

N° d'ordre : 340

50376
1984
245

50376
1984
245

THÈSE

présentée à

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR - INGENIEUR

(Automatique)

par

Boubakre MIMOUNI
Ingénieur U.S.T.O.



MODELISATION D'UNE ENCOLLEUSE TEXTILE EN VUE DE L'AMELIORATION DE SON FONCTIONNEMENT

5 ex

Thèse soutenue le 27 Février 1984 devant la Commission d'Examen

JURY

Président :
Rapporteur :
Examineurs :

P. VIDAL, Professeur à l'Université de Lille I
M. STAROSWIECKI, Professeur à l'Université de Lille I
L. POVY, Professeur à l'Université de Lille I
P. MICHAUD, Professeur à l'Université de Lille I
J. SEBILLE, Directeur Technique - Ets. NYDEL
R. DAVID, ITF - NORD

SCD LILLE 1



D 030 321821 1

50376
1984
245



A mes Parents

A Saïda, Mohamed, Abdelhafid

AVANT - PROPOS

Le travail de recherche exposé dans ce mémoire a été réalisé au Centre d'Automatique de l'Université des Sciences et Techniques de Lille 1, dirigé par Monsieur le Professeur Pierre VIDAL et aux Etablissements " NYDEL ".

Nous aimerions que tous ceux, qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Il nous est infiniment agréable de remercier Monsieur le Professeur Pierre VIDAL pour l'enseignement qu'il nous a d'abord dispensé, puis pour son accueil au sein d'une équipe de recherche dynamique. Il nous fait un grand honneur en acceptant de présider ce jury.

Nous devons une reconnaissance toute particulière à Monsieur Marcel STAROSWIECKI, Professeur à l'Université des Sciences et Techniques de Lille 1, qui, grâce à sa profonde connaissance des problèmes industriels, nous a orienté sur un sujet d'une valeur pratique indiscutable.

Nous sommes conscient du travail que nous lui avons procuré et nous sommes certain que les mots ne parviendront pas à exprimer toute la chaleur de notre profonde reconnaissance.

Son dynamisme, ses nombreux conseils et sa coopération constante ont assuré une forte cohésion et une saine émulation dans son équipe de recherche. Qu'il sache que nous garderons un très bon souvenir de son amitié et de ses qualités humaines.

Nous remercions tout spécialement Monsieur Lucien POVY, Professeur à l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille, d'avoir bien voulu participer à notre jury. Soulignons l'honneur et le plaisir que sa présence nous procure.

Nous tenons également à remercier très vivement Monsieur DAVID, responsable de la Gestion Technique des Ateliers (tissage) à l'ITF-Nord, pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à notre travail en acceptant de participer à la commission d'examen.

Monsieur Pierre MICHAUD, Professeur à l'Ecole Universitaire d'Ingénieurs de Lille a bien voulu nous faire l'honneur de participer à notre jury de thèse. Qu'il veuille bien trouver ici, le témoignage de notre sincère reconnaissance pour ses conseils et son aide amicale.

Notre travail n'a pu être mené à bien que grâce à la coopération et l'aide amicale de Monsieur Jacques SEBILLE, Directeur Technique de l'entreprise " NYDEL ". Nous le remercions pour avoir bien voulu participer à ce jury.

Nous ne saurions exposer les résultats de notre travail sans exprimer notre profonde gratitude à l'égard de tous ceux qui nous ont permis, par leurs enseignements, leur expérience, ou tout simplement leur amitié, de présenter ce mémoire.

Enfin, nous ne saurions terminer sans une pensée toute spéciale pour celles qui s'évertuent à transformer nos "hiéroglyphes" en documents lisibles. Nous voudrions surtout, traduisant le sentiment de tous, leur exprimer nos remerciements pour leur capacité à "supporter l'humeur pas toujours facile" des chercheurs, avec cette attitude pétillante et cette détermination enjouée, qui caractérisent si bien nos chères "Michèle" et "Annick".

P L A N

- AVANT - PROPOS

- INTRODUCTION GENERALE

I - PRESENTATION DU PROCESSUS ET INFLUENCE DE SES PARAMETRES

II - ANALYSE STATISTIQUE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

III - MODELE MECANIQUE

IV - MODELE THERMODYNAMIQUE

V - MOYENS DE VALIDATION DES MODELES ET METHODES D'IDENTIFICATION

VI - PROPOSITIONS POUR L'AMELIORATION DU SYSTEME

- CONCLUSION GENERALE

- ANNEXES

S O M M A I R E

	Page
INTRODUCTION GENERALE	14
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU PROCESSUS ET INFLUENCE DE SES PARAMETRES	

Introduction	25
I.1 - <u>Description de la machine</u>	
I.1.1. - Le cantre ou le râtelier	26
I.1.2. - Le système d'alimentation ou d'entrée	26
I.1.3. - La bache à colle	27
I.1.4. - Le séchoir à cylindres ou tambours	29
I.1.5. - La séparation.....	30
I.1.6. - L'ensouplage	31
I.2 - <u>Les produits d'encollage et leurs applications</u>	
I.2.1. - Les colles	35
I.2.1.1. - Produits à base naturelle.....	35
I.2.1.2. - Produits à base synthétique	36
I.2.2. - Les adjuvants	37
I.2.2.1. - Hygroscopiques.....	37
I.2.2.2. - Antirétrogradants	37
I.2.2.3. - Antisepiques	37
I.2.2.4. - Lubrifiants et adoucissants	38
I.2.2.5. - Antistatiques.....	38
I.2.3. - Principe de préparation de la colle d'encollage	38
I.2.3.1. - Colles à base de produits amylicés.....	38
I.2.3.2. - Colles solubles sans gélatinisation.....	39
I.2.4. - Les aspects pratiques de la rhéologie des colles	40
I.2.4.1. - Caractéristiques rhéologique	41
I.2.4.2. - Etude de l'effet de changements de conditions sur le comportement rhéologique	41

	Page
I.3 - <u>Influence des principaux paramètres régissant l'encollage des fils</u>	
I.3.1. - Influence des tensions à l'encollage	42
I.3.2. - Influence de la vitesse d'encollage	42
I.3.3. - Influence de la pression d'exprimage	45
I.3.4. - Influence de la colle	47
I.3.4.1. - Effet de la température de colle	47
I.3.4.2. - Effet de la concentration et de la viscosité	47
I.3.5. - Influence de la densité de la chaîne	49
I.3.6. - Influence d'autres paramètres secondaires	51
 I.4 - <u>Conclusion</u>	
 BIBLIOGRAPHIE	 53
 CHAPITRE II : ANALYSE STATISTIQUE EN COMPOSANTES PRINCIPALES -----	
Introduction	60
 II.1 - <u>Analyse du problème</u>	
 II.2 - <u>Méthode d'analyse en composantes principales</u>	
II.2.1. - Position du problème	62
II.2.2. - Méthode de l'analyse en composantes principales	64
II.2.2.1. - Calcul du centre de gravité G du nuage	65
II.2.2.2. - Calcul de la matrice d'inertie	65
II.2.2.3. - Projection du nuage de points N sur un espace principal de dim K.	 67
 II.3 - <u>Applications</u>	
II.3.1. - Présentation du listing	70
II.3.2. - Interprétation des résultats	76
 II.4 - <u>Conclusion</u>	
 BIBLIOGRAPHIE	 81

CHAPITRE III : MODELE MECANIQUE

Introduction	84
III.1 - <u>Modélisation</u>	
III.1.1. - But et intérêt de cette modélisation	86
III.1.2. - Allongement et coefficient d'allongement.....	86
III.1.3. - Tension d'une bande de matière : Loi de HOOKE.....	88
III.1.4. - Exemple de calcul de tensions mécaniques	89
III.1.4.1. - Chaîne cinématique	89
III.1.4.2. - Système global Enroulement - Déroulement	90
III.1.5. - Système complet	92
III.1.6. - Calcul des moments d'inertie	96
III.1.6.1. - Moment d'inertie $J (\theta_e)$	96
III.1.6.2. - Moment d'inertie $J (\theta_d)$	96
III.1.6.3. - Moment d'inertie des cylindres sécheurs	97
III.1.6.4. - Moment d'inertie des autres rouleaux...	97
III.1.7. - Calcul du rayon d'enroulement $R (\theta_e)$	97
III.1.8. - Calcul du rayon de déroulement $R (\theta_d)$	99
III.1.9. - Détermination de la masse $M (\theta_e)$	99
III.1.9.1. - Calcul de la longueur enroulée $L_e (\theta_e)$	100
III.1.10. - Détermination de la masse $m (\theta_d)$	101
III.1.10.1. - Calcul de la longueur déroulée $L_d (\theta_d)$	102
III.1.11. - Frein pneumatique (frein à sangle)	104
III.2 - <u>Modèle complet</u>	
III.3 - <u>Conclusion</u>	
Bibliographie	108

	Page
<u>CHAPITRE IV : MODELE THERMODYNAMIQUE</u>	
Introduction	114
IV.1 - <u>Les divers procédés de séchage</u>	
IV.1.1. - Séchage par contact	116
IV.1.2. - Séchage par convection	116
IV.1.3. - Séchage par rayonnement	116
IV.2 - <u>Le séchoir à cylindres</u>	
IV.3 - <u>Modélisation du procédé</u>	
IV.3.1. - Construction d'un modèle stationnaire	119
IV.3.1.1. - Ecriture du modèle mathématique	119
IV.3.1.2. - Calcul des coefficients de transferts....	130
IV.3.1.3. - Etude du séchage d'un matériau poreux ...	136
IV.3.1.4. - Energie de liaison de l'eau et des fibres	136
IV.3.2. - Modèle complet	138
IV.3.2.1. - Modèle "contact matière - métal "	139
IV.3.2.2. - Modèle "sans contact".....	140
IV.4 - <u>Conclusion</u>	
Bibliographie	141
<u>CHAPITRE V : MOYENS DE VALIDATION DES MODÈLES ET MÉTHODES D'IDENTIFICATION</u>	
Introduction	146
V.1 - <u>Mesures nécessaires à la validation des modèles</u>	
V.1.1. - Modèle mécanique	147

	Page
V.1.1.1. - Mesures	147
V.1.2. - Modèle thermodynamique	151
V.1.2.1. - Mesures	152
V.1.2.2. - Matériel utile, emplacement des capteurs	154
 V.2 - <u>Méthodes d'identification</u>	
V.2.1. - Présentation du problème	157
V.2.2. - Algorithmes d'adaptation	158
V.2.2.1. - Méthode de " HOOKE et JEEVES "	162
V.2.2.2. - Méthode de ROSENBROCK	162
V.2.2.3. - Méthode du gradient	162
V.2.2.4. - Méthode de POWELL	163
 V.3 - <u>Conclusion</u>	
 Bibliographie	165
 <u>CHAPITRE VI : PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DU SYSTÈME</u>	
 Introduction	170
 VI.1 - <u>Minimisation des efforts</u>	
VI.1.1. - Efforts mécaniques dûs à la tension	170
VI.1.1.1. - Modèle mécanique	170
VI.1.1.2. - Limites élastiques et modèle mécanique.....	173
VI.1.2. - Efforts mécaniques dûs à la séparation	174
VI.1.2.1. - Séparation humide simple	180
VI.1.2.2. - Séparation humide prolongée	182
 VI.2 - <u>Augmentation de la vitesse de défilement de la nappe</u>	
VI.2.1. - Pré-séchage	184
VI.2.1.1. - Chauffage aux rayons infra-rouges	184
VI.2.1.2. - Chauffage par haute fréquence	184

	Page
VI.2.2. - Diminution de l'humidité de sortie à l'encollage	185
VI.2.2.1. - Haute pression d'exprimage	186
VI.2.2.2. - Avantages de la haute pression d'exprimage ..	186
VI.2.3. - Séchage	187
VI.2.3.1. - Séchage à fils disjoints	187
VI.2.3.2. - Nombre de cylindres-sécheurs	188
VI.2.3.3. - Problème de surséchage sur les lisières	188
 VI.3 - <u>Conclusion</u>	
 Bibliographie	 191
 <u>Conclusion Générale</u>	 196
 Annexes :	
1) Etude de l'effet de changements de conditions sur le comportement rhéologique	198
2) Calcul des moments d'inertie	207
3) Calcul des tensions au niveau de chaque sous-système .	212
4) Tables	218

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le processus de fabrication des produits textiles comporte un grand nombre d'opérations, depuis la filature jusqu'à la confection.

Une phase très importante de ce processus est constituée par le tissage et les opérations de préparation correspondante : ourdissage et encollage. La FIGURE 1 montre la place de cette phase dans le processus général.

L'ourdissage est une étape au cours de laquelle les chaînes destinées au tissage, sont mises en place sur les ourdissoirs.

L'encollage est un apprêt passager, qui a principalement pour mission de donner aux fils de chaîne un enrobage destiné à les rendre lisses, et à les renforcer pour pouvoir mieux faire face aux efforts auxquels ils sont soumis pendant le tissage: la FIGURE 2 met en évidence un test dynamométrique sur différentes mèches encollées et non encollées; le résultat obtenu montre l'importance des tensions que peut supporter une mèche encollée, qu'une mèche qui ne l'est pas d'où l'intérêt de l'encollage.

Il est important que l'enrobage de colle soit uniformément réparti sur toute la surface du fil et pénètre tout aussi uniformément dans le fil, de manière à coller la bande de fibres dans son intimité pour augmenter la solidité du fil.

Cette définition met en évidence deux aspects fondamentaux de l'encollage, il faut :

- *qu'il apporte une augmentation de la capacité naturelle des fils de chaîne à subir les différents types de sollicitation régissant le tissage.*
- *qu'il soit aisément "démontable" afin de ne pas gêner l'ennoblissement ultérieur notamment en teinture.*

La transformation de la matière première en fils, puis en fils encollés, enfin en tissus, se réclame d'une technologie ingénieuse tout à l'honneur de l'esprit inventif de l'homme.

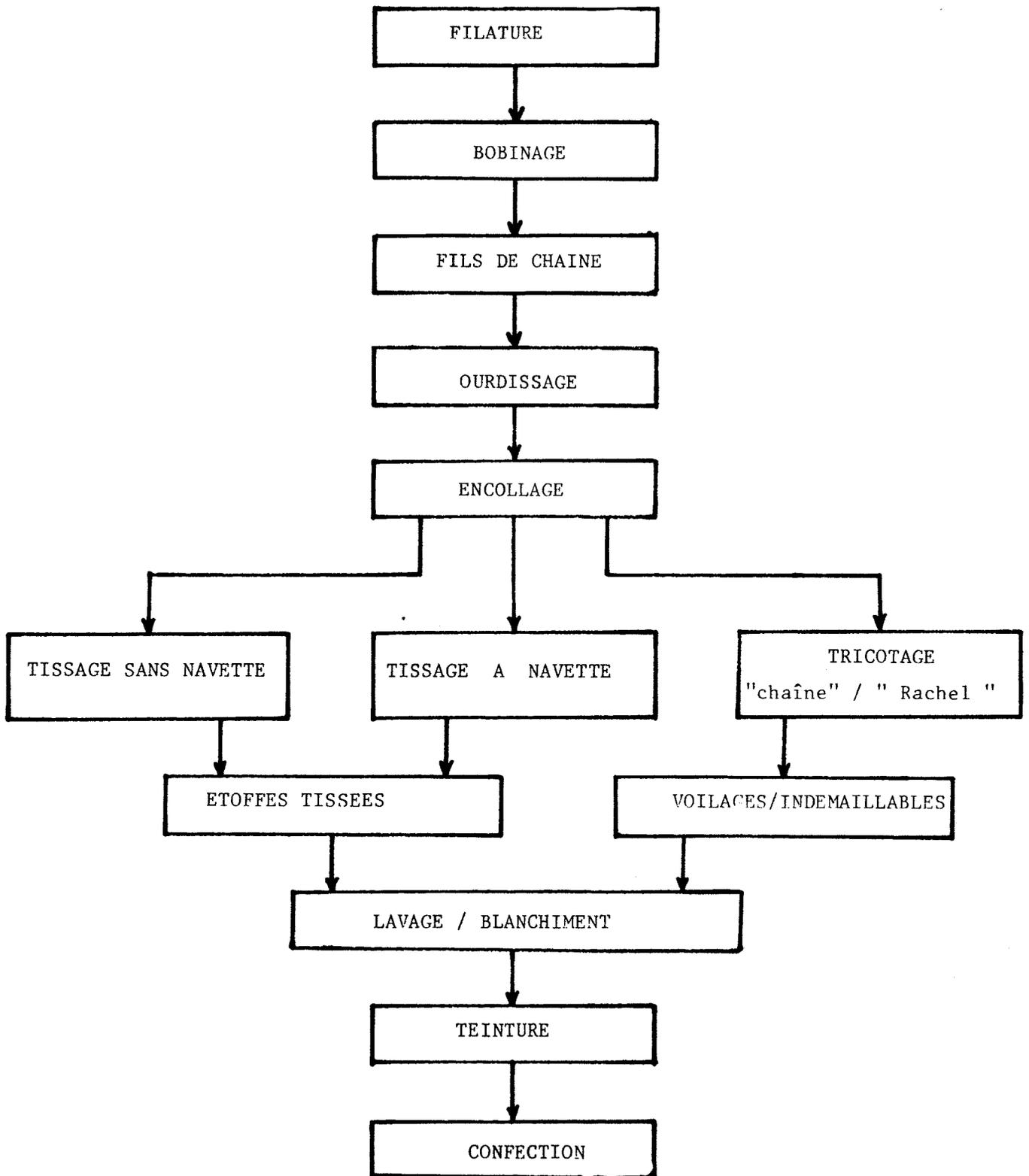
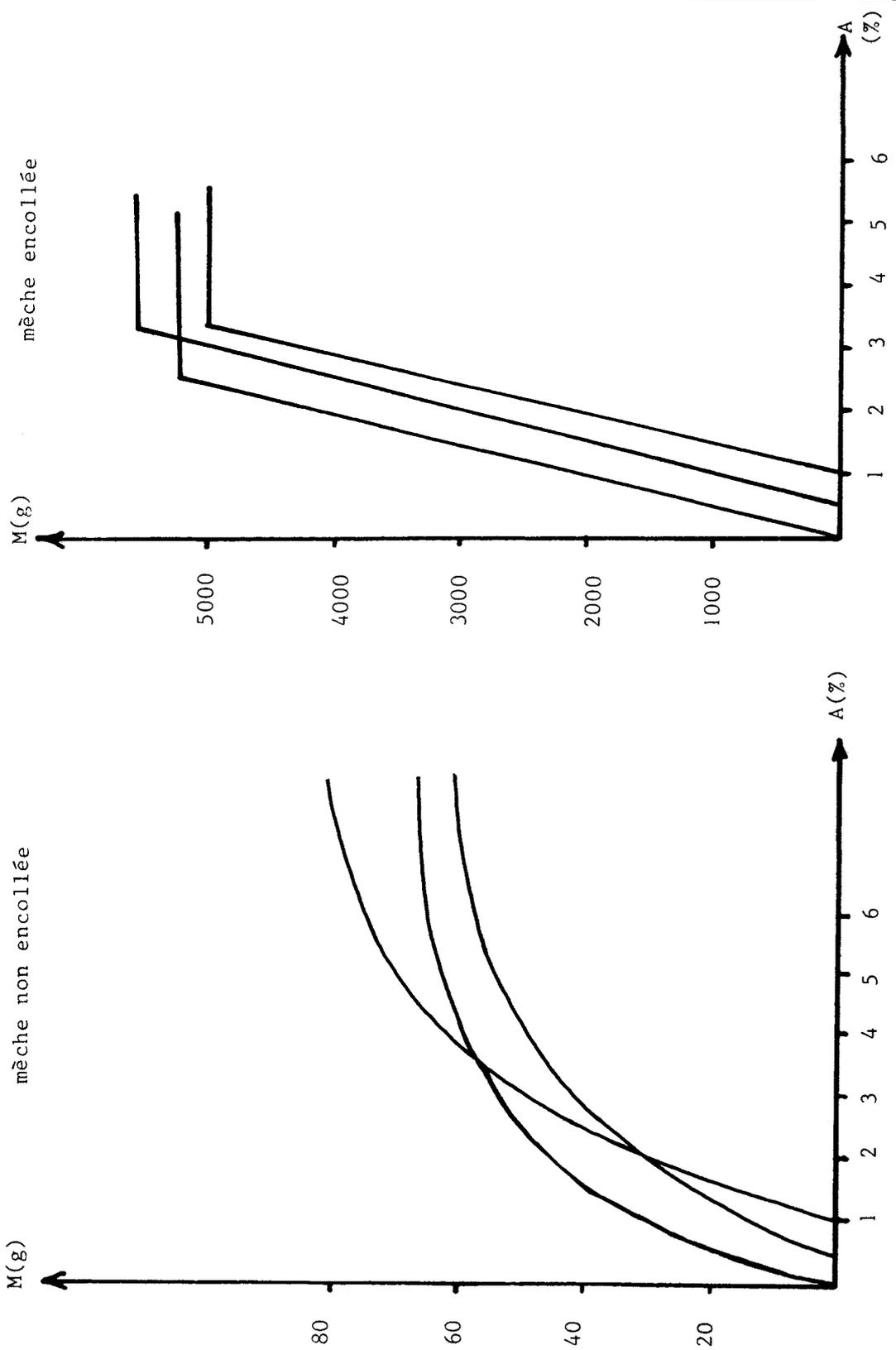


FIG. 1 : PROCESSUS DE FABRICATION DES TEXTILES

On se trouve devant le fait, que si les machines principales de l'industrie textile fonctionnent depuis longtemps, le traitement des fibres dans ces machines n'a cependant été étudié pratiquement d'une manière scientifique que depuis la dernière guerre.

FIG.2 : ALLURES DE DIAGRAMME DYNAMOMETRIQUE



Les développements dans le domaine de production des filés, la préparation des fils et de la chaîne, l'application de nouveaux agents d'encollage ont été le point de départ pour une nouvelle conception des dispositifs d'encollage.

Avec l'apport des méthodes et techniques nouvelles de l'encollage, avec l'augmentation de la performance au tissage résultant de l'introduction de l'automatisation; les exigences de la chaîne de tissage ont augmenté de façon correspondante. Parallèlement, augmentaient également les conditions technologiques auxquelles devait également correspondre la colle utilisée.

