



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES  
ET DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

N° d'ordre :

N° de série :

DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES

## Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

# MAGISTER

Spécialité : Génie des procédés

Option : Génie chimique

Par : BELMILOUD-BENAMOURA Fatima Zohra

### Thème

EVAPORATION DE L'EAU CONTENUE DANS UN BASSIN  
D'EPANDAGE SOUS L'ACTION D'UN BRASSAGE PAR DES  
BULLES D'AIR CHAUFFE

*Soutenu publiquement le : 02/05/2006*

*Devant le jury composé de:*

Dr. Meftah Tayeb	: Professeur	U. Ouargla	Président
Dr. Benmoussa Hocine	: Professeur	U. Batna	Examineur
Dr. Settou Noureddine	: Maître de conférence .	U. Ouargla	Examineur
Dr. Saouli Salah	: Maître de conférence	U. Ouargla	Rapporteur

**À mes chers parents**

**À mon cher mari HAMOUDI**

**À mon très cher fils SADJED**

**À mes sœurs et leurs familles**

**À mon frère DJAMEL et sa famille**

**À mes frères**

**À mes chers beaux-parents**

**À mes chères copines**

**À toute ma famille et la famille BENAMOURA**

## **REMERCIEMENT**

Je tiens à exprimer ma profonde et respectueuse reconnaissance à Monsieur Salah SAOULI maître de conférence à l'université Kasdi Merbeh, Ouargla, qui ma permet de réaliser ce travail sous sa direction et pour les conseils précieux tout long de ce travail.

Un grand remerciement a mon mari pour son soutien moral, matériel, ses conseils et sa patience.

Je remercie vivement Monsieur Mohammed Tayeb MEFTAH, professeur à l'université Kasdi Merbeh, Ouargla, d'avoir accepter de présider ce jury.

Je remercie également Messieurs, Hocine BENMOUSSA, maître de Conférences à l'université Hadj Lakhdar, Batna, Nouredine SETTOU, maître de Conférences à l'université Kasdi Merbeh, Ouargla, pour avoir acceptés de juger ce travail.

J'adresse mes remerciements à monsieur Touhami LANEZ de m'avoir accueilli dans le laboratoire de Valorisation et Promotion des Ressources Sahariennes à l'université Kasdi Merbeh, Ouargla.

Je remercie infiniment Mesdames Nabiha ALOUI, Sarhouda HELLAB et Mademoiselle Meriam BAZZINE pour les agréables moments qu'on a passés ensemble.

Je remercie Monsieur Laïd ZAGHOUD, étudiant de ma promotion d'avoir m'aider durant la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier Monsieur Ahmed HOUTTI de m'avoir procurer les instruments nécessaire pour la réalisation de ce travail.

Je remercie monsieur Djamal BECHKI, maître assistant chargé de cours à l'université Kasdi Merbeh, Ouargla, pour ses précieux conseils et aides matérielles.

Je tiens à remercier Madame Djamila THAMEN et toute l'équipe du laboratoire de mécanique.

Je remercie mes frères Toufik, Sofiane Mohamed, ma famille et mes collègues de Magister génie des procédés promotion 2003-2004.

# TABLE DES MATIERES

NOMENCLATURE	1
LISTE DES FIGURES	2
LISTE DES TABLEAUX	5
INTRODUCTION	7
CHAPITRE I: ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Généralité sur l'évaporation	11
I.2. Historique	11
I.2.1. Evaporation d'un film liquide	11
I.2.2. Evaporation d'un volume de liquide	13
CHAPITRE II: ETUDE EXPERIMENTALE	
II.1. Description de l'installation	16
II.2. Instruments de mesure	17
II.2.1. Mesure de la température de l'eau	17
II.2.2. Mesure de la hauteur de l'eau	21
II.3. Procédure expérimentale	21
II.3.1. Calcul du taux d'évaporation	23
II.3.2. Calcul de la quantité d'eau évaporée	23

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. L'effet de la température de l'air chaud	25
III.2. L'effet de la hauteur de l'eau dans l'évaporateur	31
III.3. L'effet du nombre de trous	36
III.4. L'effet du diamètre des trous	41
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	47
BIBLIOGRAPHIE	50

---

**NOMENCLATURE**

<b>Symbole</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
$D_o$	Diamètre des orifices	m
$H_I$	Hauteur initiale de l'eau dans l'évaporateur	m
$H(t)$	Hauteur de l'eau dans l'évaporateur à l'instant t	m
$M_I$	Masse initiale de l'eau dans l'évaporateur	kg
$M(t)$	Masse d'eau dans l'évaporateur à l'instant t	kg
$N_o$	Nombre des orifices	
S	Section du bassin	$m^2$
t	Temps	S
$T_a$	Température de l'air	$^{\circ}C$
$T_e$	Température de l'eau	$^{\circ}C$

<b>Symbole grec</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
$\Delta H$	Variation de la hauteur d'eau	m
$\Delta M$	Masse d'eau évaporée	kg
$\rho$	Masse volumique	$Kg/m^3$
$\Gamma$	Taux d'évaporation	

## LISTE DES FIGURES

Figure II.1. Schéma descriptif de l'installation

Figure II.2. Vue d'ensemble de l'installation

Figure II.3. Les générateurs de tension et afficheur de la température

Figure II.4. Vue intérieure de l'évaporateur

Figure II.5. Le serpentin

Figure II.6. Vue latérale de l'évaporateur

Figure II.7. La sonde thermique

Figure III.1. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $T_a = 160^\circ\text{C}$

Figure III.2. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $T_a = 180^\circ\text{C}$

Figure III.3. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $T_a = 200^\circ\text{C}$

Figure III.4. Influence de la température de l'air  $T_a$  sur la température de l'eau  $T_e$

Figure III.5. Influence de la température de l'air  $T_a$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$

Figure III.6. Influence de la température de l'air  $T_a$  sur la masse évaporée  $\Delta M$

Figure III.7. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $H_l = 4\text{cm}$



Figure III.8. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $H_I = 6\text{cm}$

Figure III.9. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $H_I = 8\text{cm}$

Figure III.10. Influence de la hauteur de l'eau  $H_I$  sur la température de l'eau  $T_e$

Figure III.11. Influence de la hauteur de l'eau  $H_I$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$

Figure III.12. Influence de la hauteur de l'eau  $H_I$  sur la masse évaporée  $\Delta M$

Figure III.13. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $N_O = 60$

Figure III.14. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $N_O = 115$

Figure III.15. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $N_O = 140$

Figure III.16. Influence du nombre de trous  $N_O$  sur la température de l'eau  $T_e$

Figure III.17. Influence du nombre de trous  $N_O$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$

Figure III.18. Influence du nombre de trous  $N_O$  sur la masse évaporée  $\Delta M$

Figure III.19. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $D_O = 2\text{mm}$

Figure III.20. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $D_O = 2.7\text{mm}$ .

Figure III.21. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $D_0 = 4.5\text{mm}$

Figure III.22. Influence du diamètre de trous  $D_0$  sur la température de l'eau  $T_e$

Figure III.23. Influence du diamètre de trous  $D_0$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$

Figure III.24. Influence du diamètre de trous  $D_0$  sur la masse évaporée  $\Delta M$

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau II-1. Les conditions expérimentales

Tableau III-1. Résultats expérimentaux de l'effet de la température de l'air  
chaud

Tableau III-2. Résultats expérimentaux de l'effet de la hauteur de l'eau

Tableau III-3. Résultats expérimentaux de l'effet du nombre de trous

Tableau III-4. Résultats expérimentaux de l'effet du diamètre des trous

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Il existe plusieurs procédés industriels dans lesquels les échanges de chaleur et de masse se font par contact-direct entre une phase gazeuse et une phase liquide.

Parmi ces procédés, citons, humidification, le refroidissement des effluents, l'absorption de gaz, l'évaporation à contact-direct et la concentration.

En particulier, dans l'évaporation à contact-direct le gaz chaud est dispersé sous forme de bulles dans la phase liquide, pour que cette dernière soit chauffée et concentrée (évaporée).

La principale caractéristique de ces évaporateurs à contact-direct est l'absence d'une paroi solide d'échange entre les deux phases.

En comparaison aux autres appareils classiques de transfert de chaleur et de masse, les évaporateurs à contact-direct se caractérisent par les avantages suivants :

- ✓ Une capacité thermique très élevée,
- ✓ Un capital d'investissement réduit,
- ✓ Un coût de maintenance très bas,
- ✓ Une construction très facile et

- ✓ La possibilité de fonctionner avec des solutions très corrosives et encrassantes.

Dans l'industrie, les évaporateurs à contact-direct sont couramment utilisés pour la concentration des solutions hautement corrosives comme les solutions aqueuses d'acide phosphorique, d'acide sulfurique, la soude et les chlorures de calcium ....etc.

Ce travail est une étude expérimentale d'un évaporateur à contact-direct faisant intervenir une phase gazeuse qui est l'air, et l'eau comme phase liquide.

L'évaporateur est une colonne au fond de laquelle, un serpentin percé de trous est placé et qui sert à la génération des bulles d'air.

Le but de cette étude expérimentale est l'analyse des effets de la température de l'air chaud, la hauteur de l'eau (masse d'eau) dans l'évaporateur, le nombre de trous et leurs diamètres sur, la température transitoire de l'eau, le taux d'évaporation et la masse évaporée.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres, le premier chapitre est une recherche bibliographique sur l'évaporation et les évaporateurs à contact-direct.

Le deuxième chapitre présente une description de l'installation avec une démonstration de la procédure des expériences.

Les résultats obtenus et leurs Interprétations sont donnés dans le troisième chapitre. Ces résultats concernent l'influence de la température de l'air chaud, la hauteur d'eau, le nombre de trous et leurs diamètres sur le taux d'évaporation et la température transitoire de l'eau. Enfin, le mémoire est terminé par une conclusion et des recommandations.

**CHAPITRE I**

**ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE**



## **I-1-GENERALITEES SUR L'EVAPORATION DES LIQUIDES**

Le phénomène d'évaporation des liquides intervient dans de nombreux processus industriels. Selon l'utilisation, il existe plusieurs modes d'évaporation tel que l'évaporation d'un film liquide en présence d'un courant d'air s'écoulant sur sa surface. Ce type d'évaporation se manifeste dans le refroidissement des aubes de turbines lors de l'injection du carburant dans les moteurs, les tours de refroidissement, la distillation et le séchage.

Cependant il existe un autre type d'évaporation qui s'agit de l'évaporation d'une phase liquide par injection de gaz (air, gaz de combustion) à travers un système de distribution, autrement dit, le cas de l'évaporateur à contact-direct.

Ce type d'évaporation est appliqué dans la concentration des effluents, l'absorption de gaz et le chauffage des liquides.

