



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة 01  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الميكانيك  
Département de Mécanique

---

## Mémoire de Master II

En Génie Mécanique

Option : Ingénierie Thermique et Solaire

Présenté par :

Mlle MAZARI BOUFARES Yasmine

# ETUDE DE L'AILETTE EN MILIEU HUMIDE

Proposé par : Dr N.KHELALFA (Univ Blida 1)

Année Universitaire 2016-2017

## *Dédicace*

---

*Je dédie ce travail à:*

*Ma mère;*

*Mon père;*

*Tous ceux qui me sont chers.*

*Tous mes amis;*

## *Remerciement*

---

Je remercie tout d'abord le bon Dieu qui m'a donnée la santé et la volonté pour terminer ce travail.

J'exprime ma reconnaissance aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant d'évaluer et de juger mon travail.

Je remercie vivement ma promotrice **N.KHELALFA**, pour avoir dirigé ce travail, pour ses conseils et ses encouragements qui m'ont énormément aidé à mener ce travail.

Je tiens à remercier également mes amis **Asseb Zineb, Docteur K.AMEUR, M. Alili Farid, KOUIDMIR Oussama** et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie beaucoup tous mes enseignants.

السطوح الممتدة تستعمل في عمليات التبريد والتجفيف لغرض زيادة التبادل الحراري. وقد أجري تحليل لدراسة كفاءة الزعنفة المستطيلة المستقيمة ذات منطقة المقطع العرضي الموحد عندما تتعرض لآليات نقل الحرارة والكتلة المتزامنة. الاختلافات في نسبة الرطوبة هي القوى الدافعة للحرارة ونقل الكتلة. وقد تم الحصول على حلول تحليلية لتوزيع درجة الحرارة على سطح الزعنفة عندما تكون الزعنفة رطبة تماما. لإتقان العمليات الحسابية المحرز في العمل عن متناول المستخدمين المهندسين الحرارة قد تم تقديم برنامج رقمي "HRF" لحساب كفاءة زعانف مستطيلة في وجود الرطب حتى يتمكنوا من اختيار إعدادات حسب متطلباتهم. **كلمات البحث:** السطوح الممتدة، عمليات التبريد، التجفيف، التبادل الحراري، كفاءة، نقل الحرارة، نقل الكتلة.

## Abstract

The fins are used in cooling and dehumidification processes to improve the heat transfer rate where heat transfer is accompanied, at the same time, by mass transfer.

An analysis was carried out to study the efficiency of a straight rectangular fin with a uniform cross-section area when subjected to simultaneous heat and mass transfer mechanisms. Differences in temperature and humidity are the driving forces for heat and mass transfer, respectively. Analytical solutions are obtained for the distribution of the temperature on the surface of the fin when the fin is completely wet.

In order to master the calculations made in this work within reach of the thermic users a "HRF" application was made to calculate the effectiveness of the rectangular fin in the wet environment so that they can choose the parameters that suit them.

**Keywords:** Refrigeration; Dehumidification; Fin; Heat transfer; Mass transfer ; Efficiency ; wet air

## Résumé

---

Les ailettes sont utilisées dans les procédés de refroidissement et de déshumidification pour améliorer le taux de transfert de chaleur où le transfert de chaleur est accompagné, en même temps, par un transfert de masse.

Une étude a été effectuée pour étudier l'efficacité d'une ailette rectangulaire droite uniforme lorsqu'elle est soumise à des mécanismes simultanés de transfert de chaleur et de masse. Les différences de taux de température et d'humidité sont respectivement les forces motrices pour le transfert de chaleur et de masse. Des solutions analytiques sont obtenues pour la répartition de la température sur la surface de l'ailette lorsque l'ailette est complètement mouillée.

Afin de maitre les calculs faite dans ce travaille à la portée des thermiciens utilisateurs une application « HRF » à été faite pour calculer l'efficacité de l'ailette rectangulaire au milieu humide pour qu'ils puissent choisir les paramètres qui leur convient.

**Mots clés :** Refroidissement, Déshumidification, Transfert de chaleur, Transfert de masse, Efficacité, Ailettes, Air humide.

# Sommaire

---

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Dédicace .....                                                                          | II  |
| Remerciement.....                                                                       | III |
| ملخص.....                                                                               | IV  |
| Abstract .....                                                                          | IV  |
| Résumé .....                                                                            | V   |
| Sommaire .....                                                                          | 1   |
| Liste des Illustrations et Figures.....                                                 | 1   |
| Nomenclature .....                                                                      | 3   |
| INTRODUCTION GENERALE.....                                                              | 7   |
| CHAPITRE I GENERALITES SUR LES AILETTES ET LE TRANSFERT DE CHALEUR<br>ET DE MASSE ..... | 10  |
| I.1. Définition du transfert de chaleur : .....                                         | 10  |
| I.1.1 Transfert de chaleur par conduction : .....                                       | 10  |
| I.1.2 Transfert de chaleur par convection : .....                                       | 11  |
| I.1.3 Transfert de chaleur avec changement de phase lors de la condensation. ....       | 11  |
| I.2 Systèmes de conduction-convection : .....                                           | 12  |
| I.3 Définition d'une ailette : .....                                                    | 12  |
| I.3.1 Différents types d'ailettes .....                                                 | 12  |
| I.4 Transfert de masse : .....                                                          | 14  |
| I.5 L'air humide : .....                                                                | 14  |
| I.5.1 Masses volumiques : .....                                                         | 15  |
| I.5.2 Humidité absolue (ou spécifique) : .....                                          | 15  |
| I.5.3 Humidité relative .....                                                           | 15  |
| I.5.4 Relation entre l'humidité relative et l'humidité absolue .....                    | 16  |
| I.5.5 Point de rosée (la saturation).....                                               | 16  |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| I.5.6 Température de rosée .....                                     | 16 |
| CHAPITRE II RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE .....                          | 18 |
| CHAPITRE III MODELE MATHEMATIQUE .....                               | 29 |
| III.1 Modèle physique .....                                          | 29 |
| III .1.2 Hypothèses : .....                                          | 29 |
| III.1.3 Equation régissante : .....                                  | 30 |
| III.1.4 Adimensionnalisation de l'équation .....                     | 32 |
| III.2 la résolution de l'équation différentielle : .....             | 32 |
| III.3 Conditions aux limites.....                                    | 34 |
| CHAPITRE IV GUIDE D'UTILISATION DE L'OUTIL DE CALCUL .....           | 38 |
| IV.1 Outil de Calcul .....                                           | 38 |
| IV.2 Programme etudier MATLAB : .....                                | 39 |
| IV.2.1 définition du programme MATLAB :.....                         | 39 |
| IV.2.2 Organigramme du programme sur MATLAB : .....                  | 39 |
| IV.3 Définition de l'interface .....                                 | 40 |
| IV.4 Langage JAVA.....                                               | 40 |
| IV.5 Présentation et guide de l'interface :.....                     | 40 |
| IV.5 .1Compréhension de Humid Rectangular Fin « HRF » : .....        | 41 |
| IV.5 .2 Description de l'application : .....                         | 41 |
| CHAPITRE V Résultats et discussions.....                             | 49 |
| V.1 Distribution de la température sur la surface de l'ailette ..... | 49 |
| IV..2 Efficacité de l'ailette .....                                  | 53 |
| Bibliographie .....                                                  | 58 |

## *Liste des Illustrations et Figures*

---

|                                                                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Figure I.1 Exemple typique d'une surface étendue continue.....</i>                                                                                            | <i>13</i> |
| <i>Figure I.2 Quelques exemples typiques de surfaces étendues indépendantes .....</i>                                                                            | <i>13</i> |
| <i>Figure II.1 Ailettes de section uniforme.....</i>                                                                                                             | <i>18</i> |
| <i>Figure II.2 Configuration géométrique d'une aile conique droite.....</i>                                                                                      | <i>21</i> |
| <i>Figure II.3 Schéma d'une ailette annulaire complètement humide.....</i>                                                                                       | <i>22</i> |
| <i>Figure III.1 bilan d'énergie dans l'ailette rectangulaire complètement humide.....</i>                                                                        | <i>29</i> |
| <i>Figure III.2 Schéma d'une ailette rectangulaire complètement humide .....</i>                                                                                 | <i>30</i> |
| <i>Figure IV.IV.1 Organigramme du calcul dans MATLAB .....</i>                                                                                                   | <i>39</i> |
| <i>Figure IV.2 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité E et afficher la variation de température<br/>pour des différentes valeurs de RH et d'épaisseurs .....</i> | <i>41</i> |
| <i>Figure IV.3 l'affichage des résultats de la variation de la température pour les trois séries</i>                                                             | <i>42</i> |
| <i>Figure IV.4 Fenêtre de l'analyse détaillée.....</i>                                                                                                           | <i>43</i> |
| <i>Figure IV.5 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité pour des différentes valeurs de K.....</i>                                                                 | <i>43</i> |
| <i>Figure IV.6 Affichage des résultats pour des différentes valeurs de la conductivité thermique<br/>.....</i>                                                   | <i>44</i> |
| <i>Figure IV.7 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité pour des différentes valeurs du coefficient<br/>de convection h.....</i>                                   | <i>45</i> |
| <i>Figure IV.8 Affichage des résultats pour des différentes valeurs du coefficient de convection<br/>de l'air .....</i>                                          | <i>45</i> |
| <i>Figure IV.9 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité pour des différentes longueurs de l'ailette</i>                                                            | <i>46</i> |
| <i>Figure IV.10 Affichage des résultats pour des différentes valeurs du coefficient de convection<br/>de l'air .....</i>                                         | <i>47</i> |
| <i>Figure IV.11 Fenêtre qui représente les paramètres utilisés.....</i>                                                                                          | <i>47</i> |
| <i>Figure V.1 la distribution de la température en fonction de X avec des différentes valeurs de<br/>RH.....</i>                                                 | <i>50</i> |
| <i>Figure V.2 la distribution de la température pour des différentes valeurs d'épaisseurs.....</i>                                                               | <i>50</i> |
| <i>Figure V.3 la distribution de la température pour des différentes valeurs de conductivité<br/>thermique du matériau de l'ailette .....</i>                    | <i>51</i> |
| <i>Figure V.4 la distribution de la température pour des différentes valeurs de coefficient de<br/>convection de l'air .....</i>                                 | <i>52</i> |



|                                                                                                                    |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <i>Figure V.5 la distribution de la température pour des différentes valeurs de la longueur de l'ailette .....</i> | <i>53</i>     |
| <i>Figure V.6 Efficacités d'ailettes des différents profils en fonction de mL.....</i>                             | <i>54</i>     |
| <br><i>Tableau II -1 Récapitule tous les travaux cités .....</i>                                                   | <br><i>25</i> |

## Nomenclature

---

| <i>Symbole</i> | <i>Désignation</i>                                                  | <i>Unité</i>                        |
|----------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| $a_2$          | Paramètres définis en équations (III.20.1)                          | kg <sub>v</sub> / kg <sub>a</sub>   |
| $b_2$          | Paramètres définis en équations (III.20.2)                          | kg <sub>v</sub> / kg <sub>a</sub> K |
| $B$            | Paramètre définis en équations (III.15).                            | °C                                  |
| $C_1, C_2$     | Constantes arbitraires.                                             |                                     |
| $C$            | Constante définie en équation (II.3).                               | kg <sub>v</sub> / kg <sub>a</sub> K |
| $C_0$          | Constante définie en équation (0.22).                               | kg <sub>v</sub> / kg <sub>a</sub> K |
| $C_p$          | Chaleur spécifique du courant d'air humide.                         | J / kg K                            |
| $e$            | Epaisseur de l'ailette.                                             | m                                   |
| $FC$           | Facteur de correction égal à $(1+b B)^{1/2}$ .                      |                                     |
| $h$            | Enthalpie du mélange, coefficient de transfert de chaleur coté air. | W/m <sup>2</sup> K                  |
| $h_D$          | Coefficient de transfert de masse.                                  | Kg / m <sup>2</sup> s               |
| $i_{fg}$       | Chaleur latente d'évaporation de l'eau.                             | J/kg                                |
| $k$            | Conductivité thermique du matériau de l'ailette.                    | W / m K                             |
| $L$            | Longueur de l'ailette.                                              | m                                   |
| $l$            | Largeur de l'ailette.                                               | m                                   |
| $m_0$          | Paramètre d'ailette humide définis en équation (III.25).            | m <sup>-1</sup>                     |
| $m$            | Paramètre d'ailette sèche définis en équation (III.16).             |                                     |
| $m_a$          | Masse de l'air sec.                                                 | Kg                                  |
| $m_v$          | Masse de la vapeur d'eau.                                           | Kg                                  |
| $M_a$          | Masse moléculaire de l'air sec.                                     | kg/mole                             |

|            |                                                                |                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| $M_v$      | Masse moléculaire de la vapeur d'eau.                          | kg/mole                           |
| $P$        | Pression du gaz, périmètre de l'ailette.                       | Pa, m                             |
| $P_{atm}$  | Pression atmosphérique.                                        | Pa                                |
| $P_a$      | Pression partielle de l'air sec dans un mélange.               | Pa                                |
| $P_s$      | Pression partielle de la vapeur d'eau dans un mélange saturé.  | Pa                                |
| $P_v$      | Pression partielle de la vapeur d'eau dans un mélange.         | Pa                                |
| $q$        | Flux de transfert de chaleur.                                  | W                                 |
| $q_{Lat}$  | Flux de transfert de chaleur latente (de condensation).        | W                                 |
| $q_{réel}$ | Flux de transfert de chaleur réel dissipé.                     | W                                 |
| $q_{Max}$  | Flux de transfert de chaleur idéal dissipé.                    | W                                 |
| $R$        | Constante des gaz pour l'air.                                  | J/(kg.K)                          |
| $S$        | Surface latérale de l'ailette.                                 | m <sup>2</sup>                    |
| $T$        | Température de la surface de l'ailette.                        | K                                 |
| $T_a$      | Température de l'air humide.                                   | K                                 |
| $T_b$      | Température de la base de l'ailette.                           | K                                 |
| $T_r$      | Température du point de rosée.                                 | K                                 |
| $X$        | Distance adimensionnelle à partir de l'extrémité de l'ailette. |                                   |
| $x$        | Distance à partir de l'extrémité de l'ailette.                 | m                                 |
| $W$        | Humidité absolue (ou spécifique) de l'air sur l'ailette.       | kg <sub>v</sub> / kg <sub>a</sub> |
| $W_a$      | Humidité absolue de l'air humide.                              | kg <sub>v</sub> / kg <sub>a</sub> |

### **Symboles Grec**

|               |                    |                   |
|---------------|--------------------|-------------------|
| $\varepsilon$ | Humidité relative. | %                 |
| $\rho$        | masse volumique.   | kg/m <sup>3</sup> |

|            |                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| $\eta$     | Efficacité de l'ailette.                                            |
| $\theta$   | Température adimensionnelle définie dans l'équation(III.16).        |
| $\theta_p$ | Paramètre adimensionnel défini à l'équation (III.30).               |
| $\Omega$   | Rapport adimensionnel d'humidité définis dans sl'équation (III.19). |

***Indices***

|        |                    |
|--------|--------------------|
| $a$    | Air.               |
| $b$    | Base de l'ailette. |
| $Cond$ | Conduction.        |
| $Conv$ | Convection.        |
| $r$    | Point de rosée.    |
| $fg$   | Latente.           |
| $max$  | Maximum.           |
| $v$    | Vapeur d'eau.      |

***Nombres adimensionnels***

|      |                  |
|------|------------------|
| $Le$ | Nombre de Lewis. |
|------|------------------|

# **INTRODUCTION GENERALE**

## **INTRODUCTION GENERALE**

---

Les surfaces étendues ou ailettes sont utilisées pour améliorer le taux de transfert de chaleur entre un solide et un fluide adjacent.

Elles sont largement utilisées dans de nombreux types d'échangeurs de chaleur pour de nombreuses applications en génie thermique telles que la réfrigération, l'air conditionné (climatisation) et des applications de traitement chimique, etc.

Cependant, dans les procédés de refroidissement et de déshumidification, qui se tiennent dans les équipements de la réfrigération et du conditionnement de l'air, le transfert de chaleur est accompagné, en même temps, par un transfert de masse lorsque la température de surface de l'ailette est inférieure à la température de point de rosée (saturation) de l'air entrant. Dans ce cas, cet air se condense sur la surface de l'ailette.

Par conséquent, L'efficacité de l'ailette est un paramètre clé pour enquêter sur les performances d'un système de refroidissement. Il est bien connu qu'un certain nombre de facteurs tels que :

- ✓ la géométrie
- ✓ le matériau de l'ailette
- ✓ les températures de l'air et du liquide de refroidissement
- ✓ les débits
- ✓ .....etc.

Ces derniers affectent l'efficacité des ailettes, ainsi le transfert de chaleur de masse.

