

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saâd Dahlab, Blida-1

Faculté de Technologie

Département des Énergies Renouvelables



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

EN ENERGIES RENOUVELABLES

OPTION: CONVERSION THERMIQUE

Thème :

**Effet du puisage sur les performances thermique
d'un chauffe-eau solaire**

Par : SAYAH Mansour Abd el hamid

Soutenu le **04/10/2021** devant le jury compose de:

MERZOUK Mustapha..... Pr USDB Président

ALAMI Ahmed Dr USDB Examineur

MEHALAINE Kociela Dr USDB Examineur

LAFRI Djamel Dr USDB Promoteur

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ وَالصَّلٰوةِ وَالسَّلَامِ عَلٰی سَیْدِنَا مُحَمَّدٍ النَّبِیِّ الْاَمِیْنِ

Dédicace

*À mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont
été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours,*

À ma sœur et mes frères

À toute ma famille

À tous mes enseignants

À mon encadreur

À tous mes amis et mes collègues

À Toute la famille du département d'Énergie renouvelable

Je dédie ce modeste travail

Mansour

Remerciements

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur, Monsieur **LAFRI Djamel**. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Je tiens également à remercier monsieur **DOUMAZ Toufik** pour son aide précieuse dans la réalisation du modèle expérimental.*

*Je remercie aussi tous **les membres du jury** d'avoir accepté de lire Ce manuscrit et apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de ce mémoire.*

*Je remercie beaucoup tous les enseignants qui m'ont enseigné durant mon parcours académique, mention spéciale aux enseignants de **spécialité conversion thermique**.*

*Je n'oublie pas non plus de remercier ma chère famille, mes très chers parents, qui ont toujours été là pour moi, ma petite sœur **ahlem**, et mes frère **màmer**, **abdelmomen** et **nouredie** pour leurs encouragements.*

Enfin, je remercie tous mes amis et mes collègues de promotion 2020 – 2021 de département d'énergie renouvelable qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Résumé

L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire par les systèmes de chauffe-eau solaire qui est considéré aussi les systèmes le plus simple pour le chauffage de l'eau sanitaire.

Leur performances thermique dépendent des paramètres thermo physiques du fluide caloporteur (température entrée et de sortie du fluide, température de stockage,) et des constituants du système (coefficient global de perte thermique du capteur.) et des paramètres météorologiques et radiométriques (rayonnement solaire, température ambiante.) mais aussi dépendent de la manière de la consommation de l'eau chaude qui trouve dans la cuve de stockage.

Dans ce travail nous avons étudié expérimentalement l'effet de puisage sur les performances thermique du chauffe-eau solaire local installé dans le département des énergies renouvelables de l'Université de Blida 1 pour trois déférence journée, à l'aide des thermocouples type **K** on contrôle l'évolution de température de fluide (l'eau) a la cuve de stockage, et on remarque que le système après chaque opération de puisage dépende un intervalle de temps pour rééquiper leur quantité de chaleur qui perdu, cette intervalle est déférence pour les trios essais à cause de la déférence paramètres météorologiques et radiométrique pour chaque journée et à cause de la température et la quantité d'eau de remplissage pour chaque puisage.

L'intérêt d'étude l'effet de puisage est teste l'efficacité de système et découvre leur problèmes de fabrication, et peut être donne des aides pour la consommation d'eau chaude de manière à ne pas perdre la charge de stockage thermique et déterminant la quantité et le temps appropriés pour le puisage, avec lesquels le système peut compenser la charge thermique qui en a été puisé. Afin que le système maintienne un stockage complet de la chaleur pour la phase de consommation a la nuit où il n'y a pas un rayonnement solaire, qui est la source de chaleur.

Mots-clés :

Performances thermique, puisage, stockage thermique

المخلص

إن أبسط استخدام للطاقة الشمسية وأكثرها مباشرة هو إنتاج الماء الساخن المنزلي عن طريق أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية والتي تعتبر أيضًا أبسط أنظمة تسخين المياه المنزلية.

يعتمد أدائها الحراري على المعلمات الفيزيائية الحرارية لسائل نقل الحرارة (دخول وترك درجة حرارة السائل ، ودرجة حرارة التخزين ،) وعلى مكونات النظام (المعامل الكلي لفقد الحرارة للمجمع.) وعلى الأرصاد الجوية و المعلمات الإشعاعية (الإشعاع الشمسي ، درجة الحرارة المحيطة.) ولكنها تعتمد أيضًا على طريقة استهلاك الماء الساخن الموجود في الخزان.

في هذا العمل درسنا بشكل تجريبي تأثير السحب على الأداء الحراري لسخان المياه الشمسي المحلي المركب في قسم الطاقات المتجددة بجامعة البليدة 1 لمدة ثلاثة أيام ، باستخدام المزدوجات الحرارية من النوع لنرصد التغير في درجة حرارة السائل (الماء) في خزان التخزين ، ونلاحظ أن النظام بعد كل عملية سحب يحتاج إلى فترة زمنية لإستعادة كمية الحرارة المفقودة ، وهذه الفترة الزمنية مختلفة بالنسبة للاختبارات الثلاثية بسبب مراعاة المعلمات الجوية والإشعاعية لكل يوم وبسبب درجة الحرارة وكمية المياه المملوءة لكل سحب.

الفائدة من دراسة تأثير السحب هي اختبار كفاءة النظام واكتشاف مشاكل التصنيع فيه ، وتمكن الدراسة أيضا من إعطاء تعليمات لاستهلاك الماء الساخن حتى لا يفقد شحنته الحرارية وكذلك قد تسمح الدراسة أيضا بتحديد الكمية والوقت المناسبين للسحب ، والذي يمكن للنظام من خلاله تعويض الحمل الحراري الذي تم سحبه منه. ليحافظ النظام على تخزينه الحراري كاملا لمرحلة الاستهلاك الليلي عند عدم وجود الإشعاع الشمسي الذي مصدر الحرارة.

الكلمات المفتاحية:

الأداء الحراري ، السحب ، التخزين الحراري

Abstract:

The simplest and most direct use of solar energy is the production of domestic hot water by solar water heating systems which is also considered the simplest systems for domestic water heating.

Their thermal performance depends on the thermo-physical parameters of the heat transfer fluid (entering and leaving temperature of the fluid, storage temperature,) and on the constituents of the system (overall coefficient of thermal loss of the collector.) And on meteorological and radiometric parameters (solar radiation, ambient temperature.) but also depend on the way of the consumption of the hot water which is in the storage tank.

In this work we have experimentally studied the effect of drawing on the thermal performance of the local solar water heater installed in the renewable energies department of the University of Blida 1 for three days, using type K thermocouples on controls the change in temperature of the fluid (water) in the storage tank, and we notice that the system after each drawing operation depends on a time interval to re-equip their quantity of heat which was lost, this interval is deference for the three tests because of the meteorological and radiometric parameters for each day and because of the temperature and the quantity of filling water for each draw.

The interest of studying the draw-off effect is to test the efficiency of the system and discover their manufacturing problems, and can be given aids for the consumption of hot water so as not to lose the thermal storage load and determining the appropriate amount and time for drawing off, with which the system can compensate for the heat load that has been drawn from it. In order for the system to maintain complete heat storage for the consumption phase at night when there is no solar radiation, which is the heat source.

Key words:

Thermal performance, draw-off, thermal storage

SOMMAIRE

Dédicace	2
Remerciements	3
Résumé	4
Sommaire.....	7
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux	13
Nomenclature	13
Introduction générale.....	15

Chapitre 01: généralité et étude bibliographies

1.2. Généralité	18
1.2.1. Chauffe-eau solaire	18
1.2.2. Les types de chauffe-eau-solaire	18
1.2.2.1. Le chauffe-eau solaire à thermosiphon (circulation naturel)	19
1.2.3.2Le chauffe-eau solaire à circulation forcée	19
1.2.3. Les composants de chauffe-eau-solaire	20
1.2.3.1. Le ballon de stockage.....	20
1.2.3.1.1. Les types de stockage d'énergie thermique	21
1.2.3.1.1.2. Le Stockage thermique par chaleur sensible	21
1.2.3.1.1.2. A. Le stockage par l'eau	22
1.2.3.1.1.3. Le stockage par chaleur latente.....	22
1.2.3.1.2. Principe de base pour dimensionner un ballon	22
1.2.3.1.3 Capacités requises d'un ballon de stockage	23
1.2.3.1.4. Les différents types de ballons	23
1.2.3.1.4. A. Ballons de stockage galvanisé	23
1.2.3.1.4. B. Ballons à revêtement émaillé	23
1.2.3.1.4. C. Ballons à revêtement en matière plastique.....	24
1.2.3.1.4. D. Ballons en acier inoxydable.....	24
1.2.3.1.5. L'isolation des ballons de stockage	24
1.2.3.1.6. Le mode de transfert	24
1.2.3.2. Le capteur solaire	25
1.2.3.2.1. Les différents types de capteurs solaires	26
1.2.3.2.1.1. Les capteurs plans vitrés	26
1.2.3.2.1.2. Les capteurs plans sans vitrage.....	27

1.2.3.2.1.3. Les capteurs sous vide	28
1.2.3.2.2. Les principaux éléments constituant un capteur plan vitré	29
1.2.3.2.3. Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré	30
1.2.3.2.4. Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan	31
1.3. Etude bibliographies	32
Chapitre 02: conception de bancs d'essai	
2.1. Introduction.....	49
2.2. Réalisation du capteur solaire.....	49
2.3. Réalisation de cuve de stockage	52
Chapitre 03: instrumentations	
3.1. Introduction	57
3.2. Mesure de températures.....	57
3.3. Mesure du rayonnement solaire global	58
3.4. Les étapes de l'expérimentation.....	60
Chapitre 04: résultats et interprétations	
4.1. Introduction	64
4.2. Les résultats et l'interprétation	64
4.2.1 La journée 14-07-2021	64
4.2.2 La journée 14-09-2021	68
4.2.3 La journée 19-09-2021	70
4.3 Conclusion.....	72
Conclusion générale Perspectives	
Conclusion générale	74
Perspectives	75
Références bibliographies	76

Liste des figures

Chapitre 01 :

Figure 1. 1 chauffe-eau solaire thermosiphon Monobloc et à éléments séparés.....	19
Figure 1. 2 chauffe-eau solaire à circulation forcée sous pression et auto-vidangeable.....	20
Figure 1. 3 Les composants d'un chauffe-eau-solaire.....	20
Figure 1. 4 Schéma de Ballon de stockage sur le système de chauffe-eau solaire.....	21
Figure 1. 5 Ballon de stockage d'un CES Avec un échange et sans.....	25
Figure 1. 6 Capteur solaire thermique.....	25
Figure 1.7 Capteurs plan vitré.....	27
Figure 1. 8 Le capteur plan, non vitré.....	28
Figure 1. 9 Le capteur sous vide.....	29
Figure 1. 10 Coupe schématique d'un capteur plan vitré.....	30
Figure 1. 11 Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré.....	30
Figure 1.12 Les Cinq montages qui étudés.....	32
Figure 1.13 Température moyen du stockage solaire au coure des quatre essais.....	33
Figure 1.14 Efficacité instantanée de stockage pour différentes valeurs du nombre de Reynolds.....	35
Figure 1.15 Température de sortie instantanée pour différentes valeurs du nombre de Reynolds.....	35
Figure 1.16 Schéma du system de chauffage.....	36
Figure 1.17 Schéma de disposition des thermocouples dans le système de stockage.....	37
Figure 1.18 Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux pour différentes hauteurs après 7 heures de chauffe.....	37
Figure 1.19 Répartition des températures dans la cuve de stockage Pour différents temps en cours de chauffe...37	37
Figure 1.20 Schéma du système considéré et Schéma du modèle amélioré NEM.....	38
Figure 1.21 Dispositif expérimental.....	38
Figure 1.22 Variation de la température moyenne du réservoir, de la température ambiante et du flux solaire en fonction du temps pour local.....	39
Figure 1.23 Evolution des volumes de soutirages en fonction du temps local pour différentes températures de soutirages.....	39

Figure 1.24 Distribution d'énergie thermique pendant une journée ensoleillée 2008-09-14 (a) et une journée nuageuse 2008-04-09.....	40
Figure 1.25 Pertes thermiques du réservoir de stockage et de l'échangeur thermique par rapport à V / A. Efficacité des capteurs et de l'installation solaire sur l'axe secondaire. Résultats obtenus avec la simulation transitoire programme pour les valeurs moyennes annuelles quotidiennes.....	40
Figure 1.26 Evolution du flux de chaleur en fonction de l'épaisseur du revêtement en Epoxy.....	41
Figure 1.27 Distribution de la température à travers la cuve de stockage pour un revêtement en epoxy d'épaisseur de 0.5mm et 1.5mm.....	41
Figure 1.28 Schéma d'un Chauffe-eau solaire utilisant du MCP.....	42
Figure 1.29 Variation des températures dans le temps de trois points de MCP.....	42
Figure 1.30 Schéma de principe de l'installation proposée.....	44
Figure 1.31 Profil de charge pour les quatre processus.....	44
Figure 1.32 Schéma descriptif du chauffe-eau solaire capteur-stockeur avec réflecteur en forme de branche parabolique linéaire.....	45
Figure 1.33 Représentation 3D du chauffe-eau solaire développé pour une intégration au mur de l'habitat.....	45
Figure 1.34 Dispositif expérimental.....	46
Figure 1.35 Evolution de la température de l'eau stockée dans l'élément capteur-stockeur lors de la journée du 8 Novembre 2017 (sans puisage).....	46
Figure 1.36 Evolution de la température moyenne de l'eau stockée dans l'élément capteur-stockeur lors de la journée du 14 Novembre 2017 (Avec puisage).....	47
Figure 1.37 Evolution de la température de l'eau chaude puisée en fonction du temps 08h du matin le 09 Novembre 2017.....	47
Figure 1.38 Evolution de la température moyenne de l'eau stockée dans la cuve du système lors de la journée du 25 Janvier 2018.....	47

Chapitre 02 :

Figure 2.1. Les différences composant de capteur.....	49
Figure 2.2. Les plaques en acryliques.....	49
Figure 2.3. L'isolant en polyester.....	49
Figure 2.4. Le coffre en plaques acryliques et isolée en polyester à l'arrière et sur les côtés.....	50

Figure 2.5. Des tubes en cuivre.....	50
Figure 2.6. Le collecteur du tube en forme radiateur.....	50
Figure 2.7. L'absorbeur ondulé en aluminium.....	51
Figure 2.8. L'absorbeur avec le collecteur.....	51
Figure 2.9. Le collecteur place sur le coffre.....	51
Figure 2.10. L'absorbeur avec le collecteur peint en noir place sur le coffre.....	52
Figure 2.11. La forme finale de capteur solaire.....	52
Figure 2.12. La cuve de stockage.....	53
Figure 2.13. L'échangeur de chaleur.....	53
Figure 2.14. La cuve de stockage après l'isolation par la laine de roche de 5 cm d'épaisseur.....	54
Figure 2.15. La pompe électrique.....	54
Figure 2.16. Les tuyauteries du circuit primaire.....	54
Figure 2.17. Robine pour le réglage de débit.....	55
Figure 2.18. L'assemblage des composants de système de chauffe-eau solaire.....	55
 <u>Chapitre 03 :</u>	
Figure 3.1 Thermocouple (chromel alumel) de type K	57
Figure 3.2 Les thermocouples collés sur une tige pour immergés à différents niveaux dans la cuve de stockage.....	58
Figure 3.3 La position du pyromètre dans le système expérimentale.....	58
Figure 3.4 Les fils de compensation lié l'acquisition de données.....	59
Figure 3.5 L'acquisition connectée à un ordinateur pour stockées les mesures.....	59
Figure 3.6 schéma de montage et leur instrumentation.....	59
Figure 3.7 Le système en marche.....	60
Figure 3.8 Enregistrement des mesures.....	61

Figure 3.9 L’orifice de remplissage et les deux robinets de puisage..... 61

Chapitre 04 :

Figure 4.1 Evolution de l’éclairement global sur une surface inclinée (17-07-2021)..... 64

Figure 4.2. Evolution de la température ambiante (17-07-2021)..... 65

Figure 4.3 Variation de température d’entrée et de sortie de capteur (17-04-2021)..... 65

Figure 4.4 Représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage (17-04-2021)..... 66

Figure 4.5. Profile des températures du fluide au cours du temps (17-04-2021)..... 67

Figure 4.6. Evolution de l’éclairement global sur une surface inclinée (17-09-2021)..... 68

Figure 4.7. Représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage (17-09-2021)..... 68

Figure 4.8. Profile des températures du fluide au cours du temps (17-09-2021)..... 69

Figure 4.9. Evolution de l’éclairement global sur une surface inclinée (19-09-2021)..... 70

Figure 4.10 Représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage (19-09-2021)..... 70

Figure 4.11 Profiles des températures du fluide au cours du temps (19-09-2021)..... 71

Liste des tableaux

Chapitre 01 :

Tableaux 1-1 : bilan énergétique des quatre essais.....33

Tableau 1-2 : résumé des avantages et l'inconvénient du différent montage étude.....34

Chapitre 04 :

Tableau 4-1: les détails sur expériences.....64

Nomenclature

$^{\circ}\text{C}$: degré Celsius

K : kelvin

β : angle d'inclinaison

L_f : La Chaleur latente de fusion

L_v : La Chaleur latente de vaporisation

Δh : l'enthalpie

C_p : chaleur spécifique

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Aujourd'hui, l'énergie solaire est l'une des sources les plus prometteuses répondre aux besoins énergétiques mondiaux. Cette énergie a l'avantage d'être propre et renouvelable à 169 440 TWh par an d'ensoleillement, Algérie est classée comme un des pays les plus abondants en énergie solaire. Son développement et l'utilisation peut réduire l'utilisation des sources traditionnelles qui se sont avérées être polluant et nocif pour la planète.

Leur utilisation la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire par les systèmes de chauffe-eau solaire qui est considéré aussi les systèmes les plus simples pour le chauffage de l'eau sanitaire. Ils se composent de deux parties : la partie de captation et la partie de stockage, la captation est représenté par le capteur solaire. C'est ce dernier qui transforme l'énergie solaire en quantité de chaleur qu'il transmet au fluide caloporteur circulant dans son absorbeur, cette chaleur transportée à la cuve de stockage (qui a isolé thermiquement pour éviter toute perte) pour la consommation a des moments où il n'y a pas de rayonnement solaire.

