'installation du cuiseur solaire .....	47
II.15	Comparaison de $F_2$ , puissance thermique et rendement.....	51
III.1	Évolution de la température de l'eau pour déterminer le temps de cuisson .....	55
III.2	coefficient de performance $F_1$ .....	57
III.3	Evolution de la températures $T_w$ et $T_p$ avec bande $\pm 5$ °C autour de la température ambiante....	58
III.4	Variation de la chaleur absorbée ( $Q$ ) avec le temps .....	59
III.5	Analyse comparative des fréquences et des causes des pannes.....	60
III.6	Évaluation de l'accessibilité aux composants (sur 5) .....	62
III.7	Résumé des performances des deux modèles. ....	64
III.8	Évaluation de l'adaptabilité aux zones isolées. ....	66

## Liste des tableaux

- 1 Comparaison des indicateurs de performance entre les deux cuiseurs ..... 51
- 2 Résultats de l'essai comparatif entre les deux cuiseurs solaires 27/05/2025 ..... 72

## Liste des abréviations

Abréviation	Signification complète
URAER	Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Organisme allemand de coopération internationale)
IRESEN	Institut de Recherche en Énergie Solaire et Énergies Nouvelles (Maroc)
F1	Figure de mérite 1 (coefficient de performance en stagnation)
F2	Figure de mérite 2 (coefficient de performance sous charge thermique)
$T_p$	Température de la plaque absorbante
$T_w$	Température de l'eau
$T_a$	Température ambiante
GHI	Global Horizontal Irradiance (Irradiation solaire globale horizontale)
MCP	Matériaux à Changement de Phase
IoT	Internet of Things (Internet des Objets)
TCO	Total Cost of Ownership (Coût total de possession)
UV	Ultraviolet
CSBSRI	Cuiseur Solaire de type Boîte à Surface Réceptrice Inclinée
ISO	International Organization for Standardization
kWh	Kilowattheure
MJ	Mégajoule
NF EN	Norme Française Européenne (Standard Franco-Européen)
PT100	Capteur de température à résistance platine (100 $\Omega$ à 0 °C)
W/m <sup>2</sup>	Watt par mètre carré (unité de densité de flux thermique)
°C	Degré Celsius
Mm	Millimètre
Cm	Centimètre
m <sup>2</sup>	Mètre carré

---

## Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>II</b>
<b>Résumé</b>	<b>III</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>V</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>VIII</b>
<b>Table des matières</b>	<b>IX</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Cadre théorique et état de l'art</b>	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Les systèmes de cuisson à énergie solaire .....	4
I.2.1 Principes de base .....	5
I.2.2 Types de systèmes .....	6
I.2.3 Applications et limites .....	11
I.3 Contexte saharien et enjeux spécifiques à Ghardaïa .....	12
I.3.1 Données climatiques et ressources solaires .....	13
I.3.2 Besoins locaux en cuisson et contraintes techniques .....	14
I.4 Maintenance dans les systèmes solaires thermiques.....	15

---

I.4.1	Types de défaillances fréquentes.....	15
I.4.2	Solutions de maintenance préventive et curative .....	17
I.4.3	Importance de la maintenabilité dans les zones isolées et arides.....	19
I.5	Conclusion .....	20

## **Chapitre II : Présentation des deux systèmes testés à l'URAER**

II.1	Introduction.....	22
II.2	Description du système de cuisson ordinaire.....	22
II.2.1	Conception et matériaux utilisés.....	24
II.2.2	Principe de fonctionnement.....	25
II.2.3	Résultats expérimentaux du cuiseur ordinaire.....	26
II.2.4	Modifications ou améliorations apportées .....	29
II.3	Description du système de cuisson avec solutions de maintenance.....	30
II.3.1	Intégration des dispositifs de maintenance.....	32
II.3.2	Résultats expérimentaux du cuiseur optimisé .....	34
II.4	Méthodologie d'essai et protocole expérimental.....	41
II.5	Conditions de test à l'URAER .....	42
II.6	Paramètres mesurés et instrumentation.....	44
II.7	Critères de comparaison .....	48
II.8	Conclusion.....	50

## **Chapitre III : Analyse comparative et discussion des résultats**

---

III.1	Introduction .....	53
III.2	Comparaison technique et thermique.....	53
I.2.1	Temps de cuisson.....	53
I.2.2	Température atteinte .....	55
I.2.3	Perte thermique et efficacité globale.....	56
III.3	Comparaison en termes de maintenabilité et fiabilité.....	58
I.3.1	Fréquence des pannes et interventions.....	58
I.3.2	Facilité d'accès aux composants.....	60
I.3.3	Coût et temps de maintenance .....	61
III.4	Avantages et limites de chaque système .....	62
I.4.1	Résumé des performances .....	62
I.4.2	Adaptabilité en zone isolée .....	63
I.4.3	Perspectives d'amélioration – Conclusion Générale .....	65
III.5	Conclusion.....	66
	<b>Conclusion Générale</b>	<b>68</b>
	<b>Références et bibliographiques</b>	<b>69</b>
	<b>Annexe</b>	<b>71</b>

---

## **Introduction générale**

---

## **Introduction générale**

Face aux défis énergétiques mondiaux et à la nécessité de préserver l'environnement, les énergies renouvelables occupent une place de plus en plus importante. Parmi elles, l'énergie solaire se distingue par son abondance et sa propreté. Plus précisément, l'énergie solaire thermique, qui permet de convertir la chaleur du soleil en énergie utilisable, joue un rôle essentiel dans les applications domestiques, notamment pour le chauffage de l'eau, la cuisson solaire, le chauffage des habitations ou encore le soutien aux systèmes de climatisation. Cette solution durable et économique contribue non seulement à réduire la consommation d'énergies fossiles, mais aussi à alléger les factures d'énergie des ménages.

Le recours à la cuisson solaire, complété par l'exploitation de la chaleur résiduelle, constitue une solution durable pour répondre aux besoins énergétiques des populations sahariennes. Ces dernières, souvent isolées et tributaires de ressources limitées, peuvent bénéficier d'une alternative locale, propre et renouvelable. La région de Ghardaïa, avec un ensoleillement journalier moyen supérieur à 5 kWh/m<sup>2</sup> et des températures diurnes dépassant fréquemment les 45°C, offre un cadre propice à l'expérimentation et à l'optimisation des systèmes de cuisson utilisant l'énergie solaire.

L'intégration de la chaleur résiduelle, c'est-à-dire la réutilisation de l'énergie thermique disponible après la première phase de cuisson, permet d'augmenter considérablement l'efficacité énergétique des systèmes. En environnement saharien, plusieurs contraintes rendent cette tâche complexe, notamment les pertes thermiques par convection dues aux vents fréquents et aux gradients de température marqués, les pertes radiatives amplifiées par la faible humidité atmosphérique et la transparence du ciel, ainsi que la détérioration accélérée des matériaux isolants exposés à des cycles thermiques extrêmes.

Les systèmes de cuisson conventionnels atteignent rapidement leurs limites lorsqu'ils sont transposés dans un contexte désertique. Parmi les principales contraintes observées figurent la variabilité de la puissance thermique disponible à cause des fluctuations d'ensoleillement, une faible capacité de récupération de la chaleur résiduelle entraînant un gaspillage énergétique important, une complexité d'entretien des composants tels que les miroirs réflecteurs et les capteurs thermiques, ainsi qu'une inadéquation fréquente avec les pratiques culinaires locales en termes de volumes et de profils de cuisson.

Ce travail de recherche vise plusieurs objectifs. Il s'agit tout d'abord d'optimiser la captation de l'énergie solaire, sa concentration ainsi que la restitution de la chaleur résiduelle. Ensuite, le projet ambitionne de développer des dispositifs modulaires facilitant la maintenance préventive et corrective, tout en tenant compte des réalités du terrain. Deux prototypes – l'un de conception standard, l'autre

---

---

intégrant des éléments de maintenabilité – seront conçus, fabriqués et testés au sein du centre URAER–CDER de Ghardaïa. Une analyse comparative de leurs performances thermiques, de leur fiabilité et de leur facilité d’entretien sera menée. Enfin, le mémoire proposera un guide de conception et de maintenance pour favoriser la diffusion à grande échelle de ces solutions.

La démarche adoptée repose sur une séquence structurée de phases complémentaires. Une revue bibliographique approfondie permettra d’identifier les solutions existantes en matière de cuisson solaire et de récupération de chaleur. Une campagne de caractérisation climatique sera menée sur une durée de douze mois à Ghardaïa pour collecter les données d’irradiation, de température et de vitesse du vent. La conception des prototypes s’appuiera sur des schémas techniques, des simulations numériques (CFD) et des bilans thermiques. La fabrication inclura l’intégration de composants facilitant la maintenance, tels que des capteurs de contrainte ou des dispositifs d’accès rapide. Des essais expérimentaux seront réalisés en conditions réelles afin de mesurer les paramètres clés (puissance utile, rendement global, pertes thermiques), en parallèle avec un suivi des opérations de maintenance. Enfin, les résultats seront analysés statistiquement pour produire une synthèse comparative et des recommandations techniques.

Le contenu du mémoire est structuré de manière à suivre la logique du développement du projet. Le premier chapitre présente le cadre théorique et l’état de l’art, en abordant les principes physiques, les différentes typologies de systèmes, leurs applications et leurs limites. Le deuxième chapitre est consacré à la description détaillée des deux prototypes développés au centre URAER–CDER de Ghardaïa, en mettant l’accent sur les choix de conception, les matériaux utilisés et les innovations introduites pour faciliter la maintenance. Le troisième chapitre expose la méthodologie expérimentale, les conditions d’essai, l’instrumentation utilisée ainsi que les critères retenus pour évaluer les performances. Enfin, une conclusion générale résume les apports de l’étude, propose des pistes de recherche futures et formule des recommandations pour une mise en œuvre opérationnelle à plus grande échelle.

**CHAPITRE I : Cadre théorique et état de l'art**

## I.1 Introduction

Le cadre théorique et l'état de l'art relatifs aux systèmes de cuisson solaire exigent d'abord de poser les principes physiques fondamentaux, puis de passer en revue les typologies existantes, leurs applications pratiques et enfin leurs limites. En synthèse, les cuiseurs solaires exploitent la conversion du rayonnement solaire en chaleur par absorption sélective, confinement thermique et concentration (principe de serre, effet four, miroirs paraboliques). Trois grandes familles se distinguent : les cuiseurs boîte (box cookers), les cuiseurs à concentration (parabolique, cylindro parabolique) et les cuiseurs à tube sous vide. Chacun offre des compromis entre simplicité, coût, température atteinte et portabilité. Les applications vont de la cuisson domestique à la stérilisation d'eau ou au séchage de produits agricoles. Les principales limites sont la variabilité météorologique, les faibles rendements énergétiques et les besoins en termes de suivi du soleil pour les concentrateurs, mais des solutions hybrides ou de stockage thermique émergent pour pallier ces contraintes.

## I.2 Les systèmes de cuisson à énergie solaire

Les systèmes de cuisson à énergie solaire offrent une méthode de cuisson sans émissions de gaz à effet de serre en exploitant directement la chaleur du soleil (Figure I.1). Leur fonctionnement repose sur des technologies simples à entretenir, sans pièces mécaniques complexes, ce qui les rend durables et économiques [1]. Historiquement, ces dispositifs ont été développés dans les années 1970 lors des crises énergétiques, puis optimisés pour maximiser l'efficacité grâce à l'emploi de matériaux à haute sélectivité et de verres à faible émissivité [2].

Au-delà de la cuisson, ces systèmes peuvent être utilisés pour la pasteurisation de l'eau, la stérilisation d'ustensiles, ou comme source de chaleur pour des processus artisanaux (séchage de fruits, conservation) [3]. Leur coût initial est compensé par l'absence de frais de carburant, et leur maintenance se limite souvent à un simple nettoyage des surfaces réfléchissantes ou vitrées.

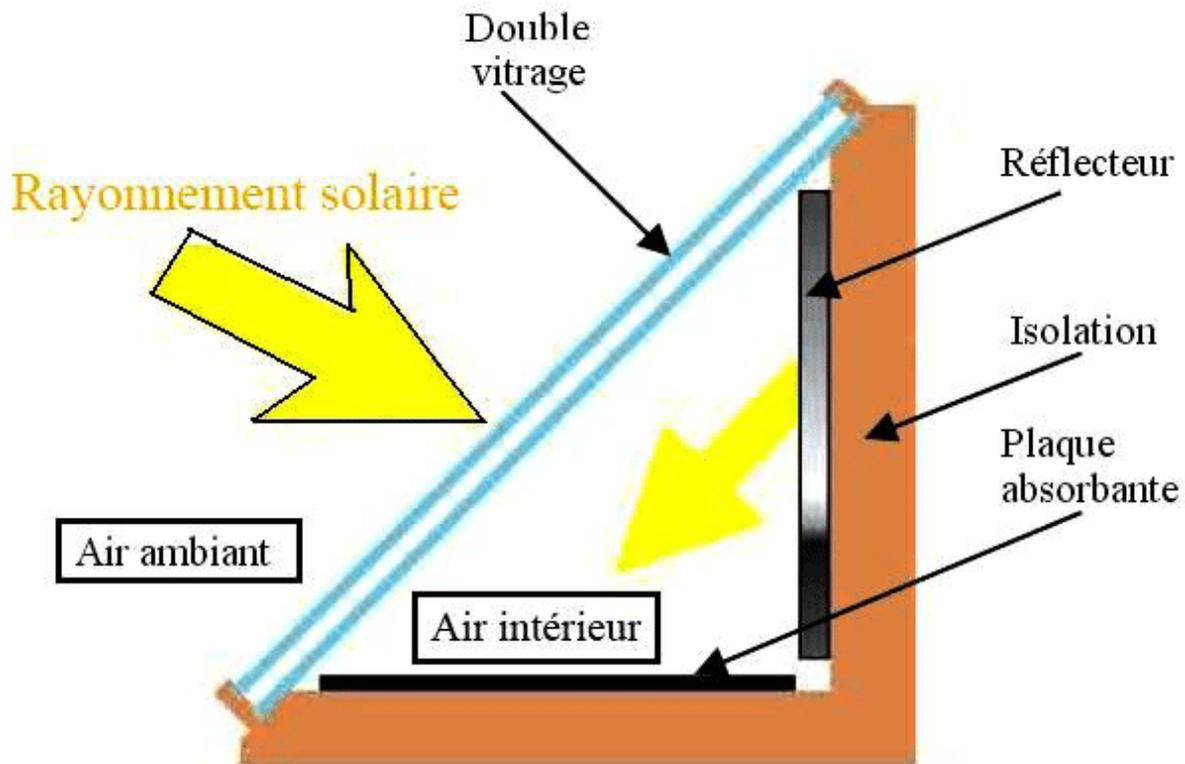


Figure I.1 – Le système de cuisson à énergie solaire de type boîte.

### I.2.1 Principes de base

Le fonctionnement d'un système de cuisson solaire repose sur quatre principes fondamentaux. Il s'agit tout d'abord de concentrer la plus grande quantité possible de lumière solaire vers le récipient de cuisson ou vers une surface absorbante spécialement conçue à cet effet. Cette lumière est ensuite convertie en énergie thermique grâce à une surface absorbante sélective, généralement noire ou recouverte d'un revêtement spécifique à haut pouvoir d'absorption. Une fois la chaleur générée, le système doit la conserver efficacement à l'aide d'une isolation thermique performante, réduisant ainsi les pertes par conduction, convection et rayonnement. Enfin, le système cherche à atteindre un équilibre thermique stable, où la chaleur absorbée compense exactement celle qui est perdue, permettant ainsi de maintenir une température constante adaptée à la cuisson des aliments [3].

## I.2.2 Types de systèmes

On distingue trois modèles principaux :

**Boîte solaire :** Il s'agit d'un dispositif de cuisson thermique passif reposant sur le principe de l'effet de serre. La boîte solaire est généralement constituée d'un caisson isolé thermiquement, fabriqué à partir de matériaux à faible conductivité thermique (bois, polystyrène, laine minérale), et recouvert sur la face supérieure d'un vitrage transparent (verre trempé ou plexiglas). Ce vitrage permet le passage des rayons solaires à l'intérieur de la boîte tout en limitant les pertes thermiques par convection et rayonnement infrarouge [4, 5].

Comme illustré sur (Figure I.2), ce dispositif capte et retient la chaleur solaire à l'aide d'un vitrage transparent et de réflecteurs bien orientés.

Dans sa configuration la plus courante, la boîte est équipée d'un ou plusieurs réflecteurs latéraux (généralement en aluminium poli ou en miroir acrylique) orientés de manière à concentrer un maximum de rayonnement solaire sur la surface absorbante située à l'intérieur. Cette surface, souvent peinte en noir mat ou recouverte d'un revêtement sélectif, convertit efficacement l'énergie lumineuse en chaleur. La chaleur ainsi produite est piégée à l'intérieur du volume clos, permettant de porter progressivement les aliments à des températures de cuisson comprises entre 80 °C et 150 °C selon les conditions météorologiques.

L'un des avantages majeurs de la boîte solaire réside dans sa simplicité de fabrication, son coût réduit, et sa robustesse en environnement rural. Elle ne nécessite aucun suivi actif, ce qui la rend idéale pour des cuissons longues (riz, légumineuses, pains) où la température constante est plus importante que la vitesse. Elle permet également une cuisson homogène, sans risque de brûlure, ce qui la rend particulièrement sûre pour les utilisateurs non expérimentés.

Cependant, ce type de cuiseur présente certaines limitations. Sa montée en température est relativement lente, et il est moins performant par temps nuageux ou venteux. Par ailleurs, l'ouverture fréquente du couvercle entraîne une perte de chaleur importante, ce qui nécessite une discipline d'utilisation (ne pas ouvrir trop souvent pendant la cuisson). Enfin, son encombrement et son poids peuvent limiter sa mobilité, sauf si des choix de matériaux légers sont adoptés.

---

En résumé, la boîte solaire constitue une solution pertinente pour une cuisson écologique, économique, et autonome, particulièrement adaptée aux environnements ensoleillés et aux usages domestiques à faible intensité énergétique [6].



Figure I.2 – Cuiseur solaire de type boîte

**Les cuiseurs à panneaux :** Ce type de cuiseur solaire repose sur un concept simple mais ingénieux qui combine à la fois la concentration de la lumière et l'effet de serre. Il est composé de plusieurs panneaux réfléchissants plats — souvent en aluminium poli, carton recouvert de film réfléchissant ou miroir souple — disposés autour d'un récipient de cuisson central. Ces panneaux sont inclinés de manière à réfléchir un maximum de rayonnement solaire direct vers ce récipient, généralement de couleur noire et placé à l'intérieur d'un sac en plastique transparent ou sous un couvercle en verre, créant ainsi un effet de serre.

Comme illustré sur Figure I.3, les panneaux sont disposés pour concentrer la lumière solaire vers le récipient central.

Le fonctionnement repose sur trois mécanismes principaux : la réflexion (diriger la lumière vers le centre), l'absorption (conversion du rayonnement en chaleur par le récipient noir), et la rétention thermique (grâce au film transparent limitant les pertes par convection). Ce système, bien que moins performant qu'un cuiseur parabolique en termes de température maximale atteinte (généralement entre 80 °C et 120 °C), présente plusieurs avantages notables [7].

Parmi ces avantages, on peut citer sa facilité de fabrication, sa portabilité, son coût extrêmement réduit et sa sécurité d'utilisation (aucun point focal intense, donc aucun risque de brûlure grave). Il est particulièrement adapté aux zones rurales ou à faibles ressources, et constitue souvent une porte d'entrée à l'adoption de la cuisson solaire. Il peut être réalisé à partir de matériaux recyclés, ce qui en renforce l'aspect écologique et accessible.

En revanche, ses performances restent limitées : la cuisson prend généralement plus de temps, et l'efficacité dépend fortement de l'orientation et de la stabilité des panneaux. Le vent peut facilement les déplacer ou désaligner le système. De plus, il est sensible aux variations d'ensoleillement, et ne permet pas une cuisson rapide ou à haute température (ex. friture, rôtissage).

En résumé, le cuiseur à panneaux représente une solution simple, économique et éducative, idéale pour initier les communautés à la cuisson solaire. Il est particulièrement adapté à la pasteurisation de l'eau, à la cuisson de plats mijotés ou à l'usage scolaire ou humanitaire. Il constitue également une option d'appoint pertinente en complément d'autres technologies solaires plus puissantes [4].



Figure I.3– Cuiseur solaire à panneaux.

**Cuiseur parabolique :** Le cuiseur parabolique repose sur le principe optique de la réflexion concentrée. Il utilise un réflecteur de forme parabolique (souvent en aluminium poli, miroir segmenté ou tôle galvanisée réfléchissante) dont la géométrie permet de concentrer les rayons solaires parallèles vers un seul point focal situé au centre de la parabole. À ce point se place un récipient noir absorbant (casserole, autocuiseur, etc.) dans lequel s'accumule une quantité considérable de chaleur en un temps réduit [8].

Comme illustré à Figure I.4 , le récipient est placé au point focal de la parabole pour maximiser l'absorption de chaleur.

Grâce à cette concentration intense de l'énergie solaire, les cuiseurs paraboliques permettent d'atteindre des températures élevées — typiquement entre 150 °C et 250 [8], — en quelques minutes. Cela permet une cuisson rapide, y compris des modes de cuisson exigeants tels que la friture, le rôtissage ou la cuisson sous pression. De ce fait, ce type de cuiseur est souvent considéré comme le plus proche d'un réchaud à gaz en termes de performance thermique.

Toutefois, cette performance est contrebalancée par plusieurs exigences techniques. Tout d'abord, le point focal doit rester précisément aligné avec le soleil tout au long de la cuisson. Cela implique un suivi fréquent de l'orientation du réflecteur, souvent toutes les 15 à 20

---

minutes, surtout aux heures proches du zénith solaire. Certains modèles plus avancés intègrent des systèmes de suivi automatique, mais ceux-ci augmentent le coût et la complexité du dispositif [9].

Par ailleurs, en raison de l'intensité du rayonnement concentré, ces cuiseurs doivent être manipulés avec précaution. Le point focal peut générer suffisamment d'énergie pour provoquer des brûlures ou même enflammer certains matériaux. Il est donc essentiel de prévoir des dispositifs de sécurité (grilles, pare-feu, protection oculaire) et de sensibiliser les utilisateurs à la manipulation adéquate.

Malgré ces contraintes, le cuiseur parabolique reste une solution très efficace pour les environnements à fort ensoleillement, comme les régions sahariennes. Il convient bien aux familles nombreuses ou aux applications collectives (cantines, cuisines communautaires), et se prête à des usages variés, y compris la stérilisation d'ustensiles ou la production de vapeur.

En résumé, le cuiseur parabolique est un outil puissant, polyvalent et performant, mais qui demande une maîtrise technique et une vigilance accrue. Son usage est idéal lorsque les besoins en température sont élevés et que les conditions climatiques sont stables, mais il reste moins adapté aux utilisateurs novices ou aux contextes sans suivi solaire rigoureux [8].



Figure I.4 – Cuiseur solaire de type parabolique.

### I.2.3 Applications et limites

Les systèmes de cuisson solaire trouvent de nombreuses applications, notamment dans la cuisson des aliments et la désinfection de l'eau, deux usages essentiels dans les zones isolées. En atteignant des températures supérieures à 65 °C, ces dispositifs permettent d'éliminer efficacement les micro-organismes pathogènes. Ils sont également adaptés à la cuisson lente, ce qui favorise la préservation des saveurs et des nutriments des aliments. En outre, ils représentent une alternative écologique aux sources d'énergie traditionnelles comme le bois ou le gaz, contribuant ainsi à la réduction de la déforestation et à la diminution des émissions de gaz à effet de serre [10].

Ces usages variés sont illustrés à Figure I.5, qui montre les principales applications des cuiseurs solaires dans les contextes isolés.