Il est important de noter à partir de la présente étude qu'un modèle linéaire est généralement utilisé entre la force motrice de masse et la différence de température entre la surface et l'air ambiant qui capitule à une solution limitée pour une température d'air d'entrée donnée et une température de base d'ailette.

Physiquement, la relation entre le taux d'humidité de l'air saturé et la température de l'air sec n'est pas linéaire ; Cependant, il suit les relations psychrométriques.

## *Introduction Générale*

L'objectif de ce travail est de fournir une solution analytique pour l'efficacité d'une ailette longitudinale à profil rectangulaire dans des conditions totalement humides en utilisant les différences de rapport de température et d'humidité comme forces d'entraînement pour les mécanismes de transfert de chaleur et de masse, respectivement.

Une hypothèse de modèle linéaire plus réaliste est introduite pour la relation entre le taux d'humidité et la température.

Pour cela, nous avons développé un programme informatique en MATLAB pour le calcul des champs de température et l'efficacité de l'ailette.

Une interface vient concrétiser ce travail et cela afin que cet outil de calcul puisse être utile aux thermiciens qui souhaiteront voir l'influence de l'humidité sur l'évolution de température et les performances thermiques de l'ailette longitudinale à profil rectangulaire.

Ce présent travail se décline en :

- ✓ Introduction générale qui décrit brièvement le présent travail.
- ✓ Le premier chapitre comporte un rappel des quelques notions importantes du transfert de chaleur, des quelques généralités sur les ailettes et des propriétés de l'air humide.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude bibliographique où on s'est basé sur les ailettes fonctionnant à l'état humide.
- ✓ Le troisième chapitre présente l'analyse mathématique des ailettes en état humide.
- ✓ Le quatrième chapitre présente description et guide d'utilisation de l'application.
- ✓ Le cinquième chapitre présente les résultats obtenus en forme de courbes ainsi que les discussions et analyses nécessaires.
- ✓ On termine ce mémoire par des conclusions générales, perspectives et références bibliographiques.

**CHAPITRE I**  
**GENERALITES SUR LES**  
**AILETTES ET LE TRANSFERT DE**  
**CHALEUR ET DE MASSE**



# CHAPITRE I GENERALITES SUR LES AILETTES ET LE TRANSFERT DE CHALEUR ET DE MASSE

---

## **I.1. Définition du transfert de chaleur :**

Le transfert de chaleur est la science qui cherche à prévoir le transfert d'énergie qui peut avoir lieu entre les corps matériels en raison d'une différence de température. La science du transfert de chaleur cherche non seulement à expliquer comment l'énergie thermique peut être transférée, mais aussi à prédire le taux auquel l'échange aura lieu dans certaines conditions spécifiées [1].

L'énergie interne du système change au cours du déplacement de la chaleur en produisant :

- Un flux thermique transmis.
- Une répartition de la température à l'intérieur du milieu considéré.

Les différents modes de transfert de chaleur qui affecteraient la transmission de la chaleur à travers une ailette sont les suivants :

- ✓ la conduction,
- ✓ la convection
- ✓ le transfert de chaleur avec changement de phase lors de la condensation.

### **I.1.1 Transfert de chaleur par conduction :**

Lorsqu'il existe un gradient de température dans un corps ou plusieurs, l'expérience a montré qu'il y a un transfert d'énergie de la région à haute température vers la région à basse température. Nous disons que l'énergie est transférée par conduction [1].

Ce mode peut s'effectuer dans les solides et dans les fluides. Cependant, c'est le seul mécanisme par lequel la chaleur peut se déplacer dans les solides opaques.

La conduction est régie par la loi de Fourier [2] :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (I.1)$$

Cette formule qui donne la valeur du flux de chaleur dans la direction  $x$ , avec :

Le signe (-) intervient puisque la chaleur s'écoule vers le décroissement de la température.

**q** : Le taux de transfert de chaleur [W]

**k** : La conductivité thermique du milieu considéré [W/m.K].

**A** : La surface d'échange de chaleur [m<sup>2</sup>].

**dT/dx** : Le gradient de température dans la direction de x [K/ m].

### ***I.1.2 Transfert de chaleur par convection :***

Il est bien connu qu'une plaque chauffante de métal va refroidir plus vite lorsqu'elle est placée devant un ventilateur que lorsqu'elle est exposée à de l'air mort. Nous disons que la chaleur est convaincue, et nous appelons le transfert de chaleur par convection [1].

Le phénomène de convection intervient à chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes (murs, plaques, tubes, ...etc.) à des températures différentes de celle du fluide ou lorsque deux fluides à des températures différentes sont mis en contact.

La convection est naturelle si le mouvement des masses fluides responsables du transfert de la chaleur, est provoqué par des différences de densités provenant elles mêmes des différences de températures à l'intérieur du fluide. La convection est forcée si le mouvement est créé par une action extérieure (ventilateurs, pompes, ...etc.)

La loi de Newton donne le flux échangé entre une surface de valeur  $S$  et de température  $T$  et un fluide de température  $T_a$ , elle s'écrit :

$$q = hS(T - T_a) \quad (I.2)$$

Avec :

**h** : Coefficient d'échange convectif [W/m<sup>2</sup>.K].

**S** : Surface d'échange de chaleur [m<sup>2</sup>].

### ***I.1.3 Transfert de chaleur avec changement de phase lors de la condensation.***

La condensation est le processus par lequel une vapeur est convertie à son état liquide. En raison de la différence d'énergie interne importante entre les états liquide et vapeur, une quantité importante de chaleur peut être libérée pendant le processus de condensation.

Pour cette raison, le processus de condensation est utilisé dans de nombreux systèmes thermiques. En général, une vapeur va se condenser en liquide quand elle est refroidie suffisamment ou lorsqu'elle est en contact avec un corps (un fluide ou un solide) qui est en dessous de sa température de saturation.

La condensation peut s'établir sous trois modes, en film, en gouttelettes, ou dans un mode mixte.

### ***1.2 Systèmes de conduction-convection :***

La chaleur qui est animée à travers un corps doit souvent être enlevée (ou déplacée) par un processus de convection. Dans les applications d'échangeur de chaleur, un agencement de tube à ailettes pourrait être utilisé pour éliminer la chaleur d'un liquide chaud. Le transfert de chaleur du liquide au tube à ailettes est par convection. La chaleur est menée à travers le matériau et finalement dissipée par convection.

De toute évidence, une analyse des systèmes combinés de conduction-convection est très importante d'un point de vue pratique [1].

Parmi les systèmes conduction-convection nous nous intéressons au cas de l'ailette.

### ***1.3 Définition d'une ailette :***

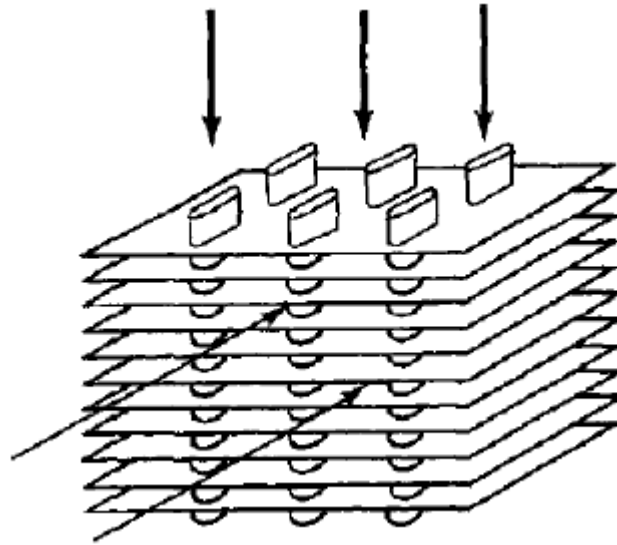
Lorsqu'elle participe au transfert thermique, l'ailette a pour fonction d'amplifier les échanges de chaleur entre un élément plan et un fluide extérieur. Le transfert entre l'ailette et le solide se fait par conduction, alors que les échanges avec le fluide extérieur ont lieu par convection [3].

Dans des applications pratiques, les ailettes peuvent avoir des zones transversales variées et peuvent être fixées sur des surfaces circulaires ou rectangulaires.

#### ***1.3.1 Différents types d'ailettes***

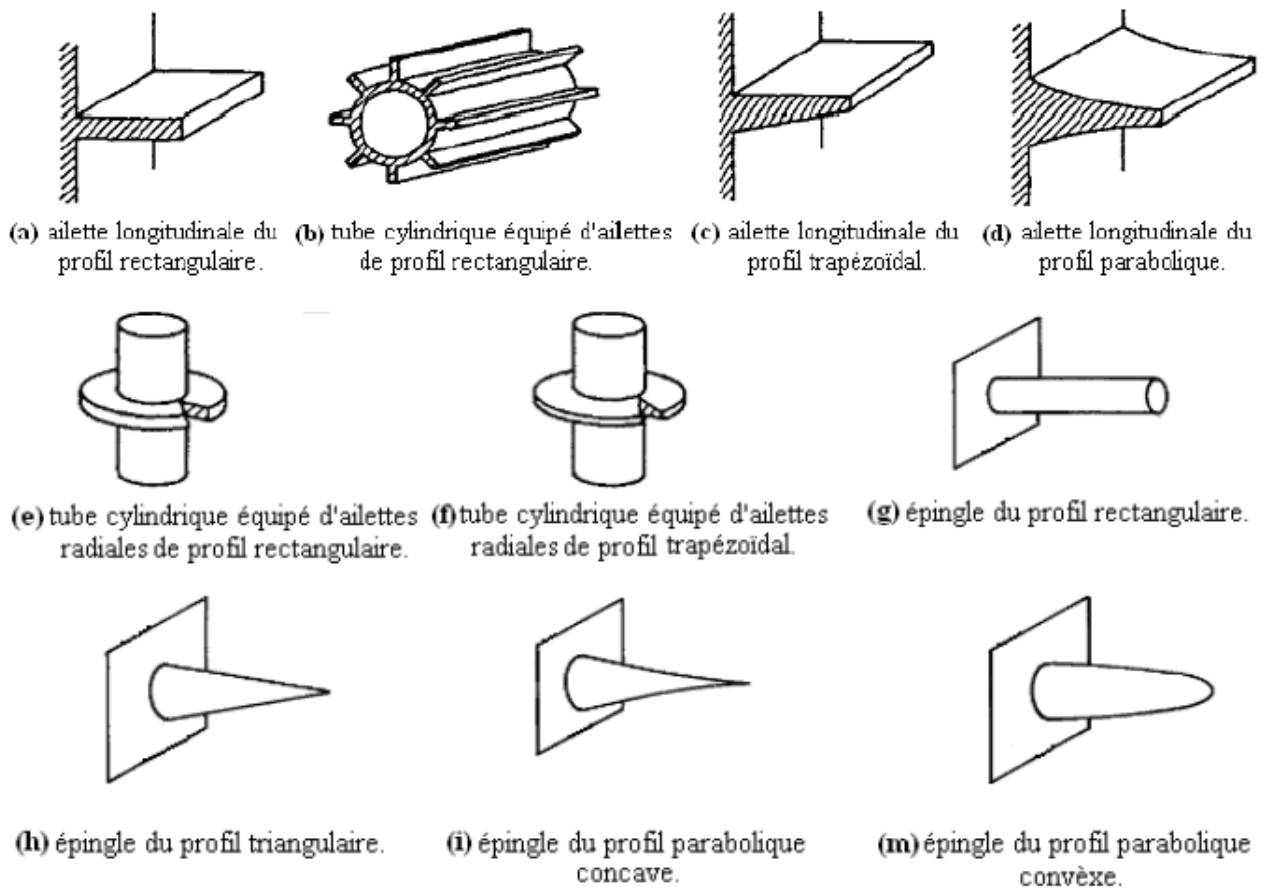
Les différents types d'ailettes sont regroupés en deux grandes parties :

- Ailettes continues



**Figure I.1** Exemple typique d'une surface étendue continue

- Ailettes indépendantes



**Figure I.2** Quelques exemples typiques de surfaces étendues indépendantes

La figure I.1 représente les ailettes continues qui sont utilisées dans les échangeurs de chaleur employés dans l'habitat, tandis que les échangeurs de chaleur industriels utilisent plutôt des ailettes indépendantes.

Pour indiquer l'efficacité d'une ailette dans le transfert d'une quantité donnée de chaleur, un nouveau paramètre appelé efficacité de l'ailette est défini comme étant le rapport de la puissance thermique réellement échangée par l'ailette à la puissance thermique théorique qu'elle serait capable d'échanger si toute la surface de l'ailette est à la température de sa base  $T_b$  [2]:

$$\eta = \frac{q_{réel}}{q_{th}} \quad (I.3)$$

### ***I.4 Transfert de masse :***

La diffusion de masse peut également résulter d'un gradient de température dans un système; C'est la diffusion thermique.

De même, un gradient de concentration peut donner lieu à un gradient de température et à un transfert de chaleur conséquent.

Lorsqu'on a la condensation d'une vapeur sur un corps (liquide ou solide), on dit qu'on a un transfert de chaleur et de masse simultané [2].

### ***I.5 L'air humide :***

L'air que nous respirons contient toujours un peu de vapeur d'eau. On peut considérer cette vapeur comme un gaz, dont la pression fait partie de la pression atmosphérique.

La pression de la vapeur d'eau, à elle seule, est dénommée pression partielle de vapeur d'eau, et est représentée par le symbole  $P_v$ .

Ainsi, la vapeur d'eau contenue dans un air à 20°C et 50 % humidité relative « HR » présente une pression de vapeur partielle de 1 170 Pa (par comparaison, la pression atmosphérique est de 101 300 PA).

Si la pression de la vapeur d'eau atteint sa valeur maximale, il y a saturation de l'air et on parle de pression partielle de la vapeur d'eau à la saturation, ou de pression saturante  $P_{vs}$ .

Il est possible de calculer la valeur de la pression de saturation en fonction de la température [4].

### **I.5.1 Masses volumiques :**

D'après la loi des gaz parfaits, la masse volumique pour l'air sec peut s'écrire :

$$\rho_a = \frac{m_a}{V} = \frac{P - P_v}{R_a T} = \frac{P - P_v}{287.T} \quad (I.4)$$

Et pour la vapeur d'eau comme suite :

$$\rho_v = \frac{m_v}{V} = \frac{P_v}{R_v.T} = \frac{P_v}{462.T} \quad (I.5)$$

Dans le cas où l'air humide est saturé de vapeur d'eau, la pression de la vapeur d'eau est alors la pression,  $P_s$  est à la saturation [2].

### **I.5.2 Humidité absolue (ou spécifique) :**

L'humidité absolue  $W$  est le rapport de la masse de la vapeur d'eau  $m_v$  à la masse de l'air sec  $m_a$  dans le mélange. Dans le système d'unités SI, on utilisera le  $\text{kg}_{\text{eau}}/\text{kg}_{\text{air sec}}$ .

$$W = \frac{m_v}{m_a} \quad (I.6)$$

$W$  est appelé aussi, rapport d'humidité, rapport de mélange, teneur en eau, etc [2]. pour des climats "standards", plus la température augmente et plus l'humidité absolue est élevée (plus l'air peut porter de l'eau à l'état vapeur) [4].

### **I.5.3 Humidité relative**

L'humidité relative s'exprime en %. C'est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau  $P_v$  et la pression de saturation de la vapeur d'eau  $P_{vs}$ . Le symbole représentatif est souvent.

$$\varphi = 100. \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (I.7)$$

En bonne approximation, sa valeur est proche du rapport entre l'humidité absolue portée par l'air et l'humidité absolue maximale qu'il peut porter lorsqu'il est saturé. Ceci donne une signification intuitive à cette grandeur : pour une température donnée, elle caractérise en somme la faculté que possède l'air d'absorber encore de la vapeur d'eau avant qu'elle ne condense. A 100 %, on est à la limite de la saturation de l'air par la vapeur d'eau, du brouillard apparaît [4].

#### I.5.4 Relation entre l'humidité relative et l'humidité absolue

Utilisant la loi de gaz parfait, on peut dériver un rapport entre l'humidité relative  $\varepsilon$  et l'humidité absolue  $W$  :

$$W = \frac{m_v}{m_a} \quad (I.8)$$

$$\text{Avec : } m_v = \frac{P_v V M_v}{R.T} \quad \text{et} \quad m_a = \frac{P_a V M_a}{R.T}$$

Donc on obtient :

$$W = \frac{18.015}{28.965} \frac{P_v}{P_a} = 0.621 \frac{P_v}{P_a} \quad (I.9)$$

$M_v$  : la masse molaire de l'eau 18.06 [Kg/mol]

$M_a$  : la masse molaire de l'air 28.96 [Kg/mol]

$m_a$  : la masse d'air sec [Kg]

$m_v$  : la masse de l'eau [Kg]

$R$  : la constante des gaz parfaits =8314.4 [J/molK]

Donc on trouve :

$$\varphi = \frac{P_a}{0.621 P_{vs}} W \quad (I.10)$$

#### I.5.5 Point de rosée (la saturation)

Quand un mélange de gaz est refroidi à pression constante, la température à laquelle la condensation commence est le point de rosée. À une pression (totale) de mélange donné, le point de rosée est fixé par l'humidité absolue  $W$  ou par la pression partielle de la vapeur d'eau. Ainsi  $T_r$ ,  $W$  et  $p_v$  ne sont pas des propriétés indépendantes [2].