L'objectif de ce travail est étude expérimentalement l'effet de puisage sur les performant thermique d'un chauffe-eau solaire, Cela a été fait dans un travail expérimental sur un système de chauffage solaire local installé dans le département des énergies renouvelables de l'Université de Blida 1

Notre système est instrumenté par des nombres thermocouples de type **K (Cr-AI)** disposés d'une manière pour mesure la température a déférent point au système dans la cuve de stockage et à l'entrée et à la sortie de capteur...ect et on utilise un pyranomètre pour mesurer l'éclairement solaire global.

L'ensemble des mesures transmis par ces capteurs est enregistré par l'intermédiaire d'une chaîne d'acquisition de données de marque **Fluke**. Cette dernière est connectée à un ordinateur dans lequel sont stockés les résultats.

Le présent travail inclut chapitres.

Le premier chapitre dédié à des généralités sur les chauffe-eau-solaire, les classifications, les différents composants, le fonctionnement ...et on va présenter un état d'art sur la partie de stockage de chauffe-eau-solaires. One citer quelque travaux effectués sur leurs modélisations théoriques et leurs expérimentations.

Dans le deuxième chapitre, On parle sur la conception de bancs d'essai on citée les étapes de fabrication du système de chauffe-eau solaire.

On parle sur l'instrumentation du project dans la troisième chapitre, on doexplique comme dispose les instruments du mesure et reige les etapes de notre experience

Et finalement dans le 4 eme chapitre on donne l'interpretation des resultate obtene .

On termine par une conclusion générale se rapportant à ce travail, complète le mémoire

CHAPITRE 01:
GÉNÉRALITÉ ET ÉTUDE
BIBLIOGRAPHIE.

1.1. Introduction

La demande d'eau chaude, qui est utilisée à des fins domestiques, augmente en abondance et coûte une facture considérable si l'on utilise des moyens traditionnels pour l'obtenir, comme le gaz par exemple. En plus de cela, ces sources traditionnelles sont sujettes à épuisement et disparition, et avoir des dommages négatifs à l'environnement.

Par conséquent, il est nécessaire de rechercher de nouvelles sources de chauffage de l'eau qui sont bon marché, renouvelables et environnementales, et la solution était dans le système de chauffe-eau solaire. Dans ce chapitre, nous passerons premièrement en revue un aperçu de celui-ci, ses éléments, le principe de son travail, et ses différents types de technologie. Et dans la deuxième partie de chapitre nous allons citer dans quelque travaux effectués pour améliorer les performances cette partie (la cuve de stockage), leurs modélisations théoriques et leurs expérimentations.

1.2. Généralité

1.2.1. Chauffe-eau solaire

Le chauffe-eau solaire est le système le plus simple pour le chauffage de l'eau sanitaire. Son principe de fonctionnement est axé sur la capture de l'énergie solaire et sa conversion en chaleur pour chauffer l'eau.

Ce type de chauffage permet en général de compléter les autres types traditionnels de chauffage qui alimenté par d'autres sources d'énergies (électricité, énergies fossiles, biomasse...). Il permet de les remplacer totalement, dans de conditions favorables.

Il se compose de capteurs solaires thermiques et d'une cuve de stockage d'eau chaude. Ces deux composants sont reliés par un circuit thermiquement isolé.

1.2.2. Les types de chauffe-eau-solaire

L'énergie qu'il reçoit par le capteur solaire et convertie en chaleur qui absorbée par fluide caloporteur et elle est transférée par le circuit première vers le réservoir de stockage.

Selon leur manière de circulation, on distingue deux types de chauffe-eau solaire.

1.2.2.1. Le chauffe-eau solaire à thermosiphon (circulation naturelle)

Lorsque l'eau contenue dans le capteur échauffe sa densité diminue, selon le principe de gravitation elle s'élève dans le circuit et elle est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon.[1]

Remarque: Pour que la circulation du fluide dans le circuit soit assurée, il faut placer le ballon de stockage plus haut que les capteurs

On distingue deux types de chauffe-eau solaire thermosiphon :

- 1- Monobloc (le réservoir intègre avec le capteur)
- 2- à éléments séparés (le réservoir séparé de capture)

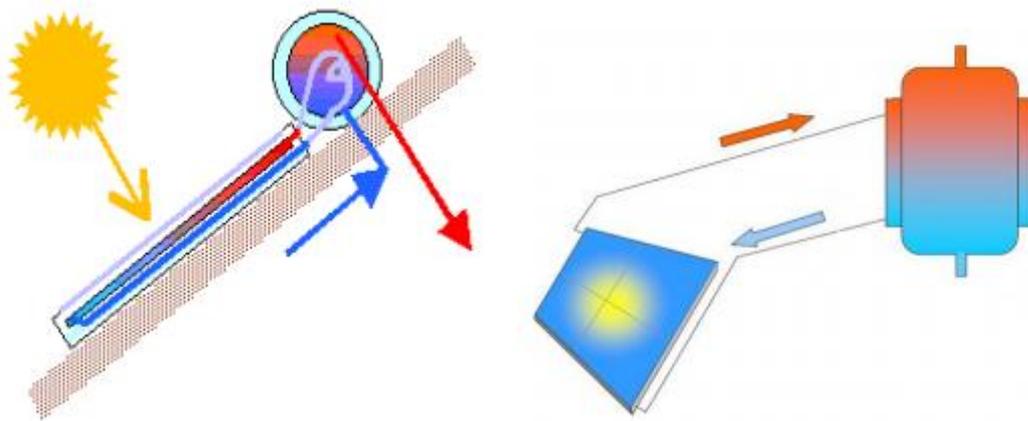


Figure 1.1 chauffe-eau solaire thermosiphon Monobloc et à éléments séparés.

1.2.3.2 Le chauffe-eau solaire à circulation forcée

Cette catégorie regroupe les chauffe-eau solaires qui font appel à un circulateur (pompe électrique) pour transférer l'eau chauffée dans le collecteur depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage. Il est employé généralement pour les utilisations collectives ou industrielles, Par rapport au Thermosiphon qui ne peut être utilisé qu'individuellement.

Plusieurs types de CESI à circulation forcée sont utilisés : [2]

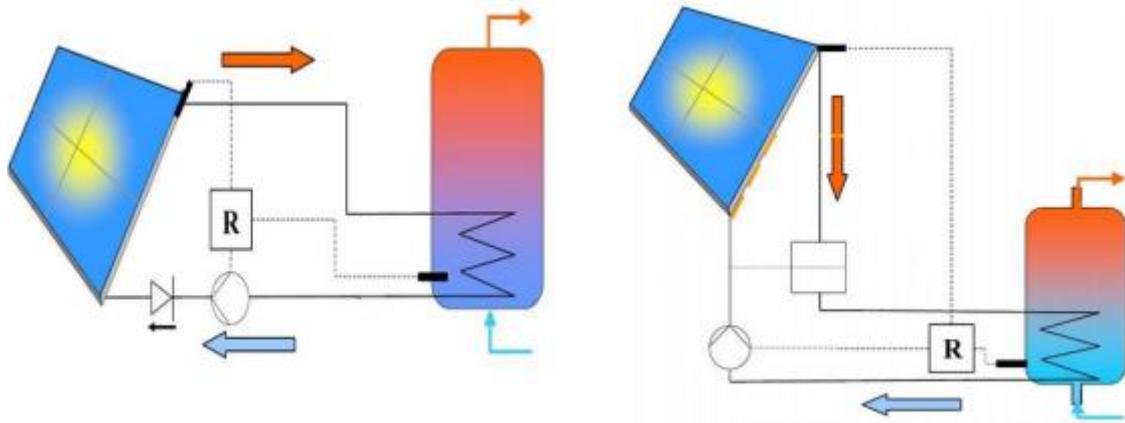


Figure 1.2 chauffe-eau solaire à circulation forcée sous pression et auto-vidangeable.

1.2.3. Les composants de chauffe-eau-solaire

Un chauffe-eau-solaire est composé principalement de deux éléments figure (2-5) :

1. Le ballon de stockage,
2. Le capteur solaire.

Ces deux éléments sont reliés par un circuit thermiquement isolé. Qui peut contenir d'autres éléments tels que la pompe, le clapet anti-retour, la vase d'expansion, la soupape de sécurité, les robinets de vidange, les purgeurs et un régulateur.

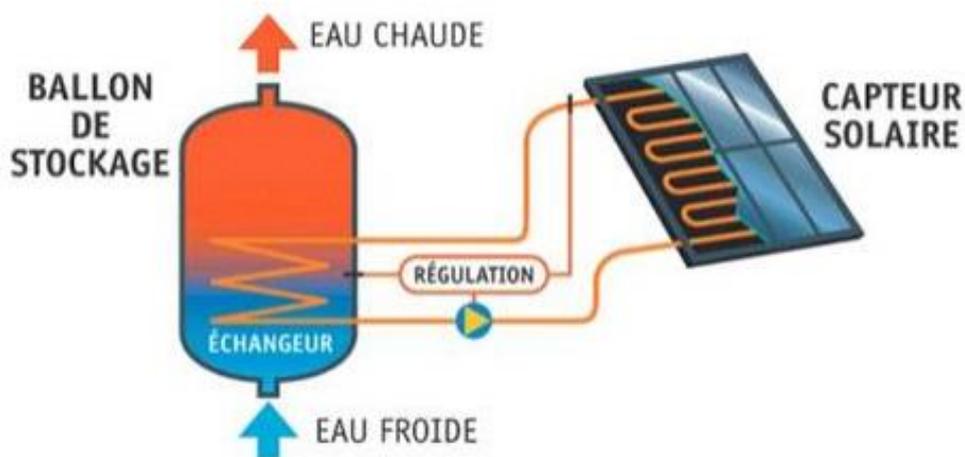


Figure 1.3 Les composants d'un chauffe-eau-solaire.

1.2.3.1. Le ballon de stockage

Les ballons de stockage servent d'accumulateur entre l'apport de chaleur fourni par le rayonnement solaire (capté par les panneaux solaires) et la consommation énergétique de l'utilisateur final.

Comme les horaires d'ensoleillement ne correspondent que rarement aux heures de consommation, le stockage est indispensable pour tous les systèmes de chauffe-eau solaire. Seul le temps de stockage (donc le volume) peut varier en fonction de la saison et de l'utilisation qui est faite de l'eau chaude sanitaire. [3]

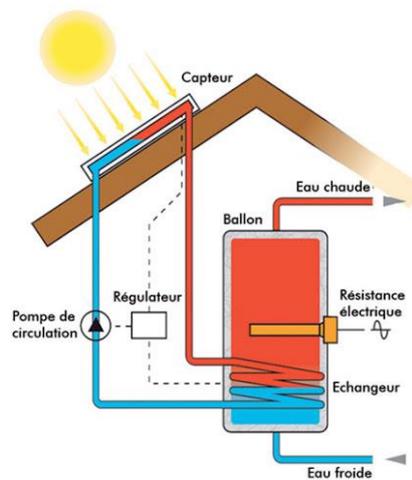


Figure 1. 4 Schéma de Ballon de stockage sur le système de chauffe-eau solaire [4]

1.2.3.1.1. Les types de stockage d'énergie thermique [5]

Pour stocker l'énergie thermique, on utilise d'une manière générale deux formes de stockage suivantes : le stockage par chaleur sensible et le stockage par chaleur latente.

1.2.3.1.1.2. Le Stockage thermique par chaleur sensible

Le stockage par chaleur sensible est la solution la plus ancienne Parmi l'ensemble des techniques d'accumulation de chaleur. Il s'agit d'apporter de la chaleur à un matériau pour faire évoluer sa température mais la structure moléculaire du matériau de stockage ne change (sans changement d'état). Le matériau se distingue par sa capacité calorifique, notée C_p et exprimée en $J/(kg.K)$, qui traduit de sa capacité à stocker la chaleur (J) par unité de masse (kg) et de température (K).

L'énergie stockée répond alors à la formule suivante : $E = m \Delta h = mCp \Delta T$

1.2.3.1.1.2. A. Le stockage par l'eau

L'eau est considérée comme le meilleur milieu pour le stockage aux faibles températures. Elle a la capacité thermique massique la plus grande par rapport aux autres corps (4 185 J/ kg.K à 20 °C). Ainsi, pour une variation de température de 60°C, l'eau peut stocker 250 kJ/kg. De plus, l'eau n'est pas chère et facilement disponible. Cependant, à cause de sa grande pression de vapeur, pour les applications à haute température, elle demande une isolation coûteuse et un réservoir de stockage qui résiste aux fortes pressions. L'eau est utilisable non seulement comme milieu de stockage, mais aussi comme milieu de transport de l'énergie. Actuellement, l'eau chaude est le vecteur le plus utilisé dans les systèmes d'applications de l'énergie solaire. Elle est utilisable dans un domaine de températures allant de 25 à 90°C.

1.2.3.1.1.3. Le stockage par chaleur latente

L'intérêt de la chaleur sensible est de pouvoir stocker directement le fluide caloporteur dans un grand volume. Pour stocker la chaleur sensible de façon indirecte, un fort gradient de température est nécessaire. Une solution pour gagner de la place et réduire l'intervalle de température du stockage est d'utiliser la chaleur latente. La chaleur est stockée dans une gamme de température autour du point de fusion ou de vaporisation d'un matériau appelé matériau à changement de phase (PCM). Plus la gamme de température est petite, plus la part d'énergie stockée par le changement d'état est importante. [6]

Dans le cas du transfert thermique par Chaleur latente, le matériau peut stocker ou céder de l'énergie par simple changement d'état, tout en conservant une température constante, celle du changement d'état. La Chaleur latente de Changement de Phase notée L_f (f pour fusion) pour un changement de phase liquide/solide, et L_v (v pour vaporisation) pour un changement de phase liquide/Vapeur. [4]

1.2.3.1.2. Principe de base pour dimensionner un ballon [3]

La taille du ballon de stockage solaire dépend de la taille du champ de capteurs, mais aussi de la consommation quotidienne pendant la semaine (consommation constante, ou consommation intermittente, dans un chalet de week-end par exemple) :

- Un volume de stockage d'environ 50 l/m² offre un rapport coût/bénéfice optimal pour une consommation journalière constante sur 7 jours.
- Pour une consommation intermittente, on recommande que la consommation hebdomadaire soit globalisée sur les 7 jours. Dans ce cas le volume du ballon de stockage doit être placé dans une fourchette de 70 l/m².

1.2.3.1.3 Capacités requises d'un ballon de stockage [3]

La capacité de stocker un maximum d'énergie solaire au moment où elle est disponible lorsque la demande est faible, pour la restituer ultérieurement, requiert quelques caractéristiques :

- Un bon rendement thermique (petite surface de ballon et bonne isolation).
- Une bonne stratification thermique du contenu du ballon.
- Une durée de vie minimale de 25 ans.
- Une compatibilité avec l'environnement et l'hygiène (eau potable).
- Une résistance aux variations de pression et de températures.

1.2.3.1.4. Les différents types de ballons [3]

1.2.3.1.4. A. Ballons de stockage galvanisé

Ils sont déconseillés dans le cas d'une installation solaire, en raison du manque de stabilité thermique du zinc utilisé dans le processus de galvanisation, à des températures élevées.

1.2.3.1.4. B. Ballons à revêtement émaillé

On recourt couramment à des revêtements émaillés pour la protection des ballons contre la corrosion intérieure. L'émail, une sorte de patte de verre, se combine en cuisant à l'acier du réservoir. Des défauts dans la matière étant inévitables, on introduit dans l'émail des petites particules de magnésium (ou tout autre matériau anodique), formant ainsi une protection anodique contre la corrosion. Ce sont des ballons bon marché et facilement fabriqués.

1.2.3.1.4. C. Ballons à revêtement en matière plastique

Ce type de protection anticorrosion comprend des revêtements en résines thermodurcissables et thermoplastiques ainsi qu'en caoutchouc. Ces revêtements sont bien meilleurs marché que l'émail, mais leur résistance à long terme est aléatoire.

Les thermoplastiques sont certifiés seulement jusqu'à 85° C, ce qui les rend impropre aux stockages combinés et aux stockages équipés d'un échangeur de chaleur interne.

1.2.3.1.4. D. Ballons en acier inoxydable

Insensibles à la corrosion grâce à leur teneur élevée en nickel et en chrome, il s'avère que les raccords en acier inoxydable soudés peuvent se corroder avec le chlore. Il faut donc veiller à ce que ces concentrations de chlore dans l'eau ne dépassent pas les normes maximales admises. Ce sont des ballons pratiquement inaltérables, mais plus cher que des ballons à revêtement plastique ou émaillé.

1.2.3.1.5. L'isolation des ballons de stockage [3]

Les déperditions thermiques des ballons de stockage ne sont pas négligeables. Pour conserver les pertes thermiques dans des limites raisonnables, il faut :

- Une petite surface par rapport au volume du réservoir.
- Une isolation bien ajustée.
- Une isolation complète du ballon, y compris en haut et en bas.
- Une isolation de tous les raccords de tuyaux et des accessoires.
- Des conduites d'eau guidées à l'intérieur du ballon par le bas ou les côtés.
- Une convection intra-tubulaire à éviter (déperditions thermiques par convection dans le tuyau).

1.2.3.1.6. Le mode de transfert

Le transfert de chaleur entre eau dans la cuve de stockage et le fluide caloporteur se fait de deux manières différentes

Transfert direct : L'eau de la cuve est en contact direct avec le fluide caloporteur, autrement dit c'est le même fluide qui parcourt tout le circuit de l'installation.

Transfert indirect : Il y'a un échangeur de chaleur qui fait l'intermédiaire du transfert de chaleur eau-fluide caloporteur. (Transfert convectif). On utilise des ballons avec échangeur interne pour éviter les risques de gel dans les canalisations et dans l'échangeur à plaques.