## **I-2-HISTORIQUE**

Compte tenu de son importance, l'évaporation des liquides a suscité de nombreux travaux théoriques et expérimentaux. Dans ce qui suit, on cite quelques études publiées concernant ce sujet.

### **I-2-1-EVAPORATION D'UN FILM LIQUIDE**

CHOW et CHUNG [1] ont étudié l'évaporation d'une nappe d'eau dans un courant d'air, d'air humide et de vapeur surchauffée. SHEMBHARKAR et

PAI [2] ont traité l'évaporation d'un film mince en écoulement de Couette sur un plan horizontal soumis à un flux de chaleur en présence d'air humide en convection forcée turbulente, tandis que SUZUKI et al. [3] ont examiné l'influence des ondes surfaciques sur le transfert de masse et de chaleur dans les systèmes diphasiques.

Le cas de l'évaporation d'un film mince liquide dans l'air en convection libre a été traité par YAN et LIN [4] qui ont étudié numériquement l'évaporation d'un film d'éthanol et d'eau ruisselant sur la paroi isotherme d'un tube vertical en convection mixte en tenant compte de la présence d'onde à l'interface. L'étude numérique et expérimentale de l'évaporation d'un film d'éthanol en convection libre sur une surface verticale adiabatique a été conduite par TSAY et al. [5].

Les systèmes binaires liquides ont été particulièrement analysés par BAUMANN et THIELE [6] qui ont considéré un écoulement de gaz chaud contenant deux espèces de vapeur en convection forcée turbulente et un film liquide en écoulement établi dans un tube vertical soumis à un flux de chaleur pariétal. L'étude des convections laminares, forcée et libre de l'air humide sur une surface plate inclinée comportant des zones humides et sèches a été menée par MAMMOU et DAGUENET [7]. La convection mixte turbulente de l'air humide sur les parois humides d'un tube vertical a été étudiée par YAN [8].

AGUNAOUN et al. [9, 10] ont proposé un modèle bidimensionnel de l'évaporation d'un film mince d'eau sur un plan incliné isotherme ou soumis à un flux de chaleur en convection forcée et en convection mixte laminaire en co-courant et contre-courant.

En régime turbulent, YAN et SOONG [11] ont étudié l'évaporation d'un film liquide sur un plan incliné soumis à un flux de chaleur en présence d'un courant d'air humide en utilisant le modèle de Van Driest pour le film liquide et le modèle  $k-\varepsilon$  pour l'air. L'évaporation en convection forcée turbulente d'un film d'eau tombant sur les parois chauffées d'un tube vertical en présence d'un écoulement d'air à contre-courant a fait l'objet de l'étude de HE et al. [12].

L'évaporation d'un film d'eau sur les parois adiabatiques d'un tube vertical en convection mixte laminaire avec un écoulement d'air co-courant est traitée dans l'article de FEDDAOUI et al. [13].

Les influences de l'inclinaison de la plaque et du débit initial sur les transferts de chaleur et de masse d'un film liquide sur une plaque isotherme ou à flux de chaleur imposé, ont été examinées par MEZAACHE et DAGUENET [14, 15].

Une étude théorique de l'évaporation dans un courant d'air humide laminaire d'un film liquide non-newtonien de type d'Ostwald de-Waele ruisselant sur un plan incliné isotherme, adiabatique et chauffée par énergie solaire, a été traitée par SAOULI [16, 17].

## **I-2-2- EVAPORATION D'UN VOLUME DE LIQUIDE**

Le concept de l'évaporation à contact-direct est connu depuis le 19<sup>ème</sup> siècle, où la plupart des études expérimentales sont dirigés vers la concentration des solutions dont le traitement dans les évaporateurs conventionnels est difficile [18].

Cependant, la seule estimation valable des opérations dynamiques de l'évaporateur à contact-direct est celle présentée par QUEIROZ [19], qui a travaillé sur les gaz de combustion comme phase dispersée et un mélange d'eau et une solution aqueuse de chlorure de sodium, comme phase liquide.

Un nouveau modèle d'évaporateur à contact-direct est développé par COMPOS et LAGE [20] qui permet la prédiction des gaz levés dans les systèmes non- isothermes.

CLAUDIO et al. [21] ont proposé une théorie des procédés de transfert de chaleur et de masse qui ont lieu dans les systèmes d'évaporateurs à contact-direct. Ils ont montré l'influence de la vitesse de l'air et le type de diffuseur sur les profils transitoires de la température de l'eau, le taux d'évaporation, la taille des bulles.

Plus récemment, une étude théorique et expérimentale de l'évaporation d'un système air-solution aqueuse d'acétate d'éthyle a fait l'objet de l'étude de CLAUDIO et al. [22]. Ils ont trouvé que le calcul des valeurs transitoires de la température de l'eau, la hauteur des bulles et la concentration de l'acétate d'éthyle dans le liquide est en bon accord avec les résultats expérimentaux, sauf en ce qui concerne le taux d'évaporation.

## **CHAPITRE II**

### **ETUDE EXPERIMENTALE**

## II-1-DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Le dispositif utilisé pour la réalisation de cette étude expérimentale de l'évaporation de l'eau dans un bassin d'épandage est illustré sur la figure II.1.

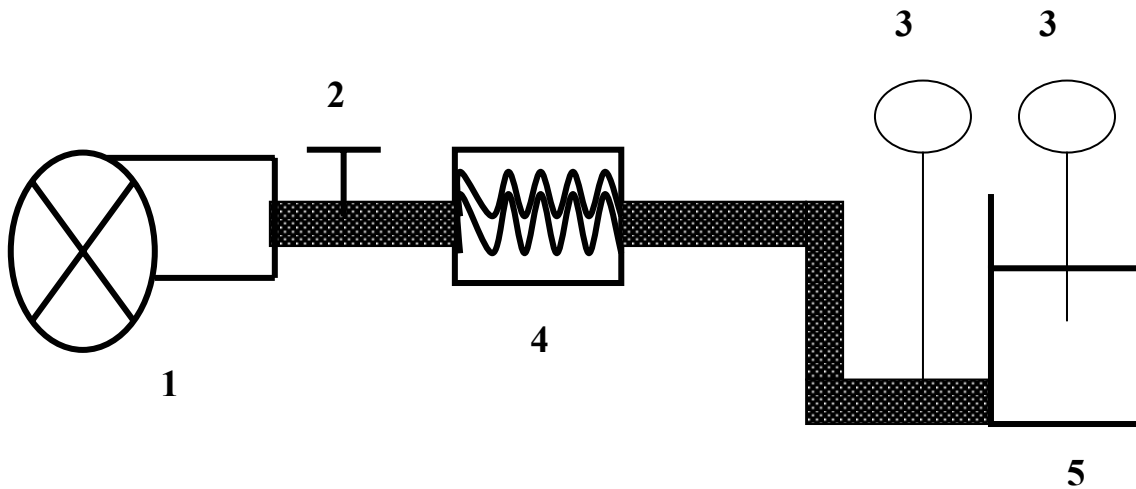
L'installation comporte trois éléments, un ventilateur centrifuge, un four électrique et un bassin d'épandage. Ces éléments sont connectés par un tube cylindrique en acier.

Le ventilateur centrifuge est utilisé pour aspirer l'air ambiant et l'envoyer dans une conduite en acier de longueur 46 cm et de diamètre 7 cm vers un serpentin placé au fond du bassin. Au début de cette conduite, une vanne est placée pour maintenir le débit de l'air constant.

A mi-chemin, un four électrique est installé où cet air sera chauffé à la température désirée. Ce four contient deux résistances électriques d'une puissance totale de 4000 W, l'obtention de la température désirée est assurée par l'ajustement des générateurs de tension.

La mesure de la température de l'air chaud se fait au moyen d'une sonde thermique qui est placée juste avant le bassin et est connectée à un afficheur digital de température.

Le bassin est un récipient cylindrique en plastique de 25 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur dans lequel le serpentin est placé au fond. Ce dernier est un tube en plastique de 70 cm de longueur et de 8 mm de diamètre, percé de trous à travers lesquels les bulles d'air sont générées.



**Figure II.1. Schéma descriptif de l'installation : (1) ventilateur centrifuge, (2) vanne, (3) thermocouples, (4) four électrique, (5) bassin d'épandage**

## **II-2-INSTRUMENTS DE MESURE**

Le prototype permet d'étudier l'influence des conditions opératoires sur les évolutions transitoires des grandeurs tel que, la température de l'eau dans l'évaporateur, le taux d'évaporation et la masse évaporée.

### **II-2-1-MESURE DE LA TEMPERATURE DE L'EAU**

La mesure de la température de l'eau dans l'évaporateur est effectuée à l'aide d'une sonde thermique plongée dans le volume d'eau et connectée à un afficheur digital de température.



**Figure II.2. Vue d'ensemble de l'installation expérimentale**

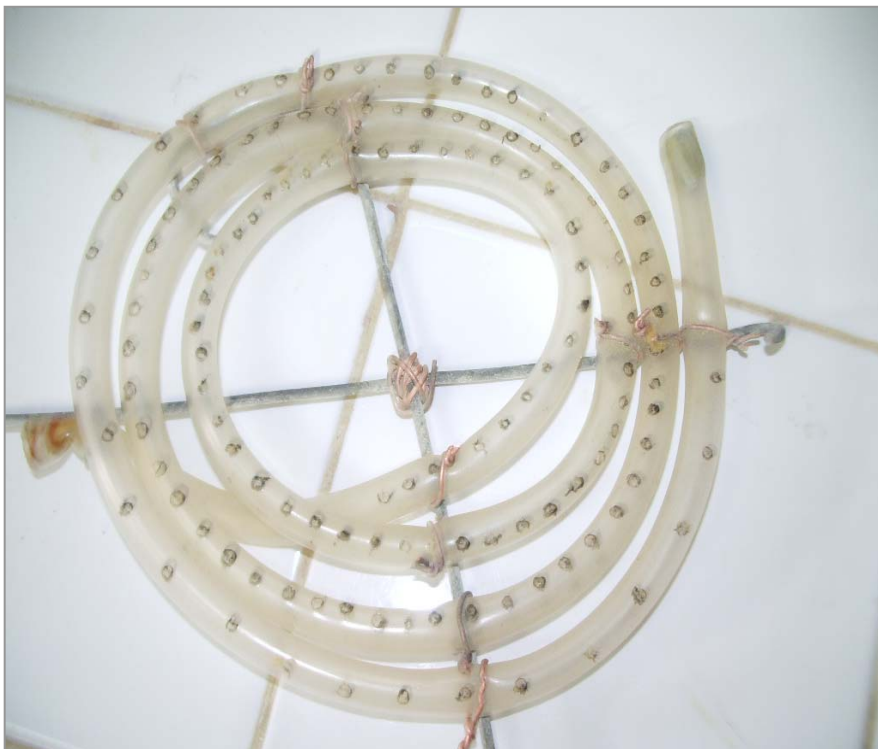


**Figure II.3. Les générateurs de tension et afficheur de la température**





**Figure II.4. Vue intérieure de l'évaporateur**



**Figure II.5. Le serpentin**



**Figure II.6. Vue latérale de l'évaporateur**



**Figure II.7. La sonde thermique**

## **II-2-2-MESURE DE LA HAUTEUR DE L'EAU**

La mesure de la hauteur de l'eau durant toutes les expériences est effectuée au moyen d'une règle graduée et fixée sur le côté du bassin.