#### I.5.6 Température de rosée

La température de rosée  $T_r$  correspond à l'apparition de la phase condensée, eau ou glace sur une surface  $S$  refroidie par un moyen quelconque placée dans un air humide dont l'humidité spécifique reste constante. Ce phénomène est très visible sur un miroir ou toute surface polie (lisse). La température de rosée  $T_r$  est appelée aussi de givre (quand on a apparition de la glace).

## **CHAPITRE II**

# **RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE**



## CHAPITRE II RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

---

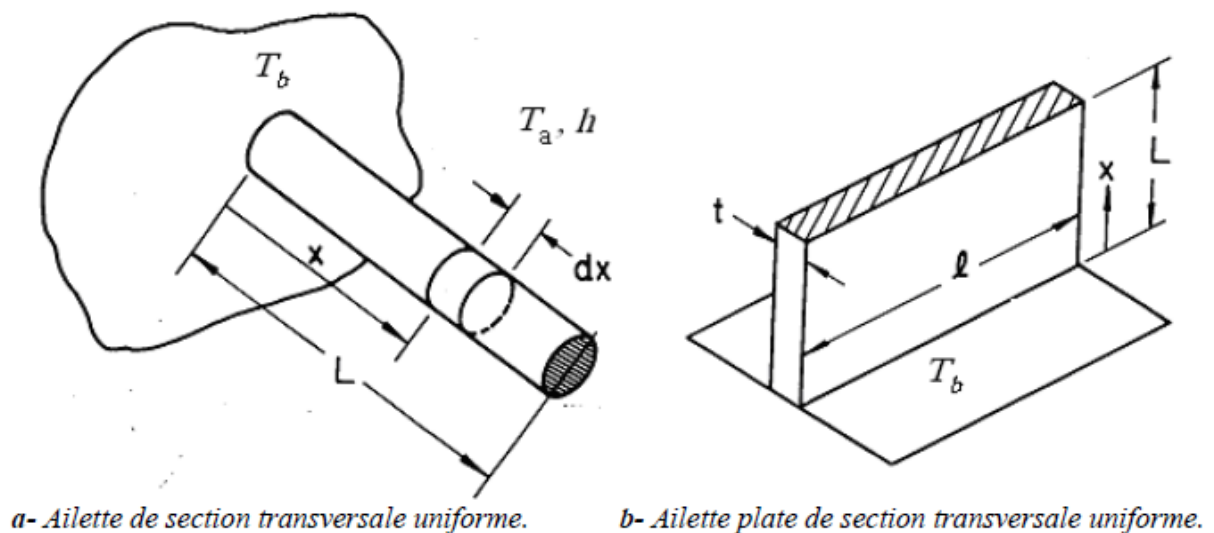
Les surfaces étendues pour l'augmentation de l'échange de chaleur sont largement utilisées dans des nombreuses applications industrielles telles que les systèmes de climatisation, de réfrigération et de traitement chimique. Dans les procédés de refroidissement et de déshumidification.

Le transfert de chaleur et de masse se produit simultanément lorsque la température de la surface étudiée est inférieure à la température du point de rosée de l'air refroidi. Plusieurs tentatives ont été faites pour analyser l'efficacité de l'ailette avec la condensation de l'air humide.

Pour notre étude, il est impératif de faire une étude de l'art dans le domaine des ailettes en présence d'humidité

**McQuiston** [2] a étudié l'efficacité d'une ailette droite et humide (section transversale uniforme), comme il est monté dans la figure II.1.

En ajoutant l'effet de la chaleur de condensation à l'équation qui régit la distribution de



**Figure II.1 Ailettes de section uniforme.**

température dans l'ailette.

Il a utilisé la relation de Lewis pour obtenir le coefficient de transfert de masse ( $h_D$ ) :

$$h_D = h/C_{pa} \quad (II.1)$$

Donc, une nouvelle équation régissant de la température de l'ailette en considérant le transfert combiné de chaleur et de masse donne :

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{hP}{kA} \left[ (T - T_a) + \frac{h_{fg}}{C_{pa}} (W - W_a) \right] \quad (II.2)$$

Pour résoudre cette équation, il a supposé que  $(W - W_a)$  est linéairement liée à  $(T - T_a)$  :

$$C = \frac{(W - W_a)}{(T - T_a)} \quad (II.3)$$

Il constat que la condensation de l'humidité réduit l'efficacité de l'ailette, particulièrement lorsque que l'humidité relative devient importante. Pour une condition typique, la réduction est de 7 ou 8 % et des fois cela peut atteindre jusqu'à 14%.

**A.H. Elmahdy and R.C. Biggs** [5] fournissent une technique numérique utilisée pour déterminer l'efficacité des ailettes circulaires ou continues sèches et humides dans des conditions de transfert simultané de chaleur sensible et latente en utilisant le premier principe de la thermodynamique.

La distribution de la température sur la surface de l'ailette est requise pour calculer  $\eta$  d'où la distribution de la température est écrite sous l'équation différentielle non linéaire.

Et pour simplifier la solution numérique de leur équation une relation linéaire entre  $W_s$  et  $T_r$  sur une petite plage de température a été supposée :

$$W_{s,r} = a + b_s T_r \quad (II.4)$$

$$\text{D'où : } b_s = \frac{W_{s,2} - W_{s,1}}{T_2 - T_1}$$

Et pour une ailette sèche  $b_s=0$  alors les constantes  $a$  et  $b_s$  doivent être déterminées à partir des données psychrométriques pour la gamme de température de l'eau considérée.

Les résultats analytiques montrent une réduction importante de l'efficacité des ailettes se produit avec des quantités croissantes de déshumidification. Leur technique pourrait être utilisée pour estimer la performance des échangeurs de chaleur et déterminer la surface de l'ailette optimale pour les processus de déshumidification pendant la phase de conception.

Un modèle bidimensionnel a été développé pour analyser les performances de l'ailette avec un transfert combiné de chaleur et de masse dans les processus de refroidissement et de

déshumidification a été faite par **L.-T. Chen** [6] l'analyse a été faite à l'état stable sur une ailette rectangulaire.

Des bilans d'énergie sont réalisés sur l'ailette et le flux d'air humide séparément pour produire les équations différentielles sachant que la distribution de la température de l'ailette est supposée être 2-D, les équations différentielles de l'ailette deviennent :

$$\frac{dW_a}{dy} = -\frac{2h_c}{G_a s C_{pa}} (W_a - W) \quad (\text{II. 5})$$

$$\frac{dT_a}{dy} = -\frac{2h_c}{G_a s C_{pa}} (T_a - T) \quad (\text{II. 6})$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{2h_c}{kt} (T_a - T) \left(1 + \frac{h_{fg}C}{C_{pa}}\right) = 0 \quad (\text{II.7})$$

Lorsqu'elles sont résolues, ces équations donnent à la fois la distribution de la température de l'ailette et la répartition de la propriété de l'air sur la surface de l'ailette. Dans le modèle de McQuiston, une valeur constante de C a été supposée, Alors que dans cette analyse, la valeur locale de C est calculée.

La valeur de W est liée à T par une relation polynomiale de second degré, qui a été dérivée dans le modèle de [7] d'où :

$$W = 1.2075 - 0.009125.T + 0.00001726.T^2 \quad (\text{II.8})$$

Les équations différentielles régissant sont refondues en une forme adimensionnelle

Les trois équations différentielles sont résolues par un schéma d'intégration numérique itératif (Runge-Kutta de quatrième ordre).

Il montre que la valeur de C diminue avec l'augmentation de x et diminue jusqu'à zéro. Cela peut s'avérer important dans l'évaluation de la performance de l'ailette avec des paramètres environnementaux variables sur la surface de l'ailette dans le processus de refroidissement et de déshumidification. Cette étude ne nécessite pas l'hypothèse d'un facteur de condensation groupé.

Une analyse analytique a été faite par **Balaram Kundu** [8] sur des ailettes coniques droits comme le montre la figure II.2 d'où il a supposé que la conductivité thermique du matériau d'ailette, la puissance à la base de l'ailette, la pression, la température et l'humidité relative de l'air environnant sont constantes.

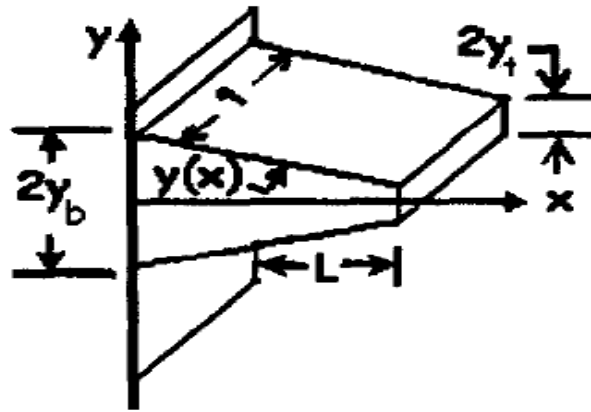


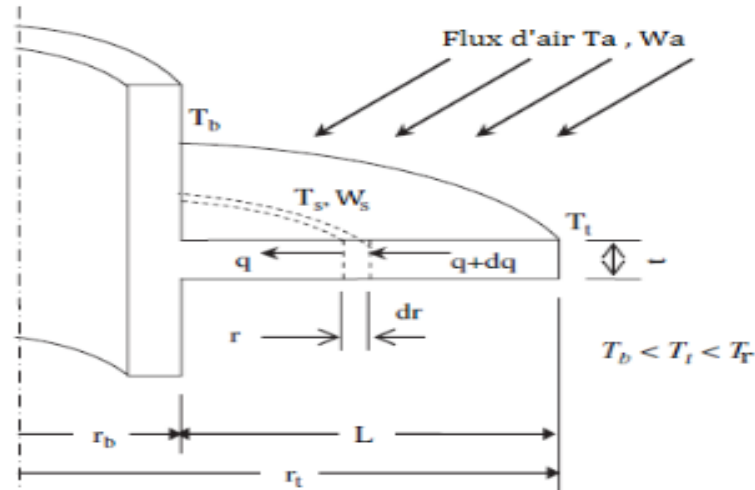
Figure II.2 Configuration géométrique d'une aile conique droite

Le bilan énergétique d'une ailette complètement humide en supposant une relation linéaire entre l'humidité spécifique de l'air ( $W$ ) et la température locale de l'ailette ( $T$ ) est que le profil de cette ailette peut être exprimé sous la forme adimensionnelle.

Leur résolution analytique montre que :

- L'augmentation de l'humidité relative de l'air augmente la température au niveau de l'ailette à cause de la chaleur latente de vaporisation.
- La performance des ailettes trapézoïdales avec condensation est moins efficace que des ailettes trapézoïdales sans condensation soumises aux mêmes paramètres thermiques et géométriques en conclusion, les performances des ailettes dépendent fortement des profils d'ailette et de l'humidité relative.
- Pour chaque valeur d'humidité relative, la performance de l'ailette est maximale pour l'ailette rectangulaire, minimale pour l'ailette triangulaire.
- Le rapport d'aspect optimal d'une ailette humide est le plus grand dans le cas de l'ailette triangulaire et le plus petit dans le cas de l'ailette rectangulaire pour un volume d'ailette donné.

Une solution analytique pour l'efficacité d'une ailette annulaire dans des conditions totalement humides en utilisant les différences de rapport de température et d'humidité comme forces d'entraînement pour les mécanismes de transfert de chaleur et de masse, respectivement a été faite par **M.H. Sharqawy, S.M. Zubair** [9]. L'analyse de l'état stationnaire est effectuée sur une ailette annulaire lorsqu'elle est exposée au flux d'air humide en mouvement, comme le montre la Fig.II.3.



**Figure II.3 Schéma d'une ailette annulaire complètement humide.**

Le bilan énergétique sur le volume de contrôle d'une ailette annulaire d'épaisseur uniforme représentée sur la figure II.3.

On considère que la chaleur latente de l'évaporation de l'eau ( $h_{fg}$ ), le nombre de Lewis ( $Le$ ) et la chaleur d'air spécifique ( $C_p$ ) comme des constantes car les variations ne sont pas significatives pour des conditions typiques de fonctionnement de l'ailette. Ainsi,  $B$  peut être considéré comme une constante.

Une hypothèse de modèle linéaire plus réaliste est introduite pour la relation entre le taux d'humidité et la température pour résoudre l'équation (II.9) sur la gamme de température ( $T_b < T < T_r$ ) comme suit:

$$W_s = a_2 + b_2 T \quad (II.10)$$

Avec :  $a_2 = W_{s,b} - \frac{W_{s,r} - W_{s,b}}{T_r - T_b} T_b$  et  $b_2 = \frac{W_{s,r} - W_{s,b}}{T_r - T_b}$

L'équation différentielle obtenue est de second ordre non homogène. Sa résolution est analytique. Les résultats évalués sont pour le cas d'ailette dans un état complètement humide et sont :

- ✓ l'efficacité globale de l'ailette
- ✓ le taux de transfert de chaleur total

Les conclusions de cette étude sont les suivantes:

- L'efficacité globale de l'ailette dépend de l'état de la surface de l'ailette.

- Cette étude présente un nouveau paramètre d'ailette modifié qui peut être calculé sans connaître pour autant la condition à la pointe de l'extrémité de l'ailette, et en plus, il peut être déterminé graphiquement.
- Pour l'ailette entièrement mouillée, le résultat du présent travail montre que l'efficacité globale de l'extrémité dépend de la pression atmosphérique. À mesure que la pression atmosphérique augmente, l'efficacité globale de l'ailette augmente également.
- la température de surface augmente quand il y a condensation d'humidité, plus l'humidité relative est élevée, plus la température de surface devient élevée.

Une ailette rectangulaire verticale a été étudiée avec un film de condensation mobile par **Xiangguo Xu, Liang Xia, Mingyin Chan, Shiming Deng [10]** d'où Le modèle McQuiston modifié a été développé en fonction de l'hypothèse de condensation du type de film.

Le taux de condensation totale,  $m_{co}(x)$  défini comme la somme du débit massique total de la vapeur d'eau condensée à partir du  $(x / H)\%$  de la surface totale de la surface de l'ailette et du flux de condensat dans le volume de contrôle. L'équation de la distribution de chaleur devient :

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} = \frac{m_{co}(x)c_{pw}}{kA_c} \frac{d\theta}{dx} + \frac{hp}{kA_c} \left( \frac{Ch_{fg}}{C_{pa}} + 1 \right) \theta \quad (II.11)$$

Le modèle modifié de McQuiston a été validé en comparant ses prédictions avec celles utilisant le modèle populaire McQuiston existant.

Les résultats numériques des deux modèles sont les mêmes lorsque le taux de condensation total était faible mais ils s'écartent sensiblement l'un de l'autre lorsque le taux de condensation total augmente. Il a été suggéré que le modèle McQuiston modifié puisse remplacer le modèle existant de McQuiston pour évaluer l'efficacité des ailettes humides à tous les taux de condensation totale.

Une analyse à l'état stationnaire est effectuée sur une ailette droite lorsqu'elle est exposée au flux d'air humide en mouvement par **H. Goodarzian, S. A. R. Sahebi, M. Omran Shobi2 and J. Safaei, [11]** pour étudier l'efficacité de l'ailette. Le profil d'ailette est défini en fonction de la variation de l'épaisseur de l'ailette le long de sa longueur prolongée d'où

$$t = t_b(x/L)^n = t_b X^n.$$

L'équation différentielle générale résulte d'un bilan énergétique sur un élément d'ailette droite à la direction du flux de chaleur et pour simplifier la solution de leur équation différentielle ils ont adapté la même valeur de  $Ws$  dans la saturation qui a été adaptée dans le modèle de **A.H. Elmahdy and R.C. Biggs** [5] et **M.H. Sharqawy, S.M. Zubair** [9] Alors l'équation de la distribution de chaleur devient une équation différentielle de second ordre non homogène et la solution de cette équation est de type :

$$\frac{\theta_t + \theta_p}{\theta_b + \theta_p} = \frac{\cosh mLX}{\cosh mL} \quad (\text{II.12})$$

Une méthode de collocation a été effectuée pour étudier l'efficacité des ailettes droites de différentes configurations lorsqu'elles sont soumises au transfert de chaleur et de masse. Les solutions analytiques sont obtenues pour la répartition de la température sur la surface de l'ailette lorsque l'ailette est complètement mouillée.

