

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université Abderrahmane Mira - Béjaïa**  
**Faculté de Technologie**  
*Département de Génie Mécanique*

**MEMOIRE**

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique*

**Option : Energétique**

**Thème :**

**Contribution à l'étude et au dimensionnement  
d'un aérocondenseur**

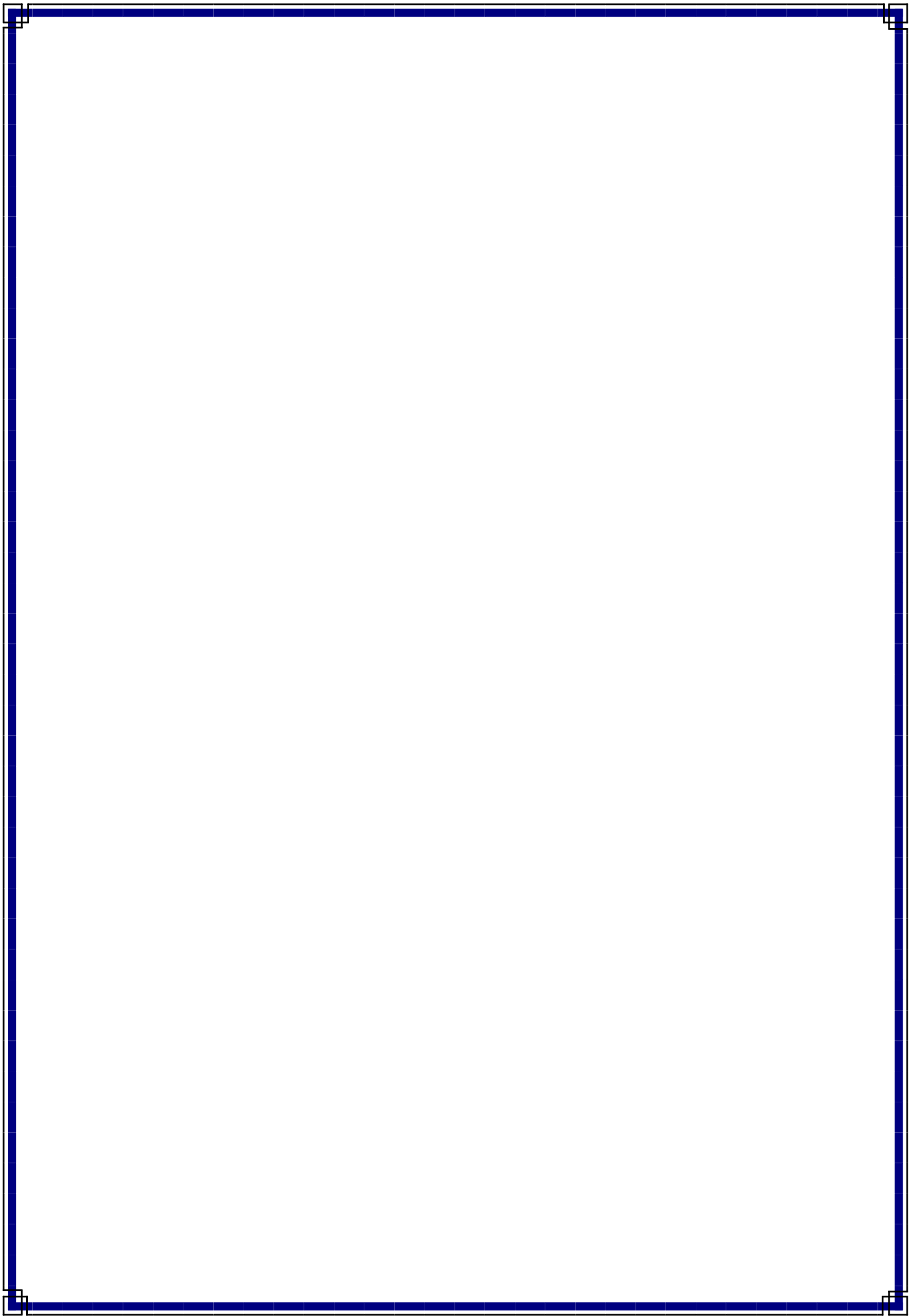
**Réalisé par :**

**NOURI Yassine**

**Présenté devant le jury composé de :**

<b>Mr D. SAADAoui</b>	Président	Université A / Mira Béjaïa.
<b>Mr A. DJERRADA</b>	Rapporteur	Université A / Mira Béjaïa.
<b>Mr A. HAMMOUCHE</b>	Examineur	Université A / Mira Béjaïa.
<b>Mr B. HAMTACHE</b>	Examineur	Université A / Mira Béjaïa.

**2011/2012**



## *Remerciements*

*Un grand merci à mes chers parents qui ont su m'apporter leur aide aussi bien morale que physique.*

*Ensuite, je tiens à remercier particulièrement mon promoteur **Mr DJERRADA** pour m'avoir guidé et orienté tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Je remercie également **Mr BOUSSAID** pour tout le temps qu'il a eu l'amabilité de me consacrer, ainsi que pour tous ses conseils.*

*Merci à **TOULOUM Idir** pour sa disponibilité et ses conseils au sein de l'entreprise **CEVITAL-Béjaia***

*Je remercie **Mr SADAoui** pour l'honneur qu'il m'a fait de présider ce jury. Ainsi que **Mr HAMTACHE** et **Mr HAMMOUCHE** d'avoir accepté de faire partie du jury et d'examiner mon travail.*

*J'adresse également mes remerciements chaleureux à tous les membres de ma famille, ainsi qu'à tous mes amis, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents,*

*Mon défunt cousin Makhlouf, qu'Allah l'accueille  
dans son vaste paradis,*

*Mes petits neveux ; Raouf, Ines, et Hooucine,*

*Mon frère Nassim, ainsi que mes quatre sœurs  
Samia, Nadia, Karima, et Malika,*

*Mes amis, Brahim, Zinoo, Hassan, Toufik, Kheyger,  
Youcef, et Zaid*

*Ma princesse adorée Hanane.*

## Sommaire

Nomenclature

Liste des figures

Introduction générale ..... 1

### Chapitre I

I.1 Introduction ..... 3

I.1.1 conduction ..... 3

I.1.1.1 Loi de Fourier ..... 4

I.1.2 convection ..... 4

I.1.2.1 Loi de Newton- Coefficient de convection ..... 4

I.1.3 Transfert de chaleur par rayonnement ..... 5

I.2 La condensation ..... 6

I.2.1 Condensation en film ..... 6

I.2.1.1 Condensation en film à l'extérieur d'un tube  
horizontal ..... 7

I.2.1.2 Condensation à l'extérieur d'un faisceau de tubes horizontaux .. 7

I.2.1.3 Condensation à l'intérieur d'un tube horizontal ..... 8

I.2.1.3.1 Types d'écoulements rencontrés..... 8

I.2.2 Condensation en gouttes ..... 9

I.2.2.1 Méthodes utilisé pour obtenir la condensation en  
gouttes ..... 10

I.2.2.1.1 Utilisation de revêtements permanents ..... 10

I.2.2.1.2 Utilisation de promoteurs temporaires ..... 10

I.3 Les échangeurs de chaleur ..... 12

I.3.1 Définition ..... 12

I.3.2 Critères de classement des échangeurs .....	12
I.3.2.1 Classement selon les écoulements .....	12
I.3.2.2 Classement fonctionnel .....	12
I.3.2.3 Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange.....	13
I.3.2.4 Classement suivant la compacité de l'échangeur.....	13
I.3.3 Les échangeurs à tubes .....	14
I.3.4 Échangeurs à tubes et calandre .....	15
I.3.5 Échangeurs à plaques .....	16
I.3.6 Échangeurs avec un fluide changeant de phase .....	17
I.3.7 Les ailettes .....	17
I.3.7.1 Échangeurs à tubes ailetés .....	18
I.3.7.1.1 Ailettes transversales .....	18
I.3.7.1.2 Ailettes longitudinales .....	20
I.3.8 Le phénomène d'encrassement .....	20
I.3.8.1 Dimensionnement des échangeurs avec prise en compte de l'encrassement .....	21

## Chapitre II

II.1 Introduction.....	22
II.2 Définition de la réfrigération atmosphérique directe sèche .....	22
II.3 Classification des aéroréfrigérants .....	22
II.3.1 Aéroréfrigérants à convection naturelle .....	22
II.3.2 Aéroréfrigérants utilisant un ventilateur.....	23
II.4 Avantages et inconvénients du refroidissement à air .....	25
II.4.1 Avantages .....	25
II.4.2 Inconvénients .....	25

II.5 Définition de la réfrigération par condensation .....	26
II.6 Description de l'aérocondenseur .....	26
II.7 Technologie des aérocondenseurs .....	27
II.7.1 Bancs .....	27
II.7.2 Cellule aérocondenseur .....	28
II.7.3 La ventilation .....	29
II.7.4 Faisceaux .....	31
II.7.4.1 Différents concepts concernant la disposition des faisceaux tubulaires .....	32
II.7.4.1.1 Concept MASH® .....	32
II.7.4.1.2 Concept ALEX® .....	33
II.7.4.1.3 Concept Stac-Flo® .....	34
II.7.5 Gaine et manifold de distribution vapeur .....	35
II.7.6 Circuit de récupération des condensats .....	37

## Chapitre III

III.1 Introduction .....	38
III.1.1 Chaleur totale à extraire pour avoir la condensation .....	38
III.1.2 Chaleur extraite pour une cellule d'aérocondenseur .....	38
III.1.3 Estimation du coefficient d'échange thermique global H .....	39
III.1.4 Estimation de l'encombrement .....	39
III.1.5 Calcul de la valeur du coefficient d'échange thermique global H .....	41
III.1.6 Calcul des pertes de charges .....	45
III.1.7 Dimensionnement de la ventilation .....	47
III.2 Position du problème .....	50
III.2.1 Présentation du programme informatique utilisé .....	51

III.2.2 Organigramme du programme « AERO-DIM » .....	51
III.3 Application .....	52
III.3.1 Résultats et interprétations .....	53
III.3.2 Conclusion .....	59
 Conclusion générale .....	 60
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	



## Liste des figures

<b>I-1</b> : Types de condensation .....	6
<b>I-2</b> : Condensation en film à l'extérieur d'un tube horizontal .....	7
<b>I-3</b> : Condensation en film sur un faisceau de tubes horizontaux situés dans un plan vertical .	8
<b>I-4</b> : Condensation en film à l'intérieur d'un tube horizontal .....	9
<b>I-5</b> : Classification d'un échangeur en fonction de sa compacité .....	13
<b>I-6</b> : Différents types d'échangeurs tubulaires .....	15
<b>I-7</b> : Echangeur à tubes et calandre .....	16
<b>I-8</b> : Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaques .....	16
<b>I-9</b> : – Ailettes continues ou indépendantes pour tubes .....	19
<b>I-10</b> : Ailettes annulaires ou spiralées .....	19
<b>I-11</b> : Tubes avec différents types d'ailettes longitudinales .....	20
<b>I-12</b> : Représentation schématique des phases de dépôt sur une paroi .....	20
<b>I-13</b> : Résistances thermiques d'encrassement des dépôts internes et externes localisés sur une surface d'échange .....	21
<b>II-1</b> : Mode de tirage forcé .....	24
<b>II-2</b> : Mode de tirage induit .....	24
<b>II-3</b> : Schéma descriptif d'un aérocondenseur et ses auxiliaires .....	26
<b>II-4</b> : Vue en coupe d'un aérocondenseur .....	27
<b>II-5</b> : Exemple de bancs d'aérocondenseurs .....	28
<b>II-6</b> : Schéma d'une cellule d'aérocondenseur .....	29
<b>II-7</b> : Exemple de dispositions des équipements mécaniques .....	30

<b>II-8</b> : Schéma éclaté d'un faisceau d'aérocondenseur .....	31
<b>II-9</b> : Photographie d'un faisceau tubulaire avant montage sur site .....	32
<b>II-10</b> : Schéma du concept aérocondenseur Mash© dans le cas de la condensation de vapeur d'eau en sortie de turbine .....	33
<b>II-11</b> : Schéma du concept aérocondenseur Alex© dans le cas de la condensation de vapeur d'eau en sortie de turbine .....	34
<b>II-12</b> : Schéma du concept aérocondenseur Stac-Flo© .....	35
<b>II-13</b> : Photo d'une gaine de distribution de vapeur .....	36
<b>II-14</b> : Photo d'un ballon de récupération des condensats.....	37
<b>III-1</b> : Estimation du rapport $\frac{T_{as}-T_{ae}}{\Delta TLM}$ .....	40
<b>III-2</b> : Estimation du rapport $\frac{T_{as}-T_{ae}}{T_{ce}-T_{ae}}$ .....	41
<b>III-3</b> : Organigramme du programme «AERO-DIM » .....	52

## Nomenclature

$C_p$  : Chaleur massique à pression constante, **J/ kg K**

$e_t$  : Epaisseur d'un tube, **m**

$e_{ail}$  : Epaisseur d'une ailette, **m**

$d_e$  : Diamètre extérieur, **m**

$d_i$  : Diamètre intérieur, **m**

$d_r$  : Diamètre du tube a la racine de l'ailette, **m**

$d_v$  : Diamètre d'un ventilateur, **m**

$G_{max}$  : Vitesse massique de l'air, **kg/m<sup>2</sup> s**

$H$  : Coefficient d'échange thermique global, **W/m<sup>2</sup> K**

$h_i$  : Coefficient de convection interne coté tubes, **W/m<sup>2</sup> K**

$h_a$  : Coefficient d'échange coté air, **W/m<sup>2</sup> K**

$h_2$  : Enthalpie massique de la vapeur d'eau saturée, **J/kg**

$h_1$  : Enthalpie massique de l'eau liquide, **J/kg**

$L_c$  : Largeur d'une cellule, **m**

$L_t$  : Longueur des tubes, **m**

$l_{ail}$  : Longueur d'une ailette, **m**

$\dot{m}$  : Débit masse de la vapeur d'eau, **kg/s**

$\dot{m}_a$  : Débit masse d'air, **kg/s**

$N_R$  : Nombre de rangées de tubes

$N_{tf}$  : Nombre total de tubes par faisceau

$N_v$  : Nombre de ventilateurs par cellule

$P_v$  : Puissance d'un ventilateur, **W**

$P_{vH}$  : Puissance d'un ventilateur dans les conditions hivernales, **W**

$P_e$  : Pression d'entrée de la vapeur, **Pa**

$q_{va}$  : Débit volumique d'air, **m<sup>3</sup>/s**

$r$  : Rapport d'ailetage

$R_{ei}$  : Résistance d'encrassement à l'intérieur des tubes, **m<sup>2</sup> K / W**

$R_{ee}$  : Résistance d'encrassement à l'extérieur des tubes, **m<sup>2</sup> K / W**

$S_{tn}$  : Surface des tubes nus, **m<sup>2</sup>**

$S_T$  : Surface totale externe des tubes, ailettes comprises, **m<sup>2</sup>**

$S_i$  : Surface totale du tube intérieure, **m<sup>2</sup>**

$S_f$  : Surface faciale de la cellule, **m<sup>2</sup>**

$S_{sol}$  : Surface au sol imposée par les cellules d'aérocondenseurs, **m<sup>2</sup>**

$T_{ce}$  : Température d'entrée de la vapeur, **K**

$T_{cs}$  : Température de sortie de l'eau liquide, **K**

$T_{ae}$  : Température d'entrée de l'air ambiant, **K**

$T_{as}$  : Température de sortie de l'air réchauffé, **K**

$T_{ma}$  : Température minimale ambiante, **K**

$v_a$  : Vitesse de l'air, **m/s**

$V_u$  : Vitesse de l'air à travers l'anneau, **m/s**

$x_2$  : Titre en vapeur

$Z$  : Altitude du site, **m**

$\rho_{air}$  : Masse volumique de l'air, **kg/m<sup>3</sup>**

$\Lambda$  : Facteur de friction

$\lambda$  : Conductivité thermique, **W/m K**

$\mu$  : Viscosité dynamique, **kg/m s**

$\delta$  : Espacement entre deux ailettes, **m**

$\eta_g$  : Rendement global de l'ailette

$\eta_f$  : Efficacité de l'ailette

$\phi$  : Puissance thermique totale à extraire, **W**

$\varphi$  : Puissance thermique extraite par cellule d'aérocondenseur, **W**

$\Delta TLM_{cc}$  : Différence de température logarithmique moyenne à contre courant, **K**

$\Delta TLM_{co-c}$  : Différence de température logarithmique moyenne en co-courant, **K**

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Les échangeurs de chaleur tiennent une place indispensable dans le milieu industriel d'aujourd'hui, simple de concept et d'utilisation, il n'y a quasiment aucun secteur qui peut prétendre pouvoir s'en passer.

Parmi la large variété d'échangeurs qui existent sur le marché, se distinguent les aéroréfrigérants atmosphériques qui sont utilisés aussi bien dans les raffineries de pétrole que pour le refroidissement du moteur d'automobile.

Les aéroréfrigérants sont de plus en plus demandés dans les industries car ils offrent certains avantages que les autres échangeurs ne possèdent pas, on peut citer à titre d'exemple celui de fournir une source froide gratuite, non toxique et surtout inépuisable.

Dans ce travail, nous nous intéresserons à un aéroréfrigérant atmosphérique en particulier qui est l'aérocondenseur et qui fait partie des condenseurs à fluides séparés, ce dernier présente une particularité par rapport aux autres aéroréfrigérants car le fluide mis en circulation et dont on a besoin d'extraire la chaleur subit un changement de phase.

Dans ce but, nous allons nous intéresser de près au fonctionnement de cet aérocondenseur, en présentant d'une part toutes les informations nécessaires à son fonctionnement, et d'autre part, en étudiant de près l'aspect le plus important de cet équipement, c'est-à-dire, son dimensionnement.

Pour cela, nous exposerons notre travail en trois chapitres décrivant les volets principaux de notre projet de fin d'études.

Le premier chapitre englobera et réunira toutes les informations qu'un thermicien se doit de connaître avant de faire un dimensionnement thermique, autrement dit, tout ce qu'il faut savoir sur les échanges et les échangeurs thermiques.

Dans le deuxième chapitre nous nous focaliserons sur un échangeur en particulier qui se trouve être le principal sujet de ce projet et qui n'est autre que l'aérocondenseur. Nous aborderons différents aspects de cet équipement, des aspects aussi bien thermiques que technologiques.

Le troisième et dernier chapitre de ce mémoire traitera trois principaux pôles ; il traitera en premier lieu le dimensionnement d'une cellule d'aérocondenseur, ensuite il y sera exposé le travail effectué qui est l'élaboration du programme de calcul, et pour finir un exemple numérique y sera proposé pour tester ce programme.



# Chapitre I

## *Généralités sur les échanges et les échangeurs thermiques*

## I.1 Introduction :

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus connus d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'existe entre eux une différence de température et cela quel que soit le milieu, même vide, qui les sépare. De ce fait, les transferts thermiques, ont aussi bien, dans le domaine des sciences pures que dans celui des applications technologiques, un rôle souvent essentiel. Ce rôle devient même déterminant lorsqu'il est à l'origine des techniques utilisées (échangeurs, moteurs thermiques, calorifugeage, utilisation de l'énergie solaire,...).

Il est habituel, dans cette étude des transferts thermiques de distinguer trois grandes parties se rattachant chacune à un mode de transfert de chaleur bien particulier : *conduction*, *convection* et *rayonnement*, chacun de ces modes étant lui-même lié à un processus physique bien déterminé. [2]

### I.1.1 La conduction :

La conduction thermique est la transmission de la chaleur par vibration moléculaire entre deux éléments dont la température est différente au travers des éléments matériels qui les relient l'un à l'autre, sans qu'il y ait mouvement du milieu. Elle concerne spécialement les solides, mais aussi les liquides et les gaz pour lesquels elle est souvent négligeable par rapport à la convection et au rayonnement. [1]

Les conditions générales définissant le déroulement du processus de conduction thermique se réfèrent à l'établissement des éléments suivants :

- Le corps est homogène ou hétérogène
- Le corps est isotrope ou anisotrope
- Le corps contient ou non des sources intérieures de chaleur
- Le régime thermique est constant ou transitoire
- La propagation de la chaleur se fait de façon uni-, bi-, ou tridimensionnelle

### I.1.1.1 Loi de Fourier :

La loi de Fourier exprime la relation existant, en chaque point d'un corps entre le flux thermique et le gradient de température ; le flux de chaleur transféré (relatif à la surface d'une paroi plane, cylindrique ou sphérique) par conduction dans une direction donnée est proportionnel au gradient de température dans cette direction. Ainsi la composante sur l'axe  $Ox$  est telle que :

$$q_x = -\lambda \left( \frac{dT}{dx} \right) S \quad (I.1)$$

Dans cette expression, le coefficient de proportionnalité  $\lambda$  est une caractéristique physico-chimique du point matériel appelée conductivité ou conductibilité thermique.

### I.1.2 Convection thermique :

La convection définit le transfert de chaleur dans un fluide (gaz ou liquide) dont les molécules sont en mouvement ; elle est donc étroitement liée à l'écoulement des fluides. [1]

Le transfert de chaleur par convection est caractérisé par quatre catégories de facteurs :

- La nature du mouvement
- Le régime d'écoulement
- Les propriétés physiques du fluide
- La forme et les dimensions de la surface d'échange thermique

#### I.1.2.1 Loi de Newton- Coefficient de convection :

Le calcul du flux de chaleur transmis par convection ne peut pas se faire avec la relation de Fourier, étant donné l'impossibilité de déterminer l'épaisseur de la couche limite et le gradient de température  $dT/dx$  à la surface de contact paroi/fluide.

En régime stationnaire, le processus de transmission thermique par convection est donné par l'expression générale de Newton. Lorsque le milieu considéré est à l'état fluide, liquide ou gazeux, la quantité de chaleur échangée, rapportée à l'unité de temps, est

proportionnelle à la différence entre la température de la paroi  $T_p$  et la température du fluide  $T_f$  :

$$q = h S (T_f - T_p) \quad (I.2)$$

Dans cette expression, le coefficient de proportionnalité  $h$  (W/m<sup>2</sup> K) est appelé coefficient d'échange par convection ; son inverse  $R = 1/h$  est la résistance de contact à l'interface.

Le problème qui se pose par la suite est le calcul de  $h$  en fonction des conditions d'écoulement du fluide, en tenant compte d'éventuels changements de phase.

L'établissement des critères de similitudes ainsi que le calcul subséquent du coefficient nécessitent l'emploi des caractéristiques physiques du fluide considéré : or ces caractéristiques varient notamment en fonction de la température. Il est donc nécessaire d'adopter **une température de référence** pour la valeur de laquelle seront choisies toutes les valeurs correspondantes des caractéristiques physiques. [1]

### I.1.3 Transfert de chaleur par rayonnement :

Que ce soit de façon spontanée ou au cours d'interactions mutuelles, les atomes, molécules et électrons libres des corps peuvent perdre une partie de leur énergie cinétique par émission d'un rayonnement électromagnétique. Réciproquement, lorsqu'un tel rayonnement est reçu à la surface d'un corps, une partie est absorbée par le corps et se retrouve dans l'énergie cinétique de ses composants, c'est-à-dire sous forme de chaleur. [2]

La relation de base est celle de STEFAN-BOLTZMAN, selon laquelle la puissance  $M^\circ$  du rayonnement émis par unité de surface d'un corps noir est directement proportionnelle à la puissance quatrième de la température absolue :

$$M^\circ = \sigma T^4 \quad (I.3)$$

## I.2 La condensation :

Lorsque de la vapeur se condense sur une paroi, le condensat peut recouvrir la paroi sous la forme d'un film continu ou sous la forme d'une multitude de gouttelettes. Dans le premier cas, on parle de **condensation en film** (*filmwise condensation*) et dans le second de **condensation en gouttes** (*dropwise condensation*). La figure (I-1) représente ces deux types de condensation. Les coefficients d'échange de chaleur sont beaucoup plus élevés en condensation en gouttes qu'en condensation en film, mais la condensation en gouttes nécessite des parois hydrophobes et est plus difficile à obtenir dans des équipements industriels... [6]

Comme en pratique, on ne peut pas être certain de bénéficier de ce cas très favorable, il faut dimensionner l'échangeur dans le cas de la condensation sous forme de film liquide.

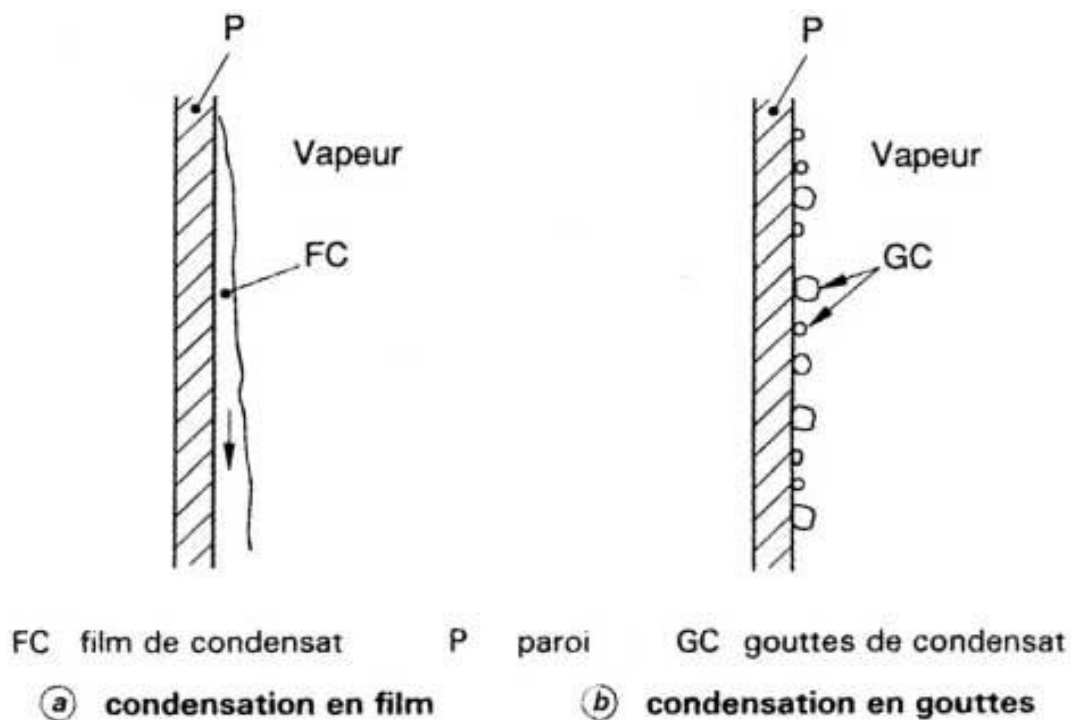
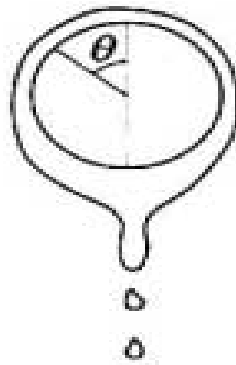


Figure I-1 : Types de condensation

## I.2.1 Condensation en film :

### I.2.1.1 Condensation en film à l'extérieur d'un tube horizontal :

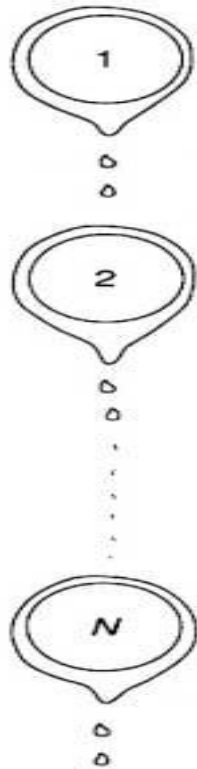
Lorsque de la vapeur entoure un tube horizontal dont la paroi est à une température  $T_p$  inférieure à la température de saturation, un film de condensat ruisselle le long du tube et s'égoutte à sa partie inférieure comme le montre la figure (I-2) :



**Figure I-2 :** Condensation en film à l'extérieur d'un tube horizontal

### I.2.1.2 Condensation à l'extérieur d'un faisceau de tubes horizontaux :

Les relations donnant les coefficients d'échange de chaleur moyens à l'extérieur d'un tube vertical ou horizontal permettent de montrer facilement qu'il est préférable de concevoir des condenseurs à tubes horizontaux. En effet, le coefficient d'échange de chaleur moyen est plus grand pour un tube horizontal que pour un tube vertical. Cependant, pour un faisceau de tubes horizontaux, il faut tenir compte de l'écoulement du condensat sur l'ensemble des tubes. Comme indiqué sur la figure (I-3), le condensat s'égoutte à la partie inférieure d'un tube et tombe sur le tube suivant. [6]



**Figure I-3 :** Condensation en film sur un faisceau de tubes horizontaux situés dans un plan vertical

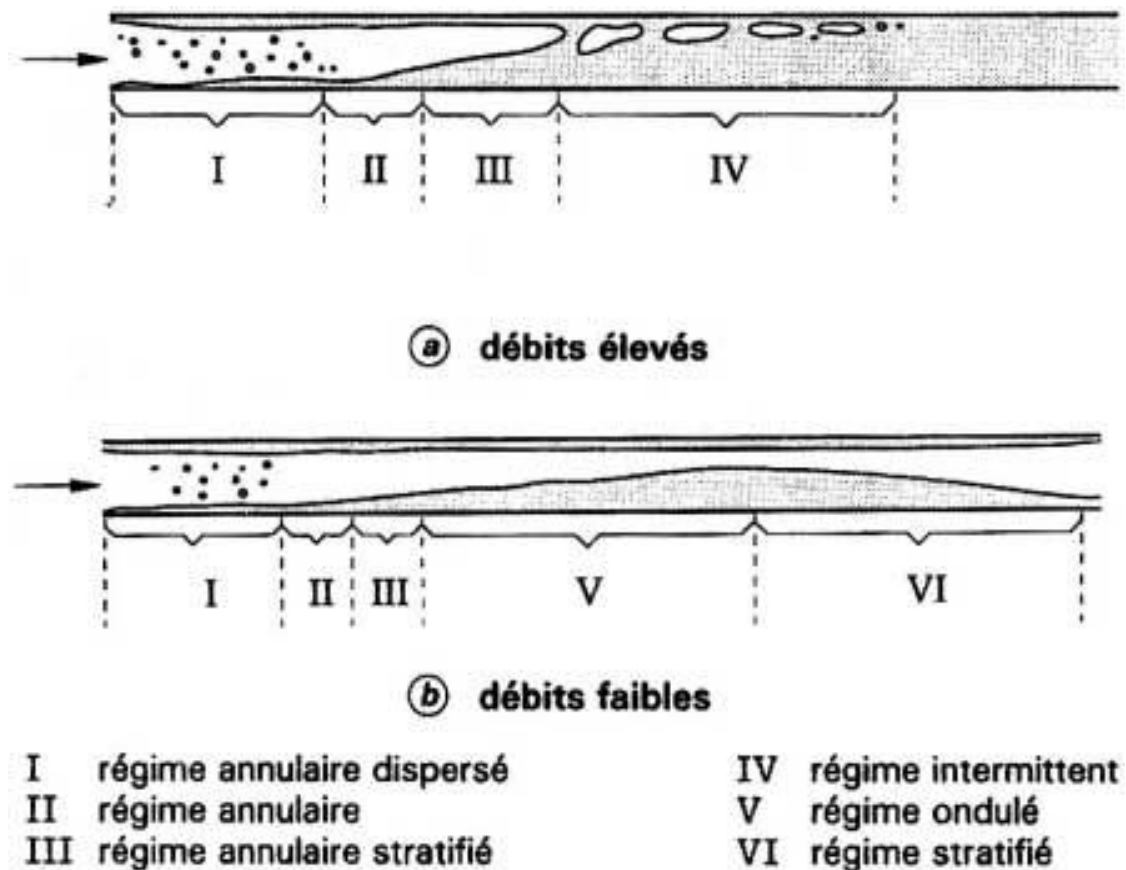
### I.2.1.3 Condensation à l'intérieur d'un tube horizontal :

#### I.2.1.1.1 Types d'écoulement rencontrés :

La figure (I-4) indique les configurations d'écoulement que l'on peut rencontrer dans un tube horizontal selon le débit.

