



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN - TIARET-

FACULTÉ DES SCIENCES DE LA MATIÈRE
ANNEXE SOUGUEUR

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : PYSIQUE

Spécialité : Physique Energétique & Energies Renouvelables

Par :

BOUSSOUAR Noura

THÈME

*Etude des propriétés thermiques des nano fluides appliquées
aux centrales solaire thermique*

Soutenu publiquement le : 05 / 10 /2020 devant le Jury composé de :

Mr. KHAROUBI Abdelmalek	M. C .A	Université de Tiaret	Président
Mr. MIHOUB Sofiane	M. C .A	Université de Tiaret	Encadreur
Mr. SAFA A.E.K	M. A. A	Université de Tiaret	Examineur
Mr. BENHMED Abdel illah	Doctorant	Université de Tiaret	Co-encadreur

PROMOTION 2019 /2020

Remerciements

Je remerciés ALLAH le Tout-puissant de m' avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terminer ce présent travail dans des meilleures conditions.

*A Monsieur **MIHOUBE Sofiane***

Maître de conférences "A" à l'université de Tiaret, Qui a accepté d'encadrer et de diriger ce travail, pour ses conseils précieux et ses encouragements, ses vifs remerciements qui m'a fait profiter de ses connaissances scientifiques.

*Je remercie Monsieur **KHAROUBI.A** Maître de conférences "A"; à l'université de Tiaret, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance. Je voudrais exprimer ma profonde gratitude à Monsieur **AEK .SAFA** Maître Assistante "A" à l'université de Tiaret,, pour avoir consacré une partie de leur temps pour lire, évaluer et juger ce travail du mémoire de Master. Je tiens à adresser mes plus sincères reconnaissances à Monsieur **A .BEN AHMED** , doctorant assistant à l'université de Tiaret, d'avoir accepté l'évaluation de mon travail.*

Egalement, je remercie tous les enseignants qui m'ont enseigné durant les années d'études, chacun par son nom

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être. Que ce modeste travail soit le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Allah, vous accorder santé, bonheur et longue vie.

À mes chers frère Kamal, Hicham Que Allah les donne longue vie et une bonne santé et ma Chère sœur Sara (ses filles Khawla, Zaynab, Amira et le prince walid) et ma cousine B.Fatima.Z et toute la famille Boussouar et Keroum .

À plus mon encadreur que je respecte MIHOUBE Sofiane.

A tous mes amies surtout

K.Fatiha, S.Imane, S.Amal, B.Ahlam.

À tous les membres de ma promotion énergétique et énergies renouvelables.

♥Boussouar Noura ♥

ملخص

هذا العمل يقدم دراسة رقمية للخصائص الفيزيائية الحرارية لأربعة سوائل نانوية مختلفة الماء - AL_2O_3 ، AL_2O_3 -Syltherm 800 ، AL_2O_3 -Therminol VP-1 ، AL_2O_3 -DOWTHERM A لاستخدامها كسائل نقل حراري في محطات الطاقة الحرارية الشمسية. أجريت الدراسة على نطاق واسع من 1% إلى 6% تركيز حجمي ودرجة حرارة $150^{\circ}C \leq T \leq 400^{\circ}C$. لقد قمنا بمحاكاة النماذج الرياضية في MATLAB للخصائص الفيزيائية الحرارية للسوائل النانوية ، ومقارنتها مع سوائلها النقية لمعرفة التحسن. يتم تحليل النتائج من خلال الرسوم البيانية (الموصلية الحرارية ، الحرارة النوعية واللزوجة الديناميكية) بدلالة التركيز الحجمي ودرجة الحرارة. تُظهر إضافة الجسيمات النانوية إلى السائل الأساسي تحسناً ملحوظاً في الخصائص الفيزيائية الحرارية للسوائل النانوية. يمكن أن يلعب استخدام السوائل النانوية في محطات الطاقة الشمسية دوراً مهماً في زيادة كفاءتها.

الكلمات المفتاحية: محطات الطاقة الحرارية ، النانوفلويد، الخصائص الفيزيائية الحرارية ، HTF.

Résumé

Ce travail présente une étude numérique des propriétés thermophysiques de quatre nanofluides différents AL_2O_3 -Eau, AL_2O_3 -Therminol VP-1, AL_2O_3 -Syltherm 800 et AL_2O_3 -DOWTHERM A pour les utiliser comme fluide de transfert thermique dans les centrales solaire thermique. L'étude a été faite pour une large gamme de concentration volumique 1% à 6% et de température $150^{\circ}C \leq T \leq 400^{\circ}C$. Nous avons simulés sous MATLAB des modèles mathématiques des propriétés thermo physiques des nanofluides, et en les comparants à leurs fluides purs pour voir l'amélioration. Les résultats sont analysés à travers les graphes (la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la viscosité dynamique) en fonction de fraction volumique et de la température. L'ajout de nanoparticules AL_2O_3 au fluide de base montre une amélioration remarquable des propriétés thermophysiques des nanofluides. L'utilisation du nanofluides dans les centrales solaires peut jouer un rôle crucial dans l'augmentation de son efficacité.

Mots clés : Les centrales solaires thermiques, Nanofluide, Les propriétés thermo physiques ,HTF.

Abstract

This work presents a numerical study of the thermophysical properties of four different nanofluids -Water, -Therminol VP-1, -Syltherm 800 and -DOWTHERM A for use as thermal transfer fluid in solar thermal power plants. The study was done for a wide range of 1% to 6% volume concentration and temperature. We simulated in MATLAB mathematical models of the thermophysical properties of nanofluids, and comparing them to their pure fluids to see the improvement. The results are analyzed through the graphs (thermal conductivity, specific heat and dynamic viscosity) as a function of volume fraction and temperature. The addition of nanoparticles to the base fluid shows a remarkable improvement in the thermophysical properties of nanofluids. The use of nanofluids in solar power plants can play a crucial role in increasing its efficiency.

Key words: Thermal solar power stations , Nanofluide, The physical properties thermo, HTF

SOMMAIRE

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
SOMMAIRE	iv
LISTES DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	ix
NOMENCLATURES	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1

Chapitre I : Notions générales sur les centrales solaires à concentration

I.1 INTRODUCTION	5
I.2 COMPOSANT D'UNE CENTRALE SOLAIRE THERMIQUE	5
I.3 PRINCIPE D'UNE CENTRALE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE	6
I.4 INCONVENIENT DE L'ENERGIE SOLAIRE.....	7
I.5 LA TECHNOLOGIE CSP	7
I.6 INTERET D'UN SYSTEME DE STOCKAGE DANS LES CENTRALES SOLAIRES THERMODYNAMIQUES	18
I.7 FLUIDES CALOPORTEURS ET THERMODYNAMIQUES.....	20
I.8 NANOFLUIDES :	21
I.9 CONCLUSION	24
I.10 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE	25

Chapitre II : Étude bibliographique sur les nanofluides

II.1 INTRODUCTION	30
II.2 Historique et développement des nanofluides.....	30
II.3 Applications des nano-fluides dans l'énergie solaire thermique	31
II.4 CONCLUSION	41
II-5 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	42

Chapitre III : Modélisation mathématique

III.1 INTRODUCTION.....	45
III.2 PREPARATION DES NANOFLUIDES	45
III.3 METHODES DE STABILISATION DES NANO-FLUIDES ET METHODES D'EVALUATION DE LA STABILITE.....	47

III.4 PROPRIETES THERMOPHYSIQUES.....	48
III.5. MODELISATION MATHEMATIQUE	51
III.6 CONCLUSION	55
III.7 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	56

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV.1 INTRODUCTION	60
IV.2 LA PRESENTATION DU CODE DE CALCUL	60
IV.3 DONNEES ET RESULTATS DU PROGRAMME.....	60
IV.4 VALIDATION DES RESULTATS.....	71
IV-5 CONCLUSION :	73
IV.6 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE	74

Liste des figures

Chapitre I : Notions générales sur les centrales solaires à concentration

Figure I.1: Principe d'une centrale solaire thermodynamique	5
Figure I. 2: Schéma global du solaire thermodynamique	6
Figure I. 3: les trois principaux systèmes thermodynamique à concentration.	8
Figure I. 4: Relation entre le taux de concentration et la temperature du recepteur	9
Figure I. 5: Rapports de concent ration typiques.....	9
Figure I. 6 : Photo de la centrale cylindro-parabolique concentrateurs	10
Figure I. 7: Principe de la centrale cylindro-parabolique	11
Figure I. 8: Element du tube absorbeur.....	11
Figure I. 9: Schematisation des echanges thermiques entre les differents elements du collecteur cylindro-parabolique	11
Figure I. 10: concentrateurs de fresnel: (a) lentille, (b) miroir.....	12
Figure I. 11: Recepteur monotube Composee avec concentrateur secondaire de forme parabolique...	13
Figure I. 12: Schema global d'un recepteur.	13
Figure I. 13: Concentrateur solaire de fresnel lineaire	14
Figure I. 14: Principe de la concentration solaire pour les centrales solaires a tour	14
Figure I. 15: L'écoulement du fluide caloporteur au sein du récepteur.....	15
Figure I. 16: La centrale Gemasolar de Masdar et Sener en Espagne	16
Figure I. 17: Concentrateur parabolique	16
Figure I. 18: photo de la parabole d'Odeillo Fr Figure I. 19: L'absorbeur en spirale.....	17
Figure I. 20: Recepteur solaire de type sbp/solo v-160/161	17
Figure I. 21: Échelle des dimensions, 1 nanometre = 0,000 001 millimetre	21
Figure I. 22: Transfert de chaleur dans les nanofluides	21
Figure I. 23: Types de nanoparticules.....	22
Figure I. 24: Types liquides de base	22

Chapitre II : Étude bibliographique sur les nanofluides

Figure II.1: Echantillons de nano-fluides representatifs testes au microcollecteur.....	31
Figure II.2: Systeme d'absorption d'energie solaire tubulaire	32
Figure II.3: Schéma de capteur solaire parabolique à concentration a base de nanofluides.....	33

Figure II.4: Attenuation de l'irradiance solaire lors de son passage dans le nano fl uide et pertes convectives (q_{conv}) et radiatives (q_{rad}) subsequentes.....	33
Figure II.5: collecteur solaire a absorption directe.....	34
Figure II.6: comparaison de l'efficacite pour debit massique de 60 KG/hr.....	34
FigureII.7: comparaison de l'efficacite pour un debit massique de80 ml/ hr.....	34
Figure II.8: comparaison de l'efficacite pour un debit massique de 100 ml / h.....	35
Figure II.9: concentrateurs cylindro-parabolique(parabolic trough collector) avec une partie des rayons incidents et reflechis.	35
Figure II.10: performance de transfert de chaleur en fonction du nombre de reynolds et de la fraction volumique de nanoparticules. a) 400 k, b) 500 k et c) 600 k.	36
Figure II.11: amelioration de l'efficacite thermique pour differentes ameliorations de coefficient de transfert de chaleur (en utilisant toutes les techniques examinees) pour trois niveaux de temperature .37	37
Figure II.12: le collecteur solaire parabolique examine avec absorbeur en spirale	38
Figure II.13: temperature de l'absorbeur pour differents nanofluides et concentrations	38
Figure II.14: Efficacite thermique pour les deux fluides de travail avec un debit de 200 l / min.....	39
Figure II.15: nombre de nusselt pour les deux fluides de travail avec un debit de 200 l / min.	39
Figure II. 16: vue photographique des nano- fluides Therminol 55- TiO_2	40
Figure II.17: vue photographique du montage experimental.....	40
Figure II.18: variation thermique spécifique des nano-fluides Therminol 55- TiO_2 de 250 ppm.....	41
Figure II.19: absorbance des nano-fluides.....	41

Chapitre III : Modélisation mathématique

Figure III.1: Procédure schématique pour la préparation de nanofluides.....	46
Figure III.2: Types de stabilisation colloïdale	47
Figure III.3: Structure geometrique de la molecule Al_2O_3	52

Chapitre IV: Résultats et discussions

Figure IV.1: Page de démarrage du code MATLAB.....	60
Figure IV. 2: Conductivites thermiques du nanofluide (Eau- AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la temperature pour different valeurs de la concentration des nanoparticules.	61
Figure IV. 3: Viscosité dynamique du nanofluide (Eau - AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température	63

Figure IV. 4: Viscosité dynamique du nanofluide (Eau - AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température.....	63
Figure IV. 5: Chaleur spécifique des nanofluides (Eau - AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température.....	64
Figure IV. 6: Conductivités thermiques des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP-1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) et leurs fluides purs en fonction de la température pour $\Phi =4\%$	65
Figure IV.7: Viscosité dynamique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) et leurs fluides purs en fonction de la température pour $\Phi =4\%$	66
Figure IV.8: Chaleurs spécifiques des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) et leurs fluides purs en fonction de la température pour $\Phi =4\%$	67
Figure IV.9: Conductivités thermiques de nanofluide (AL_2O_3 - Eau) en fonction de fraction volumique pour T constante.	68
Figure IV.10: Viscosites dynamiques de nanofluide (AL_2O_3 -Eau) en fonction de fraction volumique pour T constante.....	68
Figure IV.11: Chaleur spécifique de nanofluide (AL_2O_3 - Eau) en fonction de fraction volumique pour T constante.....	69
Figure IV.12: La conductivité thermique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 - Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHER A) en fonction de la fraction volumique pour T=200°C.	70
Figure IV.13: La viscosité dynamique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 -Syltherm 800 , AL_2O_3 -DOWTHERM A) et en fonction de la fraction volumique T=200°C	70
Figure IV.14: La chaleur spécifique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP- 1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) en fonction de la fraction volumique T=200°C.	71
Figure IV.15 : validation de la conductivité thermique de nanofluide pour $\Phi = 4\%$ et les fluides purs.....	72
Figure IV.16: validation de la chaleur spécifique des nanofluides pour $\Phi = 4\%$ et les fluides purs.....	72
Figure IV.17: Validation de la viscosité dynamique des nanofluides pour $\Phi = 4\%$ et les fluides purs.....	73

Liste Des Tableaux

Chapitre I : Notions générales sur les centrales solaires à concentration

Tableau I. 1: Tableau comparatif des quatre types de CSP	18
Tableau I. 2: Ordres de grandeur des systemes de stockage de chaleur	19

Chapitre III : Modélisation mathématique

Tableau III.1: Modeles de proprietes thermophysiques des nanofluides.	50
Tableau III.2: Propriete thermophysiques des nanoparticules (Al_2O_3) a T=20°C.....	52
Tableau III. 3: Avantages et inconvenients de divers groupes de fluides caloporteurs	53
Tableau III. 4: Propriétés du nanoparticule (Al_2O_3).	54
Tableau III. 5: Propriétés du fluide de base (Eau)	54

Chapitre VI: Résultats et discussions

Tableau IV. 1: Taux d'amélioration de la conductivite thermique du nanofluide (Eau - AL_2O_3) par rapport a l'eau pure.....	62
Tableau IV. 2: Taux d'amélioration de la viscosité dynamique du nanofluide (Eau - AL_2O_3) par rapport à l'eau pure.....	64

Nomenclature

Abréviations :

Abréviation	Français	Anglais
ANSYS	Système d'analyse	Analysis System
CSP	Concentrateurs solaire de puissance	Concentrating Solar Power
EG	Ethylène glycol	Ethylene glycol
HCE	Elément de collecteur de chaleur	Heat collector élément
HTF	Fluide Caloporteur Transfert	Heat transfert fluide
LFR	Réflecteur de Fresnel linéaire	Linear Fresnel Reflector
MATLAB	Laboratoire Matrix	Matrix LABoratory
NTC	Nanoubes de Carbone	Carbon NanoTube
PV	Photovoltaïque	Photovoltaic
SAM	/	System Advisor Model
VEROS	Evaporation sous vide sur un substrat d'huile courante	Vacuum Evaporation onto a Running Oil Substrate

Symboles :

Symboles	Désignations	Unités
C	Concentration	[/]
C _p	Chaleur spécifique à pression constante	[J/kg.K]
k	Conductivité thermique	[W/m.K]
m	masse	[kg]
q	Flux de chaleur	[W]
n	facteur de forme empirique	[/]
S	surface	[m ²]
T	Température	[° C]
T _c	Température de concentration	[° C]

Lettre grec :

μ	Viscosité dynamique	[kg / m.s]
β	Coefficient de dilatation thermique	[K-1]
ρ	Masse volumique	[kg / m ³]
φ	Fraction volumique des nanoparticules	[/]
Ψ	sphéricité	[/]

Indices et exposants :

<i>conv</i>	Convection
<i>f</i>	Fluide de base
<i>nf</i>	Nanofluide
<i>np</i>	Nanoparticule
<i>r</i>	Récepteur
<i>rad</i>	Radiatif
<i>ref</i>	Réflecteur
<i>s</i>	Nanoparticule solide

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Les énergies renouvelables sont considérées comme un élément essentiel de toute stratégie de développement énergétique durable. L'intégration des énergies renouvelables dans le mix énergétique national représente un enjeu majeur pour conserver les ressources fossiles, diversifier les filières de production d'électricité et contribuer au développement durable. Les technologies des énergies renouvelables transforment ces combustibles en formes d'énergie utilisables le plus souvent de l'électricité, mais aussi de la chaleur, des produits chimiques ou de l'énergie mécanique. De nombreux problèmes dans la demande d'électricité du réseau causés par l'augmentation de la population. Dans ce cas, l'utilisation de l'énergie renouvelable sera très économique et bénéfique pour fournir l'énergie nécessaire aux consommateurs. Les ingénieurs en énergie renouvelable recherchent des méthodes pour développer les énergies renouvelables à partir de l'énergie solaire.

L'énergie solaire est une énergie locale naturelle disponible, leur production n'entraîne pas la génération de gaz toxiques qui endommagent la couche d'ozone, elle peut être séparée en deux types principaux, le solaire photovoltaïque, qui convertit directement la lumière du soleil en électricité, et les capteurs solaires thermiques qui concentrent la lumière du soleil pour générer de la chaleur et l'utiliser pour faire fonctionner les moteurs thermiques. (Dupeyrat, P et al, 2014). L'énergie solaire, par rapport à d'autres types de ressources énergétiques renouvelables, est considérée comme la plus grande ressource, car l'énergie fournie à la terre par le soleil en une heure peut être supérieure à la quantité totale d'énergie consommée par les êtres humains en un an (Nathan .S et al, 2006).

Le capteur solaire thermique fonctionne sur la collecte de la chaleur en absorbant les rayons du soleil, afin de convertir l'énergie thermique des rayons du soleil en une forme plus utilisable et stockable. Les centrales solaires thermiques devront jouer un rôle de plus en plus important dans la fourniture d'électricité. Par conséquent, le principal défi est de gérer le démarrage de ces ressources, de manière à minimiser les coûts supplémentaires résultant de l'introduction de ces ressources. Cette défi actuel est basé sur le développement de nouvelles méthodes pour améliorer les performances thermiques des fluides de travail, afin d'obtenir un meilleur transfert de chaleur et d'avoir des échangeurs de chaleur efficaces. Cela peut être fait en modifiant la nature et les propriétés des fluides de travail ou en incorporant un nanofluide plutôt qu'un fluide de travail normal (Q.He,S.Zeng et al,2014).

Choi a développé une classe nouvellement innovante de fluides de transfert de chaleur qui dépend de la suspension de particules à l'échelle nanométrique d'origine métallique avec une taille de particule moyenne inférieure à 100 nm dans les fluides de transfert de chaleur conventionnels, et a donné à ce type de fluides le terme «nano fluides» (S.U.S.Choi et al,1995). Notre objectif principal, dans ce mémoire est de faire une étude numérique des propriétés thermo physiques de quatre différent

Introduction Générale

types des nanofluides destinés aux centrales solaires thermiques et étudier l'influence de la température de fonctionnement, la concentration de nanoparticule et le type du fluide de base sur ces propriétés, en utilisant le code MATLAB.

Dans ce mémoire, et au niveau du Chapitre I, nous mettons en évidence une généralité sur la centrale solaire thermique à concentration (CSP), suivi par des notions générales sur les nanofluides.

Au niveau du Chapitre II, nous présenterons une revue bibliographique des principaux travaux publiés dans le domaine du CSP thermiques à base des nanofluides.

Dans le Chapitre III, nous présenterons les méthodes de préparation d'un nanofluide, méthodes de stabilisation, et les modèles des propriétés thermo physiques.

Au niveau du Chapitre IV, la partie la plus importante de ce mémoire, elle comporte la validation de notre programme de calcul MATLAB, ainsi que les principaux résultats numériques de cette étude. Les commentaires, interprétations et analyses des divers résultats de cette étude.

Enfin nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Dupeyrat, P.; Ménézo, C.; Fortuin, S; « Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system» ; Energy Build. 2014, 68, 751–755.
- Nathan S. Lewis and Daniel G. Nocera; « Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization» ; Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2006, 103, 15729–15735.
- Q.He,S.Zeng,andS.Wang; « Experimental investigation on the efficiency of flat-plate solar collectors with nanofluids » ;Applied ThermalEngineering,vol.88,pp.165–171,2014.
- S.U.S.ChoiandJ.A.Eastman; « Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles» ; ArgonneNationalLab. 1995.

Chapitre I
Notions générales sur les
centrales solaires à
concentration

I.1 INTRODUCTION

Les sources d'énergies renouvelables ont continués de dominer les nouveaux ajouts au mix énergétique mondial de production d'électricité au cours de l'année écoulée. Les centrales solaires à concentration (CSP) sont l'une des technologies renouvelables disponibles qui ont plus de potentiel dans les régions à fortes radiations solaires directes, et il est prévu qu'elles joueront un rôle important dans le futur réseau ayant un taux de pénétration des énergies renouvelables élevé.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les notions générales sur les centrales solaires thermique à concentration à savoir les composants, le principe de fonctionnement, les fluides de transfert de chaleur...

I.2 COMPOSANT D'UNE CENTRALE SOLAIRE THERMIQUE

Une centrale solaire thermodynamique est généralement composée de trois blocs (Figure I.1) :

- le premier bloc est un système de captation solaire constitué d'un réflecteur/concentrateur, communément appelé champ solaire. Il capte les radiations solaires directes et les concentre sur un récepteur dans lequel s'écoule un fluide caloporteur. Durant cette étape, le rayonnement solaire est converti en puissance thermique.
- le second bloc est un système de stockage et de restitution d'énergie thermique qui permet de décorrélérer la production d'électricité de la ressource solaire et de pallier ainsi à son intermittence.
- le troisième bloc est un système de conversion thermodynamique composé de deux éléments:
 - l'élément principal est une turbine qui transforme l'énergie thermique du fluide de travail en énergie mécanique.
 - La turbine couplée à un générateur électrique transforme l'énergie mécanique en électricité. L'électricité ainsi produite peut être injectée sur le réseau électrique de transport et de distribution.

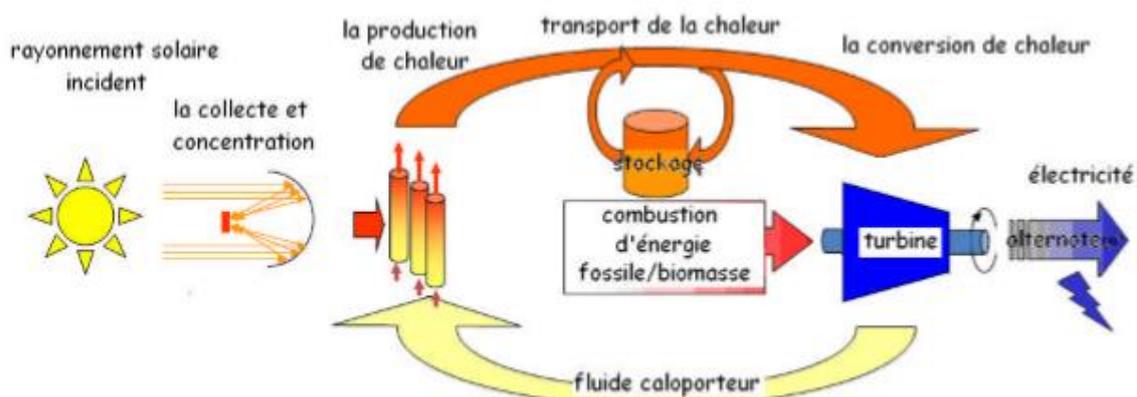


Figure I.1:Principe d'une centrale solaire thermodynamique (Kadraoui Hicham,2011) .

I.3 PRINCIPE D'UNE CENTRALE SOLAIRE THERMODYNAMIQUE

En 1974 [Matthew William Frank](#) montre l'application et procédé de réception et de transmission d'énergie solaire thermique. Un collecteur d'énergie solaire réfléchit l'énergie solaire vers un caloduc qui transmet la vapeur produite à l'intérieur à un condenseur pour libérer et utiliser l'énergie thermique transportée par la vapeur pour effectuer des fonctions de chauffage ou pour être dissipée lorsque la vapeur est condensée.

Une centrale solaire thermodynamique à concentration est composée d'un champ de capteurs solaires, d'une machine thermodynamique et éventuellement d'un système de stockage de chaleur. Un capteur solaire à concentration est composé de miroirs et d'un récepteur. Les miroirs concentrent le rayonnement solaire direct sur le réflecteur (le rayonnement solaire diffus n'est pas exploitable). Pour pouvoir concentrer le rayonnement solaire continuellement sur le réflecteur, les positions des miroirs changent en fonction de la position du Soleil. Le réflecteur est à minima constitué d'un élément qui a la capacité d'absorber une grande part du rayonnement solaire, appelé absorbeur. Cette absorption génère de la chaleur qui est en partie transmise à un caloporteur qui circule à travers l'absorbeur. En général, La puissance thermique fournie par le champ de capteurs ou par le système de stockage de chaleur sert à faire fonctionner le cycle thermodynamique. Pour un cycle classique, un cycle de Rankine par exemple, cette puissance thermique traverse un échangeur le générateur de vapeur. Une partie de cette puissance est transmise au fluide de travail du cycle. Ce fluide de travail se vaporise, puis se détend à travers une turbine qui est ainsi mise en mouvement. Un alternateur solidaire de la turbine produit l'électricité ([Emeric Tapachès,2015](#)).

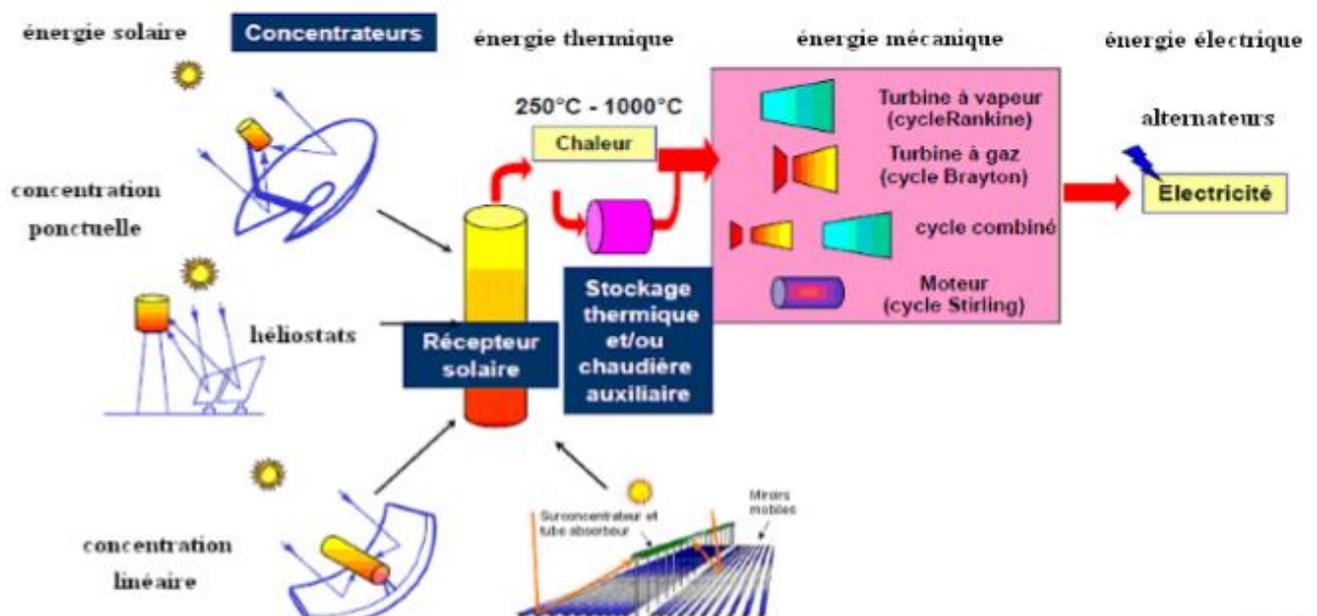


Figure I. 2: Schéma global du solaire thermodynamique ([Kadraoui Hicham,2011](#)).