Il est démontré que la solution de forme fermée pour une ailette sèche est présente dans un cas particulier pour les solutions. Les résultats indiquent que cette méthode est très simple et adaptée aux problèmes linéaires et les résultats sont faciles à régler.

Malgré le grand nombre d'études faites dans ce domaine et parmi elle celles déjà présentées, la recherche dans le sens de l'étude des ailettes est continuellement en évolution. Ce travail est une contribution pour l'étude analytique des transferts de chaleur et de masse des ailettes.

Nous avons synthétisé toutes ces études et le tableau suivant récapitule tous les travaux cité. Cela permet de mieux visualiser l'influence des hypothèses prises en compte et des modèles mathématiques appliqués sur les résultats obtenus.

Tableau II-1 Récapitule tous les travaux cités

| Auteur                                                                   | Modèle mathématique                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Résultat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | commentaire                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A.H. Elmahdy and R.C. Biggs (1983)</b>                                | $r \frac{d^2 T}{de^2} + \frac{dT}{dr} - r \frac{2f_0}{kt} \left[ t + \frac{h_{fg}}{LeC_p} (a + b_s(T + T_a) - W_a) \right] = 0$ $q = \int_{r_{int}}^{r_{ext}} 4\pi (hrT_0 + h_D h_{fg} Wr) dr$ $\eta = \frac{2 \int_{r_{int}}^{r_{ext}} 4\pi \left( rT + \frac{h_{fg}}{LeC_p} Wr \right) dr}{\left( T + \frac{h_{fg}}{LeC_p} W_0 \right) (r_{ext}^2 - r_{int}^2)}$ | Leurs résultats analytiques montrent une réduction important de l'efficacité des ailettes se produit avec des quantités croissantes de déshumidification.                                                                                                                                                                                              | Leur technique pourrait être utilisée pour estimer la performance des échangeurs de chaleur et déterminer la surface de l'ailette optimale pour les processus de déshumidification pendant la phase de conception. |
| <b>H. Goodarzian, S. A. R.Sahebi, M. OmranShobi and J. Safaee (2011)</b> | $\frac{d^2 \theta}{dX^2} - m^2 L^2 \theta = m_0^2 L^2 \beta C_0$ $q = A_b km(\theta_b + \theta_p) \tanh(mL)$ $\eta = \frac{\tanh(XL)}{mL}$                                                                                                                                                                                                                         | une méthode de collocation a été étudiée avec une famille d'essai de la solution approximative T. la solution d'essai contient cinq coefficients indéterminés. Ce résidu ne disparaît qu'avec la solution exacte pour le problème avec une hypothèse de base est que le résidu ne s'écarte pas beaucoup de zéro entre les emplacements de collocation. | Les résultats indiquent que cette méthode est très simple et adaptée aux problèmes linéaires et les résultats sont faciles à régler.                                                                               |
| <b>McQuiston (1975)</b>                                                  | $\frac{d^2(T - T_a)}{dx^2} = m^2(T - T_a)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Pour résoudre cette équation, il a supposé que $(W - W_a)$ est linéairement liée à $(T - T_a)$ . Il a trouvé que la condensation de l'humidité réduit l'efficacité d'ailette, particulièrement pendant que l'humidité relative devient grande.                                                                                                         | Ce modèle est simple et direct à utiliser. Il est facilement adaptable à l'ordinateur et facile à utiliser avec des calculs à la main                                                                              |



|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>XiangguoXu,</b><br/><b>Liang Xia,</b><br/><b>Mingyin</b><br/><b>Chan,</b><br/><b>Shiming</b><br/><b>Deng (2008)</b></p> | $\frac{d^2\theta}{d\theta^2} = \frac{m_{co}(x)c_{pw}}{kA_c} \frac{d\theta}{dx} + \frac{hp}{kA_c} \left( \frac{Ch_{fg}}{C_{pa}} + 1 \right) \theta$ $\eta = \frac{\int_0^H \theta dx}{\theta_b H}$                                                                            | <p>le modèle McQuiston modifié peut remplacer le modèle McQuiston existant pour évaluer l'efficacité des ailettes humides à tous les différents taux de condensation totale, bien que ce dernier puisse continuer à être utilisé Pour les bobines à ailettes utilisées dans les installations de climatisation où le taux de condensation total était faible.</p>                           | <p>Le modèle modifié de McQuiston a été validé en comparant ses prédictions avec celles utilisant le modèle populaire McQuiston existant. Il a été suggéré que le modèle McQuiston modifié puisse remplacer le modèle existant de McQuiston pour évaluer l'efficacité des ailettes humides à tous les taux de condensation totale.</p> |
| <p><b>Balaram</b><br/><b>Kundu (2002)</b></p>                                                                                 | $\frac{d}{dY} \left[ Y \frac{d\theta}{dY} \right] = m^2 (\theta + \zeta)$                                                                                                                                                                                                    | <p>Ces résultats montrent qu'une augmentation de l'humidité relative de l'air, la température augmente partout de la base de l'aileron à l'extrémité de l'aileron en raison de la chaleur latente de la vaporisation entrant en jeu pour une nageoire humide. Par conséquent, le gradient de température à la pointe pour une ailette sèche est supérieur à celui de l'aillette humide.</p> | <p>le rapport d'aspect optimal d'une ailette humide est le plus grand dans le cas de l'aillette triangulaire et le plus petit dans le cas de l'aillette rectangulaire pour un volume d'aillette donné.</p>                                                                                                                             |
| <p><b>L.-T. Chen</b><br/><b>(1991)</b></p>                                                                                    | $\frac{d^2 T^*}{dx^{*2}} + \frac{d^2 T^*}{dy^{*2}} + \frac{2L^2 h_c}{kt} (T_a^* - T^*) \left( 1 + \frac{h_{fg} C}{C_{pa}} \right) = 0$ $\frac{dT_a^*}{dy^*} = - \frac{2Lh_c}{G_a s C_{pa}} (T_a^* - T^*)$ $\frac{dW_a^*}{dy^*} = - \frac{2Lh_c}{G_a s C_{pa}} (W_a^* - W^*)$ | <p>La valeur de W est liée à T par une relation polynomiale de second degré. Il montre que la valeur de C diminue avec l'augmentation de x et diminue à 0.</p>                                                                                                                                                                                                                              | <p>Les résultats de ce modèle varient considérablement de ceux du modèle classique 1-D, qui, comme on peut s'attendre, donne des rendements plus élevés dans certaines conditions d'exploitation.</p>                                                                                                                                  |

|                                                 |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>M.H. Sharqawy, S.M. Zubair (2007)</b></p> | $\frac{d^2\theta}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\theta}{dr} - m^2\theta = m_0^2 B C_0$ $q = 2\pi r t k \frac{dT_s}{dr}$ | <p>Pour l'ailette entièrement mouillée, le résultat du ce travail montre que l'efficacité globale de l'extrémité dépend de la pression atmosphérique d'où quand la pression atmosphérique augmente, l'efficacité globale de l'ailette augmente également. La température de surface augmente quand il y a condensation d'humidité, plus l'humidité relative est élevée, plus la température de surface devient élevée.</p> | <p>Ils présentent un nouveau paramètre d'ailette modifié qui peut être calculé sans connaître la condition de l'ailette à l'extrémité, en plus, il peut être trouvé graphiquement.</p> |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **CHAPITRE *III***

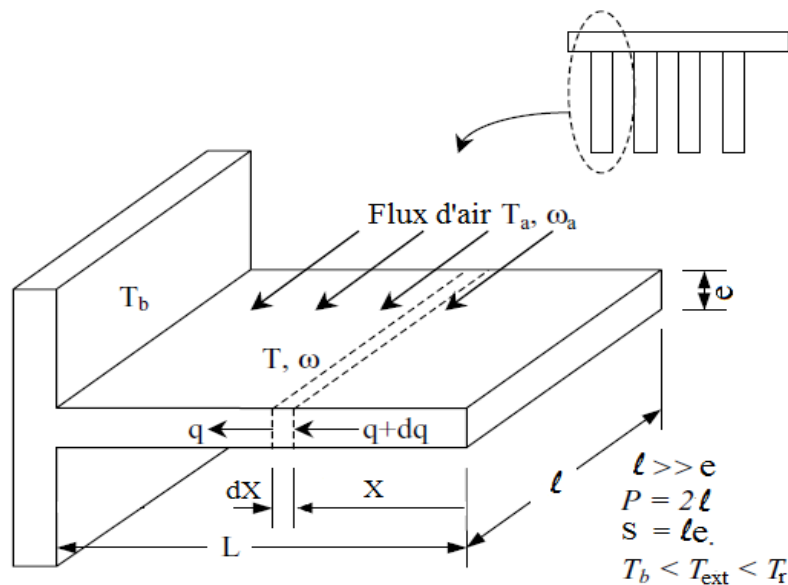
### **MODELE MATHEMATIQUE**

## CHAPITRE III MODELE MATHEMATIQUE

Dans notre présente étude nous utilisons les modèles qui sont détaillés dans ce qui suivra.

### III.1 Modèle physique

Une analyse à l'état stationnaire est effectuée sur un système d'ailettes consistant en une ailette rectangulaire droite lorsqu'elle est exposée au flux d'air humide en mouvement, comme le montre la figure 1.



**Figure III.1 bilan d'énergie dans l'ailette rectangulaire complètement humide**

#### III.1.2 Hypothèses :

À cet égard, les hypothèses suivantes sont faites pour simplifier l'analyse:

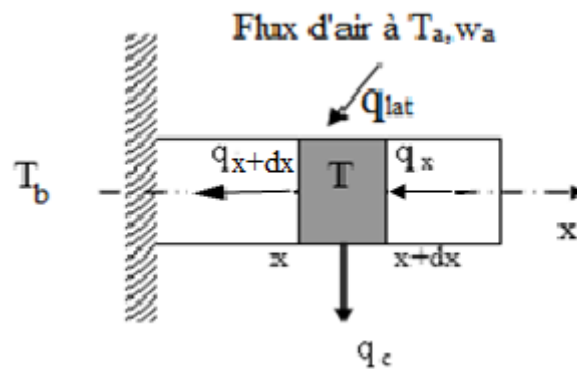
- Le matériau de l'ailette est homogène, sa conductivité thermique est la même dans toutes les directions.
- La chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau est constante
- Le transfert de chaleur et de masse est dans des conditions stables
- Le coefficient de transfert convectif sur les faces de l'ailette est constant et uniforme.
- L'épaisseur de l'ailette est mince par rapport à sa longueur et sa hauteur, donc le gradient de température et le flux de chaleur suivant l'épaisseur peut être négligé.

- La température à la base de l'ailette est uniforme.
- La résistance thermique associée à la présence d'un film d'eau mince due à la condensation est faible et peut être négligée
- L'effet de la baisse de pression de l'air due à l'écoulement de l'air est négligé.

Ce sont essentiellement les hypothèses classiques qui sont généralement utilisées pour l'analyse des surfaces étendues.

### III.1.3 Equation régissante :

Considérons un élément de volume d'une ailette rectangulaire situé à  $x$  ayant une longueur  $dx$ , une surface  $S$ , et un périmètre  $P$ , encastrée dans un mur de température  $T_0$  et baignant dans un fluide de température  $T_a$  et de coefficient d'échange convectif  $h$ . La surface d'échange totale de l'ailette est



**Figure III.2 Schéma d'une ailette rectangulaire complètement humide**

$$S_{tot} = l.e + 2.L.l + 2.L.e \quad (III.1)$$

En régime permanent, le bilan énergétique de cet élément de volume peut être exprimé comme suit :

$$q_{cond,x} - q_{cond,x+dx} + q_{conv} + q_{lat} = 0 \quad (III.2)$$

Où :

- Le transfert de chaleur sensible  $q_{conv}$  dû de la différence de température entre la surface de l'ailette et le flux d'air humide

$$q_{conv} = h(Pdx)(T_a - T) \quad (III.3)$$

- Le transfert de chaleur latente  $q_{lat}$  en raison de la condensation.

$$q_{lat} = h_D(Pdx)i_{fg}(W_a - W) \quad (III.4)$$

En remplaçant l'équations (III.3) et III.4) dans l'équation (III.2) puis en divisant par  $dx$ , nous obtenons :

$$-\frac{q_{cond,x+dx}-q_{cond,x}}{dx} + hp(T_a - T) + h_D P i_{fg}(W_a - W) = 0 \quad (III.5)$$

En faisant la limite quand  $dx \rightarrow 0$ , on a :

$$\frac{q_{cond,x+dx}-q_{cond,x}}{dx} = \frac{dq_{cond}}{dx} \quad (III.6)$$

L'équation (III.5) devient :

$$\frac{dq_{cond}}{dx} = hp(T_a - T) + h_D P i_{fg}(W_a - W) \quad (III.7)$$

D'après la loi de Fourier de la conduction de chaleur et puisque l'orientation de coordonnée  $x$  est opposée à la direction du flux de chaleur dans l'ailette, le flux de chaleur réel à travers la base d'ailette  $q_b$  est obtenu de

$$q_{cond} = ks \frac{dT}{dx} \quad (III.8)$$

La substitution de cette relation dans l'équation (III.7) donne l'équation différentielle qui régit le transfert de chaleur dans l'ailette :

$$\frac{d}{dx} \left( ks \frac{dT}{dx} \right) = hp(T_a - T) + h_D P i_{fg}(W_a - W) \quad (III.9)$$

Les coefficients de transfert de chaleur et de masse sont reliés par l'analogie de Chilton-Colburn:

$$\frac{h}{h_D} = C_p Le^{2/3} \quad (III.10)$$

L'équation (III.9) devient :

$$\frac{dT^2}{dx^2} = \frac{hp}{ks} \left[ (T_a - T) + \frac{i_{fg}}{C_p Le^3} (W_a - W) \right] \quad (III.11)$$

### III.1.4 Adimensionnalisation de l'équation

Posant :

$$\blacksquare \quad X = \frac{x}{L} \text{ donc } dx = LdX$$

La surface rectangulaire  $S$  de l'ailette s'écrit :

$$S = e.l \quad (III.12)$$

Le périmètre de l'épingle s'écrit :

$$P = 2.l \quad (III.13)$$

$$\blacksquare \quad m = \sqrt{\frac{2h}{ke}} \quad (III.14)$$

$$\blacksquare \quad B = \frac{i_{fg}}{C_p Le^{\frac{2}{3}}} \quad (III.15)$$

$$\blacksquare \quad \theta = \frac{T_a - T}{T_a - T_b} \quad (III.16)$$

Donc  $\frac{dT}{dX} = -(T_a - T_b) \frac{d\theta}{dX}$  et la seconde dérivée égale à :

$$\frac{dT^2}{dX^2} = -(T_a - T_b) \frac{d\theta^2}{dX^2} \quad (III.17)$$

En introduisant les paramètres sans dimension ( $X$ ,  $\theta$ ,  $\Omega$  Et  $B$ ) dans l'équation différentielle de régulation (III.11) peut être exprimée sous la forme normalisée suivante:

$$\frac{d\theta^2}{dX^2} = (mL)^2 \left[ \theta + B \frac{W_a - W_b}{T_a - T_b} \Omega \right] \quad (III.18)$$

D'où :

$$\Omega = \frac{W_a - W}{W_a - W_b} \quad (III.19)$$

L'étape qui suit consiste à résoudre analytiquement l'équation III.20 qui régit le transfert de chaleur et de masse le long de l'ailette rectangulaire.

### III.2 la résolution de l'équation différentielle :

On souligne que la chaleur latente de vaporisation de l'eau, le nombre de Lewis et la chaleur spécifique de l'air peuvent être supposés constants parce que les variations ne sont pas significatives pour les conditions typiques de fonctionnement d'une ailette. Par conséquent,  $B$  a été supposé être une constante [12].

### CHAPITRE III

Pour une condition d'airs donnés,  $T_a$  et  $W_a$  sont connues. Cependant, l'équation (III.19) a deux inconnues,  $\theta$  et  $\Omega$ , À déterminer.

Pour résoudre l'équation (III.19), une équation supplémentaire pour  $\Omega$  est nécessaire.

Alors une relation linéaire suggérée par Sharqawy et Zubair [12] entre  $W$  et  $T$  sur la plage de température ( $T_b < T < T_r$ ) peut être écrite comme suit:

$$W = a_2 + b_2 T \quad (III.20)$$

$$\text{Où : } a_2 = W_b - \frac{W_r - W_b}{T_r - T_b} T_b \quad (20.1)$$

$$\text{et } b_2 = \frac{W_r - W_b}{T_r - T_b} \quad (20.2)$$

Ici, les constantes  $a_2$  et  $b_2$  peuvent être calculées à partir des conditions de l'air ambiant et de la température de base de l'ailette.