Figure 1. 5 Ballon de stockage d'un CES Avec un échange et sans. [7]

1.2.3.2. Le capteur solaire

Les capteurs solaires thermiques constituent l'élément essentiel dans les installations de conversion thermique de l'énergie solaire. Il est conçu pour capter l'énergie solaire transmise par rayonnement pour la conversion en chaleur qui parcourue par un fluide caloporteur qui vers son lieu d'installation ou de stockage

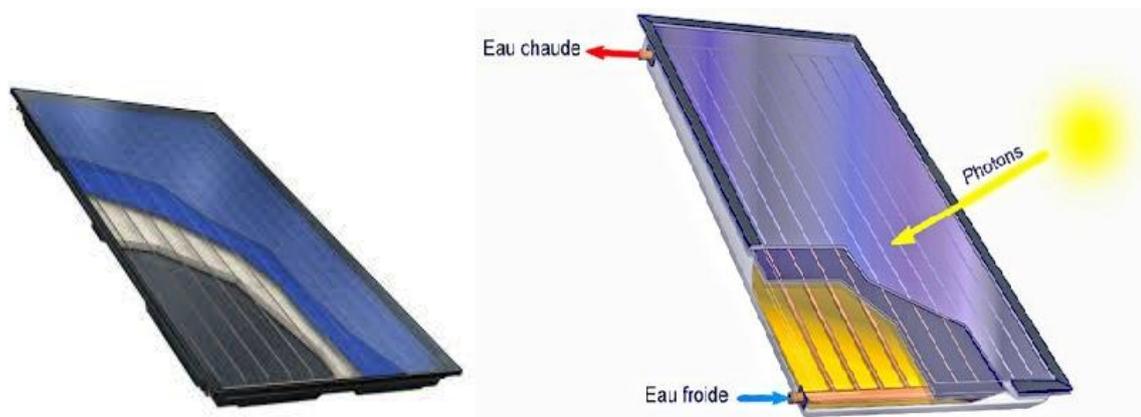


Figure 1. 6 Capteur solaire thermique.

1.2.3.2.1. Les différents types de capteurs solaires [8]

Afin d'intercepter l'énergie du rayonnement solaire, il existe plusieurs capteurs solaires.

Dans ce qui suit, une brève description des trois capteurs solaires plats les plus courants est donnée.

1.2.3.2.1.1. Les capteurs plans vitrés

Les capteurs solaires plans vitrés sont très répandus. Ils existent sous formes de capteurs à eau et de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur est placé l'absorbeur, un serpentin contenant le fluide à réchauffer. Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche). La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur.

Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- Robustes et d'une structure simple.
- Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- D'un rapport prix/performances sans égal.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- Discrets en montage sur le toit.

Les détails qui vont faire la différence, se trouvent dans la qualité de fabrication du caisson (aluminium, acier inoxydable), la qualité et l'épaisseur de l'isolation autour de l'absorbeur, le vitrage et son traitement anti-réflexion, les joints et l'assemblage.



Figure 1.7 *Capteurs plan vitré.*

1.2.3.2.1.2. Les capteurs plans sans vitrage

Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air.

Performant l'été, il présente une grande sensibilité au vent froid l'hiver par son absence de vitrage.

Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures. Parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée.

La typique intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surface plus grande, pour compenser la différence d'efficacité avec les capteurs plans vitrés, en particulier pendant l'hiver. Et Il faut prévoir en général, une fois et demi plus de surface de capteurs pour égaler la production de capteurs plans vitrés.



Figure 1. 8 *Le capteur plan, non vitré.*

1.2.3.2.1.3. Les capteurs sous vide

Ce type de panneaux est le plus développé par rapport aux autres types. Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique.

L'intensité du vide est d'une importance décisive pour l'interruption du mécanisme de transfert de chaleur. Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition.

Ce type de capteurs réagit avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels. Ils s'échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer parti des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil du matin et du soir. Comme les capteurs à tubes sous vide peuvent atteindre des températures extrêmes de plus de 150° C, le fluide caloporteur est spécialement développé pour ce genre d'installation.

La tuyauterie du circuit voyant passer le fluide à plus de 150° C, les tubes en cuivre ne doivent pas être soudés à l'étain. Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur.



Figure 1. 9 *Le capteur sous vide.*

1.2.3.2.2. Les principaux éléments constituant un capteur plan vitré [9]

Un capteur plan vitré se compose des éléments fondamentaux suivants :

1. Un boîtier qui contient tous les éléments constitutifs fragiles du capteur comme les tubes, la plaque absorbante...
2. un joint d'étanchéité pour empêcher l'eau de pénétrer quand il pleut ;
3. un couvercle transparent qui crée un effet de serre au-dessus de la plaque absorbante : en général un verre trempé dit solaire, présentant une faible teneur en fer pour permettre un haut degré de transmission lumineuse ;
4. une isolation thermique qui réduit la déperdition de chaleur par la face arrière et les côtés du capteur ;
5. une plaque absorbante qui permet la conversion du rayonnement solaire en énergie thermique transportée par le fluide ;
6. les tubes traversés par le fluide caloporteur qui évacue la chaleur jusqu'à l'extérieur du capteur

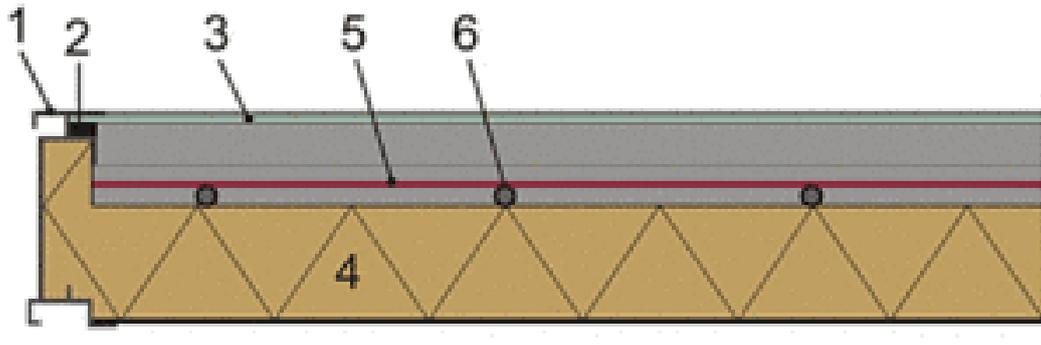


Figure 1. 10 Coupe schématique d'un capteur plan vitré.

1.2.3.2.3. Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré [10]

Une partie du rayonnement solaire qui atteint le verre passe pour l'atteindre la plaque absorbant. Ce dernier chauffe et transfère la chaleur au liquide caloporteur qui circule dans les tubes. Comme tout objet qui chauffe, l'absorbeur émet un Rayonnement (principalement dans l'infrarouge) qui est réfléchi par la vitre, c'est-à-dire Le principe de «l'effet de serre». La fonction de l'isolation est de réduire les pertes Convection avec extérieur. En fait, la plupart de l'énergie doit être absorbée Il se déplace dans le fluide, il est donc nécessaire de réduire les pertes dans le milieu environnant.

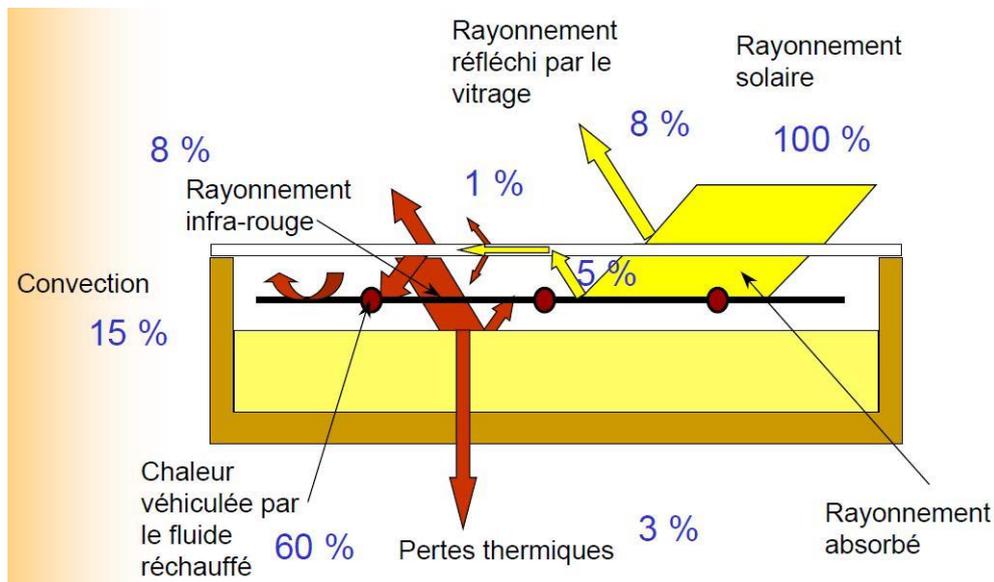


Figure 1. 11 Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré

1.2.3.2.4. Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan [1]

Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan peuvent être classés en deux catégories : les paramètres externes et les paramètres internes.

1. Les paramètres externes

- Paramètre d'ensoleillement : le rayonnement solaire, position du soleil, durée d'insolation ...etc.
- Température ambiante
- Vitesse du vent

2. Les paramètres internes

a) Paramètres géométriques :

- Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur
- Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur

b) Paramètres de fonctionnement :

- La température d'entrée du fluide caloporteur
- Le débit massique du fluide caloporteur
- Les températures des différents éléments du capteur.

Ces paramètres sont très importants. Compte tenu du coût, ils permettent température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes, une meilleure performance du capteur.

1.3. Etude bibliographies

En 1985 Pierson et al [11] ont étudiés expérimentalement l'influence du branchement des ballons de stockage sur les performances d'un chauffe-eau solaire, pour différentes possibilité de liaison entre deux ballonne de stockage et pour leur montage de circuit de réchauffage solaire et circuit de soutirage.

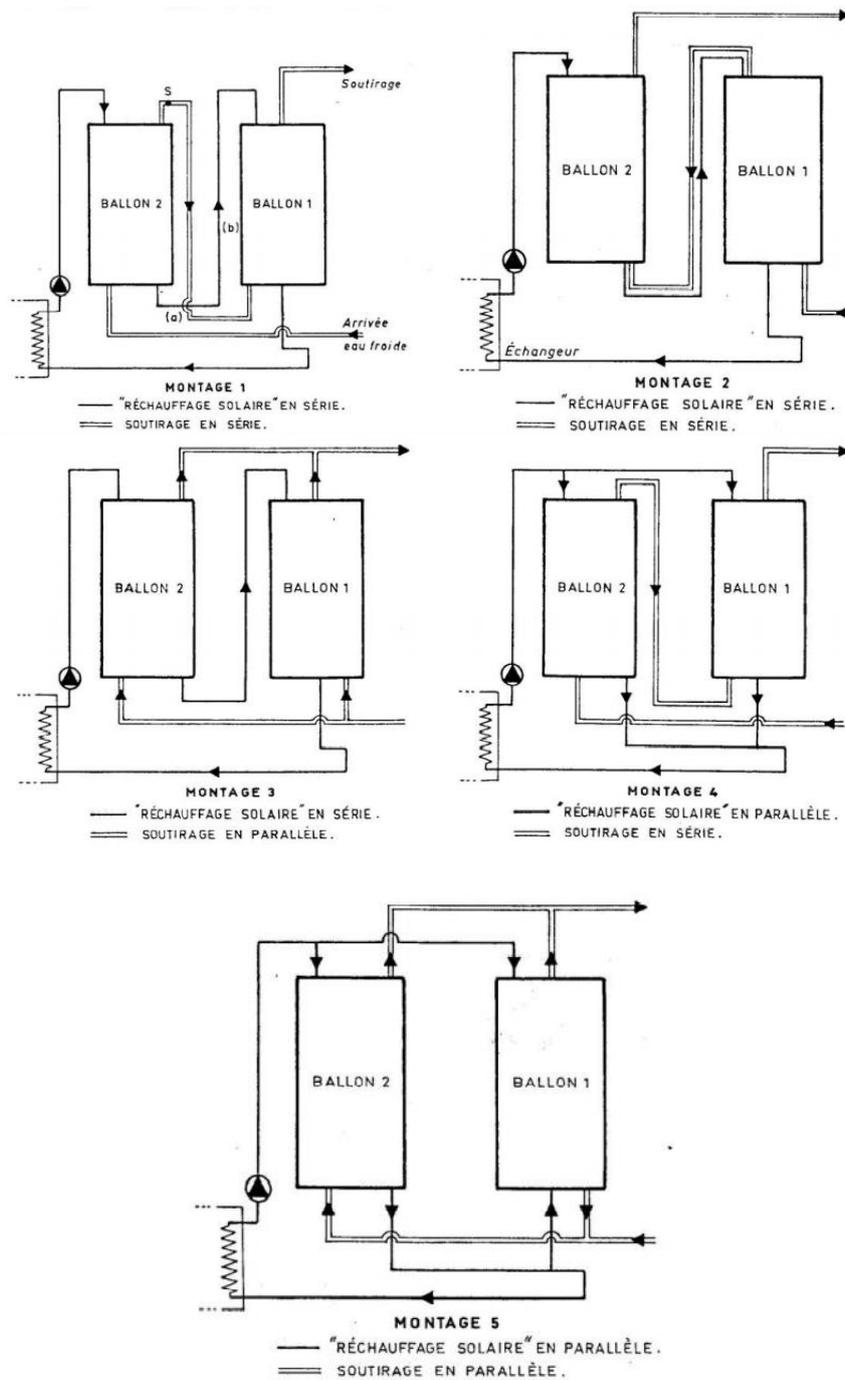


Figure 1.12 Les Cinq montages qui études

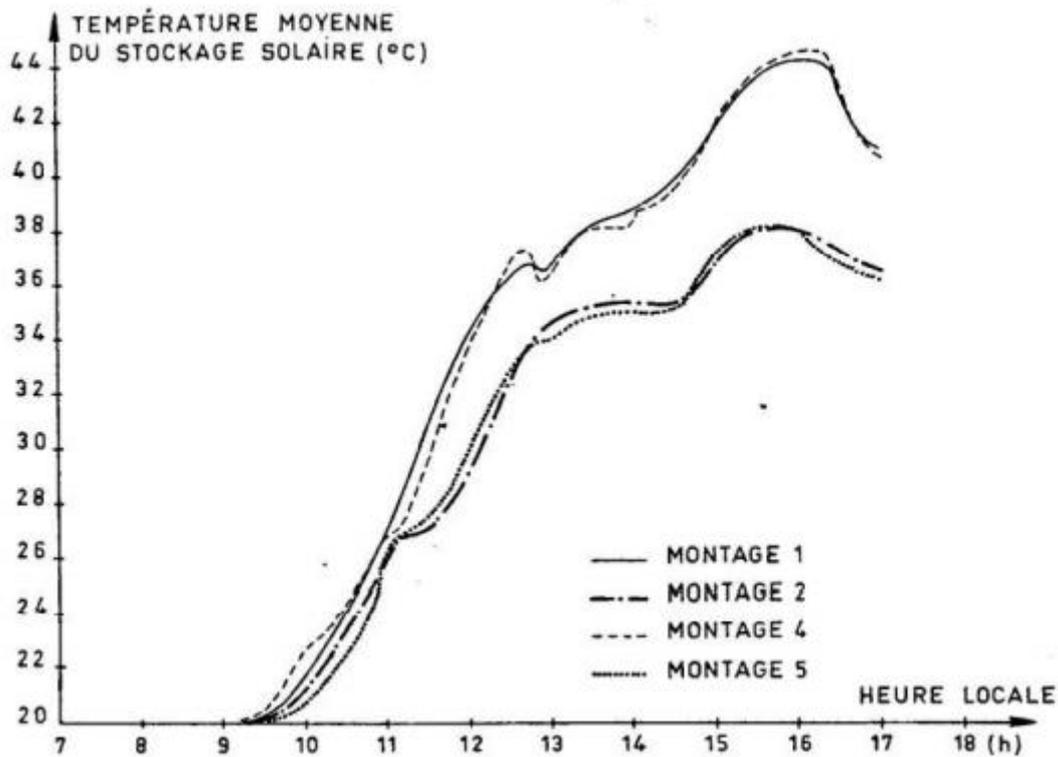


Figure 1.13 Température moyen du stockage solaire au coure des quatre essais.

Tabiaux 1-1 : bilane energetique des quateres essais

Heure locale	MONTAGE 1			MONTAGE 4			MONTAGE 2			MONTAGE 5		
	E_i (en MJ)	T_s (en °C)	E_r (en MJ)	E_i (en MJ)	T_s (en °C)	E_r (en MJ)	E_i (en MJ)	T_s (en °C)	E_r (en MJ)	E_i (en MJ)	T_s (en °C)	E_r (en MJ)
7 à 8 h	2,15		0	2,15		0	1,94		0	1,94		0
8 à 9 h	11,20		0	10,98		0	7,54		0	7,32		0
9 à 10 h	23,05		0	22,62		0	17,23		0	16,15		0
10 à 11 h	31,02		0	31,24		0	25,85		0	24,77		0
11 à 12 h	36,61	26	4,86	36,83	29	6,11	31,24	29	5,96	30,59	28	5,64
12 à 13 h	38,34	33	13,64	38,77	37	16,46	33,38	36	15,85	32,95	35	14,89
13 à 14 h	36,83	35	14,58	36,61	38	17,56	30,80	36	15,67	30,37	36	15,67
14 à 15 h	30,80		0	30,81		0	26,50		0	24,55		0
15 à 16 h	22,19		0	22,40		0	15,07		0	13,36		0
16 à 17 h	10,98	42	24,77	10,98	43	25,86	4,31	36	19,59	5,17	37	20,69
17 à 18 h	2,58		0	2,58		0	1,73		0	1,73		0
Total journalier	245,7		57,8	246,0		66,0	195,6		56,3	188,9		56,9
$\eta_l = \frac{\sum E_r}{\sum E_i}$ (en %)	23,5			26,8			28,8			30,1		

E_i = énergie solaire horaire incidente.
 T_s = température moyenne de l'eau soutirée.
 E_r = énergie horaire récupérée pendant le soutirage.

Tableau 1-2 : résume les avantages et l'inconvénient du différent montage étude.

Montage	Avantages	Inconvénients	Remèdes éventuels/ Remarques
n° 1	— Favorise la stratification des températures dans le stockage.	— L'échauffement des ballons par le circuit secondaire n'est pas optimisé surtout lorsque l'ensoleillement est faible. — Le soutirage n'est pas réalisé au point le plus chaud du stockage.	Montage à éviter à tout prix.
n° 2	— Favorise la stratification des températures dans le stockage.	— Risque de chute importante de la température de soutirage lorsque l'ensoleillement diminue fortement.	— Bien positionner dans le stockage la sonde de température utilisée pour le calcul du différentiel de régulation (si possible au milieu du stockage). — Régler convenablement le différentiel de régulation (4 à 5 K de plus pour le démarrage des pompes que pour l'arrêt). — Montage assurant le meilleur rendement de l'installation.
n° 3	— Favorise la stratification des températures dans le stockage.	— Une partie de l'eau n'est pas puisée au point le plus chaud du stockage.	Montage à éviter.
n° 4	— L'inconvénient du montage 2 se fait nettement moins sentir.	— Chute de la température de l'eau puisée au cours d'un même soutirage (stratification insuffisante des températures du stockage et soutirage en série sur les ballons).	Montage à éviter.
n° 5	— L'inconvénient du montage 2 est supprimé. — Bonne stabilité de fonctionnement de l'installation.	— L'inconvénient du montage 4 se retrouve mais est moins sensible (soutirage en parallèle sur les ballons).	— Montage à envisager si les soutirages sont fréquents et peu importants, avec une répartition en accord avec les périodes d'insolation.