Dans le domaine de l'encollage pour le tissage, un effort considérable de recherche a été fait, afin de déterminer pour différentes chaînes le taux d'encollage et les conditions d'application de colle qui permettent à la nappe d'être tissée sans tendance à la rupture ...

Le résultat général le plus important est que pour chaque type de tissu et pour chaque type de colle appliquée sur le fil par un équipement d'encollage donné, il existe un taux d'encollage optimal pour le tissage.

Mais le tissu pose au métier à tisser, en tant que machine de production un problème très particulier qui est celui de la menace constante d'arrêts. Chaque arrêt nécessitant une remise en route, impose une intervention manuelle du tisserand.

Or chacun de ces milliers de fils (2000 à 10 000) dispose d'un pouvoir d'arrêt absolu par sa probabilité de casse.

Les arrêts d'un métier à tisser sont conditionnés pour l'essentiel par les ruptures de fils de trame et de chaîne.

Un fil de chaîne (qui est l'objet de notre étude) peut casser pour diverses raisons. Avant de les énumérer, il faut remonter à la source, c'est-à-dire d'abord à la première opération d'obtention du fil:

- Filature : un mauvais étirage entraîne des défauts dans le fil
(le diamètre n'est pas constant sur toute la longueur)
Par ailleurs, la qualité du fil est très fortement liée à celle de la matière première .
- Ourdissage : pendant cette opération à grande vitesse, les défauts de filature conduisent à des casses fréquentes.

La remise en route se fait par nouage manuel (noeuds mal faits la plupart du temps). D'autre part, au cours de l'ourdissage, tous les fils ne sont pas soumis à la même tension nécessaire à leur enroulement. Certains fils, soumis à des tensions trop fortes perdent de leur élasticité et peuvent casser à l'encollage et surtout au tissage.

- Encollage : des fils faibles rompent sous des tensions mécaniques irrégulières. Si l'encollleur s'en aperçoit, il réagit en faisant un noeud, sinon il remet le fil sur l'ensouple d'enroulement.
C'est ce que l'on appellera au tissage arrêt dû à un fil manquant ou montant.
- Tissage : les fils mal encollés ou surencollés (le surencollage provoque le poudrage), les fils qui ont perdu de leur élasticité, les fils adjacents collés entre eux par des fibrilles occasionnent des arrêts très fréquents des métiers à tisser.
N'oublions pas aussi les à coups provoqués par certains rouleaux sur ces machines.

Les tensions fortes, les noeuds, la fatigue du fil, la cadence des battements viennent s'ajouter à ces causes. Pour terminer citons d'autres causes plus connues des spécialistes du tissage : boutons, moletors, déchets, vrilles, duvets, fils croisés, fils de lisière...

Mais la réparation des casses en chaîne ne constitue pas l'unique charge d'un tisserand et toutes les casses en chaîne elles-mêmes, ne sont pas systématiquement le fait d'un encollage insuffisant ... par ailleurs, il semble raisonnable de supposer qu'en "marche normale" de référence, les taux de casse soient déjà faibles, disons pour citer un ordre de grandeur, inférieurs à une casse par métier-heure; l'apparition d'une casse peut donc être considérée comme un évènement rare, par conséquent régie par une loi statistique du type "Poisson".

Si l'encollage n'apporte pas une amélioration significative de l'aptitude au tissage, il vaut mieux ne pas encoller car l'éventuel et minimal gain en productivité au tissage, ne justifie pas les dépenses correspondant à l'encollage et au désencollage qu'il ne faut pas oublier dans un pareil bilan !

En général, une entreprise de textile souhaite obtenir :

- à l'encollage :

- . *Un rendement optimal sur encolleuse qui se traduit par une production importante de rouleaux encollés par jour, donc une grande vitesse d'encollage, tout en respectant les conditions de fonctionnement de la machine.*
- . *Un bon encollage de la chaîne de fils, c'est-à-dire tout juste suffisant pour ne pas nuire au tissage et au désencollage.*

- au tissage :

- . *il faut que la nappe de fils se tisse bien avec un haut rendement sur métier à tisser, pouvant se réaliser avec moins de casses de fil donc moins d'arrêts de la machine de production.*
- . *l'article obtenu soit de bonne qualité.*

Ce travail est consacré à la modélisation d'une encolleuse, dans le but de proposer certaines améliorations de son fonctionnement.

- Dans un premier chapitre, nous décrivons l'encolleuse et les différentes parties constituant la machine, ainsi qu'un ensemble de produits et de matériels utilisés, leurs applications et leurs fonctions propres dans l'encollage textile. Enfin, terminent ce chapitre, les principaux paramètres agissant à l'encollage, donc dont dépend étroitement l'aptitude au tissage.
- Le deuxième chapitre présente un certain nombre de résultats acquis à partir d'une analyse statistique. Connaissant les conditions d'encollage d'un certain nombre de rouleaux ainsi que la répartition des casses observées au tissage, nous avons effectué une analyse en composantes principales des données d'encollage, sur laquelle deux classes d'ensouples ont été reportées :

*taux de casses faibles (< 2500) ou importants (> 10 000)
pour un million de duites.*

Cette étude a permis d'orienter la modélisation vers la prise en compte des tensions (modèle mécanique) et du séchage (modèle thermodynamique).

- Le troisième chapitre est consacré à l'étude théorique d'un modèle mécanique, permettant de calculer les différentes tensions appliquées à la nappe de fils tout au long de la machine. Pour ce faire, l'équation de la dynamique d'un système en rotation, mettant en jeu les couples appliqués et résistants, est utilisée. Le modèle met en évidence le profil des angles de rotation de déroulement θ_d et d'enroulement θ_e à chaque instant, en fonction des variables de commande C_m et C_f , et certains paramètres caractérisant la matière comme le nombre de fils constituant la chaîne, les masses linéiques ρ_1 et ρ_2 , les variations des rayons et des masses des rouleaux, ...
- Nous consacrons le quatrième chapitre à la recherche du modèle mathématique de thermodynamique (séchoir à cylindres rotatifs) en régime permanent. Ce modèle de connaissance simplifié, en tenant compte de certaines hypothèses, est obtenu à partir de relations qui existent entre la température et l'humidité du fil et les paramètres de fonctionnement comme la vitesse de la machine, la pression et la température de vapeur dans les cylindres, les conditions

hygrométriques de l'air, ...

- Au cinquième chapitre, nous présenterons les différentes mesures nécessaires, à relever sur le processus réel, et les difficultés (l'emplacement, le choix et la disponibilité des capteurs, le nombre de mesures ...) qui se poseront pour leur obtention afin d'identifier les coefficients inconnus figurant dans les deux modèles mathématiques établis. Ensuite nous énumérons certaines méthodes numériques d'identification pour déterminer les valeurs optimales de ces paramètres vis à vis d'un critère de minimisation J .

- Le sixième chapitre présente un certain nombre de propositions déduites de l'établissement des deux modèles qui, en principe, permet d'améliorer le fonctionnement du processus (amélioration obtenue par simulation et constatation de "l'état" du processus par rapport à son fonctionnement nominal). Nous citerons d'autres solutions qui, à nos yeux, pourront faire leurs preuves tant dans le domaine de l'encollage que du tissage et par conséquent satisfaire l'industriel.

PRÉSENTATION DU PROCESSUS

ET

INFLUENCE DE SES PARAMÈTRES

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DU PROCESSUS ET INFLUENCE DE SES PARAMÈTRES

INTRODUCTION

I.1 - DESCRIPTION DE LA MACHINE

- I.1.1. - Le cantre ou le râtelier
- I.1.2. - Le système d'alimentation ou d'entrée
- I.1.3. - La bache à colle
- I.1.4. - Le séchoir à cylindres ou tambours
- I.1.5. - La séparation
- I.1.6. - L'ensouplage

I.2 - LES PRODUITS D'ENCOLLAGE ET LEURS APPLICATIONS

- I.2.1. - Les colles
 - I.2.1.1. - *Produits à base naturelle*
 - I.2.1.2. - *Produits à base synthétique*
- I.2.2. - Les adjuvants
 - I.2.2.1. - *Hygroscopiques*
 - I.2.2.2. - *Antirétrogradants*
 - I.2.2.3. - *Antiseptiques*
 - I.2.2.4. - *Lubrifiants et adoucissants*
 - I.2.2.5. - *Antistatiques*
- I.2.3. - Principe de préparation de la colle d'encollage
 - I.2.3.1. - *Colles à base de produits amylicés*
 - a - cuisson en vase ouvert
 - b - cuisson en autoclave
 - c - homogénéiseurs
 - I.2.3.2. - *Colles solubles sans gélatinisation*

I.2.4. - Les aspects pratiques de la rhéologie des colles

I.2.4.1. - *Caractérisation rhéologique*

I.2.4.2. - *Etude de l'effet de changements de conditions
sur le comportement rhéologique*

I.3 - INFLUENCE DES PRINCIPAUX PARAMETRES REGISSANT L'ENCOLLAGE DES FILS

I.3.1. - Influence des tensions à l'encollage

I.3.2. - Influence de la vitesse d'encollage

I.3.3. - Influence de la pression d'exprimage

I.3.4. - Influence de la colle

I.3.4.1. - *Effet de la température de colle*

I.3.4.2. - *Effet de la concentration et de la viscosité de colle*

I.3.5. - Influence de la densité de la chaîne

I.3.6. - Influence d'autres paramètres secondaires

I.4 - CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DU PROCESSUS ET INFLUENCE DE SES PARAMÈTRES

INTRODUCTION

En 1803, T. JOHNSON déposa un brevet britannique sur la première machine à encoller [13].

Depuis, l'évolution des techniques a permis d'améliorer de plus en plus la machine. En particulier, l'approfondissement des connaissances concernant la physique du processus s'est traduit par une amélioration de sa conception et de sa conduite.

En effet, l'apparition de l'automatique dans l'industrie textile, il y a une vingtaine d'années, s'est surtout située au niveau de la commande de la machine.

L'encolleuse a deux fonctions principales à savoir l'encollage et le séchage des fils textiles auxquelles viennent s'ajouter d'autres opérations secondaires pour compléter ces traitements thermiques.

Le principe du processus étant simple, nous pouvons le résumer ainsi : sous l'effet d'une force de traction, les ensouples se déroulent pour former à la sortie du cantre une nappe de fils jointifs qui entre dans un bain de colle chauffé à une température constante. La chaîne de fils est exprimée (ou essorée) à l'aide de rouleaux exprimeurs pour ne laisser qu'un dépôt de colle convenable sur le fil.

La nappe de fils étant mouillée, est séchée sur des tambours rotatifs alimentés par de la vapeur saturée. A la sortie du séchoir, un degré d'humidité est choisi et contrôlé par un système agissant sur la vitesse de la machine.

Ensuite, une opération de séparation intervient pour décoller les fils entre eux. Enfin, la chaîne de fils est enroulée, prête pour le tissage.

I.1 - DESCRIPTION DE LA MACHINE

Pour en savoir plus sur cette machine, voyons la description de ses sous-systèmes : FIG.3 .

I.1.1. - Le cantre ou le râtelier d'ensouples d'ourdissoir

C'est un support des rouleaux d'ourdissage en nombre variable selon le compte en fils de chaîne. Il peut comprendre jusqu'à douze rouleaux. Il est rare qu'un rouleau d'ourdissage dépasse 800 à 900 fils, par conséquent, pour des chaînes à forte densité de fils et en grande largeur on réunit jusqu'à 12, 14 et même 20 rouleaux d'ourdissage.

On applique à ces rouleaux un couple de freinage (frein à sangle) pour réguler le mouvement de la chaîne de fils.

Le déroulement des fils s'effectue théoriquement avec une force de traction constante sur toute l'étendue du diamètre des ensouples. La tension des fils préalablement choisie reste également maintenue lors d'un changement de vitesse de la machine.

Les ensouples ne continuent pas à tourner lors même d'un arrêt brusque et aucune surcharge de la matière ne se produit au moment du démarrage.

I.1.2. - Le système d'alimentation ou d'entrée

Il est composé de 3 rouleaux dont un de gros diamètre appelé transporteur, et deux autres plus petits, appelés presseur et mesureur.

L'ensemble de cette disposition est protégé par une grille. Ce dispositif, qui se trouve à la sortie du râtelier, permet de choisir et de maintenir théoriquement constante la tension d'entrée T_e des fils. Le gros cylindre est entraîné par un variateur de vitesse pour la commande de la tension et pour que la chaîne ne parvienne qu'avec très peu ou sans étirage dans le bac à colle.

I.1.3. - La bache à colle

Le premier but de l'encolleuse, étant le dépôt de colle sur les fils de chaîne, la bache à colle représente l'un des éléments les plus importants de cette machine. L'installation d'encollage est équipée d'un bac en acier inoxydable et de rouleaux ayant chacun une fonction propre.

Beaucoup de colles sont corrosives et il est de ce fait important que toutes les parties métalliques qui sont en contact avec la colle soient réalisées en matériaux inoxydables.

La circulation de la colle est réalisée par l'intermédiaire de la conduite de colle. Le liquide arrive dans l'avant - bache du dispositif d'encollage.

La colle est aspirée de l'avant-bache à travers le tamis et par l'intermédiaire du tuyau répartiteur, est refoulée par la pompe dans la bache principale. La colle qui n'a pas été absorbée par la chaîne de fils, retourne dans l'avant-bache par le trop-plein.

Le maintien constant dans la bache principale d'un niveau de colle réglé au préalable est d'une importance capitale pour l'encollage régulier des chaînes.

Les températures de bains de colle se situent généralement dans la zone $60^\circ - 85^\circ\text{C}$. Elles sont fonction des produits utilisés mais surtout de la nature des fils.

Le régulateur automatique de température dont la sonde plonge dans la colle, règle automatiquement le chauffage indirect par bain-marie à l'eau chaude et le chauffage direct par serpentin de chauffe perforé dans le bac à colle. Les deux méthodes de chauffage peuvent être arrêtées séparément.

La chaîne textile, en quittant le système d'alimentation, arrive sur le rouleau de détour, passe sous le premier cylindre immergé, pour être amenée dans le premier train de rouleaux-exprimeurs, enlace le deuxième rouleau plongeur et après passage entre la deuxième paire des rouleaux-essoreurs, quitte le bac à colle pour accéder au système sécheur par un rouleau de guidage.

Les deux cylindres immergés avec revêtement en caoutchouc "Perbunan" qui doivent plonger et guider la chaîne dans la colle avec éventuellement un effet d'exprimage latéral, sont équipés d'un dispositif permettant de les relever et de les enfoncer.

Cette double disposition produit indubitablement une meilleure absorption de la colle du fait que les deux faces de la chaîne sont en contact avec la colle.

Un réglage trop profond des rouleaux immergés peut provoquer un roulage du fil par suite des serpentins de chauffage disposés dans le fond du bac.

Les rouleaux exprimeurs assurent l'essorage des fils de chaîne. La première paire est formée d'un rouleau d'encollage inférieur en acier inoxydable, et d'un rouleau d'exprimage supérieur avec revêtement "Perbunan". La deuxième paire est identique à la première, sauf que le rouleau supérieur est à revêtement "Becafloor". Ces garnitures sont des élastomères. Le dispositif de réglage automatique pour la pression d'essorage fonctionne par des moyens pneumatiques avec ajustage séparé de la pression effective désirée pour la marche normale et la marche au ralenti de 0 à 800 Kp.

I.1.4. - Le séchoir à cylindres ou tambours

Il est utilisé pour des chaînes aussi bien de coton et de fibranne, que de soie artificielle et de fils synthétiques.

Suivant la production demandée, le séchoir est généralement livré avec 3 à 13 tambours. Leur nombre est toujours impair.

La chaîne encollée arrive sur le séchoir par l'intermédiaire d'un rouleau de détour, logé devant le premier cylindre et qui fait en même temps office de rouleau de mesurage de la tension au mouillé T_m .

Un dispositif de mesurage semblable, mais pour la tension à sec T_s , a été placé derrière le dernier tambour à la sortie du séchoir.

Le séchoir est entraîné depuis la "tête" par l'intermédiaire d'un arbre longitudinal et d'engrenages coniques. A partir de ces derniers, l'entraînement de tous les cylindres s'effectue par une chaîne commune. Cette disposition rend possible la compensation d'éventuelles différences de tensions lors du séchage de la chaîne textile.

Le chauffage est à la vapeur saturée. Les cylindres de séchage sont conçus pour une pression de vapeur maximale de $3,5 \text{ Kg/cm}^2$. La plus forte température d'utilisation admise est de 165°C . Celle-ci est contrôlée par un thermomètre dont la sonde pénètre à l'intérieur du tambour.

Du fait du collage des chaînes sur les cylindres, faisant immédiatement suite à la bache à colle, ces derniers sont recouverts d'un enduit de Téflon. Ce "téflonage" résiste parfaitement bien aux influences chimiques, mais il est très sensible aux efforts mécaniques.

Les deux ou trois premiers cylindres les plus rapprochés de la bache à colle effectuent la majeure partie du séchage et provoquent la condensation d'une quantité de vapeur plus élevée, car c'est en cet endroit que le fil est le plus mouillé.

L'eau condensée, provenant du refroidissement des tambours est évacuée à l'aide d'un tube syphon, relié à un tube métallique flexible, vers un pot de condensation. Ce purgeur doit l'évacuer sans retard. La quantité d'eau condensée varie énormément, car elle est conditionnée par le processus de séchage (par exemple les arrêts).

Le séchoir à conduction externe est installé sous une hotte recueillant la vapeur qui se dégage à la surface des rouleaux et qui est ensuite évacuée en circuit ouvert grâce à un ventilateur installé dans la cheminée.

Des capteurs d'humidité en sortie mesurent et règlent l'humidité par accélération ou ralentissement de la vitesse de passage des matières dans l'encolleuse.

I.1.5. - La séparation

A la sortie du séchoir, après le régulateur de tension à sec T_s et les capteurs d'humidité, se trouve placé un dispositif d'encirage, sur lequel passe la nappe de fil. Ce système a l'avantage d'encirer le revêtement de colle qui est encore chaud, ce qui provoque un séchage rapide de la cire. La quantité de recouvrement en cire γ est limitée parce que des quantités supérieures à 1,5% peuvent mener à des sédimentations sur le peigne d'expansion. Du procédé d'encirage, on s'attend à obtenir plusieurs effets. Généralement, on veut atteindre une augmentation du rendement durant le processus de tissage, qui est obtenu par la diminution des casses de fil et des défauts de toutes sortes.

Après l'encirage, on procède à une "séparation" qui consiste à diviser la nappe pour décoller les fils collés durant le séchage. Plus les fils ont été fortement collés entre eux, plus la tension nécessaire pour les séparer, est importante.

Cette opération est réalisée à l'aide de baguettes fixes de différents diamètres.

A la suite, se trouve un peigne à écartement réglable, destiné à présenter la nappe de fils, selon la largeur exacte d'ensouplage afin d'assurer un renvidage à épaisseur uniforme.

I.1.6. - L'ensouplage

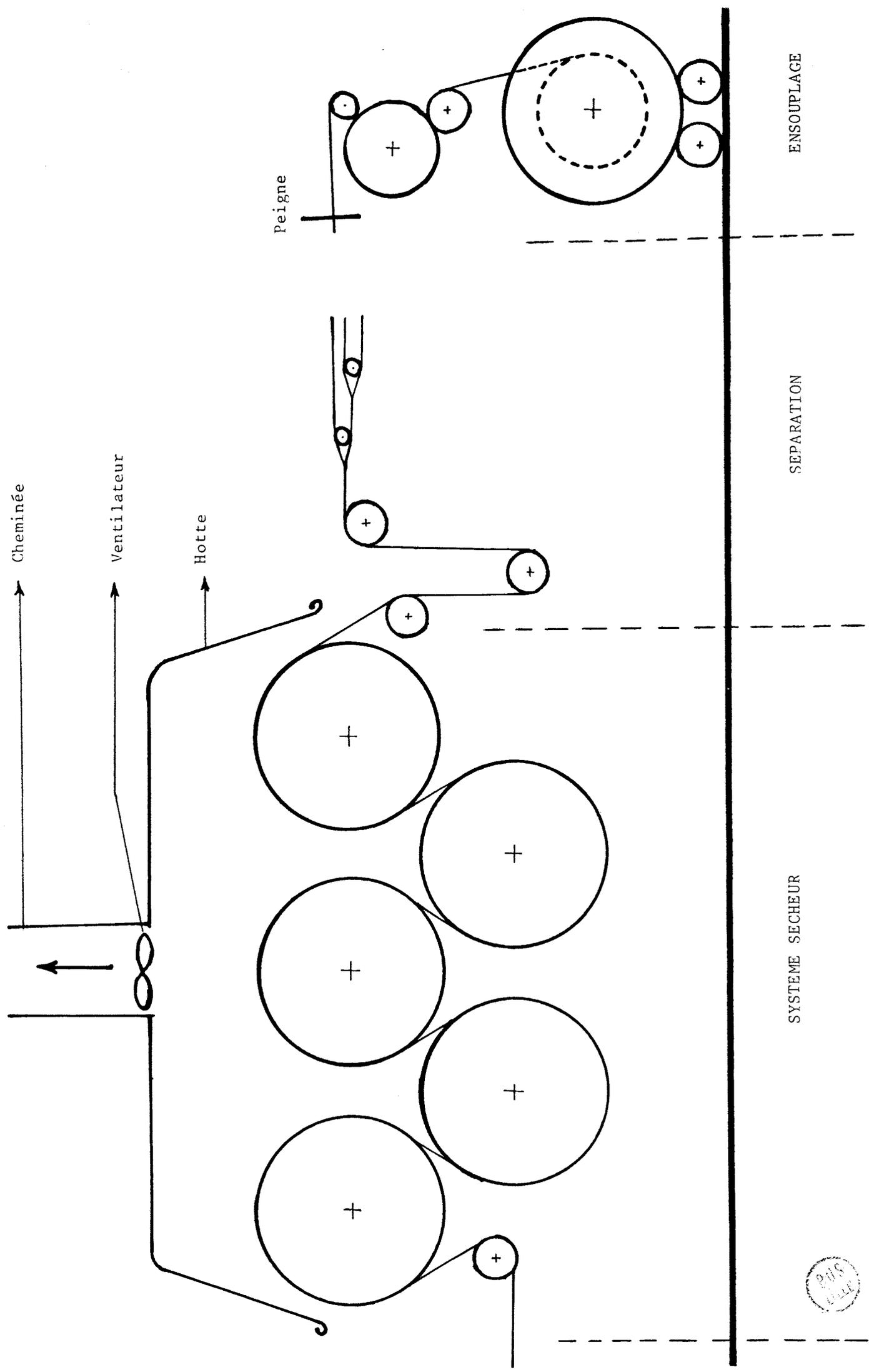
C'est la dernière opération de ce processus. Venant du séchoir, la chaîne textile arrive à l'ensoupleuse en passant par le champ de séparation. Elle est reconduite par le peigne et enlace successivement le rouleau presseur, le rouleau transporteur et le rouleau mesureur.