Aux **forts débits**, la vapeur se condense sur la paroi du tube en formant un **écoulement annulaire**. Par suite de la valeur élevée de la vitesse de la vapeur, des gouttelettes sont arrachées du film de condensat et sont entraînées dans le cœur de l'écoulement. Lorsqu'on s'éloigne de l'entrée du tube, la condensation entraîne une diminution de la vitesse de la vapeur et du cisaillement à la surface du film de condensat. Cela a deux conséquences : l'arrêt de l'arrachement et de l'entraînement de gouttelettes et l'augmentation du rôle de la gravité qui conduit à un épaississement du film liquide dans la partie inférieure du tube. Plus en aval, l'écoulement annulaire se transforme en écoulement intermittent à poches de vapeur et bouchons de liquide et finalement le condensat emplit complètement le tube. [6]

Aux **faibles débits**, l'écoulement annulaire dispersé qui se forme à l'entrée du tube se stratifie et le condensat s'écoule par effet de gradient hydraulique si le tube n'est pas en charge à son extrémité aval. Dans le cas contraire, le condensat s'accumule dans le tube et s'écoule périodiquement sous forme de bouchons de liquide expulsés du tube par la pression de la vapeur. [6]



**Figure I-4 :** Condensation en film à l'intérieur d'un tube horizontal

### I.2.2 Condensation en gouttes :

La condensation en gouttes est caractérisée par une augmentation considérable (jusqu'à cent fois) du coefficient d'échange par rapport à la condensation en film. Les gouttes grossissent et s'agglomèrent, avec d'autres gouttes plus petites. Après avoir atteint une taille suffisante, les gouttes ruissellent sur la paroi sous l'influence de la gravité en emportant les gouttes statiques qui se trouvent sur leur passage et en laissant derrière elles une zone de paroi asséchée. [6]



### I.2.2.1 Méthodes utilisées pour obtenir la condensation en gouttes :

Pour obtenir la condensation en gouttes, il faut rendre la paroi non mouillable par l'eau. Ce résultat est atteint soit en revêtant la paroi d'un matériau permanent hydrophobe, soit en ajoutant à la vapeur un produit liquide ou gazeux qui est adsorbé par la surface de condensation.

#### I.2.2.1.1 Utilisation de revêtements permanents :

On les classe en deux groupes suivant leur nature chimique :

**Les métaux nobles** tels que l'argent, le rhodium, le palladium, le platine et l'or. Ce dernier métal est particulièrement intéressant car il n'est pas oxydable par l'air à des températures inférieures à 900°C. Cela explique son choix habituel en tant que promoteur de la condensation en gouttes. Cependant, les dépôts d'or ne sont pas réalisables sur les alliages de cupronickel constituant les tubes de condenseur. Il est nécessaire de déposer des couches successives de nickel (12  $\mu\text{m}$ ), d'argent (6  $\mu\text{m}$ ) et enfin une pellicule d'or (0,25  $\mu\text{m}$ ). Cette technique multiplie approximativement par deux le prix d'un tube de condenseur et l'examen économique du problème s'impose pour chaque application. Le revêtement ainsi obtenu peut tenir une dizaine de milliers d'heures. [6]

**Les résines polymérisées**, dont deux produits organiques donnent des résultats corrects pour des durées d'utilisation allant jusqu'à trois mille heures. Ce sont le polytétrafluoréthylène (PTFE ou *Téflon*, fabriqué par Du Pont de Nemours) et le polyparaxylylène (*Parylène*, fabriqué par Union Carbide). Ces matériaux étant mauvais conducteurs de la chaleur, le dépôt doit être le plus mince possible (inférieur à 10  $\mu\text{m}$ ). Le *Parylène* permet des épaisseurs de l'ordre du micron et semble être le mieux adapté. [6]

#### I.2.2.1.2 Utilisation de promoteurs temporaires :

Ces promoteurs temporaires doivent posséder les qualités suivantes :

- une faible solubilité dans le condensat ;
- une bonne adhérence à la paroi ;

- un caractère hydrophobe marqué ;
- une action prolongée ;

Les produits les plus couramment employés sont les huiles minérales, les acides gras et leurs sels, les cires, les mercaptans et l'oléate de cuivre. Ces substances sont le plus souvent injectées dans la vapeur à condenser soit directement par barbotage ou sous forme d'aérosols, soit indirectement par mélange à la saumure. L'injection peut être continue ou périodique. [6]

## **I.3 Les échangeurs de chaleur**

### **I.3.1 Définition :**

Un échangeur de chaleur comme son nom l'indique, est un appareil servant à transmettre la chaleur d'un fluide à un autre. Dans les échangeurs les plus courants les deux fluides sont séparés par une paroi à travers laquelle les échanges se font par conduction. La transmission de chaleur fluide-paroi relevant essentiellement de la convection. Dans certains appareils, l'échange de chaleur est associé à un changement de phase de l'un des deux fluides, c'est le cas des condenseurs, et des évaporateurs.

### **I.3.2 Critères de classement des échangeurs :**

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. On peut citer à titre d'exemple les principaux types :

#### **I.3.2.1 Classement selon les écoulements**

Une classification des échangeurs peut être établie d'après le sens relatif des écoulements des fluides .on distingue ainsi notamment :

- Les échangeurs à courants parallèles : les deux fluides s'écoulent parallèlement et dans le même sens
- Les échangeurs a contre-courant : les deux fluides s'écoulent parallèlement et dans un sens contraire.
- Les échangeurs à courant-croisé : les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un a l'autre.

#### **I.3.2.2 Classement fonctionnel**

Le passage des fluides dans l'échangeur peut s'effectuer avec ou sans changement de phase ; suivant le cas, on dit que l'on a un écoulement monophasique ou diphasique. On rencontre alors les différents cas suivants :

- les deux fluides ont un écoulement monophasique ;
- un seul fluide à un écoulement avec changement de phase, cas des évaporateurs ou des condenseurs ;
- les deux fluides ont un écoulement avec changement de phase, cas des évapocondenseurs

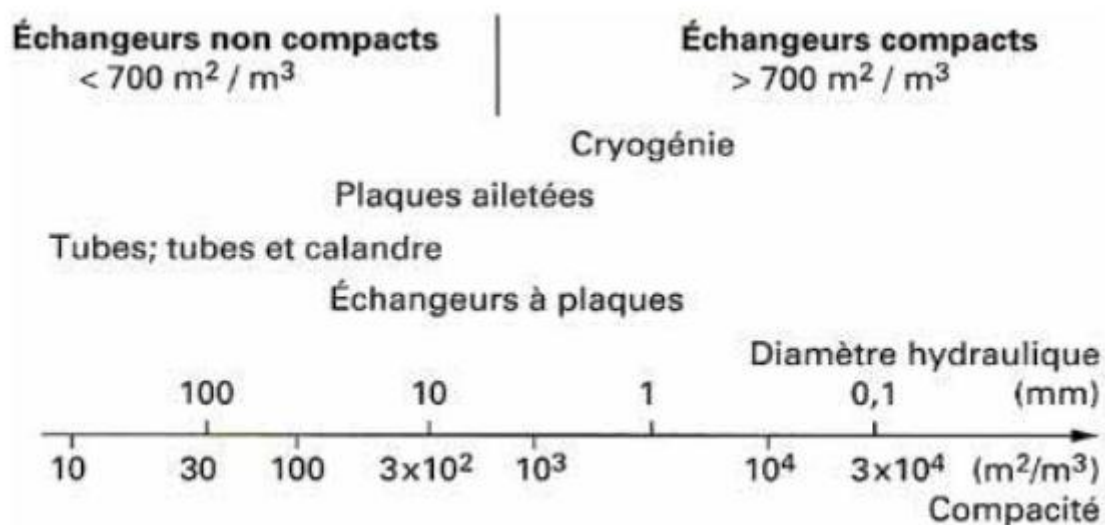
### II.3.2.3 Classement suivant la nature du matériau de la paroi d'échange

On retiendra deux types de paroi :

- les échangeurs métalliques en acier, cuivre, aluminium ou matériaux spéciaux : superalliages, métaux ou alliages réfractaires ;
- les échangeurs non métalliques en plastique, céramique, graphite, verre, etc.

### I.3.2.4 Classement suivant la compacité de l'échangeur

La compacité est définie par le rapport de l'aire de la surface d'échange au volume de l'échangeur. R.K. Shah propose qu'un échangeur soit considéré comme compact si sa compacité est supérieure à  $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ; cette valeur est susceptible de varier de 500 à  $800 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Une classification en fonction de la compacité est représentée sur la figure (I-5) : [3]



**Figure I-5 :** Classification d'un échangeur en fonction de sa compacité [3]

Bien évidemment, ces différents paramètres ne sont pas détachés, et sont souvent regroupés dans un seul échangeur. aussi on choisira de faire une autre classification qui se rapproche plus de la réalité des échangeurs qu'on peut croiser dans les industries.

Tout d'abord nous commencerons par décrire les échangeurs tubulaires et à plaques pour des raisons technologiques, ensuite nous passerons aux évaporateurs et condenseurs pour leurs applications un peu particulières.

Le choix d'un échangeur de chaleur pour une application donnée dépend de nombreux paramètres : les propriétés physiques des fluides, leur agressivité, les températures ainsi que les pressions de service. Les contraintes d'encombrement et de maintenance doivent aussi être prises en compte, ainsi que les considérations économiques.

### I.3.3 Les échangeurs à tubes :

Ce sont de loin les échangeurs les plus répandus, simple de conception et d'utilisation, ils sont répertoriés comme suit :

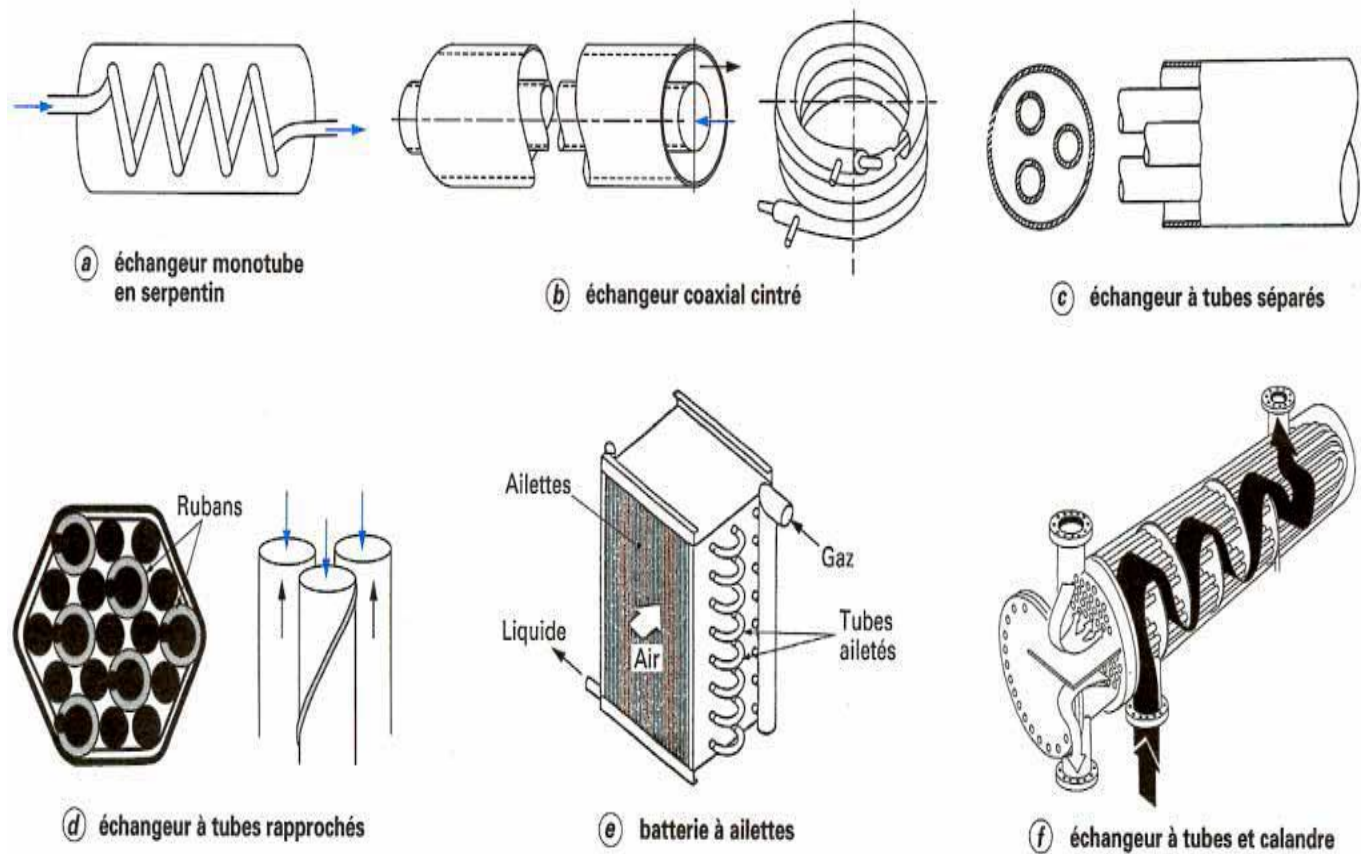
**a) échangeur monotube** (figure I-6.a), dans lequel le tube est placé à l'intérieur d'un réservoir et a généralement la forme d'un serpent ;

**b) échangeur coaxial** (figure I-6.b), dans lequel les tubes sont le plus souvent cintrés ; en général, le fluide chaud ou le fluide à haute pression s'écoule dans le tube intérieur ;

**c) échangeur multitubulaire**, existant sous quatre formes :

- *échangeur à tubes séparés* (figure I-6.c): à l'intérieur d'un tube de diamètre suffisant (de l'ordre de 100 mm) se trouvent placés plusieurs tubes de petit diamètre (8 à 20 mm) maintenus écartés par des entretoises. L'échangeur peut être soit rectiligne, soit enroulé,
- *échangeur à tubes rapprochés* (figure I-6.d): pour maintenir les tubes et obtenir un passage suffisant pour le fluide extérieur au tube, on place un ruban enroulé en spirale autour de certains d'entre eux. Les tubes s'appuient les uns sur les autres par l'intermédiaire des rubans,

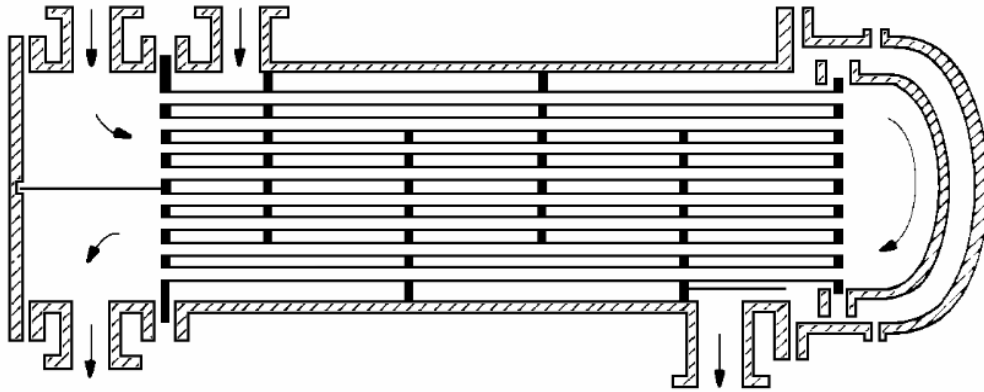
- *échangeur à tubes ailetés* (figure I-6.e) : ces tubes permettent d'améliorer le coefficient d'échange thermique ;
- *échangeur à tubes et calandre* (figure I-6.f) : c'est l'échangeur actuellement le plus répandu, de ce fait nous y reviendrons dans le paragraphe qui suit de façon plus détaillée.



**Figure I-6 : Différents types d'échangeurs tubulaires**

### I.3.4 Échangeurs à tubes et calandre :

Ce type d'échangeurs est de loin le plus répandu dans les unités de transformations des industries chimiques et pétrochimiques. Un faisceau de tubes est situé à l'intérieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condenseurs, les rebouilleurs et les fours multitubulaires.

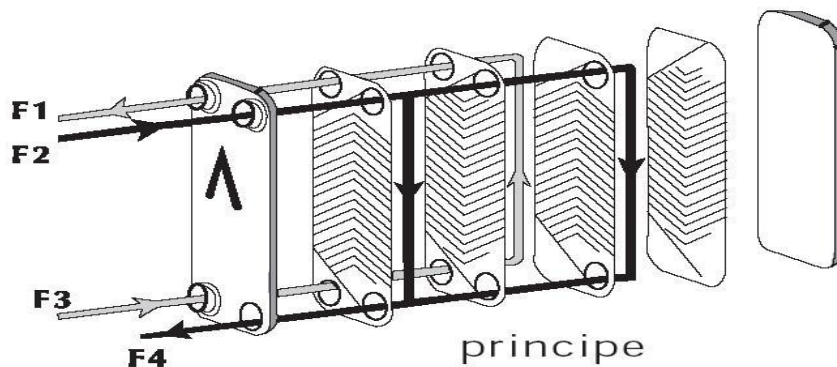


**Figure I-7 : Echangeur à tubes et calandre**

Le faisceau est monté en deux plaques en communication avec des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en plusieurs passes. Le faisceau muni de chicanes est logé dans une calandre possédant des tubulures d'entrée et de sortie pour le deuxième fluide circulant à l'extérieur des tubes du faisceau selon un chemin imposé par les chicanes comme le montre la figure ci-dessus.

### I.3.5 Échangeurs à plaques :

Cette famille d'échangeurs étant aussi très utilisée (secteur agro-alimentaire), ces changeurs à plaques sont constitués, comme leur nom l'indique d'un ensemble de plaques qui définissent un ensemble de canaux dans lesquels circulent respectivement chacun des fluides.



**Figure I-8 : Principe de fonctionnement d'un échangeur à plaques**

### I.3.6 Échangeurs avec un fluide changeant de phase :

L'un des deux fluides peut subir un changement de phase à l'intérieur de l'échangeur. C'est le cas des *évaporateurs* si le fluide froid passe de l'état liquide à l'état gazeux, ou des *condenseurs* si le fluide chaud se condense de l'état de vapeur à l'état liquide.

On distingue :

**a) Les évaporateurs :** Ces appareils sont généralement utilisés pour concentrer une solution, refroidir un fluide, ou produire de la vapeur. Le fluide chauffant peut être une phase liquide qui transmet sa chaleur sensible ou de la vapeur cédant sa chaleur latente de condensation sur la paroi.

**b) Les condenseurs :** Le but de ces échangeurs est de condenser une vapeur à l'aide d'un fluide réfrigérant. Ils concernent des secteurs d'activité très variés comme la production d'énergie (centrale thermique), les industries chimiques (colonnes à distillation), les industries du génie climatique, de l'agro-alimentaire, du séchage, etc.

Le fluide à condenser est rarement un corps pur, mais le plus souvent une vapeur en présence d'autres gaz incondensables. La condensation de la vapeur saturée est obtenue par échange thermique avec un fluide froid appelé *réfrigérant*. Un condenseur nécessite un liquide de refroidissement abondant et bon marché et, pour cela, on utilise principalement l'eau et parfois l'air.

### I.3.7 Les ailettes :

Le domaine de l'intensification des échangeurs de chaleur a depuis de nombreuses années dépassé le stade du laboratoire et a été largement pris en compte dans les applications industrielles. Nombre d'échangeurs dans des procédés très divers sont équipés de surfaces d'échange (tubes ou plaques ailetés) spécialement conçues pour présenter des coefficients d'échange de chaleur élevés et notamment supérieurs à ceux des surfaces d'échange lisses. [4]



### I.3.7.1 Échangeurs à tubes ailetés :

Lorsque l'un des fluides transitant dans l'échangeur s'avère nettement moins bon caloporteur que l'autre, l'utilisation d'ailettes s'impose autour des tubes ou quelquefois dans les tubes afin que la résistance thermique globale ne soit pas principalement due au fluide ayant le plus petit coefficient d'échange thermique. [4]

Les ailettes peuvent être disposées de différentes façons :

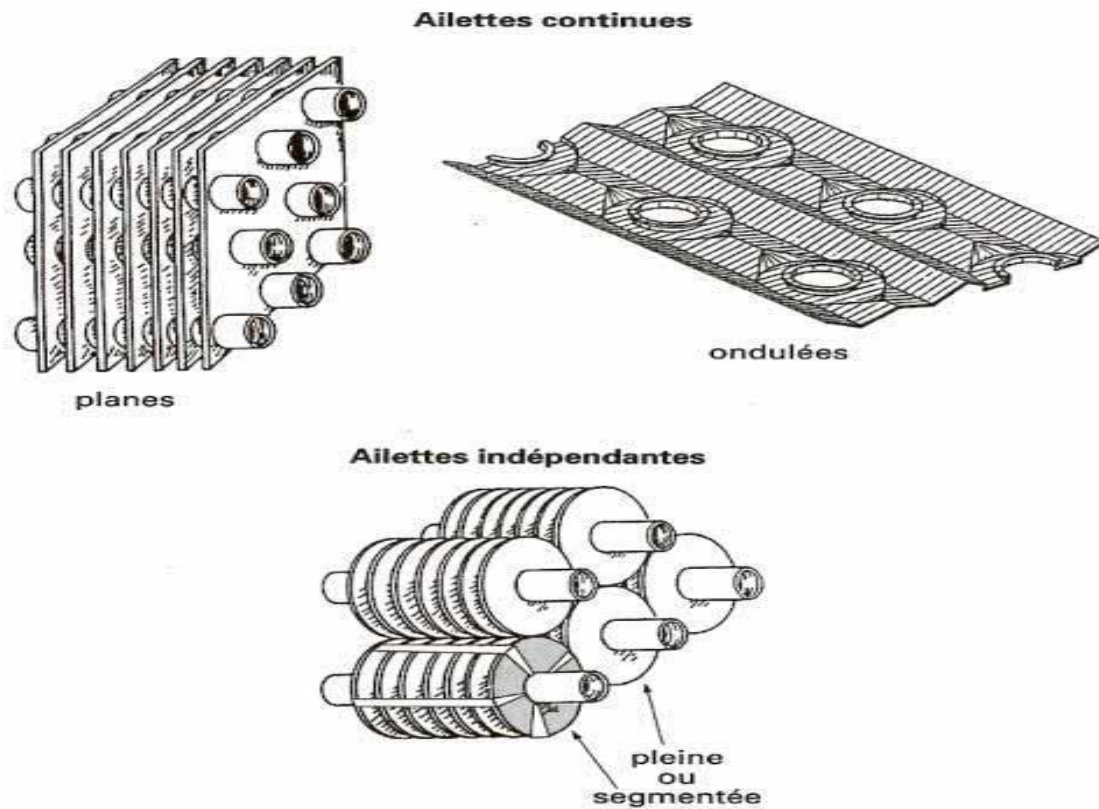
#### I.3.7.1.1 Ailettes transversales :

On ne considère que les ailettes extérieures aux tubes ; elles peuvent être continues ou indépendantes (figure I-9).

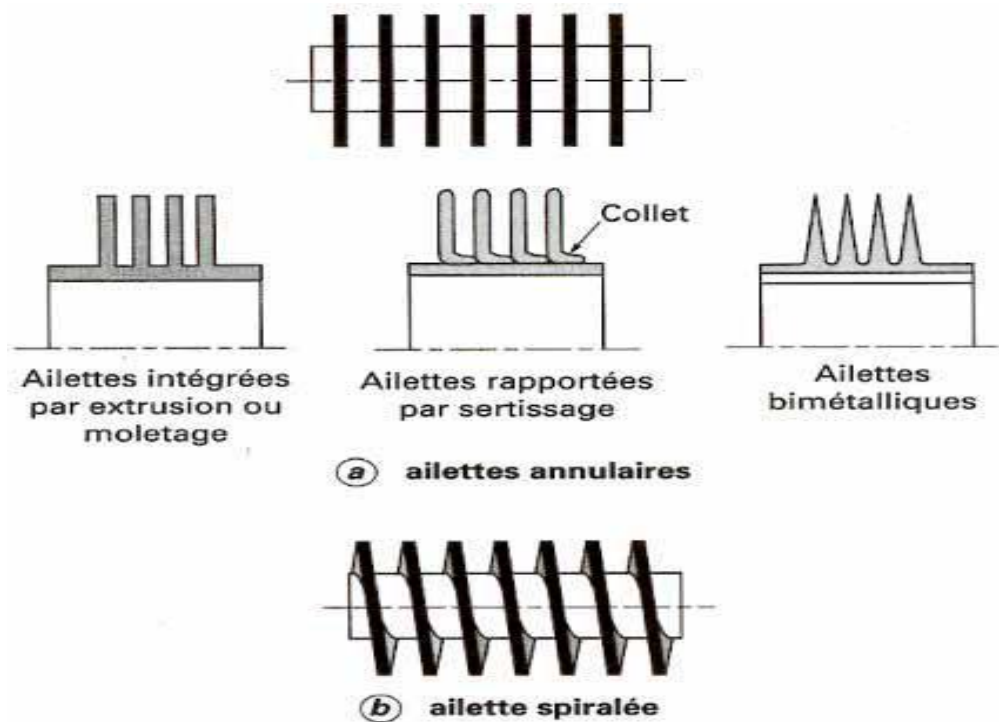
Les *ailettes continues* sont traversées par plusieurs tubes. De forme généralement rectangulaire, elles sont souvent fabriquées par emboutissage puis fixées par dilatation des tubes. Un collet fixe l'écartement entre les ailettes. Elles peuvent être planes ou ondulées ; l'ondulation provoque une perturbation de l'écoulement qui améliore l'échange thermique. [4]

Les *ailettes indépendantes* sont traversées par un seul tube. Elles peuvent être pleines ou segmentées. Les ailettes indépendantes peuvent être de différentes sortes :

- ailettes annulaires, en principe des ailettes pleines (figure I-10.a) ;
- ailette hélicoïdale (spiralee) (figure I-10.b), pleine ou segmentée, bien adaptée aux grandes longueurs de tubes. Elle est généralement obtenue par enroulement d'un ruban serti ou soudé sur le tube. Si la hauteur de l'ailette est grande devant le rayon du tube, l'ailette est segmentée. [4]



**Figure I-9 :** – Ailettes continues ou indépendantes pour tubes

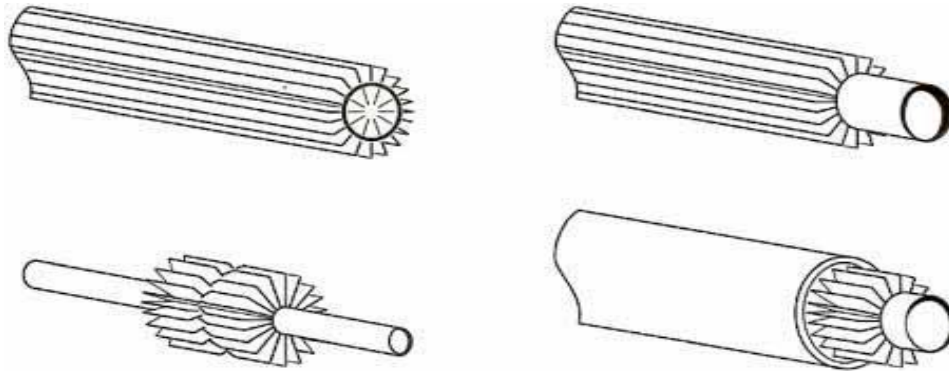


**Figure I-10 :** Ailettes annulaires ou spiralées

### I.3.7.1.2 Ailettes longitudinales

Les ailettes sont disposées suivant l'axe des tubes (figure I-11) ; elles peuvent être situées à l'intérieur ou à l'extérieur des tubes.

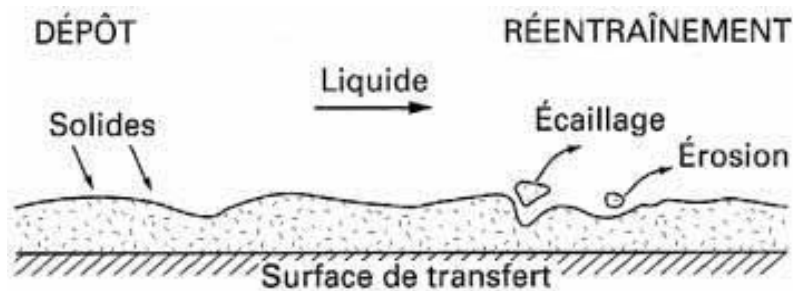
Pour améliorer le transfert de chaleur, elles sont quelquefois localement torsadées.



**Figure I-11 :** Tubes avec différents types d'ailettes longitudinales

### I.3.8 Le phénomène d'encrassement :

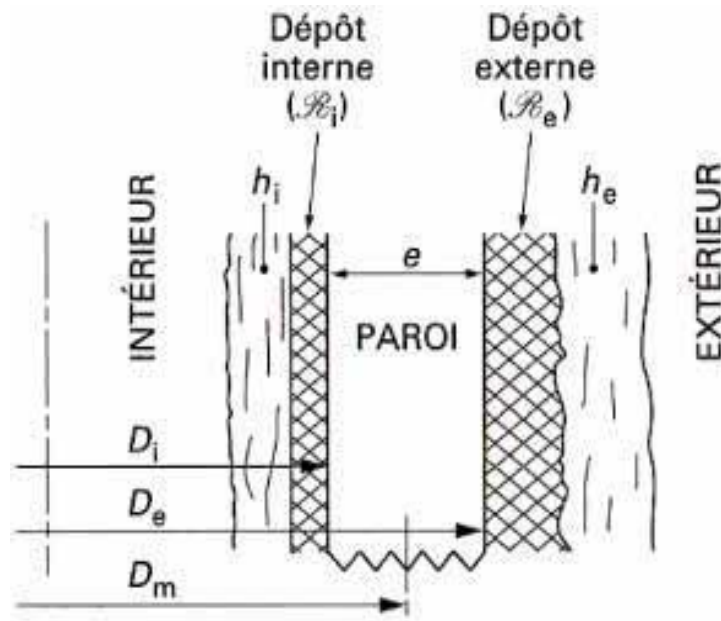
L'encrassement, qui sous sa forme la plus générale peut être défini comme l'accumulation d'éléments solides indésirables sur une interface, affecte une grande variété d'opérations industrielles. Dans le cas des échangeurs, la présence d'un fort gradient thermique près de la surface peut perturber les mécanismes d'encrassement isotherme rencontrés. [5]



**Figure I -12 :** Représentation schématique des phases de dépôt sur une paroi

### I.3.8.1 Dimensionnement des échangeurs avec prise en compte de l'encrassement :

D'une façon générale, la (ou les) couche(s) de dépôt localisée(s) sur la surface d'échange (figure I-13) crée(nt) une (ou des) **résistance(s) thermique(s) supplémentaire(s)** qui s'oppose(nt) au flux de chaleur transféré. [5]



**Figure I-13 :** Résistances thermiques d'encrassement des dépôts internes et externes localisés sur une surface d'échange

# Chapitre II

## *Les aérocondenseurs*

## II.1 Introduction

Les aérocondenseurs appartiennent à la famille des aéroréfrigérants, il est donc nécessaire de s'arrêter sur certaines définitions concernant cet équipement.

## II.2 Définition de la réfrigération atmosphérique directe sèche

**La réfrigération atmosphérique directe sèche** est un procédé utilisé pour évacuer, à partir d'un puits froid, la chaleur contenue dans un fluide chaud. Le puits froid utilisé dans la réfrigération atmosphérique est l'air ambiant.

Dans cette application dite directe, le puits froid échange directement avec le fluide à refroidir sans utilisation d'un circuit avec fluide caloporteur intermédiaire. De plus, la réfrigération est qualifiée de sèche car le fluide à refroidir ne peut être mis en contact avec le fluide de refroidissement à cause de sa pression, sa toxicité ou son impact sur l'environnement par exemple.