En fait, la température maximale à l'extrémité de l'ailette est la température du point de rosée  $T_r$  du courant d'air. En remplaçant l'équation (III.15) dans l'équation (III.14), on obtient:

$$\frac{d\theta^2}{dx^2} - (m_0 L)^2 \theta = (mL)^2 B C_0 \quad (III.21)$$

$$\text{D'où : } C_0 = \frac{W_a - a_2 - b_2 T_a}{T_a - T_b} \quad (III.22)$$

$$\text{et } m_0 = m \sqrt{1 + b_2 B} \quad (III.23)$$

L'équation (III.21) qui gouverne la température est une équation différentielle du second ordre non homogène avec second membre.

La solution de l'équation (III.21) est la somme la solution générale et la solution particulière décrit dans ce qui suit :

✓ la solution générale de l'équation sans second membre

$$\frac{d\theta^2}{dx^2} - (m_0 L)^2 \theta = 0 \quad (III.24)$$

✓ la solution particulière de l'équation complète



## CHAPITRE III

D'où la solution générale est de la forme :

$$\theta(X) = C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{-r_2 x} \quad (\text{III.25})$$

Or  $e^x = \cosh x + \sinh x$ ,

Donc la solution devient

$$\theta(x) = C_1 \cosh(r_1 x) + C_2 \sinh(r_2 x) \quad (\text{III.26})$$

Avec :  $r_1 = m_0 L$  et  $r_2 = -m_0 L$

$C_1$  et  $C_2$  sont des constantes qui seront déterminées à l'aide des conditions aux limites.

Pour notre étude d'ailette rectangulaire, deux types de conditions aux limites sont proposés.

### III.3 Conditions aux limites

L'ailette est supposée infiniment longue et A l'extrémité de l'ailette le flux conductif est égal au flux convectif cela traduit par :

- $X=0, \quad hP(T_a - T) + BP(W_a - W) = kS \frac{dT}{dx} \quad (\text{III.27})$

- $X=1, \quad \theta = \theta_b \quad (\text{III.28})$

Alors la variation de  $\theta$  est :

$$\theta(X) = (1 + \theta_p) \frac{\cosh(m_0 LX)}{\cosh(m_0 L)} - \theta_p \quad (\text{III.29})$$

Posant :  $\theta_p = \frac{BC}{1+b_2B} \quad (\text{III.30})$

Il est important de noter que  $\theta_p$  représente la composante de transfert de masse du flux de transfert de chaleur total.

On en tire les valeurs des caractéristiques thermiques de l'ailette.

- **La variation de la température :**

$$T(X) = T_a - (T_a - T_b) \left[ (1 + \theta_p) \frac{\cosh(m_0 LX)}{\cosh(m_0 L)} + \theta_p \right] \quad (\text{III.31})$$

- **Le flux de chaleur dégagé :**

Le flux de chaleur réel transféré à la surface d'épingle,  $q_{réel}$ , peut être calculé de

$$q_{réel} = k \frac{S}{L} (T_a - T_b) \frac{d\theta}{dx} \quad (III.32)$$

Ceci donne :

$$q_{réel} = kSm_0(T_a - T_b)(1 + \theta_p)\tanh(m_0L) \quad (III.33)$$

Le flux de transfert de chaleur maximum,  $q_{max}$ , qui existerait si la surface de l'ailette complète est à la température de base et le taux d'humidité saturée correspond à cette température, peut être calculée par l'équation suivante :

$$q_{max} = S_{tot}h[(T_a - T_b) + B(W_a - W_b)] \quad (III.34)$$

En substituant la surface totale dans l'équation du  $q_{max}$  nous donnera le flux maximum possible de transfert de chaleur qui peut être écrit comme :

$$q_{max} = kSm_0^2L(T_a - T_b)(1 + \theta_b) \quad (III.35)$$

- **L'efficacité de l'ailette :**

Introduisant l'efficacité d'ailette comme le rapport entre le flux de transfert de chaleur total réel au flux de transfert de chaleur maximum possible, nous obtenons :

$$\eta = \frac{q_{réel}}{q_{max}} = \frac{\tanh(m_0L)}{m_0L} \quad (III.36)$$

**McQuiston [13]** et **Wu et Bong [14]** ont également obtenu la même expression de l'efficacité d'ailettes dans des conditions complètement humides, mais seulement pour les ailettes rectangulaires droites.

Dans la méthode présentée par **McQuiston**, le paramètre  $m$  est égal à  $m_0(1+BC_0)^{1/2}$ , où  $C$  est une constante définie par l'équation (III.23), mais dans la méthode de Wu, le paramètre  $m_0$  est égal à  $m(1+b_1B)^{1/2}$ .

Dans le présent travail, la constante  $b_2$  (voir l'équation ((III.20.2))), qui est essentiellement la pente moyenne sur la plage de température ( $T_b < T_s < T_r$ ). Cela peut facilement être calculé sans connaître l'état de l'extrémité de l'épingle et en plus il nous rassure l'état à l'état complètement humide.

Pour effectuer tous les calculs décrits précédemment nous avons conçu une application qui nous permet de déterminer :

### CHAPITRE III

- L'évaluation de la température adimensionnelle  $\theta(X)$  et la température  $T(X)$  selon la hauteur de l'ailette.
- L'efficacité de l'ailette.
- Le flux de chaleur dégagé par l'ailette.

Cela sera décrit dans le chapitre suivant.

## **CHAPITRE IV**

# **GUIDE D'UTILISATION DE** **L'OUTIL DE CALCULE**

## **CHAPITRE IV GUIDE D'UTILISATION DE L'OUTIL DE CALCUL**

---

La variation de la température est habituellement calculée par des méthodes analytiques ou numériques. Alors plusieurs modèles ont été élaborés pour simuler la variation de la température.

Ce travail a commencé par des simulations sur « MATLAB », pour le déroulement de l'équation et obtention des résultats primaires, par la suite une INTERFACE a été créée. Cette partie représente les organigrammes utilisés sur MATLAB et L'INTERFACE.

Ce document fournit le guide d'utilisation, étape par étape, de l'interface (application) HRF. C'est une application avec une interface java qui estime le flux de chaleur et l'efficacité pour les ailettes rectangulaires en milieu humide.

Ce logiciel comprend les étapes suivantes :

- ✓ Faire entrer les données spécifiques qui caractérisent les ailettes et leur milieu.
- ✓ Choisir entre les séries de calculs.
- ✓ Afficher des résultats avec les graphiques.

### **IV.1 Outil de Calcul**

Notre programme est basé sur une équation de la solution de l'équation différentielle de deuxième ordre avec second membre taux qui calcule la variation de température le long de l'ailette. A partir de cette variation on déduit d'autres paramètres tels que le flux de chaleur dégagé et l'efficacité de l'ailette.

Les valeurs à entrer sont des données géométriques de l'ailette et des données thermophysiques de fluide et de l'ailette.

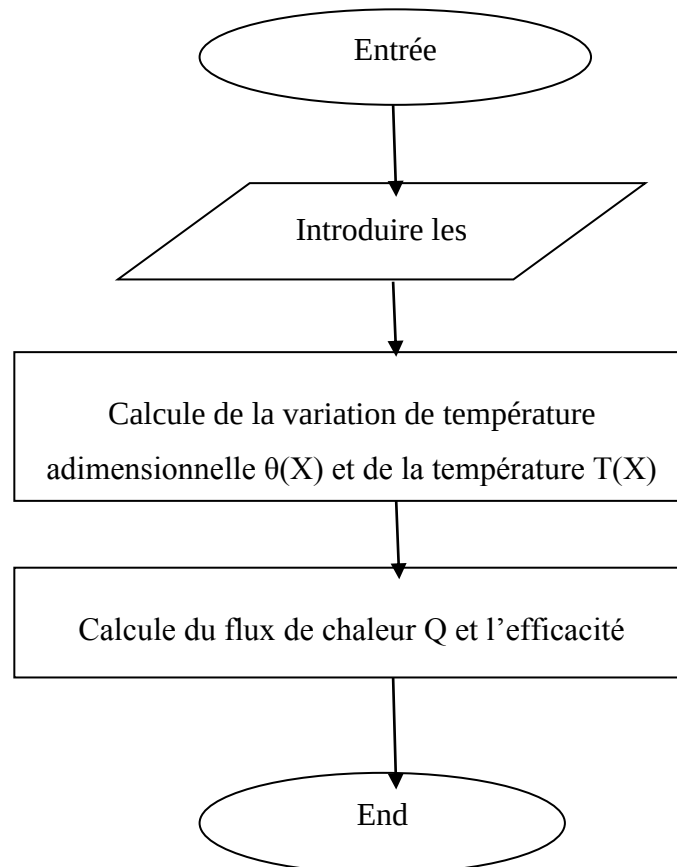
## IV.2 Programme etudier MATLAB :

### IV.2.1 définition du programme MATLAB :

**MATLAB** (« *matrix laboratory* ») est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Il permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. MATLAB peut s'utiliser seul ou bien avec des *toolbox* (« boîte à outils ») [15].

### IV.2.2 Organigramme du programme sur MATLAB :

Le schéma IV.1 définit les différentes étapes suivies pour l'exécution du programme.



**Figure IV.IV.1 Organigramme du calcul dans MATLAB**

### ***IV.3 Définition de l'interface***

En informatique, une interface graphique (en anglais GUI pour graphical user interface) est un dispositif de dialogue homme-machine, dans lequel les objets à manipuler sont dessinés sous forme de pictogrammes à l'écran, de sorte que l'utilisateur peut utiliser en imitant la manipulation physique de ces objets avec un dispositif de pointage, le plus souvent une souris [16].

Les interfaces graphiques sont mises en œuvre par un ensemble de logiciels souvent inclus dans les systèmes d'exploitation (Windows) ou fournis avec eux par les distributions (Linux) [16].

Afin de simuler ce travail une interface (application) a été mise en œuvre pour faciliter l'exploration et l'analyse des résultats.

### ***IV.4 Langage JAVA***

Le langage Java est un langage de programmation informatique orienté objet.

La particularité et l'objectif central de Java est que les logiciels écrits dans ce langage doivent être très facilement portables sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que UNIX, Windows, Mac OS ou GNU/Linux, avec peu ou pas de modifications. Pour cela, divers plateformes et frameworks associés visent à guider, sinon garantir, cette portabilité des applications développées en Java [17].

### ***IV.5 Présentation et guide de l'interface :***

J'ai d'abord écrit et conçu un programme est conçu dans cette présente étude pour pouvoir vérifier et valider mes calculs. A la suite, une application est réalisée afin de rendre ces calculs à la portée des thermiciens utilisateurs de cet outil.

C'est un outil facile et agréable d'utilisation qui permettra de calculer les caractéristiques de l'ailette rectangulaire en milieu humide.

Cet outil est dénommé HRF (Humid Rectangular Fin)

#### IV.5.1 Compréhension de Humid Rectangular Fin « HRF » :

L'application créée (interface) HRF est basée sur un programme qui calcule la solution de l'équation différentielle de deuxième ordre avec second membre. Cela représente la variation de la température le long de l'ailette rectangulaire en milieu humide.

Cette interface HRF graphique est constituée de deux fenêtres dont chacune a un rôle bien défini.

Ces derniers sont utilisés par l'utilisateur de l'interface selon sa demande d'acquisition de l'information. L'objectif principal de cette application est d'offrir un service aux thermiciens de calculer l'efficacité d'une ailette rectangulaire afin de choisir les paramètres qui leur conviennent.

#### IV.5.2 Description de l'application :

Cette application contient deux fenêtres :

❖ La première fenêtre figure (IV.2) représente la première fenêtre « Parametres » de logiciel qui contient des cases pour entrer les données géométriques et thermophysiques d'une ailette rectangulaire afin de calculer l'efficacité de l'ailette pour des trois différentes valeurs d'humidité relative RH et d'épaisseur.

Dans cette fenêtre on a trois séries d'où chaque série contient les cases des paramètres qui caractérisent une valeur d'humidité relative avec une épaisseur choisie.

Etude de l'ailette en milieu humide

Parametres    Analyse Détaillé

**Parametres globaux**

Tb (°C)    ifg (J/kg)    Cp (J/kgK)    Dx    L (m)    B (°C) =

Ta (°C)    Le    k (W/mK)    h (W/m²K)

**Serie 1**    **Serie 2**    **Serie 3**

Tr (°C)    Tr (°C)    Tr (°C)

Wa (kgv/kg)    Wa (kgv/kg)    Wa (kgv/kg)

Wb (kgv/kg)    Wb (kgv/kg)    Wb (kgv/kg)

Wr (kgv/kg)    Wr (kgv/kg)    Wr (kgv/kg)

e (m)    e (m)    e (m)

**Afficher le Graphe**

**Enregistrer le Graphe**

**Zone des résultats graphiques**

**L'affichage des résultats**

Introduire les données géométriques et thermophysiques

m =    Q (W) =    m =    Q (W) =

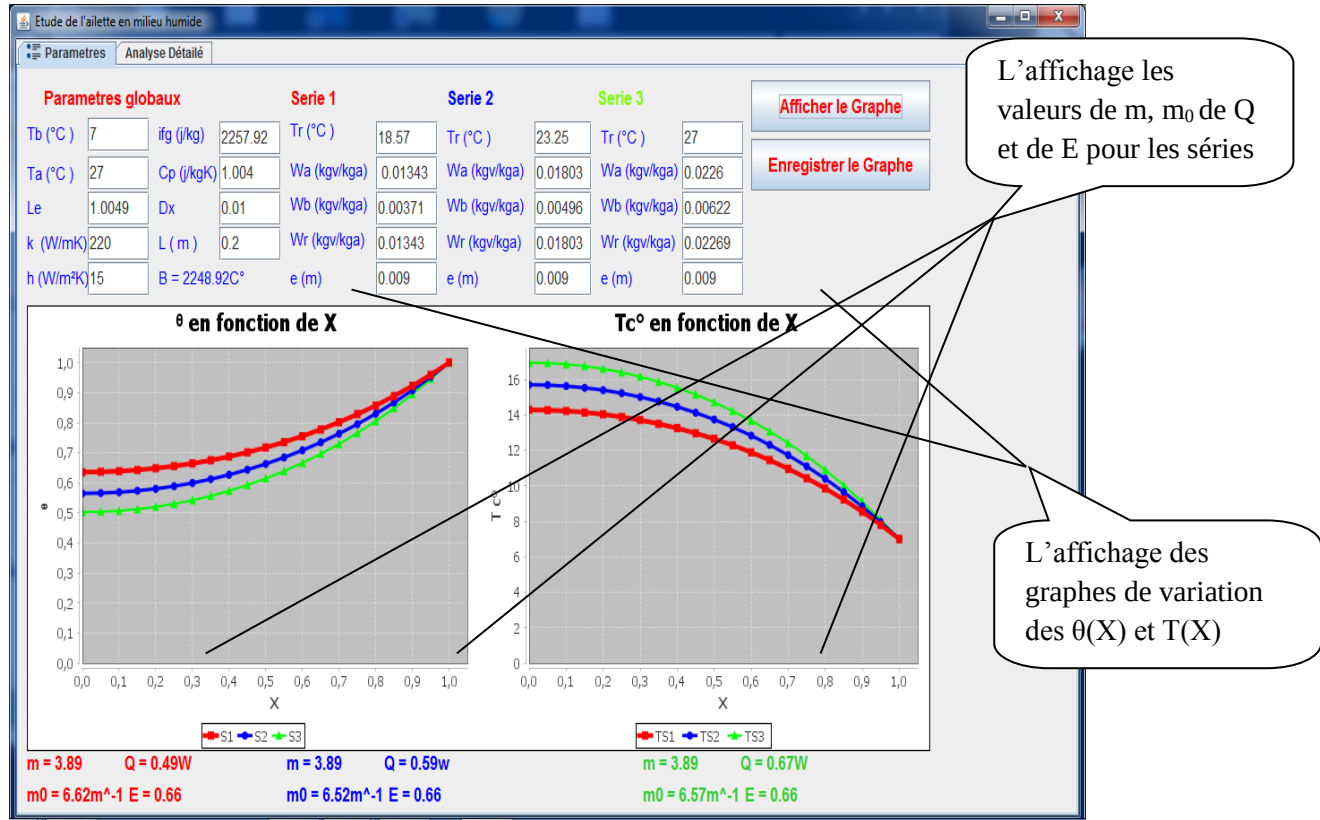
m0 (m-1) =    E =    m0 (m-1) =    E =

**Figure IV.2 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité  $E$  et afficher la variation de température pour des différentes valeurs de RH et d'épaisseurs**



### ✓ Afficher le Graphe

Après que les données sont introduites le bouton « afficher le graphe » affiche les résultats de flux de chaleur et l'efficacité et la variation des la température  $\theta$  et la température  $T$  en fonction de  $X$  comme il est montré dans la figure (IV.3).



**Figure IV.3** l'affichage des résultats de la variation de la température pour les trois séries

### ✓ Enregistrer le graphe

Afin d'enregistrer les graphes une fois que les résultats sont affichés.