A partir de là, la chaîne est conduite en forme de boucle autour du rouleau de régulation vers le rouleau de va-et-vient subissant un déplacement latéral de 0 à 32 mm qui permet une répartition parfaite des fils sur l'ensouple de tissage.

Au cours de l'enroulement, on applique de fortes pressions contre l'ensouple de tissage, à l'aide de galets presseurs, afin de l'affermir et de l'égaliser. Ceux-ci sont également utilisés pour le montage et le démontage des ensouples.

Le rouleau de matière ainsi obtenu, sera utilisé sur les métiers à tisser soit directement, soit après un certain séjour en salle, pour obtenir un taux convenable d'humidité du fil.

Les conditions de traitements physiques et mécaniques sur l'encolleuse régissent pour une grande part l'efficacité de l'encollage. Ce n'est que si les paramètres physiques de l'encolleuse sont bien réglés que l'on peut espérer optimiser l'effet de colles ...



SYSTEME SECHEUR

SEPARATION

ENSOUPLEMENT



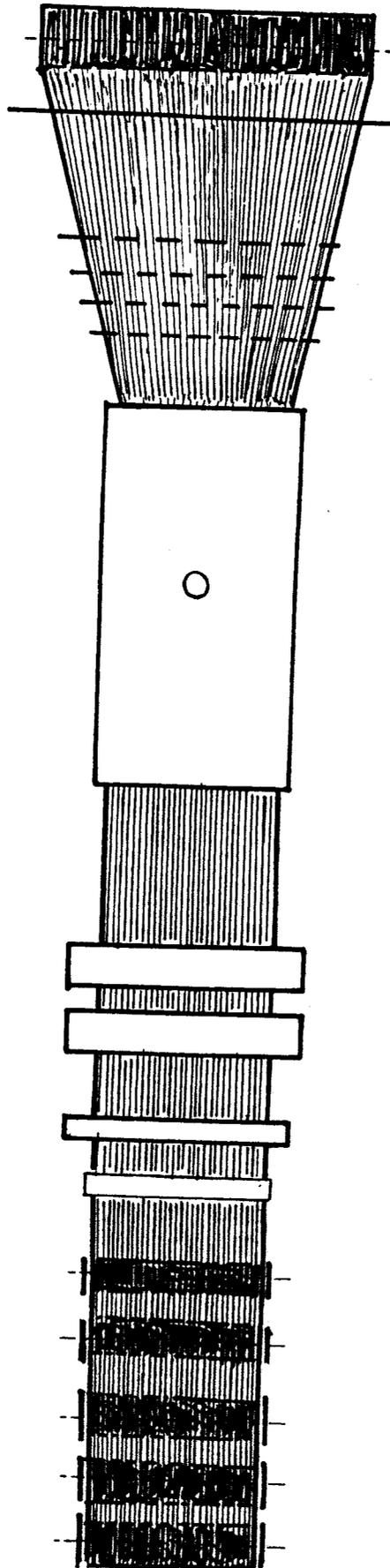


FIG.4 : ENCOLLEUSE EN NAPPE
(Vue de dessus)



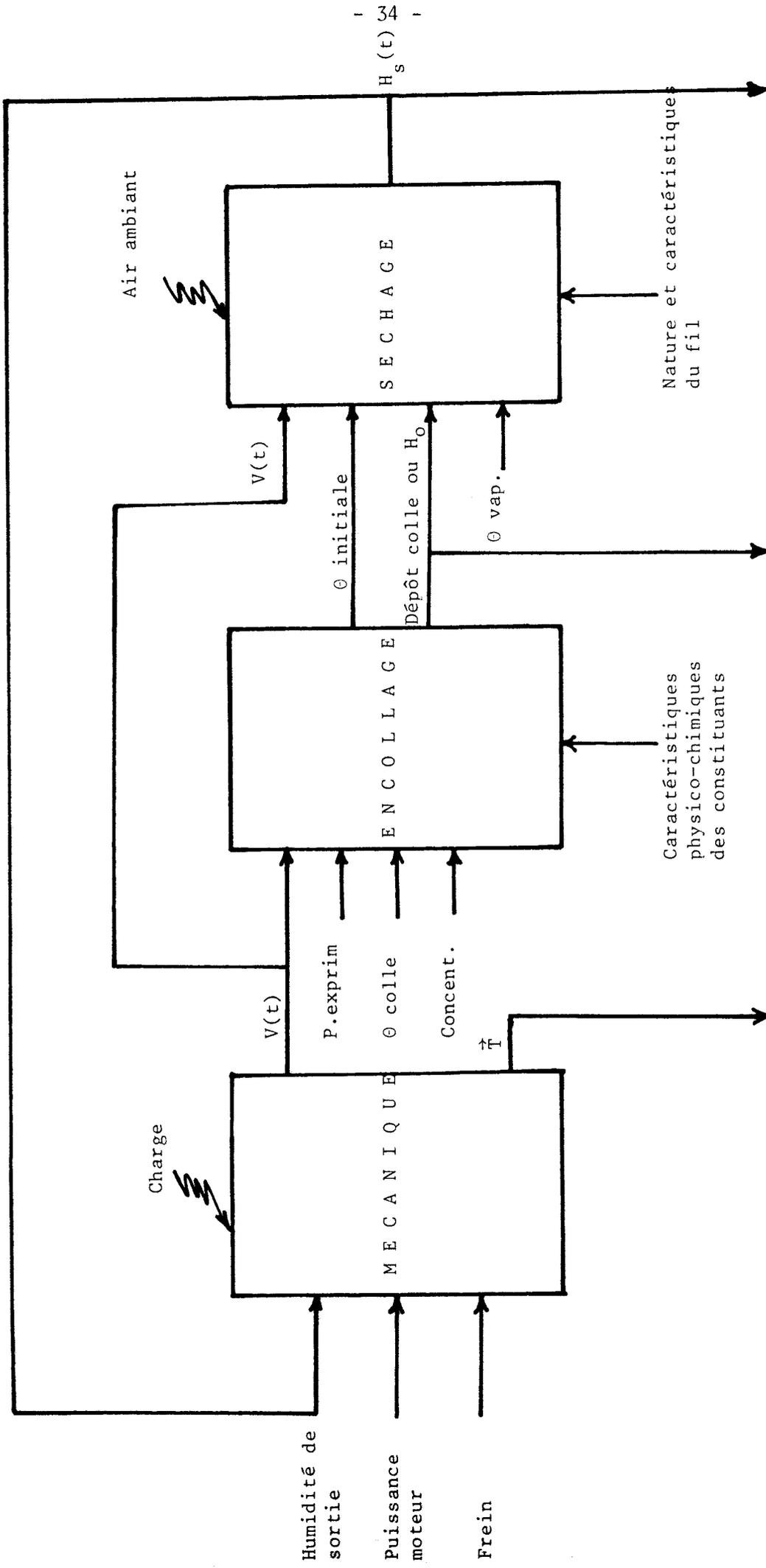


FIG.5 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU FONCTIONNEMENT DE L'ENCOLLEUSE



I.2 - LES PRODUITS D'ENCOLLAGE ET LEURS APPLICATIONS

Jusqu'à l'après guerre, on utilisait pour l'encollage essentiellement des substances naturelles plus ou moins modifiées.

Ces dernières années, apparaissent sur le marché des produits de synthèse, à côté d'autres substances artificielles; tandis que la gélatine et l'huile de lin tendent à disparaître complètement dans ce domaine d'utilisation.

Ce qui détermine le maintien et/ou le développement d'un type de produit relève de trois aspects |19|:

- . évidemment l'efficacité d'encollage
- . la facilité de "démontage" au désencollage
- . le prix, qui reste encore un facteur très important

I.2.1. - Les colles

Nous passerons en revue les principaux types de produits, qui à l'heure actuelle, sont déjà utilisés industriellement.

On les divise en deux groupes : l'un à base naturelle et l'autre à base synthétique. | 28,29 |.

I.2.1.1. - Produits à base naturelle

On peut les classer comme suit :

- colles de protéine : il s'agit de colle animale qu'on peut obtenir par l'hydrolyse des os et des peaux. Elles conviennent tout particulièrement aux chaînes de viscosse et de rayonne d'acétate.

- colles d'amidon : ce sont des produits appelés amylicés qui englobent les féculés (de pomme de terre) et les amidons (de maïs). Ces derniers sont de loin les meilleurs en ce qui concerne la force de collage. Elles sont utilisées sur des chaînes de coton ou de fibranne.

- colles cellulósiques : elles ont un champ d'application très vaste; elles sont caractérisées par un très bon pouvoir de formation de film et par une force adhésive et de liage élevée.
On les utilise pour l'encollage de rayonne viscosé et acétate, certains filés retors synthétiques, filés de fibranne et de laine ainsi que les chaînes de coton.

I.2.1.2. - Produits à base synthétique

On les divise en trois catégories :

- alcool polyvinylique : on récupère ces colles en saponifiant les acétates de polyvinyl. Elles ont un pouvoir excellent de formation de film, ainsi qu'une force adhésive élevée. Le domaine d'utilisation va pratiquement des rayones viscosé et acétate jusqu'aux synthétiques.

- copolymères acryliques : ils s'adaptent à toutes les exigences techniques. Les films restent élastiques, extensibles et libres d'adhésivité. Les chaînes de coton et de fibranne sont encollées avec ces colles.

- copolymère d'acide de maléine de styrol : ce groupe n'a aujourd'hui qu'une importance limitée.

Avec leur prix relativement bas et la multiplicité des transformations possibles, les produits amylicés offrent de grandes possibilités pour améliorer la productivité aussi bien dans l'opération de l'encollage, que dans le tissage et le désencollage.

L'élaboration de dérivés fluides et particulièrement des éthers et esters d'amidon de viscosité correctement choisie, a apporté de grandes augmentations de vitesse dans les traitements, avec une amélioration de la régularité à tous les stades . | 24,27 |

I.2.2. - Les adjuvants

Ces produits sont très variés. On y trouve les formules complexes traditionnelles.

I.2.2.1. - Hygroscopiques

Pour éviter on réduire le surséchage en encollage, ou pour obtenir une plus grande plastification (par l'eau) au tissage; on emploie des hygroscopiques :

- glycérine, sorbitol, glucose
- urée, thiourée, etc ...

I.2.2.2. - Antirétrogradants

Ces produits freinent la rétrogradation de l'amylose en formant des complexes qui stabilisent la forme en hélice de la molécule d'amylose par insertion dans l'âme de cette hélice.

Les produits qui conviennent sont des acides gras, des esters, certains corps gras modifiés ou non.

I.2.2.3. - Antiseptiques

Ces produits doivent empêcher la formation des moisissures au sein des chaînes encollées en cours de stockage, à l'état humide.

I.2.2.4. - Lubrifiants et adoucissants

Ces vocables désignent des produits qui diminuent le coefficient de friction apparent (lubrifiant) et réduisent le module d'élasticité (adoucissant).

S'ils entrent dans la composition d'un bain de colle, ils seront éventuellement utilisés en présence d'un dispersant (suractif). Distribués de façon homogène dans la colle, ils réduisent son pouvoir adhésif, ont des effets adoucissant et aussi lubrifiant.

On utilise essentiellement des graisses, des cires, des huiles, du suif,

I.2.2.5. - Antistatiques

Ces produits sont utilisés pour réduire la tendance à la charge électrostatique des chaînes encollées (ex. sels d'ammonium organique).

I.2.3. - Principe de préparation de la colle d'encollage

La préparation des colles revêt une importance particulière quant on considère que la régularité et l'uniformité des dépôts de colle en dépendent.

On considère deux cas :

- les colles à base de produits amylicés nécessitant une cuisson
- les colles à base de produits de synthèse, qu'il suffit en général de dissoudre.

I.2.3.1. - Colles à base de produits amylicés

a) Cuisson en vase ouvert
=====

Elle peut se faire en vase dit ouvert, c'est-à-dire à la pression

atmosphérique. Le chauffage s'effectue le plus souvent à la vapeur directe; toutefois celle-ci ne remplace pas le brassage même lent mais efficace qui est souhaitable pour obtenir une colle homogène.

La montée en température (à 95°C) se fait en général en 15 mn à 30 mn.

b) Cuisson en autoclave

=====

Dans ce cas, la durée de la préparation peut être réduite. En ce qui concerne la montée en température, la durée dépend des installations et des consommations possibles de vapeur.

Toutefois si l'on monte très haut (160° - 180 °C) il y a risque d'hydrolyser de manière sensible l'amidon avec une augmentation de la concentration dès la remise en vase ouvert.

c) Homogénéiseurs

=====

Ce sont des appareils qui font subir à l'amidon les efforts d'énormes contraintes de cisaillement : la colle est forcée au travers d'un faible orifice. La viscosité apparente est relativement faible.

Ces appareils nécessitent une grande puissance mécanique et s'ils donnent plus facilement une colle homogène, celle-ci n'a pas de propriétés bien différentes de celles de colle obtenue de façon classique.

I.2.3.2. - Colles solubles sans gélatinisation

Si les colles sont livrées en solutions concentrées, il suffit de les diluer le plus souvent à l'eau à 40 - 50°C sous agitation, même faible, pourvu que l'homogénéisation ait lieu.

Le plus souvent, les produits se présentent sous forme pulvérulente : pour une bonne dispersion, il est nécessaire de faire tomber en pluie sous forte agitation (turbine rapide).

Les colles peuvent être préparées soit en vase ouvert, soit en autoclave, soit encore à l'aide d'homogénéiseurs. Le plus souvent, tous les ingrédients sont introduits dès la mise en oeuvre de la préparation. L'addition tardive d'un adjuvant entraîne un risque de dispersion non homogène.

Une cuisson convenablement conduite peut être obtenue par automatisation de toutes les opérations, y compris la mise en route d'une masse donnée de produit.

I.2.4. - Les aspects pratiques de la rhéologie des colles d'encollage

Les colles d'encollage constituent des systèmes dont l'utilisation met en jeu des conditions d'écoulement extrêmement variées. De plus, ces systèmes correspondent à des substances de nature macromoléculaires dispersées dans l'eau essentiellement, à des concentrations pour lesquelles ces systèmes perdent le caractère newtonien qu'ils pourraient avoir à la rigueur pour les très fortes dilutions. Cela signifie que le rapport entre les contraintes appliquées et les gradients de vitesse cesse d'être une constante : par conséquent, il est illusoire de caractériser les colles par une valeur de "viscosité" unique comme dans le cas de systèmes newtoniens | 19, 21, 22 |.

Les problèmes posés par l'encollage sont de natures diverses. Ainsi, on peut distinguer deux aspects types que nous nous proposons d'aborder ici :

- la caractérisation rhéologique pour définir d'abord les comportements aux divers modes de sollicitation d'écoulement en cours d'encollage.
- l'étude de l'effet de changements de conditions d'encollage sur le comportement rhéologique et sur le résultat pratique de l'encollage.

I.2.4.1. - Caractérisation rhéologique

Elle suppose tout d'abord la définition des conditions d'écoulement. Logiquement, on est amené à considérer d'abord le cas le plus simple, l'écoulement laminaire, c'est-à-dire en couches parallèles se déplaçant parallèlement à elles-mêmes.

En fait, au niveau de l'exprimage, on peut raisonnablement admettre que l'écoulement soit assez voisin de l'écoulement laminaire pour ne pas considérer les cas de régimes tourbillonnaires, mixtes ou complexes [14].

- systèmes newtoniens vrais : dans ce cas, la viscosité η est une constante;

donc il suffit d'effectuer une seule mesure de contrainte pour un gradient de vitesse quelconque donné pour en déduire la viscosité.

- systèmes non-newtoniens : que constituent généralement les colles d'encollage,

le rapport η entre les contraintes et les gradients de vitesse correspondants n'est pas constant.

I.2.4.2. - Etude de l'effet de changements de conditions sur le comportement rhéologique

cf. ANNEXE 1

I.3 - INFLUENCE DES PRINCIPAUX PARAMETRES REGISSANT L'ENCOLLAGE DES FILS

Des études effectuées depuis 1945 à travers le monde ont permis de mettre en évidence les principaux facteurs agissant à l'encollage. Par leurs valeurs optimales, dont dépend largement cet apprêt, la chaîne de fils supportera sans difficultés les sollicitations du tissage.

I.3.1. - Influence des tensions à l'encollage

Pendant ce traitement, la nappe de fils est soumise à différentes tensions mécaniques. Monsieur SCHUTZ [19] a montré que l'influence des tensions appliquées durant l'encollage et surtout au séchage et à l'ensouplage est déterminante : l'allongement à la rupture aussi bien que l'élasticité et que la résistance à l'abrasion sont fortement compromis par l'application d'une tension trop élevée à l'encollage.

Inversement, l'application des tensions minimales au trempage, au séchage et à l'ensouplage permet, notamment dans le cas des matières textiles cellulosiques, de régénérer les capacités d'allongement, d'élasticité et de résistance à l'abrasion, du fait de la relaxation dont bénéficient les matières textiles dans ces conditions.

Il faut, bien entendu, maintenir les différentes tensions constantes quelle que soit la vitesse de la machine, même lorsque celle-ci est arrêtée. | 31,32,33 |.

La figure FIG.6 montre le test de l'élasticité du fil : pour avoir 100% de casses (50 casses), il faut environ un nombre de 5000 cycles pour le fil noté A_+ , qui se comporte mieux que les fils B_0 et C_- .

I.3.2. - Influence de la vitesse d'encollage

La vitesse d'encollage est un paramètre important et aux aspects multiples :

- vitesse de régime (de marche)
- accélération et décélération
- vitesse lente pendant les manoeuvres de manutention ou de réparation des fils
- bien souvent la régulation du séchage à siccité constante est réalisée en faisant varier la vitesse de marche.

Il est donc indispensable de connaître l'incidence de ce paramètre sur l'encollage et notamment sur les quantités déposées.

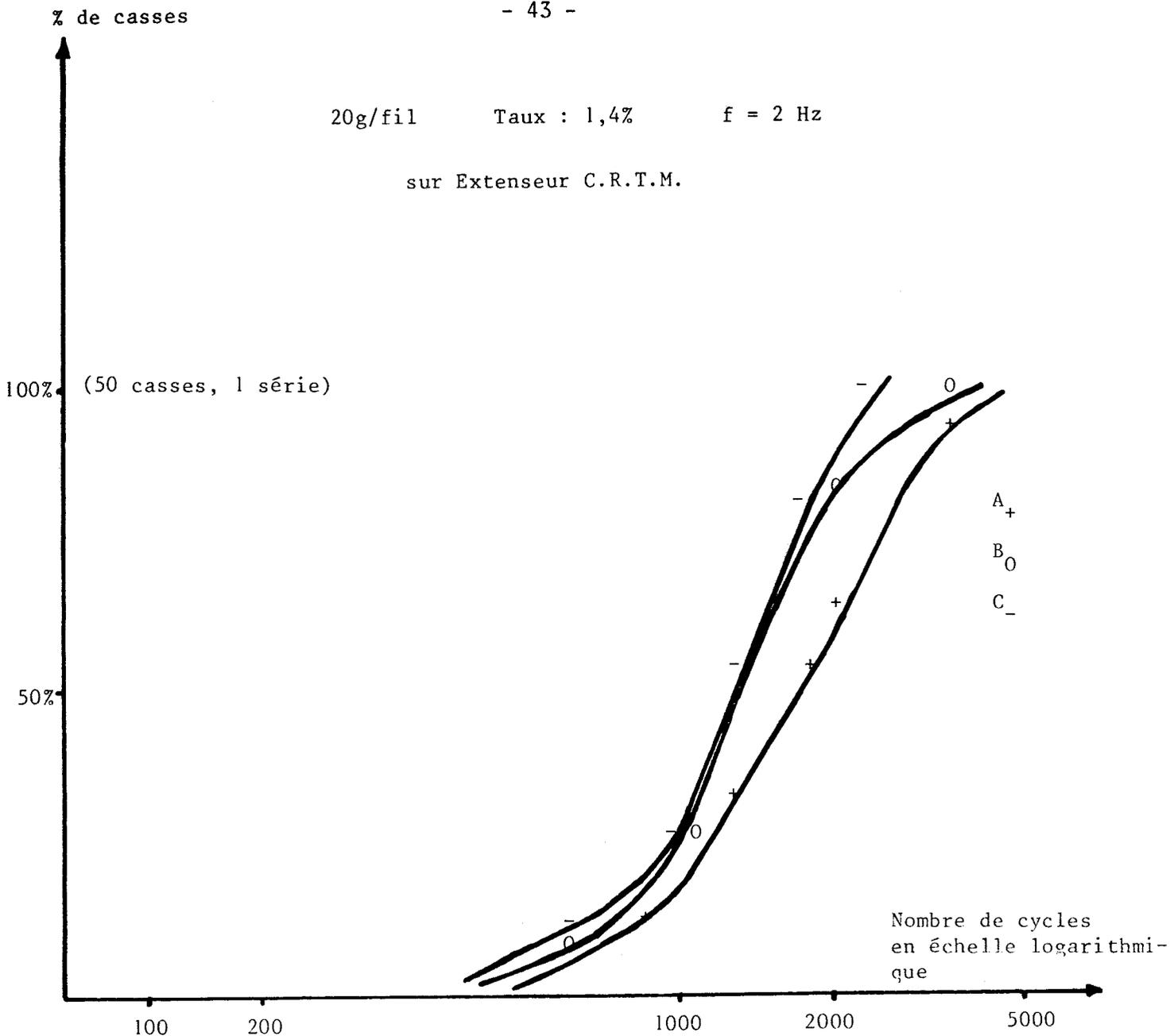


FIG.6 : EXTENSION REPETEE

Les résultats des études expérimentales déjà faites FIG.7 montrent le plus souvent une influence importante de la vitesse sur la quantité de colle déposée : *plus la vitesse est élevée, plus la quantité de colle l'est aussi.* | 31, 32, 33 |.