## **II-3-PROCEDURE EXPERIMENTALE**

Au début de chaque expérience, on met le ventilateur en marche et on ajuste la vanne de sorte que le débit reste constant durant l'expérience.

Les générateurs électriques alimentant le four sont ajustés afin d'obtenir la valeur désirée de la température de l'air à l'entrée de l'évaporateur. Ce dernier est rempli d'eau à une hauteur bien définie. La formation des bulles d'air commence dès l'arrivée de l'air dans le serpentin, déclenchant ainsi le chauffage de l'eau et ensuite son évaporation.

Le tableau II-1 résume les valeurs des paramètres utilisées durant les tests expérimentaux et qui sont la hauteur et la masse initiales de l'eau dans l'évaporateur, la température de l'air, le nombre de trous et leurs diamètres.

**TABLEAU II-1 : LES CONDITIONS EXPERIMENTALES**

<b>Tests</b>	<b>H<sub>I</sub> (cm)</b>	<b>M<sub>I</sub> (kg)</b>	<b>Ta (°C)</b>	<b>N<sub>O</sub></b>	<b>D<sub>O</sub> (mm)</b>
1	6	2.94	160	60	2.7
	6	2.94	180	60	2.7
	6	2.94	200	60	2.7
2	4	1.96	200	60	2.7
	6	2.94	200	60	2.7
	8	3.92	200	60	2.7
3	6	2.94	200	60	2.7
	6	2.94	200	115	2.7
	6	2.94	200	140	2.7
4	6	2.94	200	60	2.0
	6	2.94	200	60	2.7
	6	2.94	200	60	4.5

### II-3-1-CALCUL DU TAUX D'EVAPORATION

Connaissons la hauteur initiale de l'eau  $H_1$  dans l'évaporateur et la hauteur à l'instant  $t$ ,  $H(t)$ , on peut calculer le taux d'évaporation par la relation suivante:

$$\Gamma = \frac{\Delta H}{H_1} = \frac{H_1 - H(t)}{H_1} \quad (\text{II.1})$$

### II-3-2-CALCUL DE LA QUANTITE D'EAU EVAPOREE

La masse d'eau évaporée est calculée d'après la formule suivante :

$$\Delta M = M_1 - M(t) \quad (\text{II.2})$$

où  $M_1 = \rho S H_1$ ,  $M(t) = \rho S H(t)$  sont respectivement la masse initiale et la masse à l'instant  $t$  de l'eau dans l'évaporateur. La masse volumique de l'eau  $\rho$  ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) est supposée constante dans l'intervalle des températures obtenues ( $10 \text{ }^\circ\text{C}$ - $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et  $S$  est la section de l'évaporateur.

## **CHAPITRE III**

### **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

Les résultats présentés dans ce chapitre sont relatifs aux différents paramètres qui influent sur la température de l'eau  $T_e$ , le taux d'évaporation  $\Gamma$  et la masse évaporée  $\Delta M$  et qui sont la température de l'air chaud  $T_a$ , la hauteur initiale de l'eau contenu dans l'évaporateur  $H_I$ , le nombre de trous  $N_O$  et leurs diamètres  $D_O$ .

### **III-1-L'EFFET DE LA TEMPERATURE DE L'AIR CHAUD**

Dans cette expérience, la hauteur initiale de l'eau  $H_I$  est de 6 cm correspondant à une masse d'eau  $M_I$  de 2,94 kg. Le serpentin contient 60 trous de diamètre  $D_O=2,7$  mm chacun.

Les figures III.1, III.2 et III.3 illustrent les profils de la température de l'eau  $T_e$  et le taux d'évaporation  $\Gamma$  en fonction du temps. Il est clair que la température de l'eau augmente au cours du temps et tend vers une limite quasi-stationnaire.

Le taux d'évaporation commence d'une valeur nulle au début de l'expérience et augmente d'une façon monotone.

L'influence de la température de l'air chaud  $T_a$  sur la température de l'eau  $T_e$ , le taux d'évaporation  $\Gamma$  et la masse évaporée  $\Delta M$  est illustrée sur les figures III.4, III.5 et III.6. L'augmentation de la température de l'air chauffe d'avantage l'eau et favorise l'évaporation. Physiquement, ce résultat peut être expliqué comme suit :

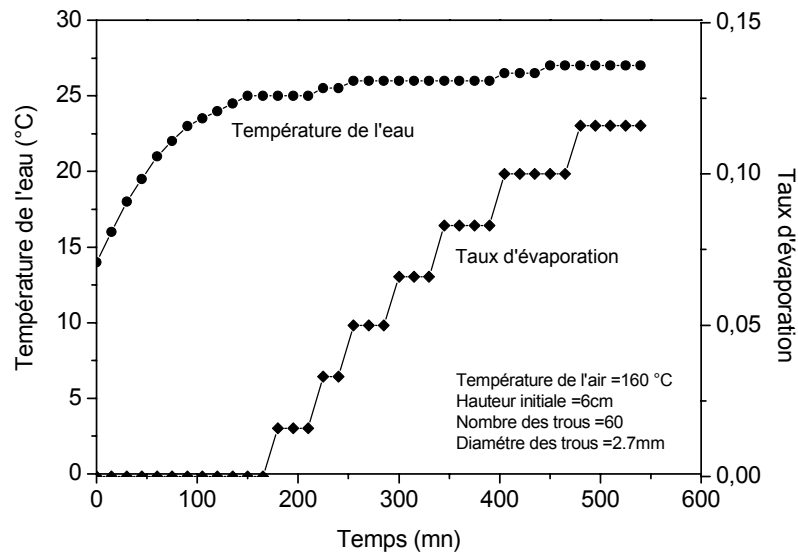
Lors du contact des bulles d'air chaud avec l'eau contenue dans l'évaporateur, l'énergie qu'elles transportent se transforme en une énergie sensible augmentant la température de l'eau et une énergie latente déclenchant le phénomène d'évaporation.

Le régime quasi-stationnaire que présente l'allure de la température de l'eau est dû au fait qu'une partie de l'énergie transportée par les bulles d'air ne sert plus à chauffer l'eau mais, à compenser les pertes thermiques vers l'extérieur. Cependant l'autre partie continue à maintenir l'évaporation.

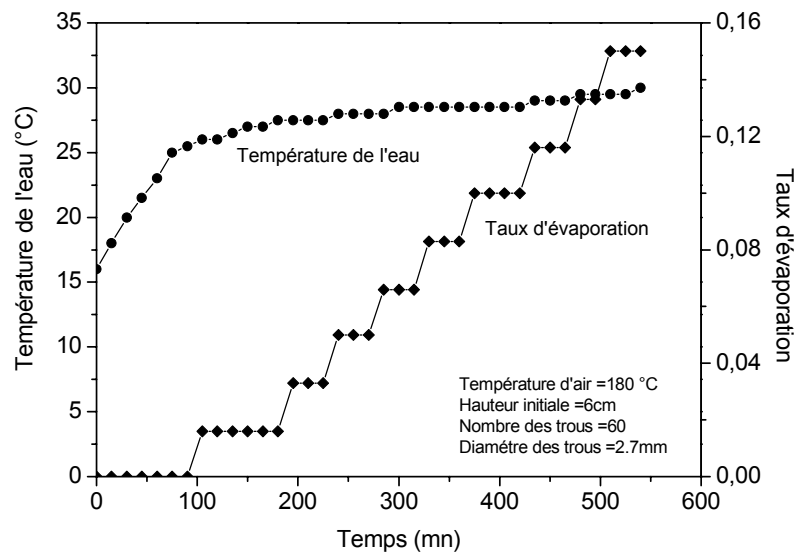


**TABLEAU III-1 : RESULTATS EXPERIMENTAUX DE L'EFFET DE LA TEMPERATURE DE L'AIR CHAUD**

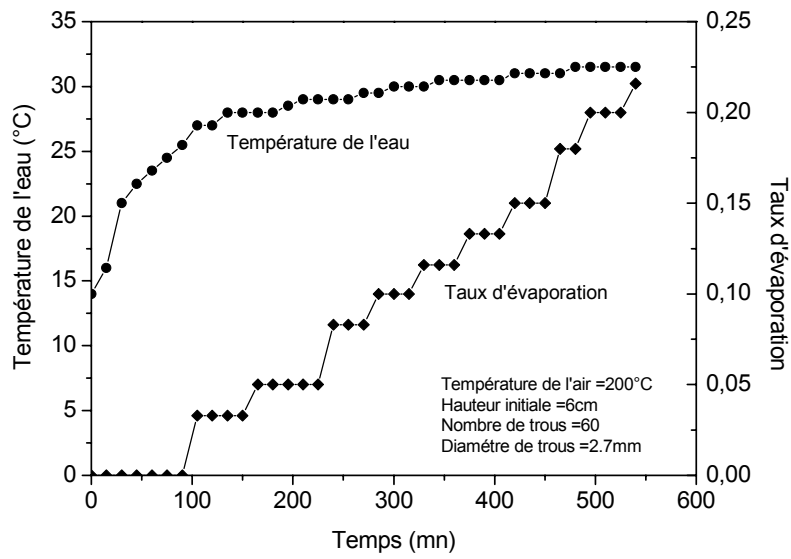
t (mn)	Te (°C)			$\Delta H/H_i$			$\Delta M(\text{kg})$		
	Ta=160°C	Ta=180°C	Ta=200°C	Ta=160°C	Ta=180°C	Ta=200°C	Ta=160°C	Ta=180°C	Ta=200°C
15	16	18	16	0	0	0	0	0	0
30	18	20	21	0	0	0	0	0	0
45	19.5	21.5	22.5	0	0	0	0	0	0
60	21	23	23.5	0	0	0	0	0	0
75	22	25	24.5	0	0	0	0	0	0
90	23	25.5	25.5	0	0	0	0	0	0
105	23.5	26	27	0	0.016	0.033	0	0.046	0.097
120	24	26	27	0	0.016	0.033	0	0.046	0.097
135	24.5	26.5	28	0	0.016	0.033	0	0.046	0.097
150	25	27	28	0	0.016	0.033	0	0.046	0.097
165	25	27	28	0	0.016	0.05	0	0.046	0.147
180	25	27.5	28	0.016	0.016	0.05	0.046	0.046	0.147
195	25	27.5	28.5	0.016	0.033	0.05	0.046	0.097	0.147
210	25	27.5	29	0.016	0.033	0.05	0.046	0.097	0.147
225	25	27.5	29	0.033	0.033	0.05	0.095	0.097	0.147
240	25.5	28	29	0.033	0.05	0.083	0.095	0.147	0.243
255	25.5	28	29	0.05	0.05	0.083	0.144	0.147	0.243
270	26	28	29.5	0.05	0.05	0.083	0.144	0.147	0.243
285	26	28	29.5	0.05	0.066	0.1	0.144	0.193	0.294
300	26	28.5	30	0.066	0.066	0.1	0.193	0.193	0.294
315	26	28.5	30	0.066	0.066	0.1	0.193	0.193	0.294
330	26	28.5	30	0.066	0.083	0.1	0.193	0.243	0.294
345	26	28.5	30.5	0.083	0.083	0.116	0.243	0.243	0.341
360	26	28.5	30.5	0.083	0.083	0.116	0.243	0.243	0.341
375	26	28.5	30.5	0.083	0.083	0.116	0.243	0.243	0.341
390	26	28.5	30.5	0.083	0.1	0.116	0.243	0.294	0.341
405	26.5	28.5	30.5	0.1	0.1	0.133	0.292	0.294	0.39
420	26.5	28.5	31	0.1	0.1	0.133	0.292	0.294	0.39
435	26.5	29	31	0.1	0.116	0.15	0.292	0.341	0.441
450	27	29	31	0.1	0.116	0.15	0.292	0.341	0.441
465	27	29	31	0.1	0.116	0.18	0.292	0.341	0.533
480	27	29.5	31.5	0.116	0.133	0.18	0.341	0.39	0.533
495	27	29.5	31.5	0.116	0.133	0.2	0.341	0.39	0.588
510	27	29.5	31.5	0.116	0.133	0.2	0.341	0.39	0.588
525	27	29.5	31.5	0.116	0.15	0.216	0.341	0.441	0.63
540	27	30	31.5	0.116	0.15	0.216	0.341	0.441	0.63



