

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE Et POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE Hassiba ben bouali -Chlef-

FACULTE DES SCIENCES Et sciences de l'ingénieur

Département de Génie des procédés

Mémoire de Magister

Spécialité : Génie des Procédés

Option : Environnement et énergies renouvelables

Présenté par

Larbaoui Karima

Thème

*Analyse de la condensation de vapeur d'eau en présence de
gaz non condensables dans un système de dessalement
intégré*

Soutenu le 30 Mai 2009 devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------------------------------|------------|-----------------|--------------|
| M ^r A.OUAGUED | Professeur | U.H.B, Chlef | Président |
| M ^r S.HANINI | Professeur | U. de Médéa | Examineur |
| M ^{elle} KOUADRI MOSTEFALS | M.C.A | U.H.B de Chlef | Examinatrice |
| M ^r H .MAHMOUDI | M.C.B | U.H.B de Chlef | Examineur |
| M ^r M. DOUANI | M.C.B | U.H.B. de Chlef | Encadreur |

ملخص: إن مشكلة تواجد المياه ذات نوعية مقبولة للقطاعات المتعلقة بالاستعمال المنزلي و الري في المناطق الساحلية الجافة تزداد حدة. إن استغلال مياه البحار و دمج الطاقة الشمسية لتمثل بديلا يستوجب النظر في إمكانية استعماله. إن الدراسات الأولية المرتبطة بتحليل ظاهرة تكثيف بخار الماء علي مستوي السطح الداخلي لحزم من الأنابيب الموضوعة عموديا سمحت لنا بإظهار أهمية مفعول بعض العوامل على مردود الوحدة أهمها : درجة حرارة الهواء الرطب ,نسبة الرطوبة , زاوية الميل بالنسبة للشاقول ,شروط ضغط تشغيل للوحدة الخ. إن تواجد الغازات الغير قابلة للتكثيف يمثل العقبة التي يستوجب تخطيها ,يعتماد علي خوارزمية الحساب وبعد إنشاء برنامج بلغة Fortran.

و عليه تم التمثيل البياني لنتائج تأثير المتغيرات العملية علي تدفق الماء المكثف , معامل التبادل الحراري الكلي ومردود جهاز التكثيف.

وفي شروط التوظيف المستمر , نشير إلي أن رطوبة الهواء , درجة حرارة سائل التبريد , درجة حرارة الهواء الرطب وطول الأنبوب يؤثران إيجابا .في حين أن ارتفاع كمية الغاز الغير قابل للتكثيف , تدفق سائل التبريد وزاوية الميل يؤثران سلبا علي كمية الماء العذب الناتج بواسطة هذا الجهاز.

الكلمات المفتاحية: تكثيف , غاز غير قابل للتكثيف , بخار الماء , المحاكاة , الاحتباس الحراري و تحلية مياه البحر.

Résumé :

Le problème de la disponibilité de l'eau avec des qualités exigées aussi bien pour la consommation domestique que pour l'irrigation dans les régions côtières arides continue à se poser avec une acuité croissante. Ainsi, l'exploitation de l'eau de mer avec l'énergie solaire comme source d'énergie constitue une alternative. C'est dans cette optique que nous avons proposé une installation destinée à la production de l'eau douce par l'entremise d'une série d'évaporateur et de condenseur. En effet, c'est après analyse bibliographique et développement du phénomène de la condensation dans un faisceau de tubes disposés verticalement, nous avons développé un modèle incluant une série de paramètres de fonctionnement (T_b , Y , θ , L , P , m_f , T_{fe}). La présence de gaz non condensables a été la difficulté majeure à surmonter. Sur la base d'un algorithme de calculs et moyennant un programme rédigé en langage ForTran, les résultats de l'influence des variables opératoires de conception sur le débit de condensat, le coefficient d'échange par condensation et l'efficacité du condenseur ont été représenté graphiquement.

En régime permanent, on note que l'humidité de l'air, la température du fluide réfrigérant, la température de bulbe sec et la longueur du tube contribuent positivement. Néanmoins, l'angle d'inclinaison du tube, présence de gaz non condensables, débit du fluide réfrigérant affecte négativement la performance de production d'eau douce.

Mots clés : Condensation, gaz non condensable, vapeur d'eau, serre de dessalement, simulation.