La différence de dépôt constatée est plutôt due aux changements de viscosité apparente au point d'extrimage, par suite des changements de gradients de vitesse qui restent difficiles à définir. Dans le cas de basses viscosités, et pour des dépôts faibles, l'influence de la vitesse paraît faible.

La technique classique qui consiste à réguler le séchage en faisant varier la vitesse de l'encolleuse ne semble pas être la meilleure solution, puisque les modifications de la vitesse font aussi varier le dépôt de colle dans le même sens, toutes choses demeurant égales par ailleurs.

La vitesse devrait donc être constante pendant la période de marche normale; pour la régulation de la siccité, on devrait intervenir au niveau du système sécheur, soit en modifiant la température avec le moins d'inertie possible, soit en faisant varier la longueur effective de séchage par exemple en ayant une zone finale réglable. [19]

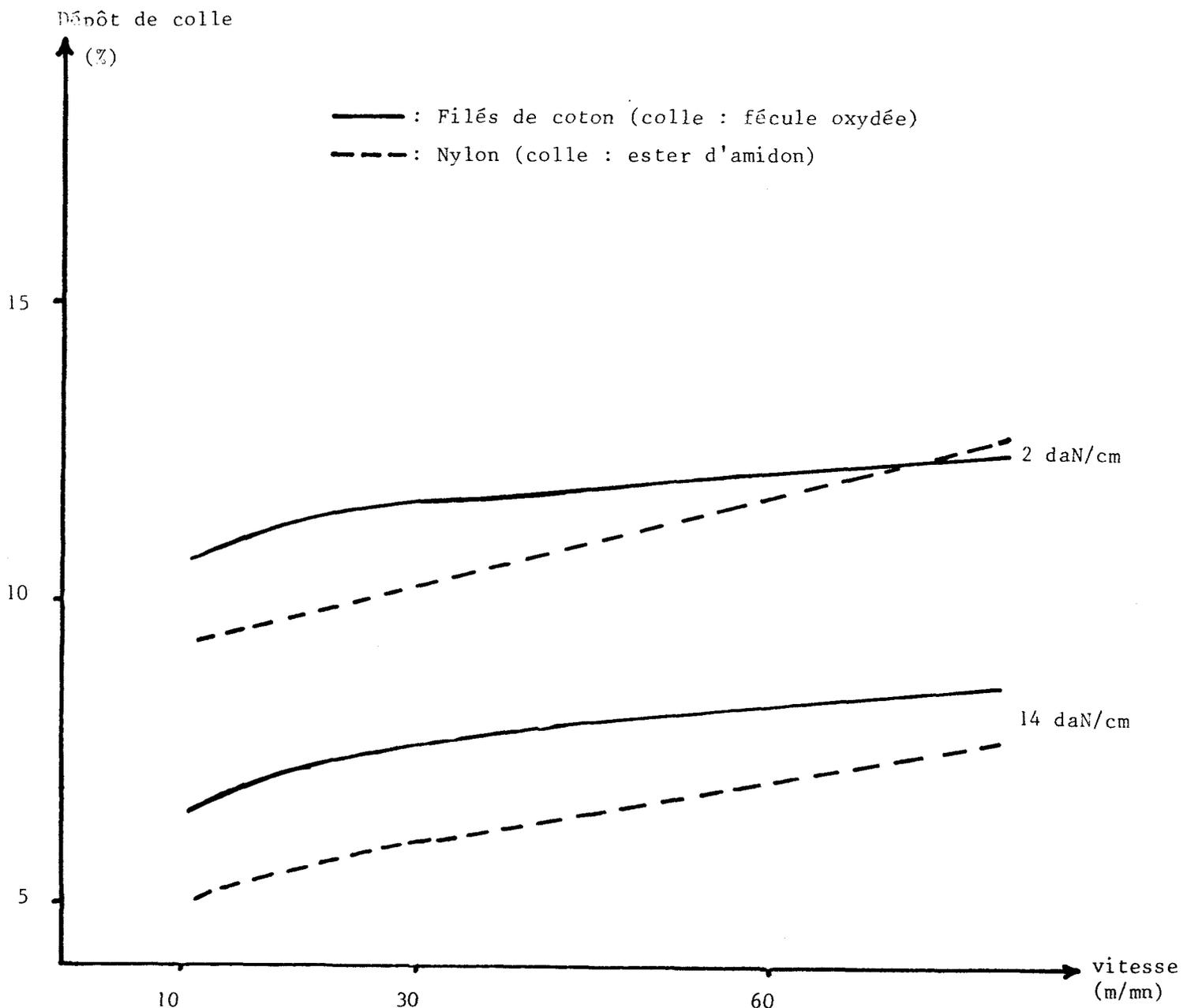


FIG.7 : INFLUENCE DE LA VITESSE

I.3.3. - Influence de la pression d'exprimage

La plupart des encolleuses sont équipées d'un dispositif de soulagement de la pression en marche lente : on a deux pressions appliquées, celle qui correspond à la vitesse de régime et celle qui correspond à la marche lente.

D'une façon générale, *lorsque la pression d'exprimage augmente, le dépôt de colle diminue : FIG.8*

Avec les produits amylicés, amidons et féculés, on observe des différences de dépôts de colle plus accusées qu'avec des colles de synthèse dans la zone des pressions habituelles.

Il apparaît aussi que les filés de coton présentent moins de variations de dépôt de colle que les filés de fibres de synthèse en fonction des variations de pression d'exprimage soit avec les produits amylicés, soit avec les autres produits.

La FIG.9 montre des courbes cumulées des casses en fonction du nombre de cycles d'abrasion et d'extensions répétées de chaînes encollées à différentes pressions d'exprimage [32]

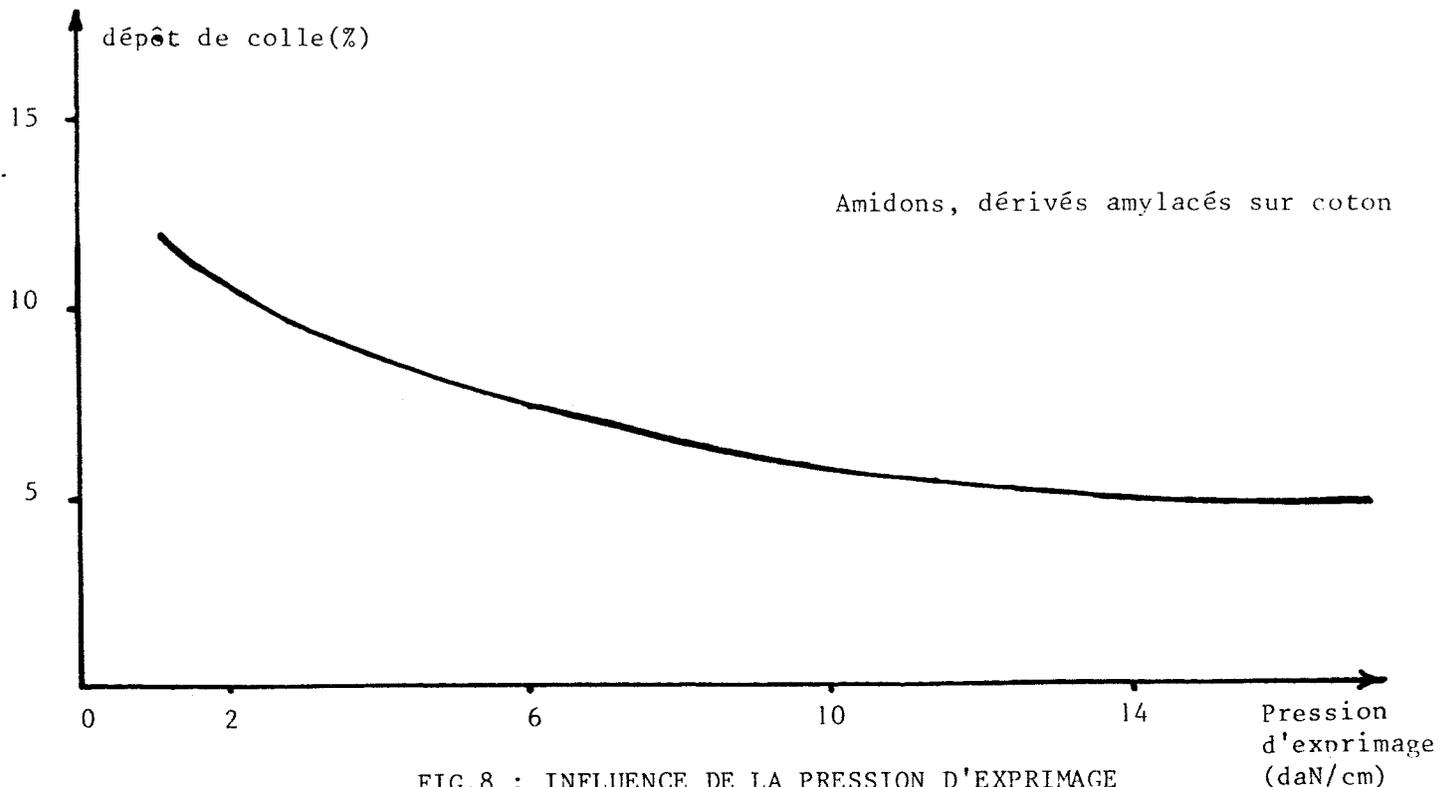
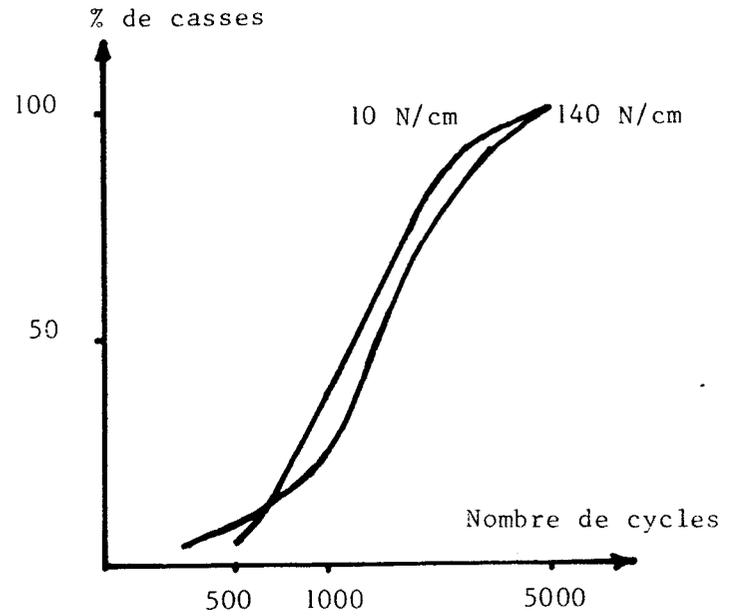
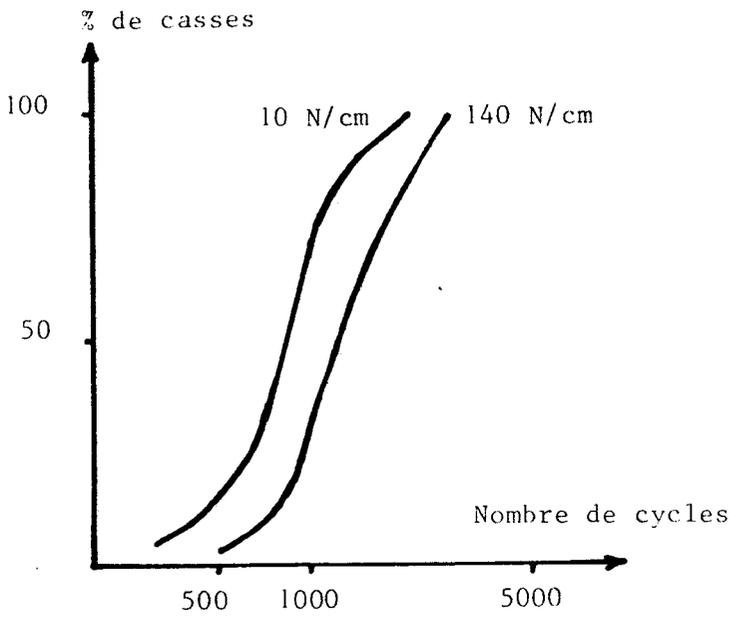


FIG.8 : INFLUENCE DE LA PRESSION D'EXPRIMAGE

ABRASIONS

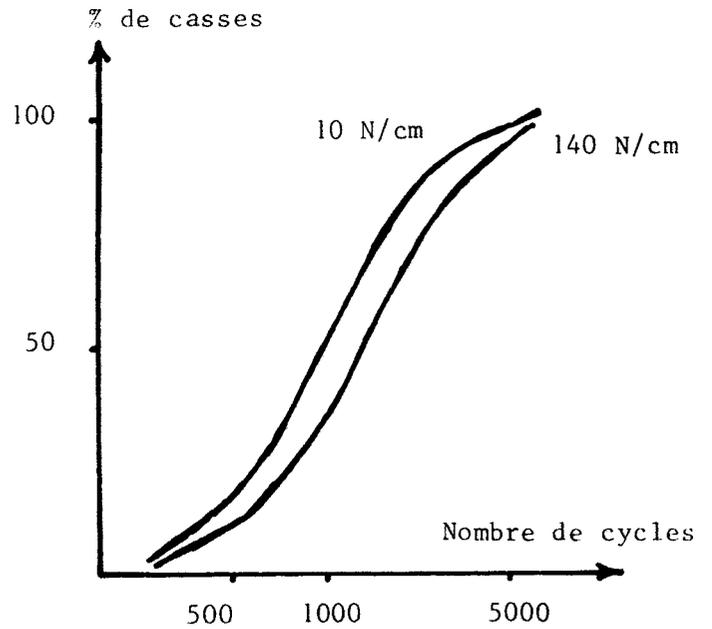
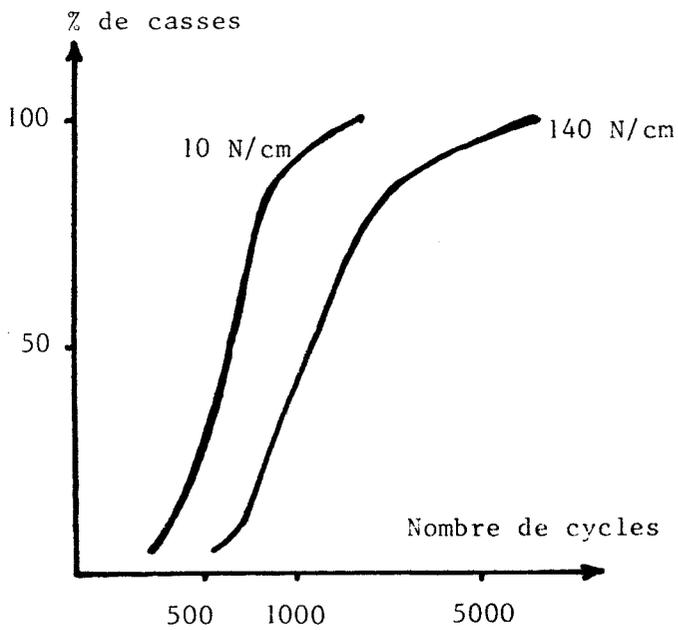
EXTENSIONS



a) Fécule sur filé de coton

ABRASIONS

EXTENSIONS



b) Amylacé sur filé de coton

FIG.9 : INFLUENCE DE LA PRESSION

I.3.4. - Influence de la colle

Les colles d'encollage constituent des systèmes correspondants à des substances de nature macromoléculaire dispersées dans l'eau essentiellement à des concentrations pour lesquelles ces systèmes perdent le caractère newtonien | 16,19 |.

Le cas idéal et pratiquement difficilement à atteindre est de fournir à l'encolleuse une colle uniforme en température, concentration et viscosité.

I.3.4.1. - Effet de la température de colle :

La température régit en fait de nombreux paramètres dont nous citerons les principaux |13| :

- . la mouillabilité des filés qui est meilleure à chaud qu'à froid, car l'air attaché aux fibres s'échappe plus facilement.
- . l'évaporation qui est d'autant plus importante que la température est plus élevée.
- . les viscosités apparentes qui sont d'autant plus faibles que la température est plus élevée.

I.3.4.2. - Effet de la concentration et de la viscosité de colle

La viscosité de la colle est le facteur sur lequel on peut jouer le plus aisément : elle résulte de la viscosité propre des constituants, de leur interaction éventuelle, de la concentration.

La quantité de colle déposée est en relation étroite avec la viscosité et la concentration, comme le montre la courbe établie dans les mêmes conditions d'exprimage en variant la concentration d'un bain d'encollage : FIG. 10

La concentration du bain d'encollage conditionne la quantité d'eau à évaporer : FIG.11, qui varie en fonction inverse de la concentration | 21,22 | .

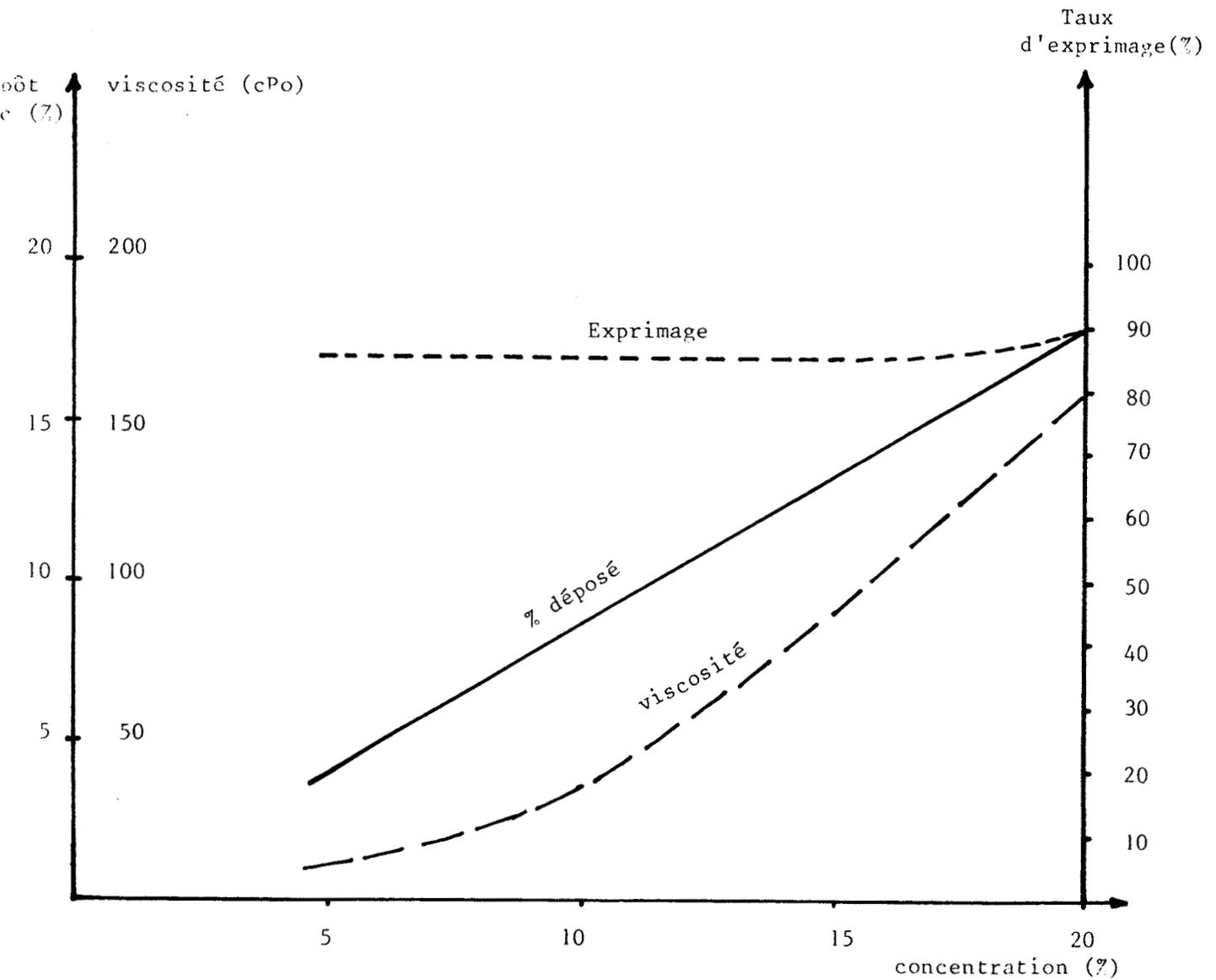


FIG.10 : Pourcentage en poids sec de colle déposée en fonction de la concentration.

I.3.5. - Influence de la densité de la chaîne

Il est généralement admis qu'au niveau de la bache à colle, un compte en fils au cm réduit : FIG. 12 et 13 augmente la qualité de l'encollage.

Une étude [20] a mis en évidence la propriété de surface des fils encollés régissant le taux de casses au tissage. Il a été montré que le nombre d'arrêts au tissage, était en relation avec le nombre de mariages par collage de fibres appartenant à des fils adjacents.

On a déduit que *plus le nombre de mariages de fils adjacents par collage augmente, plus la force nécessaire pour séparer ces fils doit être augmentée* : FIG.14 . L'augmentation de la force de séparation nécessaire est considérée comme la principale source d'altération de la surface des fils encollés.