I.4 INCONVENIENT DE L'ENERGIE SOLAIRE (Amitabh .G et al,2018) :**a. Investissement initial élevé en capital :**

Le coût initial d'installation d'un système d'énergie solaire peut être prohibitif pour certains budgets. Le coût d'achat et d'installation de panneaux solaires est un peu élevé. Les délais de récupération peuvent aller de 10 à 15 ans avant que vous ne puissiez même atteindre votre investissement initial.

b. Fiabilité douteuse :

C'est évidemment pour alimenter votre maison avec un panneau solaire la nuit si vous n'avez pas de système pour stocker l'énergie. Cela signifie des batteries à notre niveau actuel de technologie. Il faut donc probablement tirer de l'électricité du réseau électrique local.

c. Position de la surface sur laquelle la lumière du soleil tombe :

La position de votre panneau solaire est évidemment d'une importance majeure dans la production d'électricité. Cela signifie que certaines maisons ne seront pas idéalement adaptées à la conversion ou à l'installation d'un système d'énergie solaire.

d. Matériaux polluants utilisés dans les panneaux solaires :

La majorité des panneaux photovoltaïques sont fabriqués à partir de silicium et d'autres métaux potentiellement toxiques comme le mercure, le plomb et le cadmium. C'est le sale secret de cette technologie «propre».

e. La question de l'efficacité :

Le taux d'efficacité actuel de la plupart des panneaux solaires n'est que de 40%. Cela signifie que 60% de l'énergie solaire est gaspillée .Les panneaux solaires qui peuvent atteindre une efficacité maximale de 80%

I.5 LA TECHNOLOGIE CSP

Une centrale solaire thermodynamique à concentration (ou centrale solaire thermique à concentration ou encore hélio-thermodynamique, en anglais CSP pour Concentrating Solar Power Plant)

Le concentrateur est un dispositif construit avec un matériau à haute réflectance, qui permet de focaliser les composants de rayonnement émis par le soleil (rayonnement visible, rayons infrarouges et ultraviolets) pour profiter et utiliser l'énergie contenue dans ces signaux. Pour leur bon fonctionnement, ceux-ci doivent toujours être dirigés directement vers le soleil car ils nécessitent un rayonnement direct pour fonctionner, c'est pourquoi ils doivent utiliser un appareil permettant de suivre la trajectoire du soleil pendant la journée. Tous les concentrateurs ont le même principe de fonctionnement, mais présentent des différences concernant la géométrie, la quantité d'énergie concentrée et la façon dont l'énergie est utilisée (A. Alarcón Villamil et al 2013).

L'ensemble des technologies solaires thermodynamiques visent à transformer l'énergie des rayons solaires en énergie thermique (chaleur à température élevée), qui est ensuite utilisée pour

produire une énergie mécanique puis électrique à travers un cycle thermodynamique couplé à une génératrice électrique (Imad Eddine Meriche ,2017. Une autre filière consiste à stocker l'énergie solaire en plus sous forme de chaleur, mais en énergie chimique par le biais de réactions chimiques endothermiques. Deux grands principes de concentration coexistent et sont déclinés à plusieurs échelles (Olivier Farges,2014).

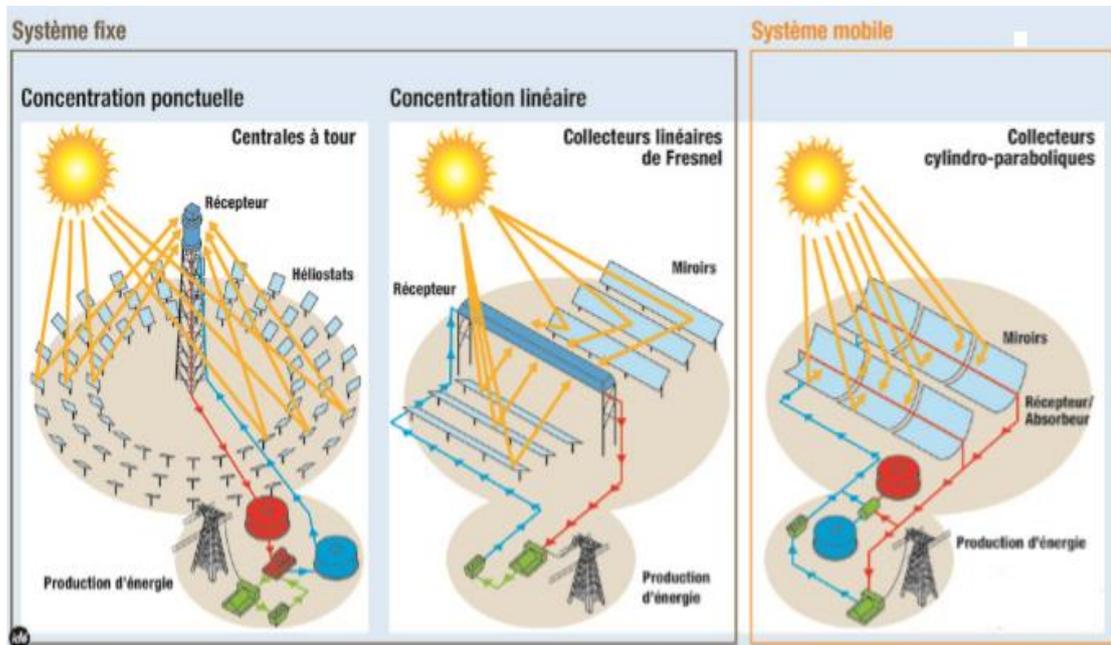


Figure I. 3: les trois principaux systèmes thermodynamique à concentration(une technologie dévoilée ,2012) .

Le capteur solaire ou collecteur est le composant de base du champ solaire. Il est composé d'un réflecteur (miroir), d'une structure métallique, d'un récepteur et du système de poursuite solaire. Un réflecteur (miroir) est composé de verre pauvre en fer. Ce verre est recouvert d'une pellicule d'argent en sa partie inférieure, et d'un enduit spécial de protection. Un réflecteur de bonne qualité peut réfléchir 97% du rayonnement incident. La fonction du récepteur est d'absorber l'énergie solaire concentrée, de transférer la chaleur vers le fluide de transfert et de limiter les pertes thermiques (rayonnement et convection). L'intensité de la concentration du collecteur est définie par le facteur (ou taux) de concentration (géométrique) C. Plus celui-ci est élevé, plus la température atteinte au récepteur (foyer) sera importante(Kadraoui Hicham,2011) .

$$C = \frac{S_{ref}}{S_r} = \text{concentration} \tag{I.1}$$

- Les faibles concentrations $1 < C < 10 \Rightarrow T_c \approx 150^\circ C$
- Les moyennes concentrations $10 < C < 100 \Rightarrow T_c \approx 150^\circ C$
- Les fortes concentrations $C \leq 100 \Rightarrow T_c \geq 500^\circ C$ (A. Gama et al, 2008)

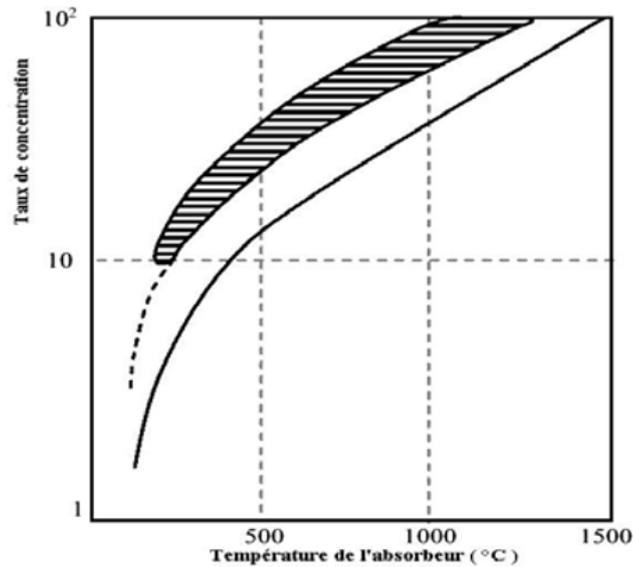
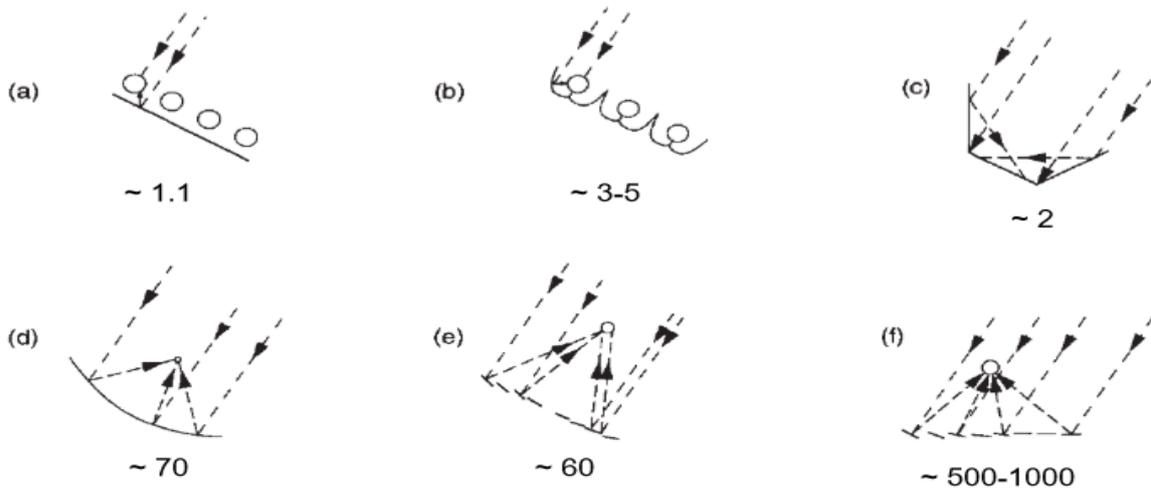


Figure I. 4:Relation entre le taux de concentration et la température du récepteur (A. Gama et al, 2008).

- La limite minimale : lorsque les pertes thermiques sont égale à l'énergie absorbée.
- ▨ La zone hachurée : correspond à l'intervalle de fonctionnement du concentrateur.



- (a) absorbeurs tubulaires avec réflecteur arrière diffus.
- (b) absorbeurs tubulaires avec réflecteurs cuspidés spéculaires.
- (c) récepteur plan avec réflecteurs plans.
- (d) concentrateur parabolique.
- (e) réflecteur de Fresnel .
- (f) réseau d'héliostats avec récepteur central.

Figure I. 5: Rapports de concent ration typiques (UNIT FOUR SOLAR COLLECTORS Concentrating Collectors)

Les systèmes à concentration en ligne ont généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels.

I.5.1 les concentration linéaires

La concentration s'effectue sur des tubes de grandes longueurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Ces tubes se trouvent sur la ligne focale des réflecteurs concentrant le rayonnement solaire. Cette technologie nécessite un suivi du soleil sur au moins un axe. Les capteurs cylindro-paraboliques et les capteurs de Fresnel fonctionnent sur ce principe (Olivier Farges,2014).

I.5.1 .1 Les centrales Cylindro-Parabolique

Les concentrateurs cylindro-parabolique sont les concentrateurs linéaires les plus largement utilisés pour la conversion thermodynamique de l'énergie solaire, surtout dans les domaines industriels et domestiques qui exigent une température de service entre 80°C et 160°C ,La production d'électricité nécessite des températures élevées de 400°C à 1200°C . Nous pouvons produire de la vapeur surchauffée dans les centrales électrique, avec des concentrateurs cylindro-parabolique, ou la température atteignant jusqu'à 1500°C et plus.

Les concentrateurs cylindro-parabolique est les technologies les plus prometteuses pour prendre la place des énergies non renouvelables (les énergies fossiles et les énergies nucléaires) surtout dans le domaine industriel (centrales électriques, systèmes hybrides, le dessalement, l'air conditionné, la réfrigération, irrigation, ...etc.) (Ghodbane. M et al , 2015). Contenant un tube circulaire 'absorbeur' avec une couche sélective adéquate, est entouré par une enveloppe transparente en verre concentrique située le long de la ligne focale du concentrateur(N. Hamani et al.2007).



Figure I. 6 :Photo de la centrale cylindro-parabolique concentrateurs (Jean-François Hoffmann,2016)

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur. L'énergie thermique reçue au collecteur est absorbée par un tuyau métallique à l'intérieur d'un tube en verre sous vide. Le fluide (huile synthétique par exemple) qui circule à l'intérieur du tuyau (tube), est chauffé à une température supérieure à 400°C. Ce fluide est ensuite pompé à travers des échangeurs conventionnels afin de produire de vapeur d'eau à haute température et pression. La vapeur produite est ensuite intégrée dans un cycle thermodynamique générant de l'énergie électrique au moyen d'un (ou de plusieurs) alternateur couplé à une (ou à plusieurs) turbine à vapeur (Kadraoui Hicham,2011) .

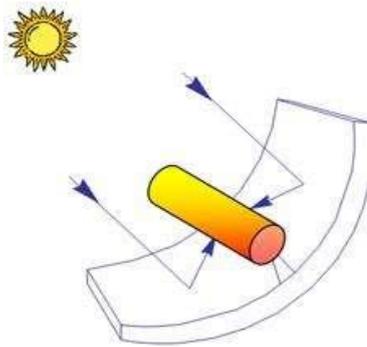


Figure I. 7:Principe de la centrale cylindro-parabolique [1]

L'élément le plus important dans les systèmes concentrateurs est le tube absorbant, à l'intérieur duquel circule le fluide caloporteur. Le tube absorbant est souvent en cuivre recouvert d'une couche sélective, est entouré d'une enveloppe transparente en verre, comme il est représenté par la figure I.8. Il est placé le long de la ligne focale du concentrateur cylindro- parabolique (N. Hamani et al ,2007) .

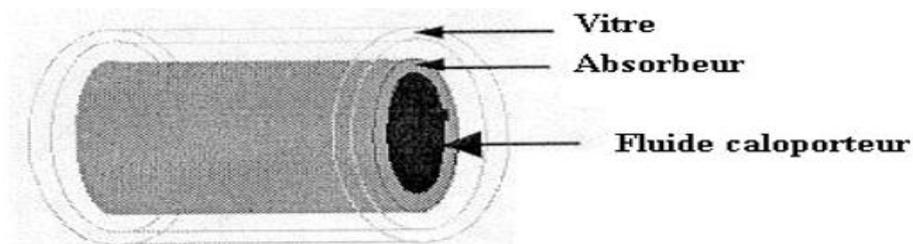


Figure I. 8: Élément du tube absorbant(Hamani et al ,2007)

L'énergie solaire incidente absorbée, n'est pas entièrement transmise au fluide caloporteur, une partie est dissipée sous forme de pertes thermiques entre l'absorbant et la vitre. En prenant en considération les différentes parts d'énergies, celle recueillie par le fluide et perdue vers l'ambiance telle qu'elle est montrée par la figure I.9. (Hamani et al ,2007)

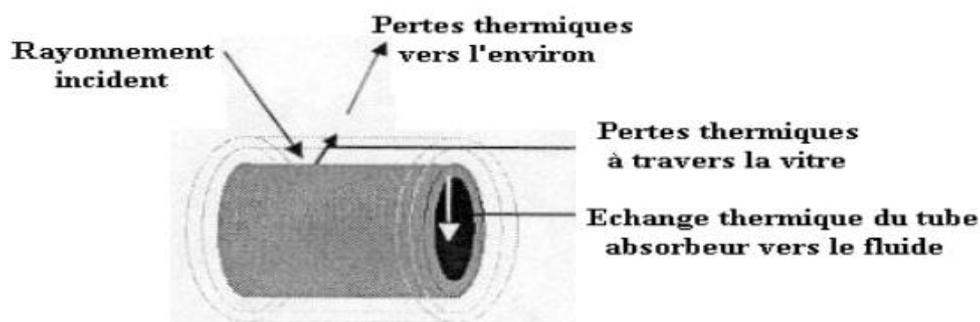


Figure I. 9: Les échanges thermiques entre les différents éléments du collecteur cylindro-parabolique(N. Hamani et al ,2007)

En fonction de leur surface de transfert, on classe les absorbeurs du capteur parabolique en 2 catégories :

- 1- Surface externe
- 2- Surface interne ou cavité

I.2 Réflecteurs et lentilles de Fresnel

Si la surface optique lisse d'un réflecteur ou d'une lentille peut être divisée en segments pour atteindre essentiellement la même concentration, le concentrateur résultant est appelé le concentrateur de Fresnel. La figure 3 montre des exemples de miroir de Fresnel et de lentille de Fresnel. L'utilisation de réflecteurs Fresnel pour les grands capteurs réduit la charge de vent et simplifie la fabrication. Une lentille de Fresnel peut atteindre une concentration proche d'une lentille plan convexe correspondante avec beaucoup moins de matière et des coûts de fabrication inférieurs. Cependant, un inconvénient est que les bords des facettes sont arrondis au cours du processus de fabrication, ce qui rend les bords inefficaces. Des effets d'incidence anormaux sont présents dans un appareil de Fresnel en raison du changement de la distance focale avec l'angle d'incidence (D. Yogi Goswami ,2000).

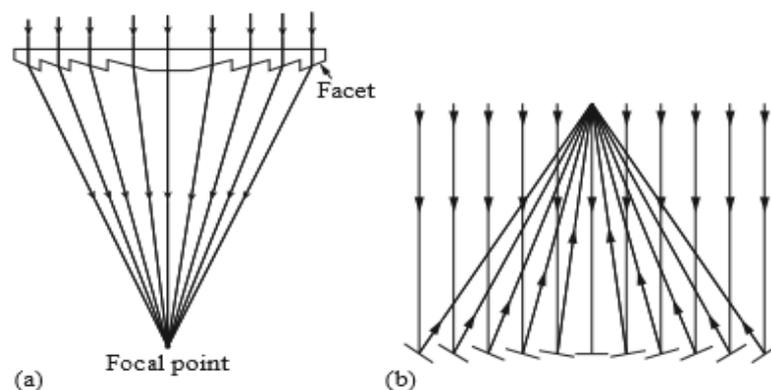


Figure I. 10: concentrateurs de Fresnel: (a) lentille, (b) miroir.(D. Yogi Goswami ,2000)

Le principe d'un concentrateur de Fresnel réside dans ses miroirs plans (plats) dits "réflecteurs compacts linéaires".

Le récepteur est situé à la focale du concentrateur. Il est un agencement de différentes pièces qui sont : l'absorbeur, le réflecteur secondaire et l'isolation thermique (figure I.11). Une enveloppe métallique protège l'arrière du récepteur des agressions du milieu extérieur. Le récepteur a pour rôle d'absorber le rayonnement solaire concentré, de le convertir en chaleur sensible et de transmettre cette chaleur au fluide caloporteur qui passe par l'absorbeur. L'absorbeur se trouve au noyau du récepteur. Sa température, pour les collecteurs de type linéaire de Fresnel, peut atteindre des valeurs supérieures à 250 °C. La différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant occasionne des pertes thermiques : par rayonnement, par convection et par conduction. Ainsi, la présence du réflecteur secondaire et de l'isolant thermique aide à réduire ces différentes pertes (Gaelle kafira ko,2019) .

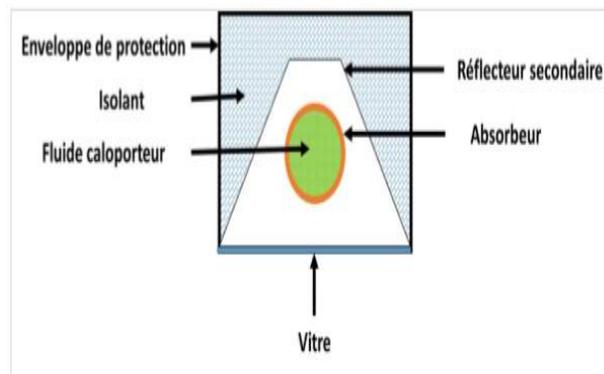


Figure I. 11: Récepteur monotube composé avec concentrateur secondaire de forme parabolique (Gaelle Kafira Ko, 2019).

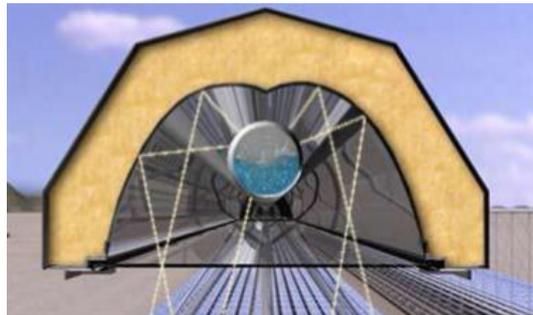


Figure I. 12: Schéma global d'un récepteur [2] .

Réflecteurs linéaires de Fresnel utilisant de longues rangées de miroirs plats ou légèrement incurvés pour réfléchir les rayons du soleil sur un récepteur linéaire orienté vers le bas. Le récepteur est une structure fixe montée sur une tour au-dessus et le long des réflecteurs linéaires qui suivent le soleil sur un traqueur à un ou deux axes. (D. Barlev et al,2011) Le système se compose de (Imad Eddine Meriche,2017) :

- Longues rangées parallèles de miroirs qui tournent autour de leur axe longitudinal, et qui concentrent les rayonnements solaires sur un récepteur linéaire suspendu à une certaine hauteur au-dessus du plan de symétrie.
- La géométrie de ce type de collecteur permet de disposer d'un ou plusieurs récepteurs en parallèle, afin de minimiser les blocs de miroir.
- Le tuyau d'absorption, présente les mêmes caractéristiques que celui utilisé dans les systèmes de miroirs cylindro-paraboliques.
- Bonne exploitation des surfaces, légèreté, simplicité de construction et les faibles coûts sont la promotion d'un développement rapide de cette technologie, même si sa faible capacité de concentration limite son efficacité.



Figure I. 13:Concentrateur solaire linéaire de Fresnel (Imad Eddine Meriche,2017)

I.5.2 Les concentration ponctuelle

La concentration s'effectue sur un récepteur central. Le dispositif concentrateur suit le soleil sur deux axes : en azimut et en élévation. Ce principe est utilisé par les concentrateurs paraboliques et les centrales à tour Actuellement, une grande majorité des centrales en fonctionnement utilisent la technologie à capteurs cylindro-paraboliques. Il s'agit d'une technologie mature ayant fait ses preuves depuis de nombreuses années. Pour autant, la recherche mondiale continue d'explorer de nouvelles pistes et deux axes de recherche se distinguent (Olivier Farges ,2014):

Des installations moins chères : il s'agit alors d'améliorer les capteurs linéaires de Fresnel Des installation plus efficaces : on s'oriente alors vers des systèmes à concentration ponctuelle tels que les centrales à tour ou ,à plus faible puissance ,les concentrateurs paraboliques.

I.5.2 .1 Les centrales a tour

Dans ce système un champ de miroirs appelés héliostats concentre les rayons solaires vers le récepteur situé au sommet d'une tour. Dans ce cas également, les miroirs suivent le déplacement du soleil. La multiplication des miroirs permet d'augmenter le flux incident, en revanche les forts gradients de température sur la face avant du récepteur engendrent la création de points chauds favorisant les pertes thermiques. les centrales solaires à tour présentent une technologie très prometteuse et efficace pour la production d'électricité (Mollicone Jessica,2015).

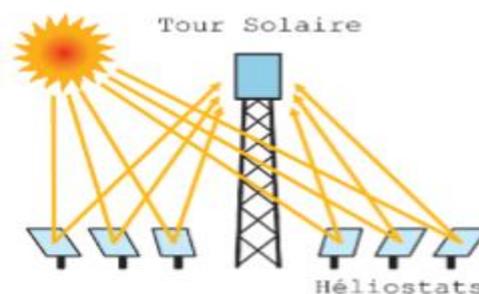


Figure I. 14:Principe de la concentration solaire pour les centrales solaires a tour (W. Fuqiang et al 2017) .

Une tour solaire concentre la lumière du soleil provenant d'un champ d'héliostats sur une tour centrale. Les statistiques d'hélio sont des réflecteurs de rayonnement à double axe regroupés en réseaux. Ils concentrent la lumière du soleil sur un récepteur central relativement petit situé au sommet de la tour. La lumière du soleil avec tour solaire est beaucoup plus concentrée que dans le Creux parabolique .Le fluide récepteur peut être chauffé à des températures de 500 à 1 000 ° C en fonction de la fluide récepteur et du design de concentration du sol. Lorsqu'il est utilisé, il conserve la chaleur de la production de chaleur pour le cycle du générateur de chaleur ([Albert Boretti et al,2018](#)).

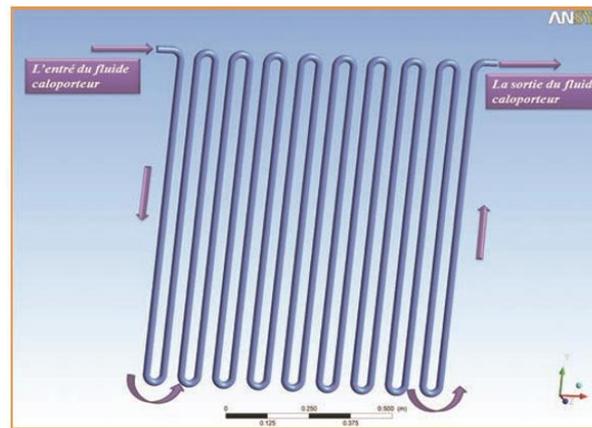


Figure I. 15: L'écoulement du fluide caloporteur au sein du récepteur ([H. Messaoud,2010](#)) .

Il est possible d'atteindre avec ces systèmes des facteurs de concentration de l'ordre de 1000 soleils, et donc des températures très importantes, au-delà de 1000 °C . Parmi les réalisations à l'échelle industrielle, on peut citer les installations Planta Solar 10 et 20 d'Abengoa Solar en Espagne qui fonctionnent en génération directe de vapeur . La centrale Gemasolar de Masdar et Sener en Espagne utilise la même technologie de concentration du rayonnement avec un fluide caloporteur de type sel fondu. Au niveau de la capacité mondiale installée, la technologie centrale à tour représente approximativement 562 MW installés (2015), ce qui représente 14 % de la capacité mondiale de solaire à concentration ([Adrien Lomonaco ,2015](#)) .La centrale Gemasolar Cette centrale est composée de 2 650 héliostats (miroir permettant de suivre la course du soleil durant la journée et orienté vers un point fixe qui capte la chaleur) disposés sur 185 hectares de terres.



Figure I. 16:La centrale Gemasolar de Masdar et Sener en Espagne [3].

1.5.2.2 Les centrales à capteurs paraboliques

Un concentrateur parabolique est constitué d'un réflecteur de forme parabolique qui réfléchit le rayonnement solaire sur un récepteur monté sur le point focal (Figure I.15). La concentration parabolique permet d'atteindre les facteurs de concentration les plus élevés, de 1000 à 3000, et les températures de fonctionnement peuvent atteindre 1500°C. Cependant, la température est limitée par le moteur, de 700°C à 850°C, selon les moteurs thermiques, qui se trouvent au point focal de la parabole. Ces concentrateurs sont montés sur une structure avec un système de tracking ayant deux degrés de liberté. Le flux collecté est généralement utilisé directement par un moteur thermique monté sur le récepteur se déplaçant avec la structure de la parabole. Le cycle de Stirling est généralement utilisé pour la conversion de l'énergie thermique en énergie mécanique (Jean-François Hoffmann, 2015). L'absorbeur est situé à l'intérieur d'un boîtier métallique qui sert de réflecteur secondaire il est important de préciser que l'absorbeur a été peint en noir afin d'obtenir une absorbance élevée (~ 90%) tandis que son émittance est également élevée (~ 90%) (Velimir P et al 2018).

