

# TRANSFERTS DE CHALEUR LORS DE CHANGEMENTS DE PHASE

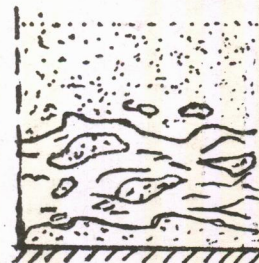
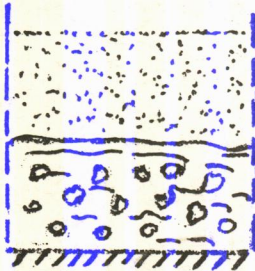
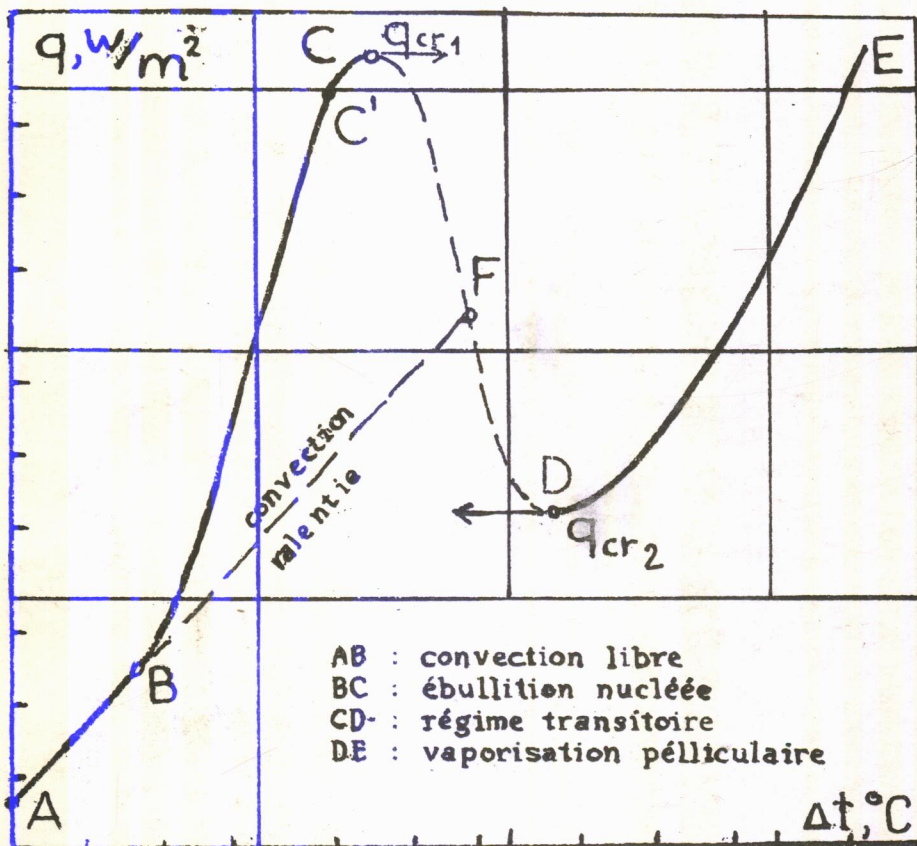