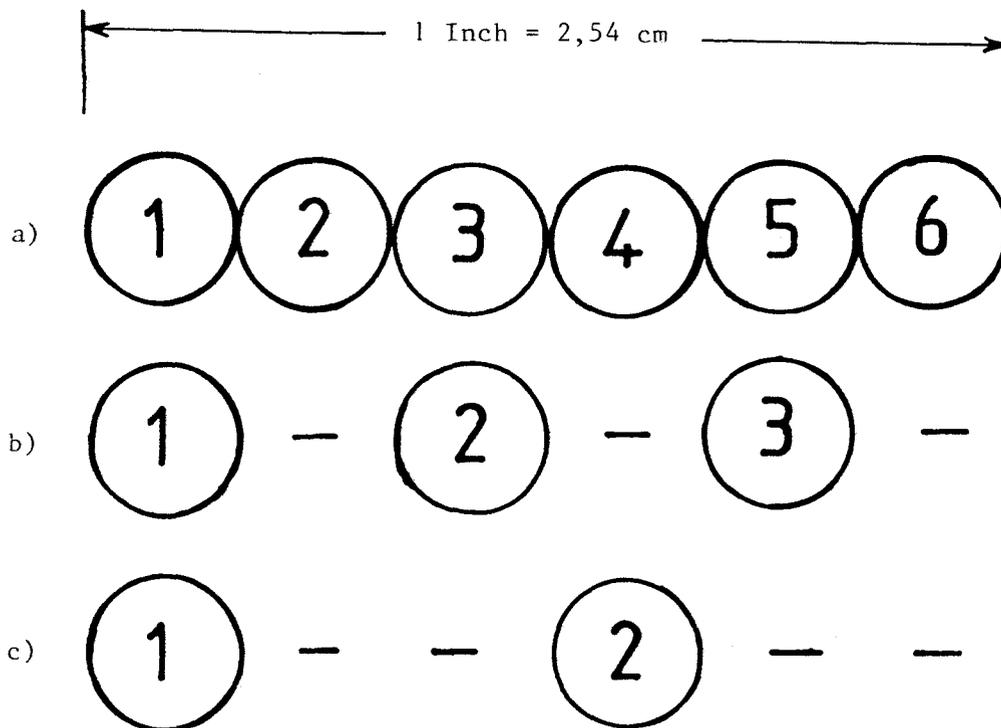


FIG.12 : Relation entre facteur de densité de fils et espacement théorique entre fils.

- a) Facteur de densité de fils = 1, contact tangentiel de fils adjacents.
- b) Facteur de densité de fils = 2, espacement d'un diamètre entre deux fils voisins.
- c) Facteur de densité de fils = 3, espacement de deux diamètres entre deux fils voisins.

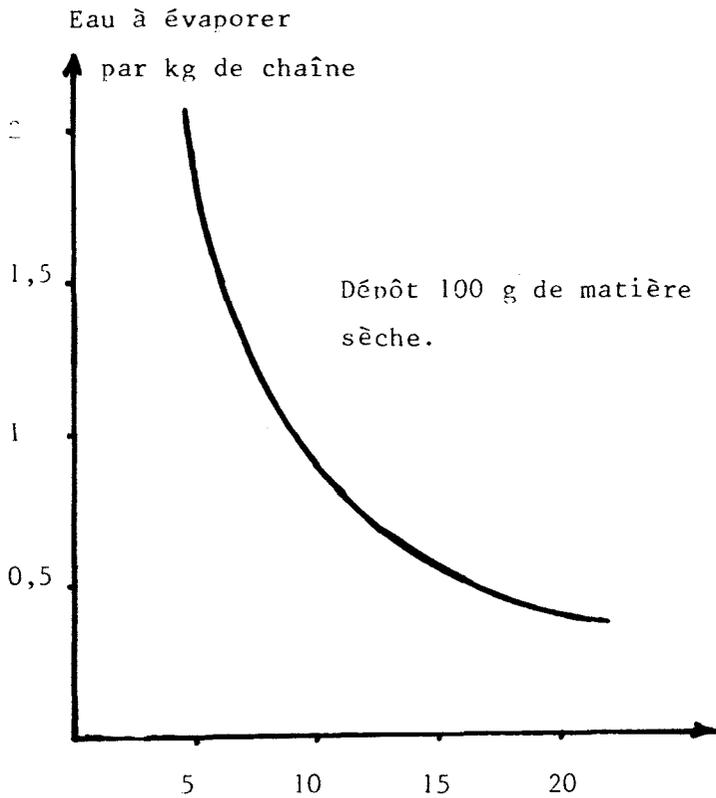


FIG.11 : EAU A EVAPORER par kg de chaîne en fonction de la concentration pour un poids sec de colle déposée de 10%

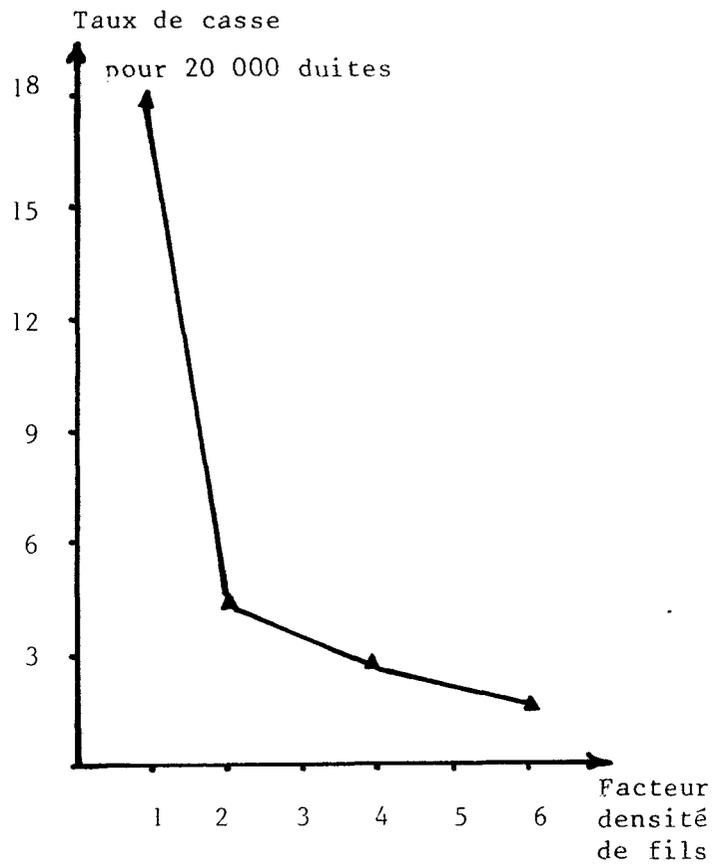


FIG.15 : Relation entre taux de casse pour 20 000 duites et facteur de densité de fils pour le cas de sans séparation

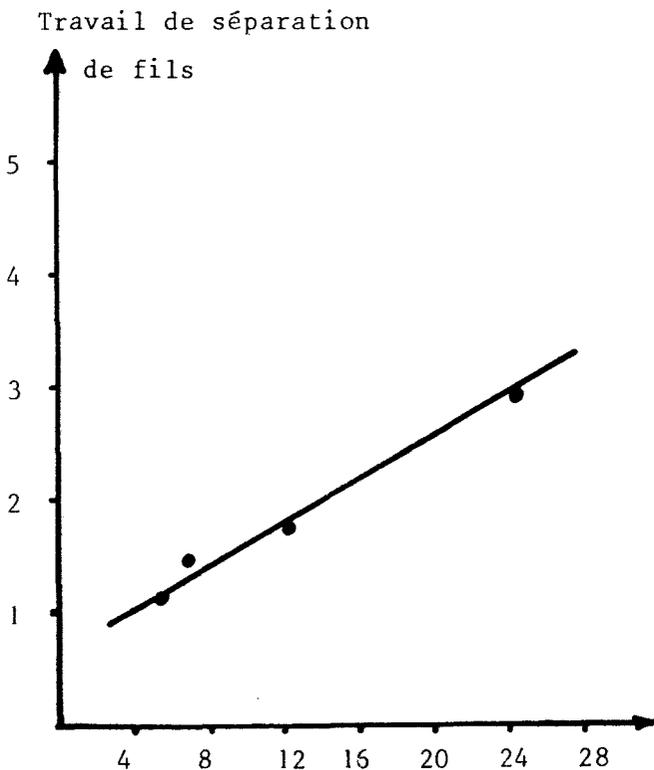


FIG.14 : Corrélation entre travail de séparation et nombre de mariages de fils.

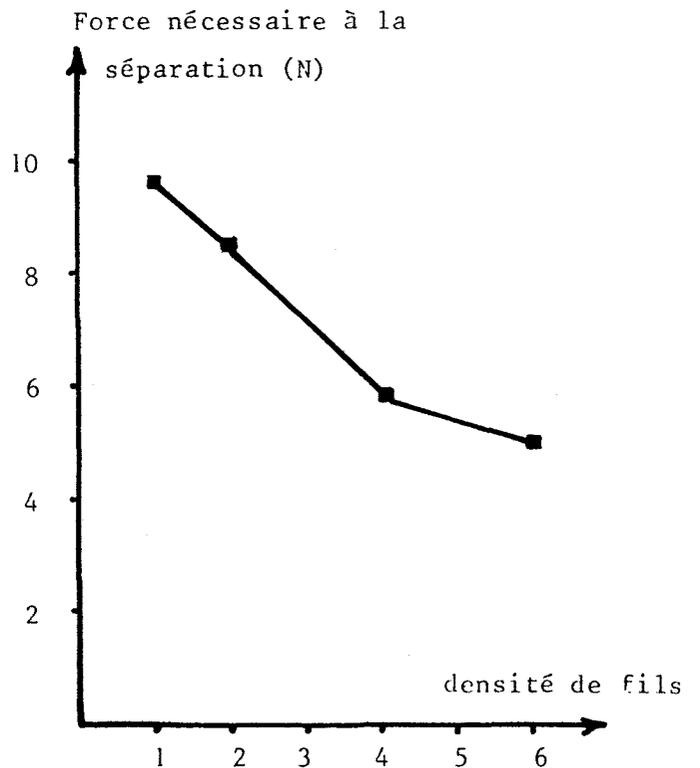


FIG.13 : Force de séparation - densité de fils

Comme le montre la FIG.15, *le taux de casse diminue au fur et à mesure que l'espacement entre les fils dans la bêche à colle est augmenté.*

La plus forte réduction en taux d'arrêts de métier a été observée en passant d'un facteur de densité de fils de 1 (espacement nul) à 2 (espacement égal au diamètre du fil) toutefois, lorsque le facteur de densité de fils dépasse 4, un espacement plus grand n'apporte plus de réduction significative du taux de casse en chaîne.

I.3.6. - Influence d'autres paramètres secondaires

Les caractéristiques du fil (nature du fil, titre, torsion, ...), la pilosité, l'abrasion, ..., peuvent influencer légèrement la qualité d'encollage, par conséquent le tissage .

I.4 - CONCLUSION

Pour un type de colle donné, l'efficacité du point de vue aptitude au tissage de la chaîne encollée dépend essentiellement de la quantité de colle déposée et, dans une certaine mesure, du genre de dépôt (enrobage superficiel ou enrobage avec pénétration plus ou moins importante).

Si la pénétration partielle est souhaitable pour assurer une meilleure adhérence de la colle sur les fils, il n'est pas nécessaire de pénétrer à coeur : certains fils comme les filés de coton ne sont pratiquement jamais pénétrés à coeur, d'autres au contraire, comme les filés de laine, le sont assez facilement.

L'efficacité de l'encollage croît d'abord avec la quantité déposée, puis tend vers une limite au delà de laquelle il n'est pas intéressant d'aller, car on risque tout au plus un dépôt trop important, sujet au poudrage et conduisant même dans certains cas à une rigidité néfaste à la marche au tissage.

Ce dépôt optimal dépend de la nature de la colle, mais aussi de la nature de la matière textile, des caractéristiques des fils et filés (torsion, titre, compte ...) et surtout des paramètres cités précédemment.

L'absorption qui est très liée au dépôt de colle, peut varier beaucoup : les fils blanchis ou teints retiennent davantage de colle que les écrus [33] .

Jusqu'à un certain point, l'accroissement de la vitesse de l'encolleuse entraîne une certaine augmentation de l'absorption de colle.

D'autres facteurs qui influent sur l'absorption de colle sont :

- . disposition des cylindres immergés
- . nombre de passages d'immersion
- . propriétés physiques et chimiques des fibres.

Toutefois, il devient de plus en plus nécessaire de surveiller et de réguler rationnellement les facteurs déterminant l'efficacité de l'encollage :

- *réduire les tensions appliquées à tous les stades de la fabrication*
- *il est préférable de maintenir la vitesse de régime constante et de réguler la température de séchage, voire la longueur de séchage pour l'obtention de la siccité désirée.*
- *il est avantageux d'employer des pressions d'exprimage élevées pour augmenter la vitesse.*

B I B L I O G R A P H I E

- [1] BECK H.
" Schlichten texturierter polyester - filamentgarne "
(*Encollage de filaments textures de polyester*)
Melliand Textilberichte . 08/1974 . P.675 . RFA .
- [2] BLOCH J.A.
" Die auswirkungen unterschiedlicher fadenfuehrung im schlichtetrog "
(*Les effets des différents modes de guidage du fil dans le bac à colle*)
Textil Praxis . 01/1974 . P.26 . RFA .
- [3] BUSS E.
" Moderne schlichtetechnologie aus der sicht der chemiefaserhersteller "
(*Techniques modernes d'encollage du point de vue du producteur de fibres chimiques*)
Textil Praxis . 01/1974 . P.44 . RFA.
- [4] COTNEY A.D.
" New developments in slashing equipment "
Textile chemist and colorist . 04/1980 . P.74 . USA.
- [5] FIEDLER B.
" Entwicklung der schlichtvorrichtungen aus textil-technischer sicht "
(*Le développement des dispositifs d'encollage vu sous l'angle technique*)
Mitt. Textil Industrie . 06/1974 . P.188 . RFA .
- [6] GERBER F.W.
" Die probleme der schlichterei aus der sicht des praktikers "
(*Problème d'encollage du point de vue du praticien*)
Melliand textilberichte . 12/1977 . P.981 . RFA .
- [7] KIENER C.
" L'intervalle des casses "
Industrie textile . 05/1982 . P.443. n° 1122 . FRANCE

- [8] KISER H.W.
" Slashing systems for higher standards "
Textile Industries . 11/1978 . P.24 . USA .
- [9] KRASOVSKAJA I.I , PAVLOVA J.N, SHIGORINA N.F.
" Modernizirovannaja shlikhtovalnaja mashina "
(*Modernisation de l'encolleuse MSHB - 91140*)
Tekstilnaia Promychnost . 01/1979 . P.50 . URSS .
- [10] KRUECKELS W.
" Moeglichkeiten zur verbesserung des schichteffektes bei dichten webketten "
(*Possibilités d'amélioration de l'effet d'encollage des chaînes avec compte élevé*)
Melliand Textilberichte . 10/1975 . P.799 . RFA .
- [11] MASON O.
" Warp preparation and slashing quality control "
America's text. Rep./Bulletin . 05/1977 . P.44 . USA .
- [12] MEDVEDEV S. , KURILOVA V. , BYKOVA I. , VOLKOVA N.
" Novye otecestvennye shlikhtovalnye mashiny "
(*Nouvelles encolleuses en URSS*)
Tekstilnaia Promychnest . 07/1978 . P.39 . URSS .
- [13] MOSLEY B.B.
" Considérations pratiques sur l'encollage des chaînes "
ITC Publications-Reports . 04/1974 . P.4 . SUISSE .
- [14] NEDONCHELLE Y.
" Rhéologie des solutions concentrées de carbohydrates macromoléculaires "
Thèse de Docteur-Ingénieur . 4/7/1968 . Fac. de STRASBOURG . FRANCE
- [15] OWENS-CORNING FIBERGLASS CORP.
" Apparatus for coating linear material "
14/06/1977 . ANGLETERRE

- [16] RAMASZEDER K.
" Die chemische und mechanische technologie des schlichtens "
(*Technologie chimique et mécanique de l'encollage*)
Ouvrage (225 p.) . 1973 . HONGRIE
- [17] RAMASZEDER K.
" Der derzeitige trend beim schlichten "
(*La situation actuelle dans l'encollage*)
Textilbetrieb . 04/1975 . P.41 . HONGRIE .
- [18] SCHNEIDER HANS - JOACHIM
" Neue entwicklungen an schlichtmaschinen zur verbesserung
der verwebbarkeit von ketten aus fasergarnen "
(*Innovations sur machines d'encollage pour l'amélioration de la
tissabilité de filés*)
Melliand Textilberichte . 01/1978 . P.31 . RFA .
- [19] SCHUTZ R.A.
- " Cours : Encolleuse - Encollage "
Mulhouse 1973 . FRANCE
- " Etude des extensions répétées des fils et filés "
ITF . 16ème communication (1er Symposium 1968) p.963
- " Le problème des tensions au tissage "
ITF . 1962 . p.27 . FRANCE
- [20] STRAUSS M.D. , CAHILL C.
" Endommagements de la structure superficielle des fils encollés en
rapport avec l'espacement des fils dans la bache à colle "
Industrie textile . 06/1980 . P.53 . FRANCE
- [21] TRAUTER J. , RUESS B. , BOTTLE R. , HARI P.
" Régularité de l'encollage des chaînes de tissage . Compte-rendu
des études pratiques en relation avec les encolleuses "
Textil Praxis . 03/1980 . P.274 . RFA.

- |22| TRAUTER J. , RUESS B. , BOTTLE R. , HARI P.
" Régularité de l'encollage de chaînes de tissage . Compte-rendu
concernant les mesurages pratiques sur machines "
Textil Praxis . 02/1980 . P.144 . RFA .
- |23| TRAYNARD O.
" Optimiser la foule d'un métier à tisser "
Industrie Textile . 01/1983 . n° 1129 . FRANCE
- |24| VON BRUNN C.G.
" Neue verfahrenstechniken beim schlichten "
(*Nouvelles techniques d'encollage*)
Melliand Textilberichte . 11/1975 . P.872 . RFA.
- |25| " Neue serieon schlichtanlagen "
(*Encolleuses*)
Int. Text. Bull. Weberei . 06/1977 . P.141 . SUISSE
- |26| " Slashing materials keep pace with changing technologies "
America's text. Rep./Bulletin 05.1977 . P.49 . USA .
- |27| " Hochgeschwindigkeitsschlichten "
(*Encollage à vitesse élevée*)
Int. Text. Bull. Weberei . 01/1976 . P.47 . SUISSE
- |28| " Perfectionnements des dispositifs d'encollage, vu sur le plan technique "
ITC Publications-Reports . 1974 . P.12 . SUISSE
- |29| " Sizing to day's warps "
Textile Industries . 12/1973 . P.89 . USA .
- |30| " Warp waxing to improve weaving efficiency "
Textile Month . 12/1973 . P.57 . ANGLETERRE .
- |31| " Facteurs affectant l'application de la colle aux textiles "
Textile Intitute and Industry . Juin 1976 . n°6 . P.197 . AUSTRALIE .

- |32| " Premier symposium international sur l'encollage textile "
ITF . 1968 . FRANCE .
- |33| " Les influences physiques les plus importantes lors de l'encollage
et leurs effets sur le comportement des fils au tissage "
Textil Praxis . n°8 . 1972 . P.480 . RFA .

ANALYSE STATISTIQUE

EN

COMPOSANTES PRINCIPALES

CHAPITRE II

ANALYSE STATISTIQUE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

INTRODUCTION

II.1 - ANALYSE DU PROBLEME

II.2 - METHODE D'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

II.2.1. - Position du problème

II.2.2. - Méthode de l'analyse en composantes principales

II.2.2.1. - Calcul du centre de gravité G du nuage de points N

II.2.2.2. - Calcul de la matrice d'inertie

II.2.2.3. - Projection du nuage de points N sur un espace principal de dim K .

II.3 - APPLICATIONS

II.3.1. - Présentation du listing

II.3.2. - Interprétation des résultats

II.4 - CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

C H A P I T R E II

ANALYSE STATISTIQUE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

INTRODUCTION

L'analyse des données est un sujet très actuel, utilisé dans de nombreuses disciplines : marketing, sciences, enquêtes,

Depuis quelques années, on s'est rendu compte qu'il n'était pas toujours possible d'utiliser des modèles précis. Lorsqu'on connaît le modèle mathématique d'un phénomène, il suffit d'agir sur ses paramètres.

Par contre, en statistique on utilise aussi des modèles mais dont un ou plusieurs paramètres sont inconnus et qu'il faut estimer.

Dans cette discipline, on fait généralement des enquêtes à partir desquelles on cherche à estimer par exemple la moyenne et la variance d'une loi c'est-à-dire ses paramètres. [4]

Par contre, les méthodes de l'analyse des données n'utilisent aucune hypothèse mais seulement les données elles-mêmes pour leur trouver une "structure".

Ces méthodes peuvent se classer dans deux catégories [4] :

- celles qui servent à "voir" les données, c'est-à-dire à les présenter d'une façon qui facilite la décision intuitive.
- et celles qui servent à "expliquer" c'est-à-dire permettre d'estimer la valeur d'une variable en fonction d'autres appelées variables explicatives.

Partant d'un ensemble de données fourni par l'entreprise, nous avons effectué une étude sur l'analyse statistique en composantes principales.

Cette analyse statistique est faite sur des échantillons encollés (agent d'encollage : féculé de pomme de terre ou amidon de maïs).

La matière textile étudiée est du coton de provenance différente (France, Espagne, Egypte ...).

Notre choix s'est porté sur le coton car c'est la matière la plus difficile à encoller.

Les données se présentent sous la forme d'un tableau rectangulaire dont les lignes correspondent à une population de rouleaux et les colonnes à une population de variables appelées caractères ou caractéristiques.

Le but de cette enquête consiste à mesurer les valeurs que les variables prennent sur une population d'éléments. La masse d'informations récoltée par l'enquête est difficilement accessible telle quelle; il faut :

- l'analyser
- la décrire
- donner les moyens de "visualiser" les phénomènes importants qu'elle recèle |1| .

II.1 - ANALYSE DU PROBLEME

Les données statistiques se présentent sous la forme d'un tableau à 41 lignes et 9 colonnes, chacune représentant une caractéristique qui peut être considérée comme une variable quantitative.

Malheureusement, le manque d'un certain nombre de données (humidité résiduelle, concentration de colle, ...) amoindrit en fin de compte l'analyse du problème.

Une analyse très simple des moyennes et des variances a été effectuée, mettant à jour la grande dispersion apportée par les variables.

Si l'on considère chaque rouleau comme un vecteur défini par 9 composantes, il se trouve que l'on peut parler d'une distance entre chacun d'eux. On est ainsi en présence d'un nuage de points : FIG.1 dans un espace à 9 dimensions et l'on voudrait pouvoir saisir et comprendre la dispersion des points, de façon progressive.