Il est important de noter que les appareils de réfrigération atmosphérique fonctionnent en général en circuit ouvert compte tenu du fait que l'air chaud est rejeté après échange directement dans l'atmosphère et n'est pas recyclé. [7]

## II.3 Classification des aéroréfrigérants :

On distingue deux grandes classes d'aéroréfrigérants:

- Les aéroréfrigérants à convection naturelle
- Les aéroréfrigérants à convection forcée

### II.3.1 Aéroréfrigérants à convection naturelle

Ce sont des échangeurs à tirage induit, l'air circule dans une tour grâce aux différences de densités dues aux différences de températures entre l'intérieur de la tour et l'extérieur. Les tours peuvent avoir des hauteurs de 150 mètres. La vitesse de l'air peut dans certains cas être aussi élevée que dans les systèmes utilisant des ventilateurs. D'une manière

générale, lorsque les puissances à extraire sont très grandes, et l'énergie dépensée dans les ventilateurs devient importante, l'utilisation de ce type d'aéroréfrigérants se justifie. Les centrales thermiques et nucléaires utilisent les aéroréfrigérants à convection naturelle. [9]

### II.3.2 Aéroréfrigérants utilisant un ventilateur

On peut les classer selon le mode d'écoulement de l'air et selon la position du faisceau (voir figures II-1, et II-2).

L'air de refroidissement peut être soit forcé à travers le faisceau (tirage forcé), soit tiré à travers celui-ci (tirage induit).

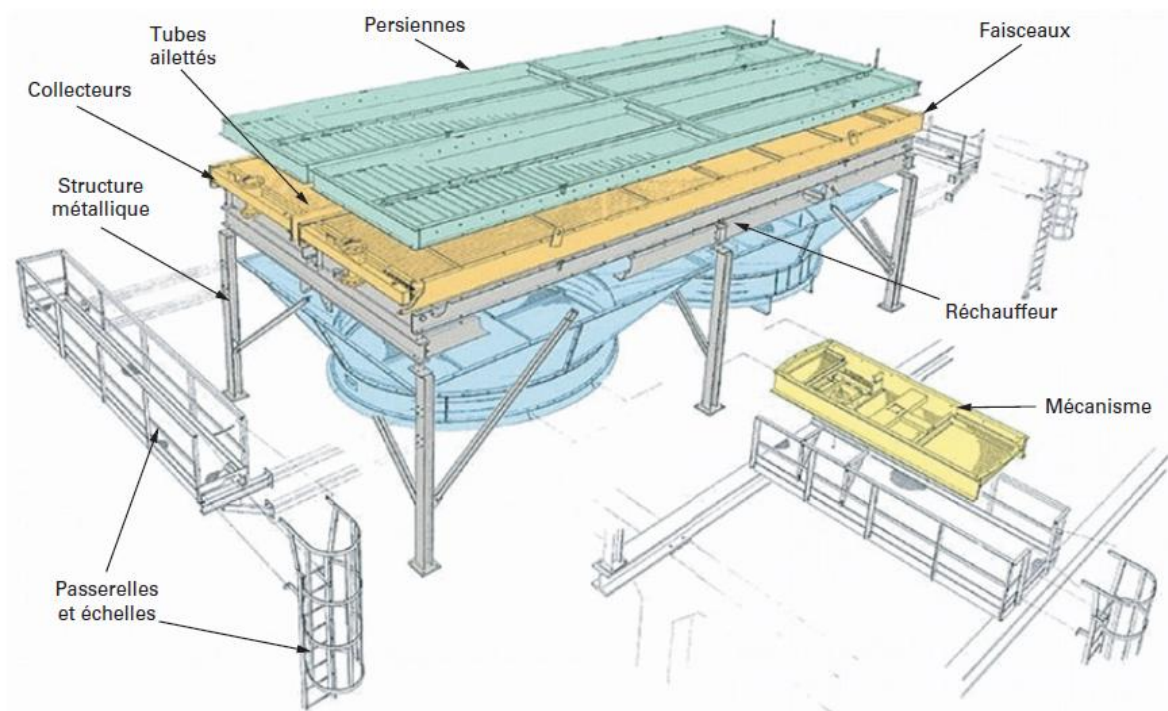
Lorsque deux aéroréfrigérants fournissent le même débit volume d'air, le meilleur refroidissement est obtenu par aéroréfrigérant à tirage forcé. Pour obtenir la même efficacité que le tirage forcé, le tirage induit doit fournir plus de puissance. Malgré cet inconvénient, le tirage induit est préféré pour les avantages suivants qu'il procure :

- Une distribution de l'air mieux répartie
- Le niveau de bruit au sol est plus faible qu'en configuration forcée.
- La position de la hotte et du ventilateur assure une bonne protection du faisceau contre les conditions climatiques (Pluies, rayonnement).
- La vitesse de sortie de l'air chaud est 2 à 2.5 fois plus grande qu'en air forcé, ce qui réduit les risques de recirculation de l'air, notamment en cas de vents latéraux.
- Une protection de la surface d'échange thermique contre certains dommages climatiques extrêmes tels que : verglas, grêle, grosses précipitations, neige et rayonnement solaire.

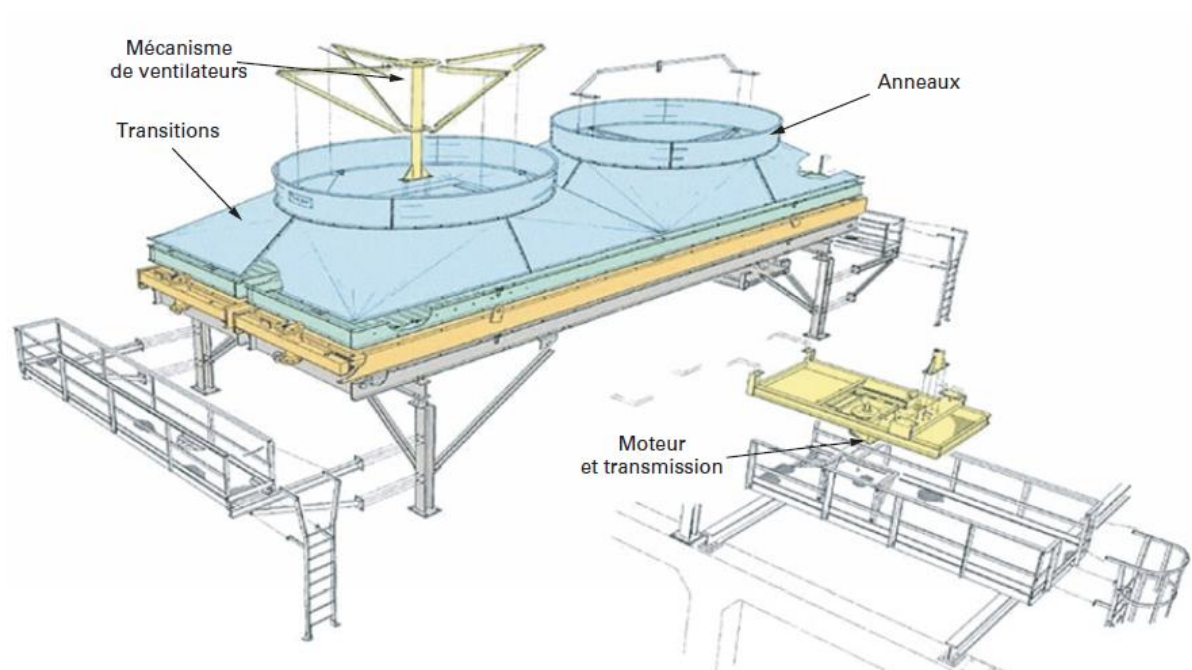
La ventilation en tirage induit présente aussi des inconvénients par rapport au tirage forcé :

- Pour un même débit massique d'air en circulation, la puissance du ventilateur en tirage induit est plus grande.
- Les ventilateurs et même les moto-ventilateurs reçoivent l'air chaud tiré dont la température ne doit pas être excessive. 70°C pour des pâles en plastique, et 100°C pour des pâles en aluminium.





**Figure II-1 : Mode de tirage forcé**



**Figure II-2 : Mode de tirage induit**



## **II.4 Avantages et inconvénients du refroidissement à air :**

### **II.4.1 Avantages :**

- Disponibilité en quantités illimitées de l'air
- L'emplacement de l'aéroréfrigérants n'est pas conditionné
- Les frais d'entretien sont faibles (20 à 30%) par rapport au refroidissement à l'eau
- Grande pureté de l'air tout le long de l'année.
- Pas de calcaire, de sel ou de dépôts, pas de formation de substances organiques.
- Peu corrosif et peu de problèmes de nettoyage.
- Pas besoin de suivre la qualité de l'air et pas de traitement chimique à faire
- Peu d'impact sur l'environnement
- Pas de problèmes de pollution

### **II.4.2 Inconvénients**

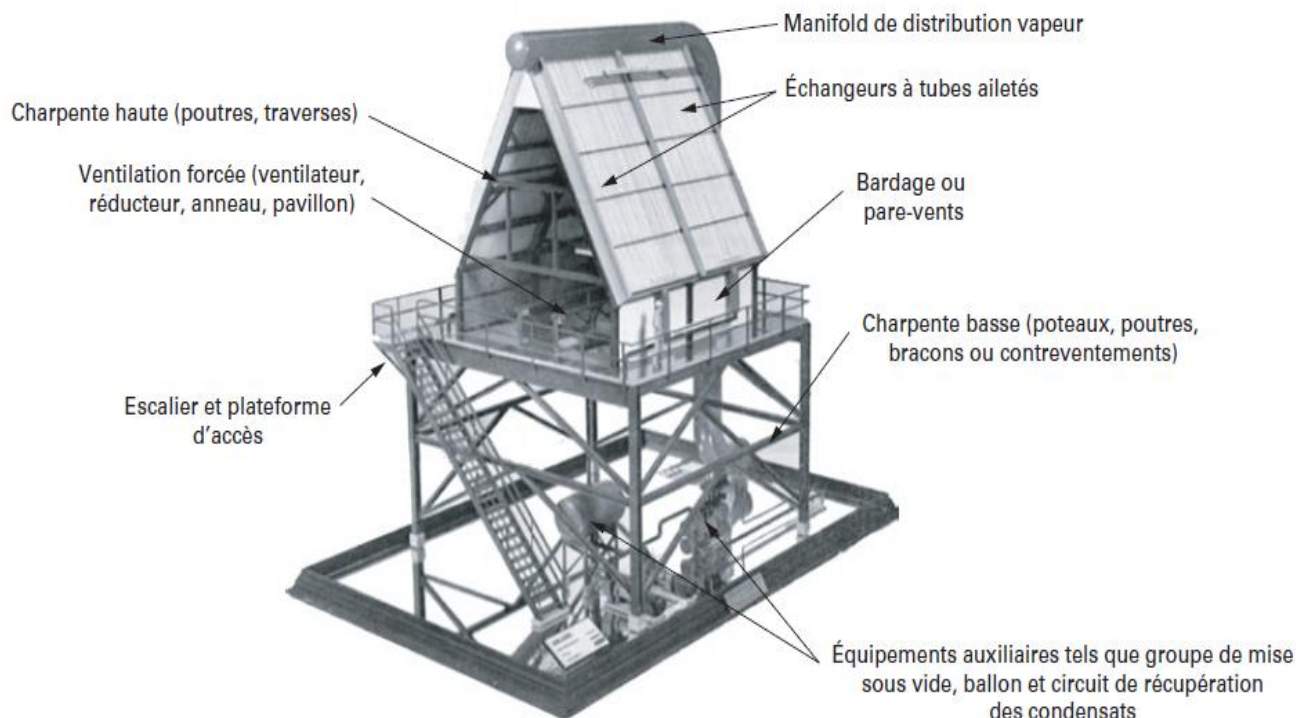
- L'air est mauvais convecteur, il nécessite par conséquent de munir les tubes d'ailettes.
- L'air ne peut refroidir à des températures basses en raison de sa faible capacité calorifique
- Les variations saisonnières et journalières de la température de l'air changent les performances des aéroréfrigérants
- La baisse de température augmente la densité de l'air et peut charger les ventilateurs si ceux la ne sont pas correctement dimensionnés.
- Les aéroréfrigérants ne doivent pas être placés à proximité de gros obstacles, tels que batiments, arbres, etc....la circulation pourrait être gênée.

### II.5 Définition de la réfrigération par condensation :

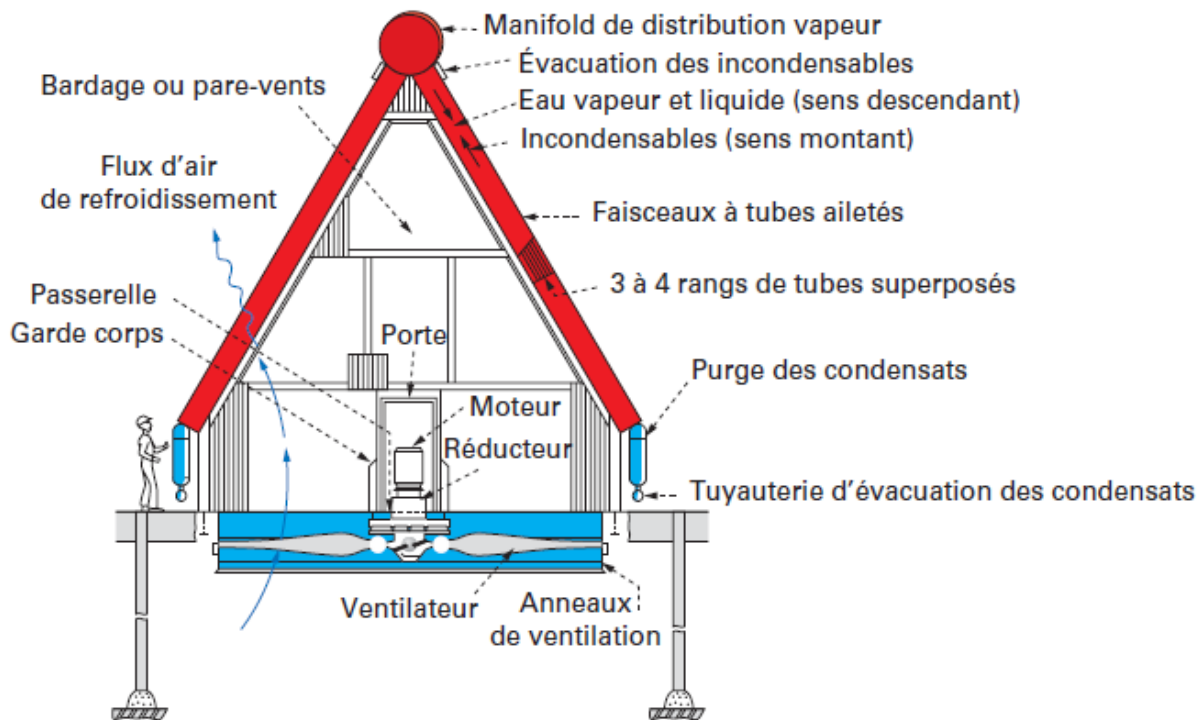
La réfrigération atmosphérique par condensation est un procédé utilisé pour évacuer à partir d'un puits froid la chaleur contenue dans un fluide chaud permettant ainsi de faire passer ce fluide de l'état vapeur à l'état liquide. Le puits froid utilisé dans la réfrigération atmosphérique est l'**air ambiant**. [8]

### II.6 Description de l'aérocondenseur :

L'aérocondenseur (figures II-3, et II-4) se distingue des autres appareils de refroidissement par le fait que le fluide à refroidir subit un changement d'état : passage de l'état vapeur à l'état liquide. [8]



**Figure II-3 :** Schéma descriptif d'un aérocondenseur et ses auxiliaires



**Figure II-4 :** Vue en coupe d'un aérocondenseur

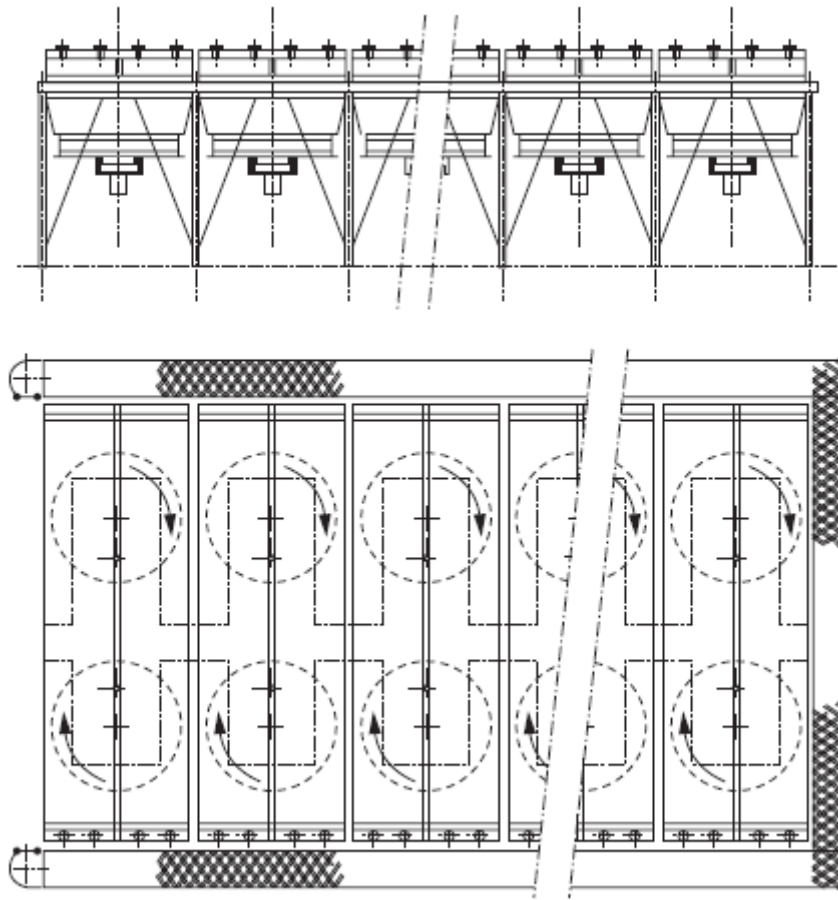
## II.7 Technologie des aérocondenseurs :

### II.7.1 Bancs :

Les réfrigérants industriels, tels que les aérocondenseurs, sont des appareils de capacité moyenne (4 MW) ou importante (jusqu'à 180 MW) caractérisés principalement par leur encombrement qui nécessite une mise en place sur site des différents éléments livrés démontés.

Les aérocondenseurs peuvent être constitués d'une seule unité pour les débits d'air faibles et moyens ( $400 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et de plusieurs unités accolées pour les gros débits d'air (jusqu'à  $9\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Le regroupement de plusieurs aérocondenseurs accolés est appelé **banc** (figure II-5). Les cellules aérocondenseur installées les unes à côté des autres sur le banc sont montées en parallèle. [8]



**Figure II-5 :** Exemple de bancs d'aérocondenseurs

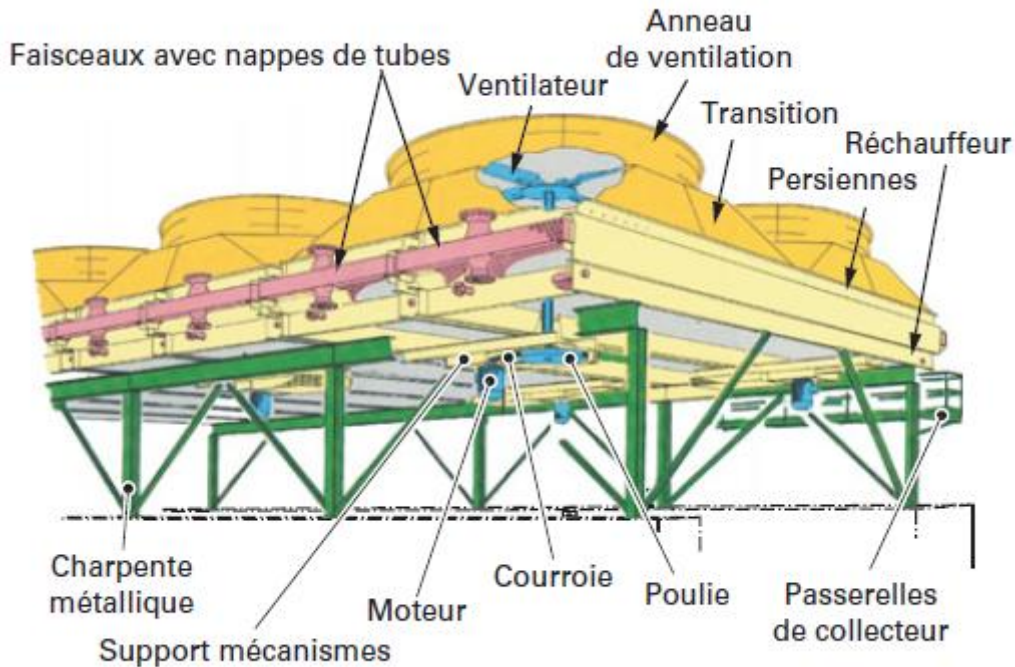
### II.7.2 Cellule aérocondenseur :

Une cellule aérocondenseur est constituée essentiellement (figure II-6) :

- des **faisceaux échangeurs**;
- un **collecteur d'alimentation en vapeur appelé manifold**;
- des **groupes de ventilation mécanique** entraînés par un **moteur**;
- d'une **transmission réductrice** reliant le moteur au ventilateur ;
- des pièces de tôlerie composant le **bardage**;
- d'une **charpente métallique**.

Une cellule aérocondenseur peut comporter jusqu'à douze faisceaux répartis de part et d'autre des ventilateurs. Les faisceaux sont généralement inclinés dans une structure en A qui

permet de maximiser l'échange avec l'air et de récupérer les condensats par écoulement gravitationnel.



**Figure II-6 :** Schéma d'une cellule d'aérocondenseur

### II.7.3 La ventilation

Les ventilateurs utilisés sont le plus souvent du type axial. Le ventilateur et son système d'entraînement doivent avoir des coûts faibles, ils doivent être résistants et fiables.

La circulation d'air au sein de la cellule de l'aérocondenseur est assurée par un ou plusieurs ventilateurs entraînés par moteur électrique (figure II-7). [7]

Les principales caractéristiques des moteurs sont :

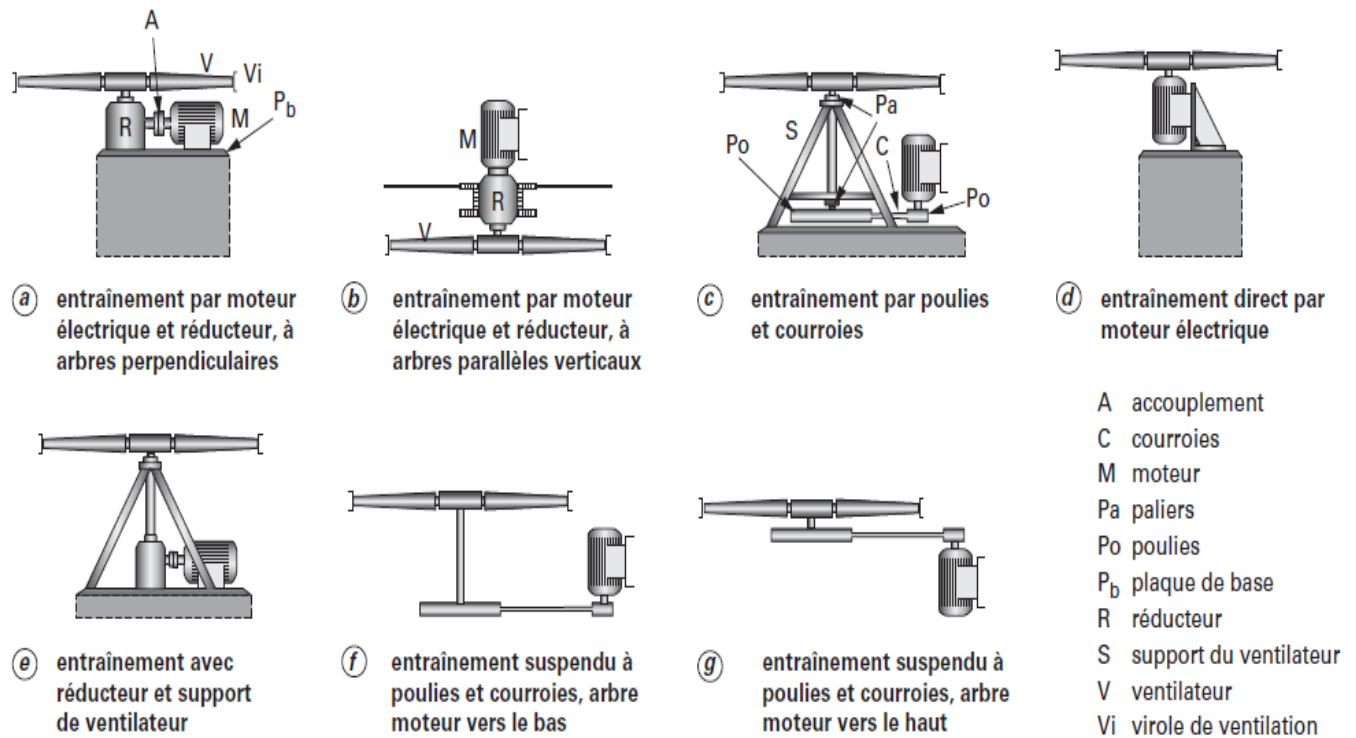
- 1 à 2 vitesses ;
- vitesse de rotation de 750 à 1 800 tr/min en fonction de la fréquence de l'alimentation électrique du site (50 Hz ou 60 Hz) ;

- puissances de 0,75 à 75 kW) ;
- moteurs fermés étanches ;
- moteurs de sécurité pour atmosphère explosive ou inflammable ;
- montage à brides ou à pattes.

Les principales caractéristiques des ventilateurs sont :

- de 1 à 3 par baie ;
- de 4 à 6 pales ou plus ;
- pales en aluminium ou en polyester ;
- diamètres de 2 pieds (610 mm) à 18 pieds (5 500 mm) ;
- angles des pales avec précalage ou variable.

La vitesse du ventilateur est définie en fonction du débit d'air nécessaire pour atteindre les performances thermiques souhaitées de l'appareil. En général, la vitesse du ventilateur est inférieure à celle du moteur, ce qui nécessite d'installer une réduction de vitesse entre les deux. [7]



**Figure II-7 :** Exemple de dispositions des équipements mécaniques

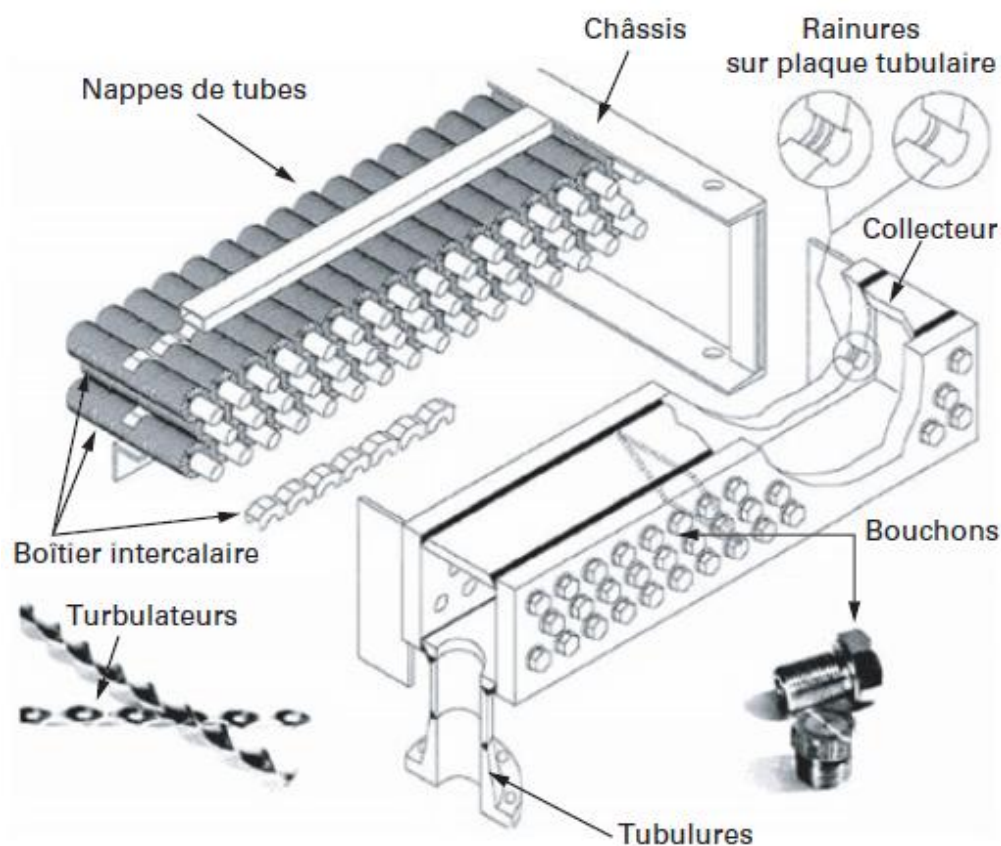


### II.7.4 Faisceaux :

Les faisceaux sont le cœur de tout ensemble aérocondenseur et comprennent essentiellement :

- des tubes ailetés d'échange ;
- une plaque tubulaire située en haut des faisceaux et à raccorder au manifold amenant la vapeur ;
- un collecteur bonnet situé en bas des faisceaux pour la récupération des condensats (figure II-8)
- un châssis constitué de deux longerons et des traverses internes.

Les faisceaux constituent les éléments échangeurs où le refroidissement et le changement d'état de la vapeur vont s'effectuer. [8]



**Figure II-8 :** Schéma éclaté d'un faisceau d'aérocondenseur



**Figure II-9 :** Photographie d'un faisceau tubulaire avant montage sur site

#### **II.7.4.1 Différents concepts concernant la disposition des faisceaux tubulaires :**

##### **II.7.4.1.1 Concept MASH<sup>®</sup> :**

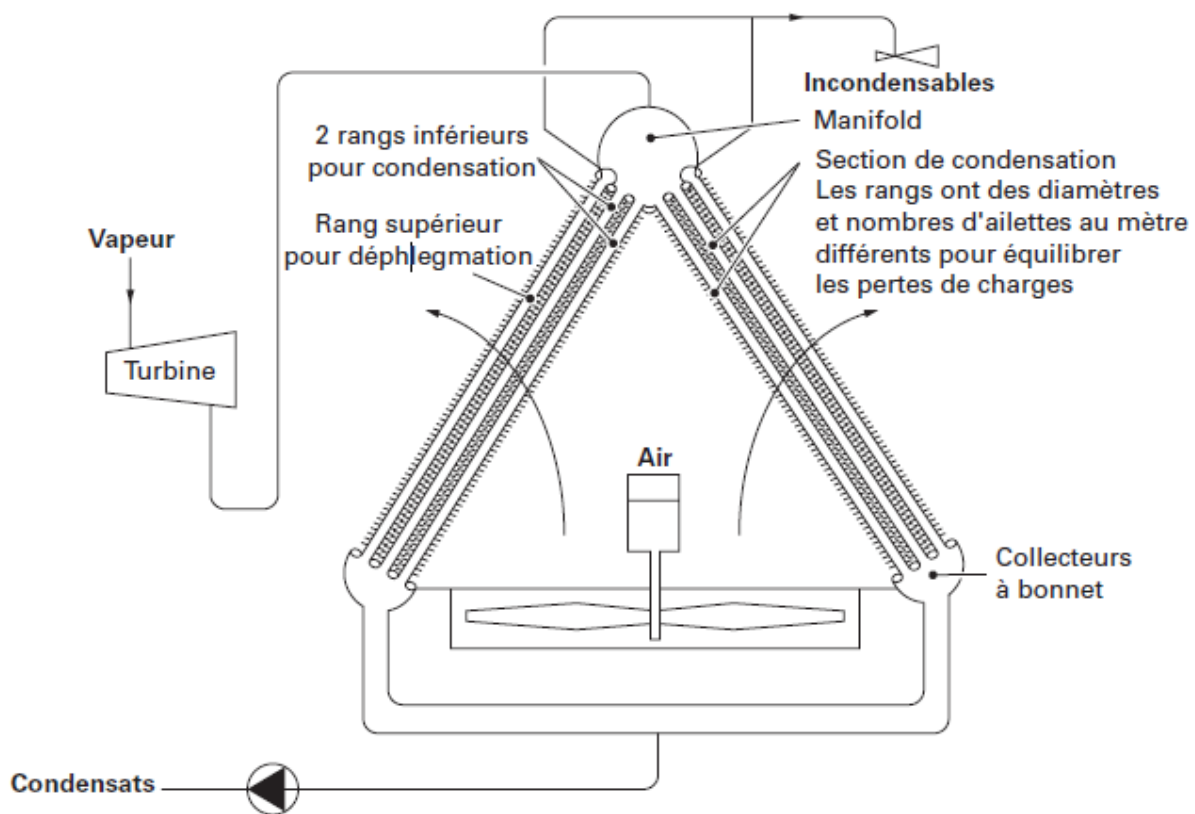
La particularité du concept MASH<sup>®</sup> (figure II-10) est d'effectuer la **condensation** et la **déphlegmation** (séparation du liquide et des incondensables) au sein même des faisceaux. Les faisceaux peuvent compter trois ou quatre nappes de tubes. Les deux ou trois premiers rangs sont utilisés pour la condensation de la vapeur. Le dernier rang est connecté sur le collecteur inférieur et permet l'aspiration et l'évacuation des incondensables qui circulent dans le faisceau à contre-courant de la vapeur à condenser.