- ❖ la deuxième fenêtre « Analyse Détaillée » figure IV.4 contient quatre fenêtres chacune dont le rôle est défini dans la suite.

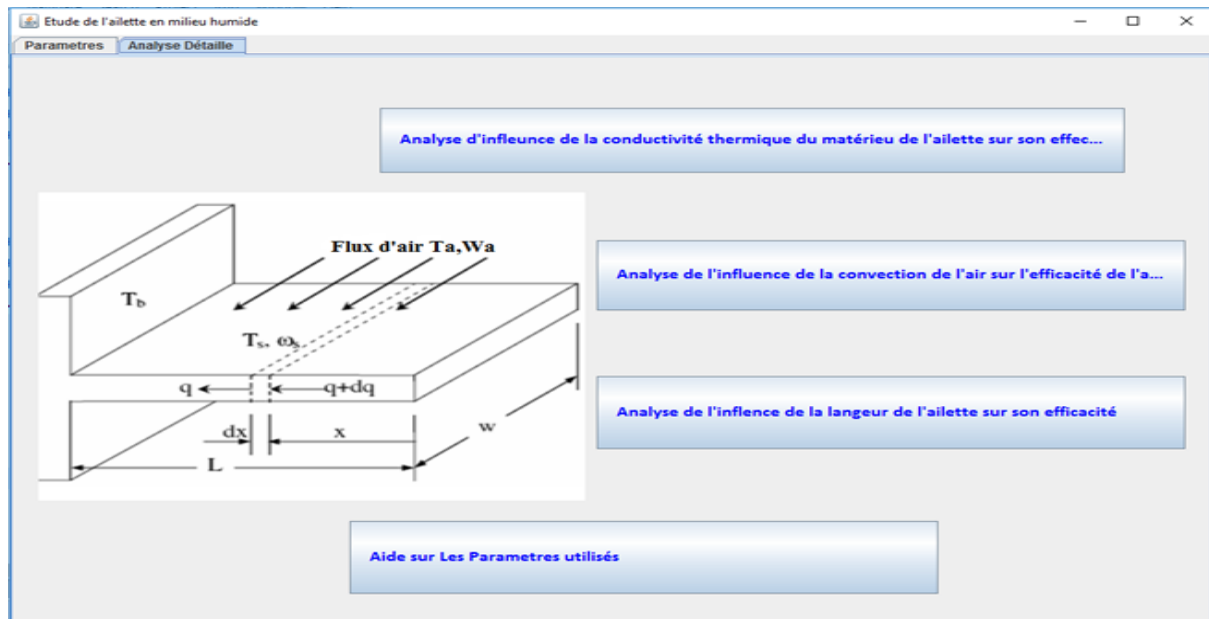


Figure IV.4 Fenêtre de l'analyse détaillée

Cette fenêtre donne 4 choix à l'utilisateur :

- ✓ Analyse de l'influence de la conductivité thermique de matériau de l'ailette sur son efficacité

Ce bouton donne l'accès à une autre fenêtre pour calculer le flux de chaleur et l'efficacité pour trois valeurs de  $k$  conductivités thermiques de matériau de l'ailette.

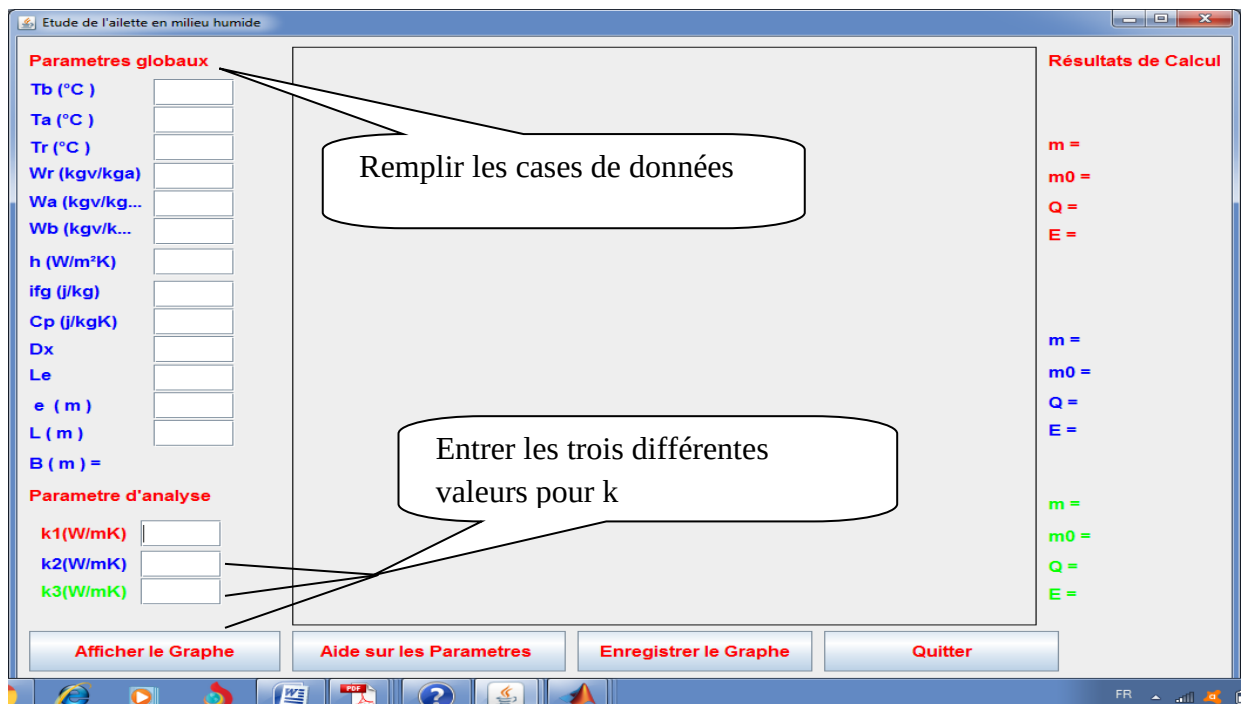
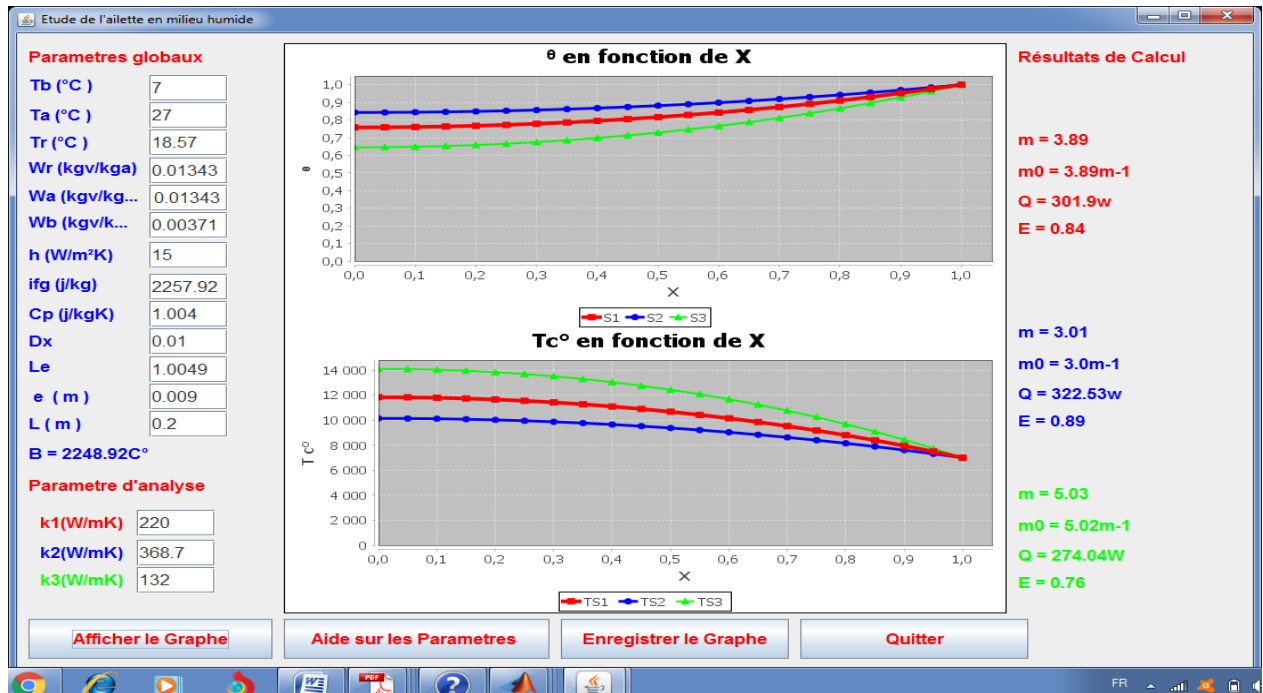


Figure IV.5 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité pour des différentes valeurs de  $K$

Dans cette fenêtre une fois les données entrées il faut cliquer sur le bouton « Afficher le Graphe » pour afficher les résultats de flux de chaleur  $Q$ , l'efficacité  $E$  et les variations de la température adimensionnelle  $\theta(X)$  et la température  $T(X)$  pour trois valeurs différentes de la conductivité thermique  $k$ . la figure IV.6 représente l'affichage de ces résultats.

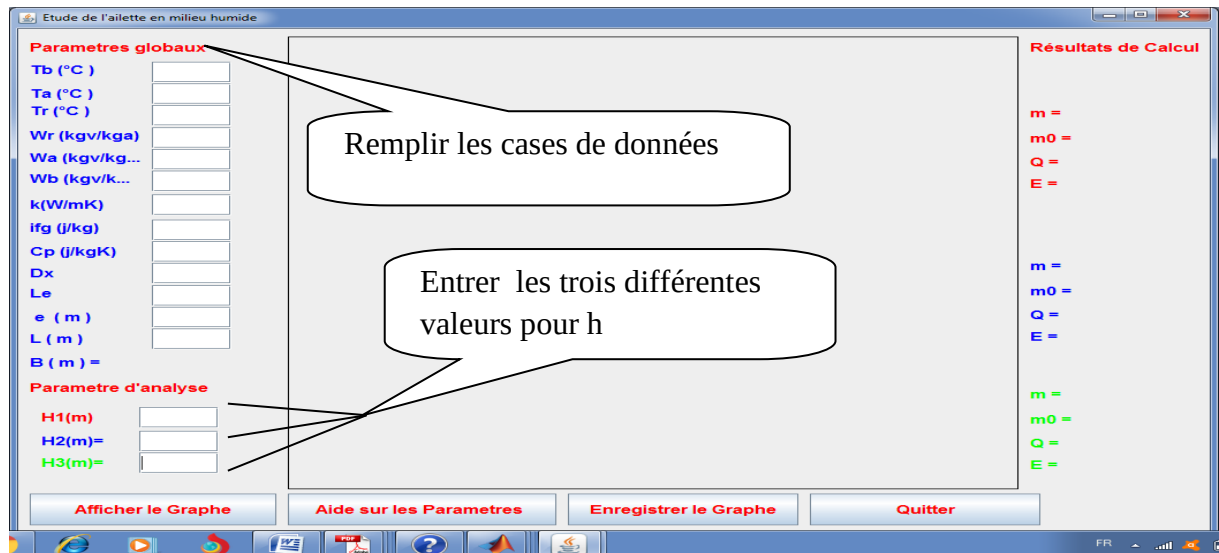


**Figure IV.6 Affichage des résultats pour des différentes valeurs de la conductivité thermique**

Une fois les résultats affichés, on clique sur bouton « Enregistrer le Graphe » pour enregistrer les graphes de la variation de la température et, enfin on clique sur le bouton « Quitter » pour revenir à la page précédente.

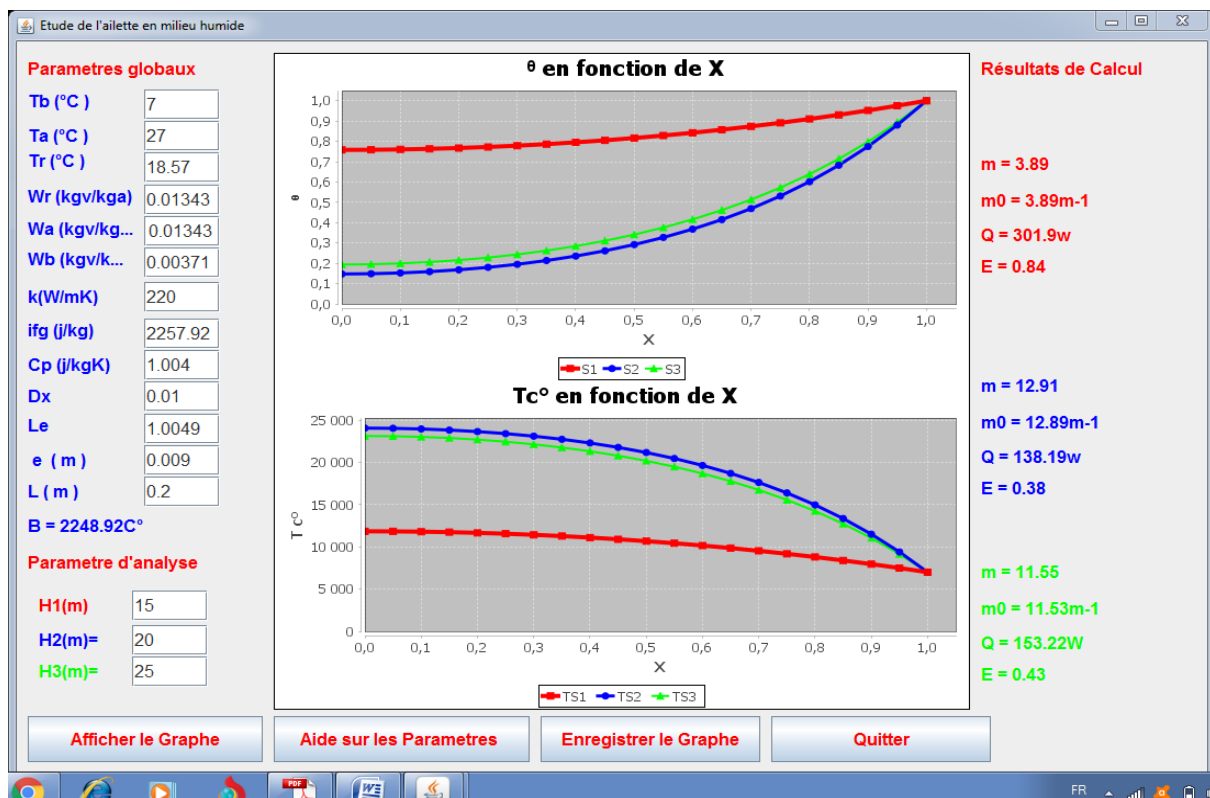
## ✓ Analyse de l'influence de la convection de l'air sur l'efficacité de l'ailette

Ce bouton donne l'accès à une autre fenêtre figure IV.7 pour calculer le flux de chaleur et l'efficacité pour trois valeurs différentes de coefficient de convection de l'air.



**Figure IV.7 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité pour des différentes valeurs du coefficient de convection  $h$**

Quand les données sont entrées il faut cliquer sur le bouton « Afficher le Graphe » pour afficher les résultats de flux de chaleur  $Q$ , l'efficacité  $E$  et les variations de la température adimensionnelle  $\theta(X)$  et la température  $T(X)$  pour trois valeurs différentes du coefficient de convection de l'air. La figure IV.8 représente l'affichage de ces résultats.