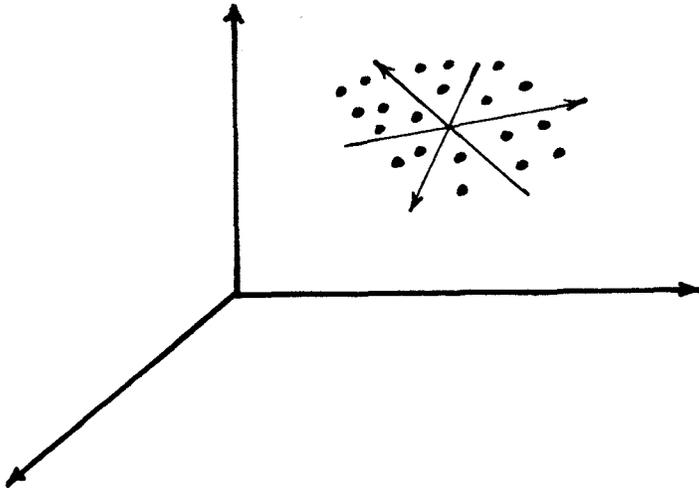


FIG.1 : NUAGE DE POINTS DANS L'ESPACE

II.2 - METHODE D'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

II.2.1. - Position du problème

On dispose de plusieurs mesures (quantités) sur un ensemble de rouleaux encollés. On a en colonnes, les différentes variables mesurées (les tensions, les températures, les pressions, la vitesse de la machine, ...) et en ligne les rouleaux.

A l'intersection d'une ligne et d'une colonne, on a la valeur d'une caractéristique pour un rouleau.

Soient $x^1, \dots, x^j, \dots, x^p$ les variables mesurées et $\{1, \dots, i, \dots, n\}$ l'ensemble des rouleaux encollés.

Chaque rouleau i a une certaine caractéristique x_i^j pour la variable mesurée x^j . On dispose donc du tableau suivant :

$$|\bar{X}|_{n,p} = \begin{bmatrix} x_1^1 & \dots & x_1^j & \dots & x_1^p \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_i^1 & \dots & x_i^j & \dots & x_i^p \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ x_n^1 & \dots & x_n^j & \dots & x_n^p \end{bmatrix} \quad (1)$$

On suppose de plus que chaque rouleau i est muni d'un poids $p_i > 0$ et que $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Par exemple, si tous les rouleaux ont le même poids, on a $p_i = \frac{1}{n} \forall i \in \{1, \dots, n\}$.

A chaque rouleau i , on fait correspondre un vecteur $X_i \in \mathbb{R}^p$ tel que :

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i^1 \\ \vdots \\ x_i^j \\ \vdots \\ x_i^p \end{bmatrix} \quad (2)$$

et l'on munit le vecteur X_i du poids p_i .

A partir de là, on définit un nuage de points N dans \mathbb{R}^p par :

$$N = \{ X_i, p_i / X_i \in \mathbb{R}^p, p_i > 0, i \in \{1, \dots, n\}, \sum_{i=1}^n p_i = 1 \} \quad (3)$$

Le but est de chercher une représentation du nuage de points N dans un espace de faible dimension. Par exemple, si la représentation a une seule dimension, on cherchera la droite la plus "proche" des points du nuage et le nuage sera représenté par la projection des points sur cette droite : FIG.2; la proximité du nuage de points à la droite sera mesurée par l'inertie du nuage par rapport à cette droite $|I|$.

On peut aussi choisir un plan de dim 2, ou des espaces de dimension plus élevée.

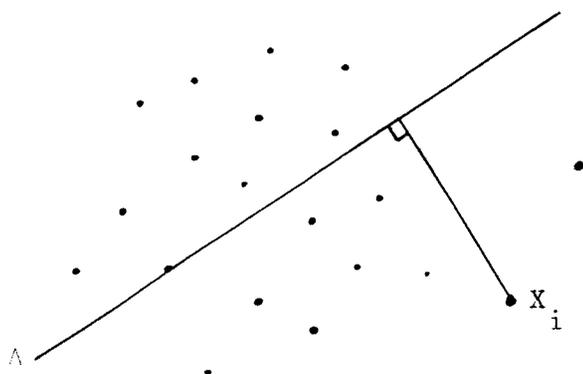


FIG.2 : PROJECTION DES POINTS DU NUAGE SUR LA DROITE Δ

II.2.2. - Méthode de l'analyse en composantes principales

Le but de ce paragraphe n'est pas de dresser une théorie complète sur la méthode de l'analyse en composantes principales mais de donner les phases importantes à suivre pour réaliser cette analyse.

Un tableau rectangulaire de données peut être considéré comme un ensemble de m points dans un espace R^n .

Dans ce cas de données, il s'agit de trouver un espace R^K ($K < n$) tel que " l'inertie " du nuage de ces points par rapport à cet espace soit minimale.

Pour visualiser les données, on prend en général $K = 1$ (droite) ou $K = 2$ (plan), car les points ne peuvent être bien visualisés que dans ces espaces. Soit $|\bar{X}|$ la matrice représentant ce tableau .
n x p

II.2.2.1. - Calcul du centre de gravité G du nuage de points

Le centre de gravité G est un point dont les composantes sont la moyenne des composantes des n points de ce tableau.

$$G = | g^1, g^2, \dots, g^j, \dots, g^p |$$

$$\text{avec } g^j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^j}{n} \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (4)$$

REMARQUE : si on suppose que les variables sont centrées, alors l'origine 0
=====
et le centre de gravité du nuage de points N sont alors confondus.
Dans le cas contraire, on centre les variables.

II.2.2.2. - Calcul de la matrice d'inertie

Par définition, on appelle " matrice d'inertie " du nuage de points N, la matrice carrée $|X| \cdot |X|^t$ et on la note $|V|$
n x p p x n n x n

Si on cherche à visualiser ce nuage de points dans un espace de dim 2, il faudra chercher les deux vecteurs propres de $|V|$ correspondant aux deux plus grandes valeurs propres.

De façon générale, les valeurs propres sont classées par ordre décroissant :

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n$$

A chaque valeur propre λ_i correspond un vecteur propre e_i . A partir de là, on définit des axes principaux de dim 1 qui ont comme vecteurs unitaires, les vecteurs propres de $|V|$, les sous-espaces principaux de dimension k sont générés par les k premiers axes principaux. On montre que l'inertie totale du nuage N par rapport à l'origine 0 se décompose en $|1|$:

$$I_N(0) = I_N(\Delta u) + I_N(\overset{\perp}{\Delta u}) = \text{constante} \quad (5)$$

$$\frac{I_N(\overset{\perp}{\Delta u})}{I_N(0)} = \frac{\lambda}{T_r(V)} \quad (6)$$

où :

$$I_N(\Delta u) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot || P_{\Delta u} (X_i) ||^2 \quad (7)$$

$$I_N(\overset{\perp}{\Delta u}) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot || P_{\overset{\perp}{\Delta u}} (X_i) ||^2 \quad (8)$$

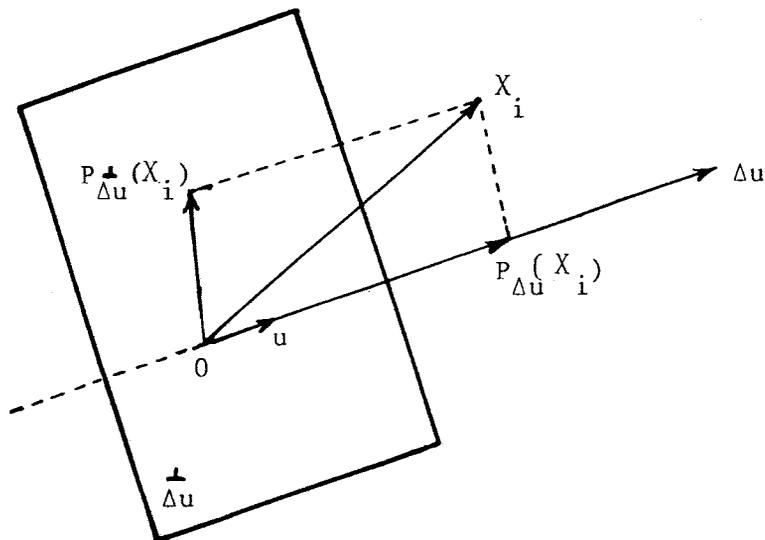


FIG.3 : PROJECTIONS DE X_i SUR LA DROITE Δu et L'HYPERPLAN $\overset{\perp}{\Delta u}$

(6) : pourcentage d'inertie expliquée

(7) : peut-être interprétée comme inertie résiduelle de N autour de Δu

(8) : peut-être interprétée comme inertie expliquée par Δu

FIG.3 : $P_{\Delta u}(X_i)$ et $P_{\Delta u}^{\perp}(X_i)$ sont les projections de X_i sur Δu et sur Δu^{\perp}

II.2.2.3. - Projection d'un nuage de points sur un espace principal de dim K :

Ayant trouvé un espace principal de dim K, on représente le nuage de points dans cet espace. Il faut calculer les projections des points du nuage sur cet espace.

Soit $|\epsilon|$ une matrice de base de R^n formée par les n vecteurs propres $|e^{(1)}|, \dots, |e^{(n)}|$ de la matrice $|V|$.

On sait que les coordonnées des n points du nuage dans cette base sont données par :

$$|\epsilon|^{-1} \cdot |X| \quad (9)$$

soit en posant $|\epsilon| = \left[\begin{array}{c} |e^{(1)}| \\ |e^{(2)}| \\ \dots \\ |e^{(K)}| \\ \dots \\ |e^{(n)}| \end{array} \right]$ et en

remarquant que l'inverse de la matrice orthogonale $|\epsilon|$ est égale à sa transposée:

$$|\epsilon|^t \cdot |X| \quad (10)$$

soit encore :

$$\left[\begin{array}{c} |e^{(1)}| \\ |e^{(2)}| \\ \dots \\ |e^{(K)}| \\ \dots \\ |e^{(n)}| \end{array} \right]^t \cdot |X|$$

Les n projections du nuage de n points sur l'espace principal correspondant à la matrice de base $|e|$ sont donc données par les colonnes de la matrice

$$\begin{array}{ccc} |e|^t & \cdot & |X| \\ K \times n & & n \times p \\ \hline & & K \times p \end{array} \quad (11)$$

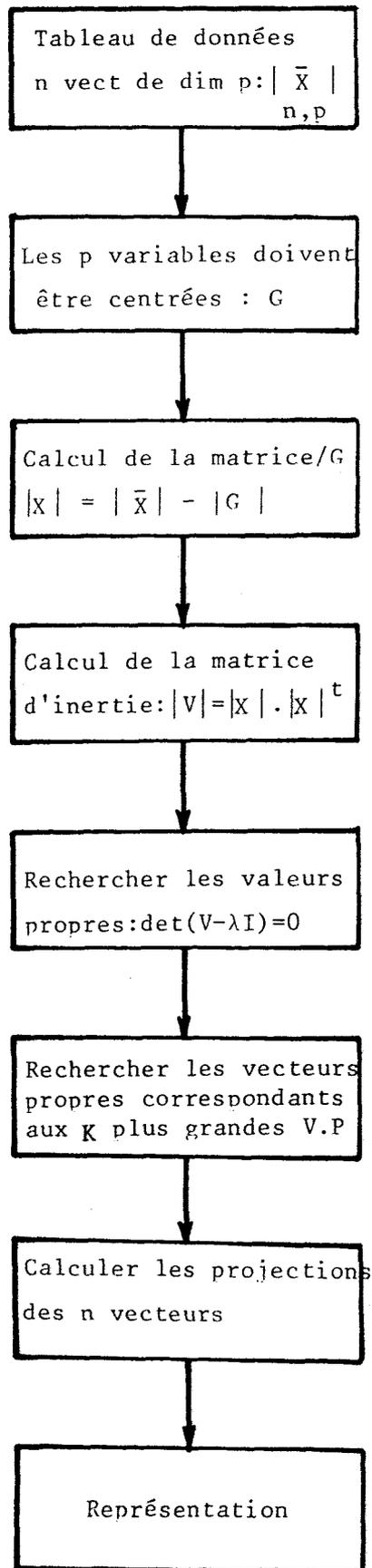
Ces projections sont déterminées par n vecteurs à K composantes.

II.3 - APPLICATIONS

L'utilisation d'un programme d'analyse en composantes principales s'avère adéquate pour l'analyse du tableau 41 x 9 des rouleaux encollés puisqu'il s'agit de données quantitatives.

Le programme a été fait en fortran sur ordinateur T 1600.

L'algorithme d'analyse en composantes principales est donné par l'organigramme suivant :



II.3.1. - Présentation du listing

Le tableau 1 donne les codes des caractéristiques des rouleaux et les données d'entrée. Dans le tableau 2, on trouve les moyennes et les écarts-types sur les paramètres. Dans le tableau 3, on trouve la matrice des corrélations des variables. Le tableau 4.a donne les résultats fondamentaux de l'analyse, à savoir les valeurs propres en ordre décroissant. Comme elles sont égales à l'inertie expliquée par les premiers axes factoriels, il s'en déduit finalement le pourcentage d'inertie (ou variance) expliquée pour chaque facteur et cumulée. Dans le tableau 4.b, on trouve les corrélations entre les anciennes variables et les facteurs (0,829 : coefficient de corrélation entre la variable T_m et le 1er facteur). Ce tableau permet en analysant les fortes corrélations d'interpréter les axes. Le tableau 5.a donne les coordonnées des observations (rouleaux) sur les trois dimensions que sont les trois premiers axes factoriels. La partie 5.b donne la qualité de la représentation de chacun des rouleaux dans le sous-espace constitué par les trois premiers axes; en fait, la 1ère colonne donne le cosinus carré des observations avec le 1er axe, la 2ème la somme des cosinus carrés correspondant aux deux premiers axes.

Autrement dit, en utilisant la 3ème colonne, on dira qu'un rouleau est d'autant mieux représenté que le chiffre correspondant est proche de 1 valeur que l'on obtiendrait si l'on retenait les 9 axes.

Les tableaux 4.b et 5.a permettent de réaliser les figures 4 et 5 (fig.4 : plan des axes 1 et 2; fig.5 : plan des axes 2 et 3) qui visualisent les nuages des points correspondants. Sur ces figures ont un sens d'une part les distances relatives entre points d'observations représentés par une croix X (les rouleaux) et d'autre part les angles (ou directions) que font les composantes principales avec les anciennes variables, représentées par des ronds ● (caractères) et toutes comprises dans un cercle de rayon unité puisqu'il s'agit de corrélations.

<i>conditions</i> articles	T _e (Kp)	T _m (Kp)	T _s (Kp)	T _E (Kp)	P _{ex} (Kp)	P _a (Kp)	θ _c (°C)	θ _v (°C)	V _m (m/m)
X 1	20	40	80	200	500	180	80	140	45
X 2	20	30	80	200	500	180	80	140	40
X 3	20	30	80	250	500	200	80	140	40
X 4	20	40	100	250	500	200	80	140	50
X 5	20	40	100	200	500	180	80	140	40
X 6	20	40	90	200	500	200	80	140	40
X 7	20	40	90	250	500	200	80	140	40
X 8	20	40	80	200	500	200	80	140	45
X 9	20	40	100	200	500	150	80	140	40
X 10	20	40	90	200	500	200	80	140	40
X 11	20	40	100	250	500	200	80	140	40
X 12	20	40	90	200	500	250	80	140	40
X 13	10	20	50	120	550	100	70	120	20
X 14	20	40	110	250	500	200	80	140	30
X 15	20	30	80	150	700	200	70	130	25
X 16	20	40	90	250	500	200	80	140	40
X 17	20	40	90	250	500	200	80	140	40
X 18	20	40	90	250	500	200	80	140	30
X 19	20	40	100	250	500	180	80	140	30
X 20	20	40	80	200	500	150	80	140	20
X 21	20	40	80	200	500	180	80	140	20
X 22	20	40	80	200	500	200	80	140	35
X 23	20	40	90	250	500	300	80	140	30
X 24	20	40	90	200	500	150	80	140	30
X 25	20	40	90	250	500	200	80	140	35
X 26	20	40	80	200	500	200	80	140	30
X 27	20	40	90	200	500	200	80	140	40
X 28	20	40	90	200	500	180	80	140	30
X 29	10	30	70	150	500	120	80	140	40
X 30	10	30	80	200	500	200	80	140	45
X 31	10	30	80	150	500	200	80	140	50
X 32	20	40	80	150	500	150	80	140	45
X 33	20	30	80	150	500	120	80	140	40
X 34	10	25	70	150	500	120	80	140	55
X 35	10	30	80	150	500	120	80	140	45
X 36	10	30	80	150	500	200	80	140	50
X 37	20	30	80	200	500	300	80	140	45
X 38	20	40	90	250	500	200	80	140	30
X 40	20	40	90	200	500	200	80	140	30
X 41	20	30	90	150	500	120	80	140	40
X 42	20	40	110	200	500	180	80	140	25

Tableau 1 : Les données d'entrée

articles	Casses	Boutons	Muletiers	Dûchets	Noeuds	Fils flottants	Fils croisés	Fils de lisière	Fils manquants	Fils montants	Fibres et irrégul	Soie inconnu	lamelle	Boulette	Duites
X1				3	4				1	1				1	2799
X2				1	1						3		1		2805
X3			1			1									2594
X4		1	1	2	1	1		1			1	2			1839
X5			1	1		1			1					1	1511
X6			1		2	5		1			2			1	2804
X7				2	3	8	1								2665
X8						4									711
X9				2	1	1								2	1673
X10			2	2	4	2		1	1	2	3			1	2749
X11			2		2	1				1	3		1	1	1398
X12					1	2	3								819
X13											1			1	485
X14			1		2				1					1	493
X15															891
X16			1											1	2329
X17			1			1				1					1799
X18					1						3	3			314
X19			1						1						184
X20				1											180
X21					1		1	2	2						141
X22						1									163
X23				2	2						1				1193
X24				2	1			1			3				355
X25			1		3		2				3				417
X26				1				1			1				178
X27					1						3	5			304
X28				1	1		1		1		1	2			670
X29				2							1				1823
X30			1		1	1	1		1		1			1	3612
X31														1	622
X32							2				1			1	1693
X33			1								1				1373
X34				1											320
X35					1						1				1210
X36															1135
X37				1	1	1					2	1			1661
X38			2	3	2					1	3				1033
X39															1261
X40				3	4	2			3		6	1		5	385
X41					2	1	3				1				349

Tableau lb : Relevé de casses sur métiers à tisser pendant une production de 2 heures (matière : coton)

Paramètre	Moyenne	Ecart-type
1	18,2927	3,7628
2	36,4634	5,4375
3	86,3414	10,7648
4	201,7074	37,8635
5	506,0978	31,6104
6	185,6098	40,9665
7	79,5121	2,1560
8	139,2682	3,4170
9	37,1951	8,4859

Tableau 2 : Moyennes et Ecart-types sur les paramètres

1	999								
2	718	999							
3	568	695	1000						
4	585	663	625	1000					
5	- 15	-300	-221	-293	1000				
6	378	384	328	558	- 26	1000			
7	197	476	448	398	-851	196	998		
8	282	517	523	405	-636	273	944	998	
9	-340	-228	- 58	- 148	-299	34	391	391	1000
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tableau 3 : Matrice des corrélations des variables

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
Valeurs propres	4,2245	2,1933	0,9098
% de variance expliquée par Fact	46,9542	24,3781	10,1124
% de variance expliquée cumulée	46,9542	71,3322	81,4446

Tableau 4a : Valeurs propres et pourcentage de variance

	AXE 1	AXE 2	AXE 3
1	0,638	0,583	- 0,107
2	0,829	0,339	- 0,187
3	0,777	0,241	- 0,072
4	0,777	0,335	0,153
5	- 0,588	0,612	0,263
6	0,511	0,284	0,738
7	0,802	- 0,566	- 0,116
8	0,817	- 0,455	- 0,008
9	0,081	- 0,766	0,455

Tableau 4b : Corrélations critères-facteurs

Observation	AXE 1	AXE 2	AXE 3
X 1	0,39	- 0,51	0,11
X 2	-0,37	- 0,63	0,19
X 3	0,25	- 0,24	0,78
X 4	1,74	- 0,12	0,84
X 5	1,07	0,10	-0,31
X 6	0,84	0,04	0,14
X 7	1,34	0,34	0,35
X 8	0,52	- 0,42	0,49
X 9	0,89	- 0,05	0,88
X 10	0,84	0,04	0,14
X 11	1,69	0,49	0,28
X 12	1,15	0,27	1,08
X 13	-8,95	2,04	-0,87
X 14	2,00	1,25	-0,35
X 15	-5,60	5,36	1,84
X 16	1,34	0,34	0,35
X 17	1,34	0,34	0,35
X 18	1,30	0,95	-0,21
X 19	1,53	1,00	-0,66
X 20	0,10	0,87	-1,86
X 21	0,28	1,01	-1,30
X 22	0,47	0,19	-0,08
X 23	1,90	1,41	1,68
X 24	0,49	0,41	-1,37
X 25	1,32	0,64	0,07
X 26	0,45	0,50	-0,36
X 27	0,84	0,04	0,14
X 28	0,68	0,55	-0,80
X 29	-2,41	-2,41	-0,79
X 30	1,05	-1,89	1,15
X 31	-1,53	-2,49	1,21
X 32	-0,29	-0,95	-0,67
X 33	-1,23	-1,21	-1,16
X 34	-2,71	-3,53	0,23
X 35	-2,04	-2,56	-0,58
X 36	-1,53	-2,49	1,21
X 37	0,38	-0,37	2,74
X 38	1,30	0,95	-0,21
X 39	0,80	0,65	-0,43
X 40	-0,88	-1,06	-1,23
X 41	1,36	1,16	-1,23

Tableau 5a : Projections des observations sur les axes factoriels

Observation	AXE 1	AXE 2	AXE 3
X 1	0,078	0,211	0,217
X 2	0,062	0,239	0,255
X 3	0,016	0,030	0,183
X 4	0,473	0,476	0,586
X 5	0,460	0,464	0,503
X 6	0,639	0,640	0,657
X 7	0,659	0,700	0,744
X 8	0,128	0,212	0,325
X 9	0,245	0,246	0,484
X 10	0,639	0,640	0,657
X 11	0,678	0,734	0,752
X 12	0,380	0,402	0,739
X 13	0,874	0,919	0,927
X 14	0,496	0,689	0,704
X 15	0,445	0,853	0,902
X 16	0,659	0,700	0,744
X 17	0,659	0,700	0,744
X 18	0,502	0,769	0,783
X 19	0,492	0,704	0,797
X 20	0,002	0,128	0,709
X 21	0,015	0,210	0,530
X 22	0,169	0,197	0,201
X 23	0,329	0,510	0,765
X 24	0,103	0,176	0,974
X 25	0,646	0,798	0,800
X 26	0,102	0,227	0,292
X 27	0,639	0,640	0,657
X 28	0,282	0,471	0,871
X 29	0,439	0,876	0,923
X 30	0,143	0,604	0,773
X 31	0,212	0,774	0,908
X 32	0,018	0,216	0,314
X 33	0,230	0,450	0,651
X 34	0,357	0,963	0,966
X 35	0,345	0,889	0,917
X 36	0,212	0,774	0,908
X 37	0,013	0,026	0,724
X 38	0,502	0,769	0,783
X 39	0,369	0,611	0,717
X 40	0,122	0,296	0,531
X 41	0,239	0,414	0,610

Tableau 5b : Qualité de la représentation

II.3.2. - Interprétation des résultats

Avec trois facteurs, on prend en compte 81,44% de l'inertie totale du nuage, cela paraît un bon résultat, puisque passant de R^9 à R^3 , on ne perd que 18,56% de l'information.