En 1998 A. Benkhelifa [12]a étudié numériquement l'effet des forces d'inertie, à travers le nombre de Reynolds, sur le comportement dynamique et thermique de la cuve de stockage pendant les phases de charge et de décharge.

Il trouve que lorsque la gravité dépasse la force d'inertie, le fluide dans le réservoir se stratifie. Ce qui permet d'avoir la meilleure performance de stockage qui augmentent aussi avec l'augmentation du nombre de Reynolds et avec l'augmentation de la vitesse d'injection du fluide).

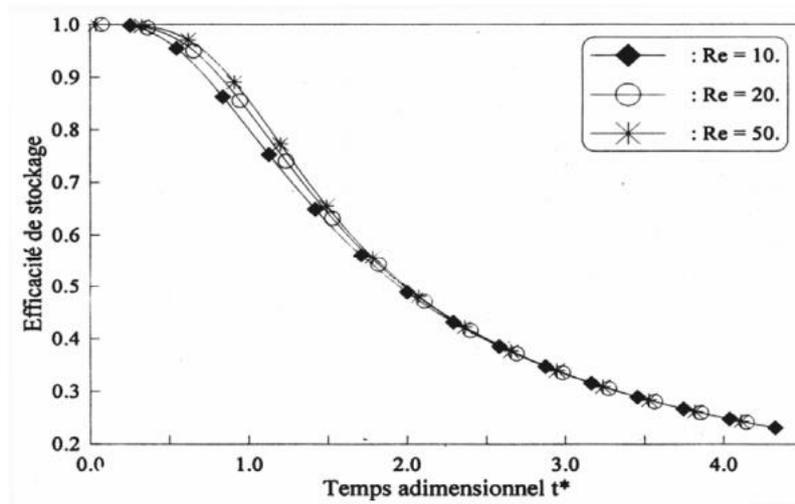


Figure 1.14 Efficacité instantanée de stockage pour différentes valeurs du nombre de Reynolds.

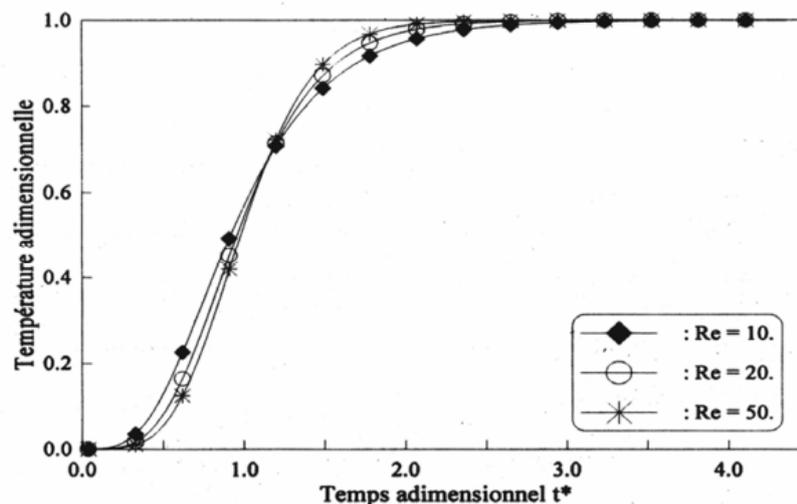


Figure 1.15 Température de sortie instantanée pour différentes valeurs du nombre de Reynolds.

Dans la zone chaude, nous constatons que la température augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds. Cependant dans la zone froide, le phénomène inverse se produit. Ce qui permet d'avoir une meilleure stratification et cela du moins avant la disparition de cette zone.

Par ailleurs, l'examen des figures 3 et 4 nous montre que l'efficacité de stockage augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds, alors que la température de sortie diminue avec l'augmentation du nombre de Reynolds pour $1 \leq t^* \leq 2$. (Ce qui permet d'avoir un meilleur rendement du système de captation) et augmente avec l'augmentation du nombre de Reynolds pour $t^* > 2$.

En conclusion, nous pouvons dire que lorsque les forces de gravité sont prédominantes par rapport aux forces d'inertie, le fluide contenu dans la cuve est stratifié. Ce qui permet d'avoir

les meilleures performances de stockage qui augmentent aussi avec l'augmentation de la vitesse d'injection du fluide (ou vitesse d'extraction du fluide).

En 2001 D. Lafri et al [13] ont fait une étude sur les comportements thermiques d'une cuve de stockage dans une installation de chauffage solaire collectif par un modèle numérique qui décrit tous les modes de transferts thermiques impliqués. Qui basée sur les bilans thermiques de chaque zone dans la cuve de stockage a été réalisée. Les équations différentielles obtenues sont résolues par les deux schémas implicite et explicite aux différences finies. Les résultats théoriques obtenus du modèle sont comparés aux résultats d'une étude expérimentale à été effectuée au niveau de site de Bouzaréah (Alger).

La confrontation des résultats théoriques et expérimentaux pour les deux phases a montré que les écarts n'excèdent pas 10 % correspondant à une concordance très satisfaisante.

Les résultats expérimentaux ont montré que le gradient de températures suivant l'horizontale à l'intérieure de la cuve pour chaque zone est négligeable.

Le débit du circuit primaire influe sur la répartition de la température dans la cuve de stockage pour les valeurs comprise entre 60 - 240 l/h. Au-delà de la valeur supérieure, les températures de chaque tranche reste inchangée.

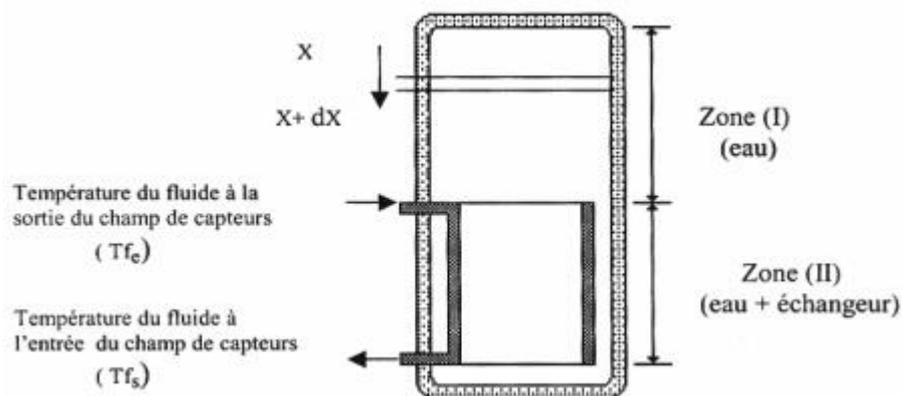


Figure 1.16 Schéma du système de chauffage.

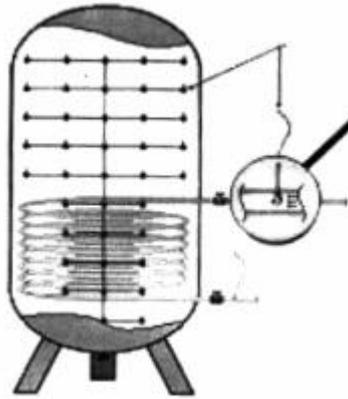


Figure 1.17 Schéma de disposition des thermocouples dans le système de stockage.

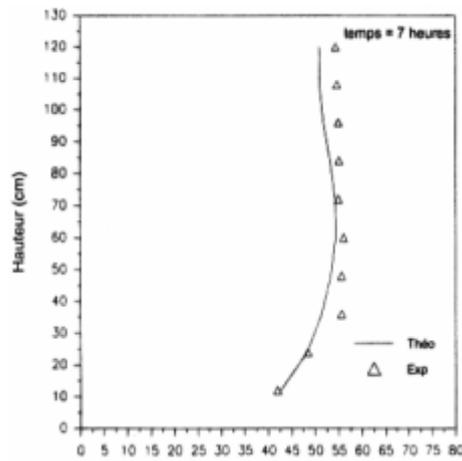


Figure 1.18 Comparaison des résultats théoriques et expérimentaux pour différentes hauteurs après 7 heures de chauffe.

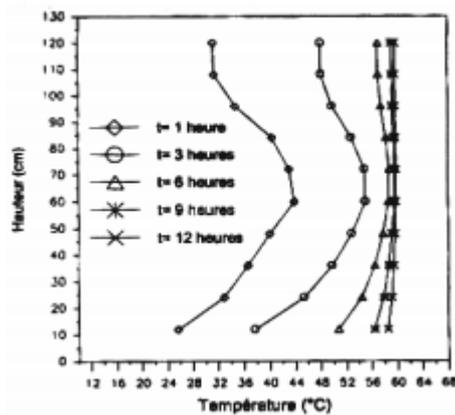


Figure 1.19 Répartition des températures dans la cuve de stockage Pour différents temps en cours de chauffe.

En 2005 Roman Spur et al [14] ont étudiés numériquement par le TRNSYS l'influence du profil de soutirage journalier d'eau chaude sanitaire sur les performances d'un ballon de stockage.

Ils trouvent que le serpentin de l'échangeur de chaleur immergé doit être situé dans la zone supérieure du réservoir pour obtenir l'effet d'extraction de la chaleur de l'eau du réservoir.

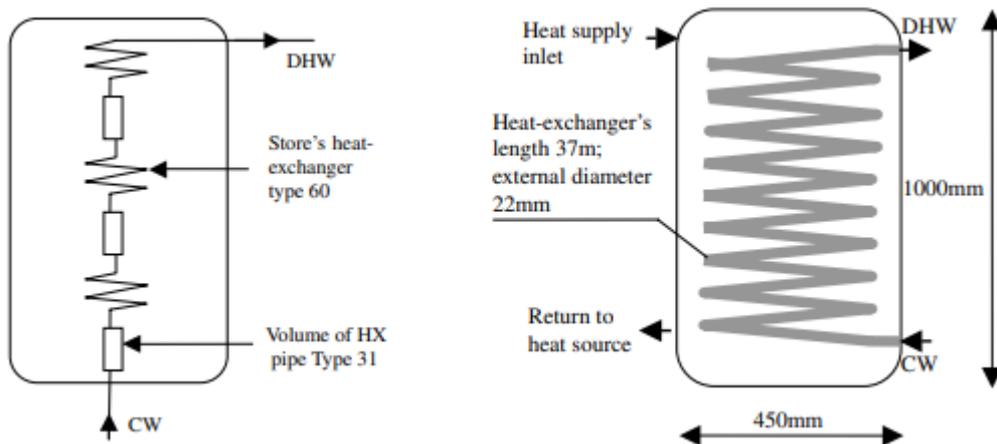


Figure 1.20 Schéma du système considéré et Schéma du modèle amélioré NEM.

En 2006 **B. Chaouachi* et S. Gabsi[15]** ont étudié expérimentalement un chauffe-eau solaire à stockage intégré. Ce chauffe-eau est équipé d'un système de concentration comportant trois branches paraboliques favorisant une meilleure absorption du rayonnement solaire. Grâce à la libre rotation du système de concentration.

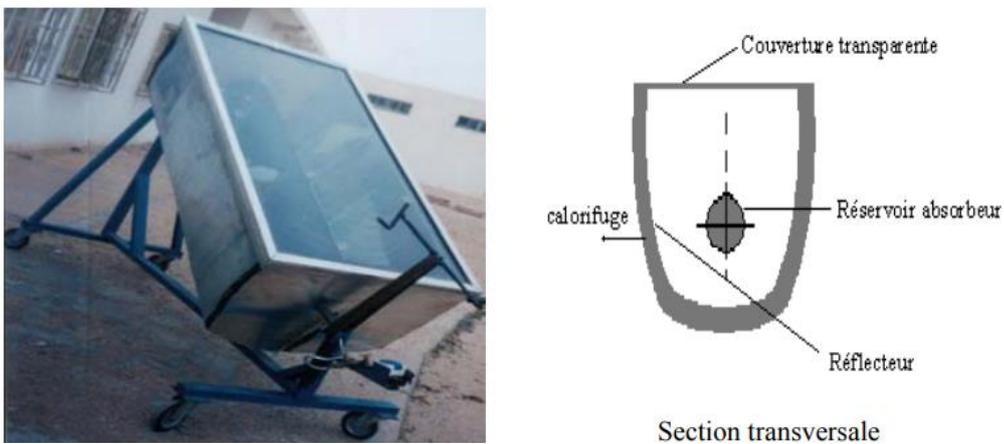


Figure 1.21 Dispositif expérimental.

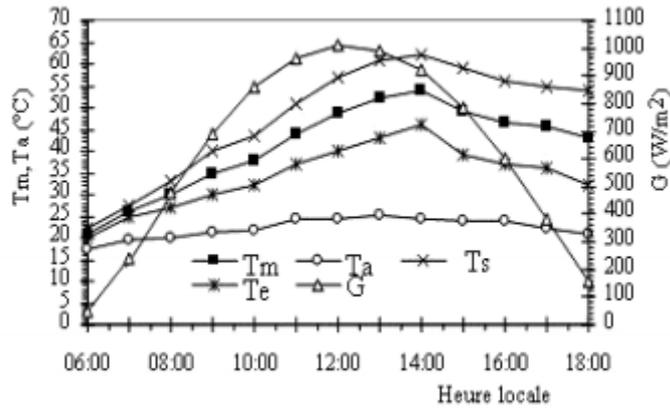


Figure 1.22 Variation de la température moyenne du réservoir, de la température ambiante et du flux solaire en fonction du temps pour local.

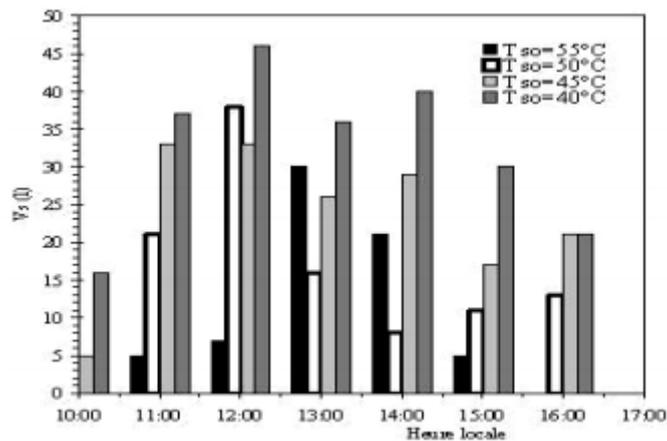


Figure 1.23 Evolution des volumes de soutirages en fonction du temps local pour différentes températures de soutirages.

D'après les résultats obtenus sur ce dispositif, on remarque que les niveaux de températures du réservoir sont satisfaisants et la production d'eau chaude est suffisante pour l'utilisateur. Ces performances peuvent être améliorées par l'utilisation des surfaces sélectives de captation et d'absorption, le perfectionnement de l'isolation thermique et l'ajout d'un dispositif de commande du système de concentration permettant la diminution des pertes nocturnes.

En 2012 M.C. Rodríguez-Hidalgo et al[16] ont étudié par le TRNSYS l'adaptation de la production du champ de capteurs solaires thermiques à la consommation d'eau chaude sanitaire.

L'étude révèle que la taille du réservoir de stockage d'eau est importante pour la performance de systèmes chauffe-eau solaire. Ceci est particulièrement important pour la valeur de V / A

<0,05 m (2,5 m³ pour une installation solaire avec une surface de capteur de 50 m²), qui peut être considérée comme une condition de conception clé

55

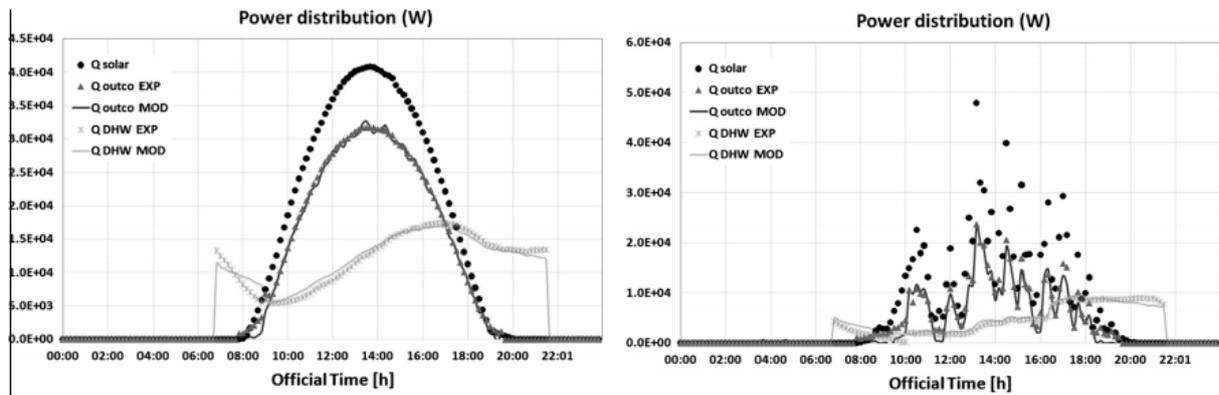


Figure 1.24 Distribution d'énergie thermique pendant une journée ensoleillée 2008-09-14 (a) et une journée nuageuse 2008-04-09.