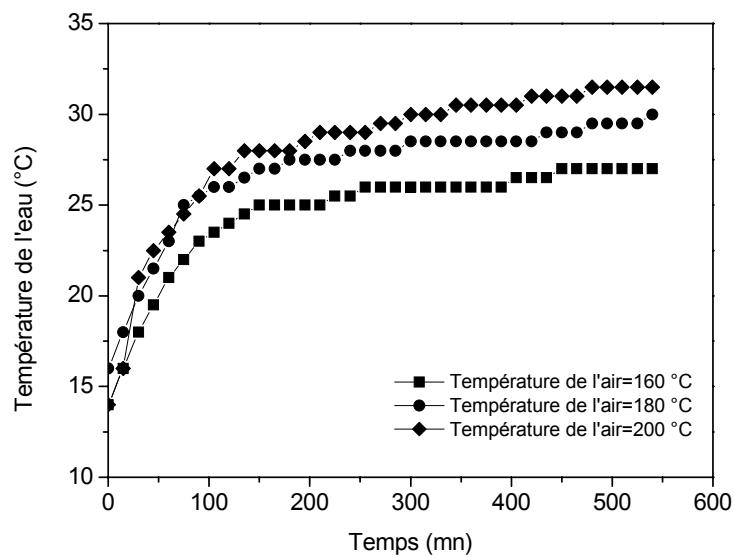
**Figure III.1. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $T_a = 160^\circ\text{C}$**



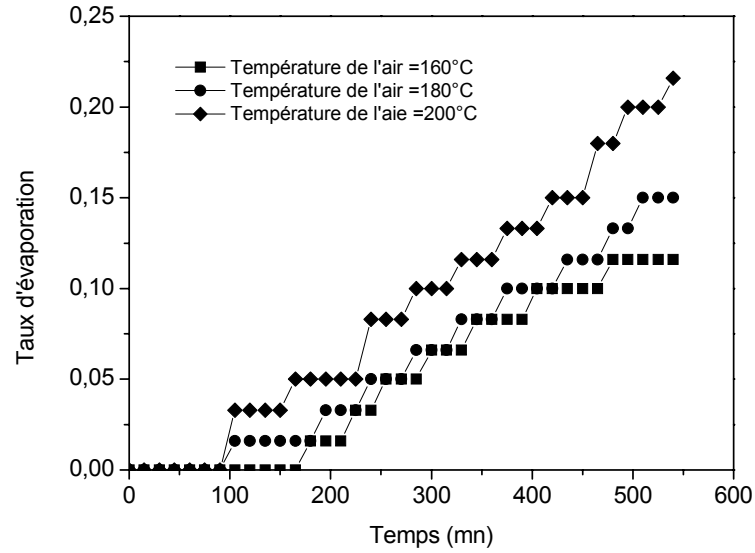
**Figure III.2. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $T_a = 180^\circ\text{C}$**



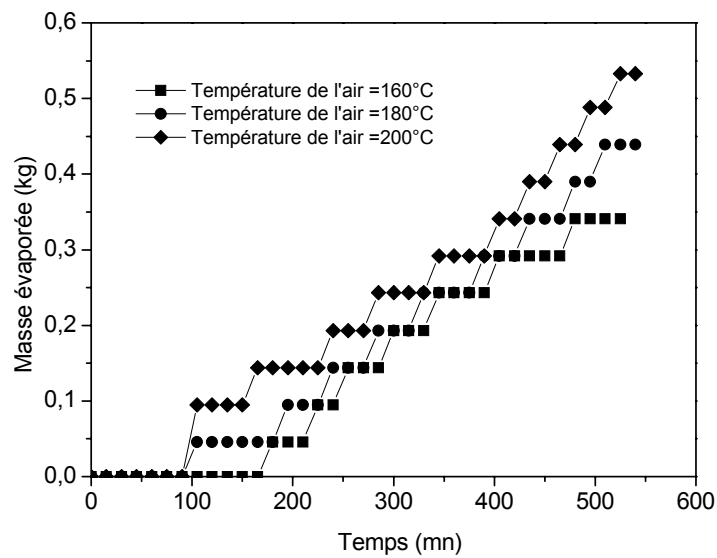
**Figure III.3. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $T_a = 200^\circ\text{C}$**



**Figure III.4. Influence de la température de l'air  $T_a$  sur la température de l'eau  $T_e$**



**Figure III.5. Influence de la température de l'air  $T_a$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$**



**Figure III.6. Influence de la température de l'air  $T_a$  sur la masse évaporée  $\Delta M$**

### **III-2 – L’EFFET DE LA HAUTEUR DE L’EAU DANS L’EVAPORATEUR**

Dans cette expérience, la température de l’air  $T_a$  est à 200 °C, le nombre de trous  $N_o$  est de 60 avec un diamètre  $D_o$  de 2,7 mm chacun.

Les figures III.7, III.8 et III.9 montrent les variations de la température de l’eau  $T_e$  et le taux d’évaporation  $\Gamma$ .

La température de l’eau augmente au cours du temps et tend vers une limite quasi-stationnaire.

Le taux d’évaporation commence d’une valeur nulle au début et augmente à fur et à mesure que l’expérience continue.

L’influence de la hauteur initiale de l’eau  $H_i$  dans l’évaporateur sur la température de l’eau  $T_e$ , le taux d’évaporation  $\Gamma$  et la masse évaporée  $\Delta M$  est très claire sur les figures III.10, III.11 et III.12. La réduction de la hauteur initiale de l’eau favorise le chauffage et l’évaporation.

Comme la masse d’eau contenue dans le bassin est réduite, le temps de transition est plus court que dans le cas d’une masse importante. Cela explique le chauffage rapide de l’eau dans le bassin et le taux élevé d’évaporation.

**TABLEAU III-2: RESULTATS EXPERIMENTAUX DE L'EFFET DE LA HAUTEUR DE L'EAU**

t (mn)	Te (°C)			$\Delta H/H_t$			$\Delta M$ (kg)		
	$H_t=4\text{cm}$	$H_t=6\text{cm}$	$H_t=8\text{cm}$	$H_t=4\text{cm}$	$H_t=6\text{cm}$	$H_t=8\text{cm}$	$H_t=4\text{cm}$	$H_t=6\text{cm}$	$H_t=8\text{cm}$
0	15	14	15	0	0	0	0	0	0
15	19	16	16	0	0	0	0	0	0
30	23	21	16.5	0	0	0	0	0	0
45	27	22.5	17	0	0	0	0	0	0
60	30	23.5	18	0.025	0	0	0.049	0	0
75	31	24.5	18.5	0.025	0	0	0.049	0	0
90	31.5	25.5	19	0.05	0	0	0.1	0	0
105	31.5	27	19	0.05	0.033	0	0.1	0.097	0
120	32	27	20.5	0.05	0.033	0	0.1	0.097	0
135	32.5	28	21	0.075	0.033	0	0.15	0.097	0
150	32.5	28	21.5	0.075	0.033	0	0.15	0.097	0
165	32.5	28	21.5	0.1	0.05	0	0.2	0.147	0
180	32.5	28	22	0.1	0.05	0.0125	0.2	0.147	0.05
195	32.5	28.5	22	0.1	0.05	0.0125	0.2	0.147	0.05
210	32.5	29	22	0.125	0.05	0.0125	0.25	0.147	0.05
225	32.5	29	22	0.125	0.05	0.0125	0.25	0.147	0.05
240	32.5	29	22	0.15	0.083	0.025	0.3	0.243	0.1
255	32.5	29	22.5	0.15	0.083	0.025	0.3	0.243	0.1
270	32.5	29.5	22.5	0.15	0.083	0.025	0.3	0.243	0.1
285	32.5	29.5	22.5	0.175	0.1	0.025	0.35	0.294	0.1
300	32.5	30	23	0.175	0.1	0.025	0.35	0.294	0.1
315	32.5	30	23	0.2	0.1	0.025	0.4	0.294	0.1
330	32.5	30	23	0.2	0.1	0.025	0.4	0.294	0.1
345	32.5	30.5	23	0.2	0.116	0.025	0.4	0.341	0.1
360	32.5	30.5	23	0.225	0.116	0.025	0.45	0.341	0.1
375	32.5	30.5	23.5	0.225	0.116	0.025	0.45	0.341	0.1
390	32.5	30.5	23.5	0.25	0.116	0.038	0.5	0.341	0.145
405		30.5	23.5		0.133	0.038		0.39	0.145
420		31	24		0.133	0.038		0.39	0.145
435		31	24		0.15	0.038		0.441	0.145
450		31	24		0.15	0.038		0.441	0.145
465		31	24		0.18	0.038		0.533	0.145
480		31.5	24		0.18	0.05		0.533	0.2
495		31.5	24		0.2	0.05		0.588	0.2
510		31.5	24		0.2	0.05		0.588	0.2
525		31.5	24		0.216	0.05		0.63	0.2
540		31.5	24		0.216	0.05		0.63	0.2