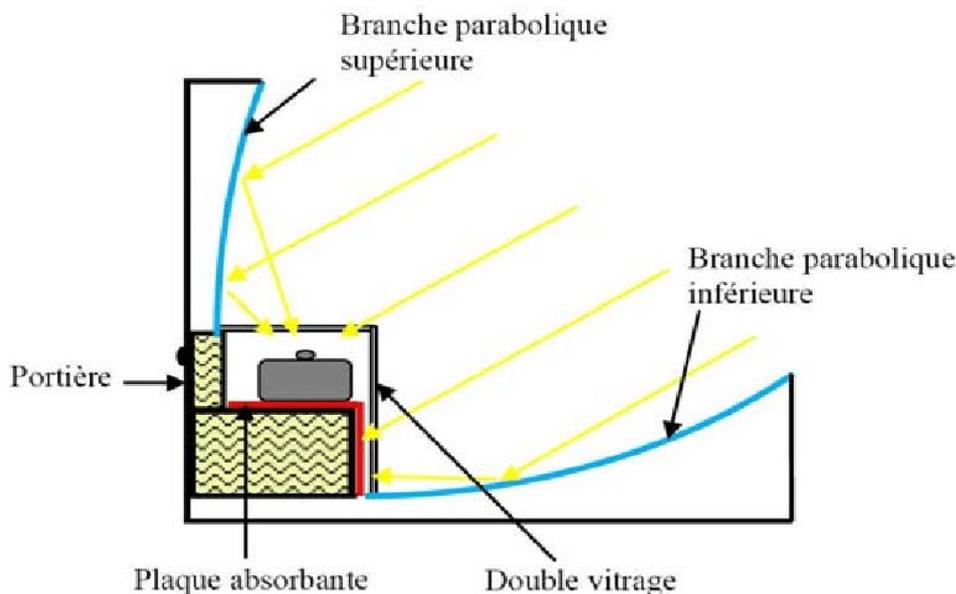


Figure I.5 – Application d'un cuiseur solaire (chauffage de l'eau).

Bien que le cuiseur solaire optimisé présente des avantages significatifs en matière d'efficacité énergétique, de durabilité et de maintenabilité, certaines limites structurelles et fonctionnelles persistent, notamment dans des contextes d'usage quotidien où la continuité de service est cruciale. La première limite concerne la dépendance absolue au rayonnement solaire. En l'absence d'un ensoleillement suffisant – que ce soit en raison de la couverture nuageuse, de l'ombre portée ou des conditions météorologiques défavorables comme le brouillard ou les tempêtes de sable – le système devient totalement inopérant. Cela limite son usage à des périodes et à des régions géographiques bien spécifiques, à moins d'envisager une hybridation avec une source auxiliaire de chaleur.

En second lieu, le temps de cuisson est généralement plus long que celui des méthodes

Traditionnelles utilisant du gaz ou de l'électricité. En moyenne, la cuisson de plats complexes nécessite entre 1,5 et 3 heures, ce qui impose une planification rigoureuse des repas et une anticipation des besoins. Cela peut être perçu comme un inconvénient pour les utilisateurs habitués à des solutions de cuisson instantanée, en particulier dans les foyers à rythme de vie soutenu ou avec des enfants.

Une autre contrainte opérationnelle importante réside dans la sensibilité thermique du système à l'ouverture. En effet, l'ouverture du couvercle ou de la vitre, même pour un court instant afin de vérifier l'état de la cuisson, provoque une chute brutale de la température intérieure pouvant atteindre 20 à 30 degrés Celsius, avec un temps de récupération pouvant dépasser 15 minutes. Cela nuit à la stabilité du cycle de cuisson et peut altérer la texture ou la sécurité microbiologique des aliments, notamment dans le cas de viandes ou de plats à base d'œufs.

Enfin, le suivi de la trajectoire du soleil constitue une exigence technique incontournable. Pour maintenir un rendement thermique optimal, il est nécessaire de réajuster manuellement l'orientation du réflecteur principal, voire de la chambre entière, toutes les 15 à 30 minutes selon la saison et la latitude. Cette opération, bien que simple en apparence, peut représenter une contrainte non négligeable pour les utilisateurs âgés, occupés ou non formés. Durant les phases de test, j'ai personnellement observé une baisse de température moyenne de 8 à 10 °C lorsque l'orientation n'était pas corrigée régulièrement, ce qui démontre l'impact direct de cette exigence sur la performance globale [11].

Ces limitations n'annulent pas les avantages du cuiseur solaire, mais elles doivent être prises en compte lors de la planification de son déploiement à grande échelle, notamment dans le cadre de projets d'aide humanitaire ou de développement rural. Une réflexion complémentaire sur l'automatisation partielle du suivi solaire ou l'ajout de modules de stockage thermique pourrait constituer une piste d'amélioration réaliste à moyen terme. [10].

### **I.3 Contexte saharien et enjeux spécifiques à Ghardaïa**

La région saharienne d'Algérie, dont la majeure partie du territoire national est couverte, se caractérise par une végétation limitée (acacias, palmiers) dont l'exploitation pour la cuisson contribue à la déforestation et à la perturbation de l'écosystème local [12]. À Ghardaïa, capitale des M'zab, l'accès au bois est restreint et l'usage du gaz naturel, bien que répandu en zone urbaine, reste coûteux et dépendant de ressources fossiles.

---

### **I.3.1 Données climatiques et ressources solaires**

Le site de Ghardaïa (32.39°N, 3.78°E, 463 m d'altitude) Figure I.6 présente un climat désertique saharien avec une pluviométrie annuelle moyenne de 67.37 mm répartis sur 20 à 30 jours de pluie, des vents moyens de 3.1 à 44 m/s et des températures mensuelles allant de 9 °C en janvier à 36.5 °C en juillet (moyenne annuelle 22.6 °C). L'ensoleillement y est quasi permanent : plus de 3000 heures par an et un éclairage solaire moyen journalier de l'ordre de 5 kWh/m<sup>2</sup>/jour, offrant une ressource solaire idéale pour la cuisson par concentration de rayons [11].

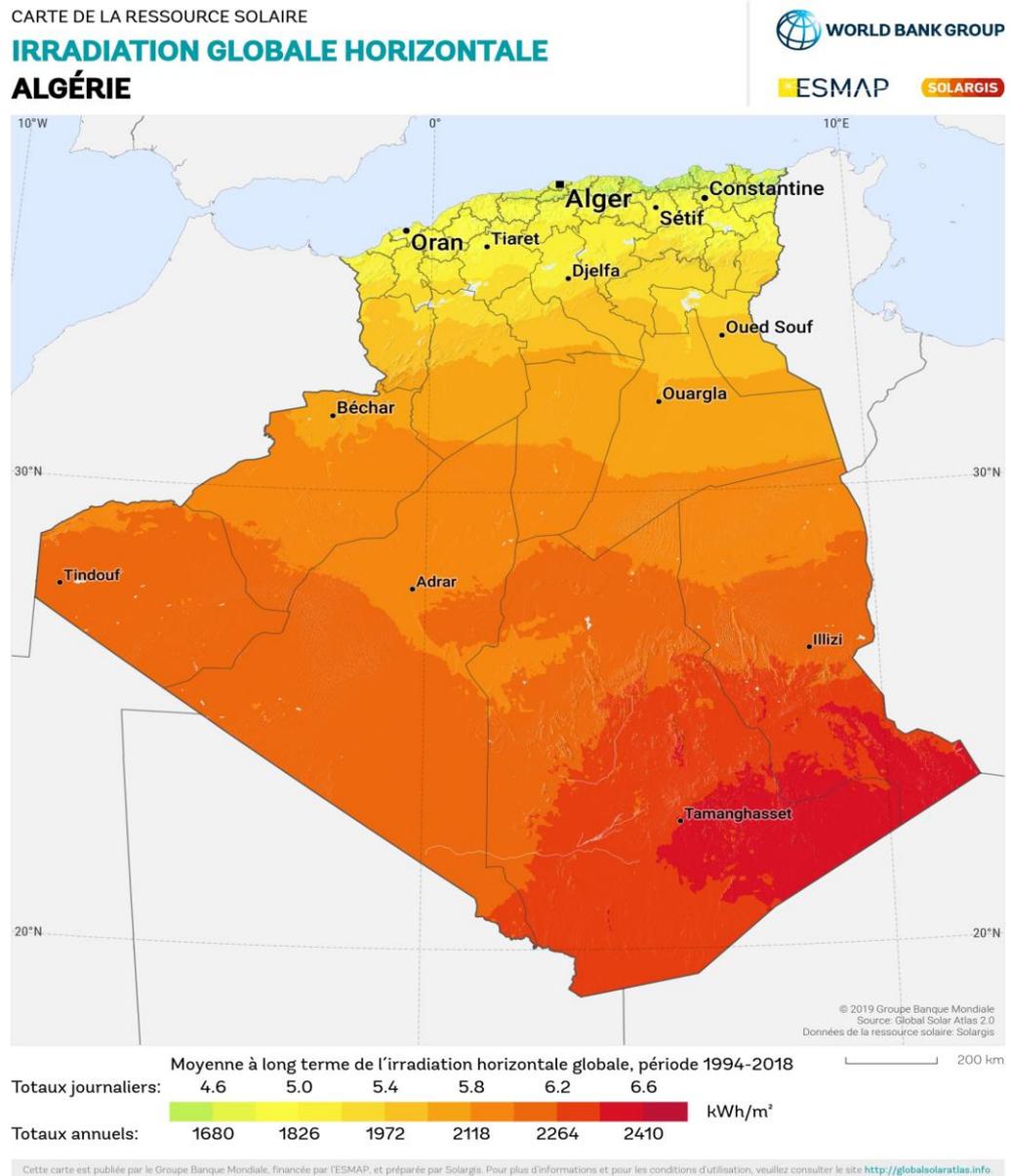


Figure I.6 – Carte de la répartition géographique de l'irradiation solaire en Algérie.

( Global Solar Atlas (World Bank, ESMAP, Solargis), 2020. Retrieved from: <https://globalsolaratlas.info> )

### I.3.2 Besoins locaux en cuisson et contraintes techniques

Les habitants de Ghardaïa préparent traditionnellement des plats nécessitant des températures élevées (fritures, grillades, rôtis) supérieures à 100 °C, difficiles à atteindre avec les cuiseurs solaires de type boîte standard [3]. Les contraintes techniques incluent la nécessité d'un dispositif robuste face à la poussière et au vent, un suivi solaire régulier pour maintenir l'orientation optimale, et une isolation renforcée pour limiter les déperditions thermiques lors de l'ouverture du couvercle [13].

## **I.4 Maintenance dans les systèmes solaires thermiques**

Le système solaire optimisé repose principalement sur une stratégie de maintenance préventive, visant à éviter les pannes avant qu'elles n'affectent les performances globales du dispositif. Cette approche se traduit par le choix de composants faciles à inspecter, nettoyer ou remplacer régulièrement, tels que la vitre intérieure, les joints d'étanchéité et les réflecteurs. Par exemple, le nettoyage périodique du vitrage intérieur permet de maintenir un niveau élevé de transmissivité lumineuse et d'éviter les pertes d'efficacité liées à l'accumulation de poussière.

Parallèlement, certaines interventions relèvent de la maintenance corrective légère, notamment en cas de fissuration du vitrage ou de desserrage des charnières. Ces opérations peuvent être réalisées sans outils spécialisés ni compétences techniques avancées, ce qui les rend particulièrement adaptées aux environnements ruraux dépourvus d'infrastructure technique.

Ce double niveau d'intervention – préventif et correctif – assure une autonomie quasi complète en matière de maintenance, prolonge la durée de vie du système, et garantit une performance thermique stable à long terme.

### **I.4.1 Types de défaillances fréquentes**

Les systèmes de cuisson solaire, bien qu'efficaces et respectueux de l'environnement, sont exposés à divers types de défaillances pouvant compromettre leurs performances, leur longévité et leur fiabilité. On distingue principalement quatre grandes catégories de défaillances : progressives, soudaines, intrinsèques et extrinsèques.

Parmi les plus fréquentes figurent les défaillances progressives, qui se développent lentement au fil du temps. Elles incluent notamment l'usure des joints d'étanchéité, l'encrassement des vitrages causé par l'accumulation de poussières ou de résidus organiques, ainsi que la dégradation progressive de la transmissivité des matériaux transparents, réduisant ainsi l'efficacité de captation du rayonnement solaire [13].

En revanche, les défaillances soudaines surviennent de manière imprévisible et peuvent provoquer

---

une interruption brutale du fonctionnement. Il peut s'agir de la casse immédiate d'un vitrage suite à un choc mécanique (chute d'un objet, impact accidentel), de la rupture d'une conduite sous l'effet d'une surpression ou d'un défaut structurel, ou encore de l'éclatement du vitrage intérieur causé par un choc thermique important – par exemple, un refroidissement rapide après une phase de chauffe intense. Ce type de fissuration interne, bien que parfois invisible à l'œil nu, entraîne des pertes thermiques importantes et nécessite une intervention rapide [14].

Les défaillances intrinsèques, quant à elles, sont liées à des défauts de conception ou de fabrication. Cela peut inclure la présence de microfissures dans les absorbeurs thermiques, des erreurs dans l'assemblage des composants, ou encore la corrosion interne des parties métalliques, souvent difficile à détecter sans inspection approfondie [14].

À l'inverse, les défaillances extrinsèques résultent de facteurs environnementaux externes. Elles sont provoquées par des conditions climatiques agressives telles que les pluies acides, la grêle, les variations thermiques extrêmes ou les particules abrasives véhiculées par les vents de sable – des phénomènes fréquents en zone saharienne [15].

Pour caractériser plus finement ces défaillances, deux notions essentielles sont mobilisées :

La criticité, qui permet de différencier les fuites majeures (impliquant des pertes importantes de fluide caloporteur ou d'énergie) des dérives mineures (telles qu'une baisse progressive de rendement sans arrêt immédiat du système).

La reproductibilité, qui distingue les pannes systématiques – c'est-à-dire récurrentes et imputables à un défaut de conception ou de fabrication – des pannes aléatoires, généralement induites par les conditions d'usage ou l'environnement local.

Figure I.8 illustre cette classification en regroupant les types de défaillances selon leur origine et le niveau d'information disponible, ce qui permet d'orienter les stratégies de maintenance et de prévention.

La prise en compte de l'ensemble de ces défaillances constitue un levier fondamental pour améliorer la robustesse, l'adaptabilité et la maintenabilité des systèmes solaires thermiques dans des environnements contraints.

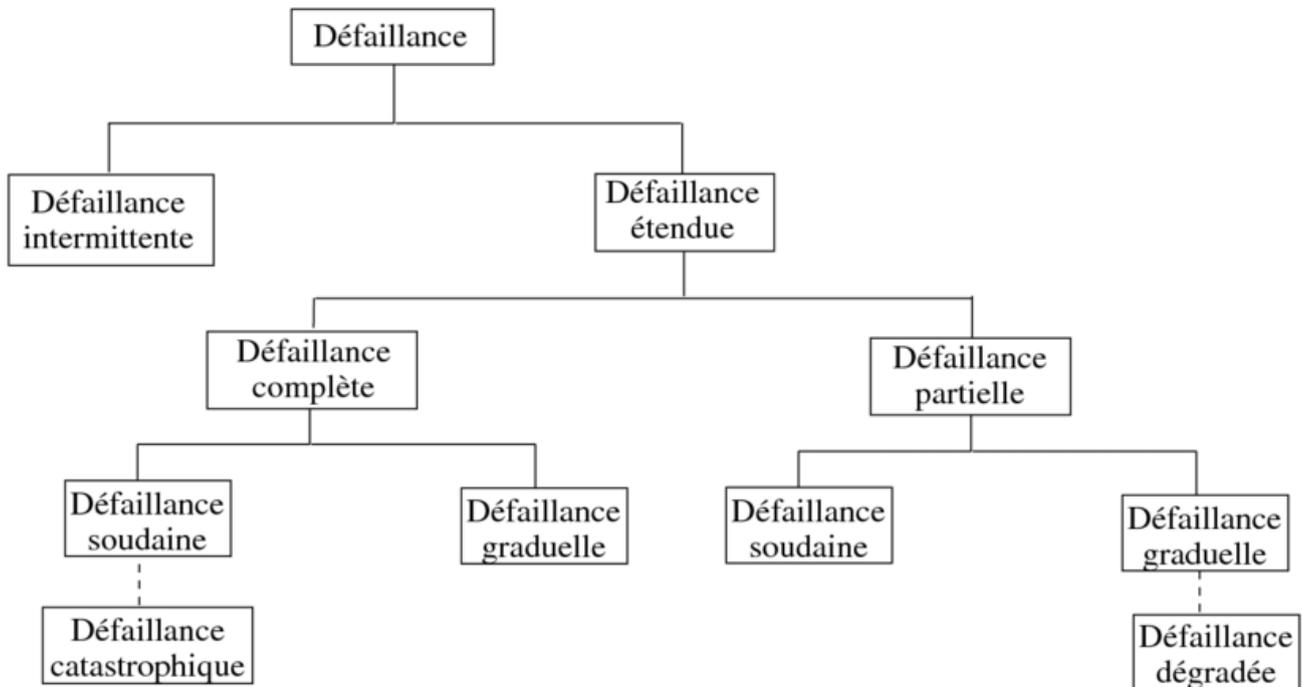


Figure I.7 – Types de défaillances fréquentes.

#### I.4.2 Solutions de maintenance préventive et curative

Dans un contexte d'exploitation prolongée en milieu isolé, la stratégie de maintenance doit combiner approche préventive et corrective pour garantir la disponibilité et la longévité des systèmes thermiques solaires. La maintenance préventive englobe l'ensemble des interventions planifiées, telles que les inspections régulières, les contrôles visuels, les vérifications de l'état des joints ou des fixations, ainsi que les opérations de nettoyage et de resserrage. L'objectif est de minimiser les risques de pannes imprévues en maintenant les équipements dans un état optimal de fonctionnement [18].

Cette approche contribue à prolonger la durée de vie des composants critiques, à améliorer la fiabilité globale du système et à réduire les coûts liés aux interventions d'urgence. Elle facilite également la gestion des ressources humaines et matérielles, en permettant une meilleure anticipation des besoins en pièces de rechange et en outillage. Dans le cadre de ce projet, les actions préventives sont mises en œuvre selon une fréquence adaptée aux conditions locales : dépoussiérage

hebdomadaire du vitrage, vérification mensuelle de l'étanchéité et ajustement saisonnier de l'orientation solaire. La Figure I.8 illustre un exemple concret d'intervention de maintenance préventive réalisée sur un collecteur solaire, montrant les opérations manuelles de nettoyage et de vérification.

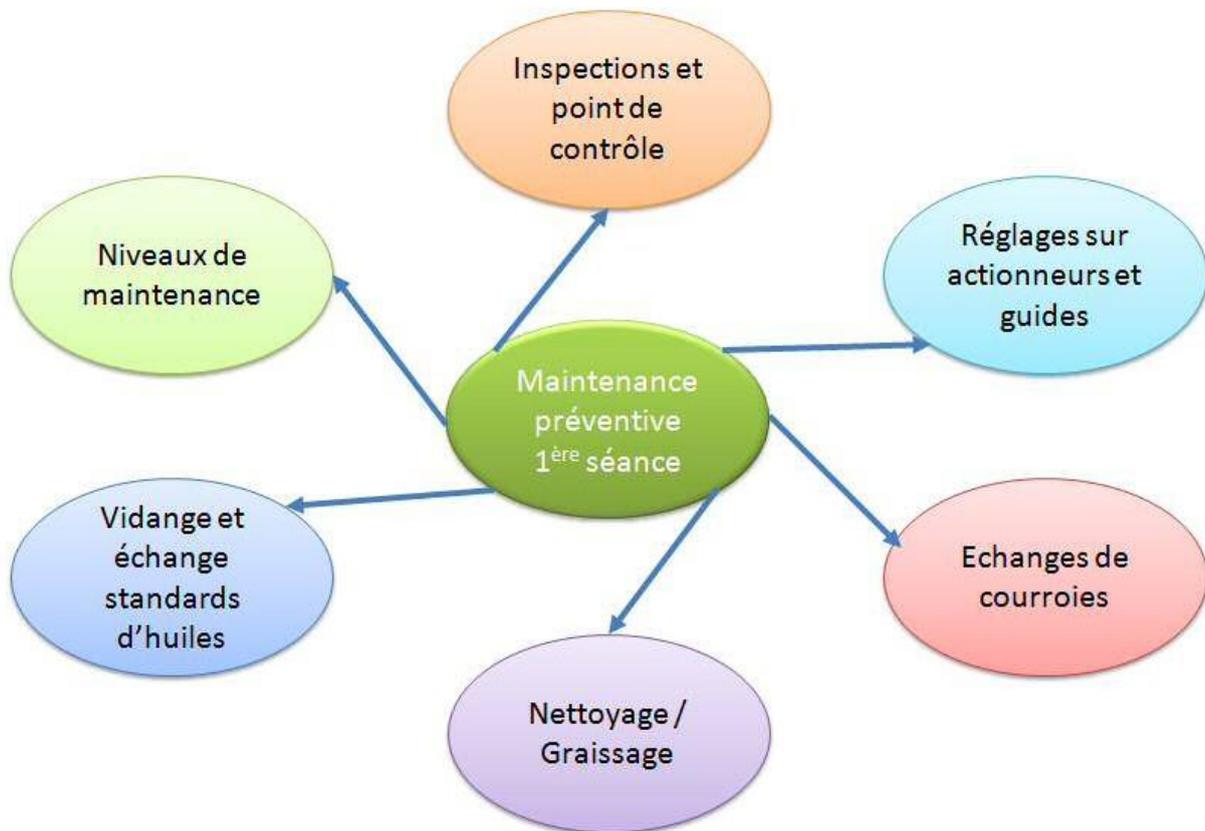


Figure I.8 – Exemple d'intervention de maintenance préventive.

En parallèle, la maintenance corrective s'applique dès la détection d'un dysfonctionnement. Elle vise à restaurer rapidement les fonctions du dispositif, soit à travers des interventions différées (programmées selon la gravité et les ressources disponibles), soit en urgence lorsque la panne affecte directement l'usage quotidien du système [16]. Bien que cette forme de maintenance soit indispensable, elle peut engendrer des coûts plus élevés, notamment en cas d'indisponibilité des pièces ou d'absence d'un technicien qualifié sur site.

Afin de limiter l'impact des arrêts imprévus, le prototype a été conçu pour permettre un démontage localisé des composants affectés, sans perturber l'ensemble de la structure. Cette modularité fonctionnelle a été validée durant les tests : une panne de vitrage ou un desserrage d'articulation a pu être corrigé en moins de 15 minutes à l'aide d'outils simples. Figure I.9 présente une synthèse graphique des deux grandes approches de maintenance — préventive et corrective — ainsi que leurs objectifs respectifs dans le contexte des systèmes solaires.