Les tubes utilisés sont des tubes cylindriques à ailettes extrudées en aluminium. Dans la section de condensation, les rangs de tubes ont des diamètres et un nombre d'ailettes par mètre différent.

La vapeur est amenée *via* une gaine vapeur de grand diamètre située en haut des faisceaux et appelée aussi manifold.

L'eau vapeur et liquide descend par gravité à travers les tubes des faisceaux. Les condensats sont récupérés en bas à l'aide de collecteurs du type bonnet qui sont connectés à un réservoir de collecte des condensats. [8]





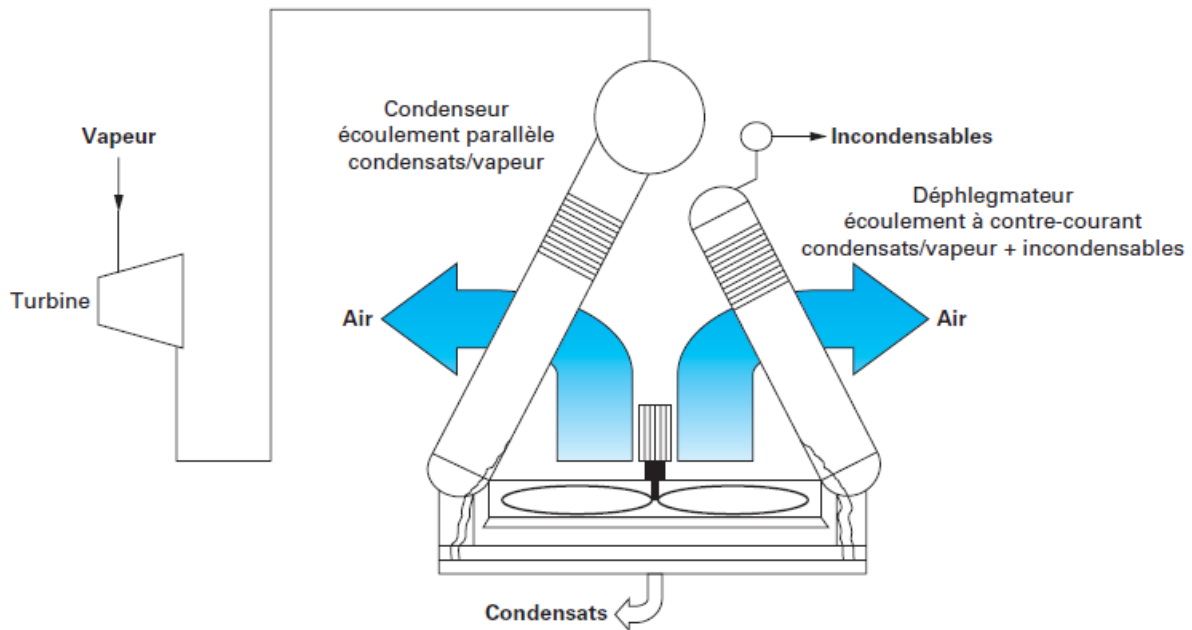
**Figure II-10 :** Schéma du concept aérocondenseur Mash© dans le cas de la condensation de vapeur d'eau en sortie de turbine

#### II.7.4.1.2 Concept ALEX® :

Le concept ALEX® (figure II-11) se caractérise par une rangée unique de tubes par faisceau. Les sections de condensation et de déphlegmation sont réalisées dans des faisceaux séparés. Cette technologie permet d'éviter la formation de poches d'air qui pénalisent les performances de l'appareil dans les sections de condensation.

Les tubes utilisés sont des tubes à ailettes à section quasi rectangulaire en acier galvanisé ou en aluminium. Comme pour le concept Mash®, la vapeur est amenée *via* une gaine vapeur de grand diamètre située en haut des faisceaux puis par gravité à travers la rangée de tubes. Les incondensables sont aspirés par les faisceaux de déphlegmation pour la condensation finale.

L'avantage du concept ALEX© est la puissance sonore réduite et une perte de charge côté air plus faible. [8]

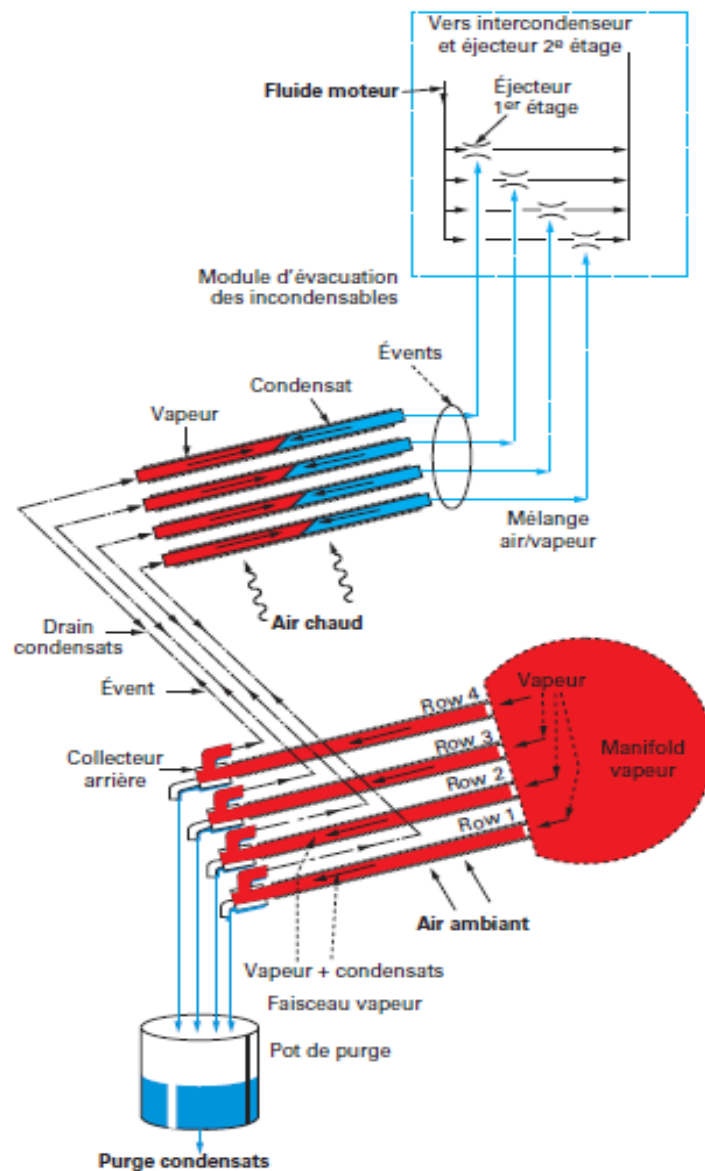


**Figure II-11** : Schéma du concept aérocondenseur Alex® dans le cas de la condensation de vapeur d'eau en sortie de turbine

#### II.7.4.1.3 Concept Stac-Flo® :

Pour éviter les problèmes d'écoulement d'incondensables, le concept Stac-Flo® (figure II-12) a été développé avec quatre nappes de tubes opérant séparément. Chaque nappe condense à sa température et à son niveau de pression. Un tube par nappe est raccordé à son propre système de mise sous vide. Il y a donc quatre systèmes de mise sous vide en parallèle.

Les tubes sont de type cylindrique extrudé. L'écoulement des condensats se fait par tube plongeur dans le pot de purge. Cette conception plus complexe est aussi plus ancienne et moins compétitive. [8]



**Figure II-12 : Schéma du concept aérocondenseur Stac-Flo®**

### II.7.5 Gaine et manifold de distribution vapeur :

Dans le cas d'une centrale électrogène, l'ensemble des équipements installés avec un aérocondenseur sous vide côté arrivée vapeur, se décompose comme suit (figure II-13) :

- une gaine de liaison entre la turbine et le manifold de distribution de vapeur ;
- un manifold de distribution de la vapeur dans les faisceaux ;
- des organes de protection contre les surpressions ;
- des lignes de contournement ou by-pass éventuels pour la turbine.



**Figure II-13 :** Photo d'une gaine de distribution de vapeur

La **gaine de liaison turbine-manifold** est une ligne de tuyauterie de grand diamètre (1 à 3 m selon les débits), de longueur variable en fonction de l'implantation (limitée généralement à 30 m pour éviter de trop grandes pertes de charge). Ces tuyauteries sont construites en acier au carbone standard d'épaisseurs de l'ordre de 10 à 16 mm et peuvent représenter des masses mises en œuvre de l'ordre de 200 à 300 tonnes pour des bancs avec plusieurs cellules aérocondenseur. La gaine est réalisée en tronçons qui sont assemblés sur site.

Le **manifold** est aussi considéré comme un élément de tuyauterie et non pas comme un appareil à pression. Le manifold est directement soudé sur les plaques tubulaires supérieures des faisceaux. Il est réalisé en tronçons qui sont aussi assemblés sur site.

Suivant la réglementation en vigueur, les lignes vapeur doivent être équipées d'**organes de protection contre les surpressions** tels que les disques de rupture ou les soupapes de sécurité. Les soupapes présentent l'avantage d'être réarmables alors que les disques conduisent à l'arrêt de l'unité en cas d'éclatement de la membrane. [8]

### II.7.6 Circuit de récupération des condensats :

Les condensats se forment principalement dans l'aérocondenseur, mais peuvent aussi s'être formés dans la tuyauterie de vapeur ou venir de purges provenant de la turbine.

L'ensemble de ces condensats est collecté dans un **ballon** (figure II-14) qui permet d'assurer leur accumulation ainsi que la séparation de phase avec la vapeur. Ils sont ensuite renvoyés vers la chaudière par l'intermédiaire de pompes centrifuges.

Le contrôle de l'accumulation et de l'évacuation des condensats dans le ballon est réalisé à partir d'une mesure de niveau moyen de consigne actionnant deux vannes de régulation installées sur les lignes de retour des condensats et sur le retour d'appoint des condensats pour le fonctionnement en régime réduit. Cette régulation est généralement locale et à actionneurs pneumatiques.

Des alarmes de niveau par capteur magnétique sont aussi installées pour alerter les opérateurs en cas de niveaux trop bas ou trop haut.

De plus, la ligne d'écoulement des condensats doit comporter une garde hydraulique afin d'éviter le retour de la vapeur d'un faisceau vers l'autre lorsqu'il y a des différences de régime de fonctionnement entre les différentes cellules aérocondenseur placées en parallèle.

Enfin, si le ballon des condensats est placé à l'extérieur, il doit être équipé d'isolation thermique ou de réchauffeurs (vapeur ou électrique) pour éviter tout risque de givrage en conditions hivernales. [8]



**Figure II-14 :** Photo d'un ballon de récupération des condensats

# Chapitre III

*Dimensionnement de  
l'aérocondenseur*

### III.1 Introduction :

Nous allons, dans ce qui va suivre, énumérer les principales étapes de dimensionnement d'une cellule d'aérocondenseur servant à extraire la puissance thermique nécessaire à la condensation de la vapeur d'eau d'une centrale thermique.

#### III.1.1 Puissance totale à extraire pour avoir la condensation :

$$\phi = \dot{m} \Delta h = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (\text{IV. 1})$$

$\dot{m}$  : Débit masse vapeur ;

$h_2$  : Enthalpie massique de la vapeur (si vapeur saturée) ;

$h_1$  : Enthalpie massique du liquide saturé.

#### Cas d'une vapeur + liquide à l'entrée de l'aérocondenseur :

Dans ce cas, il faudrait connaître le titre de la vapeur  $x_2$  :

$$h_2' = (1 - x_2) h_{2\text{liq}} + x_2 h_{2\text{vap}} \quad (\text{IV. 2})$$

$h_{2\text{liq}}$  : Enthalpie massique du liquide saturé (kJ/kg) ;

$h_{2\text{vap}}$  : Enthalpie massique de la vapeur saturée (kJ/kg) ;

#### III.1.2 Puissance extraite pour une cellule d'aérocondenseur :

$$\phi = H S \Delta T L M_{cc} F = \dot{m}_{\text{air}} C_p (T_{as} - T_{ae}) \quad (\text{IV. 3})$$

$H$  : Coefficient d'échange global ;

$S$  : Surface d'échange par cellule ;

$F$  : Facteur pour tenir compte de la circulation de types courants croisés des deux fluides ;

Etant donné que l'un des deux fluides subit un changement de phase, le facteur de correction  $F$  est égal à un (1). [13]

$$\Delta TLM_{cc} = \frac{(T_{ce} - T_{as}) - (T_{cs} - T_{ae})}{\ln \left( \frac{(T_{ce} - T_{as})}{(T_{cs} - T_{ae})} \right)} \quad (IV.4)$$

### III.1.3 Estimation du coefficient d'échange thermique global H :

En premier lieu, on donne une estimation des coefficients de convection coté vapeur ( $h_i$ ) et coté air ( $h_a$ ), ce qui nous permet, en première approche d'évaluer la valeur du coefficient d'échange thermique global H.

### III.1.4 Estimation de l'encombrement :

#### Nombre de rangées $N_R$ :

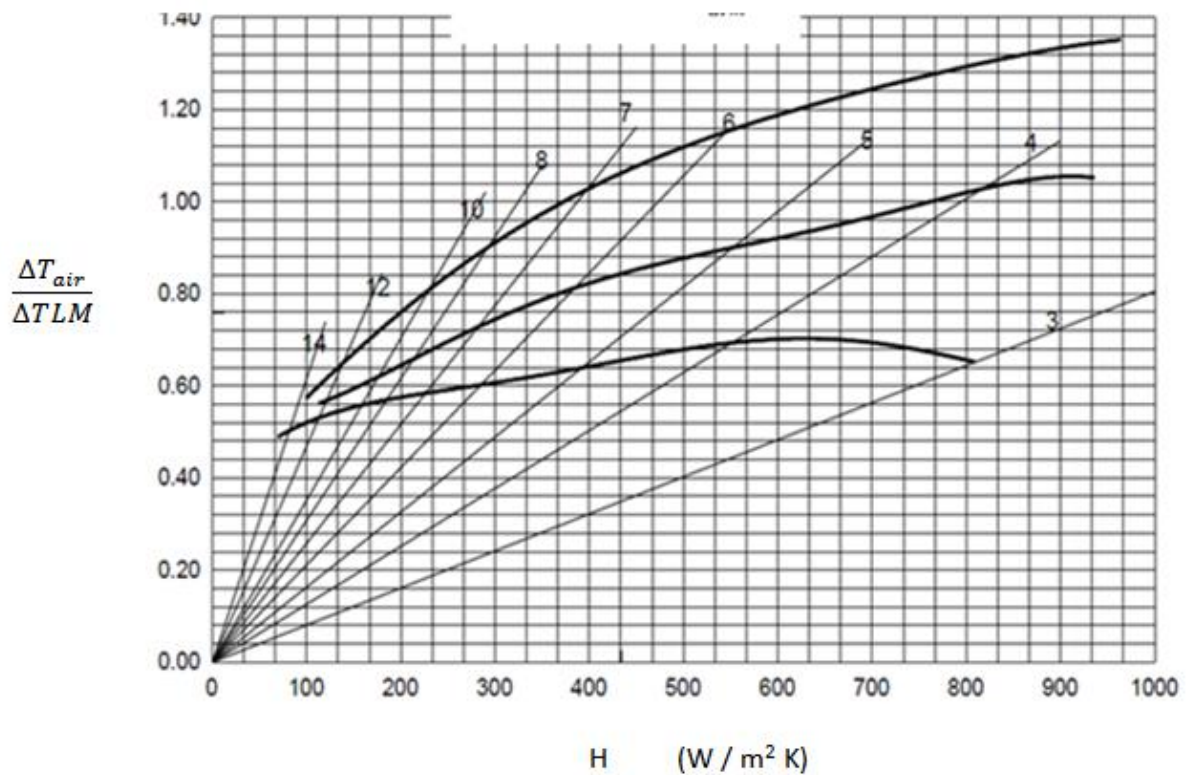
Après estimation du coefficient d'échange global H, nous pouvons déterminer le nombre de rangées optimales de tubes  $N_R$ , en utilisant le graph n° 1, en procédant comme suit :

Introduire la valeur du coefficient d'échange global H en abscisse, et déduire le nombre  $N_R$  dans la zone délimitée par les courbes extrêmes et tirer l'expression :  $\frac{T_{as} - T_{ae}}{\Delta TLM}$

Le tableau suivant, accompagnant la figure (III-1), donne la vitesse faciale de l'air recommandée par rapport au nombre de rangées  $N_R$ . [11]

Nombre de rangées de tubes	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vitesse faciale recommandable $V_F$ (m/s)	3,2	3,02	2,87	2,74	2,58	2,48	2,36	2,26	2,16	2,05





**Figure III-1 :** Estimation du rapport  $\frac{T_{as}-T_{ae}}{\Delta TLM}$

**Avec :**

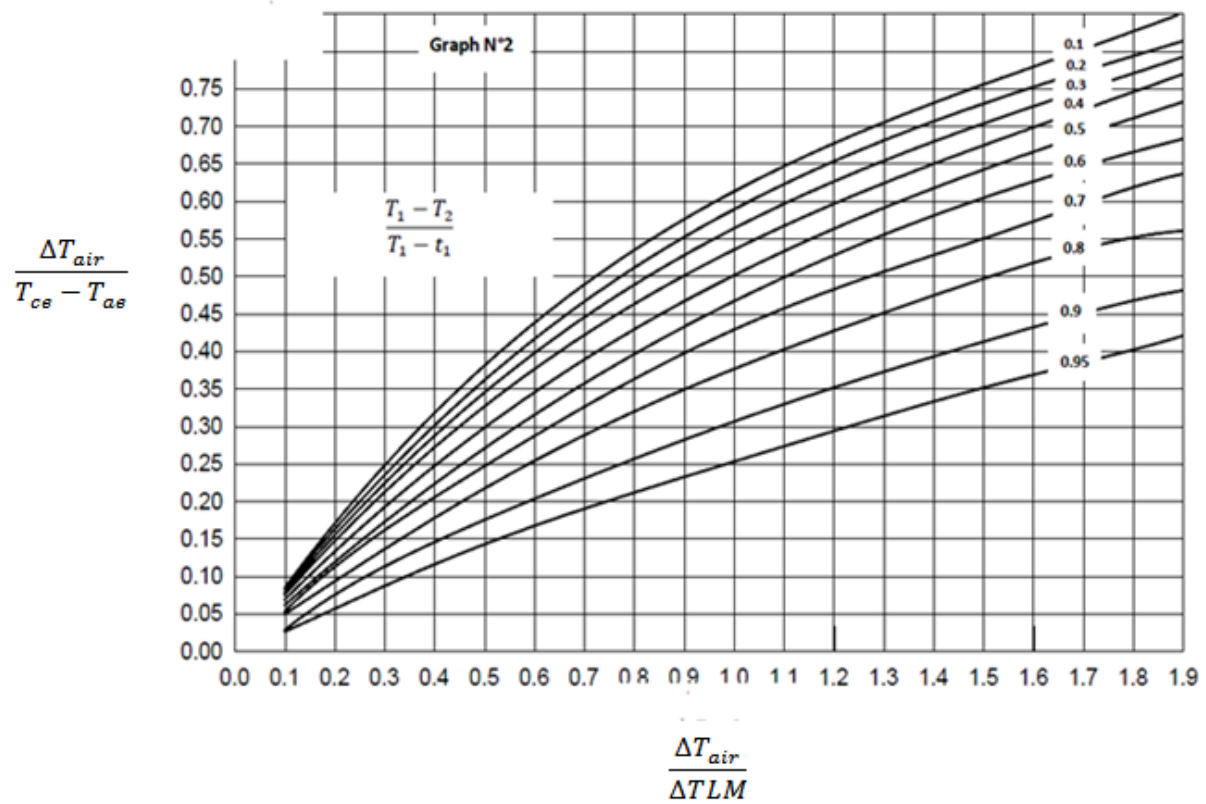
$$\Delta T_{air} = T_{as} - T_{ae}$$

Connaissant la valeur de  $\frac{T_{as}-T_{ae}}{\Delta TLM}$ , on utilise la figure (III-2) qui nous permet d'évaluer

$\frac{T_{as}-T_{ae}}{T_{ce}-T_{ae}}$ , on a besoin pour cela de calculer  $\frac{T_{ce}-T_{cs}}{T_{ce}-T_{ae}}$  en paramètre.

La température de sortie de l'air est  $T_{as}$  est calculable grâce à la valeur de  $\frac{T_{as}-T_{ae}}{T_{ce}-T_{ae}}$ , et la

Valeur de  $\Delta TLM$  est calculable grâce à  $\frac{T_{as}-T_{ae}}{\Delta TLM}$



**Figure III-2 :** Estimation du rapport  $\frac{T_{as} - T_{ae}}{T_{ce} - T_{ae}}$

**Avec :**

$$T_1 = T_{ce}$$

$$T_2 = T_{cs}$$

$$t_1 = T_{ae}$$

La surface d'échange est donnée par la relation :

$$S_T = \frac{\phi}{H F \Delta T_{LM_{cc}}} \quad (IV.5)$$

**Calcul de la surface faciale du faisceau :**

$$S_F = 0,9 \frac{S_T}{N_R} \quad [11] \quad (\text{IV. 6})$$

D'autre part on a :

$$S_F = L \times l \quad (\text{IV. 7})$$

Avec

$L$  : Longueur des tubes (m) ;

$l$  : Largeur du faisceau (m).

En choisissant une longueur et une largeur normalisées, on pourra avoir la surface faciale correspondante. [8]

**Nombre de tubes sur une rangée :** On a:

$$(N_{tr} + 0,5) \times \text{pas} = l_1 \quad (\text{IV. 8})$$

Et donc :

$$N_{tr} = \frac{l_1}{\text{pas}} - 0,5 \quad [11] \quad (\text{IV. 9})$$

Avec :

$N_{tr}$ : Nombre de tubes sur une rangée ;

pas: Disposition des tubes dans un faisceau (triangulaire, ou bien carrée);

$l_1$ : Largeur du faisceau.

**Nombre de tubes par faisceau :**

On a:

$$N_{tf} = N_{tr} \times N_R \quad (IV.10)$$

Avec :

$N_{tf}$ : Nombre de tubes par faisceau.

**Calcul de la surface d'échange installée :**

$$S_T = S_t \times N_{tf} \quad (IV.11)$$

Avec :

$S_t$ : Surface d'un tube ;

Donc :

$$S_T = \pi d_e L N_{tf} \quad (IV.12)$$

### III.1.5 Calcul de la valeur du coefficient d'échange thermique global H :

Le coefficient d'échange global dans notre cas est rapporté à la surface externe des tubes ailetés : [11]

$$H = \left[ \frac{1}{h_a \eta_0} + \frac{e_{ail}}{\lambda_{ail}} \frac{S_T}{S_{moyT}} + \frac{e_t}{\lambda_t} \frac{S_T}{S_{moyt}} + \frac{1}{h_i} \frac{S_T}{S_i} + R_{ei} \frac{S_T}{S_i} + R_{ee} \right]^{-1} \quad (IV.13)$$

Sachant que :

$e_{ail}$  : Épaisseur de l'ailette ;

$e_t$  : Épaisseur du tube de base ;

$S_T$  : Surface totale externe du tube, ailette comprise ;

$S_i$  : Surface totale du tube intérieur  $S_i = \pi d_i L$

$S_{moyt}$  : Surface moyenne du tube de base,  $S_{moyt} = \frac{\pi (d_e + d_i)}{2} L$

$S_{moyT}$  : Surface moyenne du tube supportant les ailettes,  $S_{moyT} = \frac{\pi (d_e + d_{bai})}{2} L$

$d_{bai}$  : Diamètre du tube à la base de l'ailette ;

$R_{ei}$  : Résistance d'encrassement à l'intérieur des tubes ;

$R_{ee}$  : Résistance d'encrassement à l'extérieur des tubes ;

$h_i$  : Coefficient d'échange interne des tubes.

CHATO propose une corrélation pour calculer le coefficient d'échange interne lors d'une condensation à l'intérieur d'un faisceau de tubes horizontaux pour un régime d'écoulement turbulent :

$$h_i = 0,555 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) \lambda_l^3 h'_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_p) d_i} \right] \quad [11] \quad (IV. 14)$$

Avec :

$$h'_{fg} = \frac{3}{8} C_{p,l} (T_{sat} - T_p) \quad (IV. 15)$$

Cette relation pour trouver  $h_i$  est valable pour :

$$Re_v = \left( \frac{\rho_v u_{m,v} D}{\mu_v} \right) < 35000 \quad (IV. 16)$$

Avec :

$\rho_l$  : Masse volumique de l'eau liquide ;

$\rho_v$  : Masse volumique de la vapeur d'eau ;

$\lambda_l$  : Conductivité thermique de l'eau liquide ;

$\mu_l$  : viscosité dynamique de l'eau liquide ;

$T_{sat}$  : Température de saturation ;

$T_p$  : Température de la paroi ;

$d_i$  : Diamètre intérieur du tube ;

**Rendement global de la surface à ailettes :**

$\eta_g$  : Rendement global de la surface a ailette,  $0 < \eta_g < 1$

$$\eta_g = 1 - (1 - \eta_f) \frac{S_{as}}{S_a} \quad [10] \quad (IV. 17)$$

$\eta_f$  : Efficacité de l'ailette ;

$S_{as}$ : Surface d'échange des ailettes seules par mètre de tube.

$$S_{as} = S_n \times \text{nombre d'ailettes} \quad (IV. 18)$$

$S_n$  : Surface d'une ailette ;

$S_a$  : Surface d'échange du tube avec ailettes par mètre de tube.

**Efficacité de l'ailette :**

$$\eta_f = \frac{\tanh(\omega l_{ai})}{\omega l_{ai}} \quad (IV. 19)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{h m}{\lambda_a S_a}} \quad (IV. 20)$$

$\lambda_a$  : Conductivité thermique de l'ailette ;

$h$ : Coefficient de chaleur par convection de l'ailette ;

$l_{ai}$  : Longueur de l'ailette ;

$S_a$ : Surface de l'ailette ;

$m$ : Périmètre de l'ailette.

Pour le coefficient d'échange thermique coté air, il peut être évalué en utilisant la formule de Briggs and Young suivante : [11]

$$h_a = \frac{0,134}{d_r} \left( \frac{d_r G_{\max}}{\mu_a} \right)^{0,681} \lambda_a \left( \frac{v_a \mu_a}{\lambda_a} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\delta}{l_{ail}} \right)^{0,2} \left( \frac{\delta}{e_{ail}} \right)^{0,1134} \quad (IV. 21)$$

Avec :

$h_a$ : Coefficient de convection coté air, ici rapporté a la surface totale externe ;

$G_{\max}$  : Vitesse massique de l'air en  $\text{kg/m}^2 \text{ s}$ ,  $G_{\max} = \rho V_a = \frac{\dot{m}}{S_{\text{passage}}}$

$d_r$ : Diamètre du tube à la racine de l'ailette

$\mu_a$ : Viscosité dynamique coté air ;

$\lambda_a$ : Conductivité thermique coté air ;

$v_a$ : Vitesse de l'air ;

$\delta$ : Espacement entre deux ailettes ;

Après avoir calculé le coefficient d'échange global de façon plus précise, on recalcule la valeur de la surface d'échange et on vérifie qu'elle coïncide avec la valeur calculée et corrigée précédemment.

### III.1.6 Calcul des pertes de charges :

#### Pertes de charges côté tubes :

La relation suivante est adaptée de la loi de Darcy :

$$\Delta p_{\text{tubes}} = N_{\text{pt}} \rho V^2 \left( \Lambda \frac{L}{d_i} + 2 \right) \quad [11] \quad (\text{IV. 22})$$

Avec :

$N_{\text{pt}}$  : Nombre de passes tubes ;

$\rho$  : Masse volumique du condensat ;

$L$  : Longueur d'un tube ;

$d_i$  : Diamètre intérieur d'un tube ;

$V$  : Vitesse de la vapeur d'eau des tubes ;

$\Lambda$  : Coefficient linéique de pertes de charge régulières;

La perte de charge totale est comparée à la perte de charge admissible. Si  $\Delta P > \Delta P_{adm}$ , il est nécessaire de revenir au début du processus pour réduire principalement la vitesse d'écoulement du fluide à l'intérieur du tube en augmentant le nombre de rangées par passes ou le nombre de tubes par rangée. On peut exceptionnellement augmenter le diamètre du tube. Si l'encombrement devient important, ou si l'on dépasse un nombre de rangées totales maximal, il y'a lieu de proposer deux appareils de débit égal à la moitié du débit total ou 3 de débit 1/3 etc....

### Calcul des pertes de charge à travers les faisceaux tubulaires :

Ces pertes de charges sont évaluées par la relation de Robinson et Briggs :

$$\Delta P_{air} = \frac{f_a G_{max}^2 N_R}{\rho_{air}} \quad [11] \quad (IV. 23)$$

Avec :

$$f_a = 18,93 \left( \frac{d_r G_{max}}{\mu_{air}} \right)^{-0,316} \left( \frac{pas}{d_r} \right)^{-0,927} \quad (IV. 24)$$

Où :

$G_{max}$  : Vitesse massique de l'air entre les ailettes,  $G_{max} = \rho_{air} V_a$

$pas$ : Pas entre tubes ;

$N_R$  : Nombre de rangées de tubes ;

$\mu_{air}$  : Viscosité de l'air ;

$\rho_{air}$  : Masse volumique de l'air que l'on calcul comme suit : [10]

$$\rho_{air} = 1.201 \frac{(273,15 + 20)}{T_{ae}} (1 - 2,256 \times 10^{-5} z)^{5,256} \quad (IV. 25)$$



Avec :

Z : Altitude du site.

Les pertes de charge côté air ne doivent pas être très importantes, en effet les ventilateurs axiaux permettent de vaincre des pertes de charges variant entre 200 et 400 Pa, ce qui laisse en réalité une marge possible de vitesses faciales assez petite et variant de 2 à 4 m/s.

Si les pertes de charges côté air sont trop importantes, il y a lieu là aussi de revenir au début du processus et revoir à la baisse la vitesse faciale de l'air de façon à réduire la perte de charge. Si cette perte de charge est au contraire très faible, il est nécessaire alors d'augmenter la vitesse de l'air pour améliorer le coefficient de convection.

### III.1.7 Dimensionnement de la ventilation :

Le diamètre du ventilateur est sélectionné afin de respecter la règle suivante :

La surface totale des ventilateurs installés sur une cellule doit être supérieure ou égale à 40% de la surface faciale de la cellule, soit : [7]

$$N_v \pi \frac{d_v^2}{4} \geq 0,4 S_f \quad (\text{IV.26})$$

$N_v$  : Nombre de ventilateurs par cellule ;

$d_v$  : Diamètre des ventilateurs.