Abstract:

The problem of the water availability with good quality as well for the domestic consumption as for irrigation in the arid inshore areas continues to arise with an increasing acuity. Thus, the exploitation of sea water with solar energy as source constitutes an alternative. In this work, we proposed an installation for production of fresh water via an evaporator-condenser chain. Indeed, after bibliographical analysis and development of the condensation phenomenon in a tube bank arrayed vertically, we developed a model including a series of operating parameters (T_b , Y , θ , L , P , m_f , T_{fe}). The presence of non condensable gas has been the major difficulty to overcome in modelling phase. On the basis of calculation algorithm and program written in language ForTran, the results of the influence of the operating variables on the condensate mass flow, the coefficient of heat transfer by condensation and the effectiveness of the condenser were graphically represented.

In steady state, we note that the air humidity, the temperature of the fluid cooling, the temperature of dry bulb and the length of the tube contribute positively. Nevertheless, the angle of inclination of the tube, the presence of non condensable gas, the mass flow of the fluid cooling affects negatively the installation performance for fresh water production.

Key words: Condensation, non condensable gas, steam, greenhouse of desalination, simulation.

Table des matières

| | |
|------------------------------------|------------|
| <i>Remerciements</i> | <i>I</i> |
| <i>Dédicaces</i> | <i>II</i> |
| <i>Symboles</i> | <i>III</i> |
| <i>Liste des figures</i> | <i>IV</i> |
| <i>Liste des tableaux</i> | <i>VII</i> |
| <i>Introduction générale</i> | <i>I</i> |

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE DE LA DISPONIBILITE DE L'EAU POUR L'IRRIGATION DANS LES ZONES CÔTIÈRES ET ARIDES

| | |
|---|----|
| I.1 Introduction..... | 3 |
| I.2 Coût du dessalement dans le monde | 5 |
| I.3 L'impact environnemental du dessalement | 6 |
| I.4. Faisabilité du dessalement à des fins agricoles..... | 7 |
| I.4.1. Coût de l'eau dessalée et agriculture | 8 |
| I.4. 2. Cas de culture à fort rapport économique | 8 |
| I.5. Généralités sur les procédés de dessalement..... | 9 |
| I.5.1. Procédés à membranes | 9 |
| I.51.1.Osmose inverse..... | 9 |
| I.5.1.2.Électrodialyse | 10 |
| I.5.2. Procédés de distillation..... | 11 |

| | |
|---|----|
| I.5.2. 1. Procédé de distillation par détente successive ou MSF (Multi Stage Flash) | 11 |
| I.5.2.2. Distillation à multiples effets..... | 12 |
| I.5.2.3. Procédé à compression de vapeur (Thermique TVC et Mécanique MVC) | 13 |
| I.5.3. Autres procédés..... | 14 |
| I.5.3.1. Échange d'ions..... | 14 |
| I.5.3. Distillation par membrane (MD)..... | 15 |
| I.6. Procédés de dessalement solaire..... | 15 |
| I.6.1. Système indirect..... | 16 |
| I.6.1. 1. Association des procédés de distillation à l'énergie solaire..... | 17 |
| I.6.1. 1. Distillation à détente successive (MSF) | 17 |
| I.6.1. 2. Distillation par compression de vapeur | 17 |
| I.6.1.2. Couplage des procédés membranaires à l'énergie solaire | 17 |
| I.6. 2. Système direct | 18 |
| I.6. 2.1. Distillateurs solaires direct à effet de serre | 18 |
| I.6. 2.2. Distillateurs solaires à simple effet | 19 |
| I.6. 2.3. Distillateurs solaires à multiples effets | 19 |
| I.6. 2.4. Serre à distillation solaire | 22 |
| I.6. 2.4.1. Principe | 22 |
| Bibliographie..... | 23 |

CHAPITRE II : ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UNE SERRE DE

CHAPITRE II : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE DU PHENOMENE DE CONDENSATION EN PRESENCE DES GAZ NON CONDENSABLES

| | |
|--------------------------------------|----|
| II.1 Introduction | 25 |
| II.2.1.1. Condensation en film | 25 |

| | |
|--|----|
| II.2.1.2. Condensation homogène | 26 |
| II.2.1.3. Condensation en gouttes..... | 26 |
| II.2.1.4. Condensation par contact direct..... | 27 |
| II.2.1.5. Condensation de mélange de vapeurs formant des liquides immiscibles | 27 |
| II.3. Analyse théorique de la condensation | 27 |
| II.3.1. Théorie de NUSSELT | 28 |
| II.3.3. Corrélations semi empiriques pour la condensation en présence des gaz non condensables | 35 |
| II.3.3.1. Corrélations pour la condensation à l'intérieur du tube vertical | 36 |
| • II.3.3.1. Corrélations basées sur le facteur de dégradation (f)..... | 36 |
| • II.3.3.2. Corrélation basée sur les nombres adimensionnels..... | 37 |
| Bibliographie..... | 40 |