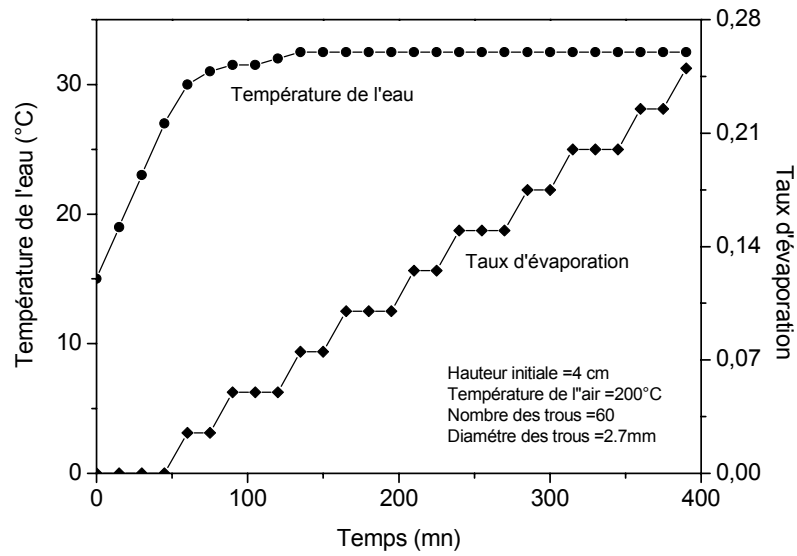


Figure III.7. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $H_1 = 4\text{cm}$

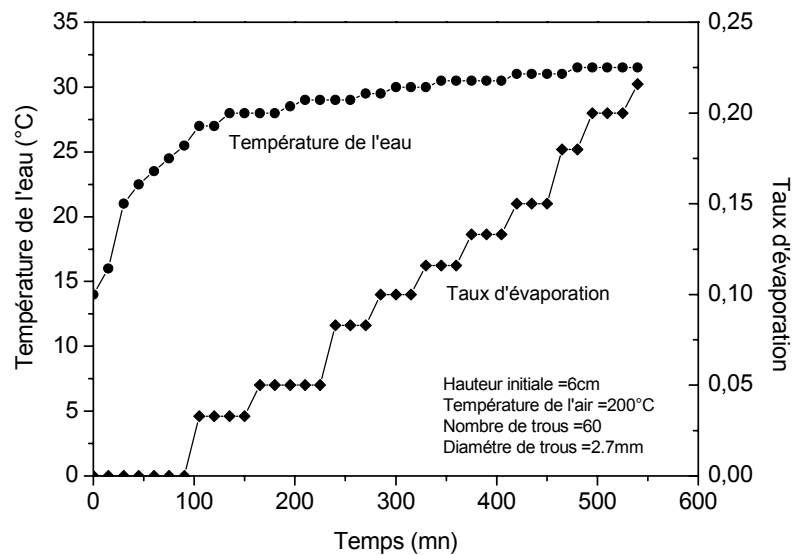
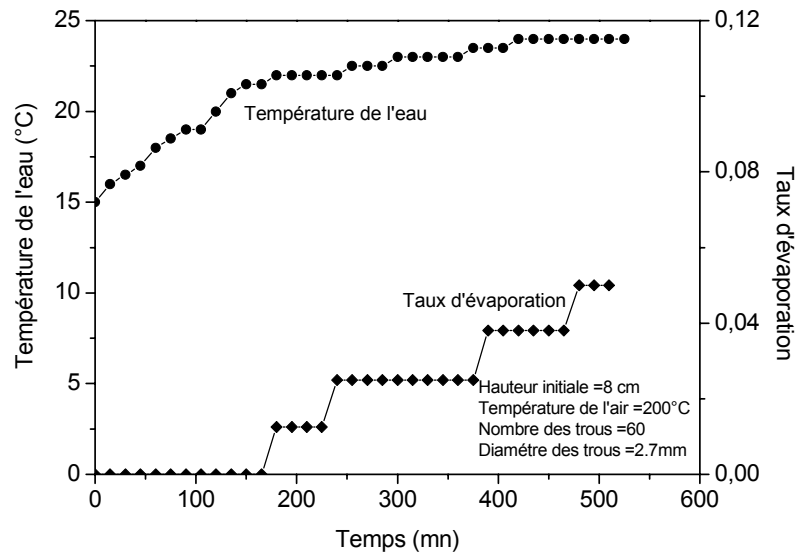
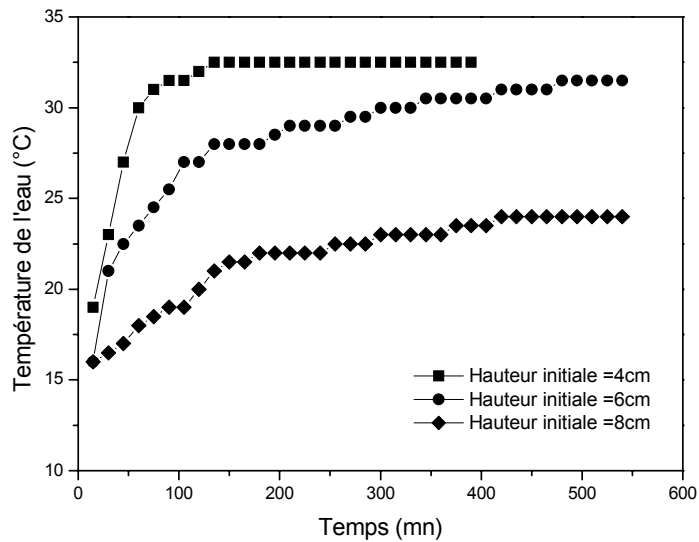


Figure III.8. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $H_1 = 6\text{cm}$

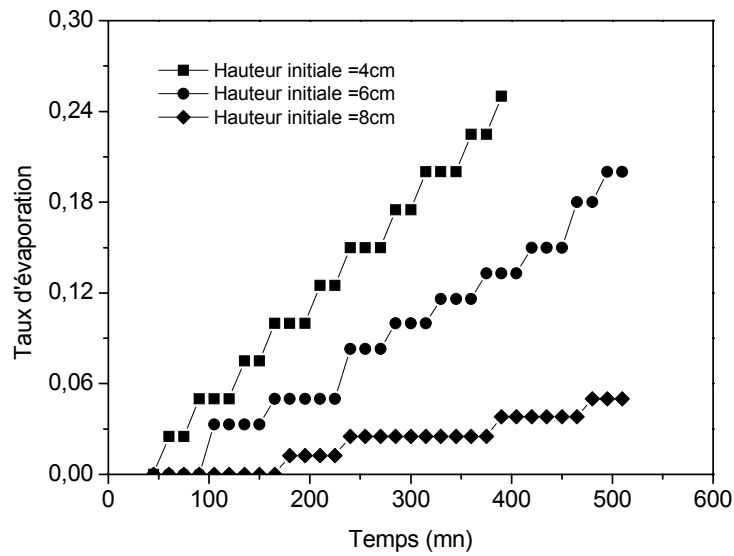


**Figure III.9. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $H_1 = 8\text{cm}$**

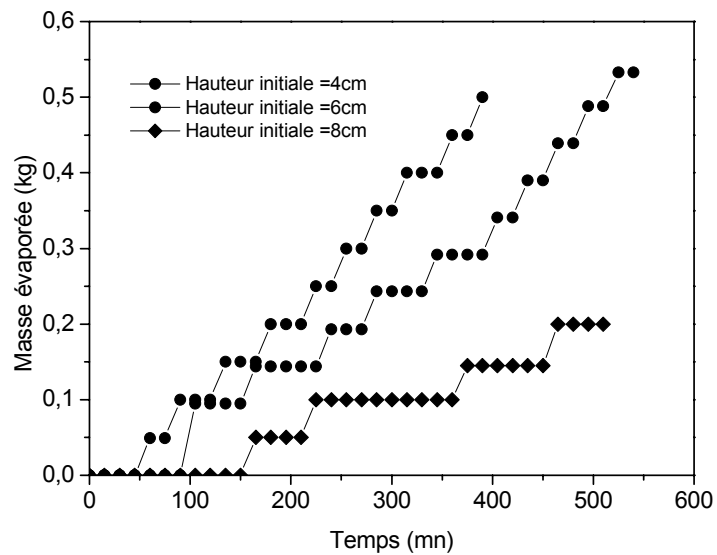


**Figure III.10. Influence de la hauteur de l'eau  $H_1$  sur la température de l'eau  $T_e$**





**Figure III.11. Influence de la hauteur de l'eau  $H_1$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$**



**Figure III.12. Influence de la hauteur de l'eau  $H_1$  sur la masse évaporée  $\Delta M$**

### III-3 – L’EFFET DU NOMBRE DE TROUS

Dans cette expérience, la hauteur initiale de l’eau  $H_I$  est de 6 cm correspondant à une masse d’eau  $M_I$  de 2,94 kg.. La température de l’air  $T_a$  est 200 °C et le diamètre des trous  $D_O$  est de 2,7 mm chacun.

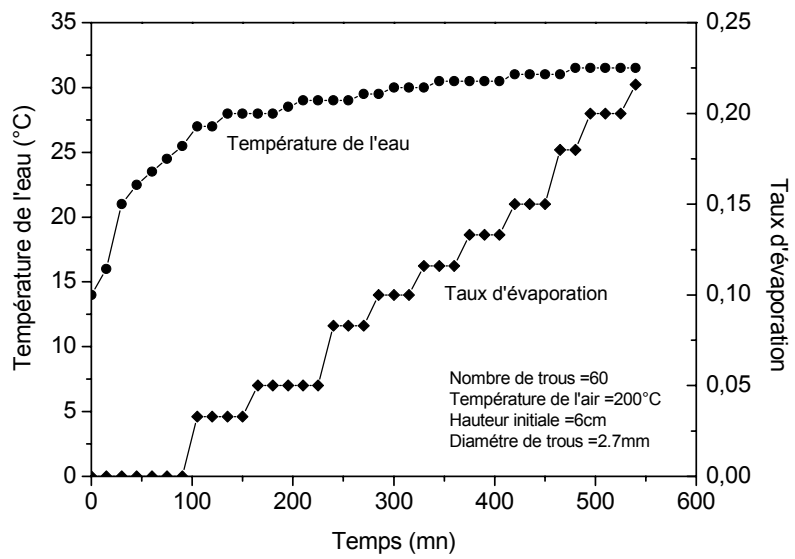
Les figures III.13, III.14 et III.15 montrent les profils de température d’eau  $T_e$  et le taux d’évaporation  $\Gamma$  en fonction du temps.

La température de l’eau augmente avec le temps et tend vers une valeur quasi-stationnaire. L’évaporation commence d’une valeur nulle et augmente à fur et à mesure que l’expérience continue.