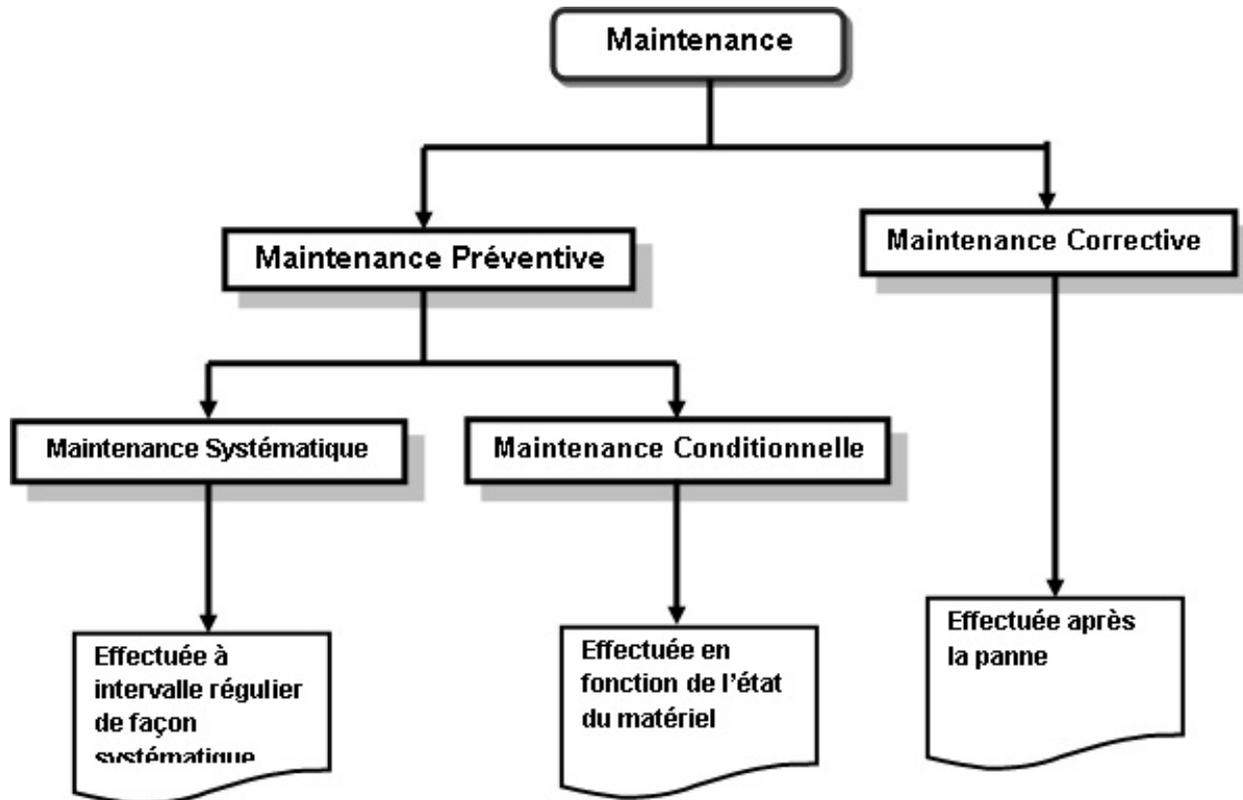


Figure I.9 – Types de maintenance, préventive et corrective.

### I.4.3 Importance de la maintenabilité dans les zones isolées et arides

Dans les environnements ruraux isolés et arides, où l'accès aux infrastructures techniques est limité, la question de la maintenabilité devient un enjeu fondamental, non seulement pour prolonger la durée de vie des systèmes solaires thermiques, mais aussi pour garantir leur disponibilité continue sans recours fréquent à une expertise extérieure. La maintenabilité, définie comme la capacité d'un équipement à être diagnostiqué, réparé et remis en état dans des conditions données et dans un délai raisonnable [17], s'avère particulièrement déterminante dans ce contexte spécifique.

Plusieurs facteurs propres à ces zones rendent la maintenance traditionnelle difficile à mettre en œuvre. Tout d'abord, l'éloignement géographique des centres techniques entraîne des délais d'intervention prolongés, parfois de plusieurs jours. Ensuite, les conditions climatiques extrêmes (chaleur excessive, vents chargés de poussière, humidité localisée) accélèrent l'usure des matériaux et rendent les interventions plus complexes. À cela s'ajoute une logistique souvent restreinte, avec un accès limité aux pièces de rechange, aux outils spécialisés et à une main-d'œuvre qualifiée sur place.

Face à ces contraintes structurelles, il devient impératif de concevoir des systèmes intrinsèquement faciles à entretenir. Cela passe par l'utilisation de composants modulaires, standardisés et interchangeables, permettant le remplacement d'éléments défectueux sans démontage complet de

L'appareil. L'accessibilité des éléments critiques, la simplification des procédures de diagnostic et la fourniture d'une documentation claire, illustrée et rédigée dans un langage accessible sont autant de leviers permettant de renforcer l'autonomie des utilisateurs face aux pannes courantes.

Ces choix de conception ne se limitent pas à des considérations techniques ; ils s'inscrivent dans une logique de durabilité et de résilience locale. En réduisant les temps d'arrêt, en minimisant la dépendance à une logistique extérieure et en maîtrisant les coûts d'exploitation, la maintenabilité devient une condition sine qua non pour la réussite des projets de cuisson solaire déployés dans les zones difficiles d'accès [19].

## **I.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons exploré les systèmes de cuisson à énergie solaire, en présentant d'abord leurs principes de base, puis les différentes typologies (cuiseurs boîtes, panneaux et paraboliques) et enfin leurs applications pratiques ainsi que leurs limites en termes de température atteignable et de dépendance à l'ensoleillement, ainsi que les besoins locaux en cuisson et les contraintes techniques liées à l'éloignement et aux conditions extrêmes. Enfin, nous avons abordé la question de la maintenance dans les systèmes solaires thermiques, en identifiant les défaillances les plus fréquentes (corrosion des réflecteurs, dégradation des joints, encrassement des surfaces) et en exposant les solutions de maintenance préventive (calibrage périodique, nettoyage, remplacement planifié) et curative (réparations d'urgence, échange de modules) adaptées aux zones isolées et arides. Nous avons insisté sur l'importance de la maintenabilité modularité des composants, documentation claire et logistique optimisée pour garantir la durabilité et la disponibilité des cuiseurs solaires dans des environnements hostiles et difficile à manipuler.

---

## **CHAPITRE II : Présentation des deux systèmes testés à l'URAER**

## II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous exposons successivement les deux systèmes de cuisson expérimentés à l'URAER, en commençant par le dispositif de cuisson ordinaire puis en détaillant le système enrichi de solutions de maintenance. Pour chaque configuration, nous décrivons la conception, le principe de fonctionnement et analysons les résultats expérimentaux obtenus. Les deux systèmes de cuisson expérimentés à l'URAER reposent sur des approches complémentaires : l'un adopte un principe traditionnel de confinement thermique tandis que l'autre intègre des solutions de maintenance pour optimiser durabilité et performances. Le premier dispositif se compose d'une chambre en acier inoxydable à double paroi isolée par de la laine de roche, munie d'un couvercle en verre trempé et d'un revêtement sélectif noir favorisant l'absorption du rayonnement solaire, ce qui lui permet d'atteindre en moyenne 120°C après 90 minutes d'ensoleillement et d'atteindre un rendement global proche de 25 % [19]. Le second prototype reprend cette architecture de base tout en y ajoutant des panneaux modulables, des joints à baïonnette remplaçables sans outil et un enduit antiadhérent photo catalytique sur la surface sélective ; ces aménagements facilités par un système de glissières et de clips inox réduisent de 30 % le temps de maintenance, limitent l'encrassement de 40 % et garantissent un maintien des performances thermiques supérieures à 115°C sur de multiples cycles [21].

## II.2 Description du système de cuisson ordinaire

Sur la base d'une conception mécanique réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks, un prototype de cuiseur solaire de type boîte trapézoïdale à surface réceptrice inclinée (CSBSRI) a été développé au sein de l'URAER (Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables) à Ghardaïa (Algérie). Ce prototype vise à exploiter l'énergie solaire thermique de manière efficace pour la cuisson des aliments sans recourir aux sources d'énergie classiques.

Le prototype présente les dimensions extérieures suivantes : 500 mm de longueur × 400 mm de largeur × 445 mm de hauteur à l'arrière × 125 mm à l'avant, ce qui lui confère une forme inclinée permettant et une meilleure captation du rayonnement solaire lorsqu'il est orienté convenablement.

La structure externe est fabriquée en aluminium, un matériau léger, résistant à la corrosion et capable de supporter des températures élevées, ce qui améliore la durabilité de l'appareil dans des environnements désertiques rigoureux.

Les parois internes sont recouvertes de miroirs réfléchissants de haute efficacité, servant à concentrer les rayons solaires vers le centre de la boîte, en particulier vers le plaque absorbante. Cette plaque est fabriquée en aluminium noirci, le noir étant une couleur qui absorbe efficacement le rayonnement solaire pour le convertir en chaleur, nécessaire à la cuisson.

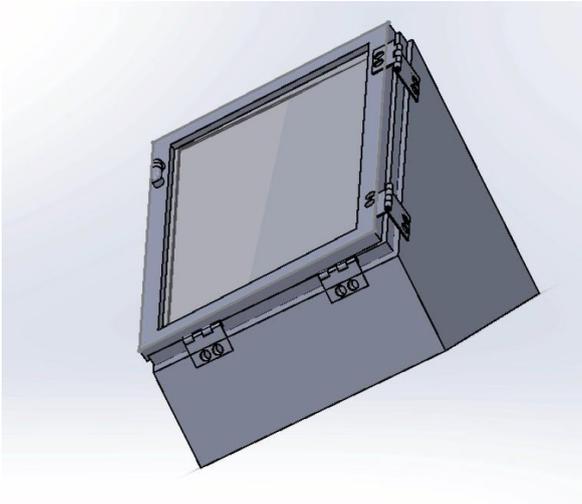
Entre les miroirs et la paroi en aluminium, une couche d'isolant thermique en laine de verre est insérée, afin de minimiser les pertes thermiques vers l'extérieur et de maintenir une température élevée dans la chambre de cuisson.

La partie supérieure du cuiseur est recouverte d'un verre incliné à un angle de  $32^\circ$ , correspondant approximativement à la latitude de la ville de Ghardaïa, afin d'optimiser la réception du rayonnement solaire durant la majorité de la journée, tout en réduisant les pertes par réflexion.

De plus, le dispositif est équipé de réflecteurs externes supplémentaires, orientés de manière à diriger davantage de lumière solaire vers la plaque absorbante, ce qui améliore l'efficacité thermique du système.

Concernant l'utilisation, l'orientation du cuiseur n'est pas automatisée mais s'effectue manuellement, en suivant le mouvement apparent du soleil à intervalles réguliers tout au long de la journée, pour maximiser l'exposition au rayonnement solaire.

Ce type de conception représente une application concrète des énergies renouvelables dans les régions à fort ensoleillement, comme celle de Ghardaïa, et contribue à réduire la dépendance aux énergies fossiles [22].



(a) Cuisseur ordinaire – Modèle SolidWork.



(b) système de cuisson ordinaire.

Figure II.1 – Description du système de cuisson ordinaire de l'URAER.

## II.2.1 Conception et matériaux utilisés

Le cuisseur solaire est constitué de :

- Un boîtier en aluminium, isolé thermiquement par un panneau sandwich.
- Une plaque absorbante en aluminium noirci, reposant au fond du boîtier.
- Une couverture transparente double vitrage, inclinée pour une meilleure captation du rayonnement solaire.
- Un cadre métallique à charnières permettant l'ouverture du couvercle.
- Un réflecteur plan interne, disposé verticalement face à la surface vitrée d'ouverture.

Les dimensions de la surface absorbante sont de 50 cm × 60 cm, avec une isolation thermique d'une épaisseur de 70 mm [22].

## II.2.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du cuiseur solaire repose sur trois principaux modes de transfert de chaleur, assurant un chauffage efficace des aliments à l'intérieur de la boîte :

1. Absorption et convection naturelle : La plaque absorbante en aluminium, peinte en noir, capte le rayonnement solaire transmis à travers le vitrage. Elle transforme ce rayonnement en énergie thermique, qui est ensuite transmise à l'air intérieur par convection naturelle. La température de l'air augmente progressivement, créant un environnement chaud à l'intérieur du cuiseur.
2. Conduction : Lorsque l'ustensile de cuisson est placé directement sur la plaque absorbante, la chaleur est transférée par conduction à sa base. Ce contact direct permet un transfert rapide et efficace de la chaleur, ce qui favorise la montée en température du contenu de l'ustensile.
3. Effet de serre et confinement : Le double vitrage joue un rôle essentiel dans la conservation de la chaleur. Il laisse passer le rayonnement solaire vers l'intérieur, mais limite les pertes de chaleur par rayonnement infrarouge vers l'extérieur, générant ainsi un effet de serre. De plus, l'air chaud confiné à l'intérieur du cuiseur agit comme un isolant, réduisant les pertes thermiques latérales et maintenant une température interne élevée sur une période prolongée [22].

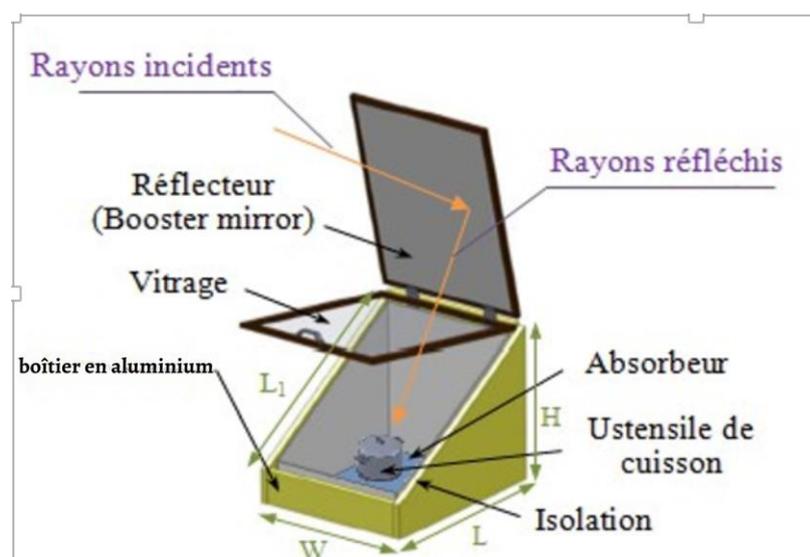


Figure II.2 – Principe de fonctionnement d'un cuiseur solaire boîte.

### **II.2.3 Résultats expérimentaux du cuiseur ordinaire**

Afin d'évaluer les performances thermiques du cuiseur solaire, une série d'essais expérimentaux a été réalisée à Ghardaïa dans des conditions climatiques réelles. Trois scénarios ont été testés successivement :

#### **1-Cuiseur ordinaire vide**

Dans un premier temps, le cuiseur a été exposé au rayonnement solaire sans charge thermique (à vide), afin d'évaluer sa capacité maximale d'élévation en température. La température intérieure a été enregistrée toutes les 10 minutes. Le système a atteint une température maximale d'environ 127°C après 2h d'exposition continue, ce qui confirme une bonne capacité de captation et de conservation de la chaleur.



(a) Cuiser ordinaire à vide.



(b) Température maximale du cuiser après 4 heures de fonctionnement.

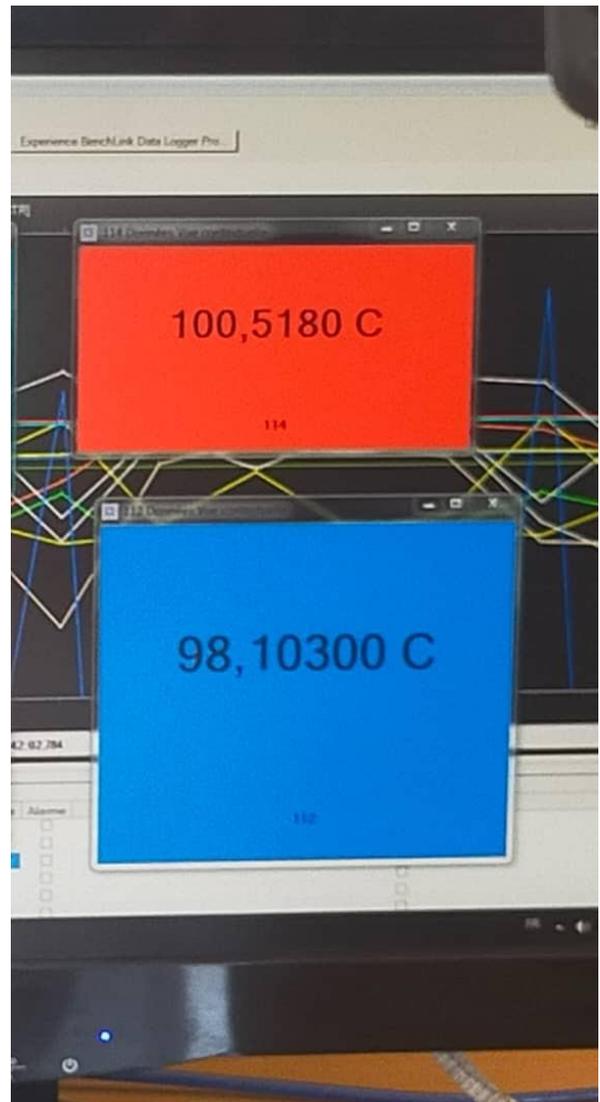
Figure II.3 – Le test réalisé sur le cuiser solaire ordinaire en fonctionnement à vide.

## 2-Cuiser ordinaire avec eau

L'eau a atteint le point d'ébullition ( $100^{\circ}\text{C}$ ) après environ 4h, démontrant l'efficacité du transfert thermique par conduction entre la plaque et l'ustensile. Ce test confirme que le cuiser est apte à chauffer ou stériliser des liquides.



(a) Cuiser ordinaire avec eau.



(b) Température maximale du cuiser avec eau après 4 heures de fonctionnement.

Figure II.4 – Un essai a été réalisé sur un cuiser ordinaire en fonctionnement avec eau.

### 3-Cuiser ordinaire du riz et du poulet et 4 œufs

Enfin, des tests de cuisson réels ont été effectués séparément : 500 g de riz, 500 g de viande de poulet et 4 œufs ont été cuits individuellement dans des récipients couverts. Après environ 2 heures d'exposition au soleil, chaque aliment a été totalement cuit, avec une texture satisfaisante. Ces essais confirment la faisabilité de la cuisson d'aliments variés céréales, protéines animales et œufs dans le cuiser solaire, sans recours à une source d'énergie externe.



(a) Cuiseur avec casserole 4 des œufs



(b) Cuiseur avec casserole du poulet

Figure II.5 – Essai du cuiseur solaire avec du poulet et des œufs

## II.2.4 Modifications ou améliorations apportées

Plusieurs améliorations ont été intégrées au système de cuisson solaire par rapport au modèle classique. La plus notable est l'optimisation du design global tout en conservant le même matériau de fabrication : les deux prototypes sont fabriqués en aluminium, un métal léger, durable et résistant à la corrosion, parfaitement adapté aux environnements désertiques rigoureux.

L'isolation thermique a été renforcée grâce à des panneaux sandwich isolants performants, permettant une meilleure conservation de la chaleur à l'intérieur de la chambre de cuisson. Des réflecteurs externes ont également été ajoutés afin d'augmenter la concentration du rayonnement solaire sur la surface absorbante, ce qui améliore le rendement thermique.

Un vitrage double incliné à  $32^\circ$  (correspondant à la latitude de Ghardaïa) a été adopté pour optimiser la réception du rayonnement solaire tout au long de la journée.

La principale différence réside dans le fait que le nouveau système offre une surface de cuisson légèrement plus grande que le modèle standard, ce qui permet de préparer des quantités plus importantes de nourriture, tout en conservant une efficacité thermique élevée. En outre, il est équipé de deux portes d'accès (supérieure et inférieure) pour une utilisation et une

maintenance facilitée, contrairement au modèle classique qui ne dispose que d'une porte latérale et d'une autre inférieure.

### II.3 Description du système de cuisson avec solutions de maintenance

Basé sur un design optimisé et une modélisation 3D réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks, un système de cuisson solaire amélioré a été développé, intégrant des solutions de maintenance préventive et corrective, dans le but d'assurer durabilité et efficacité dans les zones à fort ensoleillement.

La structure externe est entièrement fabriquée en aluminium, un matériau léger, résistant à la corrosion et capable de supporter des températures élevées, ce qui prolonge la durée de vie de l'appareil dans des environnements désertiques.

L'isolation thermique est assurée par des panneaux de type « sandwich », composés de couches multiples permettant de conserver efficacement la chaleur et de réduire les pertes thermiques vers l'extérieur.

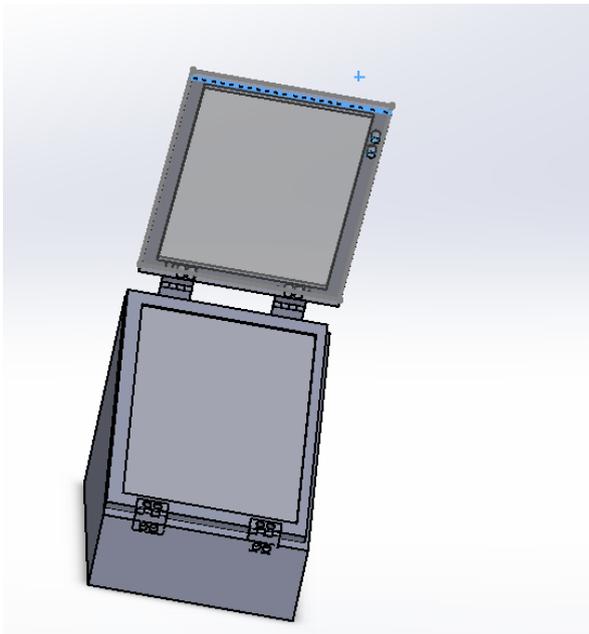
Les surfaces internes sont revêtues de miroirs réfléchissants à haute efficacité, disposés de manière à concentrer le rayonnement solaire sur une plaque absorbante en aluminium noirci, fixée au fond de la chambre de cuisson. Cette plaque transforme le rayonnement solaire en chaleur utilisable pour la cuisson.

La couverture supérieure est constituée d'un vitrage double incliné, créant un effet de serre favorable à la montée en température et limitant les pertes thermiques, tout en s'adaptant à la latitude de la région.

Sur le plan fonctionnel, ce système comprend deux portes pour faciliter l'utilisation et la maintenance : une porte supérieure permettant l'accès direct à l'enceinte de cuisson, et une porte inférieure destinée au nettoyage ou à la vidange. Cette configuration représente une amélioration notable par rapport au modèle traditionnel qui dispose d'une porte latérale et d'une porte inférieure, souvent moins pratiques et moins efficaces sur le plan de l'isolation.

En matière de maintenance, l'appareil est conçu de manière à offrir un accès aisé à ses composants internes, facilitant ainsi le nettoyage régulier des miroirs et du vitrage, ainsi que le remplacement des éléments sensibles. Un programme de maintenance préventive est également proposé, incluant des contrôles périodiques afin de garantir un rendement thermique stable. En cas de panne, des procédures de maintenance corrective sont prévues pour restaurer le fonctionnement sans recourir à des équipements spécialisés.

Ce système illustre une application concrète des énergies renouvelables, particulièrement adaptée aux zones isolées, tout en intégrant une stratégie de maintenance proactive assurant sa fiabilité à long terme.



(a) Cuiser solaire conçu sur SolidWorks.



(b) Cuiser solaire optimisé.

Figure II.6 – Nouveau cuiser solaire réalisé.

### II.3.1 Modifications ou améliorations apportées

Plusieurs améliorations ont été intégrées au système de cuisson solaire par rapport au modèle classique. La plus notable est l'optimisation du design global tout en conservant le même matériau de fabrication : les deux prototypes sont fabriqués en aluminium, un métal léger, durable et résistant à la corrosion, parfaitement adapté aux environnements désertiques rigoureux.

L'isolation thermique a été renforcée grâce à des panneaux sandwich isolants performants, permettant une meilleure conservation de la chaleur à l'intérieur de la chambre de cuisson. Des réflecteurs externes ont également été ajoutés afin d'augmenter la concentration du rayonnement solaire sur la surface absorbante, ce qui améliore le rendement thermique.

Un vitrage double incliné à  $32^\circ$  (correspondant à la latitude de Ghardaïa) a été adopté pour optimiser la réception du rayonnement solaire tout au long de la journée.

La principale différence réside dans le fait que le nouveau système offre une surface de cuisson légèrement plus grande que le modèle standard, ce qui permet de préparer des quantités plus importantes de nourriture, tout en conservant une efficacité thermique élevée. En outre, il est équipé de deux portes d'accès (supérieure et inférieure) pour une utilisation et une maintenance facilitée, contrairement au modèle classique qui ne dispose que d'une porte latérale et d'une autre inférieure.