Le 1er facteur oppose la tension au mouillé T_m (0,829), température de colle (0,802), température tambour (0,817) au pourcentage de la pression d'exprimage (- 0,588). Il n'explique que 47% de l'inertie totale.

Le 2ème facteur oppose la pression d'exprimage (0,612) et la tension d'entrée T_e (0,583) à la vitesse de la machine V_m (- 0,766) et la température de colle $\theta^\circ\text{C}$ (- 0,566).

L'interprétation est ici moins facile et les corrélations sont moins proches de 1. Il n'explique que 24,38% de l'inertie totale.

Le 3ème facteur est plus difficile à interpréter puisqu'il n'explique plus que 10,11% de l'inertie totale.

La qualité de la représentation est donnée par le cosinus carré de l'angle entre l'observation (rouleau) et la projection de celle-ci sur le sous-espace engendré par les trois axes factoriels.

A l'aide du tableau 5.b, cette qualité nous montre que les rouleaux les mieux représentés sont X34, X13, X35, X15, X31, X36 ...

La projection des points proches de l'origine, a peu de chances d'être représentative.

Dans cette partie, pour une étude plus approfondie, on a considéré deux types de taux de casses :

- un faible taux de casses (inférieur à 2500 casses par 10^6 duites)
- un fort taux de casses (supérieur à 10000 casses par 10^6 duites).

Sur les figures 4 et 5, apparaît une séparation nette entre les points à faible taux de casses et ceux à taux de casses élevé.

En effet, ce sont ces derniers qui vont nous intéresser pour notre étude qui consiste à projeter ces points sur différents axes (au nombre de 9), et d'en tirer des conclusions.

Si on regarde les tensions notées Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_6 ; les projections des points appartiennent pratiquement toutes aux axes positifs, ce qui explique que les rouleaux ont été soumis à de fortes tensions d'où un fort taux de casses. Donc pour y remédier, il convient de diminuer ces variables.

De même, si on fait ce travail sur Y_9 la vitesse d'encollage, on remarque cette fois-ci que les projections des points appartiennent à l'axe négatif, donc il faut l'augmenter.

Pour les températures de colle Y_7 et de séchage Y_8 ainsi que la pression d'exprimage Y_5 , on ne peut rien en déduire puisque les projections appartiennent aussi bien à l'axe positif que négatif.

II.4 - CONCLUSION

L'interprétation des résultats aurait pû être plus significative s'il n'y manquait pas des variables déjà citées précédemment. Des variables qu'on a utilisé, on peut en tirer trois conclusions intéressantes :

- a - diminuer les tensions appliquées à tous les stades de la fabrication.
- b - augmenter la vitesse de la machine.
- c - la pression étant presque non discriminante, il est préférable de l'augmenter.

Le rendement de la production ne sera pas affecté puisqu'on agit sur la vitesse dans le bon sens.

Cette analyse des données nous conduit, dans ce sens, à une modélisation qui peut être schématisée par :

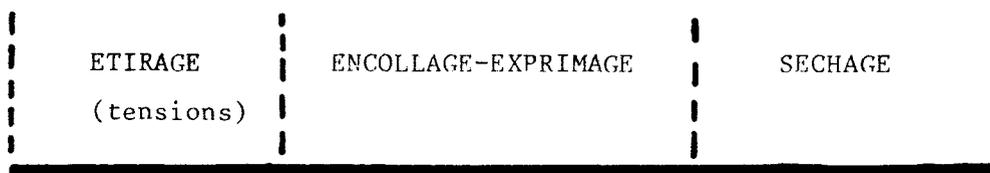
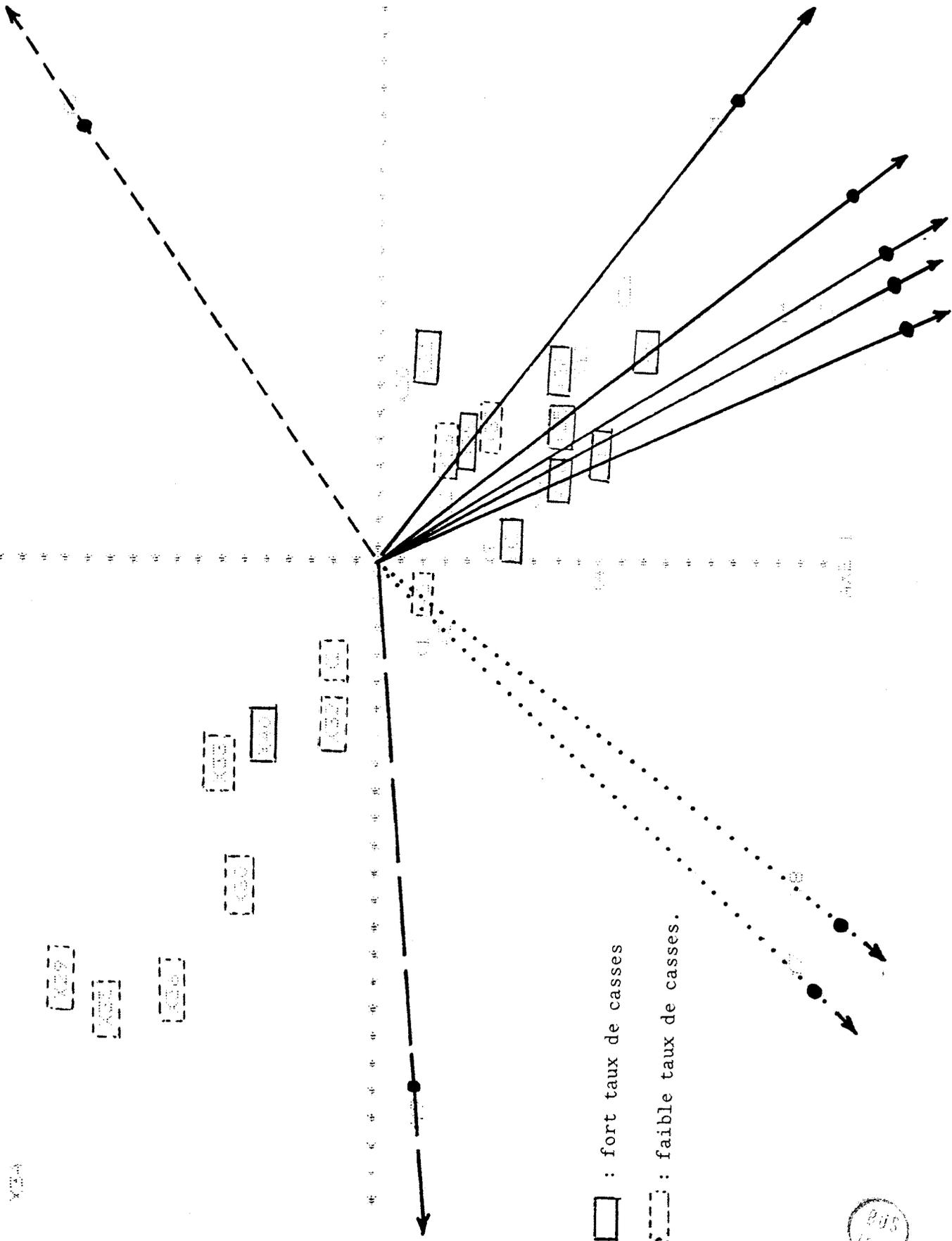
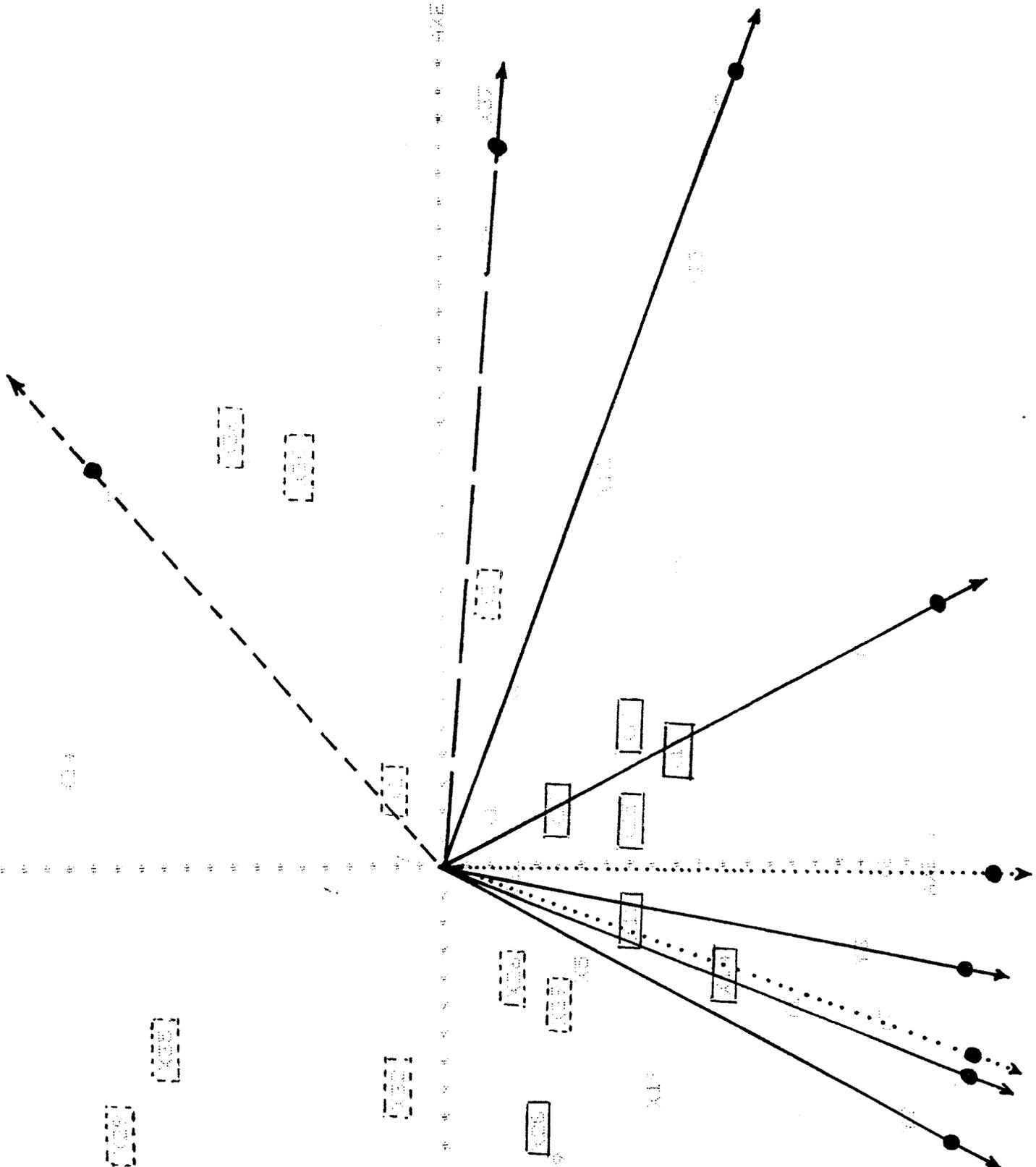


FIG.6 : MODELISATION POSSIBLE DU PROCESSUS

[17]



BUS LILLE



: fort taux de cassettes
 : faible taux de cassettes.



B I B L I O G R A P H I E

- |1| BERTIER P. , BOUROCHE J.M .
" Analyse des données multi-dimensionnelles "
Presses Universitaires de France . 1975.
- |2| CIOCOIU M. , MARCHIS O.
" Utilisation de l'ordinateur pour l'étude de certains facteurs du
processus d'encollage "
Ind. Textila . 06/1974 . P.279 . ROUMANIE
- |3| DEGENNE A.
" Techniques ordinales en analyse des données statistiques "
Hachette Université - PARIS . 1971.
- |4| HENRY - LABORDERE A.
" Analyse de données "
Masson . 1977.
- |5| LEBART L. , FENELON J.P .
" Statistique et informatique appliquées "
Dunod . PARIS . 1973
- |6| MORICE E. , CHARTIER F.
" Méthode statistique "
Imprimerie générale . PARIS . 1954
- |7| ROY B.
" Algèbre moderne et théorie des graphes "
Tome 1 et 2 . Dunod . PARIS . 1969
- |8| SAZHIN V.A. , LOGINOVA J.
" Relation entre les casses de fils de chaîne et la valeur de
l'allongement pendant l'encollage "
Tekstilnaia Promychnost . 03/1978 . P.41 . URSS.

MODÈLE MÉCANIQUE

CHAPITRE III

MODÈLE MÉCANIQUE

INTRODUCTION

III.1 - MODELISATION

- III.1.1. - But et intérêt de cette modélisation
- III.1.2. - Allongement et coefficient d'allongement
- III.1.3. - Tension d'une bande de matière : Loi de HOOKE
- III.1.4. - Exemple de calcul de tensions mécaniques pour un sous-système
 - III.1.4.1. - *Chaîne cinématique*
 - III.1.4.2. - *Système global Enroulement - Déroulement*
- III.1.5. - Système complet
- III.1.6. - Calcul des moments d'inertie
 - III.1.6.1. - *Moment d'inertie $J(\theta_e)$ à l'enroulement*
 - III.1.6.2. - *Moment d'inertie $J(\theta_d)$ au déroulement*
 - III.1.6.3. - *Moment d'inertie des cylindres sécheurs*
 - III.1.6.4. - *Moment d'inertie des autres rouleaux*
- III.1.7. - Calcul du rayon d'enroulement $R(\theta_e)$
- III.1.8. - Calcul du rayon de déroulement $R(\theta_d)$
- III.1.9. - Détermination de la masse $M(\theta_e)$ à l'enroulement
 - III.1.9.1. - *Calcul de la longueur enroulée $L_e(\theta_e)$*
- III.1.10 - Détermination de la masse $m(\theta_d)$ au déroulement
 - III.1.10.1. - *Calcul de la longueur déroulée $L_d(\theta_d)$*
- III.1.11.- Frein pneumatique (frein à sangle)

III.2 - MODELE COMPLET

III.3 - CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE III

MODÈLE MÉCANIQUE

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous nous proposons de déterminer les tensions mécaniques appliquées à chaque niveau du système.

La décomposition du processus en sous-systèmes s'avère nécessaire pour leurs calculs FIG.1.

La détermination de ces tensions verra l'utilisation de la loi de la dynamique d'un système en rotation soumis à différents couples moteurs et résistants.

III.1 - MODELISATION

La détermination de modèles mathématiques des processus industriels a pour but de représenter le fonctionnement d'un système sous forme de relations mathématiques (systèmes d'équations, fonction de transfert, ...) à partir de lois physiques.

Ainsi défini, ce modèle va présenter au moins dans un certain domaine de fonctionnement, un comportement analogue à l'objet. Cependant, le problème n'est pas alors totalement résolu, car il faut encore calculer les valeurs numériques des constantes intervenant dans les relations obtenues.

Dans certains cas, il est possible de les choisir grâce à des mesures appropriées. Dans d'autres, le modèle de connaissance n'est pas exploitable; alors interviennent, ce qu'on appelle, les méthodes d'identification.

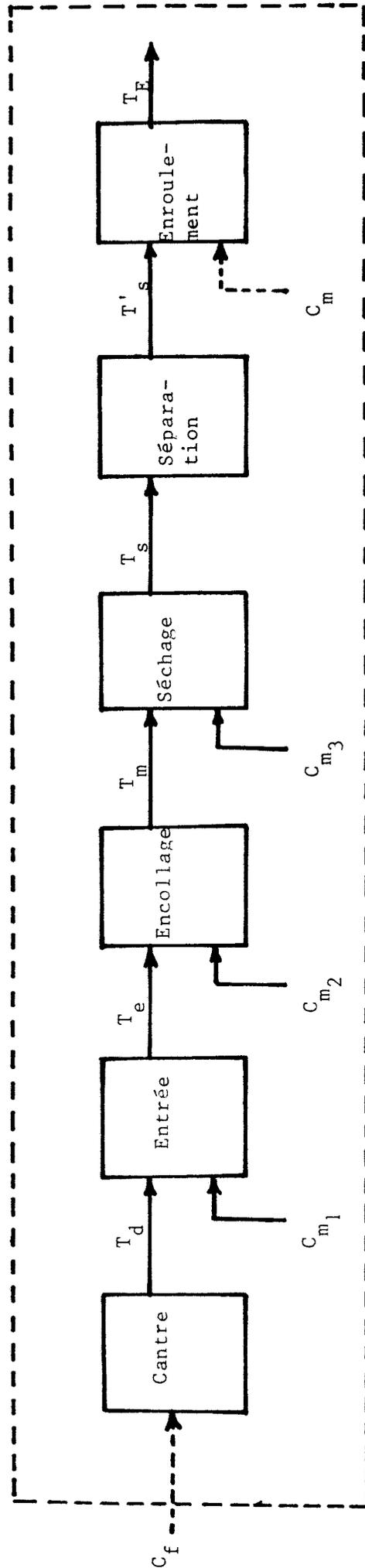


FIG.1 : REPRESENTATION DES TENSIONS ET COUPLES MOTEURS
AU NIVEAU DE CHAQUE SOUS-SYSTEME.



En ce qui concerne l'établissement d'un modèle mécanique pour l'encolleuse étudiée, nous avons adopté la démarche suivante : la machine étant composée d'un ensemble de rouleaux cylindriques, nous décomposons le système en sous systèmes pour faciliter le calcul des tensions pour chaque sous-système.i.

Nous traiterons l'exemple d'un sous-système, la modélisation des autres donnant lieu à des calculs analogues.

III.1.1. - But et intérêt de cette modélisation

La chaîne textile subit deux opérations de traitement à savoir un encollage puis un séchage. Un système de contrôle de la siccité à la sortie du séchoir agit sur la vitesse de la machine. Suivant que la bande de matière est trop humide ou trop sèche à cause des perturbations (arrêt dû à une réparation par exemple), la régulation agit sur la vitesse des rouleaux d'entraînement donc on a une variation d'accélération qui se répercutera sur la tension de la matière, entraînant ainsi un allongement plus ou moins important du fil.

Pour que la tension de la nappe de fils reste constante, celle-ci ne doit ni s'allonger, ni se contracter.

Une relation mathématique où figurent tension, accélération, vitesse,... permettra d'étudier un facteur en fonction des autres.

La commande de la force de traction de la matière évitera ainsi des allongements trop importants.

III.1.2. - Allongement et coefficient d'allongement

Les bandes de matière qui subissent des traitements physico-chimiques, sont généralement soumises à une grande variété d'effets qui tendent, directement ou indirectement à les déformer en faisant ainsi varier la tension donc l'allongement (contraintes mécaniques, thermiques, etc ...) |10|

Ceci nous incite à tenir compte d'un coefficient d'allongement total α entre les systèmes de déroulement et d'enroulement, ainsi que d'une fraction d'allongement α_i dans chaque sous-système i . Donc pendant le processus d'encollage, il y a un allongement de fil ΔL tel que :

$$L_e = L_d + \Delta L \quad (1)$$

où

L_e : longueur de fil enroulée (m)

L_d : longueur de fil déroulée (m)

Cet allongement ΔL est proportionnel à la longueur déroulée L_d :

$$L_e = L_d + \alpha L_d \quad (2)$$

$$L_e = (1 + \alpha) L_d \quad (3)$$

α : coefficient d'allongement (m allongement/m de matière)

La relation (3) peut être exprimée en termes de vitesses linéaires ou angulaires :

$$V_e = (1 + \alpha) \cdot V_d \quad (4)$$

$$R(\theta_e) \cdot \dot{\theta}_e = (1 + \alpha) \cdot R(\theta_d) \cdot \dot{\theta}_d \quad (5)$$

où

V_e : vitesse linéaire à l'enroulement (m/s)

V_d : vitesse linéaire au déroulement (m/s)

$R(\theta_e), \dot{\theta}_e$: rayon (m) et vitesse angulaire (rd/s) à l'enroulement

$R(\theta_d), \dot{\theta}_d$: rayon (m) et vitesse angulaire (rd/s) au déroulement.