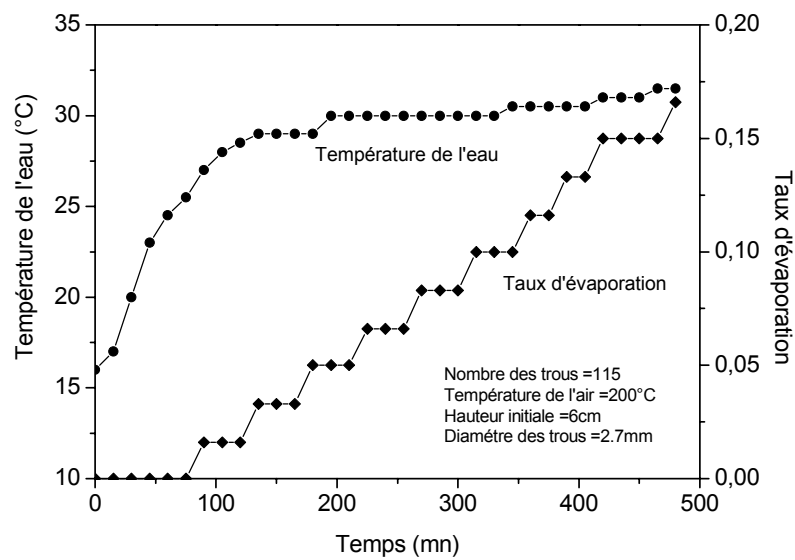
L’influence du nombre de trous  $N_O$  semble très faible sur les évolutions de la température de l’eau  $T_e$ , le taux d’évaporation  $\Gamma$  et la masse évaporée  $\Delta M$ , ce qui est illustré sur les figures III.16, III.17 et III.18.

**TABLEAU III-3 : RESULTATS EXPERIMENTAUX DE L'EFFET DU NOMBRE DE TROUS**

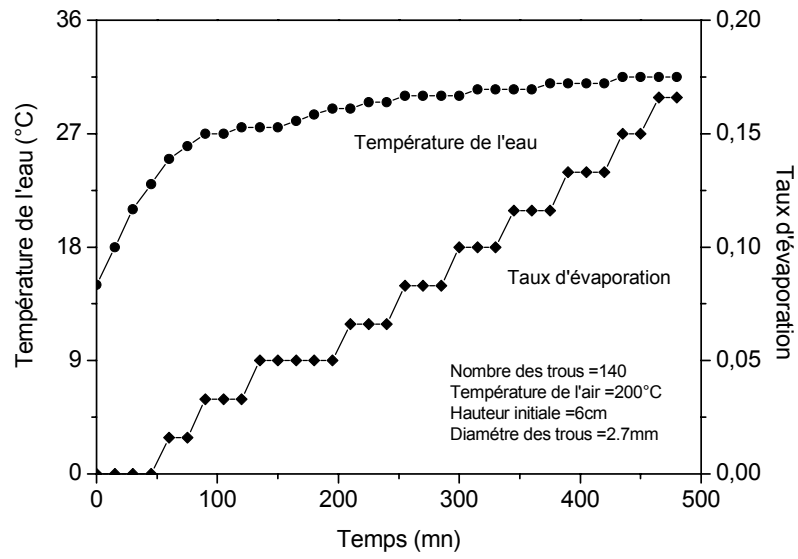
t (mn)	Te (°C)			$\Delta H/H_t$			$\Delta M$ (kg)		
	N <sub>o</sub> =60	N <sub>o</sub> =115	N <sub>o</sub> =140	N <sub>o</sub> =60	N <sub>o</sub> =115	N <sub>o</sub> =140	N <sub>o</sub> =60	N <sub>o</sub> =115	N <sub>o</sub> =140
15	16	17	18	0	0	0	0	0	0
30	21	20	21	0	0	0	0	0	0
45	22.5	23	23	0	0	0	0	0	0
60	23.5	24.5	25	0	0	0.016	0	0	0.046
75	24.5	25.5	26	0	0	0.016	0	0	0.046
90	25.5	27	27	0	0.016	0.033	0	0.046	0.097
105	27	28	27	0.033	0.016	0.033	0.097	0.046	0.097
120	27	28.5	27.5	0.033	0.016	0.033	0.097	0.046	0.097
135	28	29	27.5	0.033	0.033	0.05	0.097	0.097	0.147
150	28	29	27.5	0.033	0.033	0.05	0.097	0.097	0.147
165	28	29	28	0.05	0.033	0.05	0.147	0.097	0.147
180	28	29	28.5	0.05	0.05	0.05	0.147	0.147	0.147
195	28.5	30	29	0.05	0.05	0.05	0.147	0.147	0.147
210	29	30	29	0.05	0.05	0.066	0.147	0.147	0.193
225	29	30	29.5	0.05	0.066	0.066	0.147	0.193	0.193
240	29	30	29.5	0.083	0.066	0.066	0.243	0.193	0.193
255	29	30	30	0.083	0.066	0.083	0.243	0.193	0.243
270	29.5	30	30	0.083	0.083	0.083	0.243	0.243	0.243
285	29.5	30	30	0.1	0.083	0.083	0.294	0.243	0.243
300	30	30	30	0.1	0.083	0.1	0.294	0.243	0.294
315	30	30	30.5	0.1	0.1	0.1	0.294	0.294	0.294
330	30	30	30.5	0.1	0.1	0.1	0.294	0.294	0.294
345	30.5	30	30.5	0.116	0.1	0.116	0.341	0.294	0.341
360	30.5	30.5	30.5	0.116	0.116	0.116	0.341	0.341	0.341
375	30.5	30.5	31	0.116	0.116	0.116	0.341	0.341	0.341
390	30.5	30.5	31	0.116	0.133	0.133	0.341	0.39	0.39
405	30.5	30.5	31	0.133	0.133	0.133	0.39	0.39	0.39
420	31	31	31	0.133	0.15	0.133	0.39	0.441	0.39
435	31	31	31.5	0.15	0.15	0.15	0.441	0.441	0.441
450	31	31	31.5	0.15	0.15	0.15	0.441	0.441	0.441
465	31	31.5	31.5	0.18	0.15	0.166	0.533	0.441	0.488
480	31.5	31.5	31.5	0.18	0.166	0.166	0.533	0.488	0.488



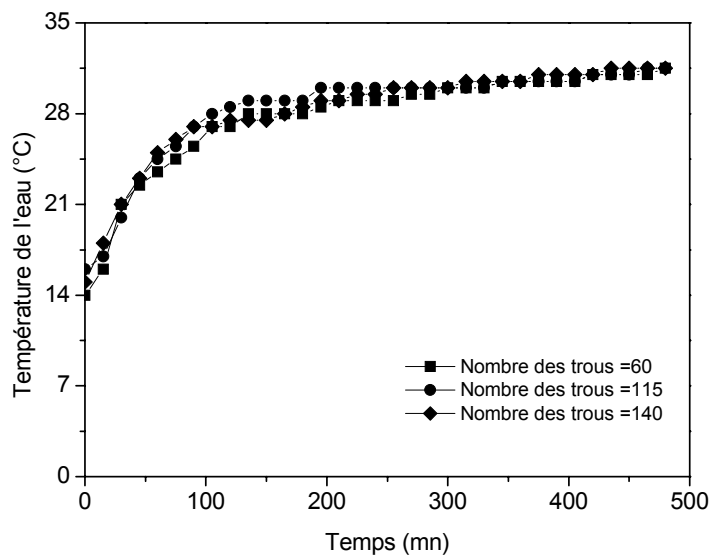
**Figure III.13. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $N_0 = 60$**



**Figure III.14. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $N_0 = 115$**



**Figure III.15. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $N_O = 140$**



**Figure III.16. Influence du nombre de trous  $N_O$  sur la température de l'eau  $T_e$**

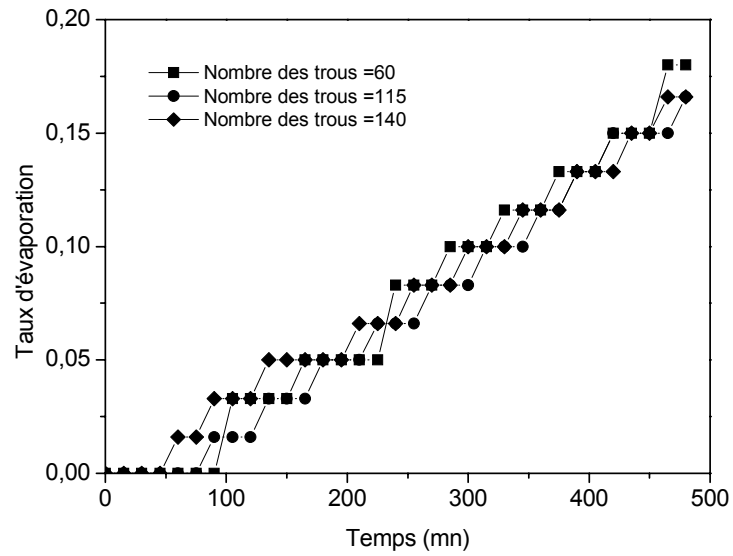


Figure III.17. Influence du nombre de trous  $N_0$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$

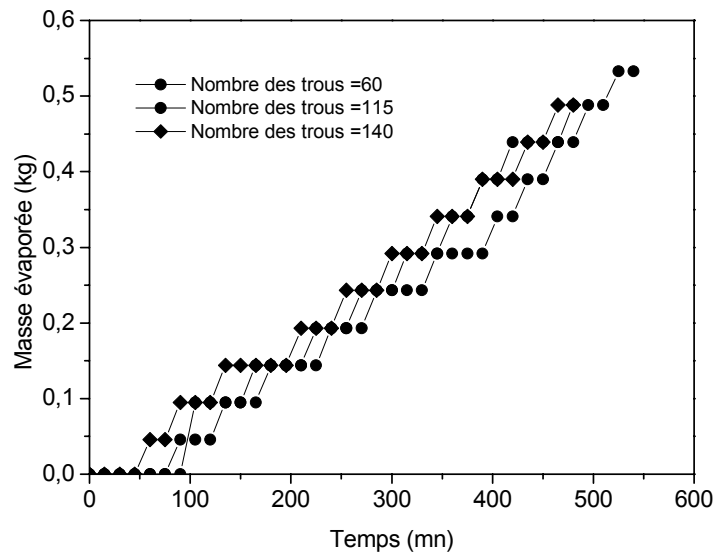


Figure III.18. Influence du nombre de trous  $N_0$  sur la masse évaporée  $\Delta M$

### III-4 – L’EFFET DU DIAMETRE DES TROUS

Dans cette expérience, on fixe la température de l’air  $T_a$  à  $200^\circ\text{C}$ , la hauteur initiale  $H_I$  de l’eau à 6 cm correspondant à une quantité d’eau  $M_I$  de 2,94 kg. Le nombre de trous  $N_O$  dans cette expérience est de 60.