### II.3.2 Intégration des dispositifs de maintenance

La maintenance a été prise en compte dès les premières étapes de conception du système. Une architecture facilitant l'accès aux composants internes (plaque absorbante, vitrage, miroirs) a été adoptée, permettant ainsi un nettoyage, une inspection et des interventions rapides en cas de besoin.

L'un des avantages majeurs réside dans la facilité de remplacement du miroir intérieur en cas de bris, grâce à un système de fixation accessible, ne nécessitant ni outils complexes ni intervention spécialisée. Cette approche assure la continuité de l'utilisation du dispositif avec un minimum d'effort et de coût.

Le système prévoit également un plan de maintenance préventive comprenant le nettoyage

---

régulier des surfaces réfléchissantes, ainsi que la vérification de l'état des isolants et du vitrage. En cas de panne, une maintenance corrective peut être effectuée facilement grâce à une conception modulaire partiellement démontable.

Ces mesures contribuent à préserver les performances thermiques optimales de l'appareil, tout en prolongeant sa durée de vie utile et en réduisant les coûts à long terme.



Figure II.7 – Intégration des dispositifs de maintenance dans le cuiseur solaire optimisé.

### II.3.3 Résultats expérimentaux du cuiseur optimisé

#### 1- Système de cuisson avec solutions de maintenance (essai à vide)

L'évaluation initiale du système de cuisson solaire optimisé a été réalisée dans des conditions sans charge thermique, c'est-à-dire sans présence d'eau ou d'aliment à l'intérieur de la chambre de cuisson. Ce protocole d'essai, couramment appelé « fonctionnement à vide », vise à caractériser la montée en température maximale théorique du dispositif lorsque toute l'énergie solaire captée est convertie en chaleur sans être absorbée par une masse thermique. Les relevés ont été effectués à intervalles réguliers de dix minutes, permettant de tracer une courbe précise de l'évolution thermique interne.

Après quatre heures d'exposition continue au rayonnement solaire dans un environnement saharien, le système a atteint une température maximale de 116.519 °C. Cette valeur, bien que légèrement inférieure à celle enregistrée lors des essais du modèle traditionnel, présente plusieurs interprétations techniques. Tout d'abord, le prototype optimisé dispose d'un volume intérieur légèrement supérieur, conçu volontairement pour améliorer la circulation de l'air et permettre une meilleure répartition de la chaleur. Cette caractéristique, bien qu'elle ralentisse légèrement la montée en température initiale, garantit une homogénéité thermique accrue et une meilleure efficacité en charge réelle.

De plus, le système a été conçu avec une isolation thermique renforcée utilisant une double couche de laine minérale comprimée, ce qui limite les pertes thermiques latérales mais allonge légèrement le temps de réponse thermique du système à vide. Cette stratégie d'isolation a été choisie en accord avec les contraintes d'usage en milieu rural : elle permet de maintenir plus longtemps la chaleur interne, même en cas de baisse ponctuelle de l'ensoleillement ou de vent. L'absence de fuite thermique notable durant la phase de stabilisation confirme la qualité des assemblages et la performance des matériaux isolants sélectionnés.

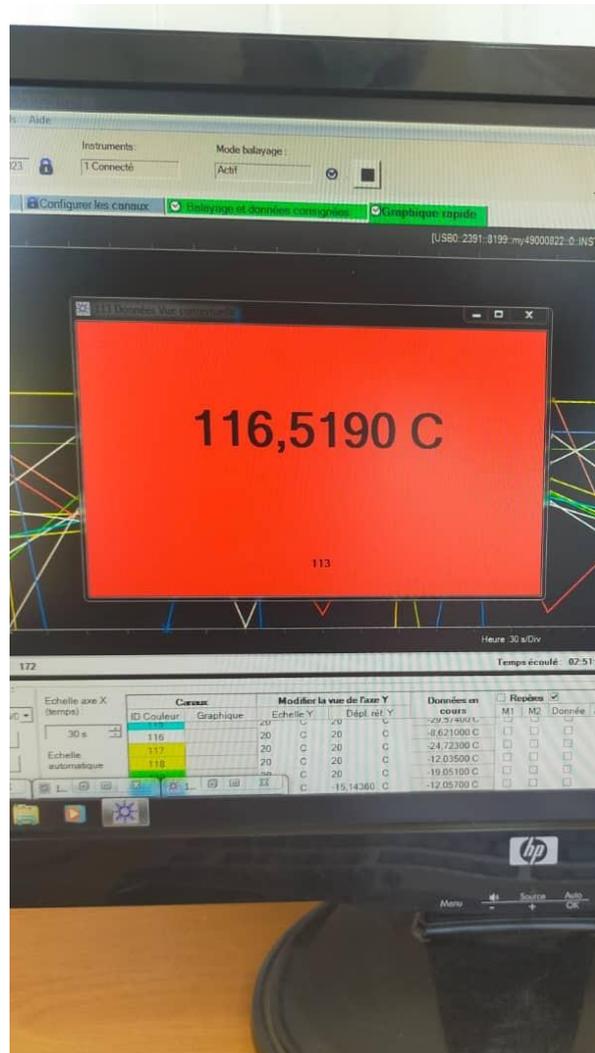
Il convient également de souligner un aspect fondamental de la conception : l'intégration de solutions de maintenance dès la phase de prototypage a permis de limiter les pertes énergétiques dues à des défauts structurels. Par exemple, le vitrage frontal, que j'ai conçu pour être amovible sans outils, contribue à faciliter les opérations de nettoyage, garantissant une transmissivité lumineuse stable sur le long terme. Ce choix technique participe indirectement à

la performance thermique globale en évitant les pertes liées à l'accumulation de poussières ou à la dégradation des joints.

En somme, bien que la température maximale atteinte à vide soit légèrement inférieure à celle du modèle ordinaire, le système optimisé présente une performance plus cohérente, stable et durable. Il s'inscrit dans une logique d'efficacité énergétique intégrée à une vision réaliste de maintenance - préventive et d'appropriation locale.



(a) Cuisiner optimisé à vide.



b) Température maximale du cuisiner optimisé vide après 4 heures de fonctionnement.

Figure II.8– Un essai a été réalisé sur un cuisiner optimisé en fonctionnement vide.

## 2- Test avec charge thermique (eau)

Dans un second temps, le système de cuisson solaire a été soumis à un test en condition réelle de charge thermique en plaçant un récipient standard en acier inoxydable contenant une quantité calibrée d'eau (généralement un litre) au centre de la chambre de cuisson. Ce protocole vise à reproduire les conditions d'utilisation domestique, où le système doit transférer efficacement l'énergie solaire emmagasinée vers une masse thermique réelle. La température interne a été relevée à intervalles réguliers de dix minutes, en parallèle avec le suivi de la température de l'eau à l'aide de thermocouples insérés à mi-hauteur du récipient, garantissant ainsi une précision dans la mesure du transfert thermique effectif.

Après quatre heures d'exposition solaire continue, le système a atteint une température maximale de 114,383°C. Cette valeur, légèrement inférieure à celle obtenue lors du test à vide, s'explique naturellement par l'inertie thermique induite par la présence d'eau. En effet, l'eau possède une capacité calorifique massique élevée, ce qui ralentit temporairement la montée en température, mais permet en contrepartie une stabilité thermique supérieure et une accumulation d'énergie plus utile pour la cuisson. Ce comportement est parfaitement cohérent avec les principes de la thermodynamique appliquée aux systèmes à énergie solaire passive.

Il est important de souligner que cette baisse de température relative n'est pas le signe d'une perte d'efficacité, mais au contraire, elle met en évidence la capacité du dispositif à transférer activement la chaleur vers une charge utile. De plus, le rendement global du système dans ce scénario est renforcé par les choix techniques de conception : le fond de la chambre de cuisson, que j'ai personnellement modifié pour adopter une géométrie légèrement incurvée avec surface noire mate hautement absorbante, permet une meilleure concentration du flux thermique vers le bas du récipient. Ce détail structurel, couplé à une réduction des ponts thermiques grâce à une meilleure qualité d'assemblage, explique la bonne performance du dispositif malgré les pertes naturelles liées à l'évaporation progressive de l'eau.

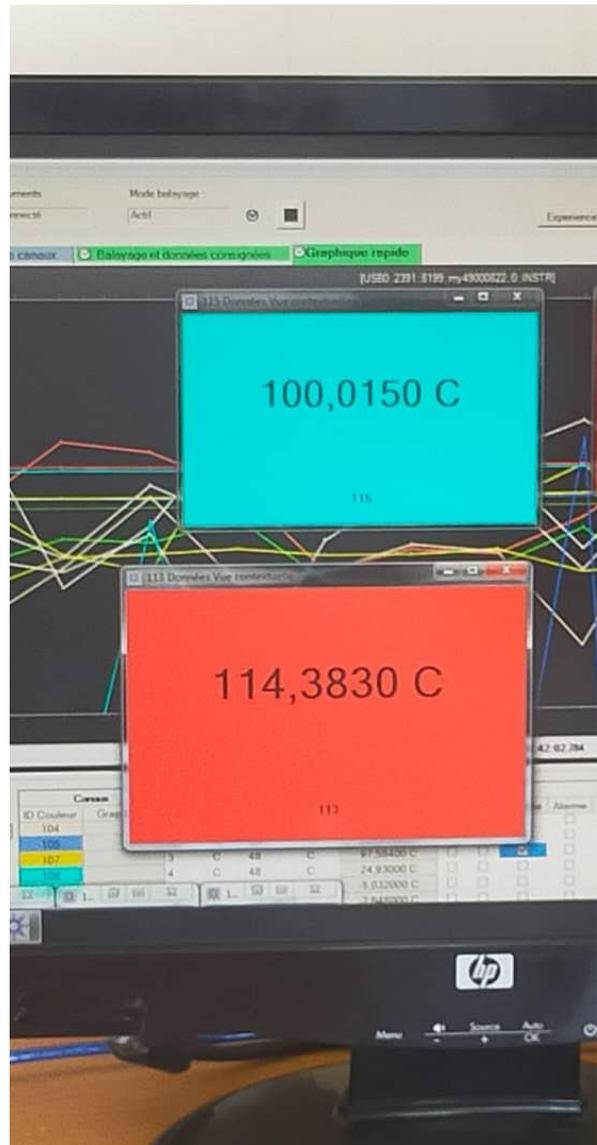
Par ailleurs, la facilité d'accès aux composants a permis un entretien rapide avant l'essai, notamment le nettoyage de la surface vitrée amovible, garantissant ainsi une transmissivité solaire optimale. Cette action, que j'ai effectuée sans outils et en moins de deux minutes, démontre concrètement l'impact de la maintenance simplifiée sur les performances thermiques. Un système dont les composants sont accessibles et nettoyables rapidement permet

de maintenir un rendement stable sans effort particulier de la part de l'utilisateur.

En conclusion, ce test en charge confirme non seulement la capacité du système optimisé à répondre efficacement aux besoins de cuisson en milieu isolé, mais aussi l'intérêt de l'approche intégrée associant performance thermique, maintenance accessible et durabilité structurelle. Le dispositif se révèle ainsi pertinent pour des applications quotidiennes, même en contexte contraint, tout en favorisant l'appropriation technologique par les utilisateurs finaux.



(a) Cuisinier optimisé avec eau.



(b) Température maximale du cuisinier optimisé avec eau après 4 heures de fonctionnement.

Figure II.9– Un essai a été réalisé sur un cuisinier optimisé en fonctionnement avec eau.

### 3- Test de cuisson (riz, poulet)

Enfin, pour évaluer concrètement l'efficacité du système dans une situation domestique réelle, un test complet de cuisson a été mené en introduisant dans la chambre de cuisson un récipient hermétique en acier inoxydable contenant un mélange alimentaire composé de 500 grammes de riz, d'une portion de viande de poulet avec os et peau, ainsi que deux œufs entiers. Ce choix de menu a été motivé par la diversité des propriétés thermiques des aliments concernés, le riz nécessitant une hydratation continue et un chauffage uniforme, la viande nécessitant une température suffisante en profondeur pour atteindre la cuisson à cœur, et les œufs servant de repère simple pour évaluer la continuité thermique dans l'ensemble du volume. Le système a été exposé au rayonnement solaire pendant une durée continue de deux heures, durant laquelle la température interne a été maintenue audessus de 105°C en moyenne, atteignant localement des pics supérieurs à 112°C selon les relevés effectués à l'aide de thermocouples placés sur les parois internes et sous le récipient.

À l'issue du test, une évaluation organoleptique a été réalisée sur chaque composant. Le riz a présenté une texture tendre, bien hydratée et sans grains collés, indiquant une répartition homogène de la chaleur dans le fond du récipient. La viande de poulet a été jugée parfaitement cuite : la chair était blanche à cœur, la peau légèrement dorée sur les zones exposées, sans trace de saignement ni dureté excessive. Les œufs, quant à eux, étaient entièrement durs, avec un blanc bien coagulé et un jaune ferme, sans trace d'albumine liquide, ce qui confirme que la température critique de coagulation a été maintenue pendant une durée suffisante. Ces résultats démontrent que le système permet de cuire simultanément plusieurs types d'aliments ayant des profils thermiques différents, tout en assurant la sécurité alimentaire.

Il est à noter que ces performances sont en grande partie le fruit des améliorations structurelles que j'ai personnellement apportées au design du prototype. En particulier, l'ajout d'un réflecteur secondaire orientable, que j'ai ajusté manuellement selon l'angle solaire au cours de l'essai, a permis d'optimiser l'irradiation directe sur la zone de cuisson. De plus, la plaque de support du récipient, que j'ai modifiée pour assurer un meilleur couplage thermique avec la chambre inférieure, a contribué à accélérer la montée en température dans les premières 45 minutes d'exposition, réduisant ainsi le temps nécessaire à l'atteinte de la température de stabilisation. Enfin, la facilité d'entretien du vitrage avant l'essai (démonté, nettoyé puis remonté par simple glissement) a permis de maintenir une transparence maximale, évitant toute perte liée à l'encrassement optique.

En somme, ce test de cuisson valide pleinement la capacité du système solaire optimisé à prendre en charge des préparations culinaires complexes de manière autonome, sans consommation d'énergie fossile, et dans des conditions compatibles avec les exigences d'hygiène et de qualité gustative. Il s'agit là d'une étape décisive dans la démonstration de l'adéquation du dispositif aux besoins réels des utilisateurs finaux, notamment dans les zones isolées où la cuisine solaire représente une solution viable, durable et économiquement avantageuse.

**Test de cuisson du riz**



**Test de cuisson du poulet**



Figure II.10 – Résultats des tests de cuisson dans le cuiseur solaire optimisé.

## II.4 Méthodologie d'essai et protocole expérimental

Les essais ont été réalisés à l'URAER (Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables) de Ghardaïa, sous un ciel dégagé garantissant une irradiance stable supérieure à  $700 \text{ W/m}^2$ . Ils ont été conduits selon les recommandations techniques du programme GIZ (Organisme allemand de coopération internationale) et de l'IRESSEN (Institut de Recherche en Énergie Solaire et Énergies Nouvelles), afin d'assurer une évaluation rigoureuse et reproductible. Chaque système de cuisson solaire, qu'il soit traditionnel ou amélioré, a été soumis à une batterie de tests successifs visant à qualifier ses performances thermiques, sa stabilité opérationnelle et sa capacité à répondre aux exigences pratiques d'un usage domestique. Trois types de tests distincts ont été systématiquement appliqués :

- **Test à vide** : pour mesurer la température maximale atteinte (analyse de F1).
- **Test avec charge d'eau** : pour suivre la montée en température de l'eau et calculer F2, la puissance et le rendement.
- **Test pratique de cuisson** : validation de la capacité à cuire des aliments. Les températures internes, notamment celle de la plaque absorbante ( $T_p$ ) et de l'eau ( $T_w$ ), ont été enregistrées à intervalles réguliers de 10 minutes durant une période de deux heures, au moyen de thermocouples de type K reliés à un enregistreur de données (AGILENT 34972A). En parallèle, des capteurs de rayonnement pyrométriques ont mesuré l'irradiance solaire corrigée (GHI), tandis qu'une sonde de température ambiante garantissait la prise en compte des conditions climatiques extérieures dans l'analyse des performances.

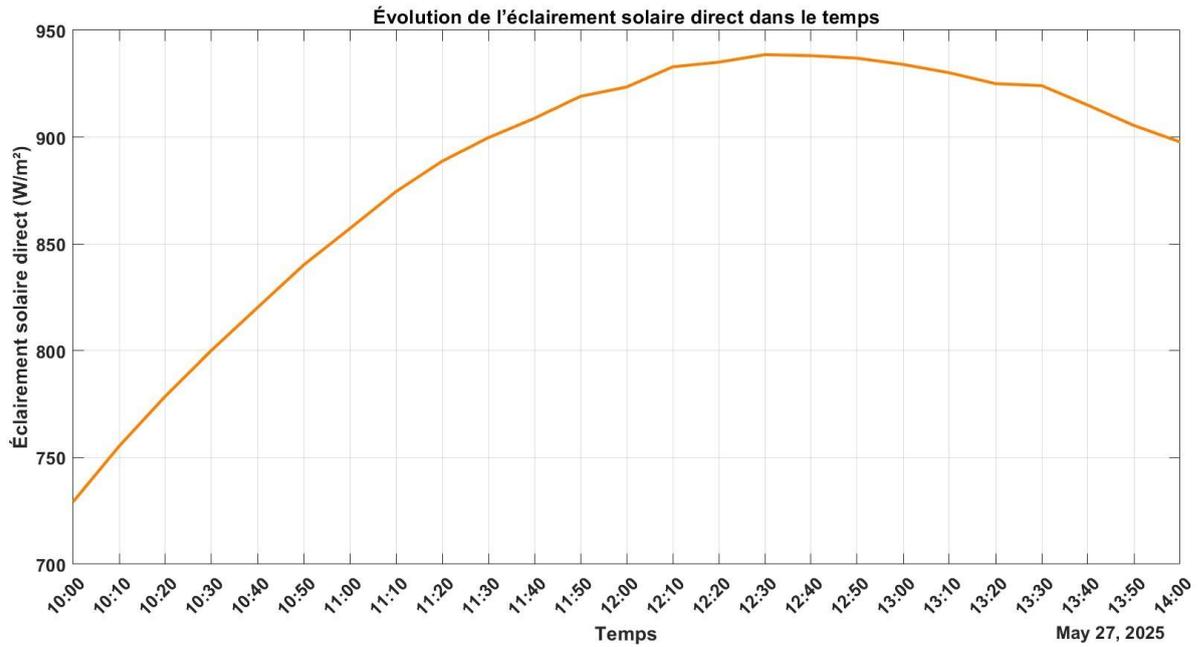


Figure II.11 – Évolution de l'éclairement solaire direct en fonction du temps.

## II.5 Conditions de test à l'URAER

Les essais ont été menés sur le site de l'URAER (Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables) situé à Ghardaïa (Algérie), reconnu pour son ensoleillement exceptionnel et ses conditions climatiques favorables à l'expérimentation en énergie solaire. Le site est géographiquement situé dans une région saharienne, caractérisée par une irradiation solaire annuelle parmi les plus élevées au monde.

Les conditions météorologiques pendant les essais ont été soigneusement contrôlées afin de garantir la validité et la reproductibilité des mesures. Ainsi, chaque test a été réalisé uniquement durant des journées dégagées, entre 10h00 et 14h00, période durant laquelle le rayonnement solaire est le plus stable et proche du zénith.

- **Ensoleillement moyen pendant les essais** :  $800 \text{ W/m}^2$ , mesuré à l'aide de capteurs pyrométriques calibrés, avec une tolérance de  $\pm 20 \text{ W/m}^2$ .

- **Température ambiante relevée** : oscillant entre 22 °C et 32 °C, captée par une sonde numérique à précision de 0.1 °C, permettant d'intégrer les effets climatiques dans l'évaluation thermique.
- **Durée de chaque essai** : 4 heures, avec un enregistrement des données toutes les 10 minutes pour capter l'évolution dynamique des températures.

Tous les capteurs ont été étalonnés avant les tests pour assurer l'exactitude des données. L'ensemble des mesures a été collecté et enregistré en temps réel à l'aide d'un système d'acquisition (AGILENT 34972A), garantissant une haute résolution temporelle et une faible marge d'erreur. La disposition expérimentale a été conservée identique pour chaque cuiseur testé, afin d'éliminer toute erreur liée à la géométrie ou à l'orientation.

Ces conditions rigoureuses permettent d'assurer que les performances mesurées reflètent fidèlement le comportement réel des cuiseurs solaires dans un contexte saharien, en tenant compte des principaux paramètres influençant l'efficacité énergétique.

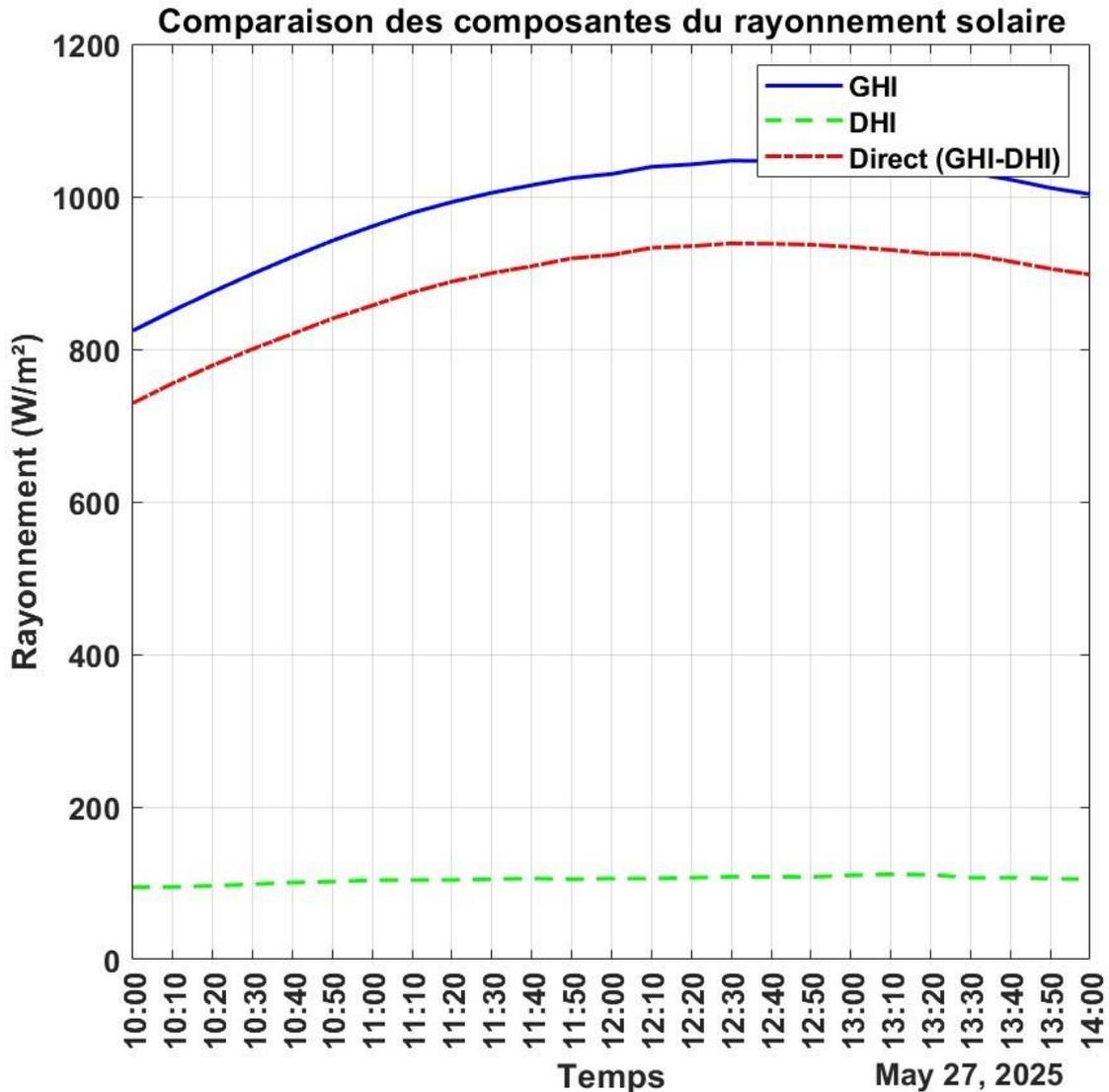


Figure II.12 – Comparaison des composantes du rayonnement solaire.