TABLE DES MATIERES

Préface

Notations générales..... 5

Chapitre I.  
TRANSFERT DE CHALEUR LORS D'EBULLITION

1. PHYSIQUE D'EBULLITION.....7

1.1. EBULLITION EN CONVECTION LIBRE ..... 7

1.1.1. Régimes d'ébullition.....8

1.1.2. Ebullition en régime transitoire..... 9

1.1.3. Conclusions ..... 10

1.2. EBULLITION EN CONVECTION FORCEE..... 11

1.3. THEORIE DE LA FORMATION DE BULLE.....13

1.3.1. Loi de Laplace .....13

1.3.2. Résultats d'expériences..... 15

2. TRANSFERT DE CHALEUR

2.1. COEFFICIENTS DE TRANSFERT THERMIQUES ..... 19

2.1.1. Résultats expérimentaux .....19

2.1.2. Théorie de D.Labuntzov ..... 19

2.2. MODES DE CALCUL DES TRANSFERTS THERMIQUES ..... 22

2.2.1. Ebullition nucléée..... 22

2.2.2. Vaporisation pelliculaire ..... 28

2.3. EBULLITION DANS LES TUBES ..... 31

2.3.1. Ebullition nucléée..... 31

2.3.2. Régime transitoire ..... 32

3. FLUX CRITIQUES DE CHALEUR .....34

3.1 FLUX CRITIQUE DE CHALEUR POUR L'EBULLITION EN VASE

3.2. ECHAUFFEMENT CRITIQUE EN EBULLITION FORCEE .....35

3.2.1. Description du phénomène ..... 35

3.2.2. Calculs des flux thermiques ..... 37

4. THERMODYNAMIQUE DES VAPEURS..... 40

4.1. GENERALITES SUR LA FORMATION DES VAPEURS ..... 40

4.2. PARAMETRES D'ETAT DE LA VAPEUR..... 41

4.2.1. Liquide en ébullition ..... 41

4.2.2. Vapeur saturée sèche .....43

4.2.3. Vapeur humide .....44

4.2.4. Vapeur surchauffée .....45

4.3. TRANSFORMATIONS THERMODYNAMIQUES PRINCIPALES  
DES VAPEURS .....46

TRAVAUX DIRIGES n° I ..... 49

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 58

## Chapitre II

### TRANSFERT DE CHALEUR LORS DE CONDENSATION

#### I. THEORIE DE CONDENSATION

##### 1.1. GENERALITES

1.1.1. Description du phénomène 60

1.1.2. Coefficient de condensation 60

##### 1.2. CONDENSATION EN FILM DE LA VAPEUR IMMOBILE

1.2.1. Théorie de NUSSELT 62

1.2.2. Remarques concernant la corrélation de Nusselt 64

##### 1.3. CONDENSATION DU FILM EN HOULE

1.3.1. L'hypothèse de O.KAPITZA 67

1.3.2. Procédé de calcul 68

##### 1.4. ECOULEMENT TURBULENT DU FILM

1.4.1. Equations de base 70

1.4.2. Forme dimensionnelle des équations de base 71

##### 1.5. COMPLEMENTES A LA THEORIE DE NUSSELT

1.5.1. Effet de la surchauffe de vapeur 74

1.5.2. Effet de présence des gaz non condensables 74

1.5.3. Effet du mouvement de vapeur 75

1.5.4. Effet de la géométrie de surface 75

#### EXERCICES n° I 76

#### II. CONDENSATION SUR LES TUBES

##### 2.1. CONDENSATION EN FILM SUR LES TUBES HORIZONTALS

2.1.1. Observations générales 80

2.1.2. Calculs des rideaux de tubes 82

##### 2.2. CONDENSATION A L'INTERIEUR DE TUBES

2.2.1. Physique du phénomène 83

2.2.2. Condensation complète et partielle 84

2.2.3. Corrélation de A.COLBURN 86

##### 2.3. CONDENSATION EN GOUTTES

2.3.1. Physique du phénomène 88

2.3.2. Procédé de calcul du coefficient h 89

#### EXERCICES n° II 91

#### III. CONDENSEURS ET RECHAUFFEURS

##### 3.1. CALCULS DES CONDENSEURS

3.1.1. Généralisation sur la méthode de calcul 96

3.1.2. Calcul d'un condenseur de turbine à vapeur 98

3.1.3. Calcul d'un condenseur de machine frigorifique 99

##### 3.2. CALCULS DES RECHAUFFEURS

3.2.1. Rechauffeurs à tubes horizontaux 102

3.2.2. Rechauffeurs à tubes verticaux 104

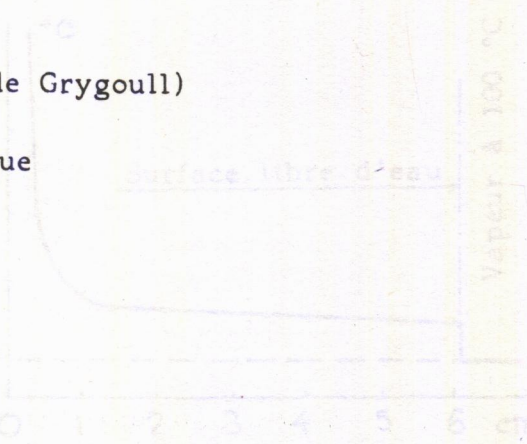
3.3. RECHAUFFEUR A SERPENTIN (procédé de calcul par ordinateur)  
3.3.1. Procédé analytique de solution ..... 106  
3.3.2. Calcul par ordinateur ..... 108

E X E R C I C E S n° III ..... 110

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 119

NOTATIONS GENERALES

- A : constante (voir Chp.II, l'éq.1.12)
- B: constante (voir Chp.II, l'éq.1.10)
- C : chaleur massique
- D, d : diamètres de tube
- F : surface d'échange de chaleur
- G : débit en masse du fluide
- H : hauteur
- h : coefficient de transfert par convection
- K : coefficient de transmission de chaleur global
- m : vitesse massique
- N : puissance
- p : pression hydrostatique
- Q, q<sub>o</sub> : flux de chaleur
- r : chaleur latente de vaporisation
- S : entropie
- T, t° : température, en K ou en °C
- V : volume
- U : vitesse du fluide
- x : titre de vapeur
- Z : longueur réduite de tube (nombre de Grygoull)
- λ : conductivité thermique
- γ, μ : viscosités cinématique et dynamique
- δ : épaisseur
- ρ : masse spécifique
- σ : tension superficielle du liquide



1.1. EBULLITION EN CONVECTION LIBRE

En supposant que toute la chaleur transférée au liquide se fait dépenser à la formation de la vapeur, le régime d'échauffement étant stationnaire, on pose le bilan calorifique

$$G \cdot C_p (T - T_0) = G_v \cdot r \quad (1.2)$$

où G est le débit massique de la vapeur formée sur la paroi chaude et élevée à partir de la surface libre de liquide en haut.