Les figures III.19, III.20 et III.21 montrent les profils de la température  $T_e$  de l’eau et le taux d’évaporation  $\Gamma$  en fonction du temps.

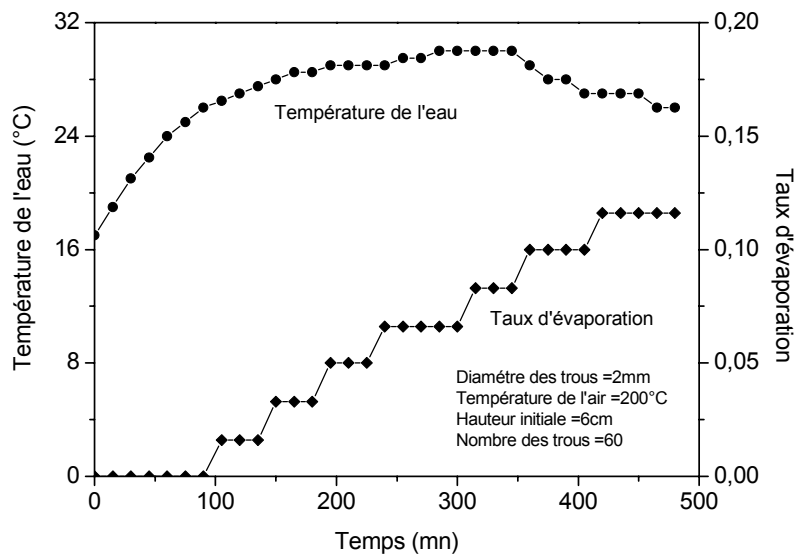
La température de l’eau augmente au cours du temps et tend vers une valeur quasi-stationnaire, sauf dans le cas où le diamètre est égal à 2 mm, on constate que la température décroît en fin de l’expérience.

Les figures III.22, III.23 et III.24 montrent l’influence du diamètre des trous  $D_O$  sur les évolutions de la température de l’eau  $T_e$ , le taux d’évaporation  $\Gamma$  et la masse évaporée  $\Delta M$ . Cependant, cette influence semble être très faible.

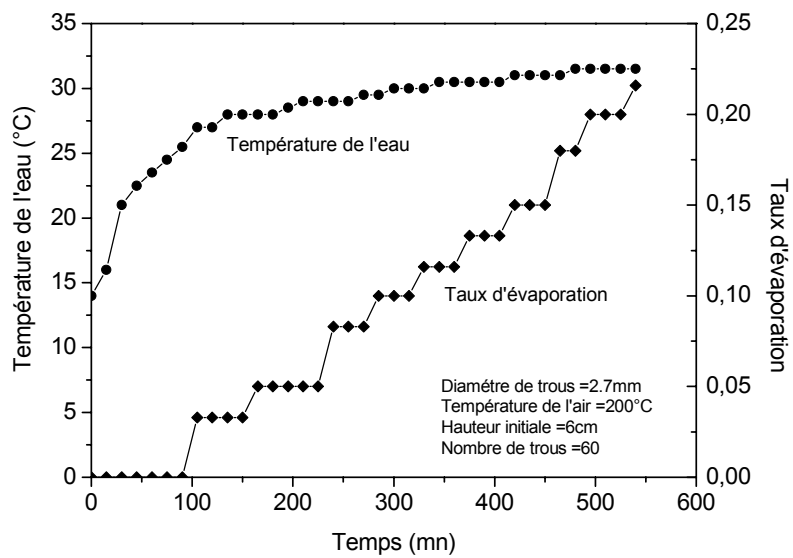
**TABLEAU III-4 :RESULTATS EXPERIMENTAUX DE L'EFFET DU  
DIAMETRE DE TROUS**

t (mn)	Te (°C)			$\Delta H/H_1$			$\Delta M$ (kg)		
	D <sub>o</sub> =2.0mm	D <sub>o</sub> =2.7mm	D <sub>o</sub> =4.5mm	D <sub>o</sub> =2.0mm	D <sub>o</sub> =2.7mm	D <sub>o</sub> =4.5mm	D <sub>o</sub> =2.0mm	D <sub>o</sub> =2.7mm	D <sub>o</sub> =4.5mm
15	19	16	19	0	0	0	0	0	0
30	21	21	22	0	0	0	0	0	0
45	22.5	22.5	24	0	0	0	0	0	0
60	24	23.5	26	0	0	0	0	0	0
75	25	24.5	27	0	0	0.016	0	0	0.046
90	26	25.5	28	0	0	0.016	0	0	0.046
105	26.5	27	29	0.016	0.033	0.016	0.046	0.097	0.046
120	27	27	29	0.016	0.033	0.033	0.046	0.097	0.097
135	27.5	28	29	0.016	0.033	0.033	0.046	0.097	0.097
150	28	28	30	0.033	0.033	0.033	0.097	0.097	0.097
165	28.5	28	30	0.033	0.05	0.05	0.097	0.147	0.147
180	28.5	28	30.5	0.033	0.05	0.05	0.097	0.147	0.147
195	29	28.5	31	0.05	0.05	0.066	0.147	0.147	0.193
210	29	29	31.5	0.05	0.05	0.066	0.147	0.147	0.193
225	29	29	31.5	0.05	0.05	0.066	0.147	0.147	0.193
240	29.5	29	31.5	0.066	0.083	0.083	0.193	0.243	0.243
255	29.5	29	31.5	0.066	0.083	0.083	0.193	0.243	0.243
270	30	29.5	32	0.066	0.083	0.083	0.193	0.243	0.243
285	30	29.5	32	0.066	0.1	0.1	0.193	0.294	0.294
300	30	30	32	0.066	0.1	0.1	0.193	0.294	0.294
315	30	30	32	0.083	0.1	0.116	0.243	0.294	0.341
330	30	30	32	0.083	0.1	0.116	0.243	0.294	0.341
345	30	30.5	32	0.083	0.116	0.116	0.243	0.341	0.341
360	29	30.5	32	0.1	0.116	0.116	0.294	0.341	0.341
375	29	30.5	32.5	0.1	0.116	0.133	0.294	0.341	0.39
390	28	30.5	32.5	0.1	0.116	0.133	0.294	0.341	0.39
405	27	30.5	33	0.1	0.133	0.133	0.294	0.39	0.39
420	27	31	33	0.116	0.133	0.133	0.341	0.39	0.39
435	27	31	33	0.116	0.15	0.15	0.341	0.441	0.441
450	27	31	33.5	0.116	0.15	0.166	0.341	0.441	0.488
465	26	31	33.5	0.116	0.18	0.166	0.341	0.533	0.488
480	26	31.5	33.5	0.116	0.18	0.166	0.341	0.533	0.488

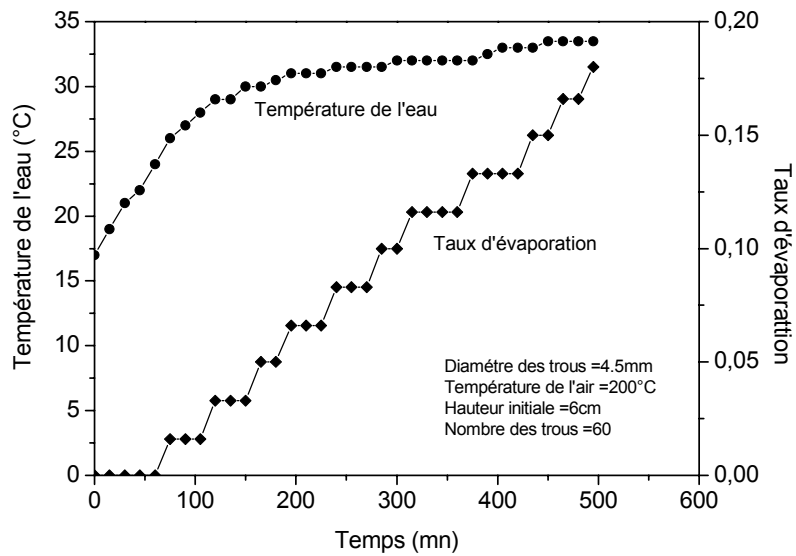




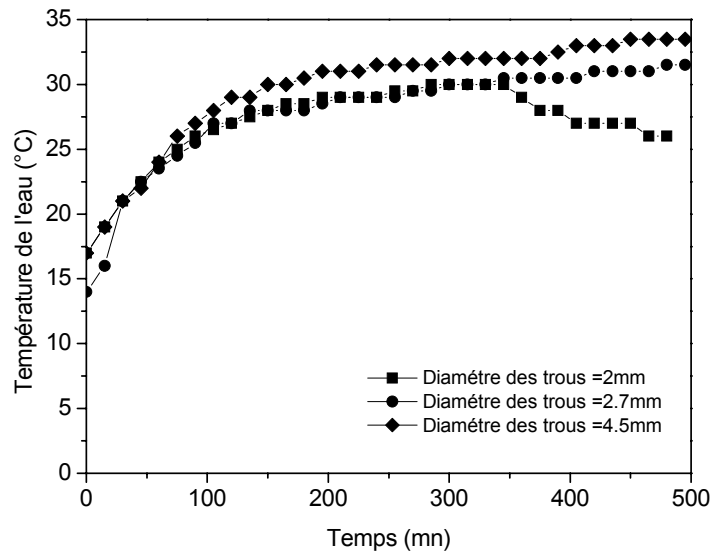
**Figure III.19. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $D_0 = 2\text{mm}$**



**Figure III.20. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $D_0 = 2.7\text{mm}$**



**Figure III.21. Evolution des profils de la température de l'eau et le taux d'évaporation pour  $D_0 = 4.5\text{mm}$**



**Figure III.22. Influence du diamètre de trous  $D_0$  sur la température de l'eau  $T_e$**

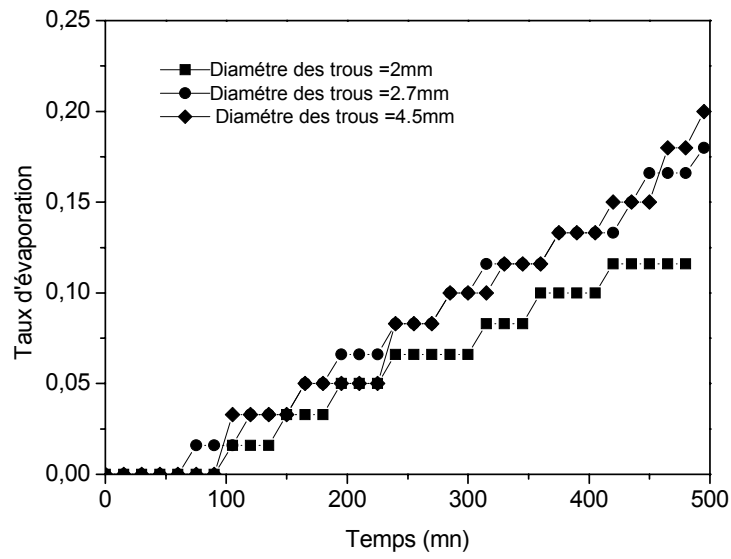


Figure III.23. Influence du diamètre de trous  $D_0$  sur le taux d'évaporation  $\Gamma$