**Figure IV.8 Affichage des résultats pour des différentes valeurs du coefficient de convection de l'air**

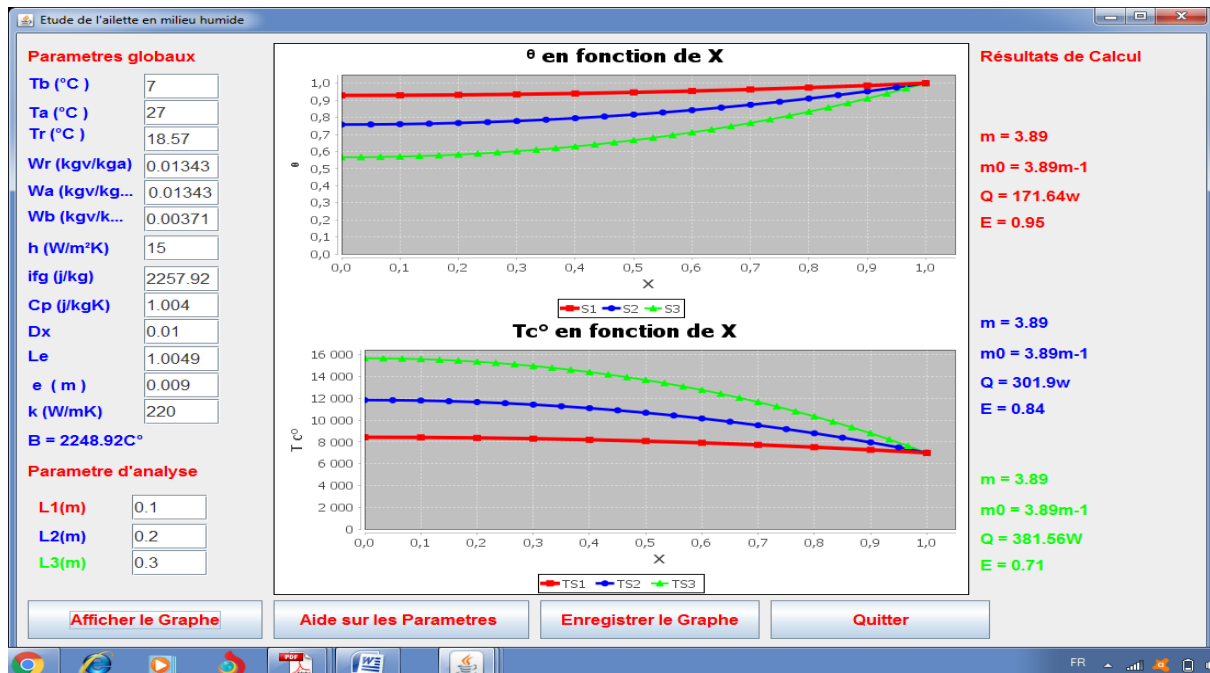
Après que les résultats sont affichés on clique sur bouton « Enregistrer le Graphe » pour enregistrer les graphes de la variation des températures. Enfin on clique sur le bouton « Quitter » pour revenir à la page précédente.

#### ✓ L'influence de la longueur de l'ailette sur son efficacité

Ce bouton donne l'accès à une autre fenêtre figure IV.9 pour calculer le flux de chaleur et l'efficacité pour trois valeurs différentes de la longueur de l'ailette.

**Figure IV.9 Fenêtre pour le calcul de l'efficacité pour des différentes longueurs de l'ailette**

Quand les données sont entrées il faut cliquer sur le bouton « Afficher le Graphe » pour afficher les résultats de flux de chaleur  $Q$ , l'efficacité  $E$  et les variations de la température adimensionnelle  $\theta(X)$  et la température  $T(X)$  pour trois valeurs différentes du coefficient de convection de l'air. La figure (IV.10) représente l'affichage de ces résultats.



**Figure IV.10** Affichage des résultats pour des différentes valeurs du coefficient de convection de l'air

Après que les résultats sont affichés on clique sur bouton « Enregistrer le Graphe » pour enregistrer les graphes de la variation des températures.

Enfin on clique sur le bouton « Quitter » pour revenir à la page précédente.

#### ✓ Aide sur les paramètres

Cette fenêtre nous donne une liste qui définit toutes les données utilisées dans l'application HRF.

| Symbole        | Désignation                                                                          | Unité           |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| B              | Paramètre définis en équations ?? = $\frac{h_p}{h_a}$                                | °C              |
| Cp             | Chaleur spécifique du courant d'air humide.                                          | J / kg K        |
| E              | Efficacité de l'épingle.                                                             |                 |
| e              | Epaisseur de l'ailette.                                                              | m               |
| h              | Enthalpie du mélange, coefficient de transfert de chaleur côté air.                  | W/m² K          |
| ifg            | Chaleur latente d'évaporation de l'eau.                                              | J/kg            |
| k              | Conductivité thermique du matériau de l'épingle.                                     | W / m K         |
| L              | Longueur de l'épingle.                                                               | m               |
| m <sub>0</sub> | Paramètre d'ailette humide définis en ?? = $\frac{h_p}{h_a} \frac{1 + W_b}{1 + W_a}$ | m <sup>-1</sup> |
| m              | Paramètre d'ailette sèche définis en ?? = $\frac{h_p}{h_a}$                          |                 |
| Q              | Flux de transfert de chaleur.                                                        | W               |
| T              | Température de la surface de l'ailette.                                              | K               |
| Ta             | Température de l'air humide.                                                         | K               |
| Tb             | Température de la base de l'ailette.                                                 | K               |
| Tr             | Température du point de rosée.                                                       | K               |
| X              | Distance adimensionnelle à partir de l'extrémité de l'ailette.                       |                 |
| Δx             | le pas suivant la longueur de l'ailette.                                             | m               |
| W              | Humidité absolue (ou spécifique) de l'air sur l'ailette.                             | kgv / kg        |
| Wa             | Humidité absolue de l'air humide.                                                    | kgv / kg        |
| Wb             | Humidité absolue de la saturation.                                                   | kgv / kg        |
| Wb             | Humidité absolue à la base.                                                          | kgv / kg        |

*Symboles Grec*

**Figure IV.11** Fenêtre qui représente les paramètres utilisés

# **CHAPITRE**

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## **CHAPITRE V      Résultats et discussions**

---

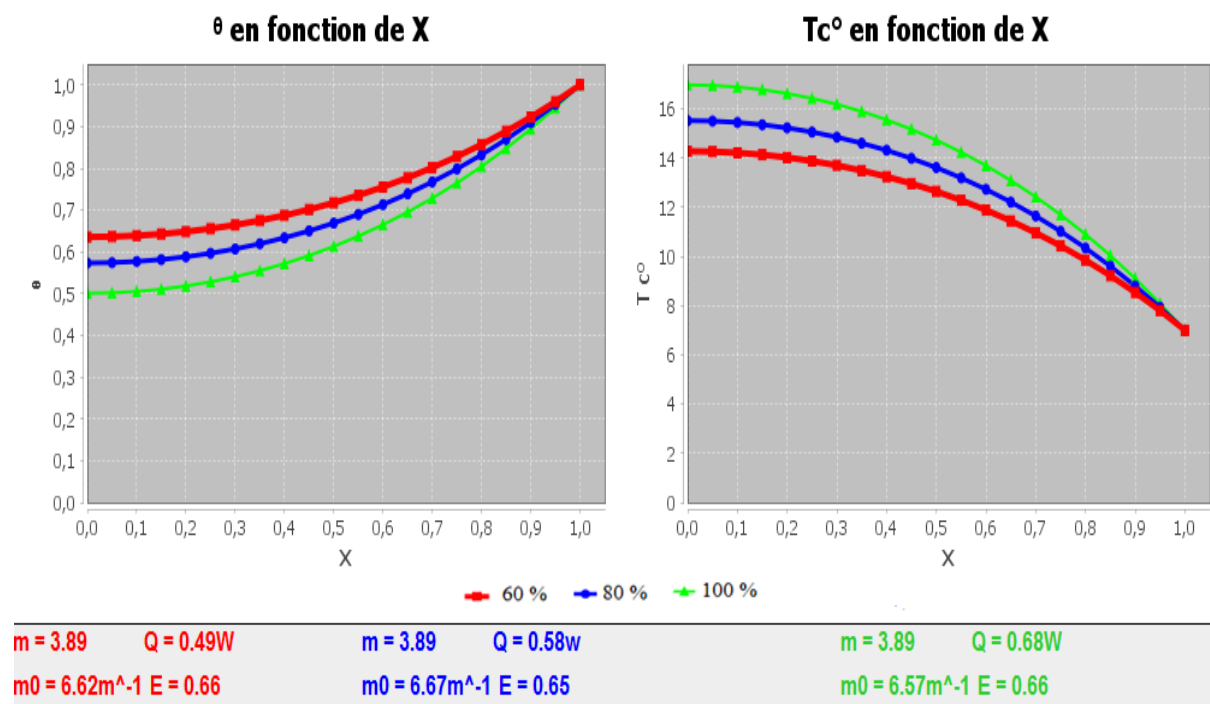
Pour illustrer les résultats de ce travail, l'efficacité globale de l'ailette et la distribution de température sur une surface de l'ailette rectangulaire ont été calculées pour des températures de base et de l'air constant de 7°C et 27°C respectivement pour une gamme de taux d'humidité relative, d'épaisseur, de longueur et les coefficients de transfert de chaleur.

On a varié ces paramètres car ils représentent des variables importantes dans les équations décrites dans le chapitre précédent et sont même des paramètres qui aident les thermiciens à choisir les dimensions optimales de l'ailette rectangulaire en milieu humide

### ***V.1 Distribution de la température sur la surface de l'ailette***

Sur la figure V.1, la distribution de la température sur la surface de l'ailette est tracée en fonction de la distance adimensionnelle à partir de son extrémité  $X$ , pour des valeurs d'humidités relatives,  $RH = 60, 80$  et  $100\%$ .

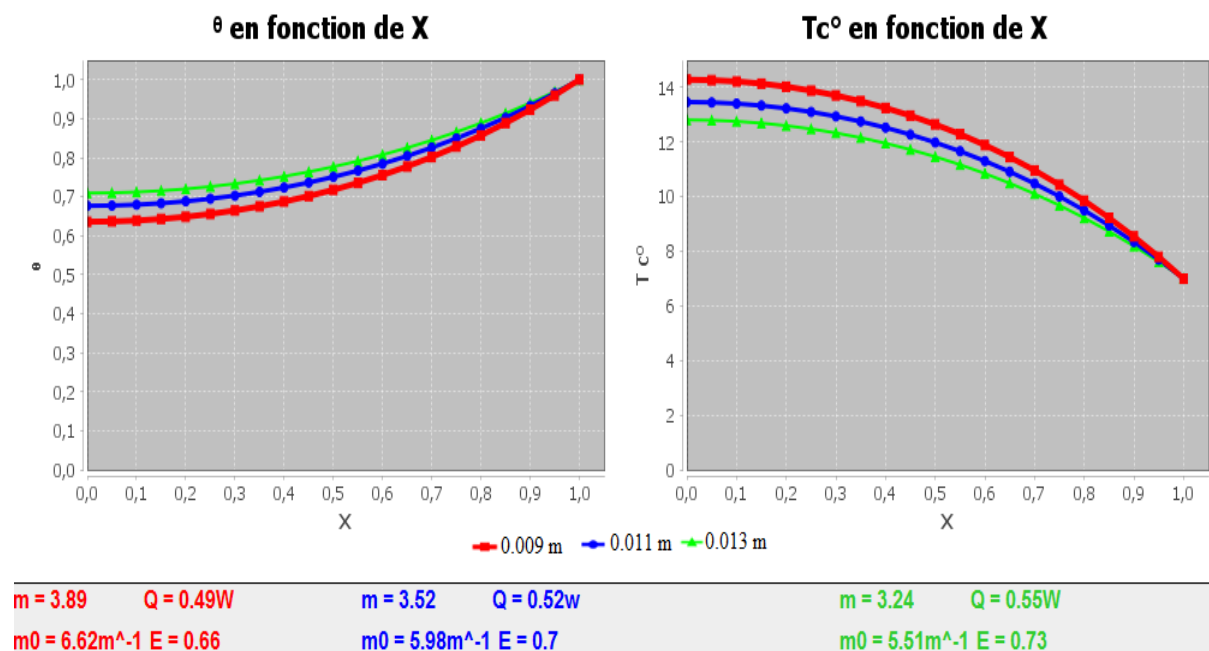




**Figure V.1 la distribution de la température en fonction de X avec des différentes valeurs de RH**

On voit que dans le même emplacement sur l'ailette, la différence de température entre l'air et la surface de l'ailette est plus petite pour une ailette 100% humide que pour une autre moins humide.

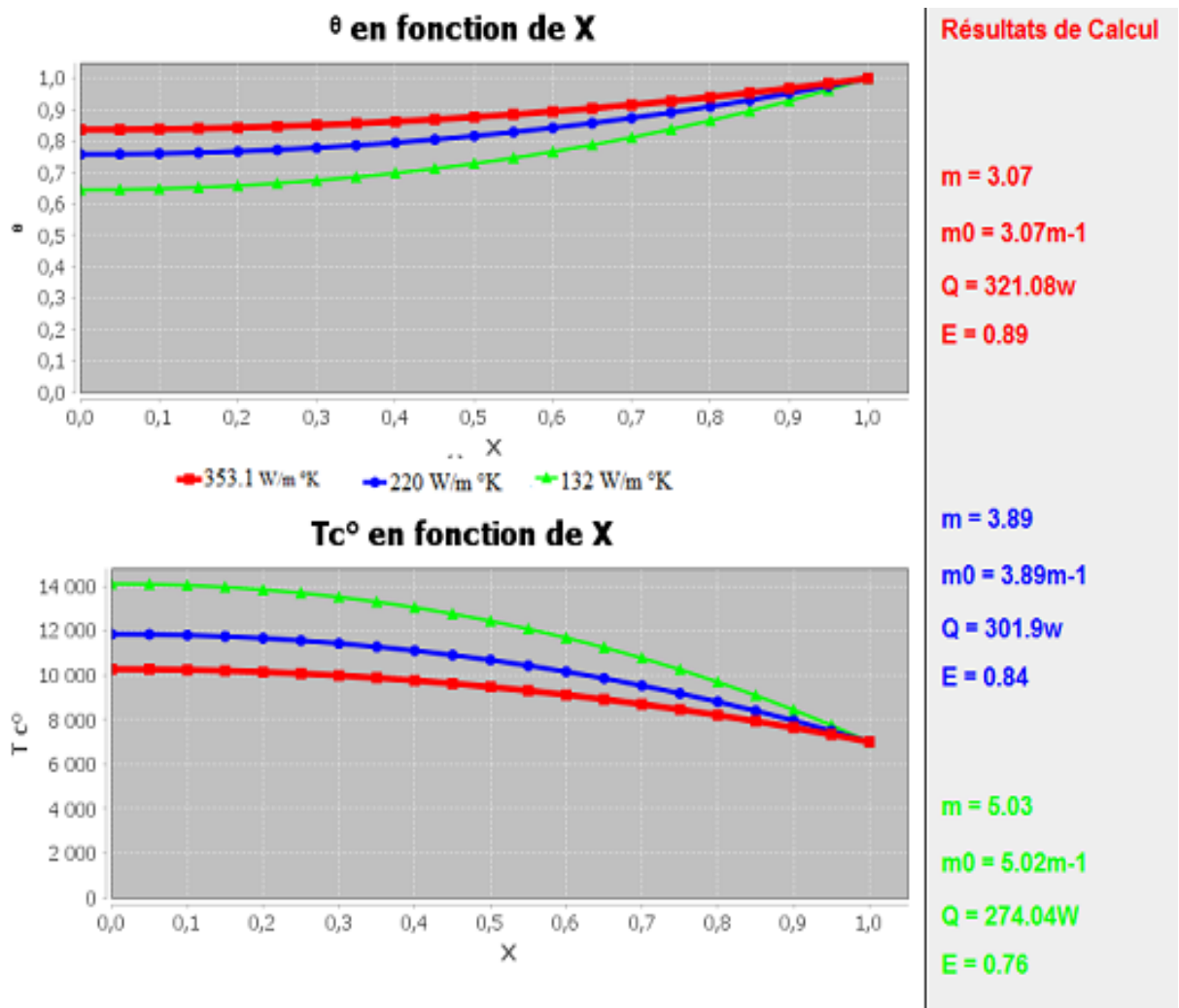
Sur la figure V.2, la distribution de la température sur la surface de l'ailette est tracée en fonction de la distance adimensionnelle à partir de son extrémité X, pour des valeurs des valeurs d'épaisseur  $e = 0.009, 0.011, 0.013$  m.



**Figure V.2 la distribution de la température pour des différentes valeurs d'épaisseurs**

On voit aussi que pour des valeurs différentes d'épaisseur d'ailette, la différence de température entre l'air et la surface de l'ailette est aussi plus petite pour une ailette plus mince que pour une autre mince alors plus l'ailette est mince moins elle est efficace.