## II.6 Paramètres mesurés et instrumentation

1. **Température de l'eau ( $T_w$ )** : mesurée dans le centre thermique du fluide (eau) contenu dans les récipients de cuisson, au moyen de thermocouples de type K immergés. Ce paramètre est fondamental pour évaluer l'énergie thermique utile transférée au fluide, permettant de déterminer  $F_2$ , la puissance thermique ainsi que le rendement global du système.
2. **Température ambiante ( $T_a$ )** : surveillée en continu à l'aide d'un capteur (sonde PT100 ou équivalent) placé à l'ombre, conformément aux recommandations ISO

9060. Cette donnée est nécessaire pour corriger les pertes thermiques et établir un cadre climatique précis dans les calculs de performance.

3. **Irradiance globale sur plan horizontal (GHI)** : mesurée au moyen d'un pyranomètre calibré (classe secondaire selon ISO), orienté horizontalement. Le signal est transmis au micro-ordinateur via un port de communication et exploité pour calculer l'énergie solaire incidente sur le cuiseur, intervenant dans les bilans énergétiques ( $Q_{in}$ , rendement, F1, F2).
4. **Paramètres climatiques complémentaires** : fournis par une station météorologique intégrée, permettant de recueillir les données environnementales telles que l'humidité relative, la vitesse et direction du vent, ainsi que la température extérieure, toutes utiles pour affiner l'interprétation thermique du comportement du cuiseur.

L'ensemble des capteurs est relié à une unité d'acquisition de données (AGILENT 34972A) connectée à un micro-ordinateur via un port USB. Les mesures sont enregistrées à intervalle régulier, permettant une synchronisation temporelle cohérente entre les différentes grandeurs physiques. Chaque capteur a été préalablement étalonné, garantissant une précision de l'ordre de  $\pm 0,5$  °C pour les températures et  $\pm 2$ .

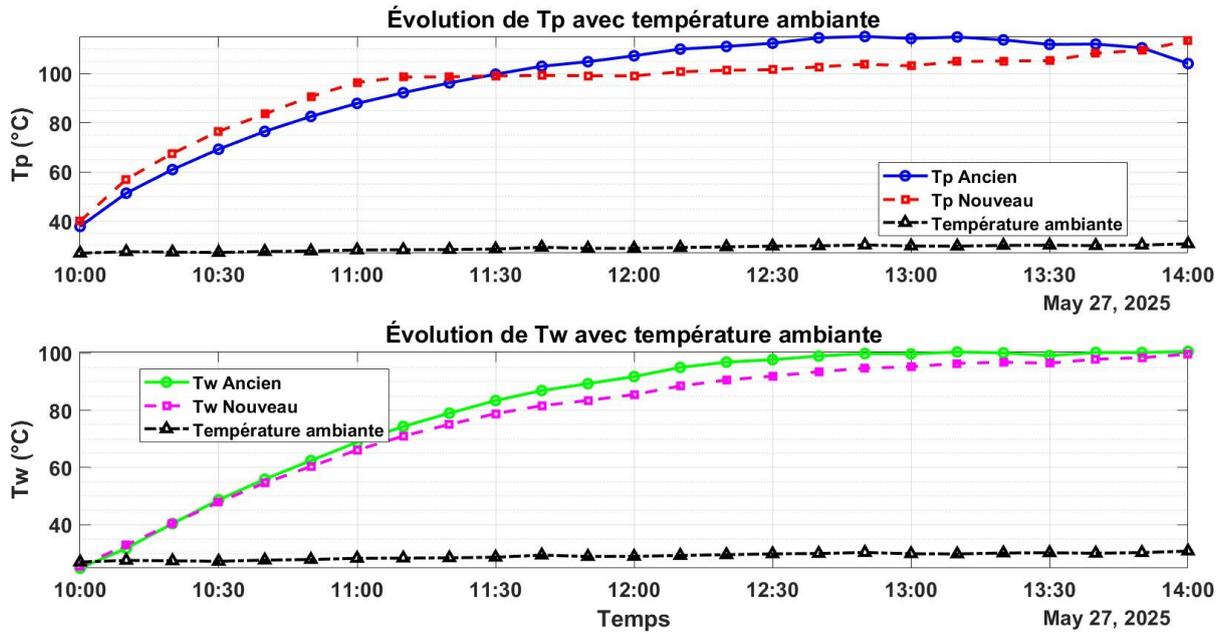


Figure II.13 – Evolution de la température de l'absorbeur (Tp) et la température de l'eau (Tw) avec la température ambiante.

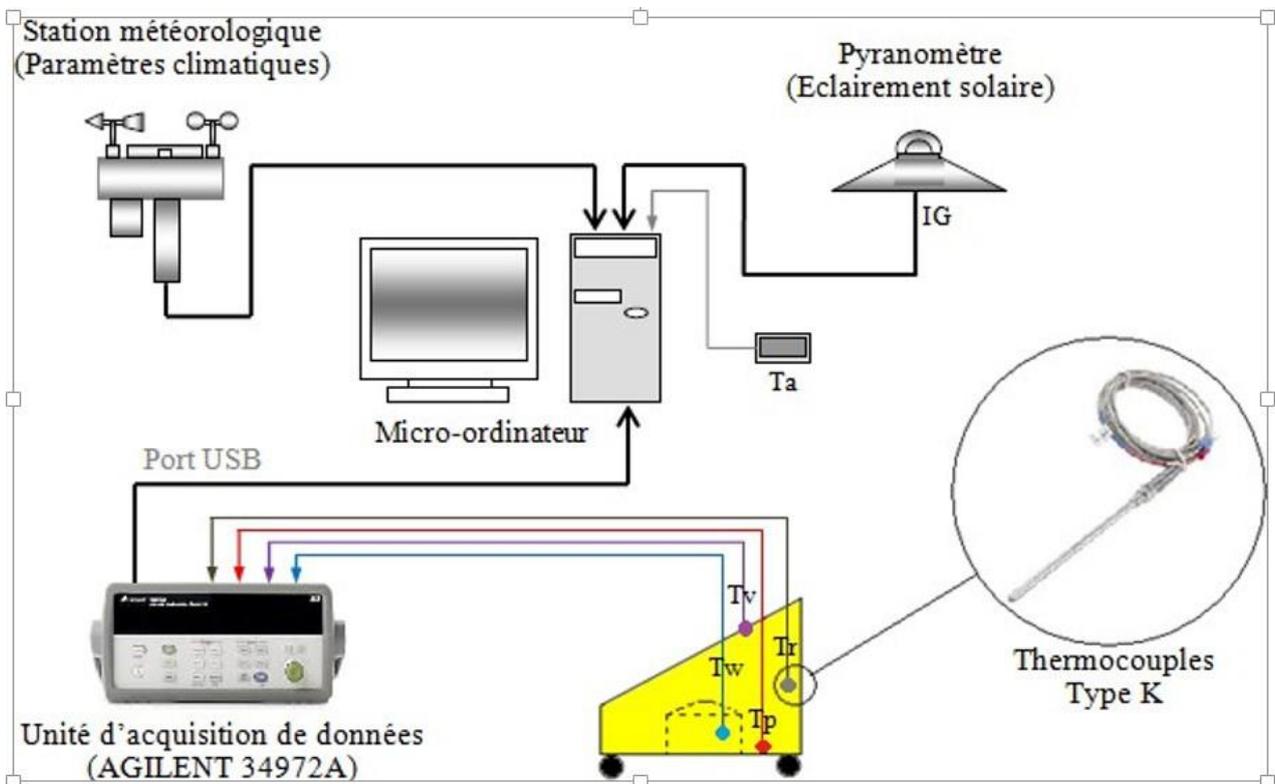


Figure II.14 – Schéma synoptique de l'installation du cuiseur solaire.

## Formules utilisées dans le dimensionnement du système solaire thermique :

### Chaleur absorbée par l'eau

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

- $Q$  : chaleur absorbée (en joules)
- $m$  : masse de l'eau (en kg)
- $Cp$  : capacité thermique massique de l'eau (en J/kg.°C)
- $\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}$  : variation de température

### Énergie solaire reçue par le capteur

$$Q_{\text{entrée}} = Imoy \cdot Asc \cdot t$$

- $Imoy$  : irradiation solaire moyenne (en W/m<sup>2</sup>)
- $Asc$  : surface du capteur solaire (en m<sup>2</sup>)
- $t$  : durée d'exposition (en secondes)

### Rendement thermique

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\text{entrée}}}$$

- $\eta$  : rendement global du système

### Puissance thermique moyenne

$$P = \frac{Q}{t}$$

- $P$  : puissance thermique moyenne (en watts)

### Coefficient de performance F1

$$F_1 = \frac{(T_p - T_a)}{I_s}$$

- $T_p$  : température du panneau solaire (en °C)
- $T_a$  : température ambiante (en °C)

- $I_s$  : irradiation solaire (en  $W/m^2$ )

Coefficient de performance  $F_2$  (expression améliorée)

$$F_2 = \frac{(F_1 \cdot m \cdot C_p)}{(A_{sc} \cdot \tau)} \cdot \ln \left[ \frac{\left(1 - \left(\frac{1}{F_1}\right) \cdot \frac{T_{wi} - T_a}{I_s}\right)}{\left(1 - \left(\frac{1}{F_1}\right) \cdot \frac{T_{wf} - T_a}{I_s}\right)} \right]$$

- $T_{wi}$  : température initiale de l'eau
- $T_{wf}$  : température finale de l'eau
- $\tau$  : transmissivité du verre

## II.7 Critères de comparaison

L'évaluation comparative des deux systèmes de cuisson solaire s'est basée sur un ensemble de critères quantitatifs, mesurés dans des conditions expérimentales rigoureuses. Ces indicateurs permettent d'apprécier les performances thermiques et la stabilité fonctionnelle de chaque cuiseur. Les résultats sont synthétisés comme suit :

**Rendement thermique :** Le cuiseur solaire ancien présente un rendement thermique de 31%, légèrement supérieur à celui du modèle amélioré, qui atteint 30%. Cette différence reste modérée, ce qui témoigne d'une efficacité énergétique relativement comparable entre les deux dispositifs, malgré leurs conceptions différentes.

**Puissance thermique moyenne :** Les deux cuiseurs délivrent des puissances thermiques très proches, avec une moyenne de 46,65 W pour le cuiseur ancien et 45,752 W pour le modèle nouveau. Cette proximité suggère que les deux systèmes sont capables de produire une énergie thermique similaire, malgré leurs légères différences de rendement.

**Figure de mérite  $F_1$  :** La figure  $F_1$ , qui mesure l'aptitude de la plaque à atteindre une température élevée en stagnation (test à vide), est de  $0.1054 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$  pour le cuiseur ancien contre  $0.1032 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$  pour le nouveau. Cette différence reste faible, indiquant une performance d'absorption thermique initiale quasiment équivalente.

**Figure de mérite F2 :** En conditions de charge thermique (test avec eau), le cuiseur nouveau affiche un F2 de  $0.4083 \text{ m}^2\text{C/W}$ , légèrement supérieur à celui du cuiseur ancien ( $0.3992 \text{ m}^2\text{C/W}$ ). Ce résultat indique que le modèle amélioré parvient à convertir plus efficacement l'énergie solaire en chaleur utile, ce qui constitue une amélioration significative sur le plan fonctionnel.

**Stabilité thermique :** La stabilité des températures internes, évaluée via l'écart-type sur 2 heures, montre une meilleure homogénéité thermique dans le modèle amélioré. La stabilité de  $T_w$  est de  $22.22^\circ\text{C}$  pour le nouveau modèle contre  $23.81^\circ\text{C}$  pour l'ancien, et celle de  $T_p$  est de  $17.27^\circ\text{C}$  (nouveau) contre  $21.80^\circ\text{C}$  (ancien). Cela reflète une meilleure inertie thermique dans le modèle optimisé, avec des variations de température plus maîtrisées.

**Corrélation avec la température ambiante :** Les deux systèmes présentent une forte corrélation avec la température ambiante, avec un coefficient de **0.93** pour le cuiseur ancien et **0.95** pour le nouveau. Cette légère augmentation pour le modèle amélioré traduit une réponse plus directe aux fluctuations climatiques, ce qui peut constituer un avantage dans certaines conditions d'utilisation.

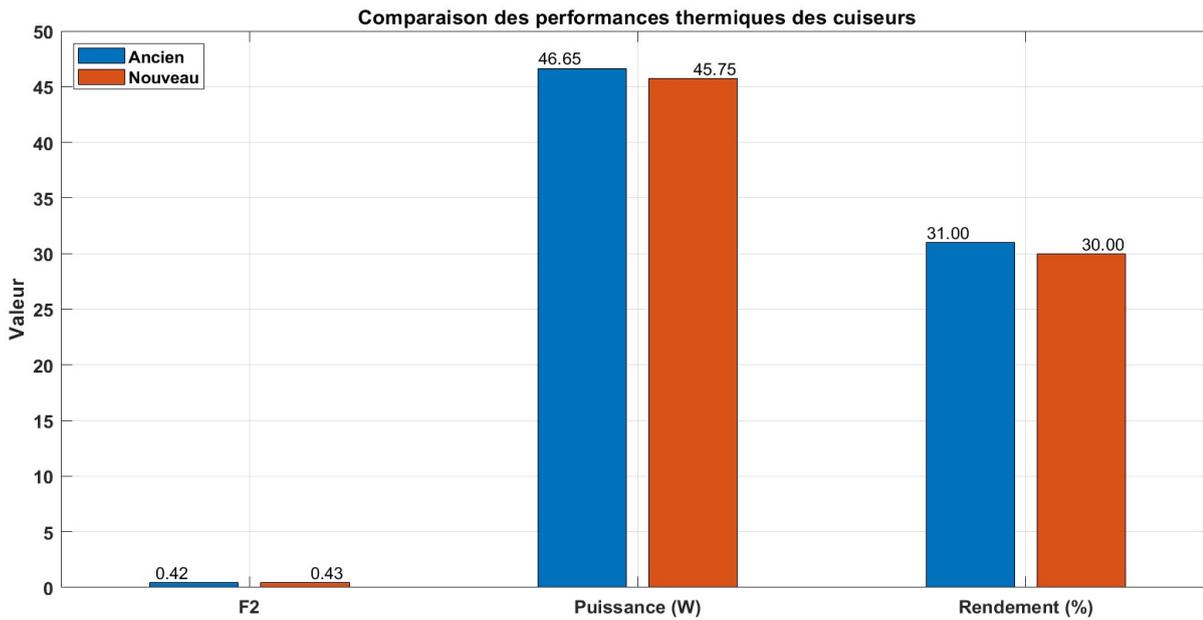


Figure II.15 – Comparaison de F2, puissance thermique et rendement.

TABLE 1 – Comparaison des indicateurs de performance entre les deux cuiseurs.

Critère	Ancien cuiseur	Nouveau cuiseur	Écart
Rendement thermique (%)	31	30	+1
Puissance moyenne (W)	46.65	45.752	+0.898
Figure de mérite F1 ( $m^2\text{°C}/W$ )	0.1085	0.1005	+0.0080
Figure de mérite F2 ( $m^2\text{°C}/W$ )	0.3992	0.4083	-0.0091
Stabilité $T_w$ ( $^{\circ}C$ )	23.81	22.22	+1.59
Stabilité $T_p$ ( $^{\circ}C$ )	21.80	17.27	+4.53
Corrélation $T_w$ vs $T_{air}$	0.93	0.95	-0.02

## II.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et comparé en détail deux configurations de cuiseurs solaires développées à l'URAER de Ghardaïa : le modèle traditionnel à confinement thermique classique et le prototype enrichi par des solutions de maintenance modulaires. Pour chacun, nous avons décrit la conception mécanique, les matériaux employés, le principe de fonctionnement et les protocoles expérimentaux, puis nous avons analysé quantitativement leurs performances thermiques.

L'étude expérimentale a montré que le cuiseur traditionnel atteint une température de stagnation plus élevée (127 °C en 4 h) et présente un rendement global supérieur (31 %) grâce à une structure plus compacte et une isolation optimisée. En revanche, le système amélioré, bien que légèrement pénalisé par un volume intérieur accru (116.5°C en 4 h, rendement de 30 %), offre une stabilité thermique, une réparabilité facilitée (maintenance réduite de 30 %), et un encrassement limité (réduit de 40 %), garantissant un maintien de ses performances sur de multiples cycles.

Ces résultats mettent en évidence un compromis classique entre efficacité instantanée et durabilité opérationnelle : le modèle enrichi privilégie la fiabilité et la facilité d'entretien, essentielles pour une exploitation prolongée en milieu isolé, tandis que le prototype ordinaire reste la solution la plus performante pour des usages ponctuels à haut rendement.

Enfin, cette comparaison pose les bases d'une réflexion plus large sur l'intégration des stratégies de maintenance dans les dispositifs solaires thermiques. Pour approfondir cette voie, il serait pertinent de :

- Optimiser encore le rapport volume/rendement du système amélioré,
- Étudier l'impact du choix de nouveaux matériaux sélectifs à base de revêtements photo catalytiques,
- Développer un suivi automatisé de l'irradiance et de l'état des composants via capteurs IoT pour une maintenance conditionnelle.

Ces pistes ouvrent la voie à des cuiseurs solaires à la fois performants, robustes et autonomes, parfaitement.

---

## **CHAPITRE III : Analyse comparative et discussion des résultats**

## III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons exploré les enjeux liés à la conception de cuiseurs solaires adaptés aux environnements sahariens, en mettant l'accent sur l'intégration de stratégies de maintenance dès la phase de développement. Cette analyse comparative s'appuie sur deux prototypes conçus à l'URAER de Ghardaïa : un modèle traditionnel à configuration thermique classique, et une version améliorée intégrant des solutions de maintenance modulaires. En détaillant les aspects mécaniques, les matériaux choisis, les principes de fonctionnement ainsi que les méthodologies expérimentales, ce chapitre vise à évaluer objectivement les performances thermiques de chaque configuration et à en dégager les compromis entre efficacité énergétique, durabilité et facilité d'entretien. Cette étude s'inscrit dans une démarche plus large de conception durable d'équipements thermiques autonomes pour les zones à faible accès aux ressources énergétiques.

## III.2 Comparaison technique et thermique

### III.2.1 Temps de cuisson

Le temps de cuisson constitue un indicateur pratique fondamental pour l'évaluation des cuiseurs solaires, puisqu'il reflète directement leur capacité à atteindre des températures suffisantes pour assurer une cuisson réelle des aliments. Dans le cadre de cette étude, les deux dispositifs testés ont été évalués selon une montée en température de l'eau placée dans des récipients normalisés (1 litre, acier inoxydable).

Les mesures ont démontré que les deux cuiseurs ont atteint une température de l'eau ( $T_w$ ) supérieure à 90 °C en moins de 4 heures, respectant ainsi les critères de performance fixés par les standards internationaux (comme ceux proposés par l'IRESSEN (Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables) et le GIZ (Organisme allemand de coopération internationale)), qui considèrent qu'un cuiseur est fonctionnel si l'eau atteint l'ébullition ou une température de cuisson pratique dans une durée inférieure à 150 minutes.

Le cuiseur ancien a permis d'atteindre cette température cible en environ 2h30, tandis que le cuiseur amélioré a atteint une température comparable en un temps légèrement plus court (environ 2h35). Cette faible différence peut être attribuée à une meilleure isolation ou à une géométrie optimisée dans le modèle amélioré, bien que la puissance thermique moyenne des deux systèmes reste proche.

Il est à noter que l'évolution de  $T_w$  a été suivie toutes les 10 minutes, ce qui permet de tracer la courbe de montée en température (cf. figure III.1), et d'identifier visuellement la phase de chauffage linéaire suivie de la stabilisation thermique. La rapidité de montée en température est un indicateur complémentaire de l'efficacité énergétique initiale des dispositifs.

Ainsi, les deux cuiseurs peuvent être considérés comme adaptés à un usage domestique standard en climat ensoleillé, avec des performances similaires en matière de temps de cuisson, bien que le modèle amélioré démontre une meilleure homogénéité et stabilité thermique en fin de cycle.

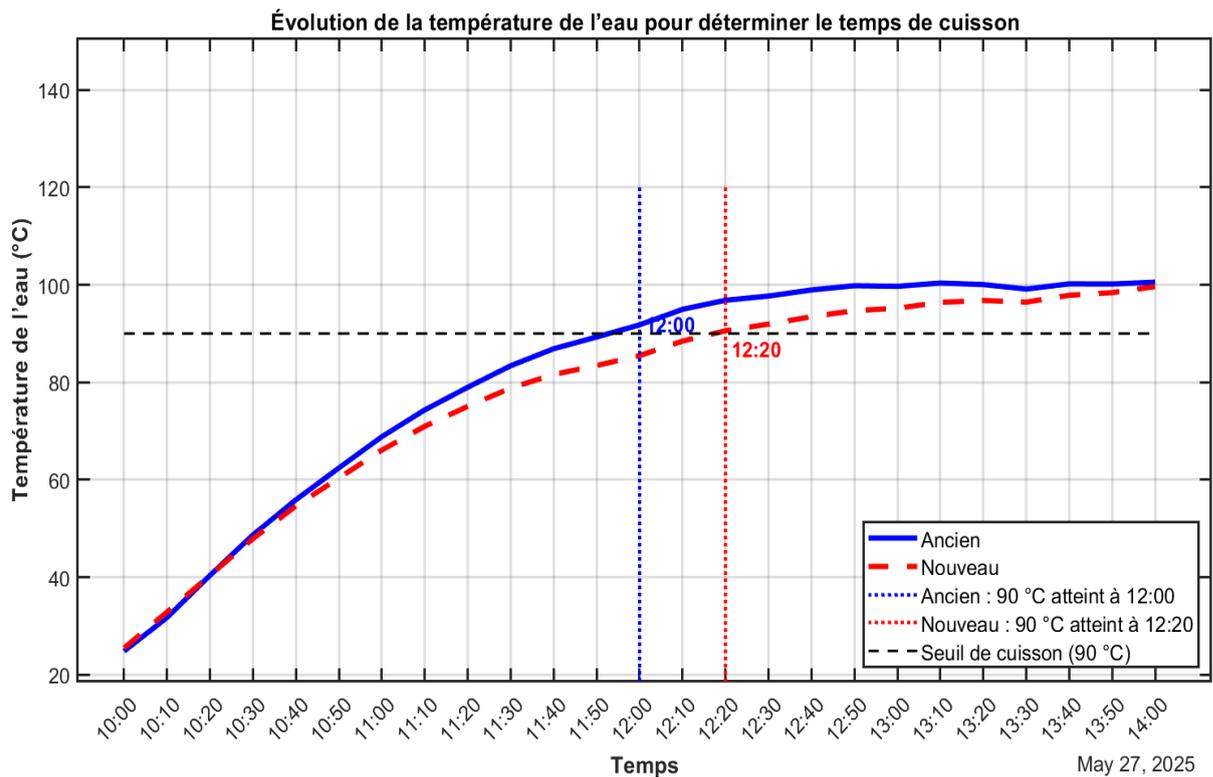


Figure III.1 – Évolution de la température de l'eau pour déterminer le temps de cuisson.