**Le débit d'air par ventilateur** dépend de la position du ventilateur :

**En tirage forcé :**

$$q_{v_{\text{air}}} = \left[ \frac{(v_a S_f)(T_{ae})}{(273,15 + 20) N_v} \right] \quad [7] \quad (\text{IV.27})$$

**En tirage induit :**

$$q_{vair} = \left[ \frac{(v_a S_f)(T_{as})}{(273,15 + 20) N_v} \right] \quad [7] \quad (IV.28)$$

Avec :

$q_{vair}$  : Débit-volume d'air par ventilateur ( $m^3/s$ ) ;

$v_a$  : Vitesse de l'air ( $m/s$ ).

**Calcul de la puissance des ventilateurs :**

La relation suivante permet d'évaluer la puissance du ventilateur :

$$P_V = \frac{\dot{m}_{air} \Delta P}{\rho \eta_m \eta_v} \quad [11] \quad (IV.29)$$

Avec :

$\dot{m}_{air}$  : Débit masse d'air,  $\dot{m}_{air} = \rho_{air} q_{vair}$

$\Delta P$  : Pertes de charge totales ;

$\eta_m$  : Rendement mécanique, généralement de l'ordre de 95% ;

$\eta_v$  : Rendement du ventilateur, variant entre 0,6 et 0,7 ;

$$\Delta P = \Delta P_{dyn} + \Delta P_{faisc} \quad (IV.30)$$

Avec :

$\Delta P_{faisc}$  : Pertes de charge à travers le faisceau ;

$\Delta P_{dyn}$  : Pression dynamique à travers l'anneau du ventilateur.

$$\Delta P_{dyn} = \frac{\rho_{air} V_u^2}{2} \quad (IV.31)$$

Avec :

$\rho_v$  : Masse volumique de l'air dans les conditions de ventilation ;

$V_u$  : Vitesse de l'air à travers l'anneau ;

Pour avoir la valeur de  $V_u$  , il faut d'abord connaître le débit volume pour un ventilateur :

$$q_{v(\text{ventilateur})} = \frac{q_{v\text{air}}}{N_v} \quad (\text{IV. 32})$$

$N_v$  : Nombre de ventilateurs.

Et donc :

$$V_u = \frac{q_{v(\text{ventilateur})}}{S_v} \quad (\text{IV. 33})$$

Sachant que :

$$S_v : \text{Surface faciale d'un ventilateur, } S_v = \pi \frac{d_v^2}{4}$$

A prendre aussi en compte pour le moteur les conditions hivernales via la relation suivante :

$$P_{VH} = P_V (T_{\text{design}})/(T_{\text{ma}}) \quad [8] \quad (\text{IV. 34})$$

Avec :

$P_{VH}$  : Puissance consommée à  $T_{\text{ma}}$  ;

$T_{\text{ma}}$  : Température minimale ambiante ;

$T_{\text{design}}$  :  $T_{\text{ae}}$  en tirage forcé, ou  $T_{\text{as}}$  tirage induit.

### III.2 Position du problème :

Il s'agit de faire un programme informatique permettant de calculer certains paramètres lors du dimensionnement d'un aérocondenseur d'une centrale thermique, permettant ainsi de ramener la vapeur d'eau à l'état liquide.

Ce programme pourra donc :

- Calculer la valeur de la puissance thermique totale à évacuer ;
- Evaluer la température de sortie de l'air après passage dans la cellule ;
- Estimer le nombre de cellules requises pour évacuer cette chaleur permettant ainsi la condensation de la vapeur ;
- Donner une estimation de l'encombrement au niveau du site d'implantation ;
- Calculer le coefficient d'échange thermique global;
- Estimer les pertes de charges à l'intérieur et à l'extérieur des tubes ;
- Et pour finir, ce programme fournira trois (3) graphs donnant l'évolution :
  - ✓ Du nombre de cellules requises en fonction du débit masse de la vapeur d'eau ;
  - ✓ Du nombre de cellules requises en fonction de la température de l'air ambiant ;
  - ✓ Des pertes de charge à travers les faisceaux en fonction de la vitesse faciale de l'air ;

La centrale à vapeur considérée est de moyenne puissance (25 MW) et de débit ne dépassant pas 150 tonnes/heure.

Pour ce faire, nous avons émis les hypothèses suivantes :

- Le régime d'écoulement est turbulent ;
- Le coefficient d'échange thermique global est considéré comme étant constant ;
- La vapeur à l'entrée de l'aérocondenseur est saturée ;
- Le mode de tirage des ventilateurs choisi pour les calculs est forcé.

Afin de calculer ces différents paramètres, nous avons choisi une cellule de référence avec des dimensions standards qui sont les suivantes : [10]

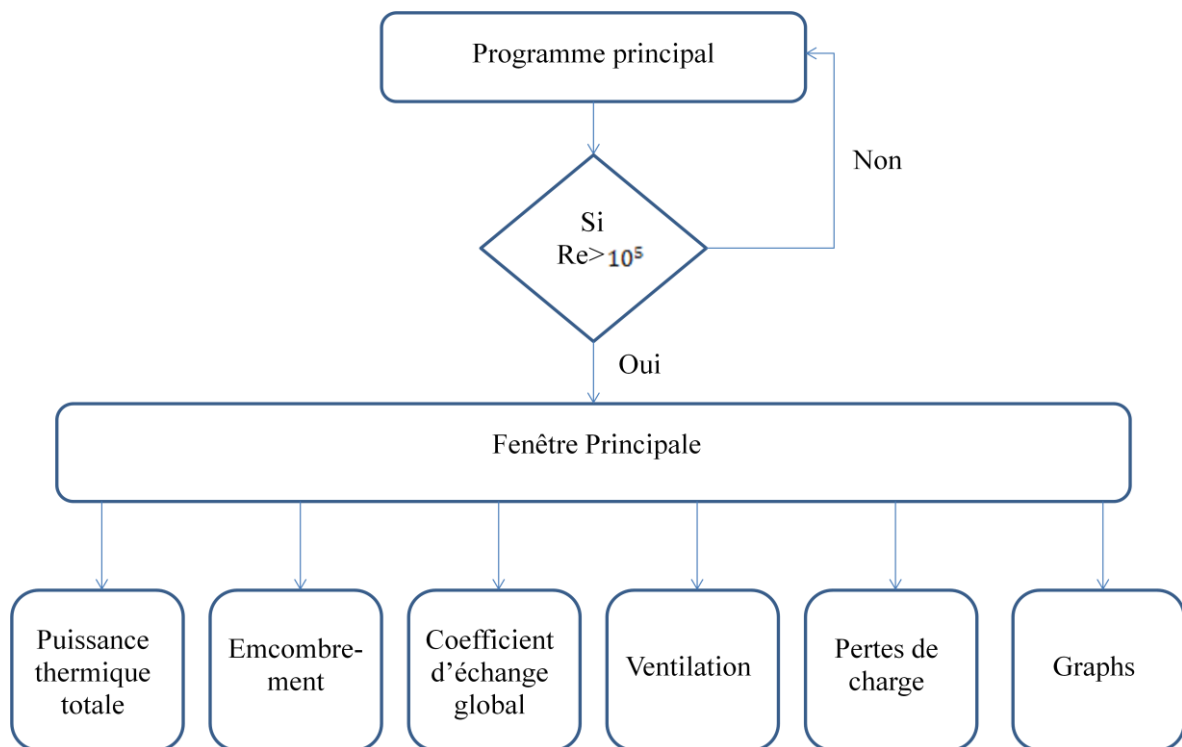
- Le nombre de faisceaux par cellule est deux (2) ;
- Chaque faisceau possédant deux (2) ventilateurs ;
- La disposition des tubes à l'intérieur des tubes est en quinconce (à pas triangulaire) ;
- Chaque cellule contient deux (2) ventilateurs.

### III.2.1 Présentation du programme informatique utilisé :

**Visual C++** est un programme regroupant un ensemble d'outils pour le développement de logiciels pour Windows, conçu par Microsoft pour les langages de programmation C et C++ et intégrant différents outils pour développer.

Ce programme présente l'avantage de pouvoir fournir une interface graphique conviviale permettant à l'utilisateur une très grande facilité d'utilisation.

### III.2.2 Organigramme du programme « AERO-DIM » :



**Figure III-3 :** Organigramme du programme «AERO-DIM »

### III.3 Application

Nous allons dans ce qui va suivre prendre un exemple concret dans le but d'illustrer les calculs effectués lors de l'élaboration du programme « AERO-DIM ».

Soit une cellule d'un aérocondenseur possédant les caractéristiques suivantes : **[10]**

**Tube :**

- Matière Acier carbone
- Longueur 12 m
- Diamètre 25,4 mm

**Ailettes**

- Extrudées
- Matière Aluminium
- Densité 394 ailettes au mètre
- Rapport d'ailettage  $20,5 \text{ m}^2 \text{ aileté/m}^2 \text{ nu}$

**Cellule :**

- Largeur 12 m
- Nombre de faisceaux par cellule 2
- Nombre de rangs 5
- Pas triangulaire 63,5 mm
- Nombre de passes 2
- Circulation Contre-courant

**Ventilateur :**

- Nombre par cellule 2
- Moteur (Puissance) 45 kW par ventilateur

**Vapeur d'eau :**

- Débit masse  $\dot{m} = 9,18 \text{ kg/s}$
- Température d'entrée de la vapeur saturée  $T_{ce} = 318.15 \text{ K}$
- Pression d'entrée de la vapeur saturée  $P_e = 0,095 \text{ bar}$

**Air :**

- Température ambiante  $T_{ae} = 288,15 \text{ K}$
- Capacité thermique massique de l'air  $C_p = 1000 \text{ J/kg K}$

**III.3.1 Résultats et interprétation :**

Après introduction des données dans le programme « AERO-DIM », voici les démarches suivies ainsi que les résultats obtenus :

- **Calcul de la puissance thermique totale à évacuer :**

$$\dot{m} = 9,18 \text{ kg/s}$$

$$h_2 = 2582,43 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 188,435 \text{ kJ/kg}$$

La puissance thermique totale à évacuer est obtenue comme suit :

The screenshot shows the AERO-DIM software interface. At the top, there is a menu bar with options: 'Evacuer', 'Encombrement', 'Coefficient d'échange global', 'Ventilation', 'Pertes de charge', and 'Graph'. Below the menu, there are three input fields for parameters:

- Débit masse de la vapeur: 9,18 kg/s
- Enthalpie massique de la vapeur saturée: 2582430 J/kg
- Enthalpie massique de l'eau liquide: 188435 J/kg

To the right of these fields is an 'OK' button. Below the input fields, there is a 'Résultat' (Result) box that displays the calculated value:

Flux de chaleur à évacuer: 21976874,1 W

Ainsi nous obtenons :

$$\phi \approx 22 \text{ MW}$$

- **Estimation de l'encombrement:**

Menu					
Menu	Encombrement	Coefficient d'échange global	Ventilation	Pertes de charge	Graph
<div> <div>Estimation du coefficient d'échange global</div> <div>500</div> <div>W/m² K</div> </div> <div> <div>Diamètre extérieur des tubes</div> <div>0,025</div> <div>m</div> </div>					
<div> <div>Longueur des tubes</div> <div>12</div> <div>m</div> </div> <div> <div>Rapport d'ailéage</div> <div>20,5</div> <div></div> </div>					
<div> <div>Largeur de la cellule</div> <div>11</div> <div>m</div> </div> <div> <div>Température de l'air ambiant</div> <div>288,15</div> <div>K</div> </div>					
<div> <div>Pas entre tubes</div> <div>0,0635</div> <div>m</div> </div> <div> <div>Altitude du site</div> <div>100</div> <div>m</div> </div>					
<div> <div>Température d'entrée de la vapeur saturée</div> <div>318,15</div> <div>K</div> </div> <div> <div>Nombre de rangs</div> <div>5</div> <div></div> </div>					
<div> <div>Vitesse de l'air</div> <div>2,87</div> <div>m/s</div> </div>					
<div>OK</div>					
<div>Résultats</div> <div> <div>Résultat</div> <div>3,25860192158772</div> <div></div> </div> <div> <div>Nombre de cellules requises</div> <div>4</div> <div></div> </div>					
<div> <div>Température de sortie de l'air</div> <div>318,149999751682</div> <div>K</div> </div> <div> <div>Estimation de l'encombrement</div> <div>528</div> <div>m²</div> </div>					

Et donc :

Le nombre de cellules nécessaires

$$N = 4$$

La température de sortie de l'air réchauffé

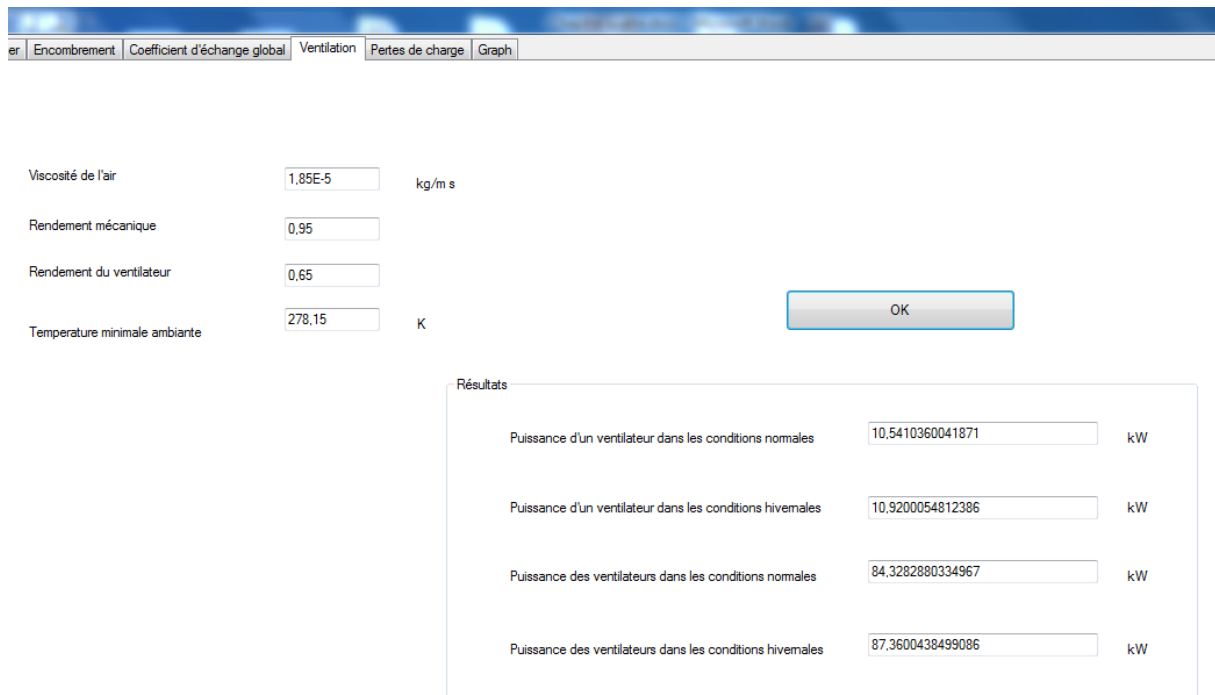
$$T_{as} = 318,15 \text{ K}$$

La surface imposée (hors auxiliaires)

$$S_{sol} = 528 \text{ m}^2$$



- **La puissance mécanique nécessaire au fonctionnement des ventilateurs :**



er | Encombrement | Coefficient d'échange global | **Ventilation** | Pertes de charge | Graph

Viscosité de l'air:  kg/m s

Rendement mécanique:

Rendement du ventilateur:

Temperature minimale ambiante:  K

**Résultats**

Puissance d'un ventilateur dans les conditions normales	<input type="text" value="10.5410360041871"/>	kW
Puissance d'un ventilateur dans les conditions hivernales	<input type="text" value="10.9200054812386"/>	kW
Puissance des ventilateurs dans les conditions normales	<input type="text" value="84.3282880334967"/>	kW
Puissance des ventilateurs dans les conditions hivernales	<input type="text" value="87.3600438499086"/>	kW

Les résultats obtenus sont les suivants :

Puissance mécanique d'un ventilateur dans les conditions normales :

**10,54 kW**

Puissance mécanique pour tous les ventilateurs dans les conditions normales :

**84,33 kW**

Puissance mécanique d'un ventilateur dans les conditions hivernales :

**10,92 kW**

Puissance mécanique pour tous les ventilateurs dans les conditions hivernales :

**87,36 kW**

- **Evaluation des pertes de charge :**

KPRESS

ur à évacuer | Encombrement | Coefficient d'échange global | Ventilation | Pertes de charge | Graph

Perte de charges a l'interieur des tubes

Nombre de passes tubes	2	Longueur des tubes	12	m	
Masse volumique du condensat	990,173	kg/m <sup>3</sup>	Diametre interieur des tubes	0,022	m
Vitesse de la vapeur	1,2	m/s	Facteur de friction	0,035	

OK

Résultats

Perte de charges a l'interieur des tubes	60144,9083345455	Pa	Perte de charges a l'exterieur des tubes	27,4524760343825	Pa
------------------------------------------	------------------	----	------------------------------------------	------------------	----

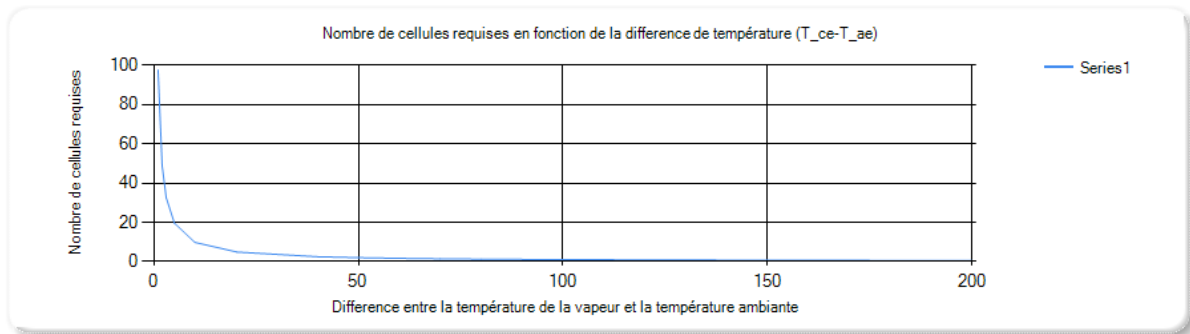
Pertes de charge à l'intérieur des tubes :

$$\Delta p_{tube} = 60,145 \text{ kPa}$$

Pertes de charge à travers les faisceaux :

$$\Delta P_{air} = 27,45 \text{ Pa}$$

- Evolution de N en fonction de  $T_{ce} - T_{ae}$ :

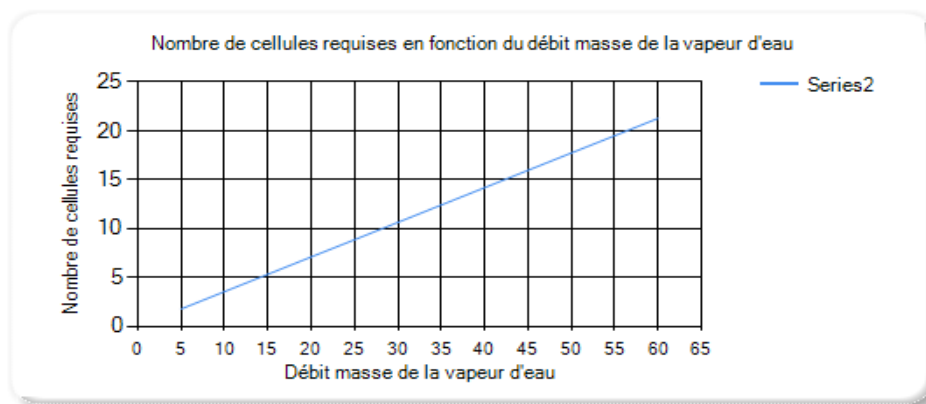


### Interprétation :

La courbe ci-dessus représente l'évolution du nombre de cellules requises pour la condensation de la vapeur en fonction de la différence entre la température d'entrée de la vapeur et celle d'entrée de l'air ambiant.

Nous remarquons que l'élévation de la température de l'air ambiant a une conséquence directe sur le nombre de cellules requises, ce qui nous renseigne sur l'importance de la prise en compte des données météorologiques du site d'implantation pour permettre un dimensionnement optimisé.

- Evolution de N en fonction de  $\dot{m}$  :

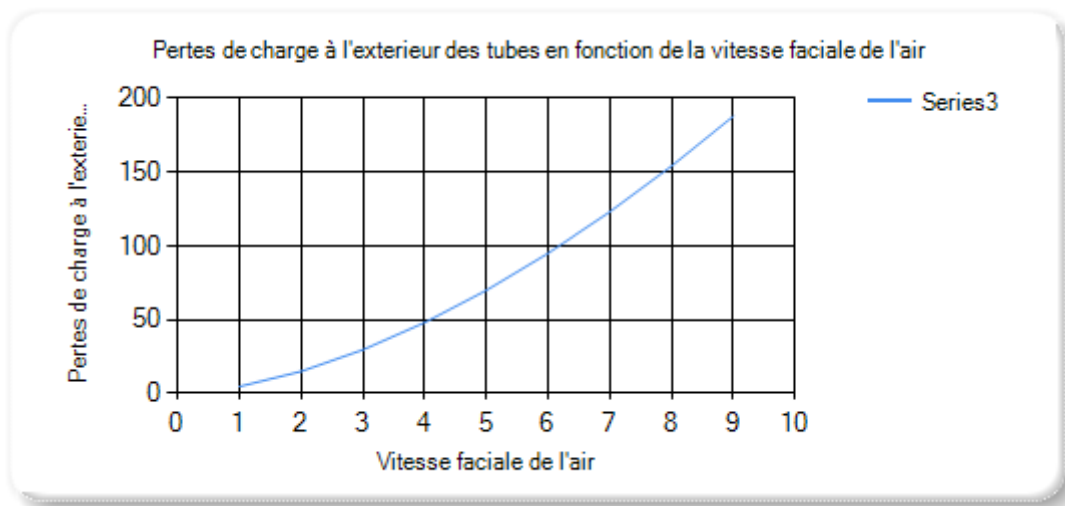


**Interprétation :**

Cette deuxième courbe représente l'évolution du nombre de cellules requises en fonction du débit masse de la vapeur d'eau.

Cette courbe nous permet d'estimer le nombre de cellules d'aérocondenseurs dans l'éventualité d'une augmentation ou bien de l'abaissement de la valeur du débit initialement établi pour une puissance donnée.

- Evolution de  $\Delta P_{air}$  en fonction de  $v_a$  :

**Interprétation :**

Cette troisième et dernière courbe représente l'évolution des pertes de charge à l'extérieur des tubes en fonction de la vitesse faciale de l'air

Nous déduisons de cette courbe que l'augmentation de la vitesse faciale de l'air ne signifie pas forcément un meilleur refroidissement, car l'augmentation de cette vitesse s'accompagne d'une augmentation des pertes de charges, ce qui aura pour conséquences une diminution des performances de l'aérocondenseur.

Il faudra donc prévoir une vitesse optimisée en fonction du nombre de rangées de tubes, permettant ainsi un refroidissement plus efficace.

### **III.3.2 Conclusion**

Dans ce dernier chapitre nous nous sommes intéressés d'une part au dimensionnement d'une cellule d'aérocondenseur, et d'autre part à l'énumération des principales étapes établies lors du développement du logiciel « AERO-DIM » permettant ainsi l'exploitation des données recueillies lors de ce dimensionnement en question, en donnant à la fin un exemple réel de condensation de la vapeur d'eau dans une central thermique, et ceci afin d'illustrer les calculs établis dans notre programme.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

La réalisation de ce projet, nous a permis de connaître de près les démarches de résolution des problèmes dans un travail aussi complexe que le dimensionnement d'un échangeur avec un fluide changeant de phase.

En effet, tout au long de cette période, nous avons fait face à de nombreux problèmes ; les difficultés majeures étant la compréhension du système et l'établissement d'un programme permettant l'automatisation de certains calculs de dimensionnement pour cet équipement.

Cette étude nous a permis d'estimer certains paramètres relatifs au dimensionnement d'un aérocondenseur, ce qui nous a renseignés sur l'étendu et l'impact que peut avoir ce genre d'équipement si toutefois il est choisi pour effectuer la condensation de la vapeur dans une centrale thermique.

Comme notre étude s'est limitée à la partie condensation de la vapeur, il serait intéressant pour un travail futur d'élargir ce domaine d'étude en prenant en compte la partie désurchauffe de la vapeur avant sa condensation ainsi qu'un éventuel sous refroidissement après la condensation. Comme il conviendra aussi d'essayer de rendre le programme « AERO-DIM » encore plus performant en couvrant plus de paramètres comme l'automatisation des calculs permettant la détermination des coefficients internes et externes des tubes, et en y introduisant certaines bases de données comme les tables thermodynamiques de la vapeur par exemple.

## Références bibliographiques

- [1] Emilian KOLLER . *Machines thermiques*. Dunod Edition (2005).
- [2] Jean-François SACADURA. *Initiation aux transferts thermiques*. Broché Edition (1976)
- [3] Christophe MARVILLET. *Échangeurs de chaleur - Description des échangeurs*.  
Techniques de l'Ingénieur. B 2 341.
- [4] Christophe MARVILLET. *Échangeurs de chaleur - Intensification des échanges thermiques*. Techniques de l'Ingénieur. B 2 343.
- [5] Christophe MARVILLET . *Échangeurs de chaleur - Problèmes de fonctionnement*.  
Techniques de l'Ingénieur. B 2 344.
- [6] Jean-Marc DELHAYE. *Transferts de chaleur : ébullition ou condensation des corps purs*.  
Techniques de l'Ingénieur. A 1 560.
- [7] FEIDT Renaud. *Aéroréfrigérants directs secs*. Techniques de l'Ingénieur. BE 8 940
- [8] FEIDT Renaud. *Réfrigérants atmosphériques –Aérocondenseurs*. Techniques de  
l'Ingénieur. BE 8 941.
- [9] INCROPERA Frank P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. SIXTH Edition (2007)
- [10] BOUGRIOU C. (2005). *Etude du Récupérateur de Chaleur Croisé à Tubes à Ailette*.  
Revue energies renouvelables.
- [11] RAMESH K Shah. *Fundamentals of heat exchanger design*. John Wiley & Sons Edition  
(2003).



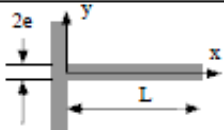



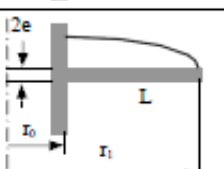
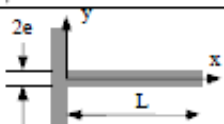



[12] Jean Louis Fanchon. *Dynamique des fluides*. Berti Edition (2008)

[13] Robert W SERTH. *Process Heat Transfer*. First Edition (2007)

[14] Frank M White. *Heat and Mass transfer*. Addison-Wesley Edition (1988)

[15] Yves JANNOT. *Transferts thermiques*. Ecole des Mines Nancy (2011)

## Annexe A : Efficacité des ailettes [15]

Ailette droite	Rectangulaire $y = e$		$\eta = \frac{1}{\omega L} \text{th}(\omega L) \text{ avec } \omega = \sqrt{\frac{h}{\lambda e}}$
	Parabolique $y = e \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{2}}$		$\eta = \frac{1}{\omega L} \frac{I_{2/3}\left(\frac{4}{3}\omega L\right)}{I_{-1/3}\left(\frac{4}{3}\omega L\right)}$
	Triangulaire $y = e \left(1 - \frac{x}{L}\right)$		$\eta = \frac{1}{\omega L} \frac{I_1(2\omega L)}{I_0(2\omega L)}$
	Parabolique $y = e \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2$		$\eta = \frac{2}{\sqrt{4(\omega L)^2 + 1} + 1}$
Ailette circulaire	Rectangulaire $y = e$		$\eta = \frac{2}{\omega L \left(\frac{r_1}{r_0} + 1\right)} \frac{I_1(\omega r_0)K_1(\omega r_1) - I_1(\omega r_1)K_1(\omega r_0)}{I_0(\omega r_0)K_1(\omega r_1) - I_1(\omega r_1)K_0(\omega r_0)}$
Aiguilles (section droite circulaire)	Rectangulaire $y = e$		$\eta = \frac{1}{\sqrt{2} \omega L} \text{th}(\sqrt{2} \omega L)$
	Parabolique $y = e \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{\frac{1}{2}}$		$\eta = \frac{3}{2\sqrt{2} \omega L} \frac{I_1\left(\frac{4}{3}\sqrt{2} \omega L\right)}{I_0\left(\frac{4}{3}\sqrt{2} \omega L\right)}$
	Triangulaire $y = e \left(1 - \frac{x}{L}\right)$		$\eta = \frac{\sqrt{2}}{\omega L} \frac{I_2(2\sqrt{2} \omega L)}{I_1(2\sqrt{2} \omega L)}$
	Parabolique $y = e \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2$		$\eta = \frac{2}{\sqrt{\frac{8}{9}(\omega L)^2 + 1} + 1}$

Annexe B : Propriétés physiques de l'air à pression atmosphérique [14]

Air à pression atmosphérique							
T	$\rho$	$\mu$	$\nu$	$C_p$	$\lambda$	$\alpha$	Pr
K	kg.m <sup>-3</sup>	kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	-
250	1,413	1,60×10 <sup>-5</sup>	0,949×10 <sup>-5</sup>	1005	0,0223	1,32×10 <sup>-5</sup>	0,722
300	1,177	1,85×10 <sup>-5</sup>	1,57×10 <sup>-5</sup>	1006	0,0262	2,22×10 <sup>-5</sup>	0,708
350	0,998	2,08×10 <sup>-5</sup>	2,08×10 <sup>-5</sup>	1009	0,0300	2,98×10 <sup>-5</sup>	0,697
400	0,883	2,29×10 <sup>-5</sup>	2,59×10 <sup>-5</sup>	1014	0,0337	3,76×10 <sup>-5</sup>	0,689
450	0,783	2,48×10 <sup>-5</sup>	2,89×10 <sup>-5</sup>	1021	0,0371	4,22×10 <sup>-5</sup>	0,683
500	0,705	2,67×10 <sup>-5</sup>	3,69×10 <sup>-5</sup>	1030	0,0404	5,57×10 <sup>-5</sup>	0,680
550	0,642	2,85×10 <sup>-5</sup>	4,43×10 <sup>-5</sup>	1039	0,0436	6,53×10 <sup>-5</sup>	0,680
600	0,588	3,02×10 <sup>-5</sup>	5,13×10 <sup>-5</sup>	1055	0,0466	7,51×10 <sup>-5</sup>	0,680
650	0,543	3,18×10 <sup>-5</sup>	5,85×10 <sup>-5</sup>	1063	0,0495	8,58×10 <sup>-5</sup>	0,682
700	0,503	3,33×10 <sup>-5</sup>	6,63×10 <sup>-5</sup>	1075	0,0523	9,67×10 <sup>-5</sup>	0,684
750	0,471	3,48×10 <sup>-5</sup>	7,39×10 <sup>-5</sup>	1086	0,0551	10,8×10 <sup>-5</sup>	0,686
800	0,441	3,63×10 <sup>-5</sup>	8,23×10 <sup>-5</sup>	1098	0,0578	12,0×10 <sup>-5</sup>	0,689
850	0,415	3,77×10 <sup>-5</sup>	9,07×10 <sup>-5</sup>	1110	0,0603	13,1×10 <sup>-5</sup>	0,692
900	0,392	3,90×10 <sup>-5</sup>	9,93×10 <sup>-5</sup>	1121	0,0628	14,3×10 <sup>-5</sup>	0,696
950	0,372	4,02×10 <sup>-5</sup>	10,8×10 <sup>-5</sup>	1132	0,0653	15,5×10 <sup>-5</sup>	0,699
1000	0,352	4,15×10 <sup>-5</sup>	11,8×10 <sup>-5</sup>	1142	0,0675	16,8×10 <sup>-5</sup>	0,702
1100	0,320	4,40×10 <sup>-5</sup>	13,7×10 <sup>-5</sup>	1161	0,0723	19,5×10 <sup>-5</sup>	0,706
1200	0,295	4,63×10 <sup>-5</sup>	15,7×10 <sup>-5</sup>	1179	0,0763	22,0×10 <sup>-5</sup>	0,714
1300	0,271	4,85×10 <sup>-5</sup>	17,9×10 <sup>-5</sup>	1197	0,0803	24,8×10 <sup>-5</sup>	0,722

