



Mustapha Merzouk  
Nachida Kasbadji Merzouk

# Performances théoriques et expérimentales des capteurs solaires



## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	1
<b>CHAPITRE 1 : POSITION DU PROBLEME</b>	5
<b>INTRODUCTION</b>	5
<b>1.1 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	5
1.1.1. Eclairage et Irradiation Solaires	5
1.1.1.1. Estimation du rayonnement solaire par ciel clair	6
1.1.1.2. Estimation du rayonnement solaire par ciel variable	8
1.1.1.2.1. Relations du type Angström – Black	8
1.1.1.2.2. Relations fonctions de l'indice de clarté	9
1.1.2. Rendement Optique	10
1.1.2.1. Eclairage Reçu sur un Plan Incliné	10
1.1.2.2. Energie transmise et absorbée	10
1.1.3. Energie Utile Récupérée en Régime Permanent	11
1.1.3.1. Modèle de Hottel -Whillier – Bliss	12
1.1.3.2. Modèle de Proctor	12
1.1.3.3. Modèles bidimensionnels.	13
1.1.4. Etudes en Régime Transitoire	14
1.1.4.1. Modèle de Close - Klein et al.	14
1.1.4.2. Modèle de Wijesundera	15
1.1.4.3. Modèle de Gicquel	16
1.1.4.4. Modèle de Bansal et al.	17
1.1.4.5. Modèle de Wang et al.	17
1.1.5. Optimisation - Génération d'Entropie	18
1.1.5.1. Optimisation des paramètres constructifs	18
1.1.5.2. Modèle de Bejan	19
1.1.6. Evolutions Technologiques	19
1.1.6.1. Matériaux solaires	19

1.1.6.1.1. Couvertures à hautes températures	20
1.1.6.1.2. Surfaces absorbantes sélectives	21
1.1.6.2. Solutions technologiques	21
1.1.6.2.1. Suppression de la convection	21
1.1.6.2.2. Optimisation de l'absorbeur	23
1.1.6.2.3. Optimisation du facteur de conductance	24
1.1.6.2.4. Réflecteurs	24
1.2. POSITION DU PROBLEME ET HYPOTHESES	25
1.2.1. Position du Problème	25
1.2.2. Hypothèses	27
CONCLUSION	28
REFERENCES	25
<b>CHAPITRE 2 : ANALYSE OPTIQUE</b>	29
INTRODUCTION	29
2.1. IRRADIATION SOLAIRE	30
2.1.1 Eclairage Solaire Incident sur un Plan Incliné	30
2.1.2 Irradiation Solaire Incidente sur un Plan Incliné	31
2.2. ECLAIREMENT TRANSMIS PAR LE COUVERT	31
2.2.1. Propriétés Optiques du Couvert	31
2.2.2. Rayonnement Transmis par un Couvert Tubulaire	33
2.2.2.1. Rayonnement direct	33
2.2.2.2. Rayonnement diffus	38
2.3. APPORT DE LA CONCENTRATION	40
2.3.1. Profil Parabolique	41
2.3.1.1. Absorbeur plan	41
2.3.1.2. Absorbeur cylindrique	45
2.3.1.3. Absorbeur avec ailette arrière	46
2.3.2. Réflecteur à Section Circulaire	48
2.3.2.1. Absorbeur plan	48

2.3.2.2. Absorbeur cylindrique	50
2.3.3. Profil à Segments Circulaires	52
2.4. ENERGIE ABSORBEE	54
2.4.1. Absorbeur Tubulaire	54
2.4.2. Absorbeur Plan	55
CONCLUSION	56
<b>CHAPITRE 3 : ANALYSE THERMIQUE</b>	57
INTRODUCTION	57
3.1. ECHANGES THERMIQUES	58
3.1.1. Echanges Convectifs Capteur – Environnement	58
3.1.2. Echanges Radiatifs Absorbeur - Tube Enveloppe	58
3.1.3. Echanges Convectifs et/ou Conductifs Absorbeur-Tube Enveloppe	59
3.1.4. Ecoulement dans un Tube à Section Circulaire	61
3.1.4.1. Couche limite thermique	61
3.1.4.2. Couches limites thermique et dynamique, Régime laminaire	63
3.1.5. Ecoulement entre deux Tubes Concentriques	63
3.1.5.1. Flux uniformes	63
3.1.5.1.1. Régime thermiquement et dynamiquement complètement développé	63
3.1.5.1.2. Couche limite thermique	66
3.1.5.1.3. Couche limite thermique et dynamique	68
3.1.5.2. Profils de températures arbitrairement définis	69
3.2. PROFILS DE TEMPERATURES EN REGIME PERMANENT	71
3.2.1. Hypothèses	71
3.2.2. Formulation	71
3.2.2.1 Bilan thermique sur le tube enveloppe	71
3.2.2.2 Bilan thermique sur l'échangeur – Entrée annulaire	72
3.2.3. Conditions aux Limites	74