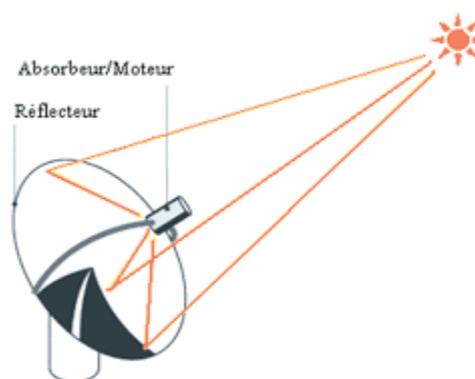


Figure I. 17:Concentrateur parabolique (H. Derbal et al ,2007)

Pour être un bon récepteur, celui-ci doit transférer le maximum de puissance radiative incidente au fluide caloporteur du moteur. Le récepteur est constitué de plusieurs petits tubes où circule le fluide de travail. le transfert thermique se fait à 90%, soit une perte de chaleur par conduction de l'ordre de 10%. (A.Kaddour ,1013)



Figure I. 18: photo de la parabole d'Odeillo Fr[4]



Figure I. 19: L'absorbeur en spirale(Velimir P et al,2018)

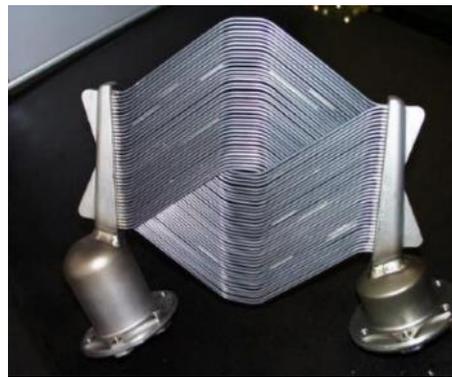


Figure I. 20:Recepteur solaire de type sbp/solo v-160/161(A.Kaddour ,2013)

Collecteur non-concentrant: peut être conçu pour des applications nécessitant un apport d'énergie à des températures modérées, jusqu'à peut-être $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ au-dessus de la température ambiante. Ils ont l'avantage d'utiliser des rayons solaires diffus et diffus, ne nécessitant pas d'orientation vers le soleil et nécessitant peu d'entretien. Dans les pays tropiques, une efficacité journalière moyenne des capteurs de 0,658 et une température moyenne du système de $81\text{ }^{\circ}\text{C}$ sont réalisables. Les performances du capteur solaire non concentré dépendent beaucoup à la fois du débit du fluide de travail à travers le capteur et du rayonnement solaire incident (Dara J.E et al ,2013) .

I.5.3 Avantages des capteurs à concentration (S. Ram et al ,2017) :

- La conception simple et les surfaces réfléchissantes nécessitent moins de matériau, ce qui diminue le coût par unité de surface de la surface de collecte solaire.
- En raison de la surface modérément petite du récepteur, les pertes de chaleur sont moindres, augmentant ainsi l'efficacité thermique.
- Une efficacité thermodynamique plus élevée peut être atteinte car le fluide caloporteur peut atteindre une température plus élevée dans une surface de concentration par rapport au collecteur à plaque plate.

- Comme une température plus élevée peut être atteinte avec un capteur solaire à concentration, la quantité de chaleur qui peut être stockée par volume unitaire est plus grande; par conséquent, le coût du stockage de chaleur est moindre par rapport aux capteurs non concentrés.
- Un traitement de surface soigné et une isolation sous vide sont effectués pour réduire les pertes de chaleur, augmentant ainsi l'efficacité du capteur.

Tableau I. 1:Tableau comparatif des quatre types de CSP(Seshie Yao Manu,2018).

	Technologie CSP			
	Cylindro-parabolique	Tour	Linéaire Fresnel	parabolique
Collecteurs solaires	Ligne focale	Point focal	Ligne focale	Point focal
Récepteur solaire	Mobile	Fixe	Fixe	Mobile
Cycle thermodynamique	Cycle de Rankine, cycle combiné	Cycle de Rankine, cycle de Brayton, cycle combiné	Cycle de Rankine	Cycle de Rankine, cycle de Stirling
Concentration	70-80	> 1000	> 60	> 1300
Température de fonctionnement du champ solaire (°C)	Moyenne (290 – 390)	Élevée (290 – 565)	Relativement basse (250 – 390)	Très élevée (550 – 750)
Rendement maximal de la centrale (%)	14 - 20	23-35	18	30
Facteur de capacité annuel (%)	20 –25 (sans stockage), 40–53(6h de stockage)	40–45(6h–7,5h de stockage), 65 – 80 (12h – 15h de stockage)	22 – 24	~ 25
Maturité de la technologie	Commercialement prouvé	Commercial	Projet Pilote	Étape de démonstration
Risque de développement technologique	Faible	Moyen	Moyen	Moyen
Possibilités d'amélioration	Limité	Très significatif	Significatif	À travers une production à masse

I.6 INTERET D’UN SYSTEME DE STOCKAGE DANS LES CENTRALES SOLAIRES THERMODYNAMIQUES

Quelle que soit leur technologie, le fonctionnement des centrales solaires thermodynamiques est fortement contraint par le caractère intermittent de l'énergie solaire. Pour que la production d'électricité soit efficace et optimisée, il faut nécessairement développer une solution de stockage. Les centrales solaires thermodynamiques présentent l'énorme avantage d'avoir la possibilité de stocker de l'énergie thermique, ce qui est, a priori, bien moins onéreux que le stockage d'énergie électrique. Il

existe par exemple un facteur 20 au minimum entre le coût des batteries lithium/ion, estimé à 1000 €/kWh et celui des solutions de stockage d'énergie thermique par matériaux à changement de phase (actuellement les plus onéreuses se situant vers 50 €/kWh) (Pierre Pardo,2013). Dans les centrales actuelles, un système d'appoint et/ou un système de stockage sont installés pour améliorer les performances et augmenter le facteur de capacité (Jean-François Hoffmann, 2015).

La chaleur produite par le champ de capteur peut être stockée sous trois formes : sensible, latente ou thermochimique.

On peut classer les technologies de stockage de différentes façons, nous les distinguons ici selon le type de chaleur stockée (Aurouseou .A , 2016) :

Stockage par chaleur sensible : Le stockage par chaleur sensible est la technologie la plus aboutie à ce jour, et la plus largement utilisée. Son rendement (proportion d'énergie récupérée par rapport à l'énergie stockée) par cycle est supérieur à 95%. Ce type de stockage est intéressant pour une utilisation dans les centrales à tour et l'est moins avec les centrales à capteurs linéaires.

Stockage par chaleur latente : Cette technologie utilise un matériau de stockage dont la température de changement de phase est située entre la température d'entrée et la température de sortie du fluide caloporteur dans le champ solaire. La capacité volumique de stockage par chaleur latente est plus élevée qu'avec la chaleur sensible

Le stockage thermochimique : Le stockage thermochimique présente potentiellement une capacité de stockage plus importante que les autres technologies, il est encore peu développé et non mis en œuvre dans les centrales CSP commerciales. Il souffre de quelques limitations (dont certaines communes aux autres formes de stockage) : efficacité du transfert thermique, réversibilité de la réaction, stabilité des cycles charge décharge et coût.

Ces trois formes de stockage se distinguent par leur densité d'énergie stockable, leur rendement, leur coût et leur mise en œuvre. Hauer, 2013 propose des ordres de grandeur résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I. 2: Ordres de grandeur des systèmes de stockage de chaleur (Hauer, 2013)

	Système de stockage		
	Sensible	Latent	Thermochimique
Densité d'énergie stockable [kWh/ tonne]	10-50	50-150	120- 250
Rendement [%]	50-90	75-90	75-100
Coût [€/kWh]	0,1-10	10-50	8-100

L'objectif d'un système de stockage est de découpler la production d'électricité de la ressource énergétique. Deux échelles de temps apparaissent, les systèmes de stockage à court terme (< 1 h) qui ont pour objectif de :

- maintenir la production constante pendant les passages nuageux.
- diminuer le nombre de phases de démarrage et d'arrêt des turbines.

Et, les systèmes de stockage de masse (> 1 h) qui ont pour objectif de :

- optimiser le fonctionnement des turbines .
- adapter au maximum la production à la demande .
- augmenter la capacité de la centrale.

Les systèmes de stockage d'énergie thermique ont généralement des temps de réponse assez longs et seront donc plus efficaces s'ils sont utilisés en tant que systèmes de stockage de masse. (Pierre Pardo,2013)

I.7 FLUIDES CALOPORTEURS ET THERMODYNAMIQUES

L'énergie thermique provenant du rayonnement solaire collecté est convertie grâce à un fluide caloporteur, puis un fluide thermodynamique. Dans certains cas, le fluide caloporteur est utilisé directement comme fluide thermodynamique .

I.7.1 Choix des fluides (principe-solaire-thermodynamique.,2012):

Le choix du fluide caloporteur détermine la température maximale admissible, oriente le choix de la technologie et des matériaux du récepteur et conditionne la possibilité et la commodité du stockage..

- ❖ Eau liquide :est a priori, un fluide de transfert idéal. Elle offre un excellent coefficient d'échange et possède une forte capacité thermique. En outre, elle peut être utilisée directement comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine. cependant son utilisation implique de travailler à des pressions très élevées dans les récepteurs en raison des hautes températures atteintes, ce qui pose problème pour les technologies Cylindro-paraboliques.
- ❖ Huiles : sont des fluides monophasiques qui présentent un bon coefficient d'échange. Leur gamme de température est limitée à environ 400 °C. c'est le fluide le plus couramment employé dans les centrales à collecteurs Cylindro-paraboliques.
- ❖ Sels : fondus à base de nitrates de sodium et de potassium offrent un bon coefficient d'échange et possèdent une densité élevée. Ils sont donc également de très bons fluides de stockage. Leur température de sortie peut atteindre 650 °C. Leur association avec un concentrateur à tour et un cycle de Rankine constitue une combinaison déjà éprouvée.
- ❖ Gaz : tels l'hydrogène ou l'hélium peuvent être utilisés comme fluides thermodynamiques et entraîner les moteurs Stirling qui sont associés aux collecteurs paraboliques.
- ❖ Fluides organiques : (butane, propane, etc.) possèdent une température d'évaporation relativement basse et sont utilisés comme fluide thermodynamique dans un cycle de Rankine.
- ❖ Air : peut être utilisé comme fluide caloporteur ou comme fluide thermodynamique dans les turbines à gaz.

I.7.2 Principales caractéristiques d'un fluide caloporteur (Kaddour Nour Elhouda,2019) :

- ✓ Bon transfert thermique - efficacité du rendement au niveau de l'échangeur.
- ✓ Faible dilatation à haute température - pression maîtrisée dans l'installation.
- ✓ Faible dégradation à haute température - maintien du rendement.
- ✓ Inhibition de la corrosion - tuyauterie non fuyarde.
- ✓ Absence de produits toxiques - sécurité pour l'opérateur et l'utilisateur.
- ✓ Stabilité des caractéristiques - permanences du taux de couverture.
- ✓ Agrément du Ministère de la Santé ⇒ certification, éligibilité

Le fluide caloporteur doit extraire la chaleur efficacement, ce qui conduit à essayer d'augmenter les températures. Une nouvelle classe des fluides, appelée "Nanofluide", a été développée dans le but d'améliorer les transferts de chaleur.

I.8 NANOFLUIDES :

I.8.1 Définition de nanofluides : Les nanofluides, qui sont probablement la nanotechnologie la plus simple des pays émergents domaine «nano-tech», sont composés d'un mélange de nanoparticules avec un conventionnel fluide de base. La taille extrêmement petite des particules (1/1000ème du diamètre d'un cheveux humains) (Robert Taylor ,2011).Un nanofluide est une dispersion colloïdale d'un système diphasique où les nanoparticules sont en phase solide et le fluide de base est en phase liquide.

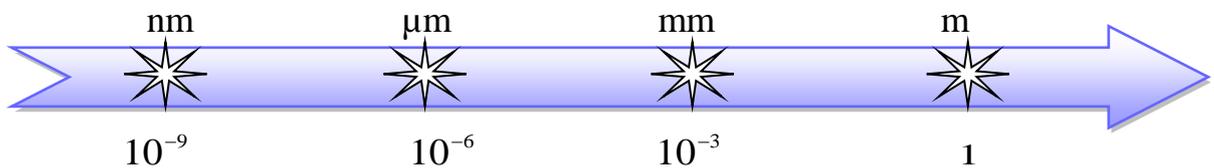


Figure I. 21: Échelle des dimensions, 1 nanomètre = 0,000 001 millimètre

Un nanofluide est une combinaison de nanoparticules dans un fluide de base pour améliorer les performances thermiques du fluide (Figure I.22).

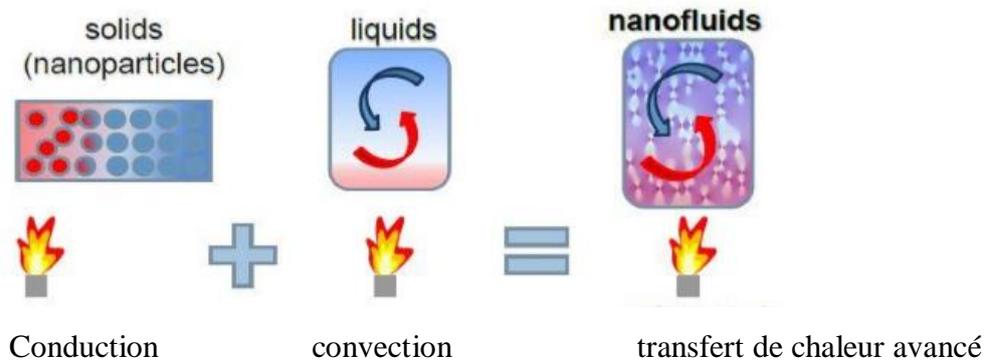


Figure I. 22: Transfert de chaleur dans les nanofluides [5]

I.8.1.1 Nanoparticules:

Une nanoparticule est un assemblage de quelques centaines à quelques milliers d'atomes, conduisant à un corps, dont au moins l'une des dimensions est de taille nanométrique (1 à 100nm). Les

nanoparticules situent à la frontière entre l'échelle microscopique et l'échelle atomique ou moléculaire. Ils ont généralement les formes sphériques et cylindriques, ou sous forme de tube, comme les nanotubes de carbone (NTC) (Tahiri Antar,2017). Les nanoparticules les plus utilisées sont classées :

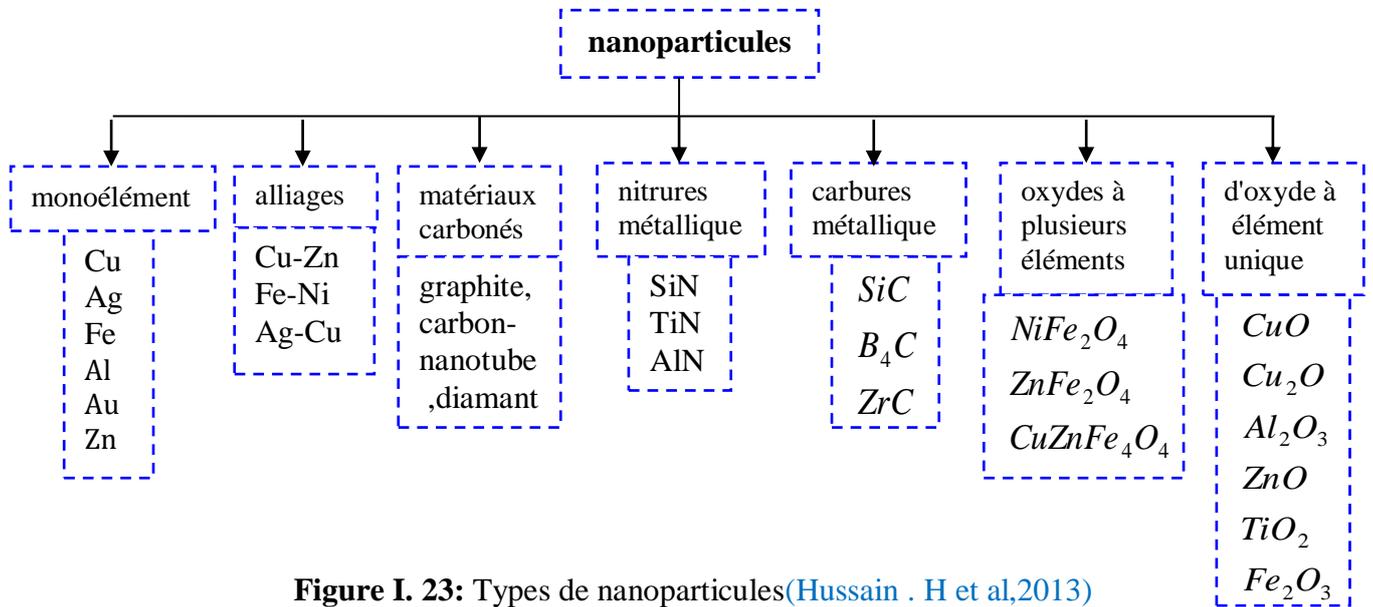


Figure I. 23: Types de nanoparticules(Hussain . H et al,2013)

I.8.1.2 Fluide De Base: Les fluides de base jouent un rôle dominant dans la conception des nanofluides car c'est la base où les nanoparticules seraient distribuées. L'eau est le fluide de base le plus couramment utilisé par de nombreux chercheurs. Les facteurs pris en compte dans le choix du fluide de base pour les meilleures performances du système sont la stabilité thermique, la viscosité, la capacité thermique, la congélation et le point d'ébullition (Akilu, S et al 2018). Les liquides de base les plus utilisés :

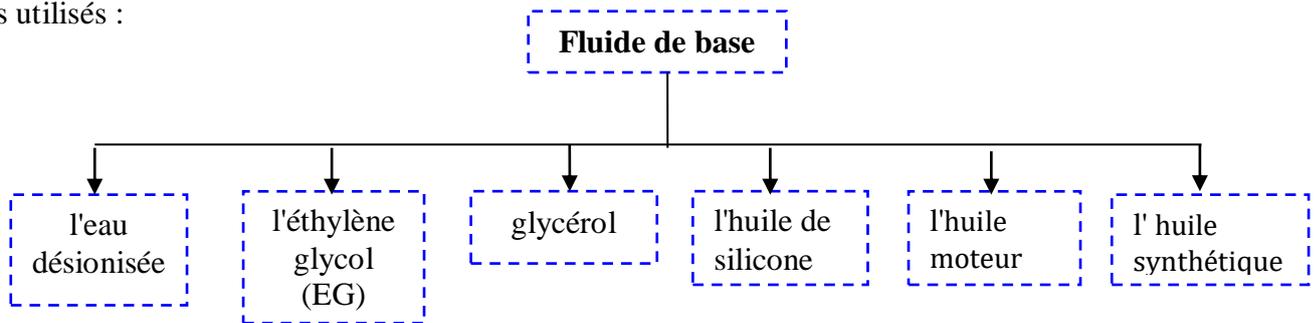


Figure I. 24: Types liquides de base

I.8.2 Domaines d'applications des nanofluides : L'utilisation de nanofluides a augmenté dans les applications de transfert de chaleur depuis son origine il y a dix ans. Certaines des applications des nanofluides sont discutées ici.

Applications électronique :

La dissipation thermique deviendra plus difficile lors de la conception des composants électroniques avec plus de compacité en raison de sa densité de puces plus élevée. La gestion thermique des appareils électroniques avancés sera difficile car ces appareils produisent une énergie

thermique élevée et la surface disponible devrait également être réduite, ce qui augmentera le coût (Tsai, CY et al 2004). Pour le bon fonctionnement des appareils électroniques avancés, une approche alternative doit être utilisée. Une approche consiste à trouver la géométrie optimale pour les dispositifs de refroidissement, et une autre approche consiste à augmenter la capacité de transfert de chaleur. D'après les recherches récentes (Kleinstreuer, C & Xu, Z, 2016). l'utilisation de nanofluides augmente le taux de transfert de chaleur.

Transport :

Le liquide de refroidissement automobile universellement utilisé, mélange d'éthylène glycol et d'eau, est un fluide caloporteur médiocre par rapport à l'eau seule. Les huiles moteur fonctionnent encore plus mal comme moyen de transfert de chaleur. Si les nanoparticules sont ajoutées au liquide de refroidissement du moteur, le taux de refroidissement du moteur augmenterait avec une taille réduite dans le système de refroidissement, ce qui entraînerait une économie de carburant accrue. Le fonctionnement à basse pression d'un nanofluide d'éthylène glycol et son point d'ébullition élevé, ce qui est souhaitable pour maintenir un liquide de refroidissement monophasé, rendra le liquide de refroidissement à base de nanofluide plus approprié dans le système de refroidissement du moteur (Zhang, Z & Que, Q 1997). (refroidissement du moteur / gestion thermique des véhicules).

Applications mécaniques :

Les nanoparticules dans les nanofluides forment un film protecteur de dureté faible et dont le module d'élasticité à la surface usée peut être considéré comme la principale raison pour laquelle certains nanofluides présentent d'excellentes propriétés lubrifiantes. Les nanoparticules ont suscité un vif intérêt ces dernières années en raison de leur excellente capacité de charge, de leurs bonnes propriétés de réduction de la pression extrême et de la friction (Zohud.M, 2018) .

Les nanofluides sont également utilisés dans les systèmes de freinage hydraulique en raison de leur point d'ébullition, de leur viscosité et de leur conductivité élevés. L'utilisation de nanofluides réduit l'apparition de bouchon de vapeur et augmente la sécurité pendant la conduite. Le capteur solaire à base de nanofluides est une technologie émergente qui conduit à une meilleure absorption de la lumière du soleil (Kaufui V. Wong et Omar De Leon, 2010).

Le nanofluide peut être utilisé dans de nombreuses applications telles que refroidissement des systèmes nucléaires, échangeurs de chaleur, biomédecine et autres applications biomédicales, caloducs, récupération d'huile, pile à combustible, technologie solaire concentrée, chauffage solaire de l'eau, refroidisseurs, réfrigérateur domestique, combustion diesel, forage, lubrification, stockage thermique, et bien d'autre.

Les nanofluides présentent certains avantages et inconvénients suivants:

I.8.3 Avantages des nanofluides (Asmaa Ahmed et al,2019) :

- Amélioration du coefficient de transfert de chaleur du fluide de travail en augmentant sa conductivité thermique.
- Permettant au fluide de transporter de grandes quantités d'énergie thermique en augmentant la densité et le produit thermique spécifique.
- Augmenter le transfert de chaleur entre le fluide et le récepteur.
- Améliorer les efficacités thermiques et électriques du système PV.
- Abaisser la température de l'absorbeur donc protégé le matériau.

I.8.4 Inconvénients des nanofluides (chouireb hossam eddine,2018) :

- Fortes pertes de charge.
- Erosion
- Sédimentation.
- Bouchons dans les écoulements
- Le coût élevé des nanofluides.
- Difficultés dans le processus de production.

I.9 CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a présenté des notions générales sur les différents types des centrales solaires thermiques à concentration CSP, puis une bref introduction sur les nanofluides a été ajoutée. Dans le prochain chapitre, un historique du développement de la technologie nanofluide et l'état de l'art ont été introduits.

I.10 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Abdelmadjid Kaddour ; «Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal» ; Thèse doctorat ; Physique Energétique et Matériaux ; Université abou-bekr belkaid-tlemcen ; Janvier 2013
- Adrien Lomonaco ; « Stockage d'énergie thermique par matériaux à changements de phase adapté aux centrales solaires thermodynamiques » ; Thèse doctorat ; Énergétique ; Université de Pau et des Pays de l'Adour Spécialité 2015
- Akilu, S., Baheta, A.T., Said, M.A.M., Minea, A.A. and Sharma, K.V.; « Properties of glycerol and ethylene glycol based SiO₂-CuO/C hybrid nanofluid for enhanced solar energy transport » ; Solar Energy Materials and Solar Cells 179, 118–128. 2018
- Alarcón Villamil¹, Jairo Eduardo Hortúa², Andrea López ; « Comparison of thermal solar collector technologies and their applications » <http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2013.15.3>
- Albert Boretti, Stefania Castelletto, and Sarim Al-Zubaidy; « Concentrating solar power tower technology present status and outlook »; Nonlinear Engineering, 2019, vol. 8, no 1, p.10-31.
- Amitabh .Gogoi, Kartik.K, Saikia.R. Rajkhowa Monmayuri .D ; « Performance analysis of a solar parabolic trough collector for an absorber and different reflecting surfaces and flow rates » ; bachelor of engineering ; mechanical engineering submitted 2018
- Asmaa Ahmed, , Hasan Baig , Senthilarasu Sundaram , Tapas K. Mallick Use of Nanofluids in Solar PV/Thermal Systems Volume 2019, Article ID 8039129, 17 pages
- Aourousseau A ; « modélisation dynamique et régulation des centrales thermodynamique lineaire a génération direct de vapeur »; Energétique et transfert ; Thèse doctorat ; Université de Toulouse 2016.
- Chouireb Hossam eddine ; « Simulation numérique de la convection mixte dans un dissipateur de chaleur radial (pour application des diodes électroluminescente, LED) » ; Mémoire de fin d'étude master ; Génie Mécanique ; Université de M'sila 2018
- D. Barlev, R. Vidu, and P. Stroeve ; « Innovation in concentrated solar power » ; Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 95, no. 10, pp. 2703–2725, Oct. 2011.
- D. Yogi Goswami ; « principles of solar engineering third » CRC Press, 2000.
- Dara J.E, MIAENG, Ikebudu K.O, MIAENG, Ubani N.O, MIAENG, Chinwuko C.E, MIAENG. Ubachukwu O. A, MIAENG ; « Evaluation of a Passive Flat-Plate Solar Collector »; 2013
- Emeric Tapachès « Estimation du Potentiel de la Technologie Solaire Thermodynamique à Concentration en Climat Non Désertique - Application à La Réunion » ; Thèse doctorat ; Physique énergétique ; Université de La Réunion en sciences 2015
- European research on concentrated solar thermal energy; Directorate-general for research sustainable energy systems. European Union (EU); 2010

- Fluide caloporteur en solaire thermique Guide des bonnes pratiques (2013/04/12/guide des bonnes pratiques solaires) : <https://www.fichier-pdf.fr/2013/04/12/guide-des-bonnespratiques-solaires-hd/>
- Gaëlle Kafira KO; « Etude et modélisation dynamique d'un concentrateur à miroir linéaire de Fresnel » ; Thèse doctorat ; Sciences de l'Ingénieur - Énergétique ; Université de Perpignan via Domitia 2019
- Gama, M. Haddadi et A. Malek Olivier Farges ; « Conception optimale de centrales solaires à concentration : application aux centrales à tour et aux installations « beam down » Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro parabolique avec poursuite solaire aveugle » 2008
- Ghodbane. M, Boumeddane.B , Largot .S, Heniat. N . E ; « Simulation Numérique d'un concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie » ; International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET) ISSN: 2356-5608, Vol.3, issue 2 Copyright IPCO-2015-pp.68-74 2015.
- GOSWAMI, D. Yogi, KREITH, Frank, et KREIDER, Jan F ; « Principles of solar engineering » ; CRC Press, 2000.
- H. Derbal ,M. Belhamel & A. Benzaoui ; « Conversion Solaire Thermique à Concentration les Concentrateurs Solaires Cylindro-Paraboliques » ; Recherche et Développement N°11 https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_011_14.pdf 2007
- H. Messaoud ; « Le récepteur d'une centrale solaire à tour » ; Recherche et Développement date 2010171642_Fichessolairethermodynamiqueintegralemai2010.pdf
- Hauer, Andreas ; « Thermal Energy Storage - Technology Brief E17 » 2013
- https://cdn.futurasciences.com/buildsv6/images/mediumoriginal/2/f/f/2ff053bc45_22128_8452-fig-8.jpg
- Hussain H. Al-Kayiem, Saw Chun Lin, Afolabi Lukmon ; « Review on Nanomaterials for Thermal Energy Storage Technologies » ; Nanoscience & Nanotechnology-Asia, 2013, Vol. 3, No. 1 61
- Imad Eddine Meriche ; « Simulation et Modélisation d'Installation de Type Solaire thermodynamique Hybride » ; Thèse doctorat ; Génie Mécanique ; Université des frères Mentouri - Constantine 2017
- Jean-François Hoffmann ; « Stockage thermique pour centrale solaire thermodynamique à concentration mettant en œuvre des matériaux naturels ou recyclés » ; Énergétique et Génie des Procédés ; Université de Perpignan via Domitia 2016
- Kaddour Nour Elhouda Modélisation et simulation de la centrale solaire thermique à miroir de Fresnel Physique Énergétique & Énergies Renouvelables Mémoire de Master UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN - TIARET-