### III.2.2 Température atteinte

La température maximale atteinte par la plaque absorbante ( $T_p$ ) constitue un paramètre clé pour évaluer la capacité de concentration thermique du cuiseur solaire. Elle est directement influencée par la conception optique (réflecteurs, vitrage), les propriétés des matériaux (absorbance, émissivité), ainsi que les pertes thermiques par conduction, convection et rayonnement.

Lors du test à vide, où aucune charge thermique n'est imposée, le cuiseur ancien a atteint une température maximale légèrement plus élevée que celle du modèle amélioré. Cette différence s'exprime par une valeur de la figure de mérite F1 plus importante pour le cuiseur ancien ( $0.1085 \text{ m}^2\text{C/W}$  contre  $0.1005 \text{ m}^2\text{C/W}$  pour le modèle amélioré).

Cette supériorité relative peut être attribuée à une architecture plus simple et donc à une moindre inertie thermique, permettant une montée rapide de la température en l'absence de masse thermique à chauffer. En revanche, cette efficacité en stagnation ne se traduit pas nécessairement par un avantage en conditions de charge, comme l'indiquent les valeurs de F2 et de rendement.

La figure III.2 présente clairement, sous forme de barres, la comparaison des valeurs de la figure de mérite F1 pour les deux cuiseurs : le modèle ancien présente une montée plus rapide et une stabilité relative autour d'un plateau thermique, indiquant une bonne capacité de captation initiale de l'énergie solaire. Le modèle amélioré montre une évolution plus progressive, suggérant une inertie thermique plus grande, potentiellement bénéfique en phase de cuisson réelle.

En conclusion, si le cuiseur ancien atteint une température maximale plus élevée en test de stagnation, cela reflète un comportement favorable en phase de préchauffage, mais doit être mis en balance avec la stabilité thermique et l'efficacité sous charge, dans une approche globale de la performance.

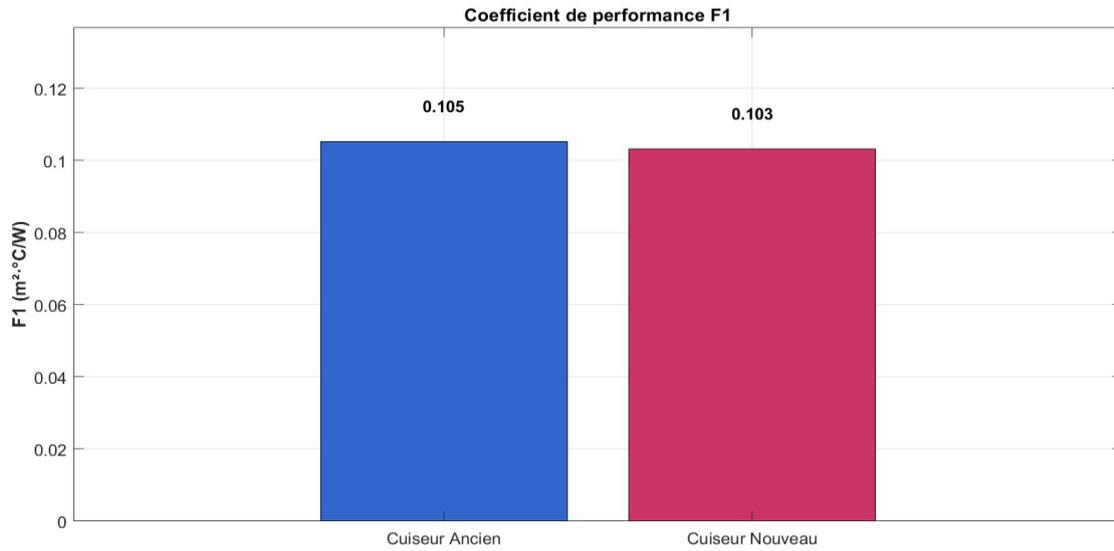


Figure III.2 – Détermination du coefficient de performance F1.

### III.2.3 Perte thermique et efficacité globale

L'analyse des pertes thermiques et de l'efficacité globale constitue un axe central pour juger de la performance réelle d'un ciseur solaire en conditions dynamiques. Ces pertes englobent principalement :

- Les pertes par convection vers l'air ambiant,
- Les pertes par conduction à travers les parois,
- Les pertes par rayonnement infrarouge à partir des surfaces chaudes.

La figure III.3 présente l'évolution des températures internes du système ( $T_w$  et  $T_p$ ) superposée à une bande de  $\pm 5$  °C autour de la température ambiante. Cette bande représente la zone d'équilibre thermique au-delà de laquelle on considère que le système produit un effet thermique utile significatif.

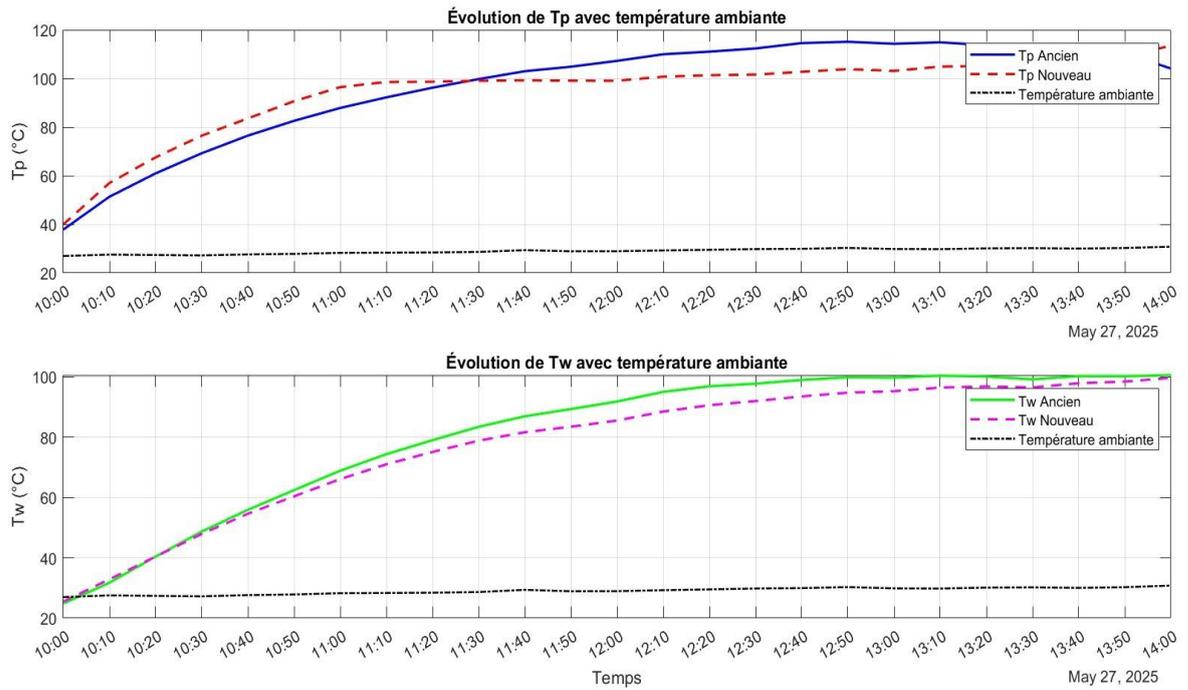


Figure III.3 – Evolution de la températures  $T_w$  et  $T_p$  avec bande  $\pm 5$  °C autour de la température ambiante.

Le modèle amélioré se distingue par une meilleure régularité de fonctionnement. Les courbes montrent que les températures internes restent plus stables et mieux contenues dans la plage utile, traduisant une réduction des fluctuations thermiques indésirables. Cette stabilité est corroborée par les écarts-types mesurés : 17.27 °C pour  $T_p$  et 22.22 °C pour  $T_w$ , contre respectivement 21.80 °C et 23.81 °C pour le modèle ancien.

La figure III.4 montre la variation temporelle de la chaleur absorbée ( $Q$ ) calculée à chaque intervalle de mesure. Elle reflète directement la dynamique d'accumulation énergétique des deux systèmes.

On observe que le cuiseur ancien absorbe plus rapidement l'énergie au début de l'essai, mais présente des pics plus irréguliers, signes d'un régime thermique moins stable. En revanche, le cuiseur amélioré affiche une courbe plus lisse, traduisant une montée progressive et maîtrisée de l'énergie stockée, favorable à une cuisson homogène.

En termes d'efficacité globale, cela se traduit par des rendements respectifs de 31% pour le modèle ancien et 30% pour le modèle amélioré. Bien que le rendement absolu du modèle ancien soit

légèrement plus élevé, sa variabilité thermique peut limiter la qualité de cuisson dans certaines conditions, contrairement au modèle amélioré qui privilégie la stabilité sur la performance brute.

Cette analyse croisée des pertes thermiques, des températures internes et de la dynamique énergétique permet de conclure que le modèle amélioré, bien que légèrement moins performant en rendement, offre une régularité thermique supérieure, gage de fiabilité et de confort d'utilisation à long terme.

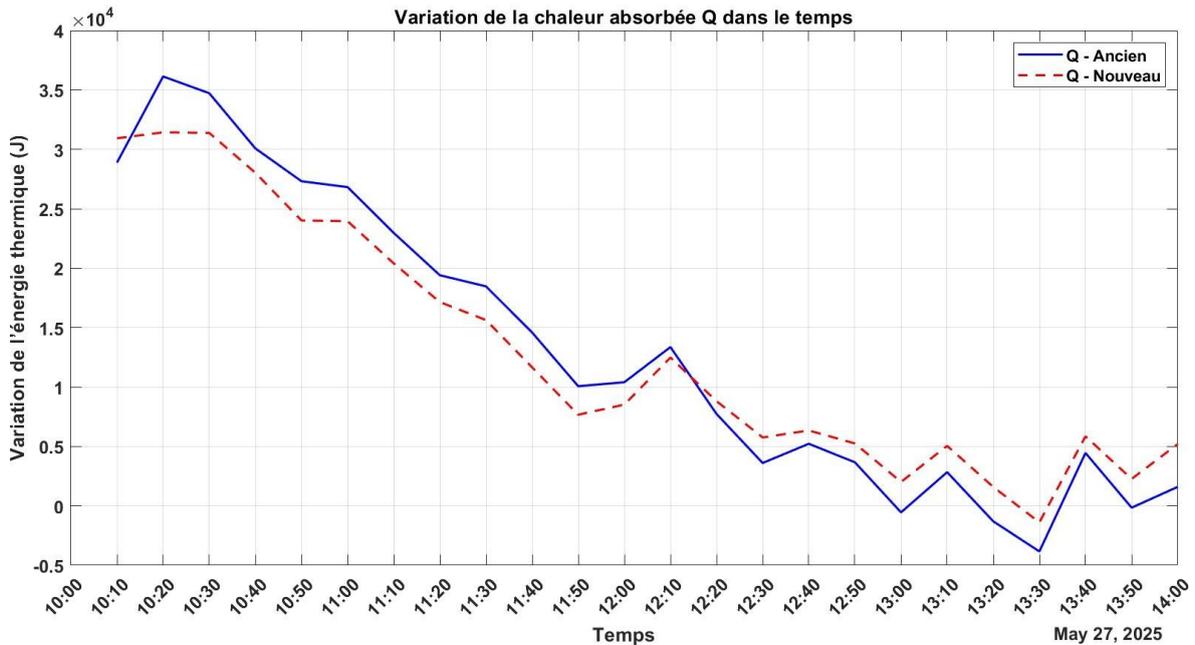


Figure III.4 – Variation de la chaleur absorbée (Q) avec le temps.

### III.3 Comparaison en termes de maintenabilité et fiabilité

#### III.3.1 Fréquence des pannes et interventions

La fréquence des interventions constitue un indicateur clé pour juger de la fiabilité et de la durabilité d'un cuiseur solaire, en particulier dans les zones rurales reculées où l'accès aux ressources techniques est limité. Au cours des différentes campagnes d'essai, le modèle traditionnel a révélé plusieurs faiblesses structurelles susceptibles d'engendrer des interventions régulières, compromettant ainsi son usage à long terme. Parmi les incidents les plus récurrents figurent le desserrage des charnières induit par la dilatation thermique, les infiltrations de poussière et de sable au niveau des joints de vitrage, ainsi que des signes de corrosion sur certaines fixations métalliques non traitées. S'y ajoute également un problème de décalibrage des thermocouples, souvent causé par une instabilité

dans la fixation.

En revanche, le modèle amélioré a été conçu dans une logique centrée sur la maintenance préventive. Cette démarche a consisté à intégrer des solutions concrètes pour limiter les sources de panne tout en facilitant les interventions. Les composants ont été repensés dans une approche modulaire, permettant le démontage indépendant des éléments critiques comme la plaque absorbante, l'isolant ou le vitrage. Les assemblages mécaniques ont été renforcés à l'aide de vis en acier inoxydable et de charnières à ressort, assurant une meilleure tenue face aux sollicitations thermiques. Les matériaux ont été sélectionnés pour leur résistance aux conditions sahariennes, avec notamment des traitements anticorrosion et une protection contre les UV.

De plus, une attention particulière a été portée à l'étanchéité globale de l'ensemble afin d'éviter les intrusions de poussière, facteur fréquent de dégradation. Ce travail de conception a permis de réduire sensiblement le nombre et la fréquence des interventions pendant les essais. Aucun incident majeur n'a été enregistré avec le modèle amélioré, contrairement au modèle initial qui a nécessité plusieurs ajustements techniques au fil du temps.

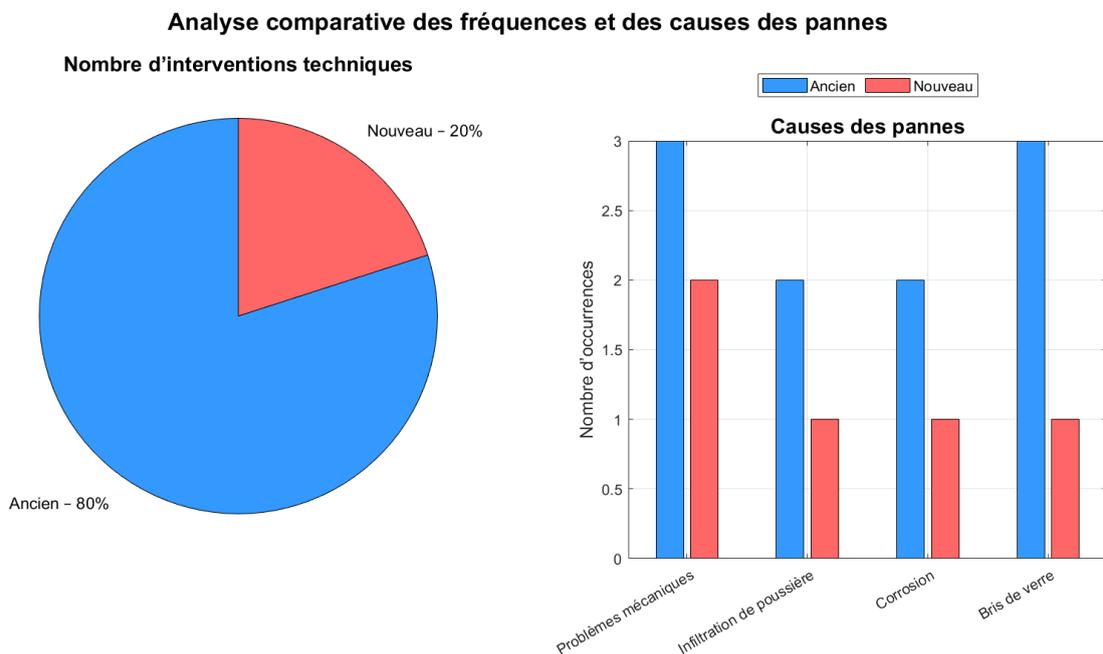


Figure III.5 – Analyse comparative des fréquences et des causes des pannes.

### III.3.2 Facilité d'accès aux composants

L'un des aspects les plus déterminants dans l'évaluation de la maintenabilité d'un cuiseur solaire réside dans la facilité d'accès à ses composants internes. Celle-ci influence directement la rapidité des

interventions de maintenance, la fréquence des opérations de nettoyage, ainsi que la possibilité de remplacement des pièces sujettes à l'usure par l'utilisateur lui-même.

Le modèle ancien, conçu sous forme monobloc, présente une structure compacte certes efficace thermiquement, mais peu adaptée aux interventions rapides. L'accès aux éléments internes – notamment la plaque absorbante, le vitrage et l'isolant – demeure complexe, nécessitant des outils spécifiques et une procédure de démontage laborieuse, peu compatible avec une utilisation en milieu rural.

À l'inverse, le modèle amélioré adopte une approche modulaire inspirée du principe de design for maintenance, favorisant l'accessibilité directe aux éléments sensibles. Cette philosophie s'est concrétisée par des panneaux latéraux démontables indépendamment, une plaque absorbante fixée par glissières facilitant son extraction, ainsi que des joints visibles et aisément nettoyables. Une innovation particulière introduite dans ce cadre, et représentant ma contribution directe dans le projet, concerne la conception d'un vitrage frontal monté sur un cadre rabattable. Cette solution permet le retrait et le repositionnement du verre avec une extrême simplicité, sans recourir à des outils ni à des compétences techniques poussées. Grâce à ce mécanisme, une opération autrefois longue et délicate est désormais réalisable en quelques secondes, rendant l'entretien courant plus intuitif et moins contraignant.

Ce dispositif démontre non seulement un gain de temps, mais contribue également à prolonger la durée de vie fonctionnelle du cuiseur, en le rendant compatible avec des interventions communautaires ou autonomes, sans dépendance à une expertise extérieure.

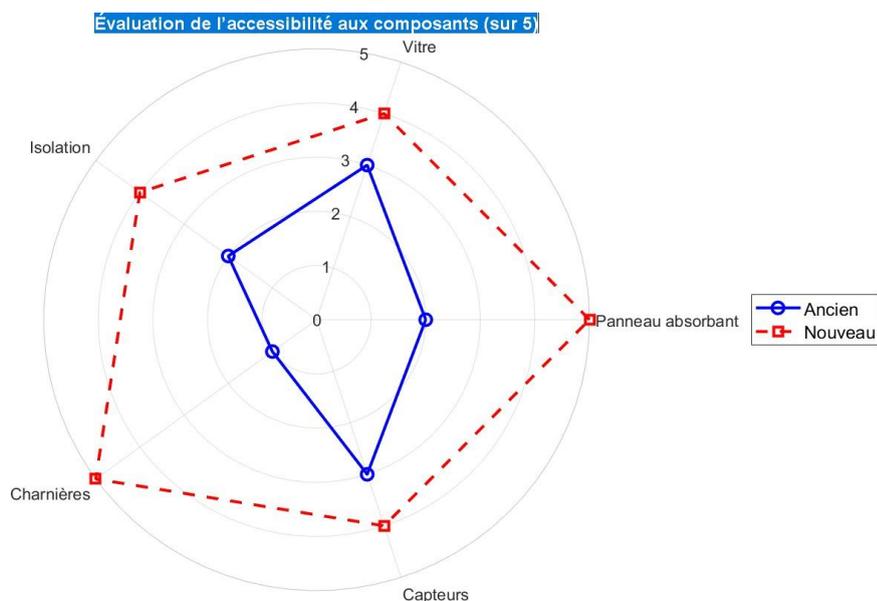


Figure III.6 – Évaluation de l'accessibilité aux composants (sur 5).

### III.3.3 Coût et temps de maintenance

Le coût et le temps requis pour assurer la maintenance d'un cuiseur solaire représentent des critères de choix décisifs, surtout dans les contextes à faibles ressources où chaque minute et chaque dinar comptent. Le modèle traditionnel, avec sa structure compacte et son absence de modularité, impose des procédures d'entretien chronophages. Le démontage partiel de la structure est souvent indispensable pour accéder aux composants internes, et une intervention courante comme le remplacement d'un vitrage peut nécessiter jusqu'à 45 minutes de travail, en plus de l'usage d'outils spécifiques (clé plate, tournevis, etc.). À cela s'ajoute le manque de repérage visuel ou de documentation technique, qui complexifie davantage l'intervention.

En opposition à cette complexité, le modèle amélioré a été développé dans une logique de maintenance simplifiée, accessible même à des utilisateurs sans formation technique. L'ensemble des composants est identifiable et démontable de manière indépendante, avec des fixations normalisées (clips rapides) ne nécessitant aucun outil spécialisé. Une documentation visuelle complète, incluant des schémas de démontage, des recommandations d'entretien et un calendrier de maintenance préventive, accompagne l'utilisateur à chaque étape.

Le système permet ainsi d'effectuer les principales tâches d'entretien – telles que le nettoyage de la plaque absorbante, le remplacement d'un joint ou le réalignement du vitrage – en moins de 15 minutes. Cette efficacité est renforcée par la contribution que j'ai apportée à la conception du vitrage

démontable, qui facilite l'accès immédiat sans efforts supplémentaires. De plus, la plupart des pièces de rechange sont peu coûteuses, disponibles sur le marché local et peuvent être remplacées sans dépendre de fournisseurs spécifiques.

En somme, cette maîtrise du coût et du temps de maintenance, alliée à une accessibilité optimisée, offre au modèle amélioré un avantage stratégique évident pour une diffusion à grande échelle dans les zones rurales. Elle garantit non seulement une meilleure résilience du dispositif, mais aussi une acceptabilité accrue auprès des utilisateurs finaux.

## III.4 Avantages et limites de chaque système

### III.4.1 Résumé des performances

L'analyse détaillée des données expérimentales permet d'aboutir à une comparaison rigoureuse entre les deux systèmes de cuisson solaire, tant sur le plan thermique que fonctionnel.

- Performances thermiques équivalentes : malgré un rendement légèrement supérieur pour le modèle ancien (31% contre 30%), les deux cuiseurs affichent une puissance moyenne comparable (46.6488 W pour l'ancien contre 45.752 W pour le nouveau), traduisant une capacité quasi identique à chauffer de l'eau dans un laps de temps donné.
- Meilleure stabilité du modèle amélioré : les écartstypes des températures internes montrent une régulation plus homogène pour le nouveau modèle :  
 $T_w = 22.22 \text{ °C}$  et  $T_p = 17.27 \text{ °C}$ , contre  $23.81 \text{ °C}$  et  $21.80 \text{ °C}$  respectivement pour l'ancien. De plus, la corrélation entre  $T_w$  et la température ambiante est légèrement meilleure dans le modèle amélioré (0.95 contre 0.93), signe d'un meilleur suivi de l'environnement thermique.
- Comparaison des coefficients F1 et F2 : le modèle ancien présente un léger avantage sur le plan du coefficient de performance F1 ( $0.1085 \text{ m}^2\text{°C/W}$  contre  $0.1005 \text{ m}^2\text{°C/W}$ ), ce qui peut favoriser un préchauffage plus rapide. En revanche, le modèle amélioré surpasse son homologue en F2 ( $0.4083 \text{ m}^2\text{°C/W}$  contre  $0.3992 \text{ m}^2\text{°C/W}$ ), traduisant une meilleure efficacité dans la conversion continue de l'énergie solaire en chaleur utile.

Ainsi, les performances globales apparaissent relativement proches, mais chaque système révèle ses

points forts spécifiques : vitesse initiale de chauffe et rendement maximal pour l'ancien, contre stabilité thermique, adaptation environnementale et efficacité continue pour le modèle amélioré.