3.2.4. Résolution	75
3.2.4.1. Itérations sur $T_{v1}$ et $T_{v2}$	76
3.2.4.2. Résolution du système aux équations différentielles	78
3.2.5. Entrée Axiale	82
3.2.5.1. Formulation	82
3.2.5.2. Système du premier ordre	83
3.2.5.3. Méthode matricielle	84
3.2.6. Applications	85
3.3. REPOSE DU CAPTEUR EN REGIME TRANSITOIRE	86
3.3.1. Bilan Thermique sur le Tube Enveloppe	86
3.3.2. Bilan Thermique sur l'Absorbeur	87
3.3.2.1. Cas général	87
3.3.2.2. Réponse à un échelon	89
3.3.2.3. Réponse à une excitation sinusoïdale	90
3.3.3. Flux Absorbé	91
3.3.3.1. Flux évacué par l'ailette	91
3.3.3.2. Energie utile récupérée	91
3.3.3.3. Bilan thermique sur l'échangeur - entrée annulaire	92
3.3.3.4. Résolution	94
3.3.3.5. Application	97
CONCLUSION	100
<b>CHAPITRE 4 : ANALYSE ENTROPIQUE</b>	101
INTRODUCTION	101
4.1. POSITION DU PROBLEME	102
4.2. ENTREE ANNULAIRE	102
4.2.1. Régime Permanent	103
4.2.2. Régime Transitoire	111

43. ENTREE AXIALE	116
43.1. Régime Permanent	116
43.2. Régime Transitoire	118
CONCLUSION	119
<b>CHAPITRE 5 : ETUDE EXPERIMENTALE</b>	121
INTRODUCTION	121
5.1. MONTAGE EXPERIMENTAL	122
5.1.1. Le simulateur de Rayonnement Solaire	122
5.1.1.1. Description	122
5.1.1.2. Distribution du flux	122
5.1.1.3. Emittance et émissivité	123
5.1.1.3.1. Emittance spectrale	123
5.1.1.3.2. Emittance du Filament (Tungstène)	125
5.1.1.4. Caractéristiques des rayons émis par le simulateur	124
5.1.1.4.1. Fraction de diffus	124
5.1.1.4.2. Distribution hémisphérique	
5.1.1.5. Eclairage Incident sur un élément de surface parallèle au plan du simulateur	125
5.1.1.5.1. Cas d'un seul projecteur	125
5.1.1.5.2. Généralisation à toute la rampe de Projecteurs	127
5.1.1.6. Inclinaison optimale des projecteurs	128
5.1.2. Le variateur de Puissance	129
5.1.3. Les boucles d'Essais	130
5.1.3.1. Circuit fluide caloporteur	131
5.1.3.2. Circuit air	132
5.1.4. Instrumentation	132
5.1.4.1. Mesures de températures	132