- Kadraoui Hicham ;«Etude comparative et rendement énergétique des différents degrés de concentration des convertisseurs thermodynamique de l'énergie solaire» ;Mémoire de magister ; Énergies Renouvelables;Université Abou Bekr Belkaidde Tlemcen, 2011
- Kaufui V. Wong et Omar De Leon ;«Applications of nanofluids—Current and future» ;.Advances in Mechanical Engineering, 1–11. Hindawi Publishing Corporation Advances in Mechanical Engineering Volume 2010, Article ID 519659, 11 pages doi:10.1155/2010/519659(2010).
- Kleinstreuer, C & Xu, Z ;«Mathematical modeling and computer simulations of nanofluid flow with applications to cooling and lubrication» ;. Fluids 1(16), 1–33.2016.
- Matthew William Frank ; «Solar thermal energy collection system» 126/271; 122/366; 165/105; 202/234; 203/4, 10, 100. DIG. 1; 237/1 A1974
- MOLLICONE Jessica ;«Fonctionnalisation de supports de SiC par imprégnation de sols et/ou de suspensions en vue d'améliorer les rendements de conversion d'échangeurs solaires »; ED SDM : Sciences et Génie des Matériaux Université De Toulouse ,2015
- N. Hamani , A. Moummi , N. Moummi , A. Saadi et Z. Mokhtari ;«Simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire cylindro-parabolique dans le site de Biskra» ; Revue des Energies renouvelables, 2007, vol. 10, no 2, p. 215-224.2007
- Olivier Farges ;« Conception optimale de centrales solaires à concentration : application aux centrales à tour et aux installations « beam down » »;Thèse doctorat ; Université de toulouse 2014
- Pierre Pardo ;« Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température par voie thermochimique » ; Thèse de doctorat ;Génie des Procédés et de l'Environnement; Université Toulous 2013
- Robert Taylor ;«Thermal Energy Conversion in Nanofluids» https://scholar.google.com/scholar?q=%E2%80%A2%09Robert+Taylor+%3B%C2%ABThermal+Energy+Conversion+in+Nanofluids%+C2%BB+2011&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar,2011
- S.Ram, Aditya Kr Mishra, Ketan Jawney, Chandra Prakash ;«Comparison of Performance of Parabolic Trough Solar Collector (PTSC) using Water and Nanofluid (TiO₂ + Water) »; International Journal of Advanced Scientific Research and Management, Vol. 2 Issue 4, May 2017. www.ijasrm.com ISSN 2455-637
- Seshie Yao Manu ; « Modélisation et expérimentation d'une microcentrale solaire a concentration : cas de csp4africa » ;Thèse doctorat ;Energie ; Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE, 2iE) 2018 .
- Tahiri Antar ; « Contribution à l'étude des transferts thermo convectifs d'un fluide non-Newtonien en écoulement dans un conduit »; Thèse de Doctorat ;Génie Mécanique ;Université M'hamed Bougara-Boumerdes Faculté des Sciences de l'Ingénieur

- Tsai, CY, Chien, HT, Ding, PP, Chan, B, Luh, TY, & Chen, PH ;«Effect of structural character of gold nanoparticles in nanofluid on heat pipe thermal Performance » ; Materials Letters 58, 1461–1465. 2004.
- Une technologie dévoilée EDF R&D INNOVATION.EDF.COMLe groupe EDF est certifié ISO 14001 ;JUN 2012
- UNIT FOUR SOLAR COLLECTORS Concentrating Collectors ME 476 Solar Energy
- Velimir P. Stefanovica, Sasa R. Pavlovica, Evangelos Bellosb, Christos Tzivanidisb ;«A detailed parametric analysis of a solar dish collector»; Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2018, vol. 25, p. 99-110.
- Wang Fuqianga,b, Cheng Ziminga, Tan Jianyua, Yuan Yuanc, Shuai Yongc, Liu Linhuab,c ;«Progress in concentrated solar power technology with parabolic trough collector system: A comprehensive review» ;A Renewable and Sustainable Energy Reviews 79 (2017) 1314–1328
- Zhang, Z & Que, Q; «Synthesis, structure and lubricating properties of dialkyldithiophosphate-modified Mo-S compound nanoclusters »;. Wear, 1997, vol. 209, no 1-2, p. 8-12.
- Zohud Mohammed Kamel Abdelatif ;«Amélioration des Caractéristiques Thermiques des Réfrigérants par l'Addition de Nanoparticules» ; Thèse Doctorat ; Génie Mécanique Université des Sciences et de la Technologie Mohamed BOUDIAF d'Oran ,2018.
- [1]https://cdn.futurasciences.com/buildsv6/images/mediumoriginal/2/f/f/2ff053bc45_22128_8452-fig-8.jpg)
- [2]<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcTRtxDwl3hFEiQHq05QjXXBMU1DwjmeItxQ8w&usqp=CAU>
- [3] <http://www.actinnovation.com/wp-content/uploads/2011/06/Gemasolar-600x396.jpg>
- [4]<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcTRtxDwl3hFEiQHq05QjXXBMU1DwjmeItxQ8w&usqp=CAU>)
- [5] Heat transfer in nanofluids <https://www.google.com/search?q=+Heat+transfer+in+nanofluids.&bm=isch&ved==img&ei=HQRZX8T8INKnlwT0rbCICQ&bih=635&biw=1366#imgrc=lhTzpKaZsIJyqM>

Chapitre II

Étude bibliographique sur les nanofluides

II.1 INTRODUCTION

Dans le transfert de chaleur, l'un des paramètres majeurs est la conductivité thermique du fluide de travail. Actuellement, la plupart des fluides couramment utilisés sont l'eau, l'éthylène glycol et l'huile moteur, qui ont une conductivité thermique inférieure. Ce fait a été le point de départ d'une idée, qui créait un mélange de solide et de fluide afin d'améliorer la conductivité thermique du fluide et d'avoir de meilleures performances de transfert thermique par conséquent (Mohammadreza. B, Seyed A. M, 2012). Un nanofluide est une combinaison de nanoparticules dans un fluide de base pour améliorer les performances thermiques du fluide. Un nanofluide est une dispersion colloïdale d'un système biphasique où les nanoparticules sont en phase solide et le fluide de base est en phase liquide. C'est un type spécial de fluide caloporteur, qui a une conductivité thermique plus élevée que les fluides hôtes traditionnels (I.M. Mahbubul, 2018).

II.2 HISTORIQUE ET DEVELOPPEMENT DES NANOFUIDES :

Cependant, l'origine de la définition / concept des nanotechnologies et des nanosciences remonte à 1959, physicien américain «Richard Feynman» a donné une conférence intitulée «Il y a beaucoup de place en bas» Devant l'American Physical Society, où il a demandé (Que pourraient faire les scientifiques s'ils pouvaient contrôler le mouvement d'un seul atome et le réorganiser comme ils le souhaitent? Comme décrit Un nouveau domaine qui traite des atomes et molécules individuels pour créer des matériaux et des machines fines aux propriétés distinctives Ce fut le début de l'annonce d'un nouveau domaine qui fut connu plus tard Nanotechnologie (Sayantan Mukherjee et al, 2013). Norio Taniguchi, qui a présenté le concept de base de la «nanotechnologie» en 1974 au cours de la Conférence internationale sur l'ingénierie de la production au Japon, a pensé être un pionnier de la nanotechnologie en tant que science Quant aux recherches récentes (Sylwia Wcislik, 2020). La nanotechnologie moderne offre de nouvelles opportunités pour traiter et produire des matériaux dont la taille moyenne des cristallites est inférieure à 50 nm. Les fluides contenant des nanoparticules en suspension sont appelés nanofluides, terme proposé en 1995 par Choi de l'Argonne National Laboratory, États-Unis (Choi, 1995) (Xiang-Qi Wang et al, 2008) .

De nos jours, les nanofluides sont considérés comme les fluides de transfert de chaleur de la prochaine génération car ils offrent de nouvelles possibilités intéressantes pour améliorer les performances de transfert de chaleur par rapport aux liquides purs. Ils ont des propriétés supérieures par rapport aux fluides caloporteurs conventionnels, ainsi qu'aux fluides contenant des particules métalliques micro-dimensionnées (Masoudeh Ahmadi, 2015) , toutes les études discutées indiquent que les nanofluides sont de bons candidats pour une nouvelle génération de fluides caloporteurs et utiliser des nanofluides pour absorber la lumière du soleil incidente.

Récemment, des chercheurs ont également découvert que les nanofluides ont des propriétés d'absorption spectrale et de rayonnement distinctives, ce qui conduit à des applications potentielles importantes des nanofluides dans l'utilisation de l'énergie solaire thermique (Otanicar.T,2010).

II.3 APPLICATIONS DES NANO-FLUIDES DANS L'ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE

Otanicar et al (2010) Dans cette étude, Ils ont utilisé des nano-fluides comme mécanisme d'absorption dans Capteur solaire à absorption directe L'appareil d'essai a été construit autour d'un micro-capteur solaire thermique qui mesure 35 cm 2 avec une profondeur de canal de 150 m, Trois groupes différents de nano-fluides, avec de l'eau comme fluide de base, ont été pris en compte: diamètre de 30 nm à base de sphère de graphite, diamètre nominal de 6 à 20 nm à base de nanotubes de carbone, longueur de 1 000 à 5 000 nm et sphère d'argent- sur la base de diamètres 20 et 40 nm. Ces fluides ont été testés dans différentes fractions de volume ou différentes tailles de particules pour comprendre comment ces variables influent sur la collecte d'énergie solaire thermique La figures (II.1) montre des échantillons représentatifs de nano-fluides testés.. Nous démontrons des améliorations de l'efficacité allant jusqu'à 5% dans les capteurs solaires thermiques.



Figure II.1:échantillons de nano-fluides représentatifs testes au microcollecteur

De plus, les données expérimentales ont été comparées à un modèle numérique d'un capteur solaire avec des nanofluides à absorption directe. Les résultats expérimentaux et numériques démontrent une augmentation rapide initiale de l'efficacité avec la fraction volumique . Le résultat le plus surprenant du travail expérimental est le haut niveau d'efficacité atteint avec les nanoparticules d'argent à 20 nm. Le modèle fournit une réponse qualitativement correcte en incluant ces effets des nanoparticules d'argent, indiquant une légère augmentation 2% lorsque la taille est réduite d'un diamètre de 40 à 20 nanomètres.

L'effet de la modification des propriétés optiques est évidemment important pour maximiser la quantité d'absorption solaire, mais il est également important dans ce style de collecteur d'essayer de distribuer la quantité d'énergie solaire absorbée aussi uniformément que possible dans le volume de fluide. Cela conduit à un profil de température plus uniforme, ce qui limite la quantité de perte de chaleur aux limites ainsi que simplifie la conception en éliminant une surface fonctionnant à des

températures extrêmes. Par conséquent, la conception optimale du collecteur est celle dans laquelle la température maximale est située loin des surfaces exposées aux températures ambiantes; idéalement, ce serait près du centre du fluide.

Yang Li et al (2011) a trouvé d'après une étude expérimentale que les rendements de transfert de chaleur des nanofluides Al_2O_3 , ZnO et MgO étaient tous augmentés par rapport à l'eau distillée. Pour 1,0% vol dans un capteur solaire tubulaire (Figures II.2), Les capteurs ont été installés sur la terrasse du bâtiment pour une meilleure absorption de l'énergie solaire les résultats montrent. les températures des nanofluides Al_2O_3 , ZnO et MgO sont toutes supérieures à l'eau distillée.

Ils ont remarqué que les nanofluides pourraient obtenir plus d'énergie de la lumière du soleil et présenter des capacités de transfert de chaleur supérieures à celles de l'eau distillée. Les nanofluides ZnO et MgO ont la plus grande différence de température de 3,6 °C au maximum et la concentration de nanofluide ZnO était une option intéressante à appliquer dans l'utilisation de l'énergie solaire. cela veut dire que les nanofluides peuvent conserver plus d'énergie thermique.



Figure II.2: Système d'absorption d'énergie solaire tubulaire .

Vikrant .Khullar et al (2012) ont étudié numériquement l'efficacité thermique du collecteur d'un capteur solaire parabolique à concentration à base de nanofluides (Aluminium-Therminol VP-1) par la technique des différences finies a été appliquée pour résoudre numériquement les équations de transfert de chaleur pour obtenir le champ de température. Un code a été écrit dans MATLAB pour implémenter la formulation théorique, Les résultats du modèle ont été comparés aux résultats expérimentaux de capteurs solaires paraboliques à concentration conventionnels dans des conditions similaires. Dans le HCE conventionnel, l'énergie solaire rayonnante est d'abord absorbée par le tube absorbeur puis transférée au fluide de travail via les modes de conduction et de convection, c'est-à-dire que le fluide de travail lui-même n'interagit pas directement avec l'irradiance solaire entrante.

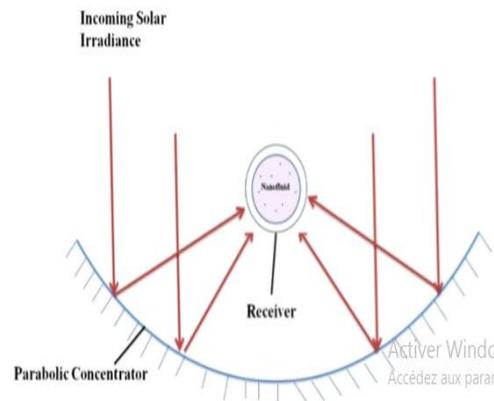


Figure II.3: schéma de capteur solaire parabolique à concentration à base de nanofluides

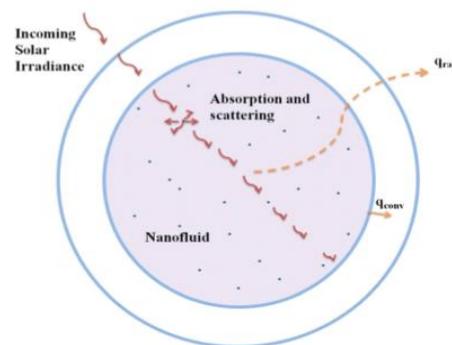


Figure II.4: Atténuation de l'irradiance solaire lors de son passage dans le nanofluide et pertes convectives (q_{conv}) et radiatives (q_{rad}) subséquentes

Les résultats théoriques indiquent que le capteur solaire parabolique à concentration à base de nanofluides a le potentiel d'exploiter l'énergie solaire rayonnante de manière plus efficace (à une efficacité d'environ 5 à 10% supérieure) par rapport à un bac parabolique conventionnel.

De plus, la forme, la taille et le matériau des nanoparticules doivent être optimisés afin d'obtenir le rendement souhaité en termes d'efficacité.

Lal Kundan, Prashant Sharma (2013) ont réalisé une étude expérimentale sur collecteur solaire à absorption directe. Ils ont utilisé un mini-canal pour minimiser la quantité de nanofluide nécessaire pour le test. La zone de géométrie du collecteur est ($0,24 \times 0,24 \text{ m}^2$). Dans cette configuration, un nanofluide à base de $\text{CuO} - \text{H}_2\text{O}$ est utilisé. L'expérience est réalisée en utilisant différents débits massiques (60 ml / h, 80 ml / h et 100 ml / h) de nanofluides et avec une fraction volumique différente (0,05%, 0,005%) de nanoparticules dans des nanofluides. En effet, le nanofluide CuO absorbe plus de chaleur que l'eau.



Figure II.5: collecteur solaire a absorption directe

Ils ont remarqué que Lorsque les nanoparticules de CuO sont mises en suspension dans l'eau, en raison des propriétés optiques plus élevées, la capacité d'absorption de chaleur des nanofluides augmente, ce qui donne une différence de température plus élevée. La densité du CuO est supérieure à celle de l'eau, donc après la suspension, la capacité thermique du nanofluide augmente, ce qui améliore l'efficacité du collecteur .Ils ont peut être observé que la même chose que l'efficacité du collecteur de différence de température du nanofluide augmente à une fraction de volume inférieure .

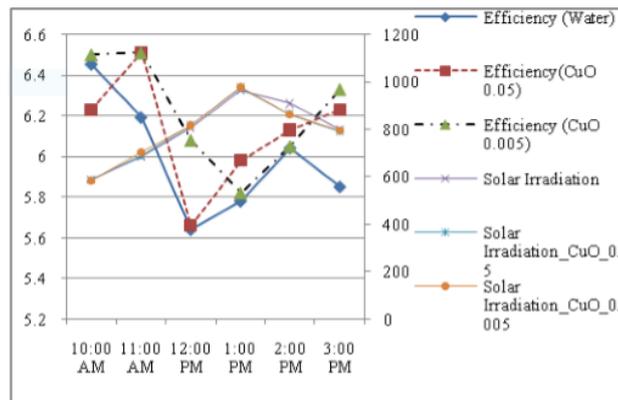


Figure II.6: comparaison de l'efficacite pour débit massique de 60 kg/h

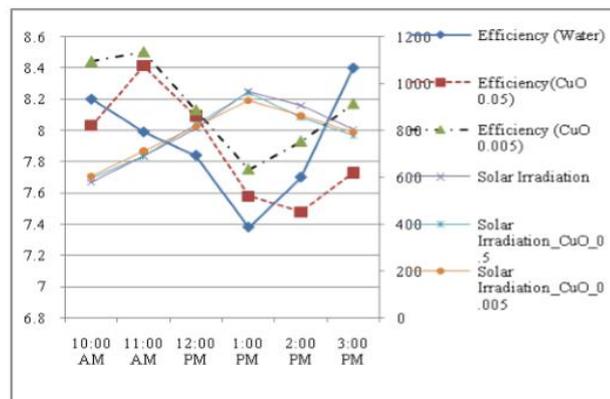


Figure II.7: comparaison de l'efficacité pour un débit massique de 80 kg/h

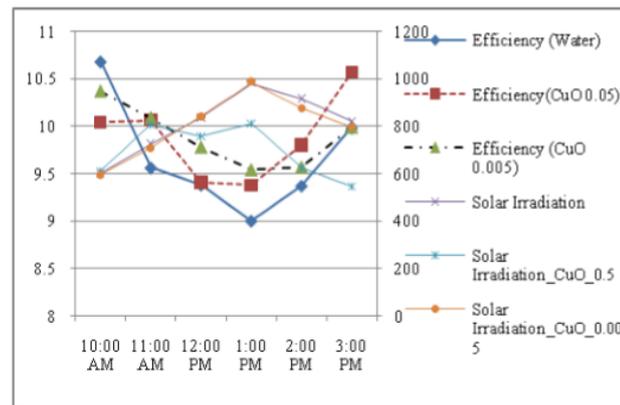


Figure II.8: comparaison de l'efficacite pour un debit massique de 100 kg / h

Ainsi, Ils ont conclu que les nanofluides ont un bon potentiel dans l'application solaire thermique et que les nanofluides peuvent être une bonne réponse pour la limitation du transfert de chaleur des fluides de transfert de chaleur conventionnels.

Aggrey Mwesigye et al (2016) ont présenté une étude les performances thermiques et thermodynamiques d'un récepteur parabolique comme indiqué le figures II. 9, Le récepteur utilisé dans cette étude a des propriétés similaires à celles du récepteur PTR70 de Schott et Le nanofluide utilisé comme fluide caloporteur est constitué de nanoparticules de cuivre et de Therminol®VP-1 comme fluide de base. ce travail a été suivie par modélisation numérique pour obtenir la solution des équations régissant la continuité, la quantité de mouvement et l'énergie ainsi que les conditions aux limites, un outil commercial de dynamique des fluides numérique ANSYS®15.0 a été utilisé , un code de dynamique des fluides computationnel basé sur la méthode des volumes finis. L'algorithme SIMPLE a été utilisé pour le couplage pression-vitesse Des schémas au vent de second ordre ont été utilisés pour l'intégration des conditions aux limites, ainsi que le domaine informatique.

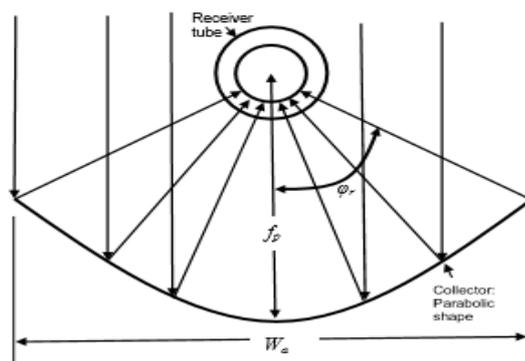


Figure II.9:concentrateurs cylindro-parabolique(parabolic trough collector) avec une partie des rayons incidents et reflechis.

Leur travail présente Les performances de transfert de chaleur du récepteur s'améliorent à mesure que la fraction volumique de nanoparticules dans le fluide de base augmente. Il est démontré que les performances de transfert de chaleur augmentent de 8%, 18% et 32% lorsque la fraction volumique de nanoparticules passe de 0% à 2%, 4% et 6%, respectivement Comme le montrent les figures II.10.

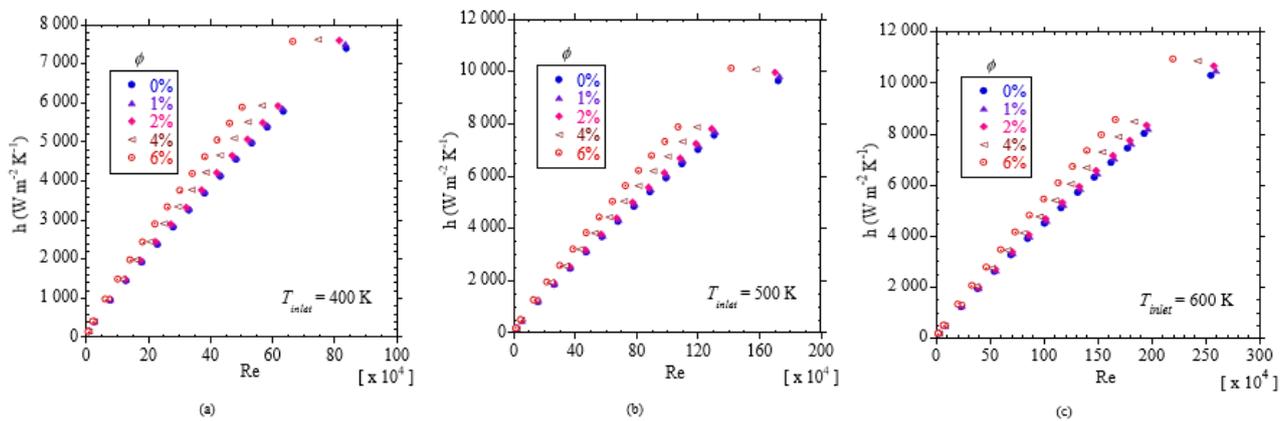


Figure II.10: performance de transfert de chaleur en fonction du nombre de Reynolds et de la fraction volumique de nanoparticules. A) 400 k, b) 500 k et c) 600 k.

Avec l'utilisation de nanofluides, on a observé l'efficacité thermique augmente jusqu'à 12,5%. L'augmentation la plus élevée est à la température la plus élevée de 650 K et la fraction volumique de nanofluides de 6%. Des améliorations significatives de l'efficacité thermique sont réalisables à de faibles débits / nombres de Reynolds pour toutes les températures considérées. Les taux de génération d'entropie dans le récepteur diminuent à mesure que la fraction volumique des nanoparticules augmente pour une certaine gamme de nombres de Reynolds.

Evangelos et al (2018) L'objectif de ce travail est de présenter deux techniques habituelles d'amélioration de l'efficacité thermique dans un réflecteur linéaire de Fresnel. L'utilisation de nanofluides (*CuO* dispersé dans l'huile thermique jusqu'à 6%) est comparée à l'utilisation d'ailettes longitudinales internes dans l'absorbeur. De plus, la combinaison de ces deux techniques est examinée et comparée aux autres techniques séparément. Le LFR examiné a un réflecteur primaire plat, un récepteur à tube sous vide et un réflecteur secondaire de forme parabolique. L'analyse est réalisée avec le logiciel SolidWorks Flow Simulation est capable d'effectuer l'analyse optique, thermique et hydraulique, La simulation est faite avec un modèle validé LFR avec des miroirs primaires plats et un réflecteur secondaire de forme équivalente

Les résultats de ce présent travail montrent que l'amélioration de l'efficacité thermique est plus élevée avec l'utilisation d'ailettes, par rapport aux boîtiers lisses. L'amélioration maximale de l'efficacité thermique est jusqu'à 0,9% et elle est d'environ 0,82% pour l'entrée de l'absorbeur à ailettes avec une concentration de 4% et 6% des nanoparticules lorsque la température d'entrée est égale à 600 K. Les résultats de calcul sont présentés, respectivement, sur les figures II.11. L'amélioration de l'efficacité thermique est basée sur l'augmentation du coefficient de transfert de chaleur qui présente des améliorations allant jusqu'à 130%. En général, on constate que l'amélioration de l'efficacité thermique est plus élevée pour des niveaux de température de fonctionnement plus élevés, car dans ces cas, la marge d'amélioration thermique est plus élevée en raison des pertes thermiques accrues. Il a été constaté que la concentration optimale des nanoparticules est d'environ 4% car une concentration plus

élevée ne conduit pas à une amélioration significative de l'efficacité thermique, en particulier pour l'absorbeur à ailettes, mais elle conduit à un travail de pompage plus élevé .

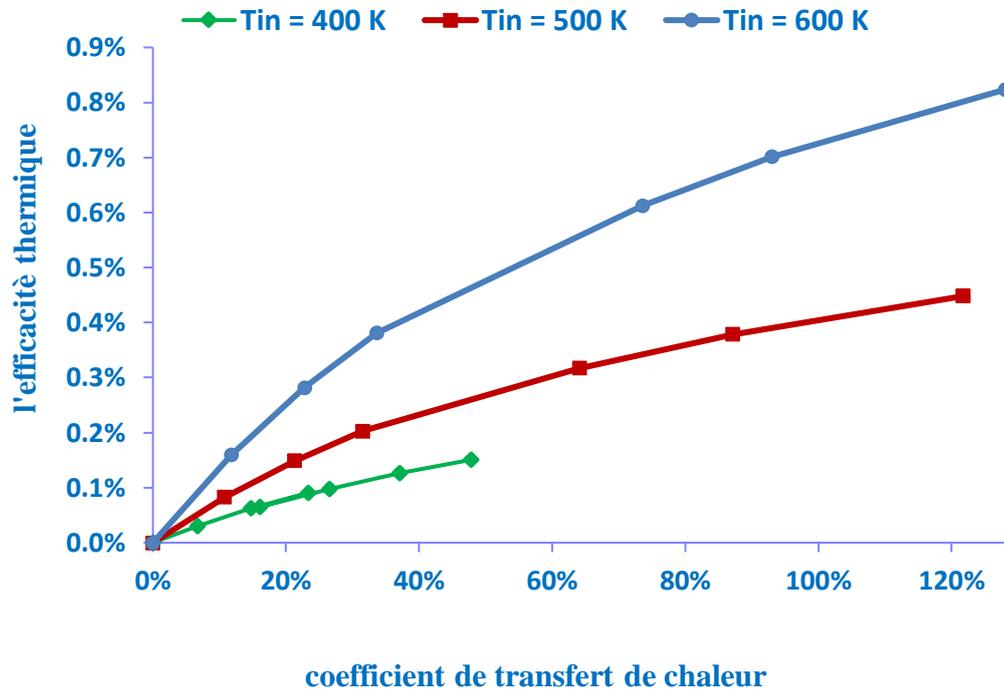


Figure II.11: Amélioration de l'efficacité thermique pour différentes améliorations de coefficient de transfert de chaleur (en utilisant toutes les techniques examinées) pour trois niveaux de température

Reyhaneh Lonia et al (2018) ont étudié l'utilisation de nanofluides dans un collecteur solaire à plat avec absorbeur à cavité spirale. Le capteur solaire examiné a une ouverture totale de 10,29 m² et le rapport de concentration est de 28,46 ,Quatre nanoparticules différentes sont examinées (Cu , CuO , TiO_2 et Al_2O_3) dans des fluides à base d'eau pour des rapports de concentration allant jusqu'à 5%.