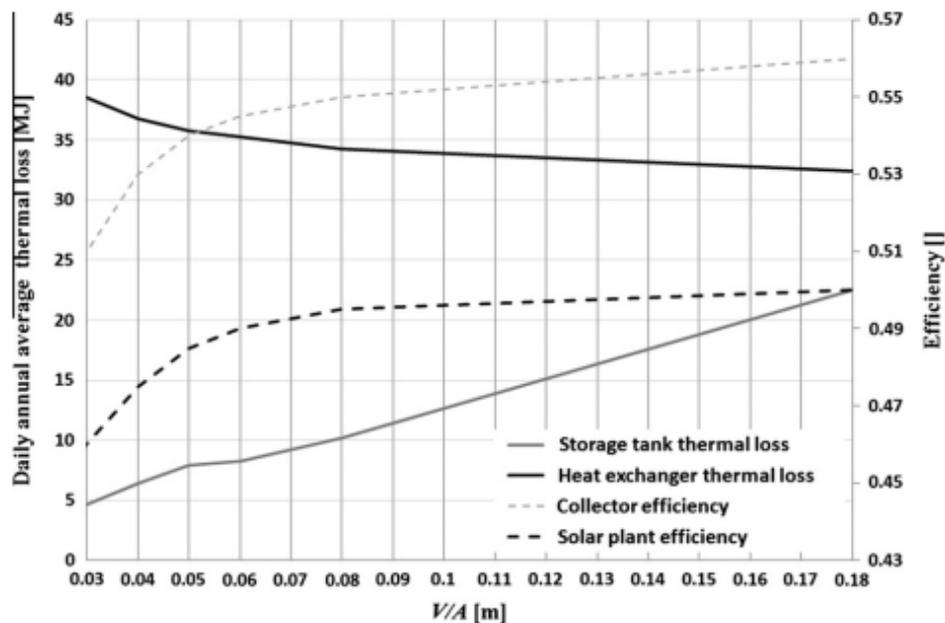


Figure 1.25 Pertes thermiques du réservoir de stockage et de l'échangeur thermique par rapport à V/A . Efficacité des capteurs et de l'installation solaire sur l'axe secondaire. Résultats obtenus avec la simulation transitoire programme pour les valeurs moyennes annuelles quotidiennes.

En 2012 M.CHIKHI et al [17] ont étudiés numériquement en utilisant le logiciel **Comsol Multiphysics**. Les performances des revêtements époxy appliqués dans les surfaces

intérieures de la cuve de stockage d'un chauffe-eau solaire. Et détermine leur épaisseur optimale qui garantit à la fois la protection contre la corrosion et un meilleur flux thermique pour un rendement maximal à long terme.

Les résultats montrent que le flux de chaleur diminue en augmentant l'épaisseur du revêtement. Et que l'épaisseur optimale est de 0.5 mm qui offre le flux de chaleur maximum avec son rôle principal qui est la protection contre la corrosion.

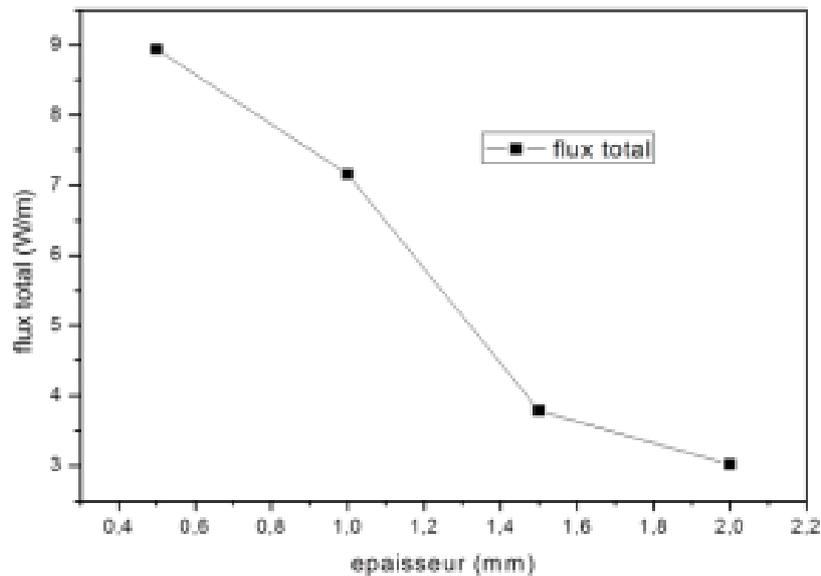


Figure 1.26 Evolution du flux de chaleur en fonction de l'épaisseur du revêtement en Epoxy.

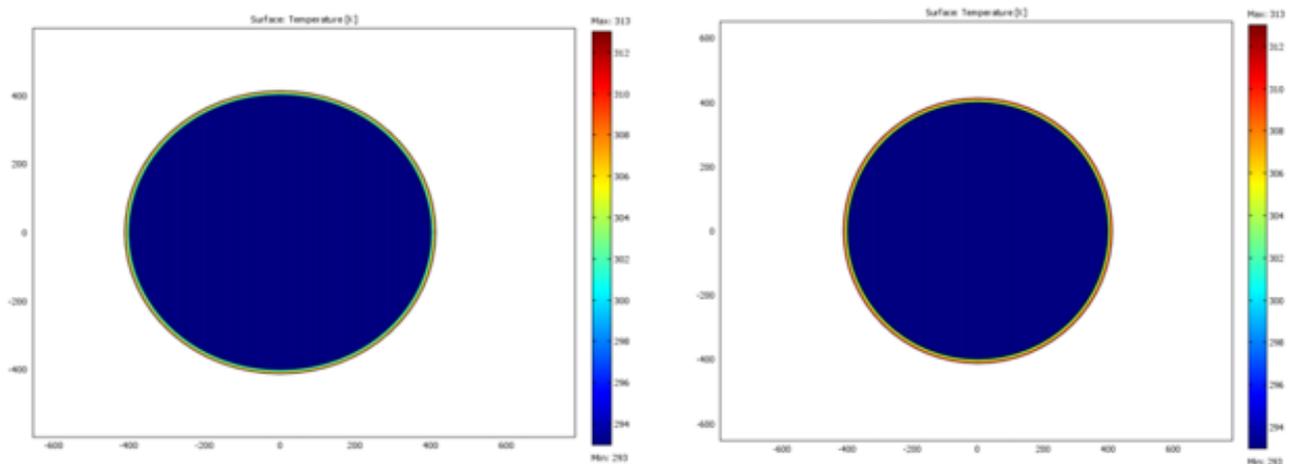


Figure 1.27 Distribution de la température à travers la cuve de stockage pour un revêtement en epoxy d'épaisseur de 0.5mm et 1.5mm.

En 2015, M. BENBRIKA et al[18] ont étudiés numériquement l'importance des matériaux à changement de phase (MCPs), par l'analyse de leur potentiel de stockage et trouve que l'énergie stockée par chauffe-eau solaire MCP est presque 320% plus que l'énergie stockée par chauffe-eau solaire classique.

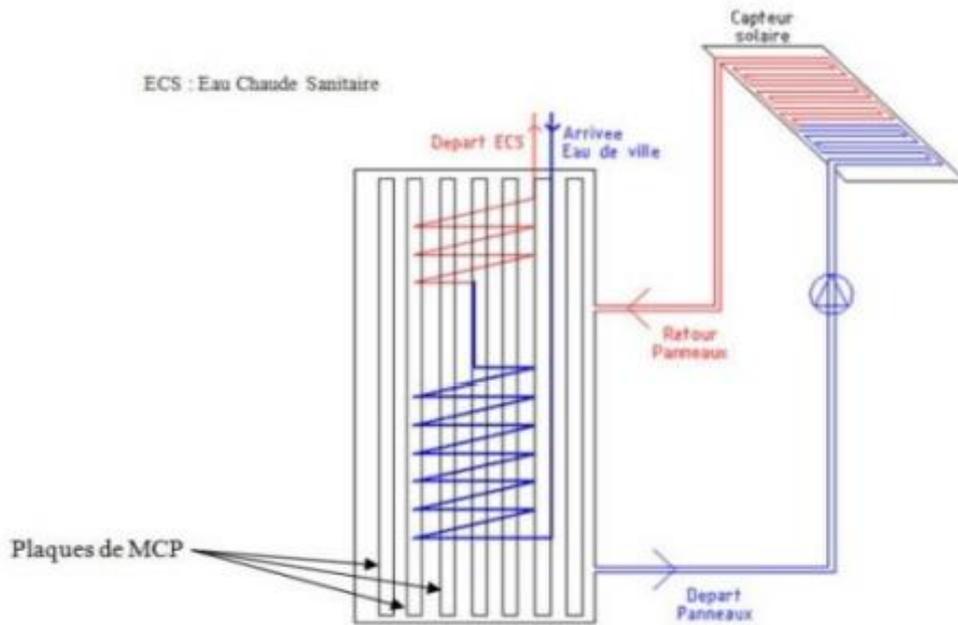


Figure 1.28 Schéma d'un Chauffe-eau solaire utilisant du MCP.

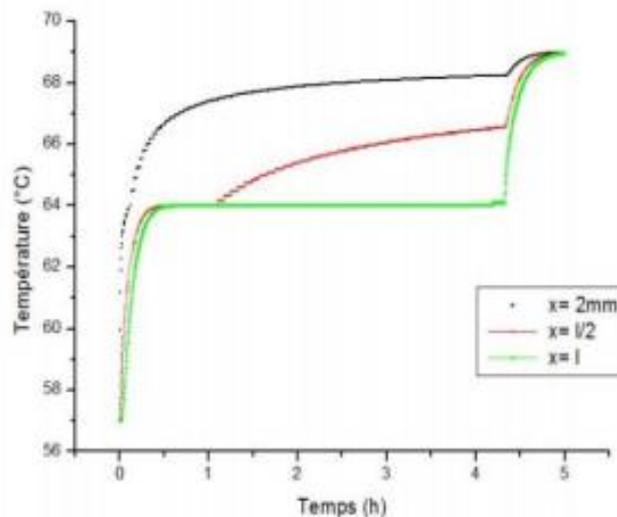


Figure 1.29 Variation des températures dans le temps de trois points de MCP.

En 2017A. Allouhi et al [19] ont étudié l'optimisation de la conception d'un système de chauffage solaire centralisé fournissant de l'eau chaude à quatre processus avec différents niveaux de température et profils de charge. À titre d'étude de cas, une entreprise marocaine de transformation du lait basée à Casablanca

L'entreprise produit des mélanges et aromatisés à base de lait boissons à base de fruits comme les bananes, les pêches et les fraises. Le processus de fabrication est illustré aux tableaux.

Les quatre principaux processus suivants qui nécessitent de l'eau chaude à différents niveaux de température et profils de charge sont répertoriés ci-dessous:

1. (Refroidissement du lait (processus 1): le lait est refroidi ou réfrigéré à 5–7 ° C et stocké avant le traitement. Le refroidissement est nécessaire pour éviter la multiplication des micro-organismes, ce qui empêche le lait de détérioration pendant une période de temps spécifiée. Il est à noter que le refroidissement ne rend pas le lait prêt à la consommation. La plante utilise un refroidisseur thermique à absorption de puissance élevée qui est entraîné par de l'eau chaude à 80 ° C.
2. Nettoyage des fruits (procédé 2): les fruits reçus sont traités à une température de 75 ° C à laquelle le but est de réduire les bactéries en niveaux et éviter la contamination des produits.
3. Pasteurisation du lait (processus 3): Ce processus élimine presque tous les germes pathogènes et rend le lait propre à la consommation humaine. Le lait est pasteurisé à une température de 90 ° C.
4. Séchage des fruits (procédé 4): Avant de mélanger avec du lait traité, les fruits sont séchés via des échangeurs de chaleur eau-air. Ainsi, l'eau doit être maintenue à une température de 60 ° C.

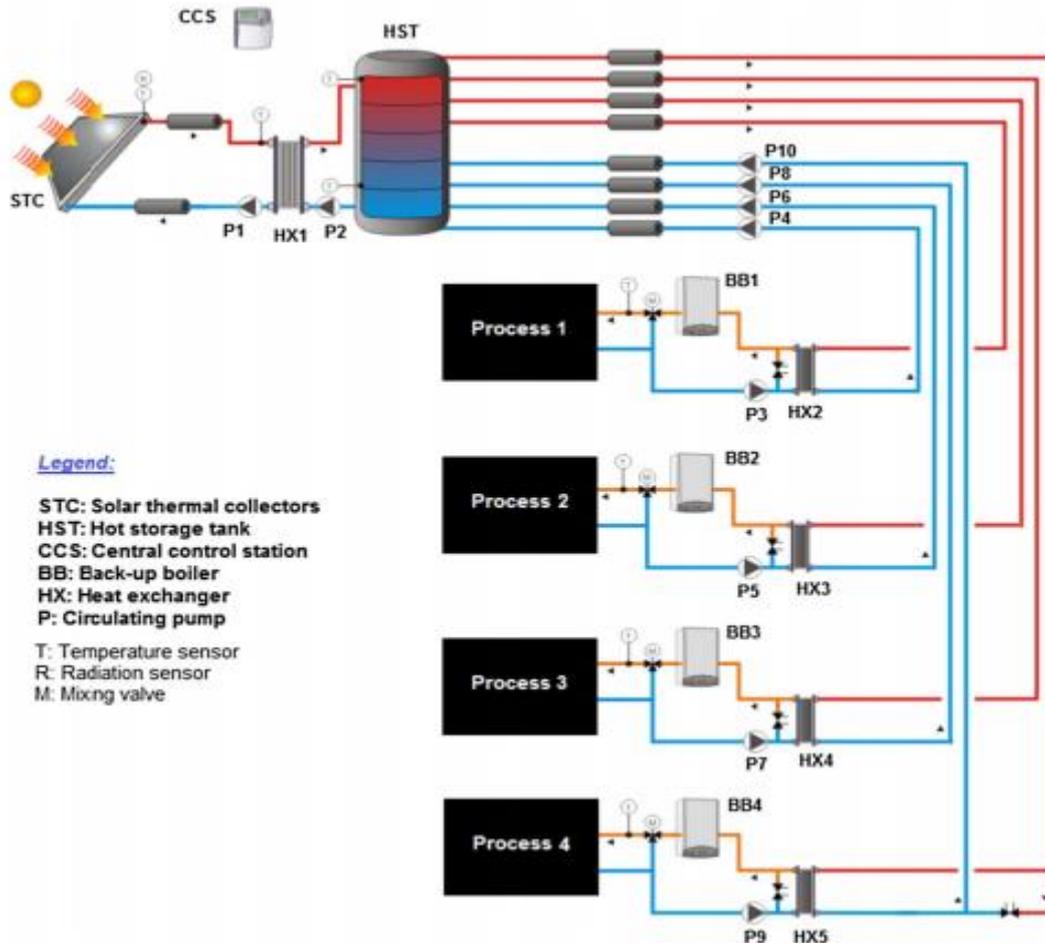


Figure 1.30 Schéma de principe de l'installation proposée.

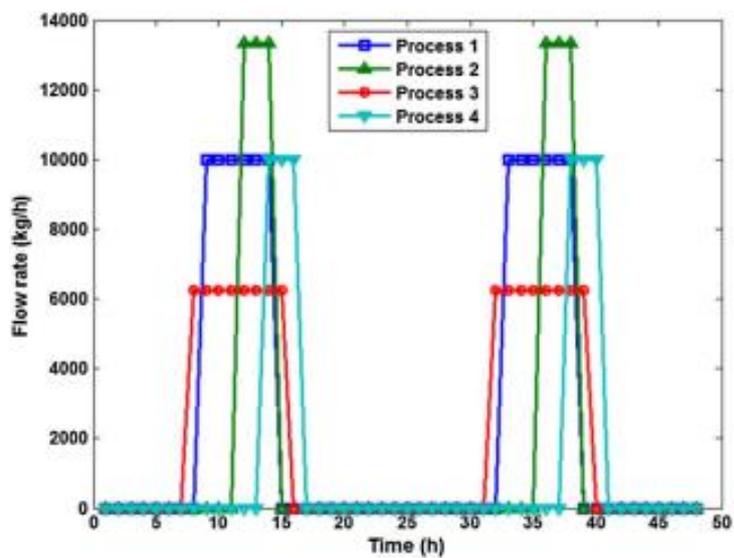


Figure 1.31 Profil de charge pour les quatre processus.

En 2018 **A. Harmim et al [20]** ont étudiés, un nouveau chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur conçu pour une intégration au mur de l'habitat en milieu saharien a été présenté (Adrar).

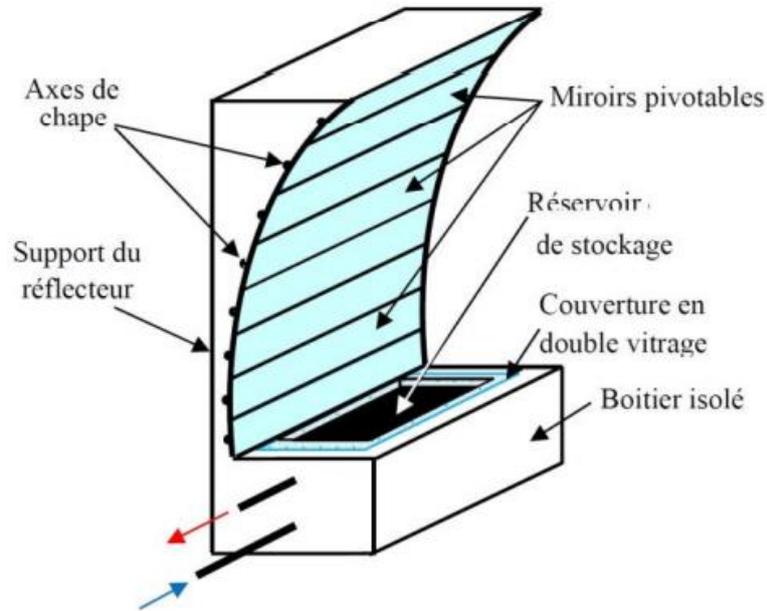


Figure 1.32 Schéma descriptif du chauffe-eau solaire capteur-stockeur avec réflecteur en forme de branche parabolique linéaire.



a- Côté extérieur en hiver



b- Côté intérieur (dispositif non utilisé)

Figure 1.33 Représentation 3D du chauffe-eau solaire développé pour une intégration au mur de l'habitat.



Figure 1.34 *Dispositif expérimental.*

Les résultats obtenus confirment la faisabilité de ce genre de système pour satisfaire les besoins des ménages sahariens en matière d'eau chaude sanitaire en période hivernale uniquement. En période estivale et quand le dispositif n'est pas utilisé, il peut être alors exploité pour l'aération de l'habitation, lorsqu'on pivote les miroirs de son réflecteur vers la position horizontale selon le principe des abat-jour vénitiens.