5.1.4.2. Mesure de débit	133
5.1.4.3. Mesure de flux	134
5.1.4.4. Mesure de pression	134
5.1.5. Acquisition et Traitement des Données	136
5.2. MODE OPERATOIRE	137
5.2.1. Prototypes Testés	137
5.2.2. Mode Opérateur	139
5.2.2.1. Régime permanent	140
5.2.2.2. Régime transitoire	141
5.3. PERFORMANCES EN REGIME PERMANENT	143
5.3.1. Caractérisation des Différents Prototypes	143
5.3.2. Profils de Températures	147
5.4. ETUDE EN REGIME TRANSITOIRE	149
5.4.1. Réponse à une Variation de l'Eclairement	149
5.4.1.1. Variation en échelon	149
5.4.1.1.1. Mode opératoire	149
5.4.1.1.2. Filtrage des données	150
5.4.1.1.3. Réponse à un échelon de flux	151
5.4.1.2. Variation en créneau	154
5.4.1.2.1. Mode opératoire	154
5.4.1.2.2. Traitement des données et résultats	155
5.4.1.3. Variation pseudo-sinusoidale	156
5.4.1.3.1. Mode opératoire	156
5.4.1.3.2. Traitement des données et résultats	156
5.4.2. Réponse à une Variation de débit	157
5.4.2.1. Mode opératoire	157
5.4.2.2. Traitement des données et résultats	158
5.4.3. Etude de Sensibilité	159
5.4.3.1. Mode opératoire	159
5.4.3.2. Traitement des données et résultats	161

CONCLUSION	164
<b>CHAPITRE 6 : DISCUSSION ET SYNTHESE</b>	165
INTRODUCTION	165
6.1. VALIDATION	165
6.1.1. Régime Permanent	165
6.1.1.1. Rendement instantané	166
6.1.1.2. Profils de températures	167
6.1.2. Régime Transitoire	170
6.1.2.1. Réponse à un échelon de flux	170
6.1.2.2. Réponse à une excitation sinusoïde	172
6.2. EXPLOITATION DES MODELES	173
6.2.1 Profils de Températures	173
6.2.2 Variations du Coefficient de Pertes Global $U_g$	175
6.2.3. Effet du Coefficient de Pertes Global $U_g$	177
6.2.4 Effet de L'Eclairément	181
6.2.5 Effet du débit du fluide caloporteur	182
6.2.6 Effet de la Température du Fluide Caloporteur	183
6.2.7 Réponse à un Saut de Débit sous Echelon de Flux	187
6.2.8 Réponse à un Saut de Température d'entrée sous Echelon de Flux	189
6.2.9 Réponse à un Saut de Température Ambiante sous Echelon de Flux	190
6.3 SYNTHESE SUR LES CAPTEURS SOLAIRES EVACUES A ECHANGEUR BAIONNETTE	192
6.3.1. Tube Enveloppe	192
6.3.2. Absorbeur	192
6.3.3. Echangeur Baïonnette	192
6.3.4. Réflecteurs	193
6.4 PERSPECTIVES	193



6.4.1. Modélisation	193
6.4.2. Etude Expérimentale	193
CONCLUSION	194
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	195
<b>REFERENCES</b>	197
<b>ANNEXE 1 TRANSMITIVITE MOYENNE – DEVELOPPEMENTS</b>	
<b>ANNEXE 2 DISCRETISATION</b>	

Les équations décrivant le fonctionnement d'un capteur solaire à tube évacué et échangeur baïonnette en régimes permanent et transitoires sous sollicitations en échelon et sinusoïdale de l'éclairement ont été établies. Les systèmes d'équations aux dérivées partielles et coefficients implicites ont été résolus numériquement. L'entropie générée par le processus de conversion a été estimée pour les deux types d'admission du fluide caloporteur tant en régime permanent qu'en régime transitoire. Les résultats montrent que le régime transitoire est nettement plus pénalisant en termes d'optimisation de l'utilisation des ressources énergétiques. L'étude expérimentale, sous simulateur, a porté sur un maximum de configurations. Les performances en régime permanent ainsi que les réponses en transitoire ont été déterminées pour diverses configurations et sollicitations. Les sensibilités à différents paramètres ont été mises en évidence. Les résultats théoriques ont été validés par l'expérience. Les modèles ont été utilisés pour la mise en évidence de certains aspects et l'étude des réponses à d'autres sollicitations.



### Mustapha Merzouk

Mustapha Merzouk est Professeur à l'Université de Blida, Faculté de Technologie, Algérie. Il est diplômé de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger et titulaire d'un doctorat d'état en Physique Energétique et Matériaux. Il a rejoint l'université après avoir consacré plus de 20 ans à la Recherche au Centre de Développement des Energies Renouvelables.



978-3-8381-8458-6