### Annexe C : Caractéristiques physiques de la vapeur saturante [14]

Pression absolue	Températ. évaporation	Volume massique vapeur	Masse volumique vapeur	Enthalpie spécifique de l'eau (Chaleur sensible)		Enthalpie spécifique de la vapeur (chaleur totale)		Chaleur latente de vaporisation		Chaleur spécifique vapeur	Viscosité dynamique vapeur
bar	°C	m <sup>3</sup> /kg	kg/m <sup>3</sup>	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg	kJ/kg	kg/m.s
0.02	17.51	67.006	0.015	73.45	17.54	2533.64	605.15	2460.19	587.61	1.8644	0.000010
0.03	24.10	45.667	0.022	101.00	24.12	2545.64	608.02	2444.65	583.89	1.8694	0.000010
0.04	28.98	34.802	0.029	121.41	29.00	2554.51	610.13	2433.10	581.14	1.8736	0.000010
0.05	32.90	28.194	0.035	137.77	32.91	2561.59	611.83	2423.82	578.92	1.8774	0.000010
0.06	36.18	23.741	0.042	151.50	36.19	2567.51	613.24	2416.01	577.05	1.8808	0.000010
0.07	39.02	20.531	0.049	163.38	39.02	2572.62	614.46	2409.24	575.44	1.8840	0.000010
0.08	41.53	18.105	0.055	173.87	41.53	2577.11	615.53	2403.25	574.01	1.8871	0.000010
0.09	43.79	16.204	0.062	183.28	43.78	2581.14	616.49	2397.85	572.72	1.8899	0.000010
0.1	45.83	14.675	0.068	191.84	45.82	2584.78	617.36	2392.94	571.54	1.8927	0.000010
0.2	60.09	7.650	0.131	251.46	60.06	2609.86	623.35	2358.40	563.30	1.9156	0.000011
0.3	69.13	5.229	0.191	289.31	69.10	2625.43	627.07	2336.13	557.97	1.9343	0.000011
0.4	75.89	3.993	0.250	317.65	75.87	2636.88	629.81	2319.23	553.94	1.9506	0.000011
0.5	81.35	3.240	0.309	340.57	81.34	2645.99	631.98	2305.42	550.64	1.9654	0.000012
0.6	85.95	2.732	0.366	359.93	85.97	2653.57	633.79	2293.64	547.83	1.9790	0.000012
0.7	89.96	2.365	0.423	376.77	89.99	2660.07	635.35	2283.30	545.36	1.9919	0.000012
0.8	93.51	2.087	0.479	391.73	93.56	2665.77	636.71	2274.05	543.15	2.0040	0.000012
0.9	96.71	1.869	0.535	405.21	96.78	2670.85	637.92	2265.65	541.14	2.0156	0.000012
1	99.63	1.694	0.590	417.51	99.72	2675.43	639.02	2257.92	539.30	2.0267	0.000012
1.1	102.32	1.549	0.645	428.84	102.43	2679.61	640.01	2250.76	537.59	2.0373	0.000012
1.2	104.81	1.428	0.700	439.36	104.94	2683.44	640.93	2244.08	535.99	2.0476	0.000012
1.3	107.13	1.325	0.755	449.19	107.29	2686.98	641.77	2237.79	534.49	2.0576	0.000013
1.4	109.32	1.236	0.809	458.42	109.49	2690.28	642.56	2231.86	533.07	2.0673	0.000013
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768	0.000013
1.5	111.37	1.159	0.863	467.13	111.57	2693.36	643.30	2226.23	531.73	2.0768	0.000013
1.6	113.32	1.091	0.916	475.38	113.54	2696.25	643.99	2220.87	530.45	2.0860	0.000013
1.7	115.17	1.031	0.970	483.22	115.42	2698.97	644.64	2215.75	529.22	2.0950	0.000013
1.8	116.93	0.977	1.023	490.70	117.20	2701.54	645.25	2210.84	528.05	2.1037	0.000013
1.9	118.62	0.929	1.076	497.85	118.91	2703.98	645.83	2206.13	526.92	2.1124	0.000013
2	120.23	0.885	1.129	504.71	120.55	2706.29	646.39	2201.59	525.84	2.1208	0.000013
2.2	123.27	0.810	1.235	517.63	123.63	2710.60	647.42	2192.98	523.78	2.1372	0.000013
2.4	126.09	0.746	1.340	529.64	126.50	2714.55	648.36	2184.91	521.86	2.1531	0.000013
2.6	128.73	0.693	1.444	540.88	129.19	2718.17	649.22	2177.30	520.04	2.1685	0.000013



2.8	131.20	0.646	1.548	551.45	131.71	2721.54	650.03	2170.08	518.32	2.1835	0.000013
3	133.54	0.606	1.651	561.44	134.10	2724.66	650.77	2163.22	516.68	2.1981	0.000013
3.5	138.87	0.524	1.908	584.28	139.55	2731.63	652.44	2147.35	512.89	2.2331	0.000014
4	143.63	0.462	2.163	604.68	144.43	2737.63	653.87	2132.95	509.45	2.2664	0.000014
4.5	147.92	0.414	2.417	623.17	148.84	2742.88	655.13	2119.71	506.29	2.2983	0.000014
5	151.85	0.375	2.669	640.12	152.89	2747.54	656.24	2107.42	503.35	2.3289	0.000014
5.5	155.47	0.342	2.920	655.81	156.64	2751.70	657.23	2095.90	500.60	2.3585	0.000014
6	158.84	0.315	3.170	670.43	160.13	2755.46	658.13	2085.03	498.00	2.3873	0.000014
6.5	161.99	0.292	3.419	684.14	163.40	2758.87	658.94	2074.73	495.54	2.4152	0.000014
7	164.96	0.273	3.667	697.07	166.49	2761.98	659.69	2064.92	493.20	2.4424	0.000015
7.5	167.76	0.255	3.915	709.30	169.41	2764.84	660.37	2055.53	490.96	2.4690	0.000015
8	170.42	0.240	4.162	720.94	172.19	2767.46	661.00	2046.53	488.80	2.4951	0.000015
8.5	172.94	0.227	4.409	732.03	174.84	2769.89	661.58	2037.86	486.73	2.5206	0.000015
9	175.36	0.215	4.655	742.64	177.38	2772.13	662.11	2029.49	484.74	2.5456	0.000015
9.5	177.67	0.204	4.901	752.82	179.81	2774.22	662.61	2021.40	482.80	2.5702	0.000015
10	179.88	0.194	5.147	762.60	182.14	2776.16	663.07	2013.56	480.93	2.5944	0.000015
11	184.06	0.177	5.638	781.11	186.57	2779.66	663.91	1998.55	477.35	2.6418	0.000015
12	187.96	0.163	6.127	798.42	190.70	2782.73	664.64	1984.31	473.94	2.6878	0.000015
13	191.60	0.151	6.617	814.68	194.58	2785.42	665.29	1970.73	470.70	2.7327	0.000015
14	195.04	0.141	7.106	830.05	198.26	2787.79	665.85	1957.73	467.60	2.7767	0.000016
15	198.28	0.132	7.596	844.64	201.74	2789.88	666.35	1945.24	464.61	2.8197	0.000016
16	201.37	0.124	8.085	858.54	205.06	2791.73	666.79	1933.19	461.74	2.8620	0.000016
17	204.30	0.117	8.575	871.82	208.23	2793.37	667.18	1921.55	458.95	2.9036	0.000016
18	207.11	0.110	9.065	884.55	211.27	2794.81	667.53	1910.27	456.26	2.9445	0.000016
19	209.79	0.105	9.556	896.78	214.19	2796.09	667.83	1899.31	453.64	2.9849	0.000016
20	212.37	0.100	10.047	908.56	217.01	2797.21	668.10	1888.65	451.10	3.0248	0.000016
21	214.85	0.095	10.539	919.93	219.72	2798.18	668.33	1878.25	448.61	3.0643	0.000016
22	217.24	0.091	11.032	930.92	222.35	2799.03	668.54	1868.11	446.19	3.1034	0.000016
23	219.55	0.087	11.525	941.57	224.89	2799.77	668.71	1858.20	443.82	3.1421	0.000016
24	221.78	0.083	12.020	951.90	227.36	2800.39	668.86	1848.49	441.50	3.1805	0.000017
25	223.94	0.080	12.515	961.93	229.75	2800.91	668.99	1838.98	439.23	3.2187	0.000017
26	226.03	0.077	13.012	971.69	232.08	2801.35	669.09	1829.66	437.01	3.2567	0.000017
27	228.06	0.074	13.509	981.19	234.35	2801.69	669.17	1820.50	434.82	3.2944	0.000017
28	230.04	0.071	14.008	990.46	236.57	2801.96	669.24	1811.50	432.67	3.3320	0.000017
29	231.96	0.069	14.508	999.50	238.73	2802.15	669.28	1802.65	430.56	3.3695	0.000017
30	233.84	0.067	15.009	1008.33	240.84	2802.27	669.31	1793.94	428.48	3.4069	0.000017

## Annexe D: Propriétés physiques de certains corps [15]

	$\rho$ $\text{kg m}^{-3}$	$c_p$ $\text{J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$	$\lambda$ $\text{W m}^{-1}\text{°C}^{-1}$		$\rho$ $\text{kg m}^{-3}$	$c_p$ $\text{J kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$	$\lambda$ $\text{W m}^{-1}\text{°C}^{-1}$
<b>Métaux et alliages</b>				<b>Matériaux de construction</b>			
Acier au carbone	7833	465	54	Ardoise	2400	879	2,2
Acier inox 15%Cr, 10%Ni	7864	460	20	Basalte	2850	881	1,6
Acier inox 18%Cr, 8%Ni	7816	460	16,3	Béton caverneux	1900	879	1,4
Acier inox 25%Cr, 20%Ni	7864	460	13	Béton plein	2300	878	1,75
Alumine			29	Bitume (cartonné)	1050	1305	0,23
Aluminium	2707	896	204	Bois feuillus légers	525	3143	0,15
Argent	10525	234	407	Bois feuillus mi-lourds	675	3156	0,23
Bronze 75%Cu, 25%Sn	8800	377	188	Bois feuillus très légers	375	3147	0,12
Bronze 92%Cu, 8%Al	7900	377	71	Bois résineux légers	375	3147	0,12
Carbone graphite	2250	707	147	Bois résineux mi-lourds	500	3160	0,15
Carbure de silicium			13	Bois résineux très légers	375	3147	0,12
Chrome	2118	7160	449	Brique terre cuite	1800	878	1,15
Constantan 60% Cu, 40%Ni	8922	410	22,7	Calcaire dur	2450	882	2,4
Cuivre	8954	383	386	Calcaire tendre	1650	879	1
Cupronickel 70%Cu, 30%Ni	8900	377	29,3	Carrelage	2400	875	2,4
Duralumin	2787	883	164	Contre-plaqué okoumé	400	3000	0,12
Etain	7304	226	64	Contre-plaqué pin	500	3000	0,15
Fer	7870	452	73	Granite	2600	881	3
Fonte	7849	460	59	Gravier (vrac)	1800	889	0,7
Laiton 70%Cu, 30%Zn	8522	385	111	Grès	2500	880	2,6
Magnésium	1740	1004	151	Lave	2350	881	1,1
Or	19300	128	312	Marbre	2700	881	2,5
Platine	21400	140	69	Plâtre	1440	840	0,48
Plomb	11373	130	35	Schiste	2400	879	2,2
Sodium liquide	930	1381	84,5	<b>Matériaux isolants</b>			
Titane	4500	523	20,9	Balsa	140		0,054
Tungstène	19350	134	163	Coton	80	1300	0,06
Zinc	7144	384	112	Kapok			0,035
<b>Matériaux divers</b>				Laine de roche	20	880	0,047
Amiante	575	1046	0,15		55	880	0,038
Asphalte	2115	920	0,062		135	880	0,041
Caoutchouc (naturel)	1150		0,28	Laine de verre	8	875	0,051
Caoutchouc (vulcanisé)	1100	2010	0,13		10	880	0,045
Carton	86	2030	0,048		15	880	0,041
Cuir	998		0,159		40	880	0,035
Glace	920	2040	1,88	Liège expansé	120	2100	0,044
Plexiglass	1190	1465	0,19	Moquette	200	1300	0,06
Porcelaine	2400	1088	1,035	Polyuréthane (mousse)	32	1300	0,03
Polyéthylène	929	1830	0,46		50	1360	0,035
PVC	1459	930	0,21		85	1300	0,045
Sable	1515	800	0,2-1,0	PVC (mousse rigide)	30	1300	0,031
Téflon	2170	1004	0,25		40	1300	0,041
Terre mouillée	1900	2000	2	Polystyrène expansé	12	1300	0,047
Terre sèche	1500	1900	1		14	1300	0,043
Verre	2300	837	1,05		18	1300	0,041
Verre Pyrex	2220	728	1,13	Styrofoam	30		0,032

## Annexe E : Code source du programme «AERO –DIM »

```
#pragma once
#include "math.h"
#define M_PI      3.14159265358979323846
namespace Final{

double
yass,Q,C_p,T_2,T_1,t_1,P_air,q_v,H,S,F,r,d_ext,L_t,N_rang,L_c,P,Z,v_air,m,d,c,g,resul,
S_f,d_v,qv_air,v_u,delta_p_air,f_a,delta_p_dyn,delta_p,g_max,mu_air;
double
H_i,H_e,d_i,lambda_t,N_g,R_i,R_e,H_1,R_v,R_m,T_ma,P_vh,P_v,resul_ar,S_sol,puissance,pu
issance_h,rap,e_ail,d_e,lambda_a;
double n_pt,P_c,V_v,f_t,L,d_int,delta_pt,delta_pr,var;
double m_vap,H_v,H_l,R_ee;
long double q,t_2,TLM,R_1,R_2,a;

    using namespace System;
    using namespace System::ComponentModel;
    using namespace System::Collections;
    using namespace System::Windows::Forms;
    using namespace System::Data;
    using namespace System::Drawing;

    /// <summary>
    /// Description résumée de Form1
    /// </summary>
    public ref class Form1 : public System::Windows::Forms::Form
    {
    public:
        Form1(void)
        {
            InitializeComponent();
            //
            //TODO: ajoutez ici le code du constructeur
            //
        }

    public:
        /// <summary>
        /// Nettoyage des ressources utilisées.
        /// </summary>
        ~Form1()
        {
            if (components)
            {
                delete components;
            }
        }

    public:

    public:
```

```

        cli::array<double>^ tab1 ;
cli::array<double>^ tab2 ;
        cli::array<double>^ tabx2 ;
cli::array<double>^ taby2 ;
        cli::array<double>^ tabx3 ;
cli::array<double>^ taby3 ;

        public: double bad;

public: System::Windows::Forms::TabPage^  tabPage4;
public: System::Windows::Forms::Button^  button2;
public: System::Windows::Forms::TabPage^  tabPage3;
public: System::Windows::Forms::TabPage^  tabPage5;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox27;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox26;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox18;
public:
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox19;
public:
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox17;
public: System::Windows::Forms::Label^  label136;
public: System::Windows::Forms::Label^  label135;
public: System::Windows::Forms::Button^  button4;
public:
public: System::Windows::Forms::Label^  label138;
public:
public: System::Windows::Forms::Label^  label134;
public: System::Windows::Forms::TabPage^  tabPage2;
public: System::Windows::Forms::Label^  label149;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox25;
public:

public:
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox15;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox12;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox13;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox20;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox21;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox22;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox23;
public: System::Windows::Forms::Button^  button3;
public:

public:
public: System::Windows::Forms::GroupBox^  groupBox5;
        public: System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Chart^
chart3;
public: System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Chart^  chart2;
public: System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Chart^  chart1;
public: System::Windows::Forms::TabPage^  tabPage6;
public:
public: System::Windows::Forms::Button^  button6;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox47;
public:
public: System::Windows::Forms::Label^  label183;
public: System::Windows::Forms::Label^  label184;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox46;
public: System::Windows::Forms::Label^  label181;
public: System::Windows::Forms::Label^  label182;
public: System::Windows::Forms::TextBox^  textBox45;

```



```

public: System::Windows::Forms::Label^ label179;
public: System::Windows::Forms::Label^ label180;
public: System::Windows::Forms::TextBox^ textBox44;
public: System::Windows::Forms::Label^ label177;
public: System::Windows::Forms::Label^ label178;
private: System::Windows::Forms::GroupBox^ groupBox6;
public: System::Windows::Forms::Label^ label185;
private:
public: System::Windows::Forms::Label^ label15;
public: System::Windows::Forms::Label^ label13;
public: System::Windows::Forms::Label^ label186;
public: System::Windows::Forms::Label^ label187;
public: System::Windows::Forms::TextBox^ textBox2;
public: System::Windows::Forms::Label^ label189;
public: System::Windows::Forms::TextBox^ textBox48;
public: System::Windows::Forms::Label^ label188;
public: System::Windows::Forms::Label^ label125;
public: System::Windows::Forms::Label^ label153;

    public:
        /// <summary>
        /// Variable nécessaire au concepteur.
        /// </summary>
        System::ComponentModel::Container ^components;

#pragma region Windows Form Designer generated code
        /// <summary>
        /// Méthode requise pour la prise en charge du concepteur - ne modifiez
pas
        /// le contenu de cette méthode avec l'éditeur de code.
        /// </summary>

        void InitializeComponent(void)
        {

            System::ComponentModel::ComponentResourceManager^ resources = (gcnew
System::ComponentModel::ComponentResourceManager(Form1::typeid));
                this->tabPage4 = (gcnew
System::Windows::Forms::TabPage());
                this->button2 = (gcnew
System::Windows::Forms::Button());
                this->tabPage3 = (gcnew
System::Windows::Forms::TabPage());
                this->groupBox5 = (gcnew
System::Windows::Forms::GroupBox());
                this->label185 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
                this->label15 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
                this->label176 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
                this->textBox43 = (gcnew
System::Windows::Forms::TextBox());
                this->label171 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());
                this->textBox42 = (gcnew
System::Windows::Forms::TextBox());
                this->groupBox4 = (gcnew
System::Windows::Forms::GroupBox());
                this->label125 = (gcnew
System::Windows::Forms::Label());

```

```
this->label13 = (gcnew
this->label175 = (gcnew
this->label174 = (gcnew
this->label173 = (gcnew
this->textBox41 = (gcnew
this->label170 = (gcnew
this->textBox40 = (gcnew
this->label169 = (gcnew
this->textBox39 = (gcnew
this->label168 = (gcnew
this->textBox38 = (gcnew
this->label167 = (gcnew
this->textBox37 = (gcnew
this->label166 = (gcnew
this->textBox36 = (gcnew
this->label165 = (gcnew
this->label172 = (gcnew
this->button5 = (gcnew
this->tabPage5 = (gcnew
this->label112 = (gcnew
this->groupBox2 = (gcnew
this->label162 = (gcnew
this->label161 = (gcnew
this->label160 = (gcnew
this->label159 = (gcnew
this->label156 = (gcnew
this->textBox33 = (gcnew
this->label155 = (gcnew
this->textBox32 = (gcnew
this->label12 = (gcnew
```

```
this->textBox1 = (gcnew
this->label1 = (gcnew
this->textBox18 = (gcnew
this->label158 = (gcnew
this->textBox27 = (gcnew
this->textBox26 = (gcnew
this->textBox19 = (gcnew
this->textBox17 = (gcnew
this->label136 = (gcnew
this->label135 = (gcnew
this->button4 = (gcnew
this->label138 = (gcnew
this->label134 = (gcnew
this->tabPage2 = (gcnew
this->label189 = (gcnew
this->textBox48 = (gcnew
this->label188 = (gcnew
this->label164 = (gcnew
this->label163 = (gcnew
this->textBox35 = (gcnew
this->label152 = (gcnew
this->textBox34 = (gcnew
this->label127 = (gcnew
this->textBox14 = (gcnew
this->label128 = (gcnew
this->groupBox3 = (gcnew
this->label153 = (gcnew
this->label149 = (gcnew
this->textBox25 = (gcnew
this->textBox15 = (gcnew
```

```
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::Button());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::TabControl());
System::Windows::Forms::TabPage());
System::Windows::Forms::GroupBox());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Button());
System::Windows::Forms::TextBox());
System::Windows::Forms::Label());
System::Windows::Forms::Label());

this->textBox12 = (gcnew
this->textBox13 = (gcnew
this->textBox20 = (gcnew
this->textBox21 = (gcnew
this->textBox22 = (gcnew
this->textBox23 = (gcnew
this->button3 = (gcnew
this->label129 = (gcnew
this->label130 = (gcnew
this->label126 = (gcnew
this->label139 = (gcnew
this->label140 = (gcnew
this->label141 = (gcnew
this->label142 = (gcnew
this->label143 = (gcnew
this->label144 = (gcnew
this->label145 = (gcnew
this->label146 = (gcnew
this->label147 = (gcnew
this->label148 = (gcnew
this->Ventilation = (gcnew
this->tabPage6 = (gcnew
this->groupBox6 = (gcnew
this->textBox44 = (gcnew
this->label177 = (gcnew
this->label178 = (gcnew
this->button6 = (gcnew
this->textBox47 = (gcnew
this->label183 = (gcnew
this->label184 = (gcnew
```



```
this->label132 = (gcnew
this->label21 = (gcnew
this->textBox10 = (gcnew
this->label22 = (gcnew
this->label19 = (gcnew
this->textBox9 = (gcnew
this->label20 = (gcnew
this->label11 = (gcnew
this->label13 = (gcnew
this->textBox6 = (gcnew
this->label14 = (gcnew
this->label15 = (gcnew
this->label16 = (gcnew
this->textBox7 = (gcnew
this->label17 = (gcnew
this->textBox8 = (gcnew
this->label18 = (gcnew
this->label6 = (gcnew
this->label7 = (gcnew
this->label8 = (gcnew
this->textBox4 = (gcnew
this->label9 = (gcnew
this->label10 = (gcnew
this->tabPage4->SuspendLayout();
this->tabPage3->SuspendLayout();
this->groupBox5->SuspendLayout();
this->groupBox4->SuspendLayout();
this->tabPage5->SuspendLayout();
this->groupBox2->SuspendLayout();
this->tabPage2->SuspendLayout();
this->groupBox3->SuspendLayout();
this->Ventilation->SuspendLayout();
this->tabPage6->SuspendLayout();
this->groupBox6->SuspendLayout();
this->tabPage1->SuspendLayout();
this->groupBox1->SuspendLayout();
this->SuspendLayout();
//
```

```

// tabPage4
//
this->tabPage4->BackColor =
System::Drawing::Color::White;
this->tabPage4->Controls->Add(this->button2);
this->tabPage4->Location =
System::Drawing::Point(4, 22);
this->tabPage4->Name = L"tabPage4";
this->tabPage4->Padding =
System::Windows::Forms::Padding(3);
this->tabPage4->Size =
System::Drawing::Size(1358, 742);
this->tabPage4->TabIndex = 3;
this->tabPage4->Text = L"Graph";
this->tabPage4->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::tabPage4_Click);
//
// button2
//
this->button2->Location =
System::Drawing::Point(508, 6);
this->button2->Name = L"button2";
this->button2->Size =
System::Drawing::Size(172, 33);
this->button2->TabIndex = 0;
this->button2->Text = L"Afficher les graphs";
this->button2->UseVisualStyleBackColor = true;
this->button2->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::button2_Click);
this->button2->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::button2_Click);
//
// tabPage3
//
this->tabPage3->Controls->Add(this->
>groupBox5);
this->tabPage3->Controls->Add(this->
>groupBox4);
this->tabPage3->Controls->Add(this->label172);
this->tabPage3->Controls->Add(this->button5);
this->tabPage3->Location =
System::Drawing::Point(4, 22);
this->tabPage3->Name = L"tabPage3";
this->tabPage3->Padding =
System::Windows::Forms::Padding(3);
this->tabPage3->Size =
System::Drawing::Size(1358, 742);
this->tabPage3->TabIndex = 2;
this->tabPage3->Text = L"Pertes de charge";
this->tabPage3->UseVisualStyleBackColor =
true;
this->tabPage3->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::tabPage3_Click);
//
// groupBox5
//
this->groupBox5->Controls->Add(this->label185);
this->groupBox5->Controls->Add(this->label15);
this->groupBox5->Controls->Add(this->label176);
this->groupBox5->Controls->Add(this->
>textBox43);

```

```

>textBox42);
System::Drawing::Point(76, 513);
System::Drawing::Size(1115, 136);
System::Drawing::Point(1057, 59);
System::Drawing::Size(20, 13);
System::Drawing::Point(503, 63);
13);
System::Drawing::Point(604, 59);
System::Drawing::Size(193, 13);
l\'exterieur des tubes";
System::Drawing::Point(831, 52);
System::Drawing::Size(199, 20);
System::Drawing::Point(36, 63);

this->groupBox5->Controls->Add(this->label171);
this->groupBox5->Controls->Add(this-
this->groupBox5->Location =
this->groupBox5->Name = L"groupBox5";
this->groupBox5->Size =
this->groupBox5->TabIndex = 22;
this->groupBox5->TabStop = false;
this->groupBox5->Text = L"Résultats";
//
// label185
//
this->label185->AutoSize = true;
this->label185->Location =
this->label185->Name = L"label185";
this->label185->Size =
this->label185->TabIndex = 23;
this->label185->Text = L"Pa";
//
// label15
//
this->label15->AutoSize = true;
this->label15->Location =
this->label15->Name = L"label15";
this->label15->Size = System::Drawing::Size(20,
this->label15->TabIndex = 22;
this->label15->Text = L"Pa";
//
// label176
//
this->label176->AutoSize = true;
this->label176->Location =
this->label176->Name = L"label176";
this->label176->Size =
this->label176->TabIndex = 21;
this->label176->Text = L"Perte de charges a
//
// textBox43
//
this->textBox43->Location =
this->textBox43->Name = L"textBox43";
this->textBox43->Size =
this->textBox43->TabIndex = 20;
//
// label171
//
this->label171->AutoSize = true;
this->label171->Location =
this->label171->Name = L"label171";

```



```

System::Drawing::Size(190, 13);

l\'interieur des tubes";

System::Drawing::Point(277, 56);

System::Drawing::Size(199, 20);

>textBox41);

>textBox40);

>textBox39);

>textBox38);

>textBox37);

>textBox36);

System::Drawing::Point(168, 84);

System::Drawing::Size(1023, 239);

l\'interieur des tubes";

System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 6, System::Drawing::FontStyle::Regular,
System::Drawing::GraphicsUnit::Point,

System::Drawing::Point(458, 117);

this->label71->Size =
this->label71->TabIndex = 14;
this->label71->Text = L"Perte de charges a

//
// textBox42
//
this->textBox42->Location =
this->textBox42->Name = L"textBox42";
this->textBox42->Size =
this->textBox42->TabIndex = 13;
//
// groupBox4
//
this->groupBox4->Controls->Add(this->label25);
this->groupBox4->Controls->Add(this->label13);
this->groupBox4->Controls->Add(this->label75);
this->groupBox4->Controls->Add(this->label174);
this->groupBox4->Controls->Add(this->label173);
this->groupBox4->Controls->Add(this-

this->groupBox4->Controls->Add(this->label70);
this->groupBox4->Controls->Add(this-

this->groupBox4->Controls->Add(this->label69);
this->groupBox4->Controls->Add(this-

this->groupBox4->Controls->Add(this->label68);
this->groupBox4->Controls->Add(this-

this->groupBox4->Controls->Add(this->label67);
this->groupBox4->Controls->Add(this-

this->groupBox4->Controls->Add(this->label66);
this->groupBox4->Controls->Add(this-

this->groupBox4->Controls->Add(this->label65);
this->groupBox4->Location =
this->groupBox4->Name = L"groupBox4";
this->groupBox4->Size =
this->groupBox4->TabIndex = 19;
this->groupBox4->TabStop = false;
this->groupBox4->Text = L"Perte de charges a

//
// label25
//
this->label25->AutoSize = true;
this->label25->Font = (gcnew
    static_cast<System::Byte>(0)));
this->label25->Location =
this->label25->Name = L"label25";

```

```

9);

System::Drawing::Point(431, 118);

13);

System::Drawing::Point(971, 112);

System::Drawing::Size(15, 13);

System::Drawing::Point(971, 53);

System::Drawing::Size(15, 13);

System::Drawing::Point(431, 174);

System::Drawing::Size(31, 13);

System::Drawing::Point(736, 170);

System::Drawing::Size(199, 20);

this->label125->Size = System::Drawing::Size(9,
this->label125->TabIndex = 20;
this->label125->Text = L"3";
//
// label13
//
this->label13->AutoSize = true;
this->label13->Location =
this->label13->Name = L"label13";
this->label13->Size = System::Drawing::Size(32,

this->label13->TabIndex = 19;
this->label13->Text = L"kg/m";
//
// label175
//
this->label175->AutoSize = true;
this->label175->Location =

this->label175->Name = L"label175";
this->label175->Size =

this->label175->TabIndex = 18;
this->label175->Text = L"m";
//
// label174
//
this->label174->AutoSize = true;
this->label174->Location =

this->label174->Name = L"label174";
this->label174->Size =

this->label174->TabIndex = 17;
this->label174->Text = L"m";
//
// label173
//
this->label173->AutoSize = true;
this->label173->Location =

this->label173->Name = L"label173";
this->label173->Size =

this->label173->TabIndex = 16;
this->label173->Text = L"m/s ";
//
// textBox41
//
this->textBox41->Location =

this->textBox41->Name = L"textBox41";
this->textBox41->Size =

this->textBox41->TabIndex = 11;
//
// label170
//
this->label170->AutoSize = true;

```

```

System::Drawing::Point(567, 177);
System::Drawing::Size(92, 13);
System::Drawing::Point(736, 109);
System::Drawing::Size(199, 20);
System::Drawing::Point(567, 116);
System::Drawing::Size(138, 13);
tubes";
System::Drawing::Point(736, 53);
System::Drawing::Size(199, 20);
System::Drawing::Point(567, 60);
System::Drawing::Size(101, 13);
System::Drawing::Point(196, 167);
System::Drawing::Size(199, 20);
System::EventHandler(this, &Form1::textBox38_TextChanged);

this->label170->Location =
this->label170->Name = L"label170";
this->label170->Size =
this->label170->TabIndex = 10;
this->label170->Text = L"Facteur de friction";
//
// textBox40
//
this->textBox40->Location =
this->textBox40->Name = L"textBox40";
this->textBox40->Size =
this->textBox40->TabIndex = 9;
//
// label69
//
this->label69->AutoSize = true;
this->label69->Location =
this->label69->Name = L"label69";
this->label69->Size =
this->label69->TabIndex = 8;
this->label69->Text = L"Diametre interieur des
tubes";
//
// textBox39
//
this->textBox39->Location =
this->textBox39->Name = L"textBox39";
this->textBox39->Size =
this->textBox39->TabIndex = 7;
//
// label68
//
this->label68->AutoSize = true;
this->label68->Location =
this->label68->Name = L"label68";
this->label68->Size =
this->label68->TabIndex = 6;
this->label68->Text = L"Longueur des tubes";
//
// textBox38
//
this->textBox38->Location =
this->textBox38->Name = L"textBox38";
this->textBox38->Size =
this->textBox38->TabIndex = 5;
this->textBox38->TextChanged += gcnew
//
// label67