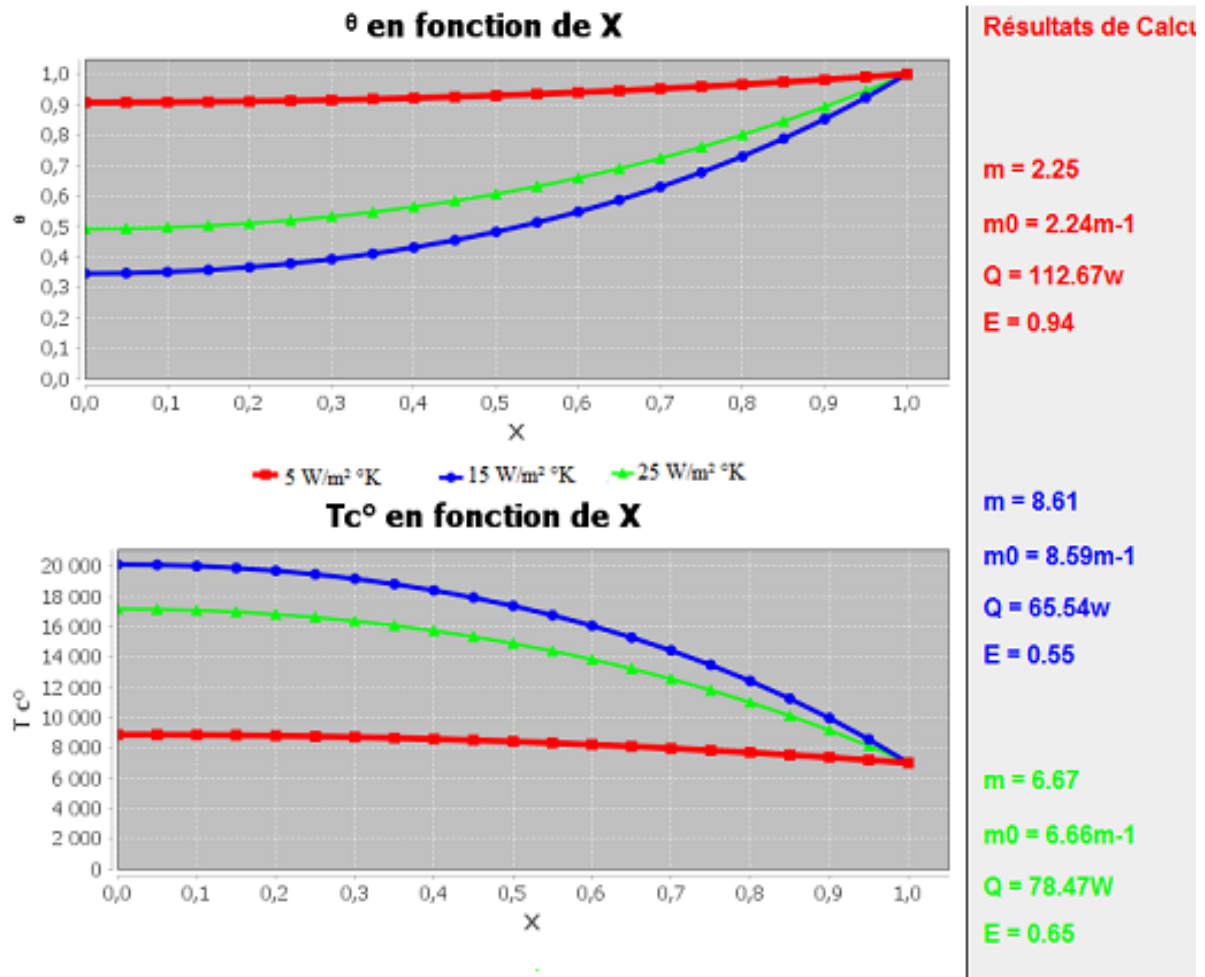
Sur le figure V.3, la distribution de la température sur la surface de l'ailette est tracée en fonction de la distance adimensionnelle à partir de son extrémité  $X$ , pour des valeurs des valeurs de conductivité thermique  $k = 220 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  pour l'aluminium pure,  $k = 353.1 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  pour le cuivre pure et  $k = 132 \text{ W/m } ^\circ\text{K}$  pour Peraluman 300 AlMg3.



**Figure V.3 la distribution de la température pour des différentes valeurs de conductivité thermique du matériau de l'ailette**

À partir des résultats de la distribution de la température et les efficacités pour les trois valeurs de  $k$  la conductivité thermique de matériau joue un rôle important même en présence de l'humidité d'où  $RH=60\%$  alors plus la conductivité thermique est élevée plus l'ailette est efficace.

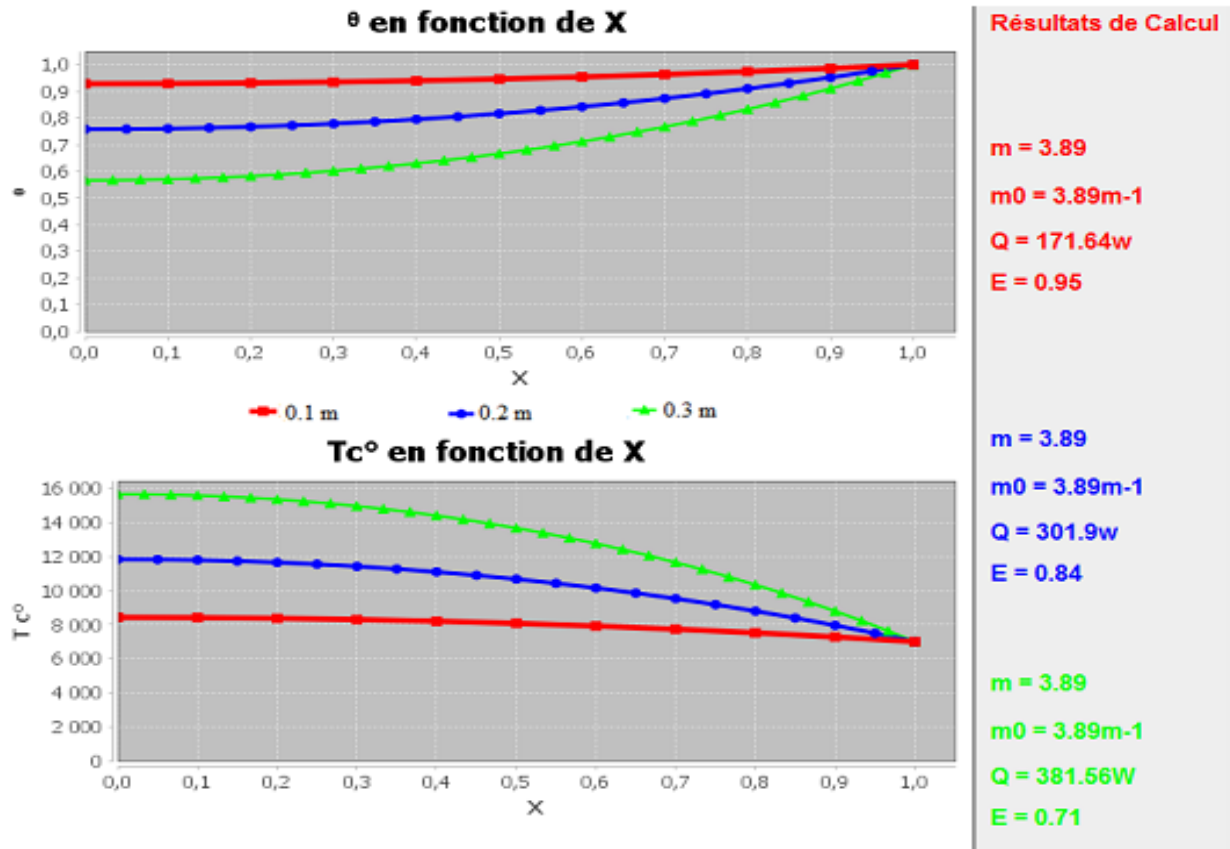
Sur la figure V.4, la distribution de la température sur la surface de l'ailette est tracée en fonction de la distance adimensionnelle à partir de son extrémité  $X$ , pour des valeurs de coefficient de convection de l'air  $h = 5, 15$  et  $25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$



**Figure V.4 la distribution de la température pour des différentes valeurs de coefficient de convection de l'air**

Pour l'air humide le coefficient de convection est entre  $5 \leq h \leq 25 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$ . Alors après qu'on a défini la variation de la température dans trois points, on constate que plus le coefficient de convection est petit, plus l'ailette devient efficace.

Sur la figure V.5, la distribution de la température sur la surface de l'ailette est tracée en fonction de la distance adimensionnelle à partir de son extrémité  $X$ , pour des valeurs des valeurs de longueur de l'ailette  $L = 0.1, 0.2$  et  $0.3 \text{ m}$ .



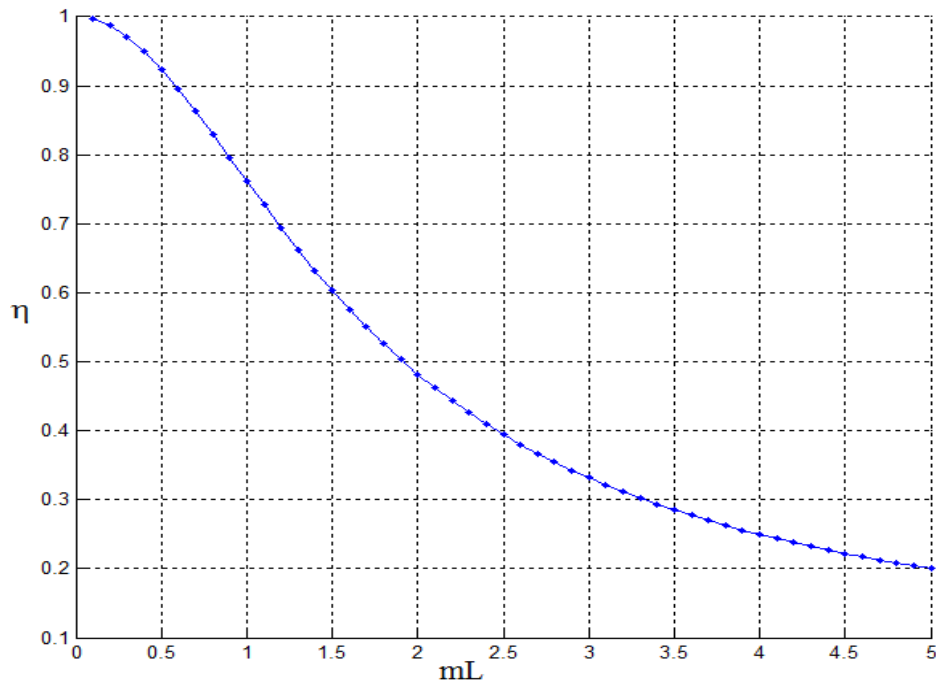
**Figure V.5 la distribution de la température pour des différentes valeurs de la longueur de l'ailette**

On remarque que l'ailette est plus efficace pour des ailettes plus longues.

En conséquence, la température de la surface augmente (à cause de dégagement de chaleur due à la chaleur latente) à cause de la condensation. Il est important de noter que plus l'humidité relative augmente, plus la température de surface devient élevée.

## V..2 Efficacité de l'ailette

Pour utiliser l'équation de l'efficacité de l'ailette, le paramètre modifié  $m_0$  de l'ailette doit être connue et calculé alors un programme informatique en MATLAB a été réalisé pour voir la variation de l'efficacité en fonction de ( $mL$ ). La figure V-6 représente la variation de l'efficacité par rapport au paramètre de l'ailette ( $mL$ ) pour différentes valeurs d'humidités relatives de l'air.



**Figure V.6 Efficacités d'ailettes des différents profils en fonction de mL.**

Le résultat montre que l'efficacité de l'ailette diminue avec des valeurs croissantes de (mL). La diminution est légèrement plus importante lorsque l'humidité relative est plus élevée, mais la différence n'est pas très significative.

D'où m et L représentant les paramètres géométriques et thermo physiques de l'ailette et tant que les ailettes sont couramment utilisées dans de nombreuses applications de transfert de chaleur où les processus de refroidissement et de déshumidification se produisent simultanément. Comme avec les géométries des autres ailettes, le poids et le coût de matériau des surfaces étendues sont très importants. Par conséquent, les dimensions de l'ailette doivent être optimisées de telle sorte que la moindre quantité de matériau permette de dissiper une quantité donnée de flux de chaleur, ou encore que le taux de dissipation maximale puisse être obtenu à partir d'un volume donné de matériau de l'ailette.

## **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale

---

Dans le présent rapport, nous avons développé une étude analytique sur l'influence de la déshumidification sur la température de la surface de l'ailette et l'efficacité de l'ailette longitudinale à profil rectangulaire.

Après avoir modélisé mathématiquement notre phénomène physique étudié, un algorithme s'en est suivi et qui traduira toutes les étapes nécessaires de calculs pour aboutir aux résultats escomptés.

Un outil numérique est créé : c'est le logiciel Humid Rectangular Fin « HRF ». Il permet de simuler les calculs nécessaires à l'évaluation de la température le long de l'ailette pour pouvoir tirer le flux de chaleur dégagé de l'ailette et son efficacité.

Les résultats montrent ici l'importance de la partie d'énergie latente et le choix des matériaux et les dimensions d'une ailette rectangulaire sur sa performance en milieu humide lorsque la déshumidification de l'air humide se produit.

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de cette étude :

- a) Un modèle d'approximation linéaire modifiée a été introduit (utilisé) dans ce travail pour la relation entre l'humidité absolue et la température sur la surface de l'épingle. Ce modèle peut être utilisé sans connaître la température à l'extrémité de l'ailette.
- b) Utiliser l'outil élaboré de la présente étude l'optimisation de la forme et du dimensionnement de l'ailette en présence de l'humidité
- c) Il est clair des figures de la température que :
  - ✓ Pour une ailette complètement humide, le point de rosée de l'air devrait être supérieur à la température de la base d'ailette au moins de 7 °C.
  - ✓ Pour les valeurs d'humidité relative, (HR = 60, 80 et 100%), la température de l'extrémité se trouve inférieure au point de rosée de l'air et par conséquent l'ailette est entièrement mouillée.
  - ✓ Plus l'humidité relative augmente, plus la température de surface devient supérieure (à cause de dégagement de chaleur latente).
  - ✓ Plus l'épaisseur augmente, plus la température de surface diminue.
  - ✓ Le coefficient de convection et la conductivité thermique jouent un rôle important dans l'efficacité de l'ailette

Les perspectives de ce travail sont :

## Conclusion Générale

- ✓ D'étudier les ailettes droites de différents profils entièrement mouillées.
- ✓ D'étudier l'état partiellement mouillé de ces ailettes et les comparer avec celui des celles qui sont entièrement mouillées et sèches.
- ✓ D'étudier les ailettes droites entièrement mouillées dans d'autres orientations.
- ✓ De comparer les différentes méthodes d'étude analytique de ces ailettes.
- ✓ De réaliser cette étude et autres expérimentalement pour confirmer ces résultats analytiques.
- ✓ Introduire dans l'application d'autres modèles mathématiques cités dans notre état de l'art.
- ✓ Introduire des méthodes numériques lorsque cela est nécessaire.
- ✓ Etudier les pertes de pression.



## Bibliographie

---

- [1] J. P. Holman, *Heat Transfer* , Tenth Edition ed.: Mcgraw-Hill series in mechanical engineering, 2010.
- [2] REZIK HAFIED, *ÉTUDE DES TRANSFERTS DE CHALEUR ET DE MASSE DE L'AILETTE HUMIDE.*, 2013/2014.
- [3] ( 2015, novembre) Ailette. [Online]. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ailette>
- [4] energie. [Online]. <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11243#collapse2+c5640>
- [5] A.H. Elmahdy and R.C. Biggs, "EFFICIENCY OF EXTENDED SURFACES WITH SIMULTANEOUS HEAT AND MASS TRANSFER," 1983.
- [6] L.-T. Chen, Two-dimensional fin efficiency with combined heat and mass transfer between water-wetted fin surface and moving moist airstream, 1991.
- [7] J. E. R. Coney and C. G. W. Sheppard E. A. M. EI-Shafei, "Fin performance with condensation from humid air: a numerical investigation," Novembre 21, 1988.
- [8] Balaram Kundu, "AN ANALYTICAL STUDY OF THE EFFECT OF DEXIUMIDIFICATION OF AIR ON THE PERFORMANCE AND OPTIMIZATION OF STRAIGHT TAPERED FINS," West Bengal, India, 2002.
- [9] Syed M. Zubair Mostafa H. Sharqawy, "Efficiency and optimization of an annular fin with combined heat and mass transfer e An analytical solution," Ingénierie mécanique, janvier 9, 2007.
- [10] Liang Xia, Mingyin Chan, Shiming Deng Xiangguo Xu, "A Modified McQuiston model for evaluating efficiency of wet fin considering effect of condensate film moving on fin surface," January 2008.
- [11] S. A. R. Sahebi, M. Omran Shobi and J. Safaei H. Goodarzian, "A collocation solution on the optimization of straight fin with combined heat and mass transfer," 2011.
- [12] MOSTAFA H. SHARQAWY and SYED M. ZUBAIR, "Efficiency and Optimization of a Straight Rectangular Fin with Combined Heat and Mass Transfer," 2008.
- [13] F. C. McQuiston, "Fin Efficiency with Combined Heat and Mass," 1975.
- [14] T.Y. Bong G. Wu, "Overall efficiency of a straight fin with combined heat and mass

transfer," 1994.

[15] Richard Goering. (2017, mai) Wikipedia. [Online].

<https://fr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

[16] (2017, mars) Wikipedia. [Online]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface\\_graphique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Interface_graphique)

[17] (2017, avril) Wikipedia. [Online]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Java\\_\(langage\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Java_(langage))

[18] ( 2017, mars) Wikipedia. [Online].

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Transfert\\_thermique#Rayonnement](https://fr.wikipedia.org/wiki/Transfert_thermique#Rayonnement)