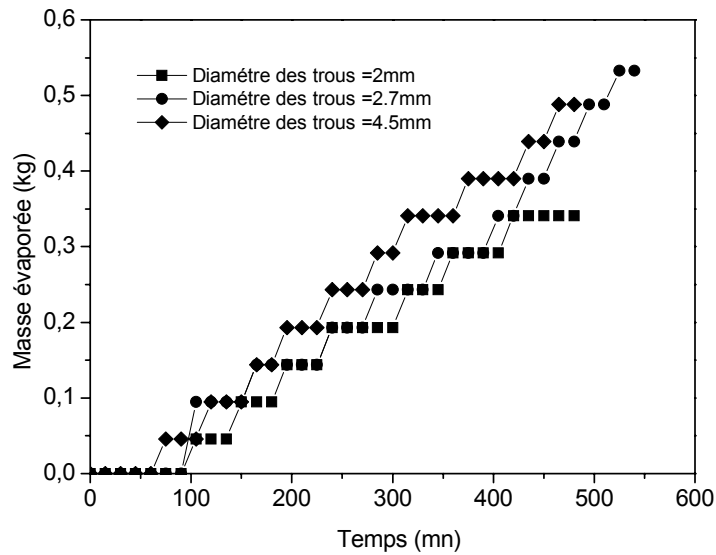


Figure III.24. Influence du diamètre de trous  $D_0$  sur la masse évaporée  $\Delta M$

**CONCLUSION**

**ET**

**RECOMMENDATIONS**

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce travail consiste à étudier expérimentalement l'évaporation de l'eau dans un bassin d'épandage provoquée par un brassage de bulles d'air chaud sortantes d'un serpentin percé de trous et placé au fond du bassin. Ce type de dispositif et appelé un évaporateur à contact-direct.

L'influence de la température de l'air chaud, la hauteur de l'eau, le nombre de trous et leurs diamètres sur la température transitoire de l'eau, le taux d'évaporation et la masse évaporée est analysée.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la température de l'air favorise l'évaporation et le chauffage de l'eau contenue dans le bassin.

L'évaporation et la température de l'eau sont d'autant plus importantes que la hauteur d'eau contenue dans le bassin est plus petite.

Cependant, le nombre de trous et leurs diamètres semblent n'avoir qu'une faible influence sur la température de l'eau et le taux d'évaporation.

L'étude de l'évaporateur à contact-direct peut être poursuivie en considérant les situations suivantes :

- Le liquide à évaporer est un fluide non-newtonien (eau usée),
- Le liquide à évaporer est une solution à multi-constituants,

- L'air qui sert à l'évaporation est chauffé par un capteur solaire plan à air,
- Entreprendre les tests à l'air libre et
- Enrichir l'étude en considérant une modélisation mathématique des transferts de chaleur et de masse.

# **BIBLIOGRAPHIE**

**BIBLIOGRAPHIE**

- [1] CHOW L.C., CHUNG J.N., Evaporation of water into a laminar stream of air and superheated steam, *Int. J. Heat Mass Transfer.* 26 (1983) 373-380.
- [2] SHEMBHARKAR T.R., PAI B.R., Prediction of film cooling with a liquid coolant, *Int. J. Heat Mass Transfer.* 29 (1986) 899-908.
- [3] SUZUKI K., HAGIWARA Y., SATO T., Heat transfer and flow characteristics of two-phase two-component annular flow, *Int. J. Heat Mass Transfer.* 26 (1983) 597-605.
- [4] YAN M., LIN T. F., Combined heat and mass transfer in natural convection between vertical parallel plates with film evaporation, *Int. J. Heat Mass Transfer.* 33 (1990) 529-541.
- [5] TSAY Y. L., LIN T. F., YAN W. M., Cooling of falling liquid film through interfacial heat and mass transfer, *Int. J. Multiphase Flow.* 16 (1990) 853-865.
- [6] BAUMANN W. W., THIELE F., Heat and mass transfer in evaporating two-component liquid film flow, *Int. J. Heat Mass Transfer.* 33 (1990) 267-273.



- 
- [7] MAMMOU M., DAGUENET M., Numerical study of heat and mass transfer from an inclined flat plate with wet and dry zones, *Int. J. Heat Mass Transfer*. 35 (1992) 2277-2287.
- [8] YAN W. M., Turbulent mixed convection heat and mass transfer in wetted channel, *J. Heat Transfer*. 117 (1995) 229-233.
- [9] AGUNAOUN A., DAÏF A., BARRIOL R., DAGUENET M., Évaporation en convection forcée d'un film mince s'écoulant en régime permanent, laminaire et sans ondes, sur une surface plane inclinée, *Int. J. Heat Mass Transfer*. 37 (1994) 2947-2956.
- [10] AGUNAOUN A., KAOUA M., DAÏF A., DAGUENET M., Évaporation en convection mixte d'un film mince s'écoulant sur une surface plane inclinée, *Rev. Gén. Therm.* 35 (1996) 373-385.
- [11] YAN W. M., SOONG C. Y., Convective heat and mass transfer along an inclined heated plate with film evaporation, *Int. J. Heat Mass Transfer*. 38 (1995) 1261-1269.
- [12] HE S., AN P., LI J., JACKSON J. D., Combined heat and mass transfer in uniformly heated vertical tube with water film cooling, *Int. J. Heat and Fluid Flow*. 19 (1998) 401-417.

- 
- [13] FEDDAOUI M., BELAHMIDI E., MIR A., BENDOU A., Numerical study of evaporative cooling of liquid film in laminar mixed convection tube flows, *Int. J. Therm. Sci.* 40 (2001) 1011-1020.
- [14] MEZAACHE E., DAGUENET M., Étude numérique de l'influence de l'inclinaison sur l'évaporation d'un film liquide s'écoulant sur une paroi plane isotherme ou à flux de chaleur imposé, *Can. J. Chem. Eng.* 76 (1998) 203-210.
- [15] MEZAACHE E., DAGUENET M., Étude numérique de l'évaporation dans un courant d'air humide laminaire d'un film d'eau ruisselant sur une plaque inclinée, *Int. J. Therm. Sci.* 39 (2000) 117-129.
- [16] SAOULI S., Evaporation d'un film non-newtonien ruisselant sur un plan incliné en vue de la concentration des effluents, Thèse de Doctorat d'Etat, Université Mentouri, Constantine, 2003.
- [17] SAOULI S., BOUMAZA M., DAGUENET M., Numerical study of evaporating Ostwaldian liquid film along an inclined isothermal plate, *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, Victoria Falls, Zambia, 2003.

- [18] RAO P. M, SUNAVALA P. D., concentration of black liquor by submerged combustion technique, *Indian Journal of Technology*. 20 (1982) 56-59.
- [19] QUEIROZ E. M., Simultaneous heat and mass transfer in bubbling processes, D.Sc thesis, PEQ/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1990 (in Portuguese).
- [20] CAMPOS F. B. and LAGE P. L. C., Modelling and simulation of direct-contact evaporators, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 18 (2001).
- [21] RIBEIRO C. P. Jr., LAGE P. L. C., Direct-contact evaporation in the homogeneous and heterogeneous bubbling regimes. Part I: experimental analysis, *Int. J. Heat and Mass Transfer*. 47 (2004) 3825-3840.
- [22] RIBEIRO C. P. Jr., BERGE C. P., LAGE P. L. C., Modelling direct-contact evaporation using a simultaneous heat and multicomponent mass-transfer model for superheated bubbles, *Chemical Engineering Science*. 60 (2005) 1761-1772.

## RESUME :

Ce mémoire présente une étude expérimentale de l'évaporation de l'eau dans un bassin d'épandage provoquée par un brassage de bulles d'air chaud sortantes d'un serpentin percé de trous et placé au fond du bassin.

L'influence de la température de l'air chaud, la hauteur de l'eau, le nombre de trous et leurs diamètres sur la température transitoire de l'eau, le taux d'évaporation et la masse évaporée est analysée.

Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la température de l'air favorise l'évaporation et le chauffage de l'eau contenue dans le bassin.

L'évaporation et la température de l'eau sont d'autant plus importantes que la hauteur d'eau contenue dans le bassin est plus petite.

Cependant, le nombre de trous et leurs diamètres semblent n'avoir qu'une faible influence sur la température de l'eau et le taux d'évaporation.

**Mots clés :** Evaporation, Bulles d'air chaud, Transfert de chaleur, Transfert de masse.

## SUMMARY:

This memory presents an experimental study of water evaporation in a basin provoked by a brewing of hot air bubbles retiring of a serpentine sparger pierced of orifices and placed to the bottom of the basin.

The influence of the hot air temperature, the water height, the number of orifices and their diameters on the transient water temperature, the evaporation rate and the mass evaporated are analyzed.

The gotten results show that the increase of the air temperature encourages the evaporation and the heating of water contained in the basin.

The evaporation and the water temperature are of as much more important than the height of water contained in the basin is smaller.

However, the number of orifices and their diameters seem to only have a weak influence on the water temperature and the evaporation rate.

**Key words:** Evaporation, Hot air bubbles, Heat transfer, Mass transfer.

## ملخص :

يتطرق هذا البحث إلى موضوع تبخر الماء عن طريق فقاعات الهواء الساخن التي تمر عبر ثقوب أنبوب متواجد في قاع حوض, الهواء الممتص عن طريق مروحة يسخن باستخدام مقاومة كهربائية تسمح بالتحكم في درجة حرارة الهواء المرسل داخل الأنبوب المنقوب.

التصميم المنجز يسمح بمعرفة أثر درجة حرارة الهواء الساخن, ارتفاع الماء داخل الحوض, تأثير عدد الثقوب وقطرها على مردودية التبخر وكذا درجة حرارة الماء.

النتائج المتحصل عليها بينت بشكل واضح من خلال البيانات أن ارتفاع درجة حرارة الهواء تحفز تبخر الماء وارتفاع درجة حرارته.

كما أن انخفاض كمية الماء داخل الحوض تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته ومردودية التبخر بينما التغيير في عدد وقطر الثقوب بالكاد يؤثر على مردودية التبخر وكذا درجة حرارة الماء.

**كلمات المفتاح :** تبخر الماء, فقاعات الهواء الساخن, التبادل الحراري, التبادل المادي.