```

```

//
this->label67->AutoSize = true;
this->label67->Location =

System::Drawing::Point(27, 174);

this->label67->Name = L"label67";
this->label67->Size =

System::Drawing::Size(103, 13);

this->label67->TabIndex = 4;
this->label67->Text = L"Vitesse de la vapeur";
//
// textBox37
//
this->textBox37->Location =

System::Drawing::Point(196, 111);

this->textBox37->Name = L"textBox37";
this->textBox37->Size =

System::Drawing::Size(199, 20);

this->textBox37->TabIndex = 3;
//
// label66
//
this->label66->AutoSize = true;
this->label66->Location =

System::Drawing::Point(27, 118);

this->label66->Name = L"label66";
this->label66->Size =

System::Drawing::Size(157, 13);

this->label66->TabIndex = 2;
this->label66->Text = L"Masse volumique du
condensat";

//
// textBox36
//
this->textBox36->Location =

System::Drawing::Point(196, 53);

this->textBox36->Name = L"textBox36";
this->textBox36->Size =

System::Drawing::Size(199, 20);

this->textBox36->TabIndex = 1;
//
// label65
//
this->label65->AutoSize = true;
this->label65->Location =

System::Drawing::Point(27, 60);

this->label65->Name = L"label65";
this->label65->Size =

System::Drawing::Size(124, 13);

this->label65->TabIndex = 0;
this->label65->Text = L"Nombre de passes
tubes";

//
// label72
//
this->label72->AutoSize = true;
this->label72->Location =

System::Drawing::Point(462, 137);

this->label72->Name = L"label72";
this->label72->Size =

System::Drawing::Size(44, 13);

this->label72->TabIndex = 15;

```

```

        this->label172->Text = L"kg/m3 ";
        //
        // button5
        //
        this->button5->Location =
System::Drawing::Point(602, 403);

        this->button5->Name = L"button5";
        this->button5->Size =
System::Drawing::Size(148, 45);

        this->button5->TabIndex = 12;
        this->button5->Text = L"OK";
        this->button5->UseVisualStyleBackColor = true;
        this->button5->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::button5_Click);
        //
        // tabPage5
        //
        this->tabPage5->Controls->Add(this->label12);
        this->tabPage5->Controls->Add(this->
>groupBox2);

        this->tabPage5->Controls->Add(this->label58);
        this->tabPage5->Controls->Add(this->
>textBox27);

        this->tabPage5->Controls->Add(this->
>textBox26);

        this->tabPage5->Controls->Add(this->
>textBox19);

        this->tabPage5->Controls->Add(this->
>textBox17);

        this->tabPage5->Controls->Add(this->label36);
        this->tabPage5->Controls->Add(this->label35);
        this->tabPage5->Controls->Add(this->button4);
        this->tabPage5->Controls->Add(this->label38);
        this->tabPage5->Controls->Add(this->label34);
        this->tabPage5->Location =
System::Drawing::Point(4, 22);

        this->tabPage5->Name = L"tabPage5";
        this->tabPage5->Padding =
System::Windows::Forms::Padding(3);

        this->tabPage5->Size =
System::Drawing::Size(1358, 742);

        this->tabPage5->TabIndex = 4;
        this->tabPage5->Text = L"Ventilation";
        this->tabPage5->UseVisualStyleBackColor =
true;

        this->tabPage5->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::tabPage5_Click);
        //
        // label12
        //
        this->label12->AutoSize = true;
        this->label12->Location =
System::Drawing::Point(466, 98);

        this->label12->Name = L"label12";
        this->label12->Size =
System::Drawing::Size(40, 13);

        this->label12->TabIndex = 34;
        this->label12->Text = L"kg/m s";
        //
        // groupBox2
        //

```

```

>textBox33);

>textBox32);

>textBox1);

>textBox18);

System::Drawing::Point(494, 271);

System::Drawing::Size(647, 281);

System::Drawing::Point(584, 228);

System::Drawing::Size(24, 13);

System::Drawing::Point(584, 165);

System::Drawing::Size(24, 13);

System::Drawing::Point(584, 106);

System::Drawing::Size(24, 13);

this->groupBox2->Controls->Add(this->label62);
this->groupBox2->Controls->Add(this->label61);
this->groupBox2->Controls->Add(this->label60);
this->groupBox2->Controls->Add(this->label59);
this->groupBox2->Controls->Add(this->label56);
this->groupBox2->Controls->Add(this->

this->groupBox2->Controls->Add(this->label55);
this->groupBox2->Controls->Add(this->

this->groupBox2->Controls->Add(this->label2);
this->groupBox2->Controls->Add(this->

this->groupBox2->Controls->Add(this->label11);
this->groupBox2->Controls->Add(this->

this->groupBox2->Location =

this->groupBox2->Name = L"groupBox2";
this->groupBox2->Size =

this->groupBox2->TabIndex = 33;
this->groupBox2->TabStop = false;
this->groupBox2->Text = L"Résultats";
//
// label62
//
this->label62->AutoSize = true;
this->label62->Location =

this->label62->Name = L"label62";
this->label62->Size =

this->label62->TabIndex = 32;
this->label62->Text = L"kw";
//
// label61
//
this->label61->AutoSize = true;
this->label61->Location =

this->label61->Name = L"label61";
this->label61->Size =

this->label61->TabIndex = 31;
this->label61->Text = L"kw";
//
// label60
//
this->label60->AutoSize = true;
this->label60->Location =

this->label60->Name = L"label60";
this->label60->Size =

this->label60->TabIndex = 30;
this->label60->Text = L"kw";
//
// label59
//
this->label59->AutoSize = true;

```

```

System::Drawing::Point(584, 46);
System::Drawing::Size(24, 13);
System::Drawing::Point(52, 228);
System::Drawing::Size(277, 13);
System::Drawing::Point(363, 221);
System::Drawing::Size(198, 20);
System::Drawing::Point(52, 165);
System::Drawing::Size(271, 13);
System::Drawing::Point(363, 158);
System::Drawing::Size(198, 20);
System::Drawing::Point(52, 46);
System::Drawing::Size(269, 13);

this->label159->Location =
this->label159->Name = L"label159";
this->label159->Size =
this->label159->TabIndex = 29;
this->label159->Text = L"kw";
//
// label156
//
this->label156->AutoSize = true;
this->label156->Location =
this->label156->Name = L"label156";
this->label156->Size =
this->label156->TabIndex = 27;
this->label156->Text = L"Puissance des
ventilateurs dans les conditions hivernales";
//
// textBox33
//
this->textBox33->Location =
this->textBox33->Name = L"textBox33";
this->textBox33->Size =
this->textBox33->TabIndex = 26;
//
// label155
//
this->label155->AutoSize = true;
this->label155->Location =
this->label155->Name = L"label155";
this->label155->Size =
this->label155->TabIndex = 25;
this->label155->Text = L"Puissance des
ventilateurs dans les conditions normales";
//
// textBox32
//
this->textBox32->Location =
this->textBox32->Name = L"textBox32";
this->textBox32->Size =
this->textBox32->TabIndex = 24;
//
// label12
//
this->label12->AutoSize = true;
this->label12->Location =
this->label12->Name = L"label12";
this->label12->Size =
this->label12->TabIndex = 23;
this->label12->Text = L"Puissance d'un
ventilateur dans les conditions normales";

```

```

//
// textBox1
//
this->textBox1->Location =
System::Drawing::Point(363, 39);
this->textBox1->Name = L"textBox1";
this->textBox1->Size =
System::Drawing::Size(198, 20);
this->textBox1->TabIndex = 22;
//
// label1
//
this->label1->AutoSize = true;
this->label1->Location =
System::Drawing::Point(52, 106);
this->label1->Name = L"label1";
this->label1->Size =
System::Drawing::Size(275, 13);
this->label1->TabIndex = 21;
this->label1->Text = L"Puissance d'un
ventilateur dans les conditions hivernales";
//
// textBox18
//
this->textBox18->Location =
System::Drawing::Point(363, 103);
this->textBox18->Name = L"textBox18";
this->textBox18->Size =
System::Drawing::Size(198, 20);
this->textBox18->TabIndex = 16;
//
// label58
//
this->label58->AutoSize = true;
this->label58->Location =
System::Drawing::Point(466, 219);
this->label58->Name = L"label58";
this->label58->Size =
System::Drawing::Size(14, 13);
this->label58->TabIndex = 28;
this->label58->Text = L"K";
//
// textBox27
//
this->textBox27->Location =
System::Drawing::Point(355, 174);
this->textBox27->Name = L"textBox27";
this->textBox27->Size =
System::Drawing::Size(82, 20);
this->textBox27->TabIndex = 20;
this->textBox27->Text = L"1";
//
// textBox26
//
this->textBox26->Location =
System::Drawing::Point(355, 134);
this->textBox26->Name = L"textBox26";
this->textBox26->Size =
System::Drawing::Size(82, 20);
this->textBox26->TabIndex = 18;
this->textBox26->Text = L"1";

```



```

//
// textBox19
//
this->textBox19->Location =
System::Drawing::Point(355, 212);
this->textBox19->Name = L"textBox19";
this->textBox19->Size =
System::Drawing::Size(82, 20);
this->textBox19->TabIndex = 14;
this->textBox19->Text = L"1";
this->textBox19->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox19_TextChanged_1);
//
// textBox17
//
this->textBox17->Location =
System::Drawing::Point(355, 91);
this->textBox17->Name = L"textBox17";
this->textBox17->Size =
System::Drawing::Size(82, 20);
this->textBox17->TabIndex = 8;
this->textBox17->Text = L"1";
//
// label36
//
this->label36->AutoSize = true;
this->label36->Location =
System::Drawing::Point(132, 174);
this->label36->Name = L"label36";
this->label36->Size =
System::Drawing::Size(129, 13);
this->label36->TabIndex = 19;
this->label36->Text = L"Rendement du
ventilateur";
this->label36->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label36_Click);
//
// label35
//
this->label35->AutoSize = true;
this->label35->Location =
System::Drawing::Point(132, 134);
this->label35->Name = L"label35";
this->label35->Size =
System::Drawing::Size(117, 13);
this->label35->TabIndex = 17;
this->label35->Text = L"Rendement mécanique";
this->label35->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label35_Click);
//
// button4
//
this->button4->Location =
System::Drawing::Point(786, 196);
this->button4->Name = L"button4";
this->button4->Size =
System::Drawing::Size(198, 36);
this->button4->TabIndex = 15;
this->button4->Text = L"OK";
this->button4->UseVisualStyleBackColor = true;

```

```

        this->button4->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::button4_Click);
        //
        // label38
        //
        this->label38->AutoSize = true;
        this->label38->Location =

System::Drawing::Point(132, 226);

        this->label38->Name = L"label38";
        this->label38->Size =

System::Drawing::Size(156, 13);

        this->label38->TabIndex = 13;
        this->label38->Text = L"Temperature minimale
ambiante";

        this->label38->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label38_Click);
        //
        // label34
        //
        this->label34->AutoSize = true;
        this->label34->Location =

System::Drawing::Point(132, 91);

        this->label34->Name = L"label34";
        this->label34->Size =

System::Drawing::Size(82, 13);

        this->label34->TabIndex = 7;
        this->label34->Text = L"Viscosité de l\'air";
        this->label34->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label34_Click);
        //
        // tabPage2
        //
        this->tabPage2->Controls->Add(this->label189);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox48);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->label188);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->label64);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->label63);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox35);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->label152);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox34);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->label127);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox14);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->label128);
        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>groupBox3);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox15);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox12);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox13);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox20);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox21);

        this->tabPage2->Controls->Add(this->

>textBox22);

```

```

>textBox23);

System::Drawing::Point(4, 22);

System::Windows::Forms::Padding(3);

System::Drawing::Size(1358, 742);

d\'échange global";

true;

System::EventHandler(this, &Form1::tabPage2_Click);

System::Drawing::Point(574, 431);

System::Drawing::Size(44, 13);

System::Drawing::Point(414, 424);

System::Drawing::Size(136, 20);

System::Drawing::Point(187, 424);

System::Drawing::Size(151, 13);

this->tabPage2->Controls->Add(this-
this->tabPage2->Controls->Add(this->button3);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label29);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label30);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label26);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label39);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label40);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label41);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label42);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label43);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label44);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label45);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label46);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label47);
this->tabPage2->Controls->Add(this->label48);
this->tabPage2->Location =

this->tabPage2->Name = L"tabPage2";
this->tabPage2->Padding =

this->tabPage2->Size =

this->tabPage2->TabIndex = 1;
this->tabPage2->Text = L"Coefficient

this->tabPage2->UseVisualStyleBackColor =

this->tabPage2->Click += gcnew

//
// label89
//
this->label89->AutoSize = true;
this->label89->Location =

this->label89->Name = L"label89";
this->label89->Size =

this->label89->TabIndex = 56;
this->label89->Text = L"m² K/W";
//
// textBox48
//
this->textBox48->Location =

this->textBox48->Name = L"textBox48";
this->textBox48->Size =

this->textBox48->TabIndex = 55;
//
// label88
//
this->label88->AutoSize = true;
this->label88->Location =

this->label88->Name = L"label88";
this->label88->Size =

this->label88->TabIndex = 54;

```

```

d\'encrassement air";

System::Drawing::Point(574, 580);

System::Drawing::Size(41, 13);

System::Drawing::Point(574, 528);

System::Drawing::Size(15, 13);

System::Drawing::Point(414, 573);

System::Drawing::Size(136, 20);

System::Drawing::Point(187, 573);

System::Drawing::Size(164, 13);

de l\'aillite";

System::Drawing::Point(414, 521);

System::Drawing::Size(136, 20);

System::Drawing::Point(187, 521);

this->label188->Text = L"Résistance

//
// label64
//
this->label64->AutoSize = true;
this->label64->Location =

this->label64->Name = L"label64";
this->label64->Size =

this->label64->TabIndex = 53;
this->label64->Text = L"W/m K";
//
// label63
//
this->label63->AutoSize = true;
this->label63->Location =

this->label63->Name = L"label63";
this->label63->Size =

this->label63->TabIndex = 52;
this->label63->Text = L"m";
//
// textBox35
//
this->textBox35->Location =

this->textBox35->Name = L"textBox35";
this->textBox35->Size =

this->textBox35->TabIndex = 51;
//
// label52
//
this->label52->AutoSize = true;
this->label52->Location =

this->label52->Name = L"label52";
this->label52->Size =

this->label52->TabIndex = 50;
this->label52->Text = L"Conductivité thermique

//
// textBox34
//
this->textBox34->Location =

this->textBox34->Name = L"textBox34";
this->textBox34->Size =

this->textBox34->TabIndex = 49;
//
// label27
//
this->label27->AutoSize = true;
this->label27->Location =

this->label27->Name = L"label27";

```

```

System::Drawing::Size(102, 13);

l\'aillerte";

System::Drawing::Point(414, 470);

System::Drawing::Size(136, 20);

System::Drawing::Point(187, 470);

System::Drawing::Size(95, 13);

>textBox25);

System::Drawing::Point(657, 174);

System::Drawing::Size(509, 97);

System::Drawing::Point(450, 41);

System::Drawing::Size(44, 13);

System::Drawing::Point(15, 37);

System::Drawing::Size(141, 13);

this->label27->Size =
this->label27->TabIndex = 48;
this->label27->Text = L"Epaisseur de

//
// textBox14
//
this->textBox14->Location =
this->textBox14->Name = L"textBox14";
this->textBox14->Size =
this->textBox14->TabIndex = 47;
//
// label28
//
this->label28->AutoSize = true;
this->label28->Location =
this->label28->Name = L"label28";
this->label28->Size =
this->label28->TabIndex = 46;
this->label28->Text = L"Rapport d\'ailletage";
//
// groupBox3
//
this->groupBox3->Controls->Add(this->label53);
this->groupBox3->Controls->Add(this->label49);
this->groupBox3->Controls->Add(this-

this->groupBox3->Location =
this->groupBox3->Name = L"groupBox3";
this->groupBox3->Size =
this->groupBox3->TabIndex = 45;
this->groupBox3->TabStop = false;
this->groupBox3->Text = L"Résultat";
//
// label53
//
this->label53->AutoSize = true;
this->label53->Location =
this->label53->Name = L"label53";
this->label53->Size =
this->label53->TabIndex = 57;
this->label53->Text = L"W/m² K";
//
// label49
//
this->label49->AutoSize = true;
this->label49->Location =
this->label49->Name = L"label49";
this->label49->Size =
this->label49->TabIndex = 44;

```

```

                                this->label49->Text = L"Coefficient d\'échange
global";
                                this->label49->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label49_Click);
                                //
                                // textBox25
                                //
                                this->textBox25->Location =
System::Drawing::Point(225, 34);
                                this->textBox25->Name = L"textBox25";
                                this->textBox25->Size =
System::Drawing::Size(204, 20);
                                this->textBox25->TabIndex = 43;
                                this->textBox25->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox25_TextChanged);
                                //
                                // textBox15
                                //
                                this->textBox15->Location =
System::Drawing::Point(414, 378);
                                this->textBox15->Name = L"textBox15";
                                this->textBox15->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
                                this->textBox15->TabIndex = 37;
                                this->textBox15->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox15_TextChanged);
                                //
                                // textBox12
                                //
                                this->textBox12->Location =
System::Drawing::Point(414, 330);
                                this->textBox12->Name = L"textBox12";
                                this->textBox12->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
                                this->textBox12->TabIndex = 34;
                                this->textBox12->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox12_TextChanged);
                                //
                                // textBox13
                                //
                                this->textBox13->Location =
System::Drawing::Point(414, 283);
                                this->textBox13->Name = L"textBox13";
                                this->textBox13->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
                                this->textBox13->TabIndex = 31;
                                this->textBox13->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox13_TextChanged);
                                //
                                // textBox20
                                //
                                this->textBox20->Location =
System::Drawing::Point(414, 235);
                                this->textBox20->Name = L"textBox20";
                                this->textBox20->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
                                this->textBox20->TabIndex = 28;
                                this->textBox20->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox20_TextChanged);
                                //
                                // textBox21

```

```

//
this->textBox21->Location =
System::Drawing::Point(414, 188);
this->textBox21->Name = L"textBox21";
this->textBox21->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
this->textBox21->TabIndex = 25;
this->textBox21->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox21_TextChanged);
//
// textBox22
//
this->textBox22->Location =
System::Drawing::Point(414, 138);
this->textBox22->Name = L"textBox22";
this->textBox22->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
this->textBox22->TabIndex = 22;
this->textBox22->Text = L"1";
this->textBox22->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox22_TextChanged);
//
// textBox23
//
this->textBox23->Location =
System::Drawing::Point(414, 91);
this->textBox23->Name = L"textBox23";
this->textBox23->Size =
System::Drawing::Size(136, 20);
this->textBox23->TabIndex = 19;
this->textBox23->Text = L"1";
//
// button3
//
this->button3->Location =
System::Drawing::Point(767, 103);
this->button3->Name = L"button3";
this->button3->Size =
System::Drawing::Size(187, 35);
this->button3->TabIndex = 42;
this->button3->Text = L"OK";
this->button3->UseVisualStyleBackColor = true;
this->button3->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::button3_Click);
//
// label29
//
this->label29->AutoSize = true;
this->label29->Location =
System::Drawing::Point(574, 381);
this->label29->Name = L"label29";
this->label29->Size =
System::Drawing::Size(44, 13);
this->label29->TabIndex = 38;
this->label29->Text = L"m2 K/W";
this->label29->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label29_Click);
//
// label30
//
this->label30->AutoSize = true;

```

```

        this->label130->Location =
System::Drawing::Point(187, 378);
        this->label130->Name = L"label130";
        this->label130->Size =
System::Drawing::Size(176, 13);
        this->label130->TabIndex = 36;
        this->label130->Text = L"Résistance
d'encrassement vapeur";
        this->label130->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label130_Click);
        //
        // label126
        //
        this->label126->AutoSize = true;
        this->label126->Location =
System::Drawing::Point(187, 330);
        this->label126->Name = L"label126";
        this->label126->Size =
System::Drawing::Size(149, 13);
        this->label126->TabIndex = 33;
        this->label126->Text = L"Rendement global des
ailettes";
        this->label126->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label126_Click);
        //
        // label139
        //
        this->label139->AutoSize = true;
        this->label139->Location =
System::Drawing::Point(574, 286);
        this->label139->Name = L"label139";
        this->label139->Size =
System::Drawing::Size(41, 13);
        this->label139->TabIndex = 32;
        this->label139->Text = L"W/m K";
        this->label139->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label139_Click);
        //
        // label140
        //
        this->label140->AutoSize = true;
        this->label140->Location =
System::Drawing::Point(187, 283);
        this->label140->Name = L"label140";
        this->label140->Size =
System::Drawing::Size(164, 13);
        this->label140->TabIndex = 30;
        this->label140->Text = L"Conductivité thermique
des tubes";
        this->label140->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label140_Click);
        //
        // label141
        //
        this->label141->AutoSize = true;
        this->label141->Location =
System::Drawing::Point(574, 238);
        this->label141->Name = L"label141";
        this->label141->Size =
System::Drawing::Size(15, 13);
        this->label141->TabIndex = 29;

```



```

        this->label41->Text = L"m";
        this->label41->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label41_Click);
        //
        // label42
        //
        this->label42->AutoSize = true;
        this->label42->Location =

System::Drawing::Point(187, 235);

        this->label42->Name = L"label42";
        this->label42->Size =

System::Drawing::Size(89, 13);

        this->label42->TabIndex = 27;
        this->label42->Text = L"Diametre interieur";
        this->label42->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label42_Click);
        //
        // label43
        //
        this->label43->AutoSize = true;
        this->label43->Location =

System::Drawing::Point(574, 191);

        this->label43->Name = L"label43";
        this->label43->Size =

System::Drawing::Size(15, 13);

        this->label43->TabIndex = 26;
        this->label43->Text = L"m";
        this->label43->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label43_Click);
        //
        // label44
        //
        this->label44->AutoSize = true;
        this->label44->Location =

System::Drawing::Point(187, 188);

        this->label44->Name = L"label44";
        this->label44->Size =

System::Drawing::Size(139, 13);

        this->label44->TabIndex = 24;
        this->label44->Text = L"Diamètre exterieur
d'un tube";
        this->label44->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label44_Click);
        //
        // label45
        //
        this->label45->AutoSize = true;
        this->label45->Location =

System::Drawing::Point(574, 141);

        this->label45->Name = L"label45";
        this->label45->Size =

System::Drawing::Size(44, 13);

        this->label45->TabIndex = 23;
        this->label45->Text = L"W/m² K";
        this->label45->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label45_Click);
        //
        // label46
        //
        this->label46->AutoSize = true;

```

```

        this->label46->Location =
System::Drawing::Point(187, 138);
        this->label46->Name = L"label46";
        this->label46->Size =
System::Drawing::Size(213, 13);
        this->label46->TabIndex = 21;
        this->label46->Text = L"Estimation du
coefficient d'échange externe";
        this->label46->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label46_Click);
        //
        // label47
        //
        this->label47->AutoSize = true;
        this->label47->Location =
System::Drawing::Point(574, 94);
        this->label47->Name = L"label47";
        this->label47->Size =
System::Drawing::Size(44, 13);
        this->label47->TabIndex = 20;
        this->label47->Text = L"W/m² K";
        this->label47->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label47_Click);
        //
        // label48
        //
        this->label48->AutoSize = true;
        this->label48->Location =
System::Drawing::Point(187, 91);
        this->label48->Name = L"label48";
        this->label48->Size =
System::Drawing::Size(210, 13);
        this->label48->TabIndex = 18;
        this->label48->Text = L"Estimation du
coefficient d'échange interne";
        this->label48->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label48_Click);
        //
        // Ventilation
        //
        this->Ventilation->Anchor =
static_cast<System::Windows::Forms::AnchorStyles>((((System::Windows::Forms::AnchorSty
les::Top | System::Windows::Forms::AnchorStyles::Bottom)
|
System::Windows::Forms::AnchorStyles::Left)
|
System::Windows::Forms::AnchorStyles::Right));
        this->Ventilation->Controls->Add(this-
>tabPage6);
        this->Ventilation->Controls->Add(this-
>tabPage1);
        this->Ventilation->Controls->Add(this-
>tabPage2);
        this->Ventilation->Controls->Add(this-
>tabPage5);
        this->Ventilation->Controls->Add(this-
>tabPage3);
        this->Ventilation->Controls->Add(this-
>tabPage4);
        this->Ventilation->ImeMode =
System::Windows::Forms::ImeMode::HangulFull;

```

```

        this->Ventilation->Location =
System::Drawing::Point(-6, 1);
        this->Ventilation->Multiline = true;
        this->Ventilation->Name = L"Ventilation";
        this->Ventilation->RightToLeft =
System::Windows::Forms::RightToLeft::No;
        this->Ventilation->RightToLeftLayout = true;
        this->Ventilation->SelectedIndex = 0;
        this->Ventilation->ShowToolTips = true;
        this->Ventilation->Size =
System::Drawing::Size(1366, 766);
        this->Ventilation->TabIndex = 0;
        this->Ventilation->SelectedIndexChanged +=
gcnew System::EventHandler(this, &Form1::Form1_Load);
        this->Ventilation->ClientSizeChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::Form1_Load);
        this->Ventilation->SizeChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::Form1_Load);
        this->Ventilation->Resize += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::Form1_Load);
        //
        // tabPage6
        //
        this->tabPage6->Controls->Add(this->
>groupBox6);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->button6);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->
>textBox47);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->label83);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->label84);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->
>textBox46);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->label81);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->label82);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->
>textBox45);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->label79);
        this->tabPage6->Controls->Add(this->label80);
        this->tabPage6->Location =
System::Drawing::Point(4, 22);
        this->tabPage6->Name = L"tabPage6";
        this->tabPage6->Size =
System::Drawing::Size(1358, 740);
        this->tabPage6->TabIndex = 5;
        this->tabPage6->Text = L"Flux de chaleur à
évacuer";
        this->tabPage6->UseVisualStyleBackColor =
true;
        //
        // groupBox6
        //
        this->groupBox6->Controls->Add(this->
>textBox44);
        this->groupBox6->Controls->Add(this->label77);
        this->groupBox6->Controls->Add(this->label78);
        this->groupBox6->Location =
System::Drawing::Point(714, 244);
        this->groupBox6->Name = L"groupBox6";
        this->groupBox6->Size =
System::Drawing::Size(499, 78);
        this->groupBox6->TabIndex = 48;

```

```

        this->groupBox6->TabStop = false;
        this->groupBox6->Text = L"Résultat";
        //
        // textBox44
        //
        this->textBox44->Location =
System::Drawing::Point(283, 28);

        this->textBox44->Name = L"textBox44";
        this->textBox44->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);

        this->textBox44->TabIndex = 37;
        this->textBox44->Text = L"1";
        //
        // label77
        //
        this->label77->AutoSize = true;
        this->label77->Location =
System::Drawing::Point(446, 35);

        this->label77->Name = L"label77";
        this->label77->Size =
System::Drawing::Size(18, 13);

        this->label77->TabIndex = 36;
        this->label77->Text = L"W";
        //
        // label78
        //
        this->label78->AutoSize = true;
        this->label78->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 8.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular, System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(0)));
        this->label78->Location =
System::Drawing::Point(44, 33);

        this->label78->Name = L"label78";
        this->label78->Size =
System::Drawing::Size(130, 13);

        this->label78->TabIndex = 35;
        this->label78->Text = L"Flux de chaleur a
évacuer";

        //
        // button6
        //
        this->button6->Location =
System::Drawing::Point(828, 171);

        this->button6->Name = L"button6";
        this->button6->Size =
System::Drawing::Size(184, 46);

        this->button6->TabIndex = 47;
        this->button6->Text = L"OK";
        this->button6->UseVisualStyleBackColor = true;
        this->button6->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::button6_Click);
        //
        // textBox47
        //
        this->textBox47->Location =
System::Drawing::Point(335, 256);

        this->textBox47->Name = L"textBox47";
        this->textBox47->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);

        this->textBox47->TabIndex = 46;

```

```

        this->textBox47->Text = L"1";
        //
        // label83
        //
        this->label83->AutoSize = true;
        this->label83->Location =

System::Drawing::Point(498, 263);

        this->label83->Name = L"label83";
        this->label83->Size =

System::Drawing::Size(29, 13);

        this->label83->TabIndex = 45;
        this->label83->Text = L"J/kg";
        //
        // label84
        //
        this->label84->AutoSize = true;
        this->label84->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 8.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular, System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(0)));
        this->label84->Location =

System::Drawing::Point(96, 261);

        this->label84->Name = L"label84";
        this->label84->Size =

System::Drawing::Size(171, 13);

        this->label84->TabIndex = 44;
        this->label84->Text = L"Enthalpie massique de

l'eau liquide";

        //
        // textBox46
        //
        this->textBox46->Location =

System::Drawing::Point(335, 199);

        this->textBox46->Name = L"textBox46";
        this->textBox46->Size =

System::Drawing::Size(146, 20);

        this->textBox46->TabIndex = 43;
        this->textBox46->Text = L"1";
        //
        // label81
        //
        this->label81->AutoSize = true;
        this->label81->Location =

System::Drawing::Point(498, 206);

        this->label81->Name = L"label81";
        this->label81->Size =

System::Drawing::Size(29, 13);

        this->label81->TabIndex = 42;
        this->label81->Text = L"J/kg";
        //
        // label82
        //
        this->label82->AutoSize = true;
        this->label82->Font = (gcnew
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 8.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular, System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
        static_cast<System::Byte>(0)));
        this->label82->Location =

System::Drawing::Point(96, 204);

        this->label82->Name = L"label82";

```

```

System::Drawing::Size(198, 13);
la vapeur saturée";

System::Drawing::Point(335, 147);
System::Drawing::Size(146, 20);
System::EventHandler(this, &Form1::textBox45_TextChanged);
System::Drawing::Point(498, 154);
System::Drawing::Size(29, 13);
System::Drawing::Font(L"Microsoft Sans Serif", 8.25F,
System::Drawing::FontStyle::Regular, System::Drawing::GraphicsUnit::Point,
static_cast<System::Byte>(0));
System::Drawing::Point(96, 152);
System::Drawing::Size(127, 13);
vapeur";
System::Windows::Forms::AccessibleRole::Window;
System::Drawing::Color::White;
System::Windows::Forms::BorderStyle::Fixed3D;
>groupBox1);
>textBox29);

this->label82->Size =
this->label82->TabIndex = 41;
this->label82->Text = L"Enthalpie massique de
//
// textBox45
//
this->textBox45->Location =
this->textBox45->Name = L"textBox45";
this->textBox45->Size =
this->textBox45->TabIndex = 40;
this->textBox45->Text = L"1";
this->textBox45->TextChanged += gcnew
this->label79->AutoSize = true;
this->label79->Location =
this->label79->Name = L"label79";
this->label79->Size =
this->label79->TabIndex = 39;
this->label79->Text = L"kg/s";
//
// label80
//
this->label80->AutoSize = true;
this->label80->Font = (gcnew
this->label80->Location =
this->label80->Name = L"label80";
this->label80->Size =
this->label80->TabIndex = 38;
this->label80->Text = L"Débit masse de la
//
// tabPage1
//
this->tabPage1->AccessibleRole =
this->tabPage1->AllowDrop = true;
this->tabPage1->BackColor =
this->tabPage1->BorderStyle =
this->tabPage1->Controls->Add(this->label54);
this->tabPage1->Controls->Add(this->label33);
this->tabPage1->Controls->Add(this->label137);

```

```

        this->tabPage1->Controls->Add(this->label50);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->button1);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox3);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox5);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label23);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->
>textBox11);

        this->tabPage1->Controls->Add(this->label24);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->
>textBox16);

        this->tabPage1->Controls->Add(this->label32);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label21);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->
>textBox10);

        this->tabPage1->Controls->Add(this->label22);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label19);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox9);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label20);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label11);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label13);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox6);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label14);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label15);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label16);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox7);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label17);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox8);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label18);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label6);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label7);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label8);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->textBox4);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label9);
        this->tabPage1->Controls->Add(this->label10);
        this->tabPage1->ImeMode =

System::Windows::Forms::ImeMode::On;

        this->tabPage1->Location =

System::Drawing::Point(4, 22);

        this->tabPage1->Name = L"tabPage1";
        this->tabPage1->Padding =

System::Windows::Forms::Padding(3);

        this->tabPage1->Size =

System::Drawing::Size(1358, 740);

        this->tabPage1->TabIndex = 0;
        this->tabPage1->Text = L"Encombrement";
        this->tabPage1->Click += gcnew

System::EventHandler(this, &Form1::tabPage1_Click);
        this->tabPage1->DoubleClick += gcnew

System::EventHandler(this, &Form1::tabPage1_Click);
        //
        // groupBox1
        //
        this->groupBox1->BackColor =

System::Drawing::Color::Transparent;

        this->groupBox1->Controls->Add(this->label86);
        this->groupBox1->Controls->Add(this->label87);
        this->groupBox1->Controls->Add(this->
>textBox2);

        this->groupBox1->Controls->Add(this->label57);
        this->groupBox1->Controls->Add(this->label14);