Le capteur solaire examiné est un capteur à concentration avec réflecteur plat. L'absorbeur de ce système est une bobine en spirale qui est située à l'intérieur d'un boîtier métallique. La figures II.12 illustre ce système pilote qui fonctionne au Département de génie mécanique de l'Université de Nis, en Serbie . La géométrie choisie présente certains avantages et présente donc un intérêt élevé. Plus précisément , Les résultats expérimentaux du capteur solaire sont utilisés pour la validation du modèle numérique développé.

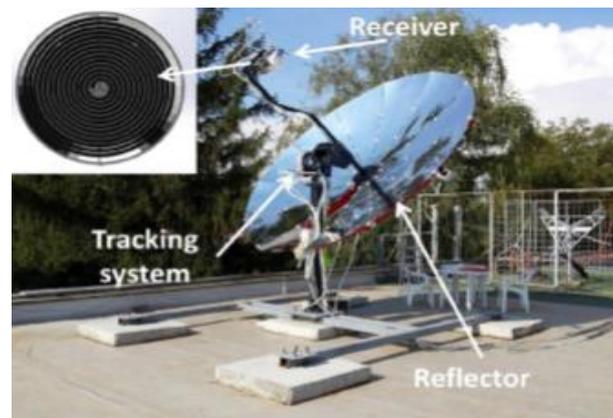


Figure II.12: Le collecteur solaire parabolique examine avec absorbeur en spirale

Les résultats de ce présent travail montrent que l'utilisation de nanoparticules d' Al_2O_3 conduit à une efficacité thermique plus élevée pour tous les rapports de concentration examinés. L'efficacité thermique du capteur solaire est proche de 35% pour les cas examinés. Cette faible valeur s'explique par la faible efficacité optique du système pilote. Le nanofluide Al_2O_3 / eau est le meilleur cas avec une petite différence avec le cas TiO_2 / Eau. Le troisième nanofluide en termes d'efficacité thermique est le CuO / Eau et le dernier est le Cu / Eau , la figures II.13 montre la température moyenne de l'absorbeur pour les cas examinés.

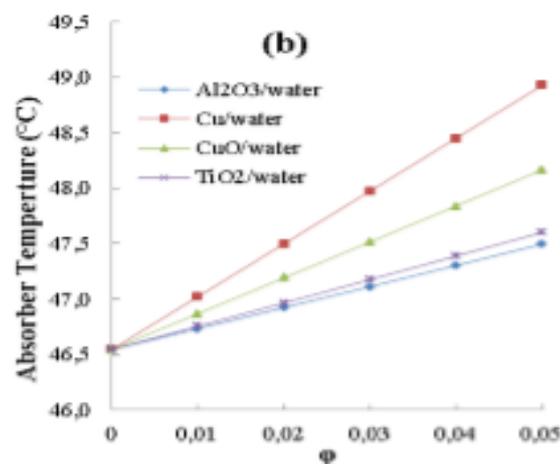


Figure II.13: Température de l'absorbeur pour différents nanofluides et concentrations

Evangelos bellos, christos tzivanidis (2018) ont présenté une simulation des performances thermiques du réflecteur linéaire de fresnel. Fonctionnement avec du nanofluide Syltherm 800 et Syltherm 800 / CuO pur ($\phi = 6\%$). Le fonctionnement au nanofluide est comparé au fonctionnement à l'huile thermique pure pour différentes températures d'entrée de 350 k à 650 k et un débit égal à 200 l / min , l'analyse est réalisée avec solidworks flow simulation avec un modèle validé le rapport de concentration 58,36 cet outil effectue l'analyse optique, thermique et hydraulique.

Ils concluaient le coefficient de transfert de chaleur s'est révélé être amélioré de près de 30% à 35%, tandis que le nombre de Nusselt est proche de 5% (figures II.15). L'augmentation de la conductivité thermique du nanofluid est la principale raison de l'augmentation du coefficient de transfert thermique dans ce cas. L'efficacité thermique des deux fluides de travail diminue pour une température d'entrée plus élevée et le taux décroissant des courbes augmente avec la température. L'amélioration de l'efficacité thermique avec l'utilisation de nanofluides varie de 0,2% à basse température jusqu'à 0,8% à haute température. Figures (II.14)

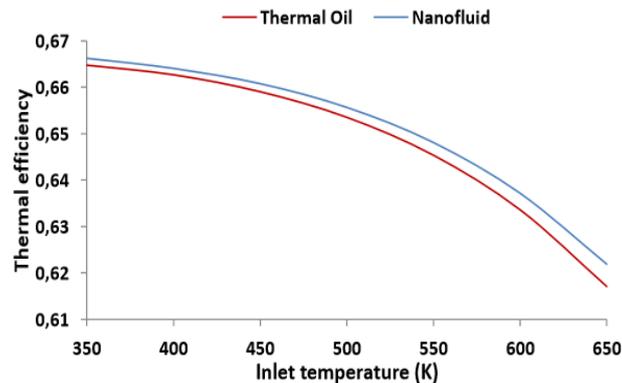


Figure II.14: Efficacité thermique pour les deux fluides de travail avec un débit de 200 l / min

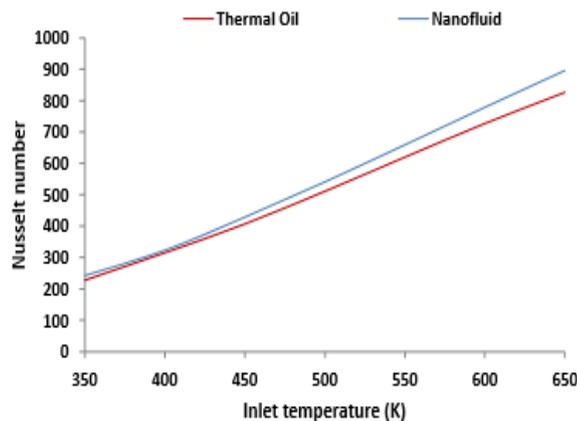


Figure II.15: nombre de Nusselt pour les deux fluides de travail avec un débit de 200 l / min.

p. Kalidoss et al (2020) ont étudié expérimentalement les propriétés optiques et thermiques des nano-fluides à faible concentration, l'efficacité de la conversion photothermique est améliorée à l'aide de lentilles de Fresnel et de récepteurs secondaires avec un tube absorbeur sous vide en verre comme on le voit dans la figures II.17. Ont préparé par le processus de dilution des nano-fluides (Therminol 55- TiO_2) à faible concentration de 100, 250, 350 et 500 ppm illustré à la figures (II.16). La taille moyenne des particules est de 32 nm, les performances optiques des nano-fluides sont analysées dans une plage de 400 à 800 nm.

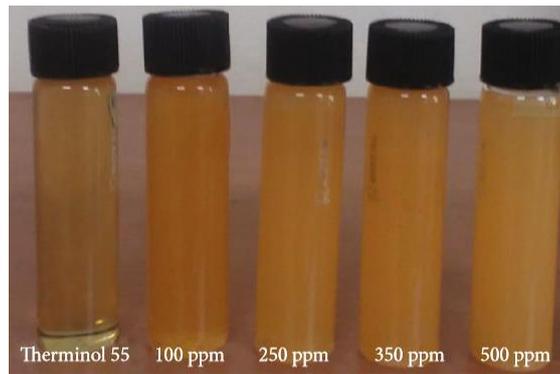


Figure II. 16:vue photographique des nano- fluides therminol 55- TiO_2

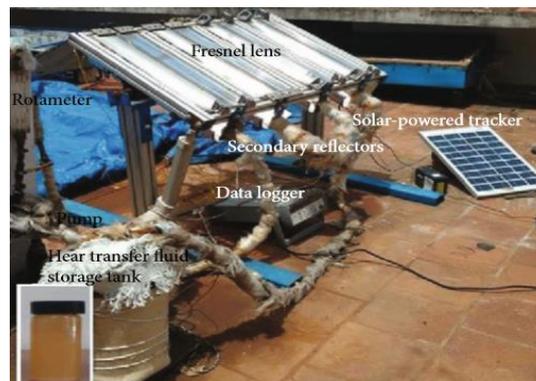


Figure II.17:vue photographique du montage expérimental..

ont montré par voie expérimentale que l'addition de nanoparticules des changements dans la conductivité thermique, et une amélioration de 1,57% est trouvée pour 250 ppm par rapport au fluide de base la stabilité optique confirme l'aptitude du nano-fluide Therminol 55- TiO_2 à la conversion de la lumière en chaleur dans le spectre visible , en raison de l'augmentation de la température, la chaleur spécifique du nano-fluide augmente de 1,85 à 2,19 J/kg ,une efficacité maximale de 82,63% est obtenue .les propriétés optiques sont plus élevées dans une plage étroite et plus faibles dans le spectre restant en comparaison avec 250 ppm

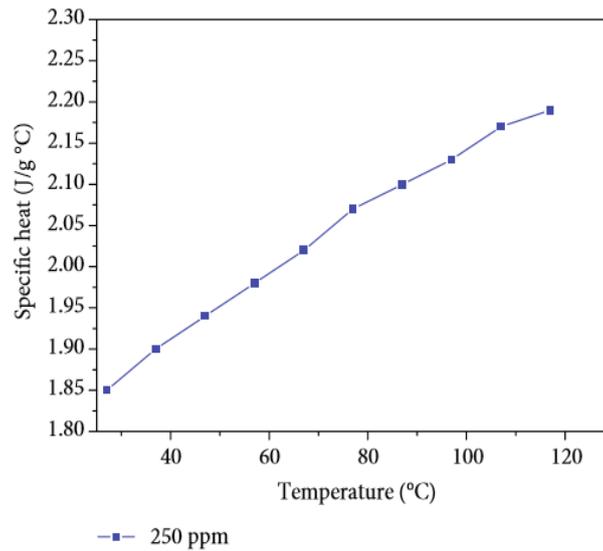


Figure II.18: variation thermique spécifique des nano-fluides therminol 55- TiO_2 de 250 ppm.

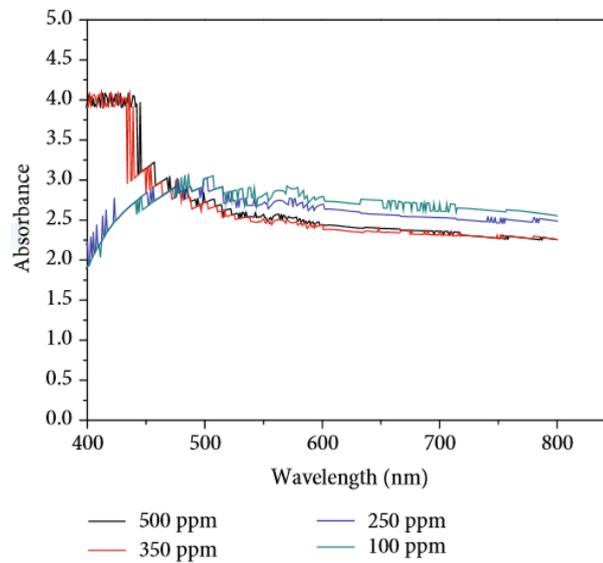


Figure II.19: Absorbance des nano-fluides .

II.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons constaté dans la recherche bibliographique que les études de l'influence nanofluids sur ses utilisations dans les centrales solaires thermiques, ont attiré une énorme attention en raison de leurs excellentes propriétés thermophysiques qui pourraient contribuer à l'amélioration du transfert de chaleur .

II-5 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- Aggrey Mwesigye¹, Zhongjie Huan, Josua P. Meyer ; « Thermal performance and entropy generation analysis of a high concentration ratio parabolic trough solar collector with Cu-Therminol®VP-1 nanofluid »;2016
- Evangelos Bellos, Christos Tzivanidis ; « Multi-criteria evaluation of a nanofluid-based solar linear Fresnel reflector Évaluation multicritères à base de nanofluides»; Solar Energy, 2018, vol. 163, p. 200-214.
- Evangelos Bellos, Christos Tzivanidis, Angelos Papadopoulos ; « Enhancing the performance of a linear Fresnel reflector using nanofluids and internal finned absorber»; Journal of Thermal Analysis and Calorimetry ; vol. 135, no 1, p. 237-255. 2018
- I.M. Mahbubul ; « Preparation, Characterization, Properties, and Application of Nanofluid Center of Research Excellence in Renewable Energy (CoRERE) »;Research Institute, King Fahd University of Petroleum & Minerals (KFUPM), Dhahran, Saudi Arabia 2018
- Lal Kundan, Prashant Sharma; « Performance Evaluation of a Nanofluid (CuO-H₂O) Based Low Flux Solar Collector »;. International Journal of Engineering Research, 2013, vol. 2, no 2, p. 108-112.
- Masoudeh Ahmadi ; « Heat transfer mechanisms in water-based nanofluids»; December 2015
- Mohammadreza Behi Seyed Aliakbar Mirmohammadi “Investigation on Thermal Conductivity, Viscosity and Stability of Nanofluids»; Master of Science Thesis Royal Institute of Technology (KTH) School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration Stockholm, Sweden 2012
- Mukherjee, Somjit Paria ; « Preparation and Stability of Nanofluids-A Review»; IOSR Journal of Mechanical and civil engineering, 2013, vol. 9, no 2, p. 63-69.
- Otanicar, T. P., Phelan, P. E., Prasher, R. S., Rosengarten, G., and Taylor, R. A; « Nanofluid-based direct absorption solar collector»; Journal of Renewable and Sustainable Energy 2(3), 033102. (2010).
- P. Kalidoss , S. Venkatachalapathy, and S. Suresh ; « Optical and Thermal Properties of Therminol 55-TiO₂ Nanofluids for Solar Energy Storage»; International Journal of Photoenergy, 2020, vol.
- Reyhaneh Loni, Sasa Pavlovicb, Evangelos Bellosc, Christos Tzivanidisc, Ezzattolah Askari Asli-Ardeha ; « Thermal and exergy performance of a nanofluid-based solar dish 1 collector with spiral cavity receiver»; Applied Thermal Engineering, 2018, vol. 135, p. 206-217.
- Robert A Taylor, Todd Otanicar and Gary Rosengarten ; « Nanofluid-based optical filter optimization for PV/T systems»; Light: Science & Applications, 2012, vol. 1, no 10, p. e34-e34.

- Sylwia Wcislik ; «Efficient Stabilization of Mono and Hybrid Nanofluids»; *Energies*, 2020, vol. 13, no 15, p. 3793.
- Vikrant .Khullar, Himanshu. Tyagi1, Patrick .E ,Phelan Todd .P ,Otanicar Robert ,A. Taylor; « Solar Energy Harvesting Using Nanofluids-Based Concentrating Solar Collector»; *Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine*, 2012, vol. 3, no 3.
- Wang, X.Q. and A.S. Mujumdar ; « Heat transfer characteristics of nanofluids: a review»; *International Journal of Thermal Sciences*, 2007, vol. 46, no 1, p. 1-19.
- Xiang-Qi Wang and Arun S. Mujumdar1, Arun S. ; « A review on nanofluids-part I: theoretical and numerical investigations»; *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2008, vol. 25, no 4, p. 613-630.
- Yang Li, Huaqing Xie, Wei Yu, Jing Li ; « Investigation on Heat Transfer performances of Nanofluids in Solar Collector»; *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2011. p. 33-36.

Chapitre III

Modélisation mathématique

III.1 INTRODUCTION

Les liquides sont normalement utilisés comme moyen de transport d'énergie pour les capteurs solaires thermiques. Les liquides couramment utilisés sont l'eau, l'huile de silicone, le Therminol et le mélange de deux liquides. L'ajout de petites quantités de nanoparticules à ces fluides (nanofluides à faible concentration) améliore les propriétés optiques et thermiques qui jouent un rôle essentiel dans la conversion. Le nanofluide a attiré une grande attention en raison de ses propriétés thermiques supérieures.

L'amélioration des propriétés thermiques des fluides caloporteurs est actuellement le moyen le plus prometteur pour augmenter les performances des échangeurs thermiques, et en général des systèmes où le transfert thermique est une partie importante du flux d'énergie.

Dans ce chapitre, nous dressons une brève description sur les méthodes de préparation des nanofluides. Ensuite, Nous allons présenter les modèles de ses propriétés thermophysiques.

III.2 PREPARATION DES NANOFLUIDES

L'une des caractéristiques les plus importantes de l'étape de préparation des nanofluides est la stabilité. En général, un nanofluide est connu pour avoir une meilleure suspension dans un fluide de base conventionnel par rapport à un microfluide. Afin de disperser les nanoparticules de manière homogène pendant une durée plus longue, deux techniques peuvent généralement être utilisées: la méthode de dispersion physique, et la méthode de dispersion chimique([Rashmi et al,2014](#)). Les nanofluides ne sont pas simplement des mélanges liquide-solide.

III.2.1 Méthode en deux étapes : Dans cette méthode, les nanoparticules, nanofibres, nanotubes ou autres nanomatériaux sont d'abord produits sous forme de poudre sèche par des méthodes chimiques, physiques ou laser. Dans un deuxième temps, une agitation intensive par force magnétique, une agitation par ultrasons, un mélange à cisaillement élevé, un broyage à boulets.. etc est utilisé pour disperser des nanoparticules dans un fluide de base. L'agglomération est considérée comme l'un des enjeux majeurs de la préparation d'un nanofluide ([Xiang-Qi Wang et al,2008](#)) .

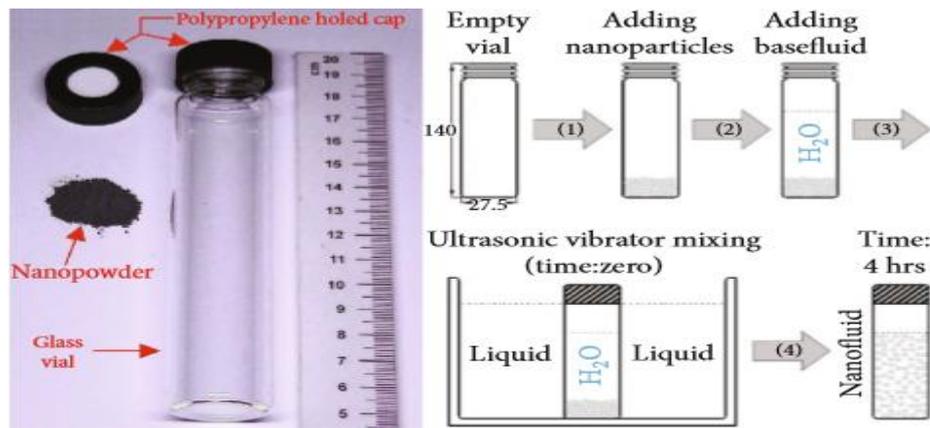


Figure III.1: Procédure schématique pour la préparation de nanofluides (A. Naser et al, 2019) .

III.2.2 Methode en une etape : L'approche d'évaporation directe en une seule étape a été développée par Akoh et al. (1978) et est appelée technique VEROS (évaporation sous vide sur un substrat d'huile courante). L'idée originale de cette méthode était de produire des nanoparticules, mais il est difficile de séparer par la suite les particules des fluides pour produire des nanoparticules sèches. Un procédé VEROS modifié a été proposé par Wagener et al. (1997). Ils ont utilisé la pulvérisation magnétron haute pression pour la préparation de suspensions avec des nanoparticules métalliques telles que Ag et Fe. Eastman et coll. (1997) ont développé une technique VEROS modifiée, dans laquelle la vapeur de Cu est directement condensée en nanoparticules par contact avec un liquide fluide à faible pression de vapeur (EG) (Wang, Xiang-Qi Et Mujumdar, Arun S, 2008) .Le procédé en une seule étape fabrique et disperse simultanément les particules dans les fluides de base qui pourraient être réduites à l'agglomération de nanoparticules. Cette méthode rend le nanofluid plus stable avec une limitation du coût élevé du procédé (Mahmoud Salem Ahmed, 2019).

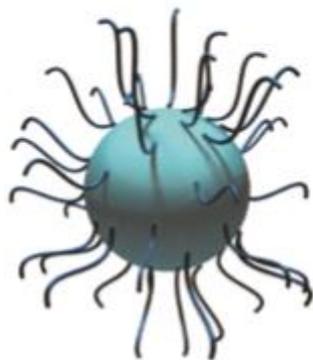
La préparation de nano-fluides à travers laquelle les nanoparticules doivent être uniformément dispersées dans les fluides de base est la première étape pour l'amélioration de la conductivité thermique, mais son importance est souvent ignorée. Le nano-fluide ne fait pas simplement référence à un mélange liquide-solide. Certaines exigences spéciales sont nécessaires, telles qu'une suspension uniforme, stable et durable, une faible ou aucune aggrégation de particules et aucune réaction chimique. Il existe trois méthodes principales utilisées pour préparer des nano-fluides (Williams et al, 2006):

- La dispersion directe de nanoparticules sous forme de poudre dans les fluides de base.
- Des nanoparticules synthétisées par précipitation chimique, puis dispersées dans des fluides de base.
- Synthèse directe de nanoparticules dans le fluide de base par réduction organique.

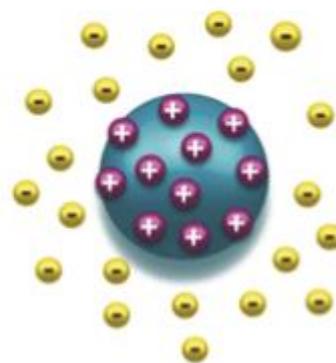
III.3 METHODES DE STABILISATION DES NANO-FLUIDES ET METHODES D'EVALUATION DE LA STABILITE

Wu et al (2009) ont rapporté trois types de stabilité: cinétique, dispersion et stabilité chimique. Le fort mouvement brownien empêche la sédimentation des nanoparticules, et augmente la mobilité des nanoparticules. C'est ce qu'on appelle la stabilité cinétique. L'agrégation des nanoparticules avec le temps écoulé détériore la stabilité de dispersion des nanofluides. Lorsqu'aucune réaction chimique n'a lieu entre les nanoparticules et le liquide de base, on parle de stabilité chimique. La stabilité des nanofluides est inversement proportionnelle à la vitesse de sédimentation de la nanoparticule en suspension.

La stabilité des nano-fluides est très importante, et malgré les nanoparticules ayant des tailles extrêmement petites et des énergies relativement élevées résultant de la sensation de Brown, elles ne restent pas en suspension. Avec le temps, les nanoparticules se déposent hors de la solution sous l'influence de la gravité. Alors qu'en solution, les mouvements de nanoparticules sont le résultat d'interactions impliquant les forces de van der Waals, l'action électrique à double couche et l'action stérique (Figure III.2). L'équilibrage des diverses interactions concurrentes conduit à la dispersion des nanoparticules, et empêche l'agrégation et la sédimentation. D'un point de vue pratique, le regroupement et la sédimentation posent deux problèmes. Le premier résulte de la perte des propriétés photo-thermiques et thermiques du nano-fluide. Le second résulte de l'accumulation de sédiments dans le capteur solaire. Les sédiments en circulation provoquent une abrasion de la paroi du tube et les sédiments qui s'accumulent réduisent le débit. Par conséquent, garder les nanoparticules dispersées est critique pour la stabilité et la performance du nanofluide (Chamsa-ard et al ,2017).



Stabilisation stérique



Stabilisation électrostatique

Figure III. 2: Types de stabilisation colloïdale (Wei .Yu,Huaqing.Xie, 2012)

Mécanismes de stabilité des nano-fluides : L'indispersion des particules peut adhérer ensemble et former des agrégats de taille croissante qui peuvent se déposer en raison de la gravité. La stabilité signifie que les particules ne s'agrègent pas à un rythme significatif. Le taux d'agrégation est en général déterminé par la fréquence des collisions et la probabilité de cohésion lors des collisions.

Contrôle du pH de la stabilité des nano-fluides : Le contrôle de la charge superficielle sur les nanoparticules en régulant le pH des fluides est une technique qui peut augmenter la stabilité des nano-fluides. La création d'une charge de surface élevée produit une double couche électrique autour de la nanoparticule, ce qui se traduit par de fortes forces coulombiennes répulsives qui favorisent la dispersion des particules (Chamsa-ard et al ,2017).

Tensioactifs utilisés dans les nanofluides : Les tensioactifs utilisés dans les nano-fluides sont également appelés dispersants. L'ajout de dispersants dans les systèmes à deux phases est une méthode simple et économique pour améliorer la stabilité des nano-fluides. Les dispersants peuvent sensiblement affecter les caractéristiques de surface d'un système en petite quantité. Des dispersants sont utilisés pour augmenter le contact de deux matériaux, parfois appelés mouillabilité. Dans un système diphasique, un dispersant a tendance à se localiser à l'interface des deux phases, où il introduit un degré de continuité entre les nanoparticules et les fluides (Wei .Yu, Huaqing .Xie,2012).

L'absorption, la transmittance, l'émission, l'extinction et la diffusion sont des exemples de propriétés optiques des nanofluides .

III.4 PROPRIETES THERMOPHYSIQUES

III.4.1 Masse volumique

Pour calculer la masse volumique d'un nanofluide que nous supposons parfaitement homogène (bonne dispersion des nanoparticules dans le fluide de base), en fonction de la fraction volumique (ϕ), à une température T donnée (Salhi Hichame ,2015) .

La masse volumique de ce mélange est définie comme suite :

$$\rho_{nf} = \left(\frac{m}{V} \right)_{nf} = \frac{m_f + m_s}{V_f + V_s} = \frac{\rho_f V_f + \rho_s V_s}{V_f + V_s} \quad III.1$$

La fraction volumique des nanoparticules (ϕ) désigne le rapport du volume des nanoparticules sur le volume total (fluide + solide). L'expression est donnée ci-dessous :

$$\phi = \frac{V_s}{V_f + V_s} \quad III.2$$

On en déduit alors la masse volumique du nanofluide :

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_{np} \quad III.3$$

Avec :

ρ_{nf} : La masse volumique du nanofluide,

ρ_f : La masse volumique du fluide de base

ρ_s : La masse volumique des nanoparticules solides

III.4.2 Chaleur spécifique

La chaleur spécifique est la capacité calorifique par unité de masse d'une substance ou d'un système homogène $C_p = dQ/mdT$. La chaleur spécifique correspond à l'apport de chaleur nécessaire pour élever la température de l'unité de substance de 1 K lors de la transformation considérée. Pour la détermination de la chaleur spécifique d'un nano-fluide, on a retrouvé relations suivantes :

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_{np} \quad III.4$$

Où les indices nf, f et np désignent respectivement le nanofluide, le fluide de base et la nanoparticule. En raison de sa simplicité, Eq III.4 a été utilisée comme formule connue pour évaluer les performances de transfert de chaleur des nanofluides dans de nombreuses expériences et des simulations.