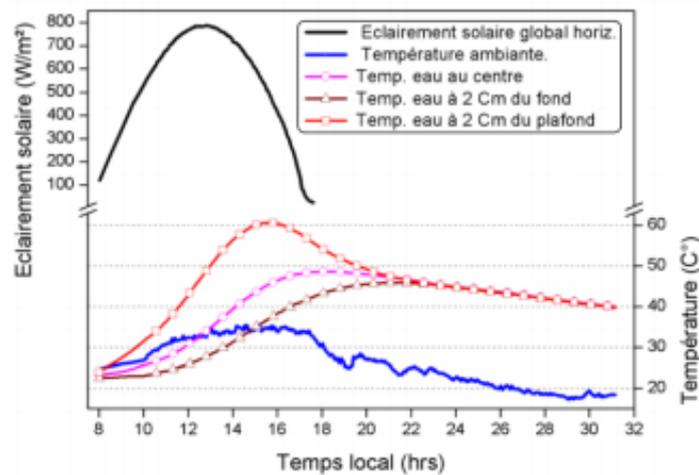


Figure 1.35 *Evolution de la température de l'eau stockée dans l'élément capteur-stockeur lors de la journée du 8 Novembre 2017 (sans puisage).*

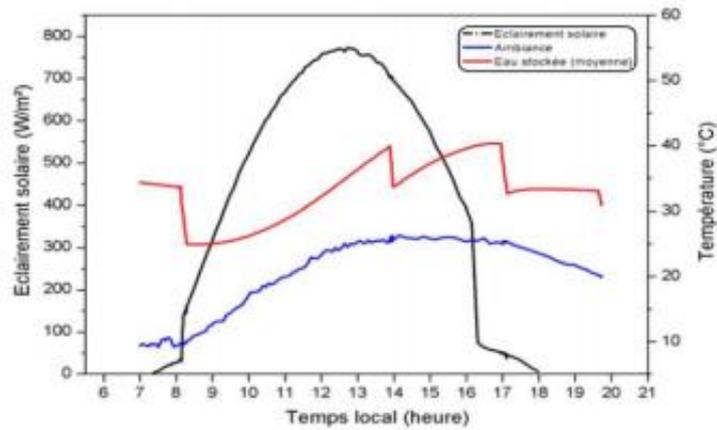


Figure 1.36 Evolution de la température moyenne de l'eau stockée dans l'élément capteur-stockeur lors de la journée du 14 Novembre 2017 (Avec puisage).

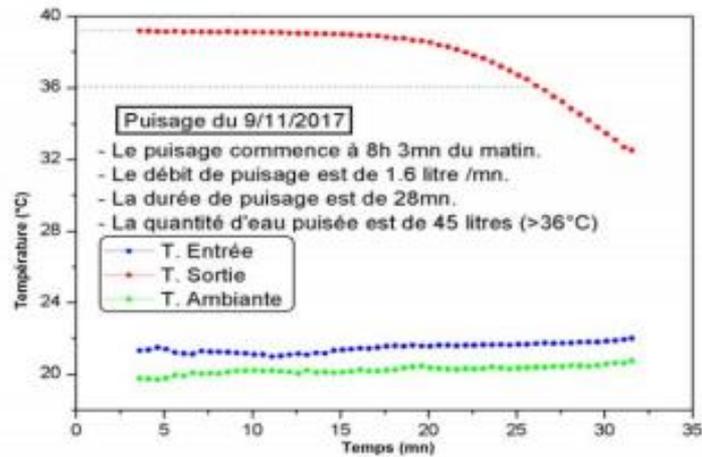


Figure 1.37 Evolution de la température de l'eau chaude puisée en fonction du temps 08h du matin le 09 Novembre 2017.

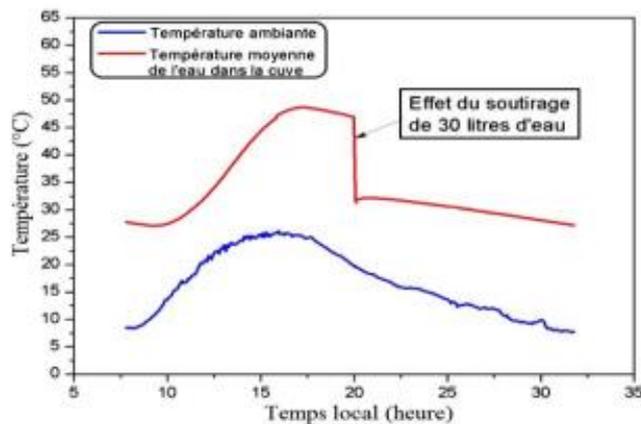


Figure 1.38 Evolution de la température moyenne de l'eau stockée dans la cuve du système lors de la journée du 25 Janvier 2018

CHAPITRE 02:
CONCEPTION DE BANCS D'ESSAI

2.1. Introduction

Dans le chapitre précédent, un aperçu du système de chauffage solaire et quelques études liées à la partie stockage ont été donnés. Dans ce chapitre nous montrerons comment réaliser notre dispositif expérimental.

2.2. Réalisation du capteur solaire

Puisque le capteur solaire est formé de différents composants (coffre, vitrage, isolation, absorbeur et tubes) Nous le fabriquons en plusieurs étapes, Puis nous l'avons finalement on la assemble.

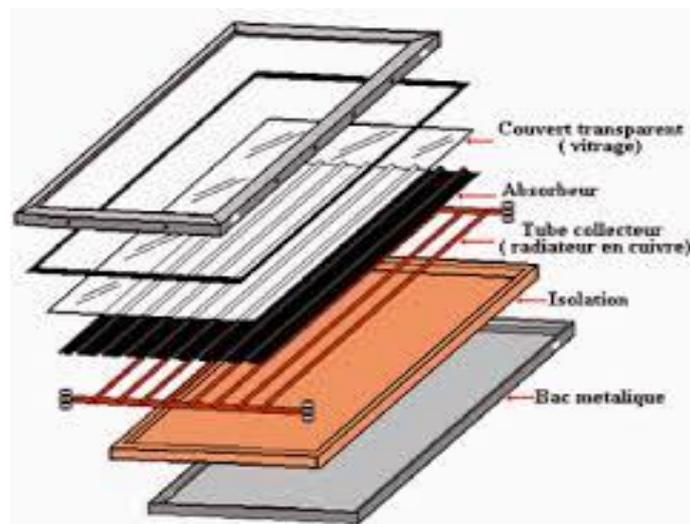


Figure 2.1. Les différents composants de capteur

Le coffre est formé avec des plaques en acryliques sous forme de boîte. De longueur 100 cm, largeur 95 cm et hauteur 15 cm et au fond de celui-ci nous avons installé une plaque d'isolant en polyester d'épaisseur de 5 cm. Pour réduire les pertes de chaleur par les zones non réceptrices le rayonnement solaire à l'arrière et sur les côtés.

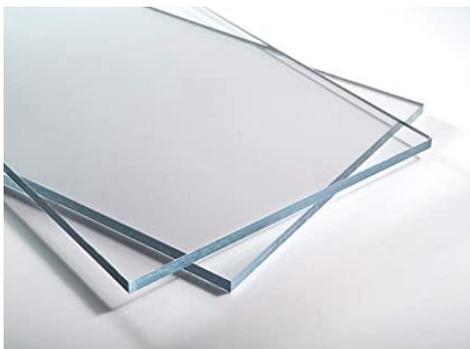


Figure 2.2. Les plaques en acryliques



Figure 2.3. L'isolant en polyester

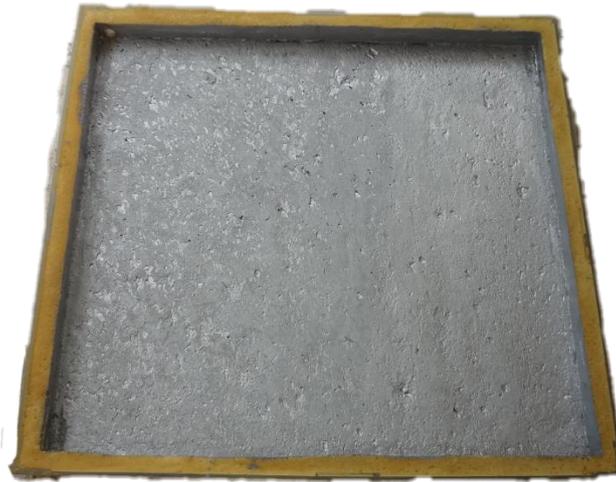


Figure 2.4. *Le coffre en plaques acryliques et isolée en polyester à l'arrière et sur les côtés*

Les tubes permettant le passage du fluide caloporteur sont des tubes de cuivre soudés en forme de radiateur (collecteur) de façon qu'en pose les petits tubes de diamètre de 14 mm verticalement Puis ils sont soudés avec deux tubes d'un diamètre plus grand de 22 mm en position horizontale. Et dans ces deux derniers on met l'entrée et la sortie du fluide.

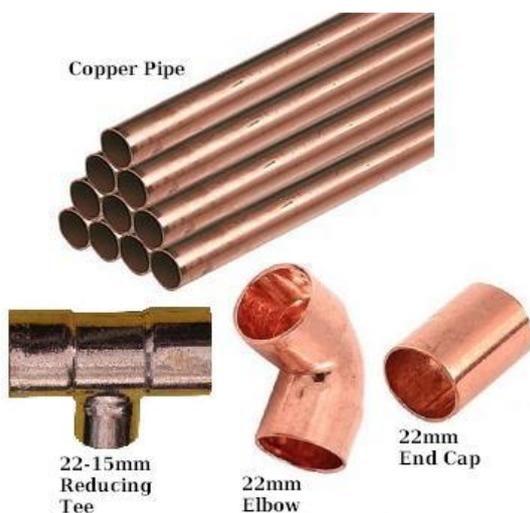


Figure 2.5. *Des tubes en cuivre*



Figure 2.6. *Le collecteur du tube en forme radiateur*

Ensuite, nous installons l'absorbeur sur ce collecteur, qui est une plaque d'aluminium ondulé pour s'adapter aux tubes.



Figure 2.7. *L'absorbeur ondulé en aluminium*

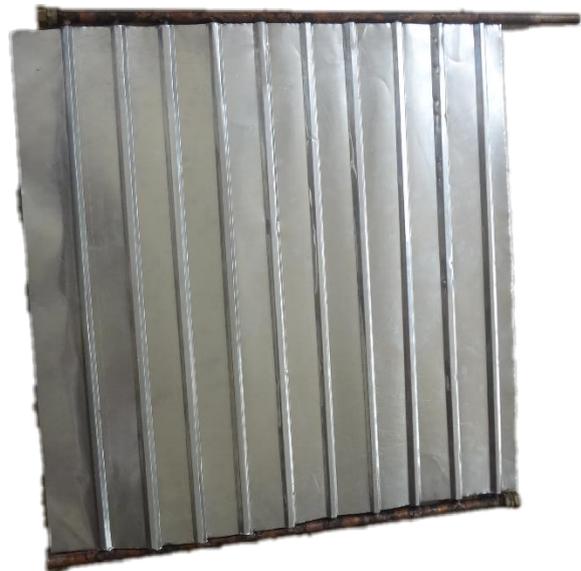


Figure 2.8. *L'absorbeur avec le collecteur*

Et puis nous l'installons sur le coffre du capteur solaire après ça on la peint avec une peinture noir foncé pour absorber le maximum de rayonnement solaire.



Figure 2.9. *Le collecteur place sur le coffre*



Figure 2.10. *L'absorbeur avec le collecteur peint en noir place sur le coffre*

Et enfin, nous installons la dernière partie, qui est le vitrage. Nous avons utilisé du verre de 3 mm d'épaisseur.



Figure 2.11. *La forme finale de capteur solaire.*

2.3.Réalisation de cuve de stockage

La cuve de stockage qui utilisé dans notre travail est un réservoir cylindrique d'une capacité de 30 litres est requis, comme le montre dans la Figure 2.12, avec des dimensions: Hauteur $H= 75$ cm, diamètre $d=115$ cm. La cuve repose sur des cales Pour assurer la charge thermique.



Figure 2.12. *La cuve de stockage*

Un premier circuit a été créé. Il se compose d'un échangeur de chaleur à serpentin dont ce dernier est constitué d'un tube en cuivre d'un diamètre de 14 mm et d'une épaisseur de 2 mm, enroulé en 12 spire d'un diamètre de 40 cm. L'échangeur est immergé à l'intérieur de la cuve de stockage.



Figure 2.13. *L'échangeur de chaleur*

Nous utilisons de la laine de roche de 5 cm d'épaisseur pour l'isoler, et le fond est également isolé pour minimiser les pertes thermiques.



Figure 2.14. La cuve de stockage après l'isolation par la laine de roche de 5 cm d'épaisseur

Le capteur et la cuve de stockage sont reliés par un circuit thermiquement isolé. Et pour assurer la circulation du fluide caloporteur (l'eau) dans le circuit primaire (le collecteur, L'échangeur et Les tuyauteries), en utilise une pompe électrique.



Figure 2.15. La pompe électrique.



Figure 2.16. Les tuyauteries du circuit primaire

Remarque: le débit massique optimal de la circulation de fluide caloporteur est **0.002Kg/s** pour chaque 1 m² de capteur, mais pour notre travail on utilise une robine à l'ente de capteur pour le réglage.



Figure 2.17. *Robine pour le réglage de débit*



Figure 2.18. *L'assemblage des composants de système de chauffe-eau solaire*

CHAPITRE 03:
INSTRUMENTATIONS

3.1. Introduction

Après la réalisation du banc d'essai, on branche les instruments de la mesure pour étudier l'effet de puisage : on prend de nombreux thermocouples de type **K (Cr-Al)** pour mesurer la température à différentes profondeurs, un pyranomètre pour mesurer l'éclairement solaire global. Les mesures sont enregistrées par l'intermédiaire d'une chaîne d'acquisition de données de marque **Fluke** connectée à un ordinateur pour stockés les résultats.

3.2. Mesure de températures

Il existe de nombreuses façons pour la mesure de températures. Les thermocouples sont parmi les plus utilisés dans des conditions similaires. Dans ce contexte, plusieurs impératifs sont à considérer : La gamme de températures à mesurer varie de 0 à 100 °C, pour cela nous avons choisi des thermocouples (chromel alumel) de type K. Le constantan étant un alliage de cuivre et de Nickel, en raison de sa disponibilité, sa bonne sensibilité (environ 40 $\mu\text{V/k}$) et un temps de réponse rapide associé à une courbe de réponse quasi linéaire dans le domaine de températures considérées.



Figure 3.1 Thermocouple (chromel alumel) de type K

Notre système est constitué de 11 thermocouples de type **K (Cr-Al)** disposés de la manière suivante :

- 08 sont immergés à différents niveaux dans la cuve de stockage (espacés de 5Cm).
- 02 thermocouples sont placés à l'entrée et à la sortie du capteur solaire.
- 01 thermocouple pour mesurer la température ambiante.



Figure 3.2 Les thermocouples collés sur une tige pour immerger à différents niveaux dans la cuve de stockage.

3.3. Mesure du rayonnement solaire global

Pour mesurer l'éclairement solaire global, un pyranomètre de model CM 6B N° 973313 qui est placé sur une surface inclinée parallèle au vitrage du capteur.



Figure 3.3 La position du pyranomètre dans le système expérimentale

L'ensemble des mesures transmises par ces capteurs sont enregistrées par l'intermédiaire d'une chaîne d'acquisition de données de marque **Fluke**. Cette dernière est connectée à un ordinateur dans lequel sont stockés les résultats.



Figure 3.4 Les fils de compensation liés à l'acquisition de données



Figure 3.5 L'acquisition connectée à un ordinateur pour stocker les mesures.

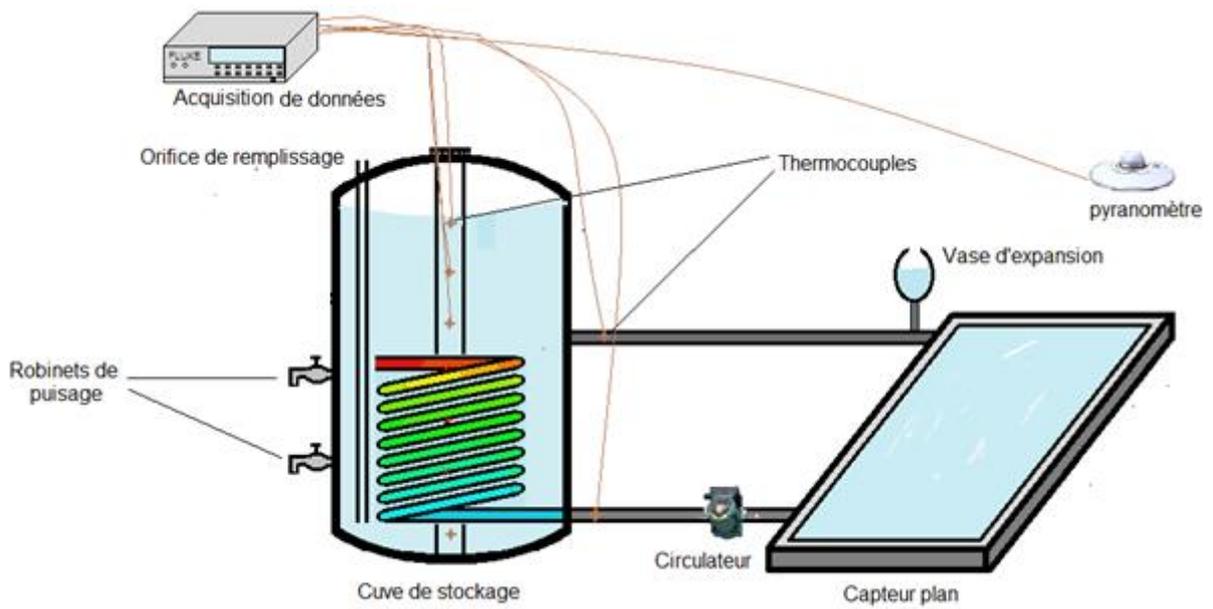


Figure 3.6 schéma de montage et leur instrumentation

3.4. Les étapes de l'expérimentation

Nous faisons l'expérience pour connaître l'effet de puisage sur les performances thermiques du chauffe-eau solaire pendant la journée, Et ça sera selon les étapes suivantes:

1. Nous remplissons le ballon de stockage d'eau froide en début de journée, Ensuite, nous démarrons la pompe pour déplacer le fluide entre le capteur et le réservoir. Le système commence à chauffer l'eau,



Figure 3.7 *Le système en marche*

2. Nous mesurons la température toutes les 5 minutes. Et après un certain temps, lorsque la température de l'eau à l'intérieur du réservoir atteint une valeur spécifiée et uniforme. nous puisons une certaine quantité d'eau chaude et la remplaçons par la même quantité d'eau froide.