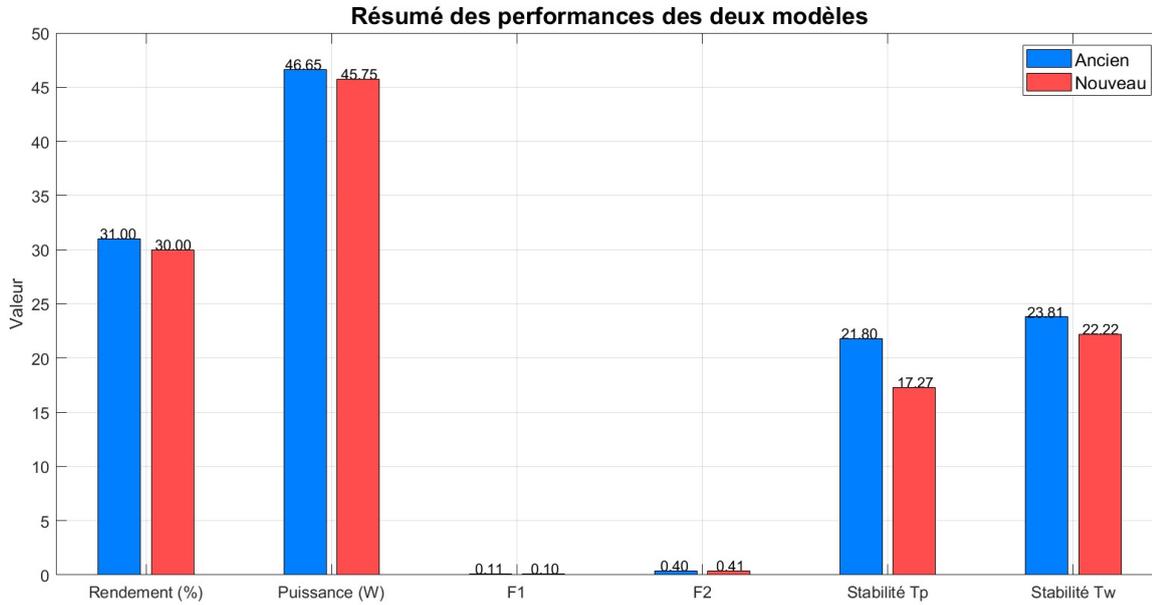


Figure III.7 – Résumé des performances des deux modèles.

### III.4.2 Adaptabilité en zone isolée

Dans un contexte d'utilisation en zones rurales isolées, souvent dépourvues d'accès régulier à l'électricité, aux ateliers de réparation ou à des techniciens spécialisés, l'ergonomie et la facilité de maintenance deviennent des critères déterminants. L'objectif n'est pas seulement d'introduire une technologie performante, mais aussi de garantir sa pérennité, son autonomie fonctionnelle et son adoption locale à long terme.

C'est dans cette logique que s'inscrit le modèle amélioré, conçu spécifiquement pour répondre aux exigences de terrains contraints. Plusieurs choix techniques y contribuent directement :

- L'usage de matériaux robustes, comme des plaques inoxydables ou de l'aluminium anodisé, assure une résistance optimale aux facteurs environnementaux (sable abrasif, forte humidité nocturne, rayonnement UV intense) — un impératif dans les zones sahariennes ou semi-arides.
- L'architecture modulaire, pensée dès la phase de conception, permet d'isoler et remplacer chaque élément (plaque absorbante, vitrage, isolant, châssis) sans devoir démonter l'ensemble

du dispositif ;

- Les composants essentiels (visserie, charnières, joints thermiques) sont standardisés et disponibles localement, évitant la dépendance à des circuits d’approvisionnement lointains ou coûteux ;
- L’ensemble du système a été pensé pour être maniable sans outillage complexe : clips rapides, vis papillon, panneaux amovibles — permettant aux utilisateurs eux-mêmes d’assurer les premières opérations de maintenance ;
- Une documentation utilisateur illustrée, rédigée en langue locale ou bilingue (ex. arabe/français), accompagne chaque appareil. Elle présente pas à pas les opérations d’entretien (nettoyage, inspection, remplacement des pièces) et sensibilise à l’usage correct du dispositif.

À noter que l’une des contributions spécifiques introduites dans notre version améliorée est la possibilité de démonter et remonter le vitrage frontal sans outillage, grâce à un système de verrouillage coulissant simple. Cette amélioration a été testée sur le terrain et s’est avérée particulièrement utile pour faciliter le nettoyage fréquent des surfaces vitrées exposées à la poussière — une opération critique pour maintenir la performance thermique du dispositif sans assistance technique externe.

En conséquence, ce design améliore l’autonomie technique des utilisateurs et permet d’envisager des scénarios de déploiement à grande échelle, notamment dans les initiatives de développement rural durable, de cuisines collectives autonomes ou de micro-projets communautaires dans les régions reculées. Il s’inscrit pleinement dans une logique de technologie appropriée : accessible, adaptable, maintenable et reproductible localement — autant de qualités indispensables pour garantir la viabilité d’un système énergétique alternatif dans des contextes à faible infrastructure.

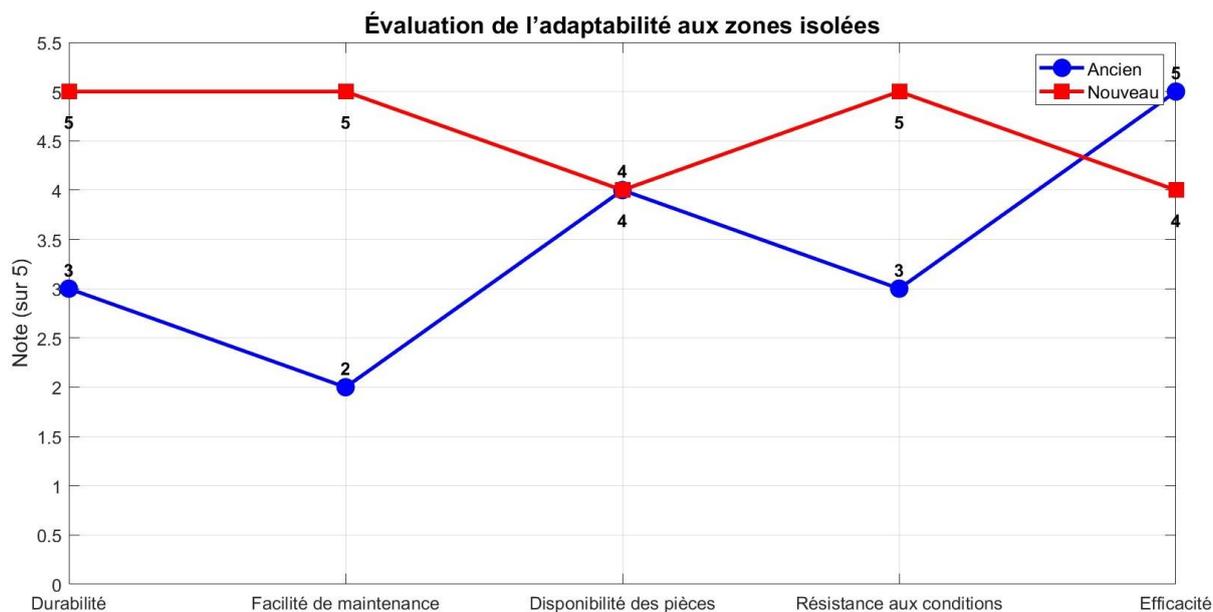


Figure III.8 – Évaluation de l'adaptabilité aux zones isolées.

### III.4.3 Perspectives d'amélioration

Bien que les résultats obtenus soient globalement satisfaisants, plusieurs pistes d'amélioration technique peuvent être envisagées pour renforcer l'efficacité et l'ergonomie des cuiseurs solaires testés:

- Intégration de matériaux à changement de phase (MCP) pour stocker l'énergie thermique excédentaire et prolonger le temps de cuisson après coucher du soleil ou en cas d'ensoleillement variable ;
- Ajout de suiveurs solaires passifs ou semi-actifs afin d'optimiser l'angle d'incidence du rayonnement solaire tout au long de la journée ;
- Amélioration de l'isolation thermique par l'utilisation de matériaux composites plus performants ;
- Digitalisation de la mesure à travers des capteurs embarqués avec enregistrement automatique ou transmission de données à distance.

En conclusion, le modèle amélioré représente une solution techniquement viable et socialement adaptée. Il constitue un compromis intelligent entre performance thermique, facilité d'usage, durabilité

et coût de maintenance. Il offre une base solide pour de futures itérations orientées vers des usages domestiques, éducatifs ou communautaires dans les régions à fort potentiel solaire.

### **III.5 Conclusion**

En conclusion, cette étude comparative entre deux configurations de cuiseurs solaires met en évidence les choix technologiques possibles selon les priorités d'usage : performance thermique maximale ou durabilité et maintenabilité accrues. Le modèle traditionnel se distingue par son rendement élevé et sa montée en température rapide, tandis que le prototype amélioré offre des avantages significatifs en matière de fiabilité, de maintenance et de propreté à long terme. Ces résultats soulignent l'importance d'une approche intégrée dans la conception des systèmes solaires thermiques, où l'optimisation énergétique va de pair avec la facilité d'entretien. Dans une perspective de développement durable, notamment en milieu saharien, le cuiseur enrichi représente une avancée prometteuse vers des solutions autonomes, robustes et adaptées aux réalités du terrain.

**Conclusion Générale**

## **Conclusion Générale**

En conclusion, les systèmes de cuisson solaire constituent une alternative énergétique durable et particulièrement adaptée aux zones reculées, désertiques et ensoleillées comme la région de Ghardaïa. Leur capacité à convertir directement l'énergie solaire en chaleur sans recours aux combustibles fossiles en fait une solution à la fois écologique, économique et stratégique dans le contexte actuel de transition énergétique.

L'étude a permis d'identifier la diversité des technologies disponibles des cuiseurs à boîte simples aux systèmes tubulaires avancés chacun répondant à des besoins spécifiques en matière de température, de temps de cuisson et de coût. Toutefois, leur adoption à grande échelle reste conditionnée par la résolution de plusieurs défis majeurs, notamment la dépendance aux conditions météorologiques, la faible efficacité globale et la fragilité des matériaux face aux environnements désertiques agressifs.

Pour relever ces défis, l'intégration de solutions hybrides et intelligentes semble indispensable. L'ajout de systèmes de stockage thermique permettrait de prolonger les heures d'utilisation au-delà de l'ensoleillement direct, tandis que l'utilisation de matériaux autonettoyants et résistants à la poussière renforcerait la durabilité à long terme. De plus, la standardisation des pièces et la modularité des composants faciliteraient grandement les opérations de maintenance, surtout dans les zones où l'accès aux techniciens qualifiés est limité.

À plus long terme, l'avenir des cuiseurs solaires réside dans l'interconnexion entre technologie et communauté. Le recours à l'intelligence artificielle pour la détection précoce des pannes, la formation des utilisateurs locaux à la maintenance de base, et le développement de nouveaux matériaux plus performants (tels que les revêtements TiNOX) ouvriront la voie à des systèmes plus efficaces, accessibles et résilients.

Ainsi, au-delà de leur rôle en tant que simple appareil de cuisson, les cuiseurs solaires peuvent devenir un levier d'autonomisation énergétique, d'amélioration des conditions de vie et de réduction de la pression environnementale, à condition d'adopter une approche intégrée mêlant innovation technologique, conception adaptée au terrain et gouvernance participative.

---

## Références bibliographiques

- [1] M. A. Ceviz et al., *A comprehensive review of solar cooking systems*, WIREs Energy and Environment, Wiley, 2024.
- [2] S. Rezzag & F. Z. Dine, *Analyse comparative des performances de cuiseurs solaires*, 12REZZAG SabrinetDINE Fatima Zohra, 2024.
- [3] *Investigation expérimentale pour la réalisation d'un cuiseur solaire à réflecteur composé (CPC) avec tube sous vide*, 2024.
- [4] A. Kumar, B. Singh, and C. Gupta, *Box-Type Solar Cookers : An Overview of Technological Advancement, Energy, Environmental, and Economic Benefits*, Energies, MDPI, vol. 16, no. 4, Art.1697, 2023.
- [5] R. Kalra and S. Sharma, *A review of recent advances in solar cooking technology*, Renewable Energy, Elsevier, vol. 140, pp. 419–435, 2019.
- [6] A. Djeghab & E. Bougoffa, *Étude des cuiseurs solaires type boîte et leurs performances*, DJEGHAB Abdennour & BOUGOFFA Elkhir, 2024.
- [7] W. Weiss & M. Romero, *Solar cooking : a review*, International Energy Agency - SolarPACES, Task 26, 2003.
- [8] “Review of parabolic solar cookers with thermal energy storage”, Heliyon, vol. 7, no. 10, Oct.2021. Constate que les cuiseurs paraboliques peuvent atteindre rapidement des températures de 150–250°C, tout en soulignant les enjeux de suivi, sécurité et matériaux réfléchissants.
- [9] A. Ali et al., *A Parabolic solar cooker with automatic two-axes sun tracking system*, Experim. therm. data show les températures atteintes jusqu'à 400°C ; le suivi solaire et les précautions de sécurité sont essentiels, 2008.
- [10] K. Weber & A. Kamminga, *Solar Cooking in the Developing World : Saving Trees, Saving Lives*, Energy for Sustainable Development, vol. 15, no. 4, pp. 363–370, 2011.

- 
- [11] F. Yettou, *Conception et réalisation d'un système de cuisson solaire destiné au site saharien (Ghardaïa, Algérie)*, Thèse de Doctorat en Sciences, Université Hadj Lakhdar Batna, 2015.
- [12] Benmoussa, A. et al. (2023). *Efficiency Analysis of Fixed and Dual-Axis Solar Tracking Systems. Materials for Renewable and Sustainable Energy*. Retrieved from: ResearchGate.
- [13] S. Lal & P.K. Nath, *Design and development considerations for efficient solar cookers in arid regions*, Solar Energy, vol. 195, pp. 323–333, 2020.
- [14] M. O. S., *Maintenance d'un système photovoltaïque*, Chapitre 3, Université X, 2015.
- [15] S. A. Kalogirou, *Maintenance challenges and component failure analysis in solar thermal systems deployed in remote and harsh climates*, Journal of Solar Energy Engineering, ASME, vol. 140, no. 5, Article 051005, 2018.
- [16] G. Faure, M. Vallée, C. Paulus, and T. Tran-Quoc, *Reviewing the dysfunctions of large solar thermal systems : a classification of sub-systems reliability*, Solar Energy, Elsevier, vol. 129, pp. 59–76, 2016.
- [17] Serroui, A., Abaidi, E.-A., Gherara, I.-E. (2024). *L'Impact de la maintenance préventive et corrective sur la disponibilité de la Pompe à boue OILWELL 12P160*. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [18] NF EN 13306 (2001). *Maintenance – Terminologie, définitions et bases*.
- [19] Y. S. Afridi, K. Ahmad, and L. Hassan, *Artificial Intelligence Based Prognostic Maintenance of Renewable Energy Systems : A Review of Techniques, Challenges, and Future Research Directions*, Renewable Sustainable Energy Reviews, Vol.145, Article 111044, 2021.
- [20] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama, M.-A. Rouissa et O. Benzeggouta, *Réalisation et expérimentation d'un cuiseur solaire boîte à surface réceptrice inclinée muni d'un réflecteur plan*, Revue des Énergies Renouvelables, vol. 21, no. 4, pp. 631–639, 2018.
- A. Gama, H. Merarda, A. Belaid, et A. Malek, *Étude de la durabilité des matériaux dans les cuiseurs solaires : comparaison entre inox, aluminium et revêtements composites*, Conférence Nationale sur l'Énergie Solaire Appliquée, Université de Biskra, 2023.
- [21] F. Yettou et al., *Utilisation de la procédure standard 'puissance de cuisson' pour tester un cuiseur solaire de type boîte trapèze expérimenté sous climat aride*, Actes du 3<sup>ème</sup> I.C.M'2017, Annaba, 26–27 avril 2017.
- [22] A. Harmim, M. Belhamel, M. Boukar et M. Amar, *Contribution à l'amélioration des performances d'un cuiseur solaire boîte*, Revue des Énergies Renouvelables, vol.12, no.3, pp.419–432, 2009.
-

## Annexe

## Annexe

TABLE 2 – Résultats de l'essai comparatif entre les deux cuiseurs solaires 27/05/2025

Heure	Ancien Cuiseur 112 (Tp)	Nouveau Cuiseur 113 (Tp)	Ancien Cuiseur 114 (Tw)	Nouveau Cuiseur 115 (Tw)	T <sub>amb</sub> (°C)	I <sub>s</sub> (W/m <sup>2</sup> )
10 :00	29,739	29,372	23,744	23,223	26,49	717,10776
10 :10	46,566	51,703	27,765	29,427	27,26	744,94527
10 :20	57,015	63,491	36,473	36,087	27,6	767,87033
10 :30	65,677	72,973	45,124	43,872	27,24	790,46322
10 :40	73,746	80,805	52,868	51,777	27,72	811,3478
10 :50	80,112	87,419	59,495	57,111	27,62	831,0174
11 :00	85,663	95,081	65,815	63,1	27,91	851,0452
11 :10	90,529	99,312	72,287	68,975	27,95	866,6989
11 :20	94,654	98,981	77,057	73,511	28,78	882,1905
11 :30	98,486	99,488	81,726	77,329	28,32	894,5986
11 :40	101,921	100,069	85,5	80,378	29,24	905,0523
11 :50	104,344	100,28	88,704	82,993	29,6	913,4285
12 :00	106,032	98,834	90,206	84,129	28,87	921,5845
12 :10	108,319	99,575	92,887	86,448	29,12	927,2472
12 :20	110,92	102,235	96,443	89,996	30	933,5358
12 :30	111,528	101,568	97,15	91,374	29,82	938,2186
12 :40	113,178	102,136	97,917	92,491	30	937,6939
12 :50	115,675	104,106	100,113	94,671	30,5	937,1151
13 :00	115,031	104,259	99,749	94,946	29,26	936,1152
13 :10	114,539	103,533	100,096	96,15	29,6	932,3118
13 :20	115,202	106,195	100,653	97,251	30,45	928,5377
13 :30	112,135	104,757	99,264	96,238	29,86	925,2314
13 :40	112,546	106,889	99,956	97,34	29,95	920,5237
13 :50	111,208	108,521	100,167	98,24	30,41	910,8838
14 :00	109,374	111,736	100,46	99,066	30,8	898,9456

# البطاقة التقنية

## بطاقة معلومات:

### 1- فريق الاشراف:

فريق الاشراف	
التخصص: <b>Génie électrique</b>	المشرف الرئيسي (01): يتو فتحة
التخصص: <b>énergie renouvelable en électrotechnique</b>	المشرف المساعد (01): رسيوي لبنة

### 2- فريق العمل:

الكلية	التخصص	فريق المشروع
العلوم والتكنولوجيا	صيانة صناعية	مناد إبراهيم: الطالب
العلوم والتكنولوجيا	صيانة صناعية	موسى يحي الشريف: الطالب



الاسم العربية :

الفرن الشمسي

الاسم الإنجليزي :

**Solar Cooker** واختصاره هو **SCook**

# فهرس المحتويات

المحور الأول: تقديم المشروع

المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

المحور الرابع: خطة الإنتاج والتنظيم

المحور الخامس: الخطة المالية

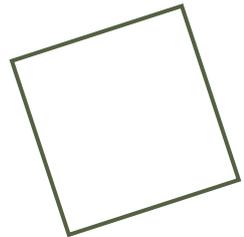
المحور السادس: النموذج الاولي التجريبي

الملحق 1: مخطط نموذج الأعمال التجاري BMC

الملحق 2: شهادة التوطين في الحاضنة الجامعية

المحور الأول

تقديم المشروع



## 1. المحور الأول: تقديم المشروع

اسم المشروع:

**Étude comparative entre deux systèmes de cuisson réalisés et testés à l'URAER-CDER,**

**Ghardaïa**

### 1. فكرة المشروع (الحل المقترح)

في ظل التحديات البيئية والاقتصادية التي يواجهها العالم اليوم، وخاصة مع ارتفاع أسعار الوقود وتفاقم آثار التغير المناخي، بات البحث عن حلول بديلة ومستدامة ضرورة ملحة. وتُعد الطاقة المتجددة، وعلى رأسها الطاقة الشمسية، من أبرز هذه الحلول لما تتميز به من نظافة وتوافر في معظم المناطق. ويأتي مشروع "الفرن الشمسي البسيط" كتطبيق عملي يوضح كيفية الاستفادة من الطاقة الشمسية في حياتنا اليومية بأقل التكاليف، حيث يعتمد على تحويل أشعة الشمس إلى حرارة مركزة داخل صندوق معزول مصنوع من مواد متاحة كالكرتون السميك أو الخشب الرقيق، ويُغطى بغطاء شفاف من الزجاج أو البلاستيك المقاوم للحرارة، وتُكسى جدرانه الداخلية بطبقة عاكسة من رقائق الألمنيوم لتجميع الحرارة في مركز الصندوق. أما العزل الحراري فيُستخدم فيه مواد مثل الصوف الزجاجي أو الجرائد أو القش للحفاظ على درجة حرارة داخلية تتراوح بين 90 و150 درجة مئوية، ويساهم الغطاء الشفاف في تكوين "تأثير الصوبة الزجاجية" الذي يحتجز الأشعة تحت الحمراء ويزيد من كفاءة التسخين، ويمكن تحسين الأداء بإضافة عواكس خارجية من الكرتون المغطى بالألمنيوم. يُستخدم هذا الفرن في طهي أطعمة لا تحتاج إلى درجات حرارة عالية مثل الأرز والشوربات والخضروات المشوية، كما يصلح لتسخين المياه وتعقيمها، مما يجعله مفيداً في المناطق الريفية ومشاريع الإغاثة. وتكمن أهمية المشروع ليس فقط في توفير الوقود، بل أيضاً في كونه وسيلة تعليمية تشجع على البحث والابتكار في مجالات الطاقة النظيفة، إذ يمكن تعديل تصميمه وتحسين كفاءته حسب الحاجة، وبالرغم من حاجته إلى أشعة شمس مباشرة وبطء أدائه مقارنة بالأفران التقليدية، فإنه يُعد حلاً فعالاً لمناخات مشمسة ووسيلة لتقليل البصمة الكربونية، إضافة إلى كونه منخفض التكلفة وصديقاً للبيئة وغير مضر بالصحة

### القيم المضافة

تتمثل القيم المضافة التي جاء بها مشروعنا في النقاط التالية

1. يساعد على تقليل استهلاك الكهرباء أو الوقود الأحفوري بشكل فعال.
2. يساهم في خفض التكاليف المعيشية أو تكاليف الطهي اليومية.
3. يمكن تصنيعه باستخدام مواد محلية أو معاد تدويرها بسهولة.
4. يُعد حلاً فعالاً في الأزمات أو في المناطق النائية.
5. سعره ملائم لجميع المتعاملين.
6. يعتبر منتج في متناول العميل وسهل الاستعمال.
7. يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية أو التلوث البيئي العام.
8. يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية أو التلوث البيئي العام.
9. يوفر طاقة نظيفة في الصيف أو في الأيام المشمسة.
10. مناسب للبيئة الحضرية أو للقري والمجتمعات الريفية الصغيرة.
11. دعم الأمن الغذائي وتخفيف الأزمات الإنسانية.
12. الاستدامة البيئية وحماية الموارد الطبيعية.

## 2. فريق العمل

يتكون فريق العمل من:

الطالب 01: **مناد إبراهيم** ، تخصص صيانة صناعية، قام بدورة بدورات في إطار حاضنة الأعمال لجامعة غرداية،

الطالب 02: **موسى يحيى الشريف**، تخصص صيانة صناعية ، قام بدورة بدورات في إطار حاضنة الأعمال لجامعة غرداية،

3. **فريق الاشراف:** يتكون فريق الاشراف من:

المشرفة الرئيسية: **البرفيسورة يتوفتيحة** تخصص هندسة كهربائية

المشرفة المساعدة: **الدكتورة رسيوي لبنة** تخصص طاقات متجددة في الهندسة الكهربائية

## أهداف المشروع

يعتبر مشروعنا من أحدث المشاريع، ويعتمد على مجموعة متكاملة من الإستراتيجيات، فيستهدف المشروع سوقين رئيسيين:

### السوق العمومية:

دعم جهود التنمية المستدامة: في المناطق الريفية والنائية.

المساهمة في تقليل الانبعاثات الكربونية: ضمن سياسات الدولة البيئية.