```

```

>textBox31);
    this->groupBox1->Controls->Add(this->label151);
    this->groupBox1->Controls->Add(this->label131);
    this->groupBox1->Controls->Add(this->label186);
    this->groupBox1->Controls->Add(this->label187);
    this->groupBox1->Location =
    this->groupBox1->Name = L"groupBox1";
    this->groupBox1->Size =
    this->groupBox1->TabIndex = 60;
    this->groupBox1->TabStop = false;
    this->groupBox1->Text = L"Résultats";
    this->groupBox1->Enter += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::groupBox1_Enter);
//
// label186
//
this->label186->AutoSize = true;
this->label186->Location =
System::Drawing::Point(400, 148);
this->label186->Name = L"label186";
this->label186->Size =
System::Drawing::Size(14, 13);
this->label186->TabIndex = 61;
this->label186->Text = L"K";
//
// label187
//
this->label187->AutoSize = true;
this->label187->Location =
System::Drawing::Point(48, 148);
this->label187->Name = L"label187";
this->label187->Size =
System::Drawing::Size(143, 13);
this->label187->TabIndex = 60;
this->label187->Text = L"Température de sortie
de l'air";
//
// textBox2
//
this->textBox2->Location =
System::Drawing::Point(221, 145);
this->textBox2->Name = L"textBox2";
this->textBox2->Size =
System::Drawing::Size(159, 20);
this->textBox2->TabIndex = 59;
//
// label157
//
this->label157->AutoSize = true;
this->label157->Location =
System::Drawing::Point(874, 146);
this->label157->Name = L"label157";
this->label157->Size =
System::Drawing::Size(18, 13);
this->label157->TabIndex = 58;
this->label157->Text = L"m²";

```



```

//
// label4
//
this->label4->AutoSize = true;
this->label4->Location =

System::Drawing::Point(492, 141);

this->label4->Name = L"label4";
this->label4->Size =

System::Drawing::Size(147, 13);

this->label4->TabIndex = 57;
this->label4->Text = L"Estimation de

l\'encombrement";

//
// textBox31
//
this->textBox31->Location =

System::Drawing::Point(694, 141);

this->textBox31->Name = L"textBox31";
this->textBox31->Size =

System::Drawing::Size(159, 20);

this->textBox31->TabIndex = 56;
//
// label51
//
this->label51->AutoSize = true;
this->label51->Location =

System::Drawing::Point(492, 49);

this->label51->Name = L"label51";
this->label51->Size =

System::Drawing::Size(139, 13);

this->label51->TabIndex = 55;
this->label51->Text = L"Nombre de cellules

requis";

this->label51->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label51_Click);
//
// label31
//
this->label31->AutoSize = true;
this->label31->Location =

System::Drawing::Point(48, 49);

this->label31->Name = L"label31";
this->label31->Size =

System::Drawing::Size(46, 13);

this->label31->TabIndex = 54;
this->label31->Text = L"Résultat";
this->label31->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label31_Click);
//
// textBox28
//
this->textBox28->Location =

System::Drawing::Point(685, 42);

this->textBox28->Name = L"textBox28";
this->textBox28->Size =

System::Drawing::Size(159, 20);

this->textBox28->TabIndex = 45;
this->textBox28->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox28_TextChanged_1);
//
// textBox24

```

```

//
this->textBox24->Location =
System::Drawing::Point(221, 46);
this->textBox24->Name = L"textBox24";
this->textBox24->Size =
System::Drawing::Size(159, 20);
this->textBox24->TabIndex = 43;
this->textBox24->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox24_TextChanged_1);
//
// label54
//
this->label54->AutoSize = true;
this->label54->Location =
System::Drawing::Point(439, 375);
this->label54->Name = L"label54";
this->label54->Size = System::Drawing::Size(0,
13);
this->label54->TabIndex = 56;
this->label54->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label54_Click);
//
// label33
//
this->label33->AutoSize = true;
this->label33->Location =
System::Drawing::Point(520, 257);
this->label33->Name = L"label33";
this->label33->Size =
System::Drawing::Size(14, 13);
this->label33->TabIndex = 53;
this->label33->Text = L"K";
this->label33->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label33_Click);
//
// textBox29
//
this->textBox29->Location =
System::Drawing::Point(357, 254);
this->textBox29->Name = L"textBox29";
this->textBox29->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);
this->textBox29->TabIndex = 52;
this->textBox29->Text = L"1";
//
// label37
//
this->label37->AutoSize = true;
this->label37->Location =
System::Drawing::Point(118, 260);
this->label37->Name = L"label37";
this->label37->Size =
System::Drawing::Size(208, 13);
this->label37->TabIndex = 51;
this->label37->Text = L"Température d\'entrée
de la vapeur saturée";
this->label37->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label37_Click);
//
// label50
//

```

```

        this->label150->AutoSize = true;
        this->label150->Location =

System::Drawing::Point(133, 261);

        this->label150->Name = L"label150";
        this->label150->Size = System::Drawing::Size(0,

13);

        this->label150->TabIndex = 50;
        this->label150->Click += gcnew

System::EventHandler(this, &Form1::label150_Click);
        //
        // button1
        //
        this->button1->Location =

System::Drawing::Point(587, 404);

        this->button1->Name = L"button1";
        this->button1->Size =

System::Drawing::Size(131, 39);

        this->button1->TabIndex = 44;
        this->button1->Text = L"OK";
        this->button1->UseVisualStyleBackColor = true;
        this->button1->Click += gcnew

System::EventHandler(this, &Form1::button1_Click_2);
        //
        // textBox3
        //
        this->textBox3->Location =

System::Drawing::Point(357, 204);

        this->textBox3->Name = L"textBox3";
        this->textBox3->Size =

System::Drawing::Size(146, 20);

        this->textBox3->TabIndex = 42;
        this->textBox3->Text = L"1";
        //
        // textBox5
        //
        this->textBox5->Location =

System::Drawing::Point(357, 65);

        this->textBox5->Name = L"textBox5";
        this->textBox5->Size =

System::Drawing::Size(146, 20);

        this->textBox5->TabIndex = 41;
        this->textBox5->Text = L"1";
        //
        // label23
        //
        this->label23->AutoSize = true;
        this->label23->Location =

System::Drawing::Point(826, 305);

        this->label23->Name = L"label23";
        this->label23->Size =

System::Drawing::Size(25, 13);

        this->label23->TabIndex = 40;
        this->label23->Text = L"m/s";
        this->label23->Click += gcnew

System::EventHandler(this, &Form1::label23_Click_1);
        //
        // textBox11
        //
        this->textBox11->Location =

System::Drawing::Point(663, 302);

        this->textBox11->Name = L"textBox11";

```

```

System::Drawing::Size(146, 20);
    this->textBox11->Size =
    this->textBox11->TabIndex = 39;
    this->textBox11->Text = L"1";
    //
    // label24
    //
    this->label24->AutoSize = true;
    this->label24->Location =
System::Drawing::Point(424, 305);
    this->label24->Name = L"label24";
    this->label24->Size =
System::Drawing::Size(74, 13);
    this->label24->TabIndex = 38;
    this->label24->Text = L"Vitesse de l\'air";
    this->label24->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label24_Click_1);
    //
    // textBox16
    //
    this->textBox16->Location =
System::Drawing::Point(965, 249);
    this->textBox16->Name = L"textBox16";
    this->textBox16->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);
    this->textBox16->TabIndex = 36;
    this->textBox16->Text = L"1";
    //
    // label32
    //
    this->label32->AutoSize = true;
    this->label32->Location =
System::Drawing::Point(727, 256);
    this->label32->Name = L"label32";
    this->label32->Size =
System::Drawing::Size(88, 13);
    this->label32->TabIndex = 35;
    this->label32->Text = L"Nombre de rangs";
    this->label32->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label32_Click);
    //
    // label21
    //
    this->label21->AutoSize = true;
    this->label21->Location =
System::Drawing::Point(1128, 205);
    this->label21->Name = L"label21";
    this->label21->Size =
System::Drawing::Size(15, 13);
    this->label21->TabIndex = 31;
    this->label21->Text = L"m";
    this->label21->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label21_Click);
    //
    // textBox10
    //
    this->textBox10->Location =
System::Drawing::Point(965, 201);
    this->textBox10->Name = L"textBox10";
    this->textBox10->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);

```

```

        this->textBox10->TabIndex = 30;
        this->textBox10->Text = L"1";
        //
        // label22
        //
        this->label22->AutoSize = true;
        this->label22->Location =

System::Drawing::Point(733, 208);

        this->label22->Name = L"label22";
        this->label22->Size =

System::Drawing::Size(76, 13);

        this->label22->TabIndex = 29;
        this->label22->Text = L"Altitude du site";
        this->label22->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label22_Click);
        //
        // label19
        //
        this->label19->AutoSize = true;
        this->label19->Location =

System::Drawing::Point(1129, 160);

        this->label19->Name = L"label19";
        this->label19->Size =

System::Drawing::Size(14, 13);

        this->label19->TabIndex = 28;
        this->label19->Text = L"K";
        this->label19->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label19_Click);
        //
        // textBox9
        //
        this->textBox9->Location =

System::Drawing::Point(965, 153);

        this->textBox9->Name = L"textBox9";
        this->textBox9->Size =

System::Drawing::Size(146, 20);

        this->textBox9->TabIndex = 27;
        this->textBox9->Text = L"1";
        //
        // label20
        //
        this->label20->AutoSize = true;
        this->label20->Location =

System::Drawing::Point(726, 160);

        this->label20->Name = L"label20";
        this->label20->Size =

System::Drawing::Size(140, 13);

        this->label20->TabIndex = 26;
        this->label20->Text = L"Température de l'air
ambient";
        this->label20->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label20_Click);
        //
        // label11
        //
        this->label11->AutoSize = true;
        this->label11->Location =

System::Drawing::Point(520, 68);

        this->label11->Name = L"label11";
        this->label11->Size =

System::Drawing::Size(44, 13);

```

```

        this->label11->TabIndex = 25;
        this->label11->Text = L"W/m2 K";
        this->label11->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label11_Click);
        //
        // label13
        //
        this->label13->AutoSize = true;
        this->label13->Location =
System::Drawing::Point(118, 70);
        this->label13->Name = L"label13";
        this->label13->Size =
System::Drawing::Size(206, 13);
        this->label13->TabIndex = 22;
        this->label13->Text = L"Estimation du
coefficient d\'échange global";
        this->label13->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label13_Click);
        //
        // textBox6
        //
        this->textBox6->Location =
System::Drawing::Point(965, 107);
        this->textBox6->Name = L"textBox6";
        this->textBox6->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);
        this->textBox6->TabIndex = 21;
        this->textBox6->Text = L"1";
        this->textBox6->TextChanged += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::textBox6_TextChanged);
        //
        // label14
        //
        this->label14->AutoSize = true;
        this->label14->Location =
System::Drawing::Point(726, 114);
        this->label14->Name = L"label14";
        this->label14->Size =
System::Drawing::Size(93, 13);
        this->label14->TabIndex = 20;
        this->label14->Text = L"Rapport d\'ailetage";
        this->label14->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label14_Click);
        //
        // label15
        //
        this->label15->AutoSize = true;
        this->label15->Location =
System::Drawing::Point(1128, 64);
        this->label15->Name = L"label15";
        this->label15->Size =
System::Drawing::Size(15, 13);
        this->label15->TabIndex = 19;
        this->label15->Text = L"m";
        this->label15->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label15_Click);
        //
        // label16
        //
        this->label16->AutoSize = true;

```

```

this->label16->Location =
System::Drawing::Point(520, 113);
this->label16->Name = L"label16";
this->label16->Size =
System::Drawing::Size(15, 13);
this->label16->TabIndex = 18;
this->label16->Text = L"m";
this->label16->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label16_Click);
//
// textBox7
//
this->textBox7->Location =
System::Drawing::Point(965, 63);
this->textBox7->Name = L"textBox7";
this->textBox7->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);
this->textBox7->TabIndex = 17;
this->textBox7->Text = L"1";
//
// label17
//
this->label17->AutoSize = true;
this->label17->Location =
System::Drawing::Point(726, 66);
this->label17->Name = L"label17";
this->label17->Size =
System::Drawing::Size(141, 13);
this->label17->TabIndex = 16;
this->label17->Text = L"Diamètre extérieur des
tubes";
this->label17->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label17_Click);
//
// textBox8
//
this->textBox8->Location =
System::Drawing::Point(357, 110);
this->textBox8->Name = L"textBox8";
this->textBox8->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);
this->textBox8->TabIndex = 15;
this->textBox8->Text = L"1";
//
// label18
//
this->label18->AutoSize = true;
this->label18->Location =
System::Drawing::Point(118, 117);
this->label18->Name = L"label18";
this->label18->Size =
System::Drawing::Size(101, 13);
this->label18->TabIndex = 14;
this->label18->Text = L"Longueur des tubes";
this->label18->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label18_Click);
//
// label6
//
this->label6->AutoSize = true;

```

```

        this->label6->Location =
System::Drawing::Point(519, 211);
        this->label6->Name = L"label6";
        this->label6->Size = System::Drawing::Size(15,
13);
        this->label6->TabIndex = 13;
        this->label6->Text = L"m";
        this->label6->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label6_Click);
        //
        // label7
        //
        this->label7->AutoSize = true;
        this->label7->Location =
System::Drawing::Point(519, 162);
        this->label7->Name = L"label7";
        this->label7->Size = System::Drawing::Size(15,
13);
        this->label7->TabIndex = 12;
        this->label7->Text = L"m";
        this->label7->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label7_Click);
        //
        // label8
        //
        this->label8->AutoSize = true;
        this->label8->Location =
System::Drawing::Point(118, 205);
        this->label8->Name = L"label8";
        this->label8->Size = System::Drawing::Size(81,
13);
        this->label8->TabIndex = 10;
        this->label8->Text = L"Pas entre tubes";
        this->label8->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label8_Click);
        //
        // textBox4
        //
        this->textBox4->Location =
System::Drawing::Point(357, 156);
        this->textBox4->Name = L"textBox4";
        this->textBox4->Size =
System::Drawing::Size(146, 20);
        this->textBox4->TabIndex = 9;
        this->textBox4->Text = L"1";
        //
        // label9
        //
        this->label9->AutoSize = true;
        this->label9->Location =
System::Drawing::Point(118, 162);
        this->label9->Name = L"label9";
        this->label9->Size =
System::Drawing::Size(102, 13);
        this->label9->TabIndex = 8;
        this->label9->Text = L"Largeur de la cellule";
        this->label9->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label9_Click);
        //
        // label10
        //

```



```

        this->label10->AutoSize = true;
        this->label10->Location =
System::Drawing::Point(134, 159);
        this->label10->Name = L"label10";
        this->label10->Size = System::Drawing::Size(0,
13);
        this->label10->TabIndex = 7;
        this->label10->Click += gcnew
System::EventHandler(this, &Form1::label10_Click);
        //
        // Form1
        //
        this->AllowDrop = true;
        this->AutoScaleDimensions =
System::Drawing::SizeF(6, 13);
        this->AutoScaleMode =
System::Windows::Forms::AutoScaleMode::Font;
        this->AutoSize = true;
        this->AutoValidate =
System::Windows::Forms::AutoValidate::EnableAllowFocusChange;
        this->ClientSize = System::Drawing::Size(1272,
748);
        this->Controls->Add(this->Ventilation);
        this->FormBorderStyle =
System::Windows::Forms::FormBorderStyle::Fixed3D;
        this->Icon =
(cli::safe_cast<System::Drawing::Icon^ >(resources->GetObject(L"$this.Icon")));
        this->Name = L"Form1";
        this->StartPosition =
System::Windows::Forms::FormStartPosition::CenterScreen;
        this->Text = L"AERO-EXPRESS";
        this->Load += gcnew System::EventHandler(this,
&Form1::Form1_Load);

        this->tabPage4->ResumeLayout(false);
        this->tabPage3->ResumeLayout(false);
        this->tabPage3->PerformLayout();
        this->groupBox5->ResumeLayout(false);
        this->groupBox5->PerformLayout();
        this->groupBox4->ResumeLayout(false);
        this->groupBox4->PerformLayout();
        this->tabPage5->ResumeLayout(false);
        this->tabPage5->PerformLayout();
        this->groupBox2->ResumeLayout(false);
        this->groupBox2->PerformLayout();
        this->tabPage2->ResumeLayout(false);
        this->tabPage2->PerformLayout();
        this->groupBox3->ResumeLayout(false);
        this->groupBox3->PerformLayout();
        this->Ventilation->ResumeLayout(false);
        this->tabPage6->ResumeLayout(false);
        this->tabPage6->PerformLayout();
        this->groupBox6->ResumeLayout(false);
        this->groupBox6->PerformLayout();
        this->tabPage1->ResumeLayout(false);
        this->tabPage1->PerformLayout();
        this->groupBox1->ResumeLayout(false);
        this->groupBox1->PerformLayout();
        this->ResumeLayout(false);
    }
#pragma endregion

```

```

        public: System::Void Form1_Load(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e)
    {

    }
    public: System::Void button1_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
    public: System::Void tabPage4_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
    public: System::Void label11_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    public: System::Void label13_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    public: System::Void label9_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }

    public: System::Void label113_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    public: System::Void tabPage1_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    public: System::Void label24_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }

    public: System::Void label23_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }

    public: System::Void label34_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    public: System::Void button1_Click_1(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
    public: System::Void textBox1_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
    public: System::Void label18_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }

    public: System::Void textBox2_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
    public: System::Void button1_Click_2(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {

```

```

        H=System::Convert::ToDouble(this->textBox5->Text);
        L_t=System::Convert::ToDouble(this->textBox8->Text);
        L_c=System::Convert::ToDouble(this->textBox4->Text);
        P=System::Convert::ToDouble(this->textBox3->Text);
        d_ext=System::Convert::ToDouble(this->textBox7->Text);
        r=System::Convert::ToDouble(this->textBox6->Text);
        t_1=System::Convert::ToDouble(this->textBox9->Text);
        Z=System::Convert::ToDouble(this->textBox10->Text);
        v_air=System::Convert::ToDouble(this->textBox11->Text);
        N_rang=System::Convert::ToDouble(this->textBox16->Text);

```

```

F=1;

T_2=System::Convert::ToDouble(this->textBox29->Text);

C_p=1000;
//T_1=318.15;
//F=0.9;
    //T_2=318.15;
    calcul();
    //Console::WriteLine(text);
yass=t_2;
textBox24->Text=System::Convert::ToString(resul);
textBox28->Text=System::Convert::ToString(resul_ar);
textBox31->Text=System::Convert::ToString(S_sol);
textBox2->Text=System::Convert::ToString(yass);
    //ventilation
}
public: System::Void button2_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartArea^ chartArea1 = (gcnew
    System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartArea());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Legend^
legend1 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Legend());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Series^
series1 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Series());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Title^
title1 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Title());
    this->chart1 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Chart());
    (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^ >(this->chart1))-
    >BeginInit();
    this->tabPage4->Controls->Add(this->chart1);
    tab1=gcnew array<double>(15){1,2,3,5,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,150,200};
        tab2=gcnew array<double>(15);
            for (int i = 0; i < tab1->Length; i++)
        {
            t_1=T_1-tab1[i];
            calcul();
            tab2[i]=resul;
        }

        chartArea1->Name = L"ChartArea1";
        this->chart1->ChartAreas->Add(chartArea1);
        legend1->Name = L"Legend1";
        this->chart1->Legends->Add(legend1);

        this->chart1->Name = L"chart1";
        series1->ChartArea = L"ChartArea1";
        series1->ChartType =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::SeriesChartType::Line;
        series1->Legend = L"Legend1";
        series1->Name = L"Series1";
        for (int i = 0; i < tab1->Length; i++)
    {
        series1->Points->AddXY(tab1[i], tab2[i]);
    }

    this->chart1->Series->Add(series1);
    this->chart1->Size = System::Drawing::Size (900, 255);
    this->chart1->Location = System::Drawing::Point (95, 70);
    this->chart1->TabIndex = 0;
}

```

```

        this->chart1->Text = L"chart1";
        chartArea1->AxisX->Title = L"Difference entre la température de la
vapeur et la température ambiante ";
        chartArea1->AxisY->Title = L"Nombre de cellules requises ";

        title1->Name = L"titre1";
        title1->Text = L"Nombre de cellules requises en fonction de la
difference de température (Tce-Tae)";
        this->chart1->Titles->Add(title1);
        this->chart1->BorderlineDashStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartDashStyle::Dot;
        this->chart1->BorderSkin->BorderDashStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartDashStyle::Solid;
        this->chart1->BorderSkin->SkinStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::BorderSkinStyle::Emboss;

        ///tableau 2

        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartArea^
chartArea2 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartArea());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Legend^
legend2 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Legend());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Series^
series2 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Series());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Title^
title2 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Title());
        t_1=System::Convert::ToDouble(this->textBox9->Text);
        calcul();
        this->chart2 = (gcnew
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Chart());
        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^ >(this->chart2))-
>BeginInit();
        this->tabPage4->Controls->Add(this->chart2);
        tabx2=gcnew array<double>(12){5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60};
        taby2=gcnew array<double>(12);

        for (int i = 0; i < tabx2->Length; i++)
        {
            m_vap=tabx2[i];
            Q=m_vap*(H_v-H_l);
            calcul();
            taby2[i]=resul;
        }

        chartArea2->Name = L"ChartArea2";
        this->chart2->ChartAreas->Add(chartArea2);
        legend2->Name = L"Legend2";
        this->chart2->Legends->Add(legend2);

        this->chart2->Name = L"chart2";
        series2->ChartArea = L"ChartArea2";
        series2->ChartType =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::SeriesChartType::Line;
        series2->Legend = L"Legend2";
        series2->Name = L"Series2";
        for (int i = 0; i < tabx2->Length; i++)
        {
            series2->Points->AddXY(tabx2[i], taby2[i]);
        }
    }

```

```

        this->chart2->Series->Add(series2);
        this->chart2->Size = System::Drawing::Size (538, 255);
        this->chart2->Location = System::Drawing::Point (70, 410);
        this->chart2->TabIndex = 0;
        this->chart2->Text = L"chart2";
        chartArea2->AxisX->Title = L"Débit masse de la vapeur d'eau";
chartArea2->AxisY->Title = L"Nombre de cellules requises";

title2->Name = L"titre2";
        title2->Text = L"Nombre de cellules requises en fonction du débit
masse de la vapeur d'eau";
        this->chart2->Titles->Add(title2);
        this->chart2->BorderlineDashStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartDashStyle::Dot;
        this->chart2->BorderSkin->BorderDashStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartDashStyle::Solid;
        this->chart2->BorderSkin->SkinStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::BorderSkinStyle::Emboss;

        //tableau 3
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartArea^
chartArea3 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartArea());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Legend^
legend3 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Legend());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Series^
series3 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Series());
        System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Title^
title3 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Title());
        this->chart3 = (gcnew System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::Chart());
        (cli::safe_cast<System::ComponentModel::ISupportInitialize^ >(this->chart3))-
>BeginInit();
        this->tabPage4->Controls->Add(this->chart3);
        m_vap=System::Convert::ToDouble(this->textBox45->Text);
        Q=m_vap*(H_v-H_l);
        calcul();
        tabx3=gcnew array<double>(9){1,2,3,4,5,6,7,8,9};
        taby3=gcnew array<double>(9);
                for (int i = 0; i < tabx3->Length; i++)
        {
            v_air=tabx3[i];
            calcul_ven();
            taby3[i]=delta_p_air;
        }

        chartArea3->Name = L"ChartArea3";
        this->chart3->ChartAreas->Add(chartArea3);
        legend3->Name = L"Legend3";
        this->chart3->Legends->Add(legend3);

        this->chart3->Name = L"chart3";
        series3->ChartArea = L"ChartArea3";
        series3->ChartType =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::SeriesChartType::Line;
        series3->Legend = L"Legend3";
        series3->Name = L"Series3";
        for (int i = 0; i < tabx3->Length; i++)
    {
        series3->Points->AddXY(tabx3[i], taby3[i]);
    }

```

```

    }

    this->chart3->Series->Add(series3);
    this->chart3->Size = System::Drawing::Size (538, 255);
    this->chart3->Location = System::Drawing::Point (699, 410);
    this->chart3->TabIndex = 0;
    this->chart3->Text = L"chart3";
    chartArea3->AxisX->Title = L"Vitesse faciale de l'air";
    chartArea3->AxisY->Title = L"Pertes de charge à l'exterieur des tubes";

    title3->Name = L"titre3";
    title3->Text = L"Pertes de charge à l'exterieur des tubes en
fonction de la vitesse faciale de l'air";
    this->chart3->Titles->Add(title3);
    this->chart3->BorderlineDashStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartDashStyle::Dot;
    this->chart3->BorderSkin->BorderDashStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::ChartDashStyle::Solid;
    this->chart3->BorderSkin->SkinStyle =
System::Windows::Forms::DataVisualization::Charting::BorderSkinStyle::Emboss;

```

Chart: //Création d'un titre qu'on ajoute à la collection Titles du

```

    }
public: System::Void button3_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {

    H_i=System::Convert::ToDouble(this->textBox23->Text);
    H_e=System::Convert::ToDouble(this->textBox22->Text);
    d_e=System::Convert::ToDouble(this->textBox21->Text);
    d_i=System::Convert::ToDouble(this->textBox20->Text);
    lambda_t=System::Convert::ToDouble(this->textBox13->Text);
    N_g=System::Convert::ToDouble(this->textBox12->Text);
    R_i=System::Convert::ToDouble(this->textBox15->Text);
    R_ee=System::Convert::ToDouble(this->textBox48->Text);

    rap=System::Convert::ToDouble(this->textBox14->Text);
    e_ail=System::Convert::ToDouble(this->textBox34->Text);
    lambda_a=System::Convert::ToDouble(this->textBox35->Text);

    H_1=1/((1/H_e*N_g)+(e_ail*rap/lambda_a) +(((d_e-
d_i)/lambda_t)*(2*rap*d_e/(d_e+d_i)))+((1/H_i)+R_i)*rap*(d_e/d_i ) )+R_ee);
    textBox25->Text=System::Convert::ToString(H_1);
}
public: System::Void button4_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {

    mu_air=System::Convert::ToDouble(this->textBox17->Text);
    R_m=System::Convert::ToDouble(this->textBox26->Text);
    R_v=System::Convert::ToDouble(this->textBox27->Text);
    T_ma=System::Convert::ToDouble(this->textBox19->Text);
    calcul_ven();
    textBox18->Text=System::Convert::ToString(P_vh);
}

```

```

textBox1->Text=System::Convert::ToString(P_v);
textBox32->Text=System::Convert::ToString(puissance);
textBox33->Text=System::Convert::ToString(puissance_h);

    }
    void calcul(){
        T_1=T_2;
        c=powl(10,(-5));
        g=(1-(2.256*c*Z));
        d=powl(g,5.256);
        P_air=d*1.201*293.15/(t_1);
        S_f=L_c*L_t;

        qv_air=(t_1*v_air*S_f)/586.3;

        m=P_air*qv_air;

        S=L_c* N_rang*(M_PI)*d_ext*L_t*r/(P*2);
        R_1=F*H*S/(qv_air*P_air*C_p);
        R_2=1-exp(-R_1);
        t_2=t_1+(R_2*(T_1-t_1));

        a=log1((T_1-t_2)/(T_2-t_1));
        TLM=((T_1-t_2)-(T_2-t_1))/a;
        q=H*S*TLM;

        resul=Q/q;
        resul_ar=ceil(resul);
        S_sol=resul_ar*S_f;
    }

    void calcul_ven(){
        d_v=powl(((0.8*S_f)/M_PI),0.5);
        v_u=(2*qv_air)/(M_PI*d_v*d_v);
        g_max=P_air*v_air;
        c=(d_ext*g_max/mu_air);
        f_a=18.93*powl(c,-0.316)*(powl((P/d_ext),-0.927));

        delta_p_air=(f_a*g_max*g_max*N_rang)/P_air;
        delta_p_dyn=(P_air*v_u*v_u)/2;
        delta_p=delta_p_dyn+delta_p_air;
        P_v=(delta_p*m)/(P_air*R_m*R_v*1000);
        P_vh=(P_v*t_1)/(T_ma);
        puissance=resul_ar*P_v*2;
        puissance_h=resul_ar*P_vh*2;
    }
public: System::Void label52_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox30_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label53_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label54_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }

```

```
public: System::Void label51_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label31_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label33_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox29_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label37_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label50_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox28_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void textBox24_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void textBox3_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void textBox5_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label23_Click_1(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox11_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label24_Click_1(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox16_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label32_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label21_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox10_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label22_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label19_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox9_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label20_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label11_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label12_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox6_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label14_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label15_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
```



```
    }
public: System::Void label16_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox7_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label17_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox8_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label6_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label7_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label8_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox4_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label10_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label5_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void tabPage2_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label49_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox25_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label27_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox14_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label28_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label29_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox15_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label30_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label25_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox12_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label26_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label39_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox13_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^
e) {
    }
public: System::Void label40_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label41_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
```

```

public: System::Void textBox20_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label42_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label43_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox21_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }

public: System::Void label46_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label47_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox23_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label48_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void tabPage5_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox27_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label36_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox26_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label35_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox18_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox19_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void label38_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void textBox17_TextChanged(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void tabPage3_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void tabPage6_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void groupBox1_Enter(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    }
public: System::Void button5_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {
    n_pt=System::Convert::ToDouble(this->textBox36->Text);
    P_c=System::Convert::ToDouble(this->textBox37->Text);
    V_v=System::Convert::ToDouble(this->textBox38->Text);
    f_t=System::Convert::ToDouble(this->textBox41->Text);

    L=System::Convert::ToDouble(this->textBox39->Text);
    d_int=System::Convert::ToDouble(this->textBox40->Text);

```

```

        delta_pt=n_pt*P_c*V_v*V_v*((f_t*L/d_int)+2);

        delta_pr=(f_a*g_max*g_max*N_rang)/P_air;

>Text=System::Convert::ToString(delta_pt);

        textBox42-

        textBox43-

>Text=System::Convert::ToString(delta_pr);

    }

public: System::Void button6_Click(System::Object^ sender, System::EventArgs^ e) {

        m_vap=System::Convert::ToDouble(this->textBox45->Text);
        H_v=System::Convert::ToDouble(this->textBox46->Text);
        H_l=System::Convert::ToDouble(this->textBox47->Text);

        Q=m_vap*(H_v-H_l);
        textBox44->Text=System::Convert::ToString(Q);
    }
private: System::Void textBox19_TextChanged_1(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
private: System::Void textBox24_TextChanged_1(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
private: System::Void textBox28_TextChanged_1(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
private: System::Void textBox45_TextChanged(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
private: System::Void textBox38_TextChanged(System::Object^ sender,
System::EventArgs^ e) {
    }
};
}

```

## Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire consiste d'une part à faire une approche globale du dimensionnement d'un aérocondenseur, dans lequel de la vapeur d'eau subit un changement de phase afin d'être ramenée à l'état liquide, et d'autre part à faire un programme permettant l'automatisation de certains calculs dans le but est de déterminer certains paramètres intervenants dans le dimensionnement de cet équipement.

**Mots clés :** Aérocondenseur, dimensionnement, programme, vapeur d'eau, changement de phase, automatisation.

## Abstract

The work presented in this document is firstly to make a comprehensive approach to the design of an air condenser, in which water vapor undergoes a phase change to be reduced to a liquid state, and secondly to make a program to automate some calculations in order to determine some parameters involved in the design of this equipment.

**Keywords:** air condenser, design, program, water vapor, phase change, automation.