III.4.3 Viscosité dynamique

La viscosité peut être définie comme étant une propriété d'un fluide pour qu'il résiste aux déformations, lorsqu'il est mis en mouvement. On peut donc parler de la viscosité comme présente une mesure du frottement interne d'un fluide. Un liquide très visqueux est un liquide qui présente un frottement interne élevé. La dispersion des nanoparticules dans un liquide a un effet sur la viscosité dynamique de ce dernier. La viscosité obtenue devient la viscosité dynamique du nanofluide qui peut être influencé énormément par la qualité de la dispersion de la nanoparticule dans le fluide de base et de la température. Cette viscosité dynamique peut être calculée à partir de la viscosité du fluide de base, et la fraction volumique du nanofluide. (Daas et al,2016), qui est exprimé par la formule Brinkman, (1952):

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad III.5$$

Le modèle d'Einstein(1906) exprime la viscosité dynamique d'un nano fluide pour un mélange contenant des suspensions diluées de particules fines sphériques et rigides basé sur l'hypothèse que

L'énergie à une dépendance linéaire avec la viscosité est la suivantes :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\phi) \quad III.6$$

III.4.4 Conductivité thermique

La conductivité thermique est la propriété la plus importante des nanofluides. La principale raison de l'ajout de nanoparticules dans le fluide de base est justement d'augmenter sa conductivité thermique. La conductivité thermique, λ (W/m.K), exprime la capacité d'un matériau de conduire ou de transmettre de la chaleur. Elle est définie comme la quantité de chaleur transférée par unité de

surface et de temps sous un gradient de température de 1 K par mètre (Zohud .M ,2018) . Il existe différents modèles impliqués dans le calcul de la conductivité thermique, et on a le modèle de Maxwell, (1873) est donné ci-dessous :

$$\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_f} = \frac{(\lambda_{np} + 2\lambda_f) - 2\phi(\lambda_f - \lambda_{np})}{(\lambda_{np} + 2\lambda_f) + \phi(\lambda_f - \lambda_{np})} \tag{III.7}$$

Une formule bien connue pour calculer la conductivité thermique des nanofluides est une extension du modèle de Maxwell, le modèle de Hamilton et Crosser, (1962), qui s'exprime sous la forme suivante :

$$\frac{\lambda_{nf}}{\lambda_f} = \frac{(\lambda_{np} + (n - 1)\lambda_f) - (n - 1)\phi(\lambda_f - \lambda_{np})}{(\lambda_{np} + (n - 1)\lambda_f) + \phi(\lambda_f - \lambda_{np})} \tag{III.8}$$

$$n = 3 / \psi \tag{III.9}$$

Dans laquelle, n est le facteur de forme empirique, et Ψ est la sphéricité définie comme le rapport de la surface d'une sphère (avec le même volume que la particule donnée) à la surface de la particule. La sphéricité est de 1 et 0,5 pour les formes sphérique et cylindrique, respectivement. De plus λ_{nf} est la conductivité thermique du nanofluide, λ_{np} est la conductivité thermique du nanoparticule λ_f est conductivité thermique du fluide de base, et Φ est la fraction volumique des nanoparticules.

Hamilton-Crosser (1962) prouve que les conductivités thermiques de types très différents de mélanges hétérogènes peuvent être corrélées en utilisant l'équation III.8. Pour les mélanges dans lesquels la conductivité du ph discontinu, l'équation III.9 doit être utilisé pour obtenir n, en tenant compte de l'influence de la forme des particules. Pour les autres mélanges, la valeur de l'équation III.9 peut être prise égale à 3.

Les chercheurs ont réalisé plusieurs formules des propriétés thermophysiques de nanofluide (Tableau III.1)

Tableau III.1: Modèles de propriétés thermophysiques des nanofluides.

Modèles	Equations	Référence
Maxwell, 1904	$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s)}$	Bouchta et al ,2017
Hamilton, et Crosser 1962	$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + (n - 1)k_f - (n - 1)(k_f - k_s)\phi}{k_s + (n - 1)k_f + (k_f - k_s)\phi}$	Benhalima et al ,2018
Pak et Cho 1998	$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 39.11\phi + 533.9\phi^2)$	Lahlou et al ,2017

Maiga et al.2005	$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 7.3\phi + 123\phi^2)$	Lahlou et al ,2017
Batchelor,1976	$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\phi + 6.2\phi^2)$	Lahlou et al ,2017
He et al, 1965–1972	$k_{nf} = k_f (125.62\phi^2 + 4.82\phi + 1)$ $\mu_{nf} = \mu_f (199.21\phi^2 + 4.62\phi + 1)$	Ouyahiaa ,2017
Einstein ,1906	$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\phi)$	Daas et al ,2016
Brinkman,H.C, 1952	$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}}$	Bouchta et al ,2017
Tseng et Chen,2003	$\mu_{nf} = \mu_f \times 0.4513e^{0.6965\phi}$	Mishra et al ,2014
Leong et al, 2006	$C_{P_{nf}} = \frac{\phi\rho_p(C_p)_p + (1 - \phi)\rho_{bf}(C_p)_{bf}}{\rho_{nf}}$	Islam, 2019

III.5. MODELISATION MATHÉMATIQUE

III.5.1 Description du problème :

La température de fonctionnement d'une centrale solaire thermique est principalement limitée par la stabilité thermique du HTF circulant dans le tube récepteur. Des chercheurs du monde entier mènent plusieurs études sur le développement de fluides avancés qui fonctionnent à des températures de fonctionnement plus élevées, une méthode efficace c'est La dispersion des nanoparticules solides dans un fluide, modifie ses propriétés physiques, particulièrement sa conductivité et sa viscosité, en suspension dans le HTF, pour améliorer leur conductivité thermique efficace.

Comprendre les propriétés physiques et thermiques des nanofluides est essentiel avant de les utiliser dans des applications pratiques. Pour résoudre le problème actuel, nous avons utilisé le code MATLAB pour étudier les propriétés du nanofluides , pour comprendre l'effet de différent paramètres (la concentration de nanoparticules, la température de fonctionnement) sur les propriétés thermodynamiques .

III.5.2 Présentation des nanofluides utilisés

- ✓ *Nanoparticules* : Dans cette étude, nous avons choisi l'alumine ou oxyde d'aluminium comme nanoparticule de formule chimique Al_2O_3 . Pour la morphologie corindon est la forme la plus courante d'alumine cristalline. Au centre, est octaédrique et les ions oxygène forment un hexagonal serré, de forme aspect cristallographie, La figure (III.3) illustre la structure moléculaire, les nanoparticules d' Al_2O_3 sont caractérisées par une résistance à la corrosion, une résistance à la chaleur, une résistance

élevée, et une dureté élevée. Les fluides à base Al_2O_3 ont une bonne stabilité et sont faciles à préparer. Leur propriétés thermophysiques sont indiquées dans le tableau (III.2)

Tableau III.2: Propriétés thermophysiques des nanoparticules (Al_2O_3) à $T=20^\circ C$ (Eastman, 2001).

Propriétés thermophysiques	Al_2O_3
Cp	763
$\rho(kg.m^{-3})$	3960
$k(W.m^{-1}.K^{-1})$	40
μ	-

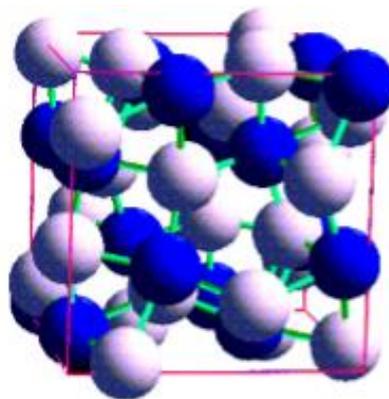


Figure III.3: Structure géométrique de la molécule Al_2O_3

(H. Hezaveha et M.Keshavarz Moraveji, 2010) .

✓ **Fluides de base :** Nous avons pris des fluides les plus efficaces en raison de leur large plage de températures de travail, car les centrales solaires thermiques fonctionnent à des températures élevées. Parmi les liquides de base, nous avons choisi l'eau et trois huiles, le tableau (III. 3) montre les avantages et les inconvénients en général de ces fluides classés selon leur composition.

Les huiles choisies sont :

- 1) **Therminol VP-1 :** il combine une stabilité thermique exceptionnelle, et une faible viscosité pour des performances efficaces. Il peut être utilisé sous forme liquide ou comme moyen de transfert de chaleur bouillant-condensant jusqu'à $400^\circ C$.
- 2) **le Syltherm 800 :** est une Huile de silicone très stable et durable conçu pour un fonctionnement en phase liquide à haute température.
- 3) **DOWTHER A :** Fluide caloporteur organique synthétique :
 - Phase liquide: $15^\circ C$ à $400^\circ C$.
 - Phase vapeur: $257^\circ C$ à $400^\circ C$.

Tableau III.3: Avantages et inconvénients de divers groupes de fluides caloporteurs
(Joshua et al, 2018)

Groupe de fluides	Avantages	Inconvénients
Eau	-Capacité thermique et conductivité thermique élevées -Faibles viscosités -Coût très bas -Non toxique et écologique Abondant	-Des pressions de vapeur élevées supérieures à 100 ° C entraînent des coûts de stockage plus élevés et des stratégies d'atténuation des risques liés à la pression (ou une plage de températures de fonctionnement plus limitée) - Contraintes de conception des matériaux pour lutter contre la corrosion
Huiles de Silicone	- Bonne stabilité thermique	- Groupe de fluide le plus cher -Pressions de vapeur et viscosités élevées -Faible capacité thermique volumétrique -Peut gélifier au-dessus de 200 ° C
Fluides Synthétiques	-Températures de fonctionnement élevées -d'oxydation plus faibles que les huiles minérales -Bonnes capacités thermiques volumétriques (similaires aux huiles minérales), en particulier à des températures élevées - Coûts d'exploitation et d'entretien inférieurs	-Coût d'achat initial plus élevé que les huiles minérales -Pressions de vapeur élevée, qui nécessitent des réservoirs de stockage plus coûteux

III.5.3 Equations des propriétés thermophysiques

Toutes les propriétés thermophysiques discutées ci-dessus ont été incorporées dans la présente analyse numérique pour quatre types différents de nanofluides. Un programme sous MATLAB a été développé avec ces équations.

- **Pour les nanoparticules :** les propriétés physiques ont été supposées dépendant de la température.

Tableau III. 4: Propriétés de la nanoparticule (Al_2O_3).

(Auerkari Pertti. , 1996)

Conductivité thermique (W/ m. K)	$K_{np} = 5.5 + 34.5.exp(-0.0033 \times (T - 273))$ $A_1 - A_4, (W / mK), 25 - 1300C^\circ$
Chaleur spécifique (J /g. K)	$C_{p,np} = 1.0446 + 1.742 \times 10^{-4} \times T - 2.796 \times 10^{-4} \times T^{-2}$ $A_1 - A_4 (J / gK), to 1500C^\circ$
Masse volumique (kg / m^3)	$\rho_{np} = 3970$

Pour le fluide de base :

- L'eau : Les équations sont fonction de la température. Nous l'avons pris du travail de (V. Bianco et al 2009).

Tableau III- 5: Propriétés du fluide de base (L'eau) (V. Bianco et al 2009).

Conductivité thermique (W/ m. K)	$K_{bf} = -1.13 + 9.71 \times 10^{-3} \times T - 1.31 \times 10^{-5} \times T^2$
Chaleur spécifique (J /g. K)	$C_{p,bf} = 4197$
Viscosité dynamique (kg/m s)	$\mu_{bf} = 7.57 \times 10^{-2} - 6.37 \times 10^{-4} \times T + 1.8 \times 10^{-6} \times T^2 - 1.73 \times 10^{-9} \times T^3$
Masse volumique (kg / m^3)	$\rho_{bf} = 998.7$

❖ **Remarque :** Pour les autres huiles, nous prenons les valeurs des propriétés thermophysiques des huiles avec des températures différentes ,se fait suivant des tableaux rapporté dans les références suivant :

- Therminol VP -1 [1] .
- Syltherm 800 [2].
- DOWTHERM A [3] .
- *Pour le nanofluide :* les propriétés thermophysiques utilisées dans cette étude ,ont été supposées dépendant de la fraction volumique, et ils ont définies comme suit:
- La masse volumique du nanofluide est donné par l'expression :

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_{np} \quad III.10$$

- La capacité calorifique du nanofluide est donnée par l'expression d'après le modèle du **Leong et al,(2006)**

$$C_{P_{nf}} = \frac{\phi \rho_p (C_p)_p + (1 - \phi) \rho_{bf} (C_p)_{bf}}{\rho_{nf}} \quad III.11$$

- La conductivité thermique du nanofluide **Maxwell(1904)** :

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_s + 2k_f - 2\phi(k_f - k_s)}{k_s + 2k_f + \phi(k_f - k_s)} \quad III.12$$

- La viscosité du nanofluide est donnée par **G.Batchelor(1976)** :

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 2.5\phi + 6.2\phi^2) \quad III.13$$

III.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a présenté les différentes étapes de préparation des nanofluides, et les modèles de leur propriétés thermophysiques, afin de les utiliser dans le suivant chapitre pour étudier l'influence de différents paramètres en utilisant le code MATLAB.

Le suivant chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des résultats de simulation trouvées.

III.7 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Technical Bulletin THERMINOL VP-1 54°F to 750°F Vapor Phase/ Liquid Phase Heat Transfer Fluid by Solutia
- [2] SYLTHERM 800 Heat Transfer Fluid, Product Technical Data <https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/app-tech-guide/176/176-01435-01-syltherm-800-heat-transfer-fluid.pdf?iframe=true>
- [3] DOWTHERM A Synthetic Organic Heat Transfer Fluid — Liquid and Vapor Phase Data http://www.incendiosyseguridad.com/seccion-1.0.0/objetos/1.0.0/PTCCP_Dow__HTF.pdf
- Auerkari, Pertti. ;« Mechanical and physical properties of engineering alumina ceramics». Vol. 23. Espoo: Technical Research Centre of Finland, 1996.
- Batchelor .G; « Brownian diffusion of particles with hydrodynamic interaction»; Journal of Fluid Mechanics, vol. 74, pp. 1-29, 1976.
- Brinkman, H.C;« The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions»;J. Chem. Phys. 1952, 20, 571.
- Daas, S. Derfouf,N. Belghar , M. Falek ;«Simulation numérique de l'échange thermique dans une enceinte rectangulaire, en présence d'un nanofluide», International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution ICEMAEP, October 30-31, 2016, Constantine,Algeria
- Einstein, A;« Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen»; Thèse de doctorat. ETH Zurich.Ann. Phys. 1905, 324, 289–306.
- Hadi Hezaveh,Mostaf Keshavarz Moraveji ;« Performance Comparison Of Relations For Nanofluids Properties In The Cfd Prediction Of Mixed Convection »;international Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 2, No. 1, February 2011 ISSN: 2010-0221
- Hamilton, R.L.; Crosser, O ;« Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems. »;Ind. Eng. Chem. Fundam., 1, 187–191. 1962.
- Hezaveh, Hadi et MORAVEJI, Mostaf Keshavarz;«Modeling effective thermal conductivity of Al₂O₃ nanoparticles in water and ethylene glycol based on shape factor» ;. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2011, vol. 2, no 1, p. 1
- J. A. Eastman, S.U.S. Choi, S. Li, W. Yu, and L. J. Thompson; « Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol based nanofluids containing copper nanoparticles »; Applied Physics Letters, 78 718-720(2001).
- Joshua D. McTigue, Guangdong Zhu, and Craig Turchi Mungas, Nick Kramer, and John King Hyperlight;« Hybridizing a Geothermal Plant with Solar and Thermal Energy Storage to Enhance Power Generation »; National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2018.

- Leong, K. C., Yang, C. and Murshed, S.M. S. ;«A Model for the Thermal Conductivity of Nanofluids- The Effect of Interfacial Layer» , Journal of Nanoparticle Research, Vol. 8, pp. 245-254. <https://doi.org/10.1007/s11051-005-9018-9> 2006
- M. K. Islam, M. Hasanuzzaman, N. A. Rahim, A. Nahar;« Effect Of Nanofluid Properties And Mass-Flow Rate On Heat Transfer Of Parabolic-Trough Concentrating Solar System », <http://dx.doi.org/10.3329/jname.v16i1.30548> <http://www.banglajol.info/1813> June, 2019
- Mahmoud Salem Ahmed ;«Nanofluid: New Fluids by Nanotechnology» ; Submitted; 2019 DOI: 10.5772/intechopen.86784
- Maxwell, C;«A Treatise on Electricity and Magnetism»;Oxford University Press, Cambridge,UK.,1904
- Maxwell, J.C;« A Treatise on Electricity and Magnetism »;Clarendon Press: England, UK; Volume 1 ;1873.
- Naser , Ali, Teixeira, Joao A., Et Addali, Abdulmajid ;« Aluminium nanofluids stability: a comparison between the conventional two-step fabrication approach and the controlled sonication Bath temperature method»; Journal of Nanomaterials, 2019, vol. 2019.
- Purna Chandra Mishra • Sayantan Mukherjee • Santosh Kumar Nayak • Arabind Panda A brief review on viscosity of nanofluids»; Int Nano Lett DOI 10.1007/s40089-014-0126-3 2014
- S. Lahlou , M. Zaydan et R.Sehaqui«Détermination des propriétés thermophysiques et la comparaison entre les résultats expérimentaux et les modèles théoriques pour différents nanofluides » ;13ème Congrès de Mécanique 11 - 14 Avril 2017 (Meknès, MAROC) 2017 <https://cmm2017.sciencesconf.org/130512/document>
- S.-E. Ouyahiaa, Y.K. Benkahlaa, W. Beraboua, B. M. Benzemaa, A. Boudiaf ; «Convection naturelle d'un nanofluide confiné dans une enceinte triangulaire : Effet du fractionnement et de la position de la source de chaleur» ;23ème Congrès Français de Mécanique Lille, 28 Août au 1er Septembre 2017
- Said Bouchta, M'barek Feddaoui, Hossine El Ihssini ; «Etude Numérique De La Convection Naturelle Des Nanofluides Dans Un Espace Annulaire Entre Deux Cavités Carrées » ; 2017
- Salhi Hicham ;«Etude numerique de la convection naturelle dans les enceintes: Nanofluid » ;Thèse doctorat ;Energetique ; Université de Batna 2015
- T. Benhalima, C. Ounnas1, B. Mohamedi1, K. Tahiri ;«Simulation De L'effet Des Nanofluides Sur Les Caracteristiques De Transfert De Chaleur D'un Echangeur Tubulaire Par L'approche Cfd» ; Centre de Recherche Nucléaire de Birine, Ain Oussera 17200 2LBMPT Université Ziane Achour, Djelfa 17000 CFD & Tech 12 – 14 Novembre 2018, CRND-Draria, Alger 2018

- V. Bianco, F. Chiacchio, O. Manca, S. Nardini ;« Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes»; PII:S1359-4311(09)00196 DOI:10.1016/j.applthermaleng.2009.06.019
- W Rashmi, M Khalid , S S Ong1 and R Saidur ;« Preparation, thermo-physical properties and heat transfer enhancement of nanofluids1Energy »,Materials Research Express 1 (2014) 032001 doi:10.1088/2053-1591/1/3/032001
- W.C. Williams, I.C. Bang, E. Forrest, L. W. Hu*, J. Buongiorno;« Preparation and Characterization of Various Nanofluids »; in Proceedings of the NSTI Nanotechnology Conference and Trade Show (Nanotech '06), vol. 2, pp. 408–411, Boston, Mass, USA, May 2006.
- WANG, Xiang-Qi et MUJUMDAR, Arun S ;«A review on nanofluids-part II: experiments and applications» ;. Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2008, vol. 25, no 4, p. 631-64
- Wei .Yu, Huaqing.Xie ;«A Reviewon Nanofluids:Preparation,Stability Mechanisms, and Applications» doi:10.1155/2012/435873
- Wisut Chamsa-ard , Sridevi B , Chun C F 2, Derek F and Gerrard P ;«Nanofluid Types, Their Synthesis, Properties and Incorporation in Direct Solar Thermal Collectors: A Review»; Nanomaterials, vol. 7, no 6, p. 131. 2017
- Wu D, Zhu H, Wang L, et al;« Critical issues in nanofluids preparation, characterization and thermal conductivity»;Curr Nanosci. 2009;5: 103–112.
- Xiang-Qi Wang and Arun S. Mujumdar ;« A review on nanofluids-part II: Experiments and applications». Braz. J. Chem. Eng. 2008, 25, 631–648. A review on nanofluids - part II: experiments and applications
- Zohud Mohammed Kamel Abdelatif ;«Amélioration des Caractéristiques Thermiques des Réfrigérants par l'Addition de Nanoparticules» ; Thèse Doctorat ; Génie Mécanique Thème

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1 INTRODUCTION

Une étude numérique a été réalisée pour voir l'effet de la température et le type de la base sur les propriétés thermo physiques de quatre (04) nanofluides , à l'aide du langage MATLAB. Le modèle mathématique ont été donné dans le chapitre III, la section 5.3.

IV.2 LA PRESENTATION DU CODE DE CALCUL

MATLAB est une abréviation de Matrix LABORatory. Un langage de programmation adapté pour les problèmes scientifiques. Il est un interpréteur: les instructions sont interprétées et exécutées ligne par ligne. Permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation ; tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. Considéré comme un des meilleurs langages de programmations (C ou Fortran), est un logiciel qui a été conçu pour fournir un environnement de calcul numérique de haut niveau. Il est particulièrement performant pour le calcul matriciel , car sa structure de données interne est basée sur les matrices.

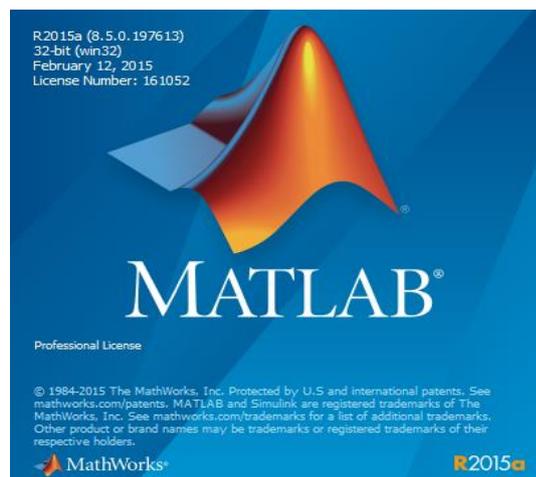


Figure IV. 1:Page de démarrage du code MATLAB

MATLAB possède les particularités suivantes par rapport à ces langages :

- ❖ La programmation facile.
- ❖ La continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes.
- ❖ La gamme étendue des nombres et leurs précisions.
- ❖ La bibliothèque mathématique très compréhensive.
- ❖ L'outil graphique qui inclut les fonctions d'interface graphique et les utilitaires.
- ❖ La possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmations (C ou Fortran).

IV.3 DONNEES ET RESULTATS DU PROGRAMME:

IV.3.1 Données:

- La température : les centrales solaires thermiques fonctionnent à des températures élevées, alors on a choisit la température dans la plage entre $150^{\circ}C \leq T \leq 400^{\circ}C$.

- La fraction volumique est choisi comme mentionné dans les différentes études entre $1\% \leq \Phi \leq 6\%$.

IV.3.2 Objectives de travail:

Dans cette étude, quatre différent types des nanofluides ont été étudier à savoir : AL_2O_3 - Eau , AL_2O_3 -Therminol VP-1, AL_2O_3 - Syltherm 800 et AL_2O_3 - DOWTHERM A , pour différentes valeurs de la concentration de nanoparticule de 1% ,2%,3%,4% , 5%,6% .

Le but de cette étude est d'étudier l'influence de différents paramètres (la température de fonctionnement, la concentration de nanoparticule et le type du fluide de base) sur les propriétés thermophysiques des nanofluides, en utilisant le code MATLAB, pour les utiliser comme un fluide de travail dans les centrales solaire thermiques à concentration.

IV.3.3 Résultats Et discussions : Nous avons obtenu des courbes de ce que nous avons simulé sous MATLAB:

IV.3.3.1 Effet de la temperature:

- Nanofluide (Eau - AL_2O_3) :**

- a) **Conductivités thermiques** : Les résultats de la simulation numérique de conductivités thermiques concernant le fluide de base l'eau montrent que les conductivités thermiques du nanofluide augment avec la concentration des nanoparticules ($\Phi = 1\%$ à 6%). Sa relation est similaire à l'approximation la nième racine. On observe aussi que les valeurs des conductivités thermiques pour le nanofluide (Eau- AL_2O_3) - Figure (IV.2)- en fonction de la température sont supérieures à celles du l'eau pure, ce qui montre que le nanofluide est un bon conducteur de chaleur par rapport au fluide simple, car le transfert de chaleur augmente avec l'augmentation des conductivités thermiques des fluides.

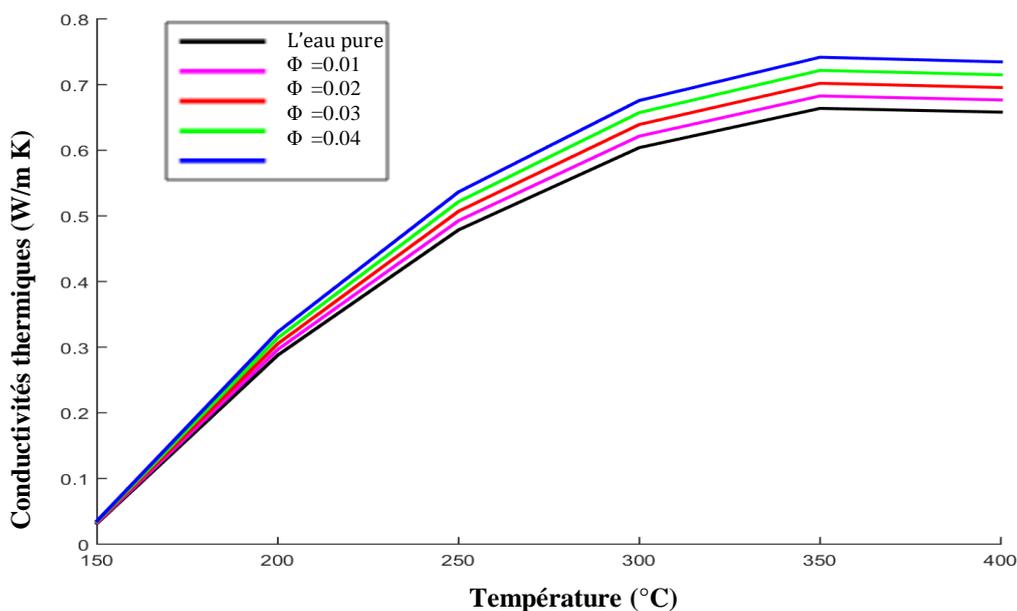


Figure IV. 2: Conductivités thermiques du nanofluide (Eau- AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température pour différent valeurs de la concentration des nanoparticules.

- ❖ Les valeurs de la conductivité thermique de l'eau pure sont obtenus à partir (V. Bianco et al 2009).

Le tableau ci-dessous confirme l'amélioration de la conductivité thermique du nanofluide (Eau- AL_2O_3) par rapport à l'eau pure. La valeur maximale d'amélioration obtenue avec quatre fractions volumiques 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 sont respectivement 3.02%, 6.11%, 9.25%, et 12.47%. On a remarqué aussi bien que la conductivité thermique augmente avec l'augmentation de la température et la concentration du nanoparticule.

Tableau IV. 1: Taux d'amélioration de la conductivité thermique du nanofluide (Eau- AL_2O_3) par rapport à l'eau pure.