CHAPITRE III: MODELISATION DES ECHANGES THERMIQUES EN PRESENCE DES GAZ NONCONDENSABLES

| | |
|--|----|
| III.I. Etude du fonctionnement d'une serre de production d'eau douce (SWGHE)..... | 43 |
| III.1.1.1 Introduction..... | 43 |
| III.1.2. Description du procédé | 44 |
| III.1.2.1. Description de l'humidificateur (Evaporateur)..... | 46 |
| III.1.2.2. Description du déshumidificateur (Condenseur) | 46 |
| III. 2. Études théoriques de la condensation en présence de gaz non condensables | 47 |
| III 2.1 Transfert de chaleur et de matière à l'interface gaz- liquide. | 48 |
| III 2.2 Modélisation de l'écoulement dans le film condensât..... | 50 |
| III.3. Effet de l'échange thermique sur l'intensité de transfert de matière | 54 |
| III.4. Algorithme de calculs du système de condensation..... | 56 |
| III.5. Organigramme de calculs du système de condensation..... | 58 |
| III .6. Acquisition des données physiques du système..... | 60 |

| | |
|---|----|
| III 6.1. Propriétés thermo physiques de l'eau | 60 |
| III 6. 1.1 Chaleur latente de vaporisation | 60 |
| III 6. 1.2 Tension de vapeur | 60 |
| III 6. 1.3 Densité | 60 |
| III 6. 1.4 Viscosité | 61 |
| III 6. 1.5 Conductivité thermique | 61 |
| III 6. 1.6 Nombre de Prandtl | 61 |
| III 6.2.4. Chaleur spécifique..... | 62 |
| III 6.2. Propriétés thermo physiques de l'air..... | 62 |
| III 6.2.1. Conductivité thermique | 62 |
| III 6.2.2 Viscosité | 62 |
| III 6.2.3.Densité | 62 |
| III 6.2.4. Chaleur spécifique | 62 |
| Bibliographie..... | 63 |
| CHAPITRE IV: SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DU CONDENSEUR | |
| IV-1. Concept de degrés de liberté à un échangeur de chaleur..... | 65 |
| IV.1.1. Principe de la méthode | 65 |
| IV.1.2. Application du concept à l'analyse du condenseur | 66 |
| IV.2. Identification des paramètres opératoires..... | 67 |
| IV.3 - Résultats et discussions..... | 68 |
| IV.3 .1. Effet de l'humidité absolue..... | 68 |
| IV.3 .1.1. Influence de l'humidité absolue sur le débit du condensât..... | 68 |
| IV.3 .1. 2. Influence de l'humidité absolue sur le coefficient de condensation..... | 69 |
| IV.3 .1. 3. Influence de l'humidité absolue sur l'efficacité du condenseur | 70 |
| IV.3 .1. 4. Influence de l'humidité absolue sur la température du réfrigérant à la sortie | 71 |
| IV.3 .1. 5. Influence de l'humidité absolue sur la température de la paroi extérieure...72 | |
| IV.3 .2. Effet de la température de bulbe sec..... | 72 |

| | |
|---|----|
| IV.3 .2.1. Influence de la température de bulbe sec sur le débit du condensât..... | 72 |
| IV.3 .2.2. Influence de la température de bulbe sec sur l'efficacité du condenseur..... | 73 |
| IV.3.2.3. Influence de la température de bulbe sec sur le coefficient de condensation | 74 |
| IV.3.4. Effet de l'angle d'inclinaison sur le coefficient et le débit de condensation | 75 |
| IV.3.5. Influence de la pression de fonctionnement sur l'efficacité énergétique du condenseur | 77 |
| IV.3 .6. Effet de la longueur du tube sur le coefficient de condensation | 78 |
| IV.3 .7. Influence de la température du fluide réfrigérant sur l'efficacité du condenseur | 79 |
| IV.3 .8. Influence du débit du réfrigérant m_f sur l'efficacité du condenseur..... | 80 |
| IV.3 .9. Influence de la fraction de gaz non condensables sur l'efficacité du condenseur | 81 |
| Conclusion et suggestions | 83 |
| <i>Annexe</i> | 85 |