Figure 3.8 *Enregistrement des mesures*

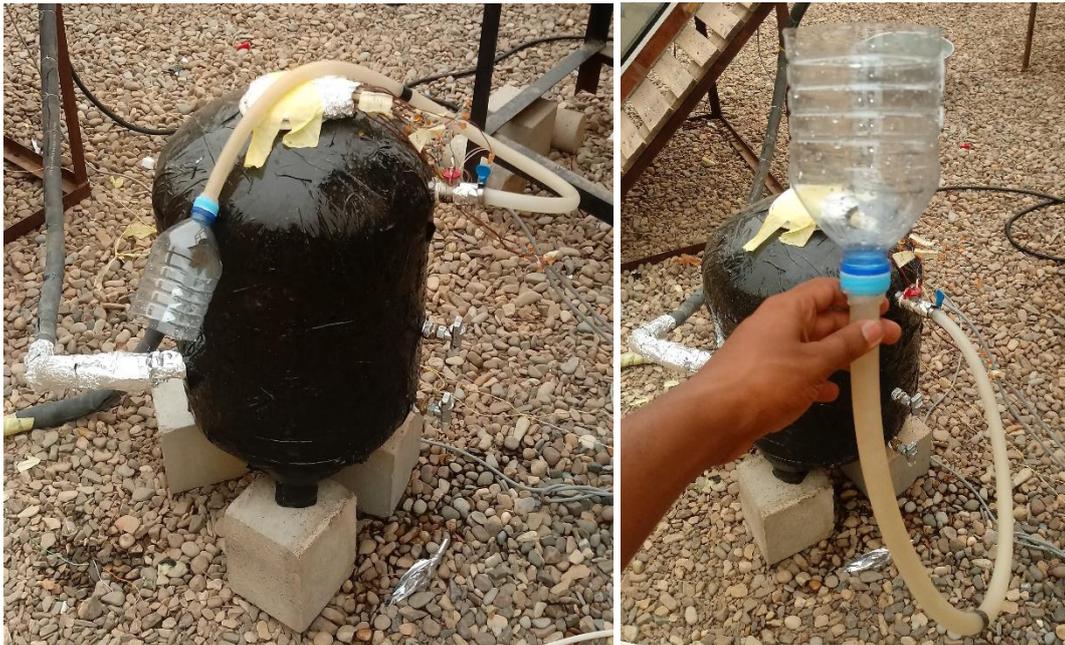


Figure 3.9 *L'orifice de remplissage et les deux robinets de puisage.*

3. Après le puisage et le remplissage la température à l'intérieur du réservoir diminue. Mais on continue à mesurer la température jusqu'à ce qu'elle revienne à la même valeur avant le déchargement de l'eau. Nous mesurons le temps nécessaire pour cela et surveillons les changements et l'évolution de la température pendant cette période.

Remarque : On fait l'expérience plusieurs fois, en changeant la quantité d'eau chaude puisée et l'heure de soutirage.

CHAPITRE 04:
RESULTANTS ET INTERPRITATION

4.1. Introduction

Les résultats présentés dans ce chapitre sont relatifs aux trois expériences à différentes journées de façon suivant :

Tableau 4-1: Les détails sur expériences

La journée de l'expérience	Temps de début de l'expérience	Temps de puisage	Volume de puisage	Température d'eau de remplissage
17-07-2021	9:30 h	13:30 h	5 litre	18 C °
17-09-2021	9:30 h	12:45 h	10 litre	25 C °
19-09-2021	10:10 h	13:00 h	20 litre	25 C °

4.2. Les résultats et l'interprétation

4.2.1 La journée 14-07-2021

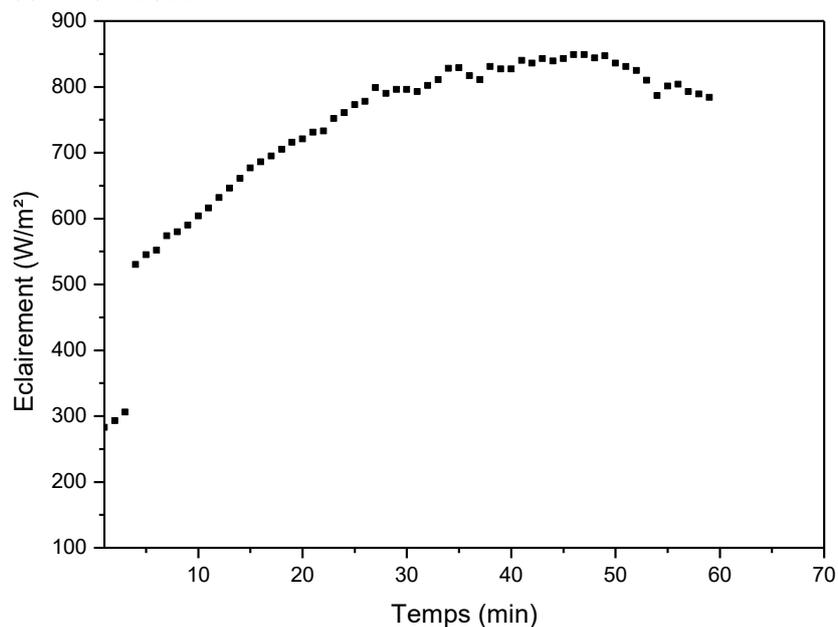


Figure 4.1 Evolution de l'éclairement global sur une surface inclinée (14-07-2021)

La **Figure 4.1** représente l'évolution du rayonnement solaire global sur une surface inclinée pendant la journée du 14-07-2021. On constate que la courbe a une forme de cloche avec une valeur maximale d'environ 850 W/m^2 entre 12:45h et 13:35h.

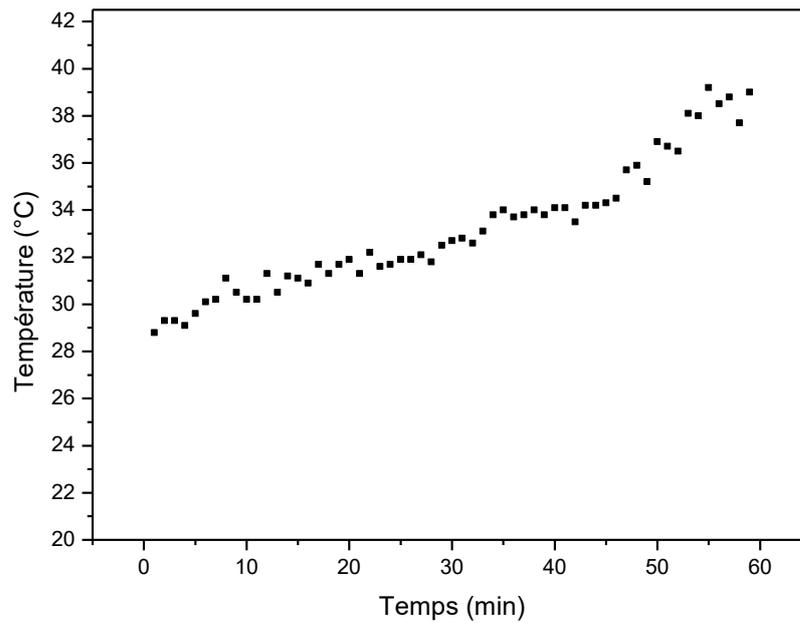


Figure 4.2. Evolution de la température ambiante (14-07-2021)

- Cette **Figure 4.2** représente l'évolution de la température ambiante pendant la journée du 17-07-2021, Elle varia entre 28.8 C° et 39 C°.

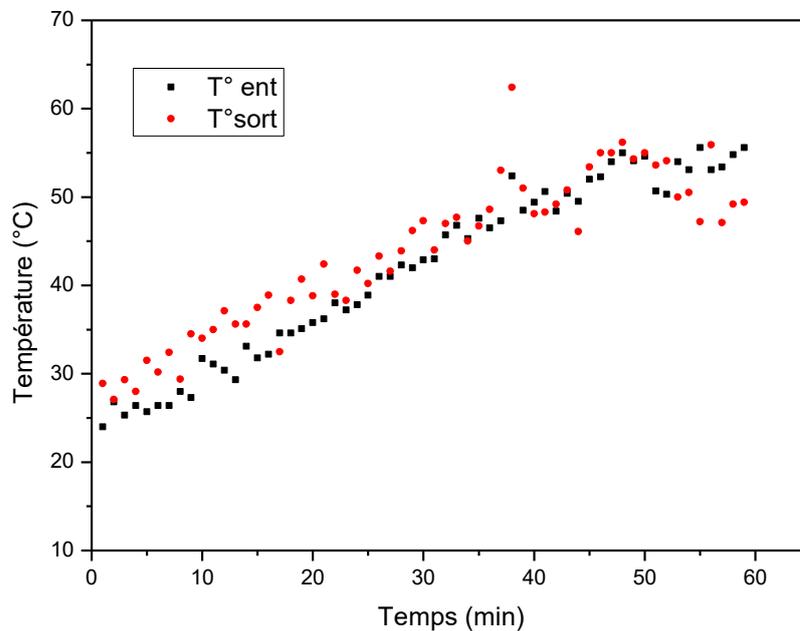


Figure 4.3 Variation de température d'entrée et de sortie de capteur (14-07-2021)

La **Figure 4.3** représente la variation de température d'entrée (en point noir) et de sortie (en point rouge) de capteur à la journée 14-07-2021, on constate que :

- Les deux courbes ont la même allure avec un écart moyen de l'ordre de 4 °C.
- Dans cet intervalle (au début de l'expérience jusque à 12:45h) on dit que le capteur fonctionne avec un rendement instantané (le capteur chauffe l'eau).
- A partir de 12:45h (ce qui correspond à l'abscisse 39 mn de la figure) les deux températures de l'entrée et de la sorte se rapprochent fortement ($\Delta=1.3^{\circ}\text{C}$) donc le rendement instantané du capteur est presque nul.
- Notez également que le puisage n'a pas affecté sur les deux courbes de la température d'entrée et sorte de notre capteur.

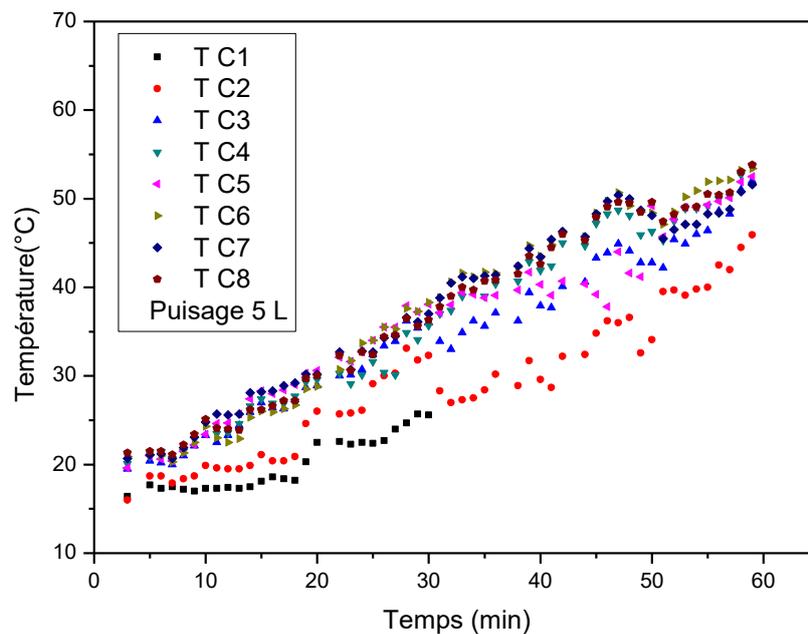


Figure 4.4 Représentation de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage à différentes profondeurs (le 14-07-2021)

La figure ci-dessus représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage à différentes profondeurs pendant le 14-07-2021, on constate que :

- l'évolution de chaque courbe est la même (simuler) sous forme d'une droite.
- le phénomène de stratification de température de stockage est apparent.
- Les écarts entre les courbes n'est pas identique au-delà d'une certaine hauteur (25 cm Tc5). Ils se rapprochent à cause de la présence de l'échangeur
- L'effet de puisage commence à partir de 13:35 h. Où les courbes présentent une diminution (autour de l'abscisse 50 min) puis remontent jusqu'à leur valeurs maximales respectivement, le système récupère la quantité de chaleur perdue et les températures

recommence à augmenter jusqu'à leurs valeurs avant le puisage, le temps nécessaire pour la récupération de ces températures est 50 min.

- Dans cette partie de l'expérience la variation de la température est de l'ordre deet donc l'effet de puisage ne joue pas un grand rôle.

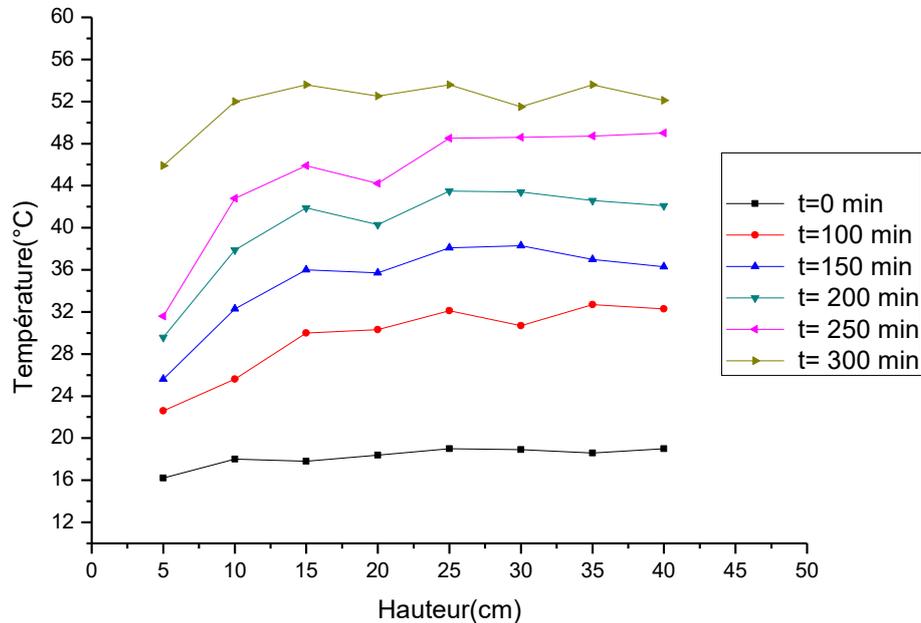


Figure 4.5. Profile des températures du fluide au cours du temps (14-07-2021)

D'après cette **Figure 4.5** qui représente le profil des températures du fluide au cours du temps durant la journée de 14-07-2021 on constate que :

- A t=0 (le temps initial) la température est uniforme et d'environne 17 °C.
- Les écarts de températures entre t=100 et 150 min, entre t= 150 et t=200 min) et entre t=200 min et t=250 min, respectivement entre 11:05h et 11:55h, entre 11:55h et 12:45h et entre (12:45h et 13:35h) sont presque les mêmes.
- Lors du puisage à t= 250 min, la température au bas de la cuve (capteur position 1 correspondant à 5 cm du fond de la cuve) démine de façon apparente.
- A t=300 min (temps final après le puisage) la température retourne presque uniforme.

4.2.2 La journée du 14-09-2021

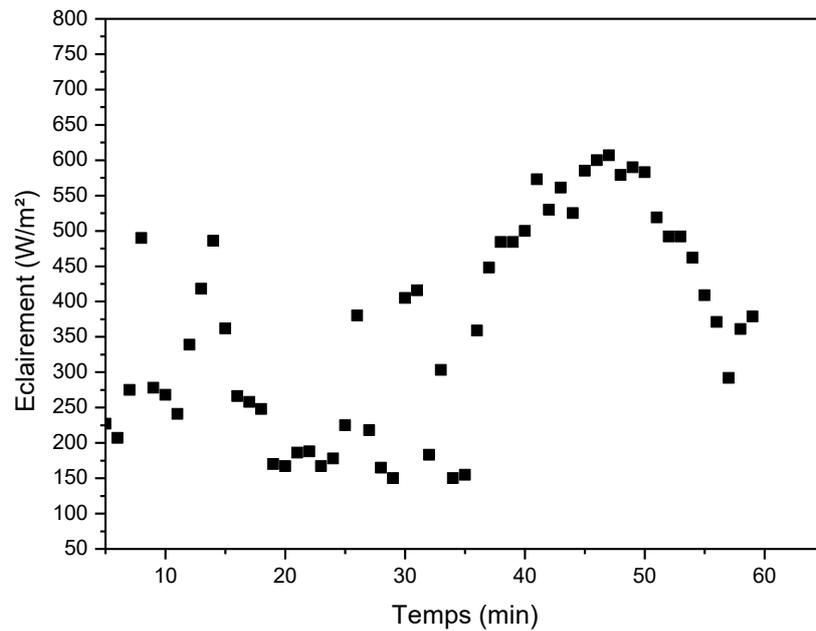


Figure 4.6. Evolution de l'éclairement global sur une surface inclinée (14-09-2021)

Cette **Figure 4.6** représente le rayonnement solaire global sur une surface inclinée pendant la journée du 17-09-2021 on constate que la densité de l'éclairement varie de façon aléatoire (journée nuageuse) entre 150 et 625w/m².

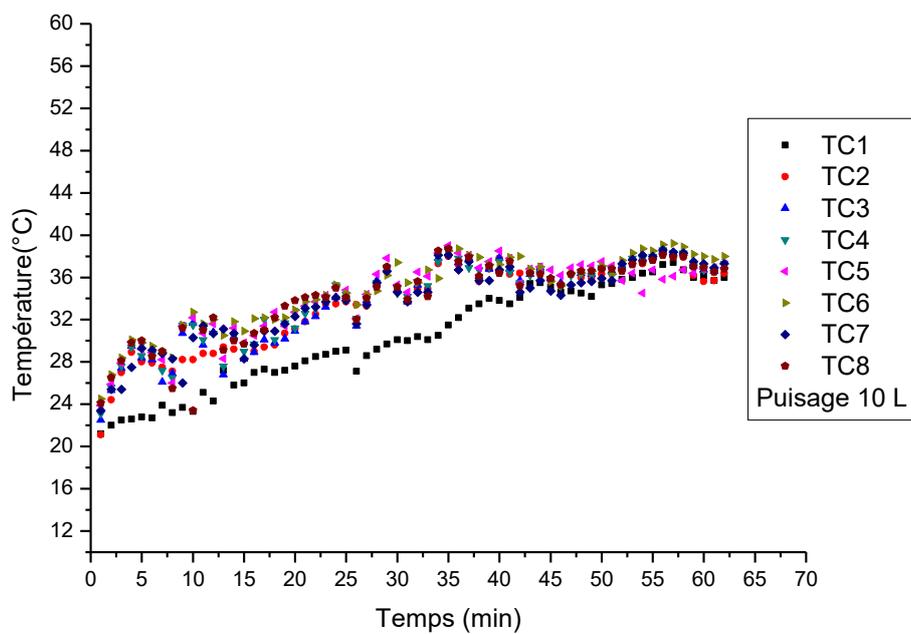


Figure 4.7. Représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage (14-09-2021).