	Conductivité thermique (W/m.K)								
	L'eau pure	Eau- AL_2O_3							
T(°C)	-	$\Phi=0.01$	Déviations	$\Phi=0.02$	Déviations	$\Phi=0.03$	Déviations	$\Phi=0.04$	Déviations
150	0,0317	0,0327	3.02%	0,0336	6.11%	0,0346	9.25%	0,0357	12.47%
200	0,288	0,296	2.97%	0,305	6.01%	0,314	9.11%	0,323	12.27%
250	0,478	0,492	2.92%	0,507	5.91%	0,521	8.96%	0,536	12.07%
300	0,604	0,621	2.88%	0,639	5.82%	0,657	8.82%	0,675	11.88%
350	0,663	0,682	2.84%	0,701	5.75%	0,721	8.71%	0,741	11.72%
400	0,658	0,676	2.82%	0,695	5.70%	0,714	8.63%	0,734	11.63%

b) Viscosité dynamique: D'après la figure (IV.3), on remarque que la viscosité dynamique du nanofluide diminue avec l'augmentation de la température, alors c'est une relation inverse entre eux. Cet effet de la température sur la viscosité du nanofluide a été attribué à la diminution des forces intermoléculaires, ce qui rend l'écoulement plus aisé.

A travers la figure (IV.4), qui montre l'analyse de la viscosité. On note également que lorsque la température est égale à 300°C la viscosité a une valeur de 0 kg/m.s pour toutes les valeurs de la concentration, où après ce point la viscosité de l'eau est toujours supérieure à celle du nanofluide, ce qui confirme que le nanofluide est toujours efficace par rapport à l'eau pure, car et pour qu'il soit bon fluide de transfert, sa viscosité doit être faible, et à partir de la viscosité commence à augmenter avec l'augmentation de la température dans la plage de 300°C à 400°C.

Le taux d'amélioration de la viscosité dynamique de celle du nanofluide et l'eau pure par rapport à la température et la concentration des nanoparticules sont données dans le tableau IV-2. On remarque que le taux d'amélioration la viscosité dynamique du nanofluide augmente avec l'augmentation de la température et de la concentration des nanoparticules, et elle est toujours faible par rapport à celle de l'eau pure, ce qui confirme que le nanofluide est toujours efficace par

rapport à l'eau pure. Enfin, la déviation pour les fractions volumiques 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 sont respectivement de 1.81%, 4.54%, 7.27%, 10.90%.

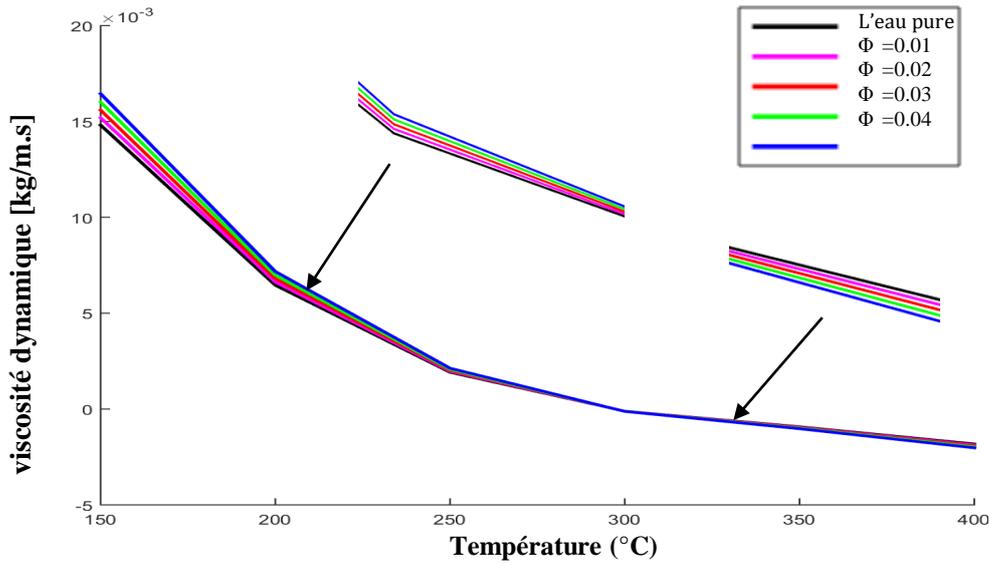


Figure IV. 3: Viscosité dynamique du nanofluide (Eau- AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température

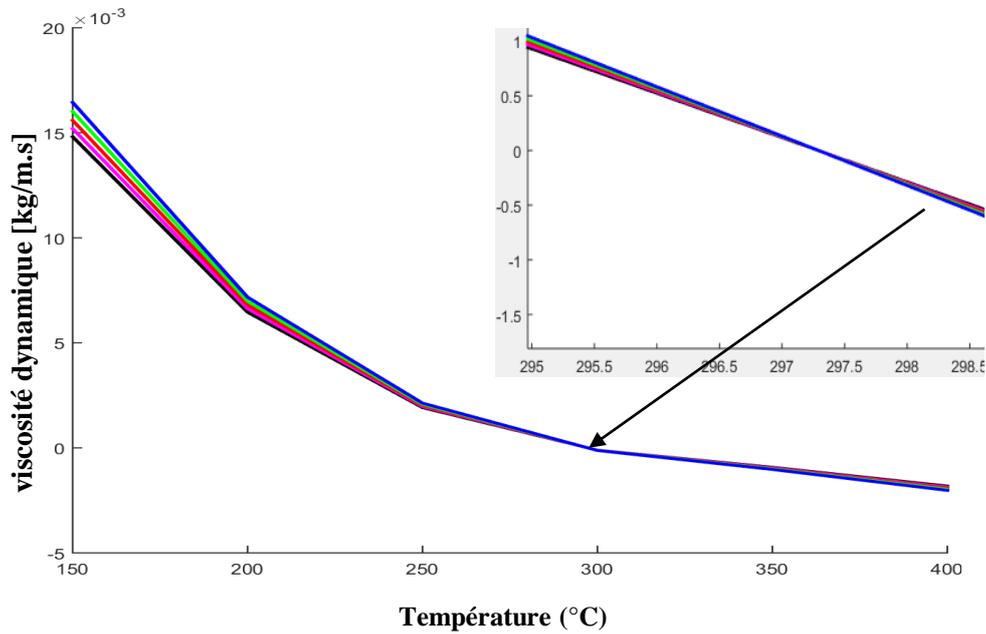


Figure IV. 4: Viscosité dynamique du nanofluide (Eau- AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température.

Tableau IV. 2:Taux d'amélioration de la viscosité dynamique du nanofluide (Eau- AL_2O_3) par rapport à l'eau pure.

		Viscosité dynamique							
		L'eau pure		Eau - AL_2O_3					
T(°C)	-	$\Phi=0.01$	Déviaton	$\Phi=0.02$	Déviaton	$\Phi=0.03$	Déviaton	$\Phi=0.04$	Déviaton
150	0,014811	0,015191	2.56%	0,015590	5.25%	0,016008	8.08%	0,016446	11.03%
200	0,006459	0,006625	2.57%	0,006799	5.26%	0,006982	8.09%	0,007173	11.05%
250	0,001918	0,001967	2.55%	0,002019	5.26%	0,002073	8.08%	0,002130	11.05%
300	-0,000110	-0,000112	1.81%	-0,000115	4.54%	-0,000118	7.27%	-0,000122	10.90%
350	-0,000923	-0,000947	2.60%	-0,000972	5.30%	-0,000998	8.12%	-0,001025	11.05
400	-0,001820	-0,001866	2.52%	-0,001915	5.21%	-0,001967	8.07%	-0,002020	10.98%

c) Chaleur spécifique: Nous avons étudié la chaleur spécifique du nanofluide et son évolution avec la température, mais nous ne l'avons pas comparé à l'eau pure car nous avons pris la valeur de chaleur spécifique comme constante au début de l'étude comme valeur initiale ($C_{p,eau-pure} = 4197 J / kg.K$). La chaleur spécifique du nanofluide augmente avec l'augmentation de la température et diminuée avec l'augmentation de la concentration des nanoparticules, et elle est dans tous les cas inférieure à celle de l'eau pure. Cette faiblesse est traduite par la présence des nanoparticules, i.e: le nanofluide stocke une faible quantité de chaleur que l'eau pure.

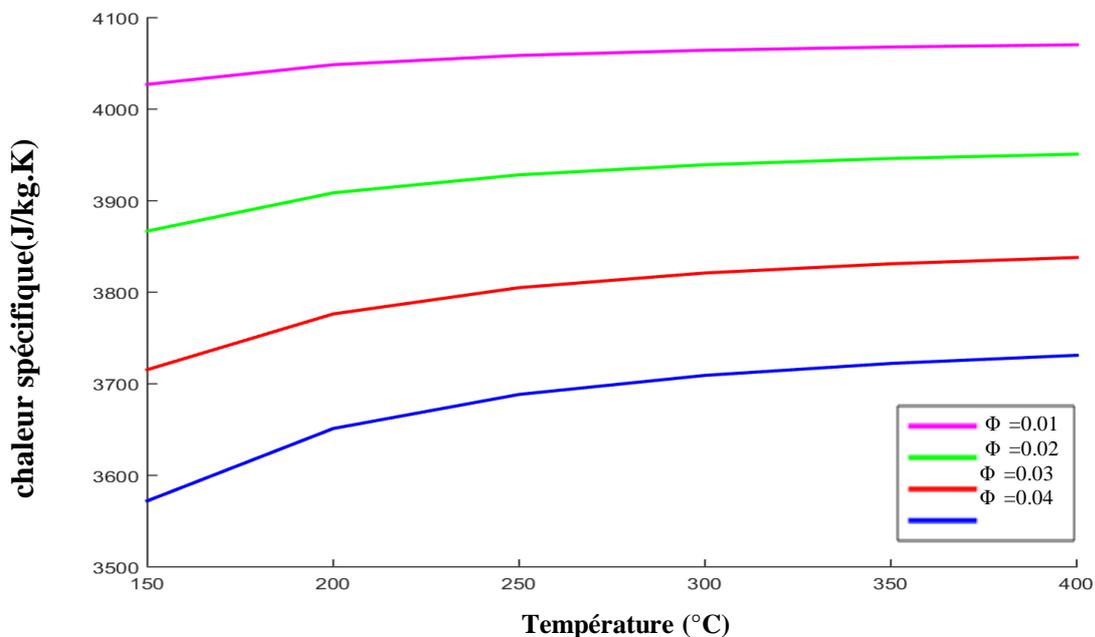


Figure IV.5: Chaleur spécifique des nanofluides (Eau- AL_2O_3) et l'eau pure en fonction de la température.

❖ Les valeurs de la viscosité dynamique et de la chaleur spécifique de l'eau pure sont obtenues respectivement à partir (V. Bianco et al 2009).

▪ **Nanofluide (Huile- AL_2O_3) :**

même travail que la section précédente, mais cette fois nous allons changer le fluide de base avec trois (03) type d'huile synthétique (Therminol VP-1, Syltherm 800 et DOWTHERM A), en gardant la même nanoparticule (AL_2O_3).

a) **Conductivité thermique :** Les conductivités thermiques de trois nanofluides sont représentées sur la figure (IV-6), pour une valeur constante de la concentration des nanoparticules $\Phi = 4\%$. Les conductivités thermiques diminuent avec l'augmentation de la température. Puis, nous avons comparé chaque nanofluide à son fluide pure, et on a noté que les nanofluides ont une conductivité plus élevée que les fluides purs, et la présence des nanoparticules de AL_2O_3 améliore la conductivité des huiles synthétiques. On voit aussi que le nanofluide(AL_2O_3 -Therminol VP -1) a une valeur de conductivité plus élevée que le reste du nanofluides, suivi par AL_2O_3 -DOWTHERM A et puis AL_2O_3 -Syltherm 800.

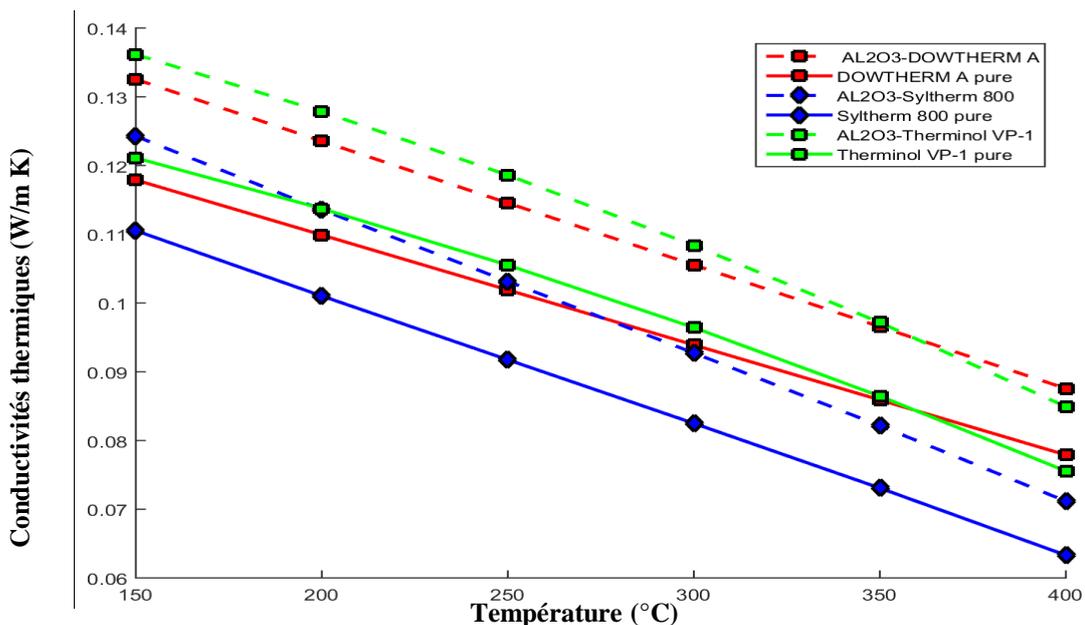


Figure IV. 6: Conductivités thermiques des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP-1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) ET leurs fluides purs en fonction de la température pour $\Phi = 4\%$.

❖ Les valeurs de la conductivité thermique des huiles pures Therminol VP-1, Syltherm 800, DOWTHERM A sont obtenus respectivement à partir [1], [2], [3].

b) **Viscosité dynamique:** Parmi la propriété thermophysique la plus importante qui devrait être caractérisées par le HTF est la viscosité dynamique qui doit être plus faible, pour une puissance de pompage inférieure, car la viscosité détermine la vitesse de mouvement du fluide. Si le HTF est visqueux, le mouvement est lent. Pour l'ensemble des nanofluides, les valeurs du viscosité sont

illustrées sur la Figure (IV-7). La viscosité dynamique diminue avec l'augmentation de la température, sauf le nanofluide $AL_2O_3_DOWTHERM A$ qui change son trajectoire avec la température. Elle est la plus faible entre 150°C à 200°C, puis elle commence à augmenter jusqu'à ce que la température soit égale à $T=350\text{ °C}$ et au delà, elle revient de diminuer, ce qui confirme que ce nanofluide est plus efficace que dans les hautes températures (au delà de 350°C).

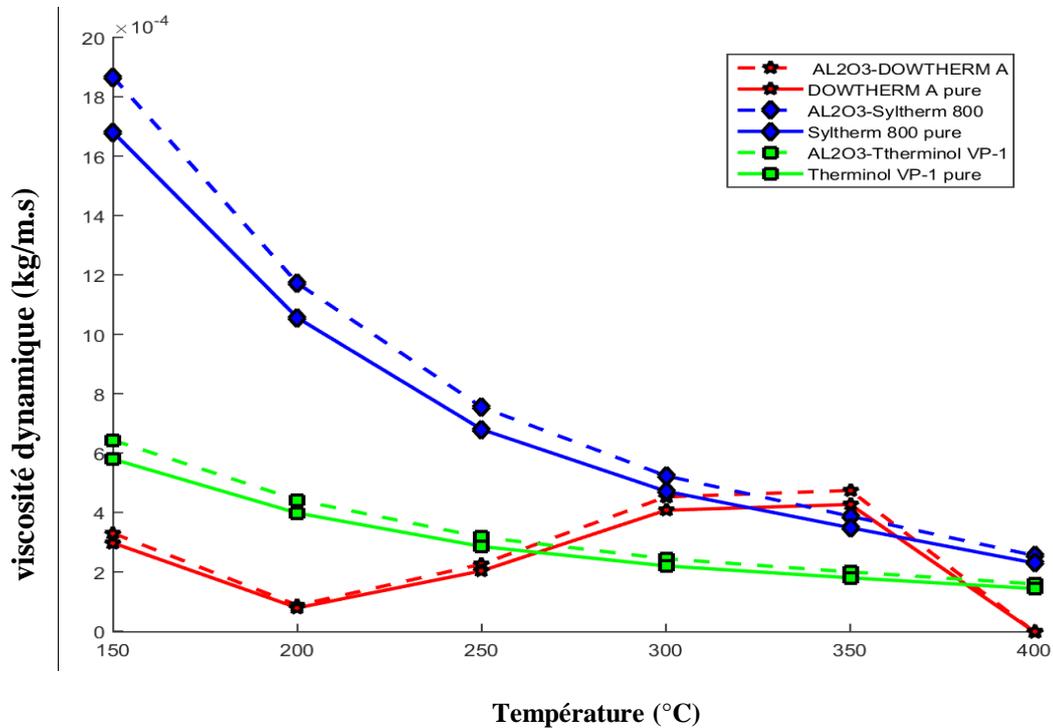


Figure IV. 7: Viscosité dynamique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP-1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) et leurs fluides pures en fonction de la température pour $\Phi =4\%$.

c) **Chaleur spécifique:** La comparaison des chaleurs spécifiques de différents nanofluides peut être vue sur la figure (IV-8). Il y a une augmentation des valeurs de chaleur spécifique pour tous les nanofluides lorsque la température augmente, mais sont faibles par rapport à leurs fluides pures même justification que le nanofluide Eau- AL_2O_3

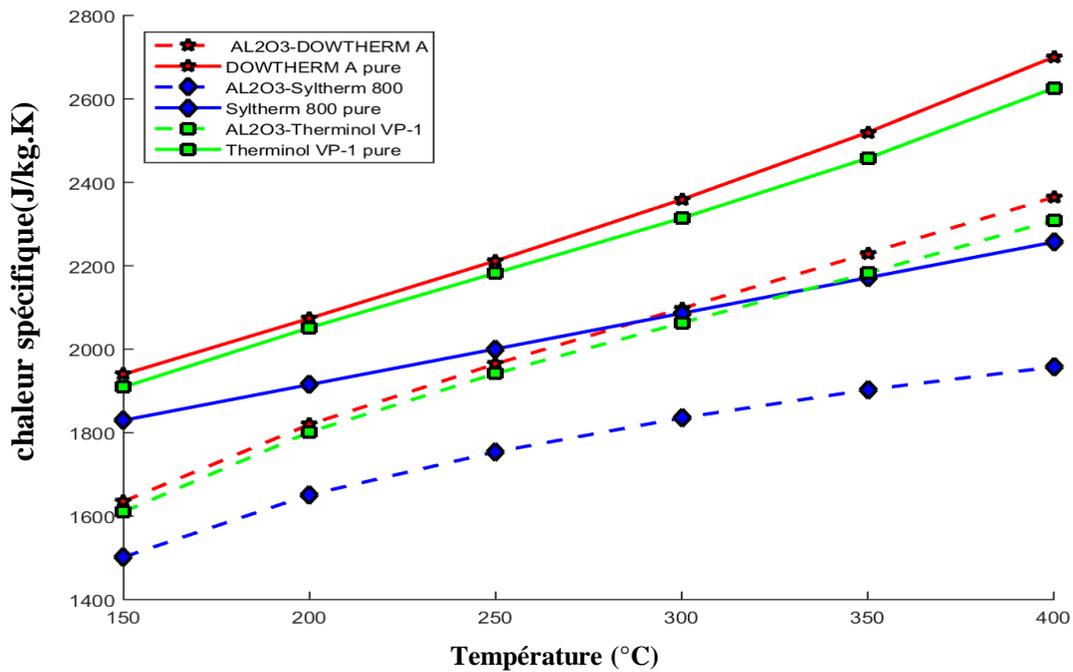


Figure IV.8: Chaleurs spécifiques des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) et leurs fluides purs en fonction de la température pour $\Phi = 4\%$.

- ❖ Les valeurs de la viscosité dynamique et de la chaleur spécifique des huiles pures Therminol VP-1, Syltherm 800, DOWTHERM A sont obtenus respectivement à partir [1], [2], [3].

IV.3.3.2 Effet de la fraction volumique des nanoparticules : Nous avons étudié l'effet de la fraction volumique sur les propriétés thermiques des nanofluides (la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la viscosité dynamique) pour une température constante de $50^\circ C$, $100^\circ C$, $200^\circ C$, $300^\circ C$.

▪ **Nanofluide (Eau - AL_2O_3) :**

a) **Conductivités thermiques :** La figure IV-9 représente les conductivités thermiques en fonction de la fraction volumique pour différentes valeurs des températures. On remarque que les conductivités thermiques varient faiblement par rapport à la fraction volumique, et augmentent par l'augmentation de la température. Donc, nous pouvons dire que le nanofluide Eau - AL_2O_3 est un bon conducteur de chaleur dans les hautes températures.

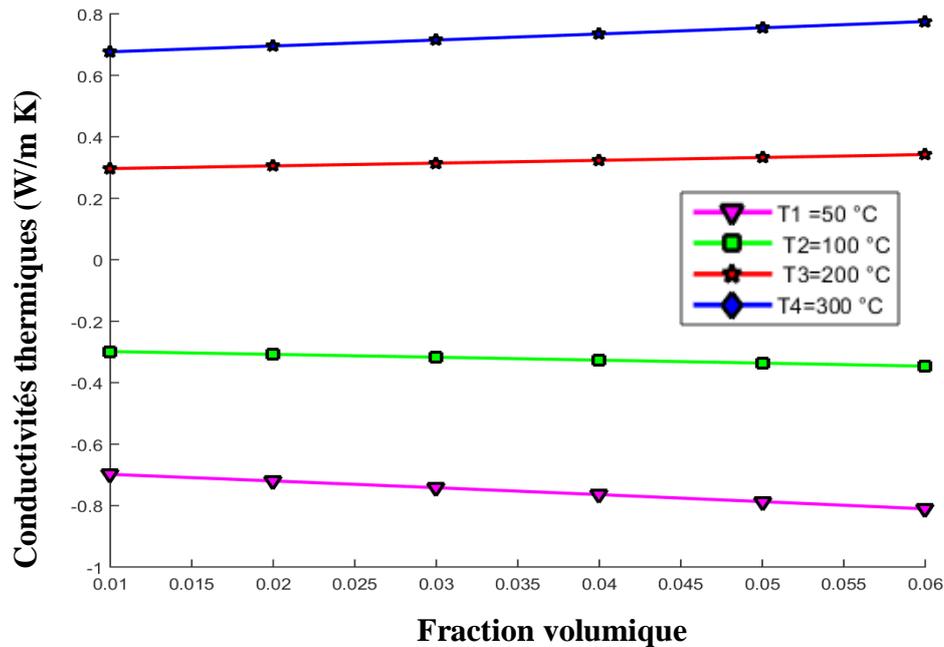


Figure IV.9: Conductivités thermiques de nanofluid (AL_2O_3 - Eau) en fonction de fraction volumique pour T constante.

b) Viscosité dynamique: La figure (IV.10) représente l'influence de la fraction volumique de nanofluid sur la viscosité dynamique pour quatre températures. D'après la figure, la viscosité diminue avec l'augmentation de la température, et reste presque constante avec la variation de la fraction volumique, ce qui confirme aussi que le nanofluid Eau- AL_2O_3 est bon pour un pompage facile de HTF. Le cas optimal dans les courbes est celle de $T=300^\circ C$.

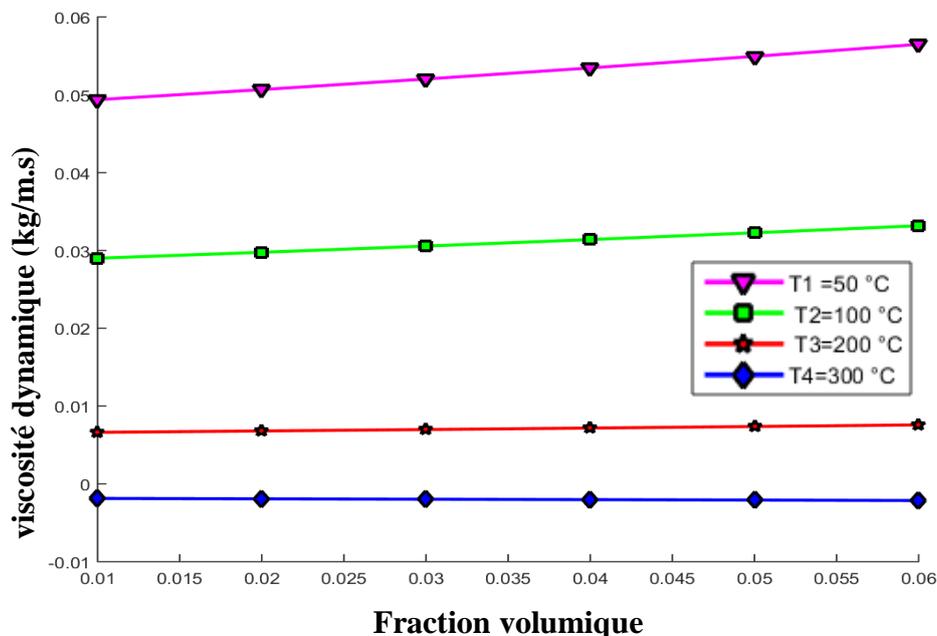


Figure IV.10: Viscosités dynamiques de nanofluid (AL_2O_3 -Eau) en fonction de fraction volumique pour T° constante.

c) **Chaleur spécifique:** La figure (IV.11) représente la variation de la chaleur spécifique en fonction de la fraction volumique pour différentes valeurs de la température (50°C, 100°C, 200°C, 300°C). La chaleur spécifique diminue avec l'augmentation de la fraction volumique c'est une relation inverse entre eux, c'est-à-dire la présence des nanoparticules diminue la chaleur spécifique du nanofluide..

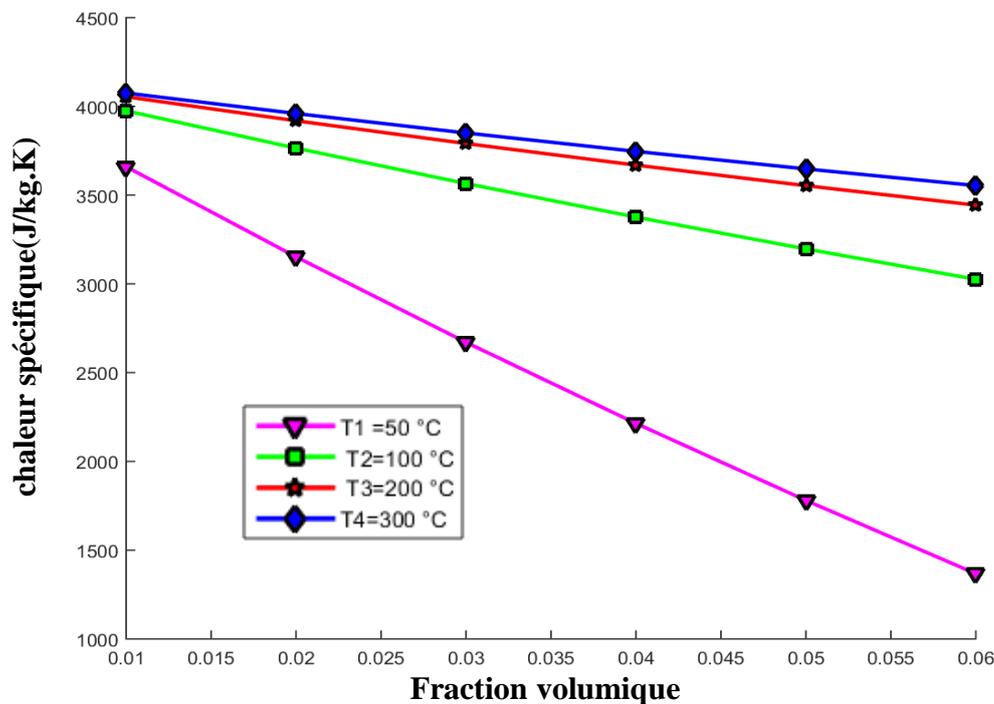


Figure IV. 11: Chaleur spécifique de nanofluide (AL_2O_3 - Eau) en fonction de fraction volumique pour T constante.