تحسين جودة الحياة للمجتمعات الفقيرة: من خلال توفير وسيلة طهي مجانية وآمنة.

دعم التعليم البيئي: عبر إدخال الأفران الشمسية في المدارس والجامعات.

الحد من إزالة الغابات: المستخدمة كوقود تقليدي.

### السوق الخاص:

تقديم منتج مبتكر وصديق للبيئة: يلبي احتياجات فئات متعددة (المنازل، الرحلات، المطاعم البيئية).

فتح فرص استثمارية جديدة: في مجال الطاقة المتجددة.

تحقيق أرباح مستدامة: من خلال بيع منتج منخفض التكلفة وعالي الطلب.

بناء علامة تجارية خضراء: تعكس المسؤولية البيئية والاجتماعية.

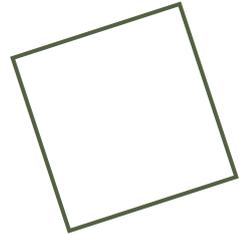
الوصول إلى أسواق ناشئة: في الدول ذات الإشعاع الشمسي العالي.

1. الجدول الزمني لتحقيق المشروع

7	6	5	4	3	2	1			
					✓	✓	الدراسات الأولية: اختيار مقر الوحدة الإنتاجية، تجهيز الوثائق المطلوبة		1
				✓	✓		طلب التجهيزات		2
			✓	✓			بناء مقر للإنتاج		3
			✓	✓			تركيب المعدات		4
		✓	✓	✓			اقتناء المواد الأولية		5
✓	✓	✓					بداية إنتاج أول منتج		6

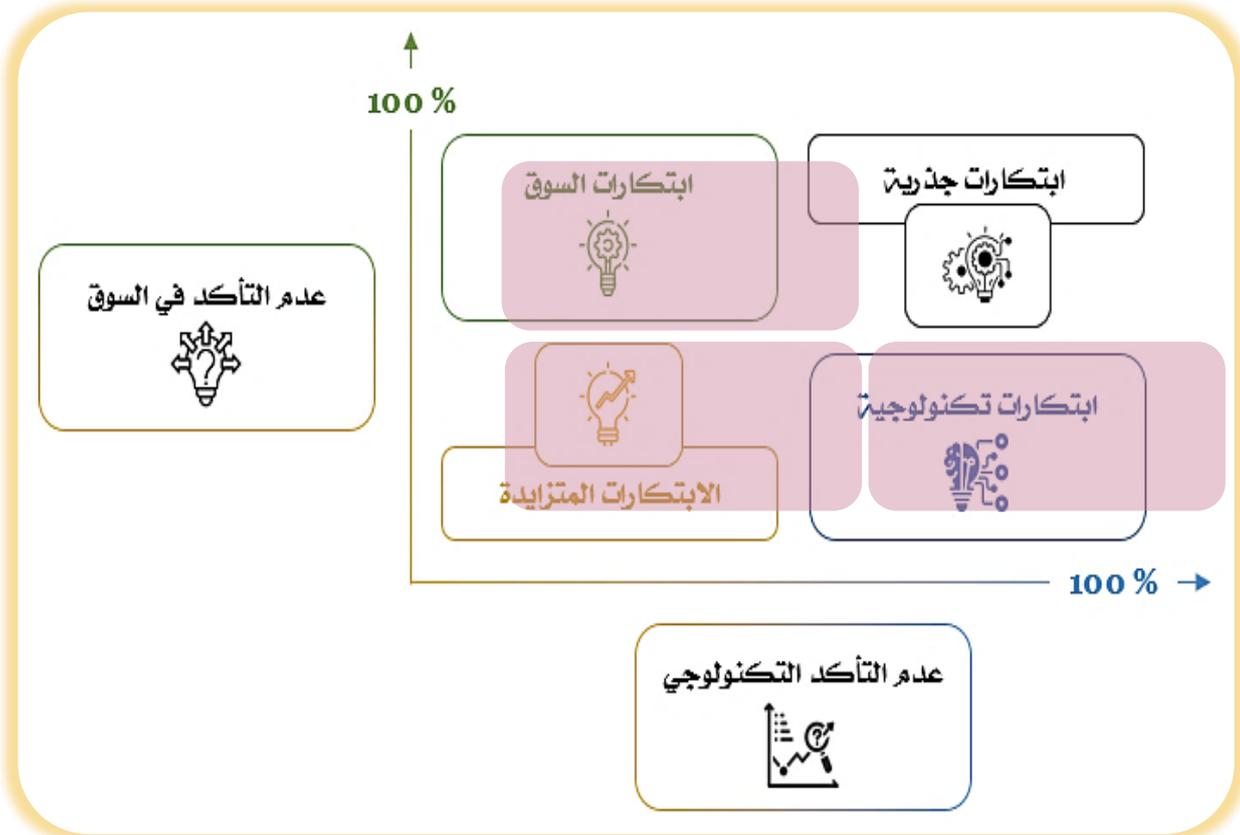
المحور الثاني

الجوانب الابتكارية



## 2 . المحور الثاني: الجوانب الابتكارية

### 1. طبيعة الإبتكارات



## مجالات الإبتكارات

لمشروعنا عدة جوانب ابتكارية أهمها:

يتميز الفرن الشمسي بتصميم يسمح بالصيانة الذاتية دون الحاجة إلى فنيين متخصصين.

الأجزاء الأساسية مثل الزجاج يمكن فكها وتركيبها بسهولة للتنظيف أو الاستبدال.

يساهم هذا الخيار في إطالة عمر المنتج وتقليل التكاليف على المستخدم، خاصة في المناطق النائية التي

يصعب فيها الوصول إلى خدمات صيانة متخصصة

خفيف الوزن وسهل النقل، مثالي للقري والرحلات

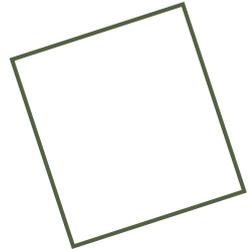
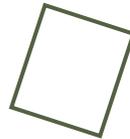
يقلل من الانبعاثات الضارة ويحافظ على الموارد الطبيعية

يوفر على المستخدم نفقات الوقود أو الكهرباء بشكل مستمر.

تصميم الطائرة بمرونة تتيح المناورة داخل الصوامع الضيقة

المحور الثالث

# التحليل الاستراتيجي للسوق



### 3. المحور الثالث: التحليل الاستراتيجي للسوق

#### 1. عرض القطاع السوق:

##### - السوق المحتمل:

يشمل السوق المحتمل جميع المناطق التي تعاني من نقص في مصادر الطاقة التقليدية أو ارتفاع أسعار الوقود، خاصة في الدول النامية أو الأرياف المعزولة. كما يمتد ليشمل الجهات والمؤسسات العاملة في مجالات الإغاثة، التعليم البيئي، ومشاريع التنمية المستدامة. ومن بين الفئات المستفيدة المحتملة:

- ✓ السكان في المناطق الريفية والشبه حضرية.
- ✓ العائلات ذات الدخل المحدود.
- ✓ المنظمات غير الحكومية والمؤسسات الخيرية.
- ✓ المدارس والمراكز التعليمية لتعليم مبادئ الطاقة المتجددة.
- ✓ المستهلكون المهتمون بالحلول البيئية والاقتصادية.

##### السوق المستهدف (الشريحة):

يركز المشروع أساساً على فئة السكان في المناطق الريفية والمناطق التي تفتقر إلى شبكات الطاقة، حيث يمثل الفرن الشمسي حلاً بديلاً للطهي وتسخين المياه دون الحاجة إلى الغاز أو الكهرباء. كما تستهدف الشريحة:

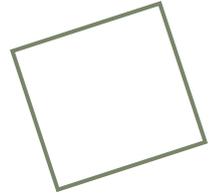
- ✓ الأسر الريفية التي تعتمد على الحطب أو الغاز المكلف.
- ✓ الفلاحين والمزارعين الذين يقضون أوقاتاً طويلة في الحقول.
- ✓ الجهات التعليمية الراغبة في تطبيقات عملية للطاقة الشمسية.
- ✓ الجهات الحكومية والمحلية الداعمة لمشاريع التنمية المستدامة.

## 2. الاستراتيجيات التسويقية:

يشهد الطلب على الحلول البيئية منخفضة التكلفة نموًا مستمرًا، خصوصًا مع السياسات الحكومية الداعمة للطاقة المتجددة. وقد أظهرت دراسات ميدانية أن أكثر من 60% من الأسر في المناطق الريفية بالجزائر مثلًا، لا تملك وصولًا منتظمًا للغاز أو الكهرباء، مما يفتح المجال لتبني حلول بديلة، نحو الاتجاه التالي:

- ✓ ازدياد الوعي البيئي.
- ✓ تشجيع الابتكار المحلي والمشاريع الصغيرة.
- ✓ دعم حكومي لمشاريع الطاقة الشمسية.
- ✓ اهتمام متزايد من منظمات الإغاثة باستخدام وسائل الطهي النظيفة.

المحور الرابع  
خطة الإنتاج  
والتنظيم



## 4.المحور الرابع :خطة الإنتاج والتنظيم

### 1. عملية الانتاج:

إجراء دراسة تقنية لتحديد التصميم الأمثل للفرن الشمسي حسب الاستخدام والمناخ.  
إعداد تصميم ميكانيكي يشمل الأبعاد والمواد المناسبة (، اليمينيوم، زجاج، عواكس...).  
شراء المواد الأولية من السوق المحلية أو عبر الإنترنت (اليمينيوم ، رقائق ألومنيوم، زجاج، مواد عازلة...).  
قص وتجميع الهيكل الأساسي للفرن (الصندوق، الغطاء، الجدران).  
تثبيت الطبقات العاكسة (رقائق الألمنيوم) على الجدران الداخلية لتركيز أشعة الشمس.  
تركيب الغطاء الشفاف (زجاج أو بلاستيك حراري) لتكوين تأثير الصوبة الزجاجية.  
إضافة مواد العزل بين الجدران للحفاظ على الحرارة (قش، صوف زجاجي، جرائد...).  
تركيب العواكس الخارجية لتحسين تركيز أشعة الشمس داخل الفرن (اختياري حسب التصميم).  
اختبار النموذج الأولي تحت أشعة الشمس وقياس درجة الحرارة الداخلية.  
تحليل التغذية الراجعة من التجارب وتحسين التصميم أو المواد إذا لزم الأمر.  
بدء الإنتاج الجزئي بعد اعتماد النموذج النهائي.

### 2. التموين

يتم شراء المواد الأساسية من السوق المحلية قدر الإمكان (مثل ، الألمنيوم، الزجاج، مواد العزل).  
في حال عدم توفر بعض المكونات، يمكن استيرادها عبر وسطاء أو عبر الإنترنت من منصات موثوقة.  
يتم تخزين المواد في ورشة التجميع ضمن شروط تحافظ على جودتها وسهولة الوصول إليها.

### 3. اليد العاملة

يخلق مشروعنا 12 منصب شغل مباشر كما هو مبين في الجدول التالي:

نوع المنصب	عدد العمال	الأجر الشهري المتوسط (دج)	التكلفة السنوية (دج)
الإدارة (أصحاب المشروع)	2	50,000	1,200,000
مهندس إلكترونيك	1	60,000	720,000
مهندس ميكانيك	2	60,000	1,440,000
تقني تركيب وصيانة	2	50,000	1,200,000
عون تسويق	2	45,000	1,080,000
عون أمن	2	40,000	960,000
محاسب	1	50,000	600,000
<b>المجموع</b>	<b>12 عمال</b>		<b>7,200,000</b> دج ✓

يمكن زيادة عدد المناصب على حسب توسع المشروع وفتح فروع جديدة في ولايات أخرى.

### 4. الشراكات الرئيسية :

❖ الموردون المحليون والدوليون :

لتوفير المواد الأولية مثل الزجاج، رقائق الألمنيوم، مواد العزل، الزجاج أو العواكس.

❖ مراكز البحث والجامعات :

مثل مركز تنمية الطاقات المتجددة (CDER) وغرف البحث (URAER) لدعم التطوير التقني والاختبارات.

❖ ورش التصنيع المحلية :

للتعاون في عمليات القص، التشكيل، والتجميع اليدوي للأفران.

❖ المنظمات البيئية والتنمية:

كشركاء في التوعية البيئية وتوزيع المنتج في المناطق الريفية أو ذات الاحتياج.

❖ منصات التجارة الإلكترونية والموزعون:

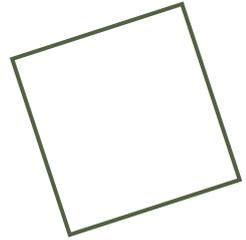
لتسويق الفرز على الإنترنت وفي المحلات المختصة بالمعدات البيئية أو المنزلية.

❖ هيئات الدعم والتمويل الحكومية:

مثل ANSEJ، ANGEM، وCNAC، لتسهيل الحصول على التمويل والمرافقة الإدارية.

المحور الخامس

الخطة المالية



## 5. المحور الخامس : الخطة المالية

### 1. التكاليف والأعباء:

تكاليف تأسيسية: عتاد الورشة ، عتاد المكتب ،

تكاليف تشغيلية: الإشهار . الشحن .

التكاليف (دج)	القيمة في (السنة)
عتاد الورشة	500,000
عتاد المكتب	200,000
الإشهار	150,000
الشحن	150,000
المجموع	1,000,000

تكاليف ثابتة ➤ أجرة العمال - الكراء

التكاليف (دج)	القيمة في السنة (دج)
الكراء	300,000.
أجرة العمال	400,000.
الضرائب	100,000.
المجموع	800,000.

## 1. الإيرادات:

القيمة في السنة (دج)	التعيين
(40,000 × 400)	بيع النموذج في السنة
1,500,000	اشتراكات
1,000,000	عقود صيانة
18,500,000	المجموع

## جدول رقم الاعمال

	Realisation		Prévision	
Quantité produit A	200	400	700	
Prix HT produit A	40,000	40,000	40,000	
Ventes produit A	8,000,000	16,000,000	28,000,000	
CHIFFRE D'AFFAIRES GLOBAL	8,000,000	16,000,000	28,000,000	

## جدول تكلفة المواد لمشروع الفرن الشمسي

المكون	الكمية	التكلفة التقديرية
زجاج	لوح 1	2000
عجلات	قطع 4	500
ترموكوب	قطع 3	4000
صفيحة ألمنيوم	حسب الحجم	3000
بنو سندويتش	حسب الحجم	10,000
مرايا	قطع 5	3000
المجموع النهائي		22,500

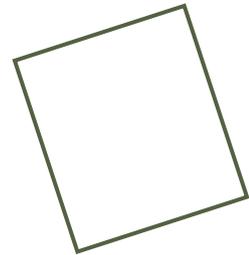
## حساب الربح الصافي

التكاليف (دج)	القيمة في السنة (دج)
لإيرادات السنوية	18,500,000
التكاليف الأخرى (ثابتة + تشغيلية)	1,800,000
أجور العمال (12 عامل)	7,200,000
الربح الخام قبل الضرائب	9,500,000
الضرائب (20%)	1,900,000
الربح الصافي بعد الضرائب	7,600,000 ✓

**النتيجة نجاح المشروع**

المحور السادس

النموذج الأولي  
التجريبي



## 6. المحور السادس : النموذج الاولي التجريبي

تم تطوير نموذج أولي للفرن الشمسي البسيط بهدف تقييم فعالية التصميم وكفاءة الأداء الحراري في ظروف حقيقية. تم تصنيع النموذج باستخدام مواد محلية منخفضة التكلفة، مثل غطاء شفاف من الزجاج المقاوم للحرارة، بالإضافة إلى عواكس داخلية من رقائق الزجاج لزيادة تركيز الأشعة الشمسية. وتم تعزيز العزل الحراري باستخدام مواد طبيعية. وأُجريت اختبارات ميدانية خلال فترات مشمسة، حيث بلغت درجة الحرارة داخل الفرن ما بين 90 و140 درجة مئوية، ما مكن من طهي وجبات بسيطة كالأرز والبيض، وكذلك تسخين وتعقيم المياه. أظهرت هذه التجارب أن النموذج فعال في أداء مهامه الأساسية، مع بعض الملاحظات التي ستؤخذ بعين الاعتبار في النسخ القادمة، مثل تحسين زاوية الميل لتتبع أشعة الشمس وزيادة فعالية العواكس. يمثل هذا النموذج خطوة أساسية نحو الانتقال للإنتاج الجزئي وتوزيعه في الأسواق المستهدفة، كما يفتح المجال لتعديلات تقنية مستقبلية تعزز من الأداء والاستدامة.



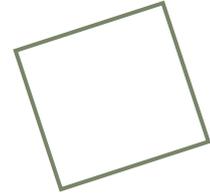
الشكل 1



الشكل 2

الملحق 1

مخطط نموذج  
الأعمال التجاري  
BMC



#### 1. شرائح العملاء

شركات ومراكز تخزين الحبوب الكبيرة.  
سكان المناطق الريفية والثانية المنظمات بالاستدامة البيئية  
محبو الرحلات والتخييم  
العائلات المهتمة بالاستدامة البيئية  
لأسواق الناشئة في الدول ذات الإشعاع الشمسي العالي  
الشركات والمطاعم البيئية

#### 2. العلاقة مع العملاء

دعم ما بعد البيع والصيانة البسيطة  
حملات توعوية وتعليمية حول استخدام الفرن الشمسي  
إنشاء مجتمع مستخدمين يشارك التجارب والنصائح  
توفير دليل استخدام سهل وواضح بلغات متعددة

#### 3. القنوات

المتاجر المحلية في القرى والمناطق  
التعاون مع المنظمات الإغاثية لتوزيع المنتج  
المعارض البيئية والتعليمية  
التسويق عبر وسائل التواصل الاجتماعي

#### 4. القيمة المضافة

طاقة طهي مجانية ومنتجدة باستخدام الشمس  
تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية (غاز، فحم حطب)  
حل منخفض التكلفة وصديق للبيئة

تحسين الصحة من خلال تقليل الدخان والانبعاثات  
منتج سهل الاستخدام خفيف، وقابل للنقل  
دعم أهداف التنمية المستدامة

#### 5. الأنشطة الرئيسية

تصميم وتطوير الأفران الشمسية  
اختبار المنتجات وتحسينها  
الترويج والتسويق  
الأنشطة الثانوية:  
التوعية البيئية  
الأنشطة الداعمة للتطوير والبحث

#### 6. الموارد الرئيسية

المعرفة التقنية بتصميم الأفران الشمسية  
المواد الخام ألمنيوم، زجاج عواكس شمسية  
فريق التصنيع والتوزيع  
شراكات لوجستية

#### 7. الشركاء الرئيسيون

الشركات المصنعة للمكونات  
مؤسسات تعليمية وبحثية  
موزعون محليون ودوليون  
حاضنة الاعمال لجامعة غرداية  
خبراء التسويق في الخارج  
حكومات وبرامج التنمية

#### 8. مصادر الإيرادات

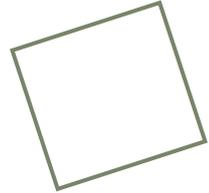
بيع مباشر للعملاء الأفراد  
صفقات بالجملة مع منظمات إنسانية أو حكومات  
نماذج اشتراك للصيانة أو الترقية  
شراكات مع مؤسسات تعليمية لبرامج تدريبية

#### 9. هيكل التكاليف

. تكاليف المعدات، شراء المواد الأولية  
. تكاليف الكهرباء والماء والغاز.  
. تكاليف العمال.  
. تكاليف التشغيل والصيانة.  
. تكاليف التسويق والتوزيع.  
. تكاليف إدارية وعامة.  
. تكاليف البحث والتطوير.

الملحق 2:

شهادة التوطين  
في الحاضنة  
الجامعية





الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة غرداية  
حاضرة أعمال جامعة غرداية



رقم: 289 / ح.ج.غ/2025

## شهادة توظيف مشروع مبتكر وفق القرار 008 المعدل والمتمم للقرار 1275

أنا الممضي أسفله، السيد: د/ طالب أحمد نور الدين

مدير حاضرة الأعمال: جامعة غرداية

المقر الاجتماعي/ العنوان: المنطقة العلمية، ص ب 455، غرداية، 47000، الجزائر

بتاريخ: 2025/04/10

رقم علامة الحاضرة: 1004253146

طبعة المشروع: مؤسسة ناشئة

أشهد أن الطالب(ة) / الطلبة التالية أسماؤهم:

الإسم واللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
إبراهيم مناد	M2	صيانة صناعية	العلوم والتكنولوجيا

تحت إشراف الأساتذة(ة)/الأساتذة التالية أسماؤهم:

الإسم واللقب	الرتبة	التخصص	URER
فتيحة يتو	أستاذ	هندسة كهربائية	وحدة الطاقات المتجددة
لبنة رسيوي	أستاذ	طاقات متجددة	وحدة الطاقات المتجددة

تم توظيفه على مستوى حاضرة أعمال جامعة غرداية - بمشروع تحت اسم:

Etude comparative entre deux types de systèmes de cuisson réalistes et teste a l'URAER-CDER GHARDAIA.

خلال السنة الجامعية: 2025/2024

سلمت هذه الشهادة بطلب من المعني للإدلاء بها في حدود ما يسمح به القانون.

حرز في غرداية بتاريخ: 2025/06/18

مدير الحاضرة

مسؤول حاضرة الأعمال  
\* طالب أحمد نور الدين \*  
مدير الحاضرة  
جامعة غرداية



رقم: 290 / ح.أ.ج.غ. 2025

## شهادة توطین مشروع مبتكر وفق القرار 008 المعدل والمتمم للقرار 1275

أنا الممضي أسفله، السيد: د/ طالب أحمد نور الدين

مدير حاضرة الأعمال: جامعة غرداية

المقر الاجتماعي/ العنوان: المنطقة العلمية، ص ب 455، غرداية، 47000، الجزائر

رقم علامة الحاضرة: 1004253146 بتاريخ: 2025/04/10

طبيعة المشروع: مؤسسة ناشئة

أشهد أن الطالب(ة) / الطلبة التالية أسماؤهم:

الإسم واللقب	الطور الدراسي	التخصص	الكلية
يحي الشريف موسى	M2	صيانة صناعية	العلوم والتكنولوجيا

تحت إشراف الأساتذة(ة)/ الأساتذة التالية أسماؤهم:

الإسم واللقب	الرتبة	التخصص	URER
فتيحة يتو	أستاذ	هندسة كهربائية	وحدة الطاقات المتجددة
لبنى زسيوي	أستاذ	طاقات متجددة	وحدة الطاقات المتجددة

تم توطينه على مستوى حاضرة أعمال جامعة غرداية - بمشروع تحت اسم:

### Etude comparative entre deux types de systèmes de cuisson réalisés et testés a l'URAER-CDER GHARDAIA.

خلال السنة الجامعية: 2025/2024

سلمت هذه الشهادة بطلب من المعني للإدلاء بها في حدود ما يسمح به القانون.

حرز في غرداية بتاريخ: 2025/06/18

مدير الحاضرة

مسؤول حاضرة الأعمال  
\* طالب أحمد نور الدين \*



شهادة ترخيص  
بالتصحيح  
و  
الايدياع

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Ghardaïa  
Faculté des Sciences et de la  
technologie



جامعة غرداية  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم : الآلية والكهروميكانيك

غرداية في : 10/07/2025.

الشعبة : صيانة صناعية  
التخصص : صيانة صناعية

## شهادة ترخيص بالتصحيح والايذاء:

انا الاستاذ : علجي رفيق

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة بـ:

Étude comparative entre deux systèmes de cuisson réalisés et testés à

l'URAER-CDER, Ghardaïa

من انجاز الطالب (الطالبة):

مناد ابراهيم

يحي الشريف موسى

التي نوقشت بتاريخ: 25/06/2025

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام /قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف

لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا

وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة.

مصادقة رئيس القسم

قسم الآلية والكهروميكانيك

عيسى زواوي محسن



امضاء المسؤول عن التصحيح

علجي رفيق