La **Figure 4.7** représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage à différentes profondeurs pendant le 17-09-2021, on constate que :

- Les résultats de la journée du 17-09-2021 présentent les mêmes variations que dans la **Figure 4.5**. (les mêmes remarques pour l'évolution de température et le phénomène de stratification...)
- On remarque aussi, que la chute de température pour les différentes profondeurs n'est pas importante mais leurs temps de récupération (revenir à la température initiale) est plus long de 12:45h au 14:10h (l'abscisse 39 et 56) soit 90 min.

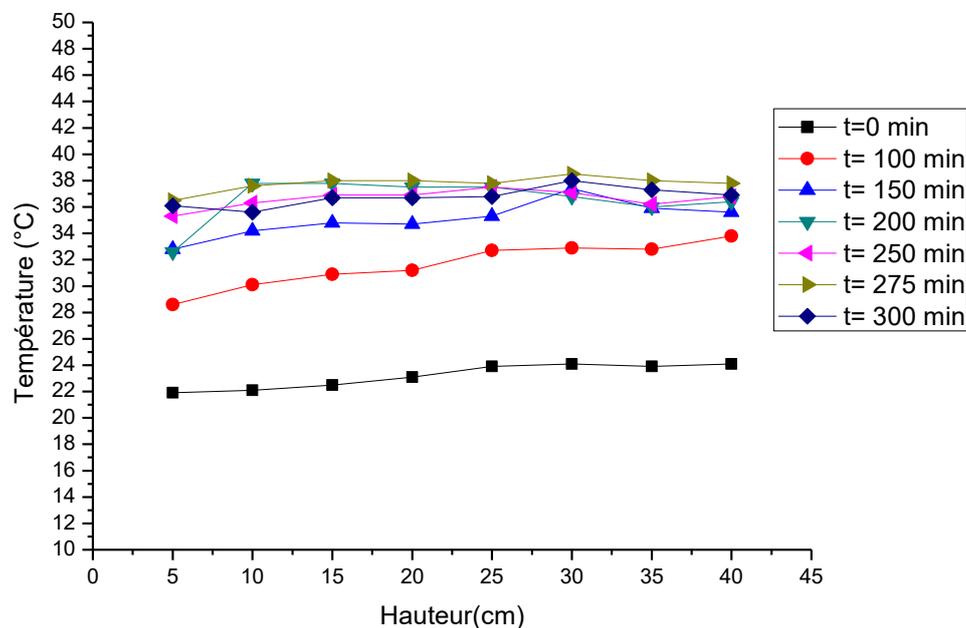


Figure 4.8. *Profile des températures du fluide au cours du temps (14-09-2021)*

La **Figure 4.8** représente la profile des températures du fluide au cours du temps durant la journée de 14-07-2021 on constate que :

- A t=0 min, (la tempe initiale) la température est uniforme, d'environ 22 °C.
- Le gradient de température pour chaque profil varie du bas vers le haut de la cuve de stockage.
- Les écarts de température entre t=0 et 100 min, et entre (t=100 et t=150 min) sont presque la même (environne de 6 ou 4 C°)

- Lors du puisage effectué à $t= 200$ min (courbe vert), la température au bas de la cuve (capteur position 1 correspondant à 5 cm du fond de la cuve) démine de façon apparente.
- A $t=250$ min, (après le puisage) en remarque que la température chute mais elle est presque uniforme (environ de $36\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- A $t=275$ min, la température augmente mai elle rechute à $t=300$ min. On explique cela par les pertes thermiques de la cuve de stockage et aussi par la diminution de l'éclairement solaire.

4.2.3 La journée 19-09-2021

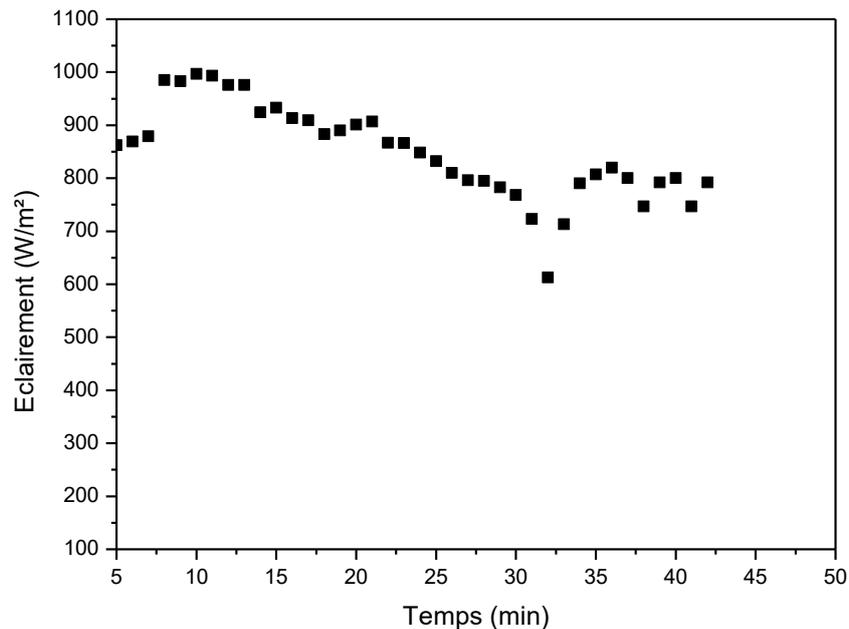


Figure 4.9. Evolution de l'éclairement global sur une surface inclinée (19-09-2021)

La **Figure 4.9** représente l'évolution le rayonnement solaire global sur une surface inclinée pendant la journée du 19-09-2021. On constate que la courbe de l'éclairement commencé directement par une valeur maximale égale à 850 w/m^2 (début de l'expérience à 10:10h), on remarquer aussi que l'éclairement varie d'une manière aléatoire (journée nuageuse).

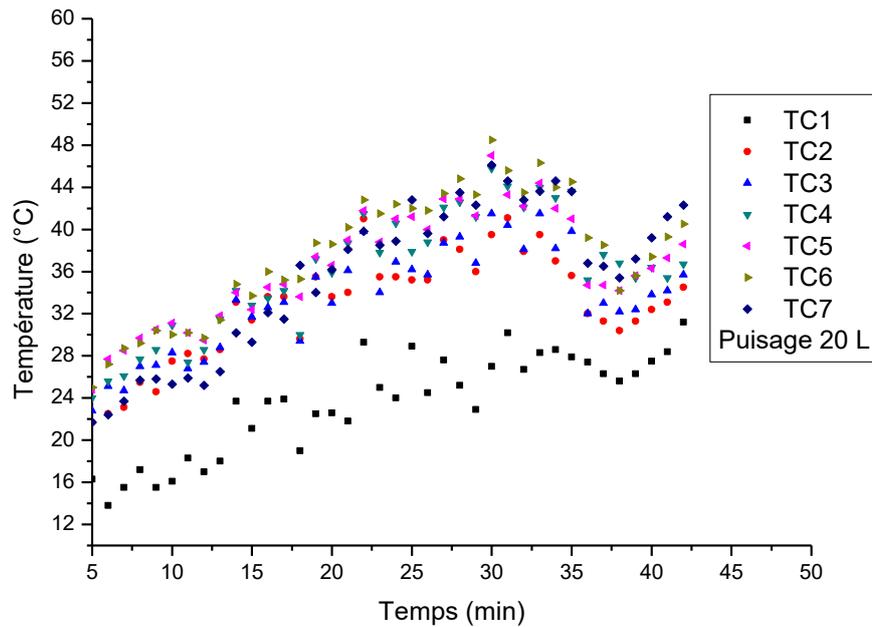


Figure 4.10 Représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage (19-09-2021)

La figure ci-dessus (**Figure 4.10**) représente les résultats expérimentaux de la température de chaque tranche du fluide dans la cuve de stockage à différentes profondeurs pendant le 19-09-2021, on constate que :

- Telle que les résultats des journées précédentes. On constat la même remarque pour l'évolution de température et le phénomène de stratification...
- Pour l'effet de puisage est très important car la grande diminution de température de l'eau de stockage.
- L'effet puisage est commencé à 13:00 (l'abscisse 35 min) et termine à la fin de l'expérience lorsque la température retourne presque a la même valeur avant cette opération pendant une tempe de 35 min.
- En remarque que malgré l'effet de puisage est très important dans cette journée, mais le retourne de température à leur valeur avant cette opération est rapide.

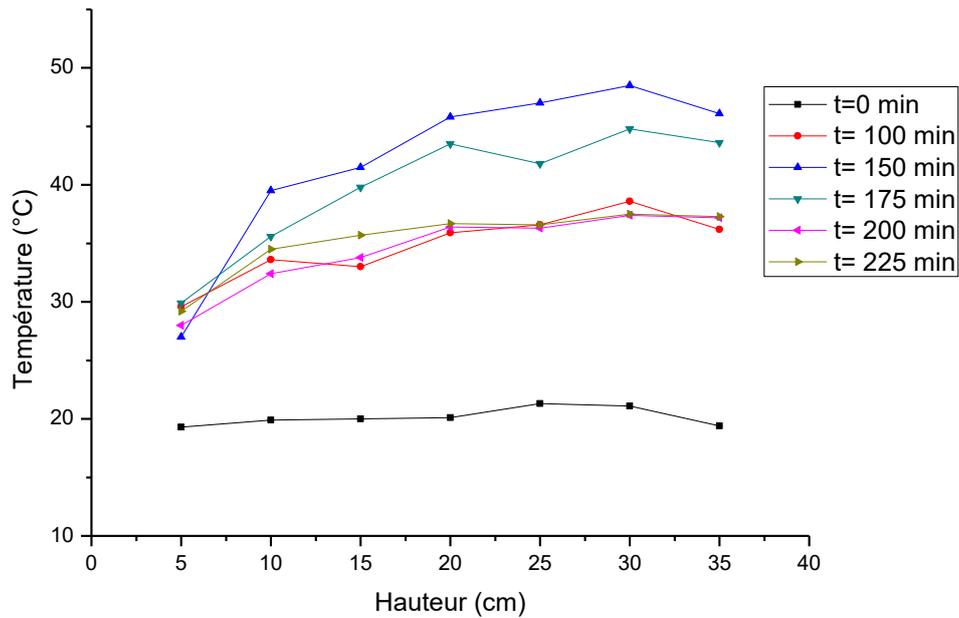


Figure 4.11 Profils des températures du fluide au cours du temps (19-09-2021)

D'après cette **Figure 4.10** qui représente les profils des températures du fluide au cours du temps durant la journée de 14-07-2021 on constate que :

- A $t=0$ min (la tempe initiale) la température est uniforme et d'environne 20 C° .
- Le gradient de température pour chaque profil il varia de bas vers haut de la cuve de stockage avant le puisage.
- Le puisage est environ $t=150$ min par ce que la température au bas de la cuve (capteur position 1 correspondant à 5 cm du fond de la cuve) est démine.
- Apres le puisage (après $t=150$ min) Le gradient de température pour chaque profil il varia de manière contraire de haut vers le bas. A cause de les pertes thermiques et aussi à cause de l'éclairement solaire aléatoire.

4.3 Conclusion

L'évolution de température pour chaque tranche de fluide de stockage est le même avec une dégradation de haut vers bas de la cuve (phénomène de stratification).et à la fin de la journée le rendement instantané du capteur est nul. Pour chaque expérience lui correspond un certain effet du puisage

On ne peut pas comparer les trois expériences à cause de la variation de l'éclairement d'une expérience à l'autre.

CONCLUSION GENERALE

ET

PERSPECTIVES

Conclusion générale

Le système de chauffe-eau solaire est considéré le système le plus simple pour le chauffage de l'eau sanitaire. Leur performances thermique dépendent des paramètres thermo physiques du fluide caloporteur et des constituants du système et des paramètres météorologiques, mais aussi dépendent de la manière de consommation de l'eau chaude qui se trouve dans la cuve de stockage.

L'objectif de ce travail est d'étudier expérimentalement l'effet du puisage sur les performances thermique d'un chauffe-eau solaire réalisé et installé au sein du département des énergies renouvelables de l'Université de Blida 1.

Les résultats obtenus pour les trois différentes journées (**17-07-2021, 17-09-2021, 19-09-2021**) à différents éclairagements solaires et pour différents volumes de puisage respectivement (5 litre, 10 litre et 20 litre).

D'après ces résultats on remarque l'apparition du phénomène de stratification de la température du fluide dans la cuve de stockage. On constate aussi, l'effet de puisage sur la charge thermique de stockage de manières différentes pour chaque expérience. L'effet commence avec une baisse de température immédiate dans les niveaux inférieurs du réservoir, car le remplissage se fait au fond de la cuve, mais les températures des autres niveaux supérieurs vont diminuer dans le temps.

Les diminutions se poursuit jusqu'à une certaine température, puis le système commence à récupérer la chaleur perdue et en conséquence la température augmente jusqu'à ce qu'elle revienne à la valeur avant puisage.

On peut dit que l'effet de puisage dépende du temps de puisage, de la température et la quantité de l'eau de remplissage. On peut dire aussi que l'intérêt d'étude de l'effet de puisage est de tester l'efficacité du système et découvrir leurs problèmes de fabrication. Cette étude montre comment puiser correctement l'eau chaude de manière à ne pas perdre la charge de stockage thermique et déterminer la quantité et le temps appropriés pour le puisage, avec lesquels le système de chauffe-eau solaire peut compenser la charge thermique qui en a été puisée afin que le système maintienne un stockage complet de la chaleur pour la phase de consommation durant la nuit où il n'y a pas de rayonnement solaire, qui est la source de chaleur.

Perspectives

L'extension et l'amélioration du présent travail semblent intéressantes à développer, pour cela, nous citons les points suivants:

- Utilise des nombres système solaire identique pour faire l'expérience à la même journée c-à-dire aux mêmes paramètres météorologiques et pour différentes quantités de l'eau de puisage afin de pouvoir comparer entre les différents systèmes.
- On peut remplacer le capteur solaire par une autre source de chaleur fiable et contrôlable pour une étude complète de l'effet de puisage (car le rendement du capteur dépend des conditions météorologiques et de l'éclairement).
- Faire une étude comparative de l'effet de puisage pour différents système avec types différents stockages thermiques (chaleur sensible, chaleur latente) et différents types de capteurs solaires (vitres, sous vide).

Références bibliographiques

- [1] **Aghilas Brahimi** Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau. Mémoire de Master 2 Mention : MEPP – Mécanique, Energie, Procédés et Produits université de lorraine Centre de Développement des Energies Renouvelable CDER de Bouzaréah (Alger) .2016
- [2] www.solairethermique.fr.
- [3] <https://www.lepanneausolaire.net/les-ballons-stockage.php>
- [4] <http://www.clim-diffusion.com/chauffe-eau-solaire/>
- [5] **LAFRI DJAMEL** Analyse et commande d'un stockage thermique par chaleur sensible thèse de doctorat en sciences en génie mécanique spécialité énergétique université saaddahlab de Blida 2019
- [6] **David Verdier-Gorcias**, Stockage thermique de protection à chaleur latente intégré à un récepteur solaire à air pressurisé Thèse de doctorat Spécialité : Energétique et Génie des Procédés université de perpignan via domitia 2016.
- [7] <https://nobel.bg/fr/product/forced-circulation-tanks-3/>
- [8]. <https://www.lepanneausolaire.net/les-differents-types-capteurs.php>
- [9] <https://energieplus-lesite.be/techniques/eau-chaude-sanitaire11/differents-preparateurs/capteur-solaire-a-eau-chaude-d1/>
- [10] http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique-plan-1.php
- [11] **Pierson et al**, Influence du branchement des ballons de stockage sur les performances d'un chauffe-eau solaire Article · Laboratoire de Thermomécanique Faculté de sciences de Riemes. May 1985
- [12] **A. Benkhelifa et al** Influence des Forces d'Inertie sur les Performances de Stockage Thermique dans une Cuve Cylindrique durant les Phases de Charge et de Décharge Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16340 Alger * Institut de Mécanique, Université de Blida, B.P. 270, Route de Soumaa, Blida 1998.

[13] **D. Lafri et al** Etude du Comportement Thermique d'une Cuve de Stockage Solaire à Echangeur de Chaleur. Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de L'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie 2 I. G. M de l'Université de Blida, Algéri 2001.

[14] **En 2005 Roman Spur et al**, Influence of the domestic hot-water daily draw-off profile on the performance of a hot-water store. Department of Environmental and Building Services, Faculty of Civil Engineering, 7 October 2005

[15] **B. Chaouachi* et S. Gabsi** Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire à stockage intégré dans des conditions réelles Laboratoire d'Analyse des Procédés Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Rue Omar Ibn El Khettab, 6029 Gabès, Tunisie 21 Juin 2006.

[16] **M.C. Rodríguez-Hidalgo et al**, Domestic hot water consumption vs. solar thermal energy storage: The optimum size of the storage tank. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Sistemas Oceánicos y Navales, Avda. Arco de la Victoria s/n, 28040 Madrid, Spain Universidad Carlos III de Madrid, Grupo ITEA, Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Avda. Universidad 30, 28911 Leganés Madrid, Spain 2012.

[17] **M. CHIKHI et al** traitement des surfaces intérieures d'une cuve de stockage d'un chauffe-eau solaire algérien. Unité de Développement des Equipements Solaires UDES, Route Nationale N°11 BP 386, Bou-Ismaïl, 42415, Wilaya Tipaza, Algérie

[18] **M. BENBRIKA et al**, Amélioration de l'efficacité thermique d'un chauffe-eau solaire par l'utilisation de matériaux à changement de phase (MCP). Laboratoire de mécanique, Université Amar Telidji-Laghouat, Algérie 2015.

[19] **A. Allouhi et al**, Design optimization of a multi-temperature solar thermal heating system for an industrial process - Ecole Supérieure de Technologie de Fès, U.S.M.B.A., Route d'Imouzzer, BP 242, Fez, Morocco b Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur Appliquées à la Mécanique et au Génie Electrique (SIAME), Université de Pau et des Pays de l'Adour – IFR – A. Jules Ferry, 64000 Pau, France 2017.

[20] **A. Harmim et al**, Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire auto-stockeur à intégrer au mur de l'habitation saharienne 30 Juin 2018.