Enfin, nous concluons que la conductivité thermique et la viscosité dynamique du nanofluide AL_2O_3 -Eau sont fonction de la température, contrairement au fraction volumique qui varie avec la présence des nanoparticules (fraction volumique).

- **Nanofluide (Huile- AL_2O_3) :** Nous présentons dans cette dernière partie, l'influence de la fraction volumique sur les propriétés thermo physiques du nanofluide Huile- AL_2O_3 avec $T=200^\circ C$.

a) **Conductivités thermiques :** Pour les trois nanofluides, la conductivité thermique augmente avec la fraction volumique. Alors, la fraction volumique a un effet sur la conductivité, c'est bon pour le développement du fluide et transférer la chaleur. Généralement, les avantages des nanofluides sont directement liés à l'amélioration de la conductivité thermique par l'ajout de nanoparticules.

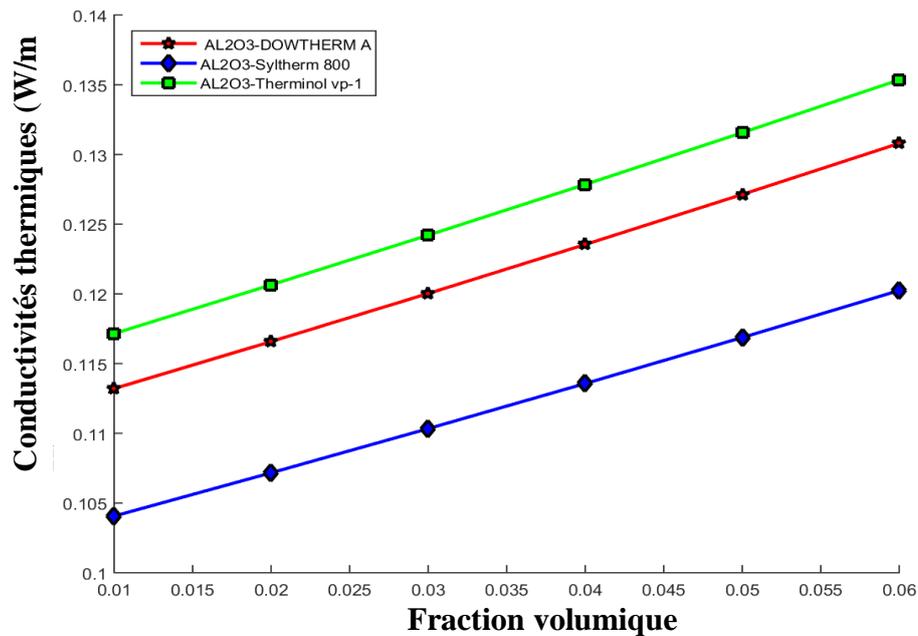


Figure IV.12: La conductivité thermique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) en fonction de la fraction volumique pour $T=200^\circ C$.

b) Viscosité dynamique: Sur la figure (IV.13), les variations de la viscosité en fonction de la fraction volumique pour valeurs de température constante égale à $200^\circ C$ sont présentés. D'après la figure, on observe que la présence des nanoparticules améliorent la viscosité dynamique du nanofluide, mais avec des valeurs différents suivant la nature du matériau de la base. Pour notre cas, le nanofluide AL_2O_3 -DOWTHERM A est meilleur par rapport aux autres.

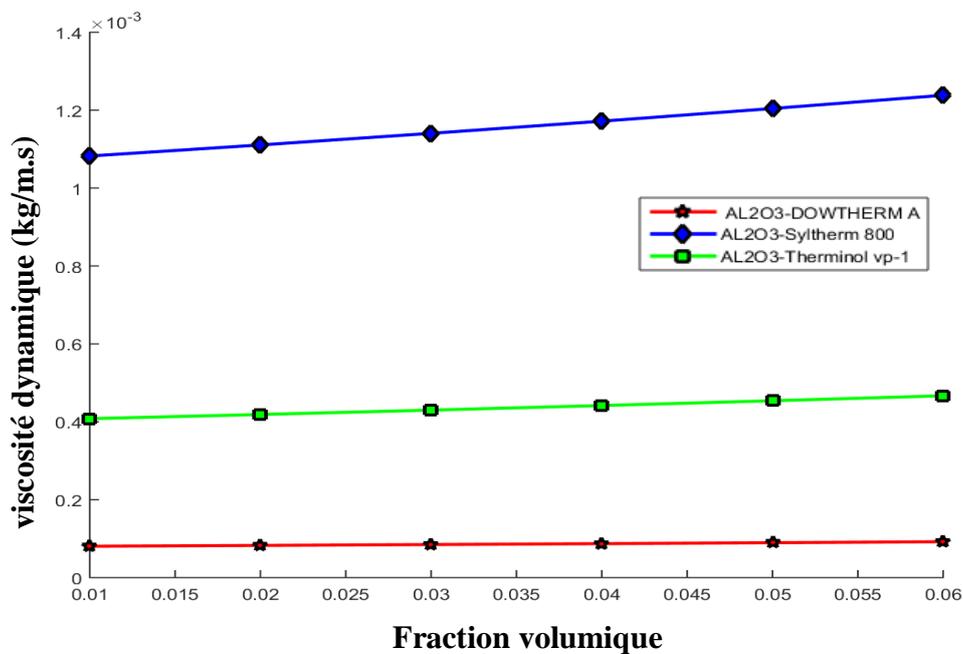


Figure IV.13: La viscosité dynamique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP -1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) et en fonction de la fraction volumique $T=200^\circ C$

c) **Chaleur spécifique:** L'effet de la fraction volumique sur la chaleur spécifique peut être visualisé par la figure (IV.14) . On voit lorsque on ajoute plus de nanoparticules de type AL_2O_3 au fluide de base (huile pure) , la chaleur spécifique diminue, ce qui n'est pas acceptable pour les fluides de transfert thermique.

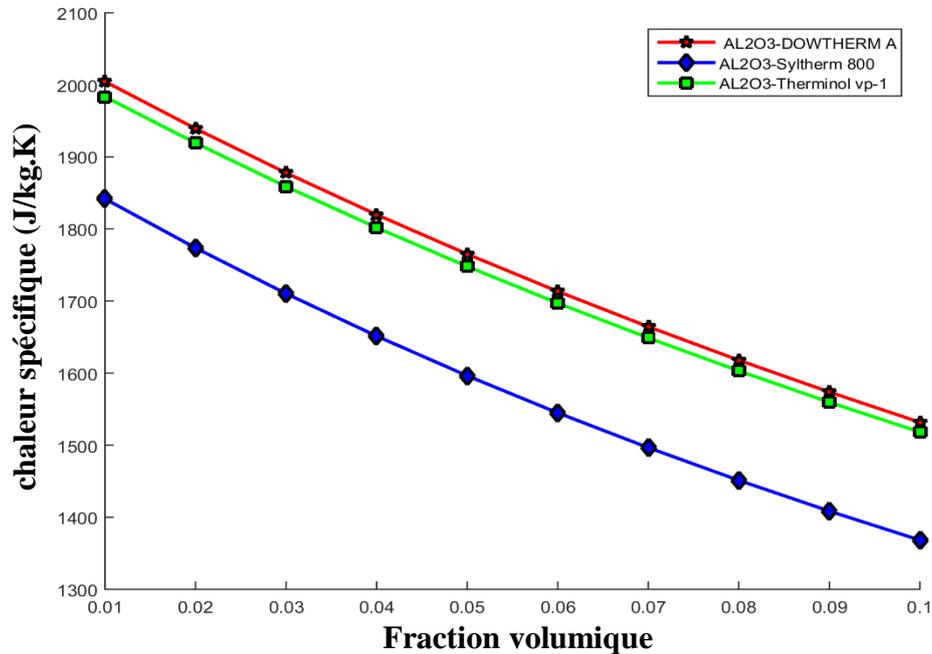


Figure IV. 14: Chaleur spécifique des nanofluides (AL_2O_3 -Therminol VP- 1, AL_2O_3 -Syltherm 800, AL_2O_3 -DOWTHERM A) en fonction de la fraction volumique $T=200^{\circ}C$.

IV.4 VALIDATION DES RESULTATS

Les résultats ont été réalisés à l'aide du code MATLAB. Des courbes des propriétés thermophysiques des différents nanofluides utilisés dans ce travail ont été présentées et interprétées. Notre programme a été exécuté avec les mêmes conditions des propriétés thermophysiques de E. Bellos, C.Tzivanidis 2017 pour une centrale solaire thermique avec $150^{\circ}C \leq T \leq 400^{\circ}C$, et pour vérifier l'exactitude de l'étude actuelle, le calcul a été validé avec le travail expérimental de E. Bellos, C.Tzivanidis, 2017 (AL_2O_3 -Syltherm 800 $\Phi = 4\%$) et R.Buehler, S.Yang, J. C. Ordóñez, 2016 (Syltherm 800 pure et Therminol VP-1 pure) (les figures (IV. 25) (IV.16) , (IV. 17)).

D'après les figures, on remarque que toutes les courbes ont la même allure, et que les erreurs sont faibles, ce qui confirme la fiabilité de notre étude, et que nos résultats sont encourageants.

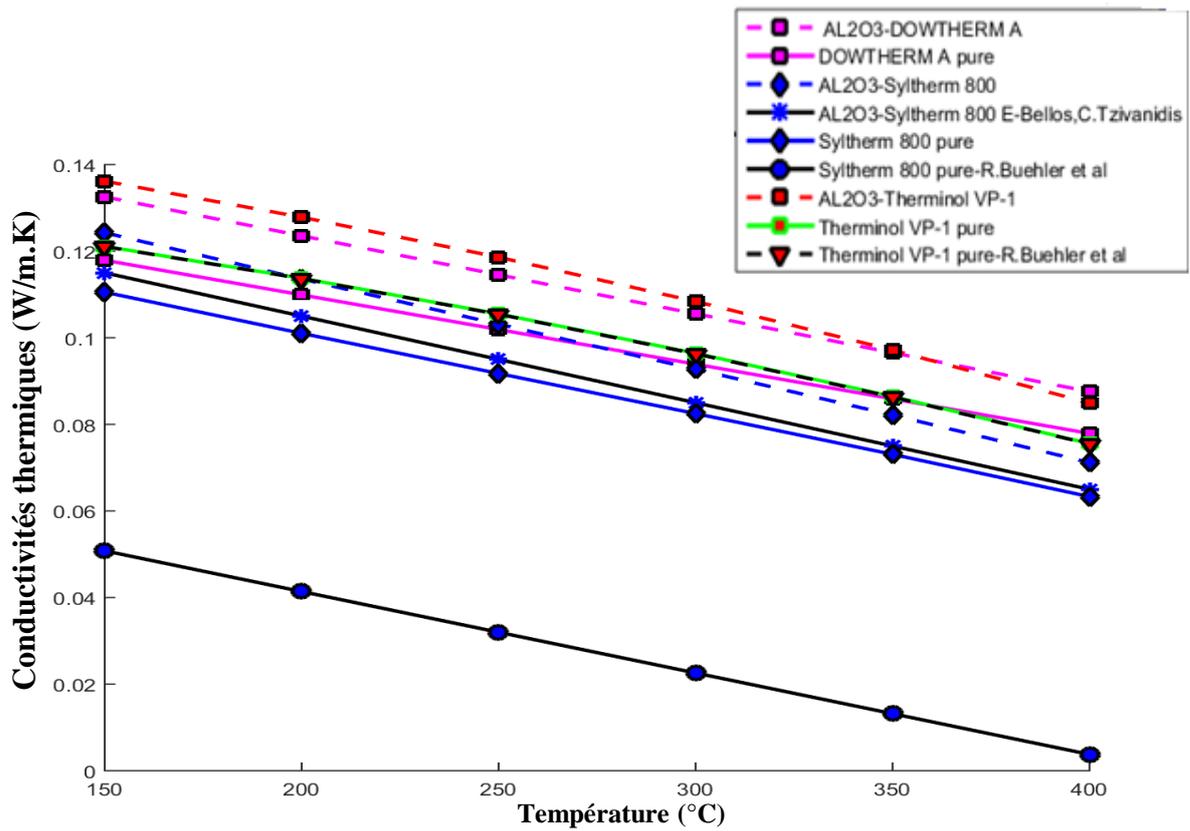


Figure IV. 35 : Validation de la conductivité thermique de nanofluide pour $\Phi = 4\%$ et les fluides purs.

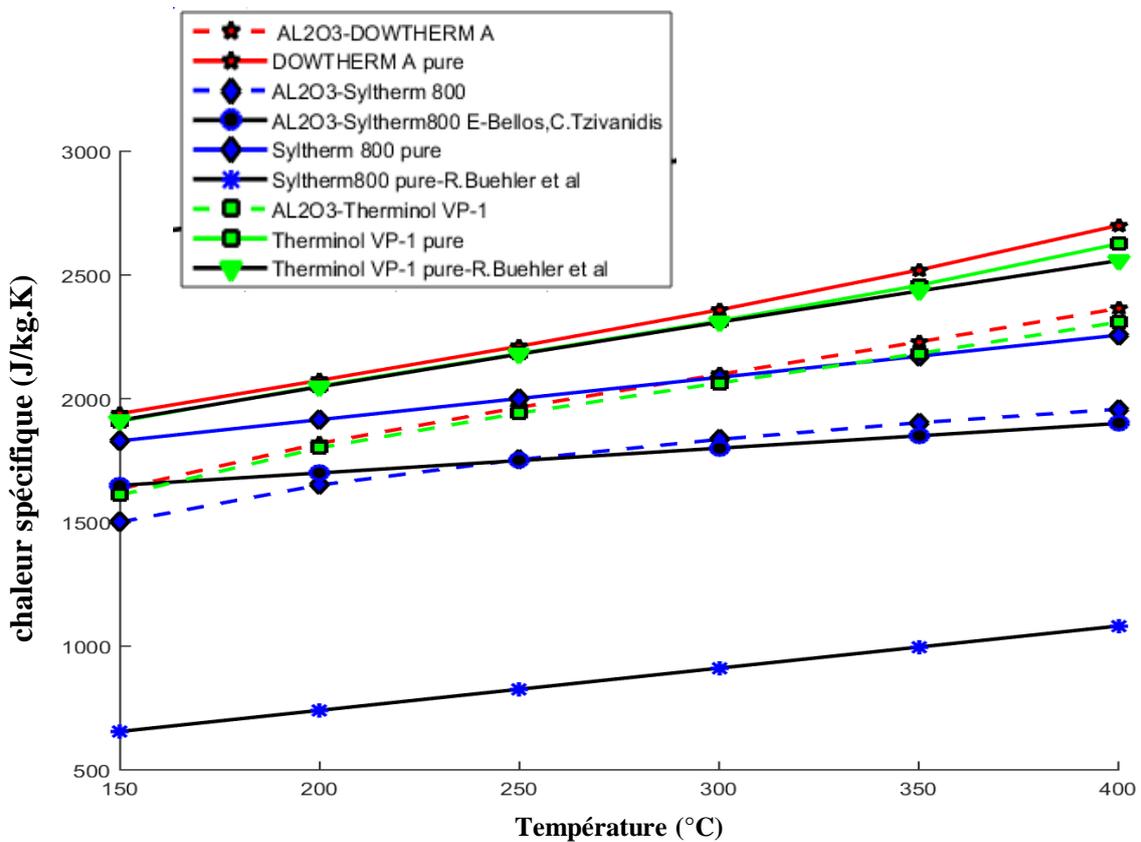


Figure IV.16: Validation de la chaleur spécifique des nanofluides pour $\Phi = 4\%$ et les fluides purs.

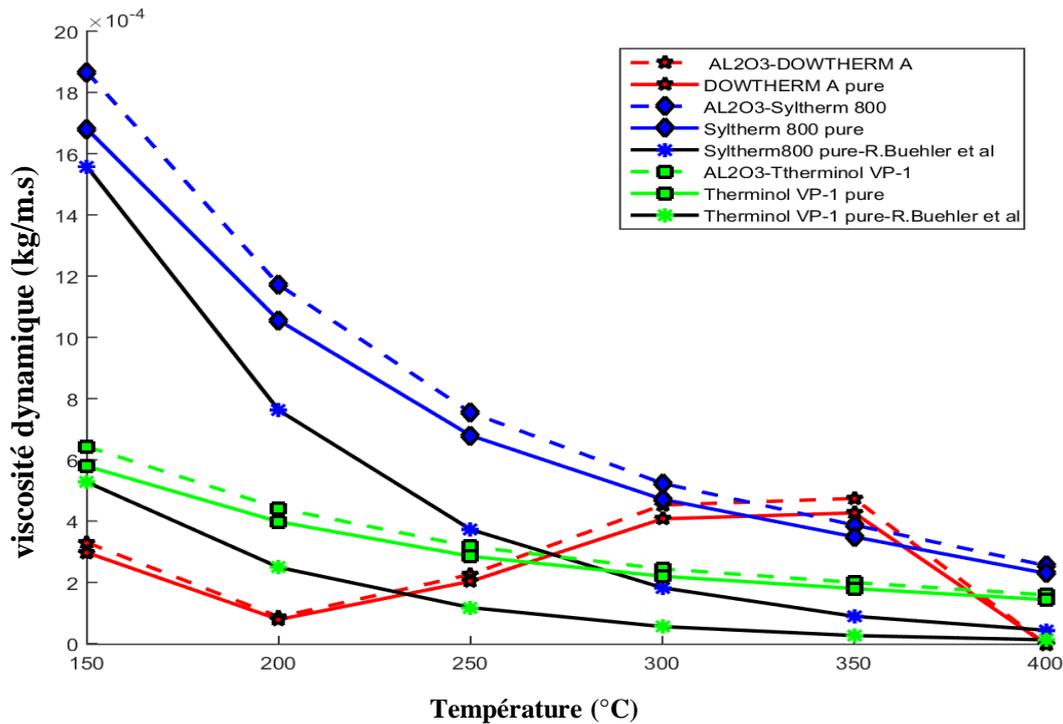


Figure IV. 17: Validation de la viscosité dynamique des nanofluides pour $\phi = 4\%$ et les fluides purs.

IV-5 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présentés et interprétés les résultats de simulation obtenus sur les propriétés thermo physiques des nanofluides, pour les utiliser comme fluide de transfert thermique (HTF) dans les centrales solaire thermique à concentration. Pour les nanofluides utilisés dans cette étude, nous avons utilisés deux fluides de base différents (eau et huiles synthétiques). Les effets de la température et de la concentration des nanoparticules sur les propriétés ont été déterminés.

D'après les résultats, on conclure que:

- La conductivité thermique représente un paramètre fondamental pour le transfert thermique. La chaleur est conduit plus rapidement par de particules solide en comparaison avec le liquide, surtout que nous avons utilisé la nature oxyde-métallique de la nanoparticule (AL_2O_3).
- La présence des nanoparticules augmente la conductivité thermique et la viscosité dynamique du nano fluide par rapport au fluide pure, mais diminue la chaleur spécifique, ce qui n'est acceptable pour le transfert thermique. Donc ces nano fluides sont meilleurs comme HTF et ne convient pas pour le stockage d'énergie thermique.
- L'utilisation des huiles synthétiques comme fluide de base donne des résultats meilleurs par rapport à l'eau.
- Le nano fluide optimal par rapport aux nano fluides utilisés est AL_2O_3 - DOWTHERM A

IV.6 RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- V. Bianco, F. Chiacchio, O. Manca, S. Nardini ;« Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes »;PII:S1359-4311(09)00196 DOI:10.1016/j.applthermaleng.2009.06.019
- E . BELLOS, et TZIVANIDIS, Christos. ;« Parametric investigation of nanofluids utilization in parabolic trough collectors»; Thermal Science and Engineering Progress, 2017, vol. 2, p. 71-79.
- R.BUEHLER, S.YANG, et Juan C. ORDONEZ;« Heat transfer fluids for parabolic trough solar collectors-a comparative study»; In : 2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech). IEEE, 2016. p. 68-75.
- [1] Technical Bulletin THERMINOL VP-1 54°F to 750°F Vapor Phase/ Liquid Phase Heat Transfer Fluid by Solutia
- [2] SYLTHERM 800 Heat Transfer Fluid, Product Technical Data <https://www.dow.com/content/dam/dcc/documents/en-us/app-tech-guide/176/176-01435-01-syltherm-800-heat-transfer-fluid.pdf?iframe=true>
- [3] DOWTHERM A Synthetic Organic Heat Transfer Fluid — Liquid and Vapor Phase Data http://www.incendiosyseguridad.com/seccion-1.0.0/objetos 1.0.0/PTCCP_Dow_HTF.pdf

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Un nouveau terme est venu sous les feux de la rampe qui a pesé sur le monde et fait l'objet d'une grande attention: ce terme est le nanofluide .

Dans ce travail, tout l'accent était mis sur la façon de développer le fluide de travail d'une centrale solaire thermique et d'augmenter ses propriétés, et nous avons pris le nanofluide comme HTF et vérifié son développement en termes de température et de concentration volumique, et l'avons comparé avec le liquide traditionnel (fluide pure) pour trouver la différence requise entre eux, et les résultats étaient bons par rapport au liquide traditionnel en termes de propriétés à bénéficier. Parmi eux dans les futures enquêtes, juste une petite température que vous chauffez à la température requise car il est très petit, c'est un petit monde mais son avenir est grand.

Les propriétés thermophysiques des nanofluides et de leurs modèles basés sur les caractéristiques du nanofluide différent en termes de fluide à base d'eau et les huiles synthétiques (Therminol VP -1, Syltherm 800 et DOWTHERM A) en fonction de la température et la fraction volumique . Les résultats numériques par le code MATLAB ont également montrés que la fraction volumique et la température ont un impact significatif sur les propriétés thermophysiques des nanofluides ,en plus on peut conclure que :

- ✓ La conductivité thermique représente un paramètre fondamental pour le transfert thermique. La chaleur est conduit plus rapidement par de particules solide en comparaison avec le liquide, surtout que nous avons utilisé la nature oxyde-métallique de la nanoparticule (AL_2O_3).
- ✓ L'amélioration de la conductivité thermique du nanofluide (Eau - AL_2O_3) obtenue est 12.47% pour fraction volumique égale à 0.04.
- ✓ Augmentation de la viscosité dynamique avec l'augmentation de la fraction volumique est faible pour $\Phi = 0,04$, avec une augmentation de la température dans la plage de 300°C à 400°C.
- ✓ Le nanofluide (AL_2O_3 _Therminol VP -1) a une valeur de conductivité plus élevée que le reste du nanofluide .
- ✓ La présence des nanoparticules augmente la conductivité thermique et la viscosité dynamique du nanofluide par rapport au fluide pure , mais diminue la chaleur spécifique, ce qui n'est acceptable pour le transfert thermique. Donc, ces nanofluides sont meilleurs comme HTF et ne convient pas pour le stockage d'énergie thermique.
- ✓ L'utilisation des huiles synthétiques comme fluide de base donne des résultats meilleur par rapport à l'eau .
- ✓ Le nanofluide optimal par rapport aux nanofluides utilisés est DOWNTHERM A- AL_2O_3

Les nanofluides sont prêts pour les applications dans les centrales solaires thermiques, parce qu'ils n'ont pas perdu ou détruit leurs propriétés thermophysiques malgré la température élevée, mais ont plutôt augmenté leur efficacité. Presque toutes les recherches se sont mises d'accord sur l'amélioration des propriétés thermiques de HTF par les nanofluides. Les nanofluides devraient déclencher une série de révolutions industrielles au cours des deux prochaines décennies, ce qui affectera grandement nos vies.

PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les perspectives de recherche s'inscrivant dans la continuité de ce travail sont nombreuses et elles sont énumérées ci-après :

- Étudier le fluide dans un échangeur de chaleur pour réduire sa viscosité avec logiciel de calcul «Fluent » et GAMBIT.
- Effectuer des simulations des propriétés obtenues sur une capture solaire
- Changer la nanoparticule tout en gardant les mêmes fluides de base.
- Étudiez le même travail avec d'autres modèles de propriétés thermo physique.
- Entrez le programme MATLAB de réussite avec un autre code SAM et fait une simulation.

Le nanofluide est au centre de l'intérêt de la science aujourd'hui, nous espérons que l'intérêt pour elle augmentera en Algérie, Et son utilisation dans les centrales solaires thermique d'autant plus que notre pays est caractérisé par le sud qui a une température élevée, et qu'elle deviendra la recherche sur cette technologie et sa nouveauté, afin que nous puissions rattraper notre pays l'un des pays les plus à la poursuite du processus scientifique, libérant les énergies et les esprits scientifiques du pays pour prouver leur valeur et leurs compétences.

ملخص

هذا العمل يقدم دراسة رقمية للخصائص الفيزيائية الحرارية لأربعة سوائل نانوية مختلفة الماء - AL_2O_3 ، AL_2O_3 -DOWTHERM A ، AL_2O_3 -Syltherm 800 ، AL_2O_3 -Therminol VP-1 ، نقل حراري في محطات الطاقة الحرارية الشمسية. أجريت الدراسة على نطاق واسع من 1% إلى 6% تركيز حجمي ودرجة حرارة $150^{\circ}C \leq T \leq 400^{\circ}C$. لقد قمنا بمحاكاة النماذج الرياضية في MATLAB للخصائص الفيزيائية الحرارية للسوائل النانوية ، ومقارنتها مع سوائلها النقية لمعرفة التحسن. يتم تحليل النتائج من خلال الرسوم البيانية (التوصيل الحراري ، الحرارة النوعية واللزوجة الديناميكية) بدلالة التركيز الحجمي ودرجة الحرارة. تُظهر إضافة الجسيمات النانوية إلى السائل الأساسي تحسناً ملحوظاً في الخصائص الفيزيائية الحرارية للسوائل النانوية. يمكن أن يلعب استخدام السوائل النانوية في محطات الطاقة الشمسية دوراً مهماً في زيادة كفاءتها.

الكلمات المفتاحية: محطات الطاقة الحرارية ، النانوفلويده، الخصائص الفيزيائية الحرارية ، HTF.

Résumé

Ce travail présente une étude numérique des propriétés thermophysiques de quatre nanofluides différents AL_2O_3 -Eau, AL_2O_3 -Therminol VP-1, AL_2O_3 -Syltherm 800 et AL_2O_3 -DOWTHERM A pour les utiliser comme fluide de transfert thermique dans les centrales solaire thermique. L'étude a été faite pour une large gamme de concentration volumique 1% à 6% et de température $150^{\circ}C \leq T \leq 400^{\circ}C$. Nous avons simulés sous MATLAB des modèles mathématiques des propriétés thermo physiques des nanofluides, et en les comparants à leurs fluides pures pour voir l'amélioration. Les résultats sont analysés à travers les graphes (la conductivité thermique, la chaleur spécifique et la viscosité dynamique) en fonction de fraction volumique et de la température. L'ajout de nanoparticules AL_2O_3 au fluide de base montre une amélioration remarquable des propriétés thermophysiques des nanofluides. L'utilisation du nanofluides dans les centrales solaires peut jouer un rôle crucial dans l'augmentation de son efficacité.

Mots clés : Les centrales solaires thermiques, Nanofluide, Les propriétés thermo physiques HTF.

Abstract

This work presents a numerical study of the thermophysical properties of four different nanofluids -Water, -Therminol VP-1, -Syltherm 800 and -DOWTHERM A for use as thermal transfer fluid in solar thermal power plants. The study was done for a wide range of 1% to 6% volume concentration and temperature. We simulated in MATLAB mathematical models of the thermophysical properties of nanofluids, and comparing them to their pure fluids to see the improvement. The results are analyzed through the graphs (thermal conductivity, specific heat and dynamic viscosity) as a function of volume fraction and temperature. The addition of nanoparticles to the base fluid shows a remarkable improvement in the thermophysical properties of nanofluids. The use of nanofluids in solar power plants can play a crucial role in increasing its efficiency.

Key words: Thermal solar power stations , Nanofluide, The thermophysical properties, HTF.