Les relations (3), (4) et (5) donnent le coefficient d'allongement total α en fonction des longueurs ou des vitesses :

$$\alpha = \frac{L_e}{L_d} - 1 = \frac{V_e}{V_d} - 1 = \frac{R(\theta_e) \cdot \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \cdot \dot{\theta}_d} - 1 \quad (6)$$

III.1.3. - Tension d'une bande de matière : Loi de HOOKE

La tension appliquée à la matière est liée à l'allongement par la loi de HOOKE : Celle-ci est donnée dans le domaine élastique par la relation suivante [10] :

$$T = \epsilon \cdot s \cdot \frac{x - x_0}{x_0} \quad (7)$$

où

T : tension déformante totale (N)

ϵ : module d'élasticité (N/m^2)

s : section du fil (m^2)

x_0 : longueur initiale (m)

x : longueur finale (m)

Cette relation n'est valable que pour certains matériaux et sous certaines conditions : l'hétérogénéité du matériau et les variations de l'épaisseur de la matière provoquent des irrégularités de la déformation par exemple. Nous pouvons simplifier la relation (7) pour la rendre utilisable, en disant que pour :

- . une longueur de matière x_0 entrante
- . et une longueur de matière $(1 + \alpha) x_0$ sortante.

la relation de HOOKE peut s'écrire :

$$T = K \frac{\alpha x_0}{x_0} = K \alpha \quad (8)$$

c'est-à-dire que la tension appliquée au fil est proportionnelle au coefficient d'allongement. Il est évident que plus la force est importante, plus l'allongement l'est aussi. K étant un coefficient à identifier qui caractérise chaque matériau. Les expressions (6) et (8) permettent d'écrire :

$$\alpha = \frac{T}{K} = \frac{V_e}{V_d} - 1 = \frac{R(\theta_e) \cdot \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \cdot \dot{\theta}_d} - 1 \quad (9)$$

III.1.4. - Exemple de calcul de tensions mécaniques pour un sous-système

III.1.4.1. - Chaîne cinématique

Avant de traiter l'exemple, nous faisons remarquer que la vitesse de la machine est imposée par un moteur shunt triphasé de 9,5 KW (le nombre de tours de ce moteur varie de 0 à 2500 t/min.).

Ce moteur entraîne un arbre cylindrique longitudinal qui, dans un premier temps, à travers un engrenage conique, transmet un certain couple à la vitesse angulaire ω au système sécheur (entraîné par une chaîne double). Les sous-systèmes d'entrée (courroie) et d'encollage (courroie et chaîne) sont aussi à leur tour, entraînés par ce même organe de transmission, à travers un engrenage de démultiplication. Donc les vitesses des différents sous-systèmes sont réglées les unes par rapport aux autres à partir de cet arbre principal.

Etant donné qu'il n'existe qu'un seul moteur entraînant le rouleau d'enroulement à une vitesse $\dot{\theta}_e$ et plusieurs mécanismes à différentes vitesses $\dot{\theta}_i$, la relation qui relie ces grandeurs s'écrit :

$$\dot{\theta}_i = k_i \cdot \dot{\theta}_e \quad (10)$$

où k_i représente soit le rapport des diamètres des poulies (D_i), soit le rapport des dents (Z_i) tel que :

$$k_i = \frac{\dot{\theta}_i}{\dot{\theta}_e} = \frac{Z_e}{Z_i} = \frac{D_e}{D_i} \quad (11)$$

Cette relation n'est valable, pour les entraînements par chaîne ou par courroie, que s'il n'y a pas de glissement. Pour ces entraînements le couple moteur est limité à une valeur C_{lim} déterminée par l'angle d'enroulement et le coefficient de frottement FIG.2 .

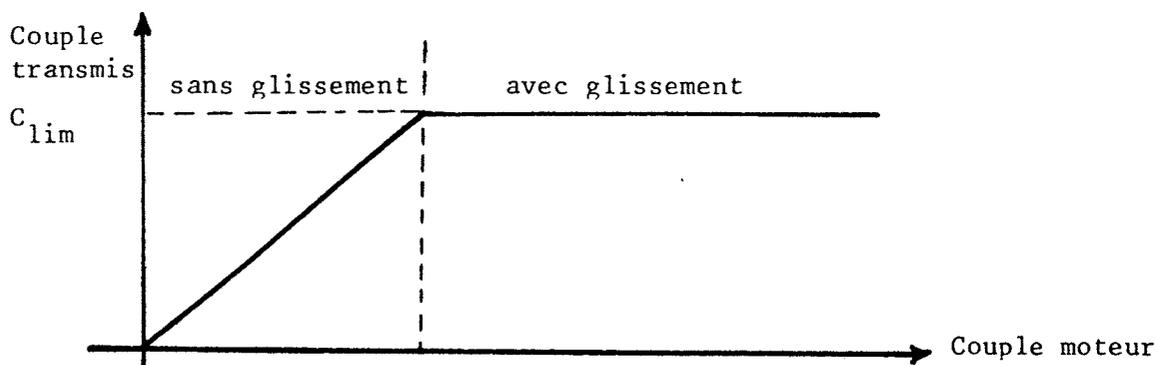


FIG.2

III.1.4.2. - Système global Enroulement-Déroulement

Soit à considérer l'exemple global (déroulement - enroulement) FIG.3, comme un seul sous-système c'est-à-dire que les rouleaux intermédiaires sont inexistants. Par la suite, nous élargirons l'étude à plusieurs sous-systèmes.

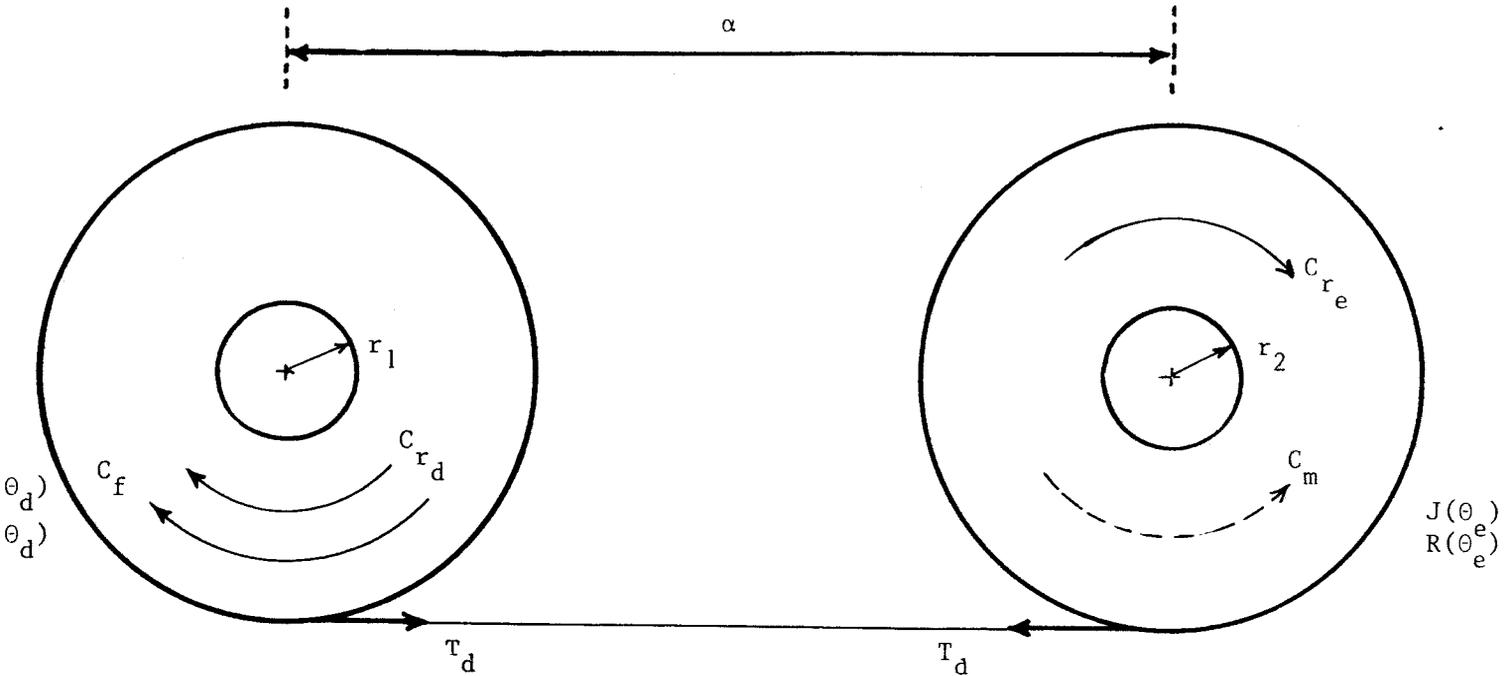


FIG.3 : SOUS-SYSTEME DEROULEMENT/ENROULEMENT

L'application de la loi de la dynamique d'un système en rotation permet d'écrire | 3,5 | :

$$C_{\text{Résultant}} = C_{\text{appliqué}} - C_{\text{résistant}} = J \cdot \ddot{\theta} \quad (12)$$

* Au déroulement : en cours de fonctionnement de l'encolleuse, les rouleaux du cantre sont soumis à un couple de freinage C_f , à un couple résistant dû aux frottements C_{r_d} et à un couple moteur qui doit vaincre la somme des couples résistants pour vider progressivement les rouleaux de leur matière.

Le moment d'inertie J est fonction de l'angle de rotation θ_d puisque le rayon $R(\theta_d)$ et la masse diminuent simultanément:

$$J (\theta_d) \cdot \ddot{\theta}_d + C_{r_d} + C_f = T_d \cdot R (\theta_d) \quad (13)$$

Les expressions de $J (\theta_d)$, $R (\theta_d)$ et C_f seront données dans un prochain paragraphe.

* A l'enroulement : ici le rouleau est soumis à un couple moteur C_m fourni par le moteur électrique et à un couple résistant C_r dû aux frottements. Le rayon d'enroulement $R (\theta_e)$ augmente au cours du temps, il en est de même pour la masse, donc le moment d'inertie $J (\theta_e)$ varie :

$$J (\theta_e) \cdot \ddot{\theta}_e + C_{r_e} + T_d \cdot R (\theta_e) = C_m \quad (14)$$

T_d : tension de déroulement (N)

L'existence d'un allongement entre les deux rouleaux permet d'écrire, en utilisant l'expression (9) :

$$\alpha = \frac{T_d}{K} = \frac{R (\theta_e) \cdot \dot{\theta}_e}{R (\theta_d) \cdot \dot{\theta}_d} - 1 \quad (15)$$

Les relations (13), (14), (15) forment un système à résoudre où apparaissent trois inconnues à savoir θ_d , θ_e et T_d .

$$\begin{aligned} J (\theta_d) \ddot{\theta}_d + C_{r_d} + C_f &= T_d \cdot R (\theta_d) \\ J (\theta_e) \ddot{\theta}_e + C_{r_e} + T_d R (\theta_e) &= C_m \end{aligned} \quad (16)$$

$$\frac{T_d}{K} = \frac{R (\theta_e) \dot{\theta}_e}{R (\theta_d) \dot{\theta}_d} - 1$$

Nous éliminons la tension T_d dans les deux premières équations; ce qui ramène le système à deux inconnues θ_e et θ_d sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 J(\theta_d) \ddot{\theta}_d + K R(\theta_d) \left[1 - \frac{R(\theta_e) \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \dot{\theta}_d} \right] &= -C_{r_d} - C_f \\
 J(\theta_e) \ddot{\theta}_e + K R(\theta_e) \left[\frac{R(\theta_e) \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \dot{\theta}_d} - 1 \right] &= C_m - C_{r_e}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

que nous pourrions intégrer à partir d'un ensemble de conditions initiales. Les solutions permettent alors le calcul de l'évolution de la tension T_d .

III.1.5. - Système complet

La chaîne cinématique de l'encolleuse comportant 48 cylindres, le nombre de sous-systèmes à envisager est important; la présentation de l'ensemble du modèle serait ici fastidieux.

C'est pourquoi nous donnons en annexe 3 les caractéristiques de chacun des sous-systèmes constituant l'encolleuse, et nous présentons sur un exemple comportant trois sous-systèmes la technique de modélisation. Les équations différentielles auxquelles nous aboutissons ainsi ont, compte tenu du § III.1.4.1., la même forme quel que soit le nombre de rouleaux intermédiaires.

Considérons l'ensemble de la FIG.4 et appliquons la relation (12) à chaque sous-système.

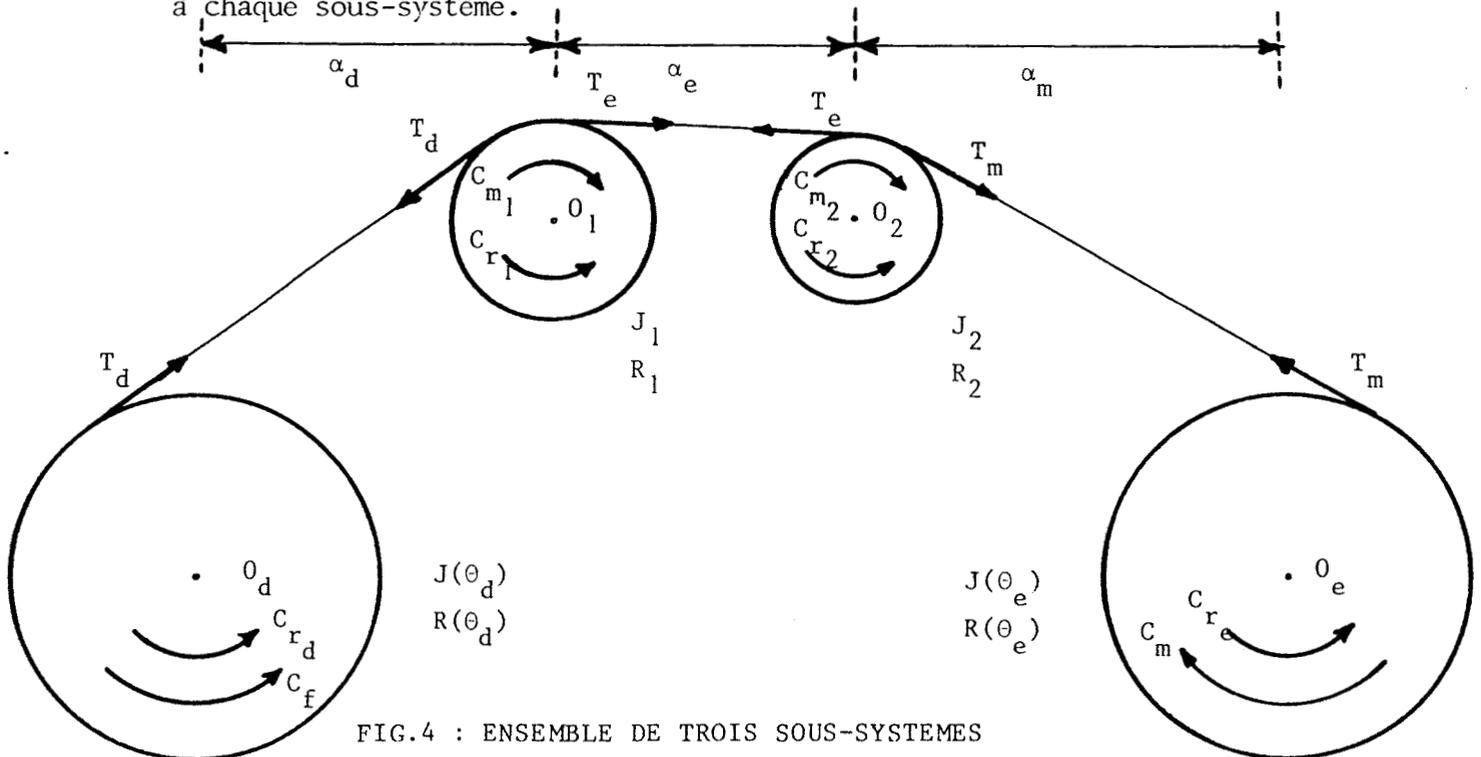


FIG.4 : ENSEMBLE DE TROIS SOUS-SYSTEMES

Nous rappelons qu'il existe un coefficient d'allongement α_i pour chaque sous-système i . Les quatre rouleaux sont régis par les relations suivantes :

$$J(\theta_d) \cdot \ddot{\theta}_d + C_{r_d} + C_f = T_d \cdot R(\theta_d) \quad (18)$$

$$J_1 \cdot \ddot{\theta}_1 + C_{r_1} + T_d \cdot R_1 = C_{m_1} + T_e \cdot R_1 \quad (19)$$

$$J_2 \cdot \ddot{\theta}_2 + C_{r_2} + T_e \cdot R_2 = C_{m_2} + T_m \cdot R_2 \quad (20)$$

$$J(\theta_e) \cdot \ddot{\theta}_e + C_{r_e} + T_m \cdot R(\theta_e) = C_m \quad (21)$$

Les coefficients d'allongement pour chaque sous-système s'écrivent :

$$\alpha_d = \frac{T_d}{K_d} = \frac{R_1 \cdot \dot{\theta}_1}{R(\theta_d) \cdot \dot{\theta}_d} - 1 \quad (22)$$

$$\alpha_e = \frac{T_e}{K_e} = \frac{R_2 \cdot \dot{\theta}_2}{R_1 \cdot \dot{\theta}_1} - 1 \quad (23)$$

$$\alpha_m = \frac{T_m}{K_m} = \frac{R(\theta_e) \cdot \dot{\theta}_e}{R_2 \cdot \dot{\theta}_2} - 1 \quad (24)$$

Précédemment, nous avons évoqué la transmission des vitesses à l'aide d'un arbre (§ III.1.4.1.) . Les angles ou vitesses de rotation des systèmes intermédiaires peuvent être donc exprimés en fonction de l'angle de rotation θ_e ou de la vitesse angulaire $\dot{\theta}_e$ de l'enroulement sous la forme suivante :

$$\theta_1 = k_1 \theta_e \quad \rightarrow \quad \dot{\theta}_1 = k_1 \dot{\theta}_e \quad (25)$$

$$\theta_2 = k_2 \theta_e \quad \rightarrow \quad \dot{\theta}_2 = k_2 \dot{\theta}_e \quad (26)$$

T_d, T_e, T_m : tensions de déroulement, d'entrée, au mouillé (N)

R_1, R_2 : rayons des rouleaux d'entrée et d'encollage (m)

C_{m_1}, C_{m_2} : Couples moteurs associés à l'entrée et à l'encollage (N.m)

k_1, k_2 : coefficients de proportionnalité à identifier

$\alpha_d, \alpha_e, \alpha_m$: coefficients d'allongement des trois sous-systèmes (m allongement / m matière)

θ_e, θ_d : angles de rotation de déroulement et d'enroulement

Ces relations ne sont valables que s'il n'y a pas de glissement, c'est-à-dire que les couples moteurs C_{m_1} ou C_{m_2} soient constants ou inférieurs à un certain couple moteur limite C_{m_1} . S'ils deviennent supérieurs à ce couple limite, il y a glissement. Au voisinage du C_{m_1} il y a naissance de vibrations très gênantes pour les sous-systèmes et imprécision dans la transmission du mouvement. Cette avance par à coups est due à l'irrégularité des coefficients de frottement de glissement alliée à l'élasticité de la transmission du mouvement : c'est le phénomène du broutage ou " Stick - Slip " [26]

Hypothèse : pas de broutage.

Les expressions (18) à (26) permettent de déterminer les valeurs des tensions T_d , T_e , T_m pour les trois sous-systèmes choisis.

Les inconnues sont au nombre de 9 : θ_1 , θ_2 , θ_e , θ_d , T_d , T_e , T_m , C_{m_1} , C_{m_2} , qui sont déterminées à partir de 9 relations ci-dessus (de (18) à (26)). Les expressions (22), (23), (24) permettent d'éliminer les tensions T_d , T_m et T_e dans les relations (18) à (21) ainsi que les $\dot{\theta}_1$, $\dot{\theta}_2$, $\dot{\theta}_1$ et $\dot{\theta}_2$ par (25) et (26).

ceci réduit l'ensemble des expressions à 4 équations à 4 inconnues θ_d , θ_e , C_{m_1} , C_{m_2} :

$$J(\theta_d) \cdot \ddot{\theta}_d + K_d \left(1 - \frac{k_1 R_1 \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \dot{\theta}_d} \right) R(\theta_d) = - C_{r_d} - C_f \quad (27)$$

$$k_1 J_1 \ddot{\theta}_e + \left(K_d \left[\frac{k_1 R_1 \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \dot{\theta}_d} - 1 \right] - K_e \left[\frac{k_2 R_2}{k_1 R_1} - 1 \right] \right) R_1 = C_{m_1} - C_{r_1} \quad (28)$$

$$k_2 J_2 \ddot{\theta}_e + \left(K_e \left[\frac{k_2 R_2}{k_1 R_1} - 1 \right] - K_m \left[\frac{R(\theta_e)}{k_2 R_2} - 1 \right] \right) R_2 = C_{m_2} - C_{r_2} \quad (29)$$

$$J(\theta_e) \cdot \ddot{\theta}_e + K_m \left[\frac{R(\theta_e)}{k_2 R_2} - 1 \right] R(\theta_e) = C_m - C_{r_e} \quad (30)$$

De ces dernières relations, seules (27) et (30), où apparaissent les commandes C_f et C_m , sont retenues : leurs intégrations permettant de déterminer C_{m1} et C_{m2} figurant dans (28) et (29). Si nous appelons les commandes u_1 et u_2 , elles sont égales respectivement à des fonctions f et g telles que :

$$f(\ddot{\theta}_d, \dot{\theta}_d, \theta_d, \dot{\theta}_e) = u_1 \quad (31)$$

$$g(\ddot{\theta}_e, \theta_e) = u_2 \quad (32)$$

Les conditions initiales du système sont :

$$\theta_e(0) = 0 \quad \dot{\theta}_e(0) = 0 \quad \theta_d(0) = 0 \quad \dot{\theta}_d(0) = 0 \quad (33)$$

Si nous désirons écrire les expressions (31) et (32) sous la forme d'équation d'état, nous posons alors :

$$\theta_d = x_1 \quad \dot{\theta}_d = x_2 \quad \theta_e = x_3 \quad \dot{\theta}_e = x_4 \quad (34)$$

Les relations (27), (30) et (34) deviennent alors :

$$J(x_1) \dot{x}_2 + K_d \left(1 - \frac{k_1 R_1 x_4}{x_2 R(x_1)}\right) \cdot R(x_1) = u_1 \quad (35)$$

$$J(x_3) \dot{x}_4 + K_m \left(\frac{R(x_3)}{k_2 R_2} - 1\right) \cdot R(x_3) = u_2 \quad (36)$$

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (37)$$

$$\dot{x}_3 = x_4 \quad (38)$$

ou sous forme vectorielle :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \varphi \left(\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \right) \quad (39)$$

Pour calculer les sorties $y(t)$, connaissant $u(t)$, la représentation d'état peut être utilisée. Si les tensions T_d , T_e , T_m sont notées respectivement y_1 , y_2 , y_3 , alors nous pouvons les mettre sous la forme :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \Psi \left(\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \right) \quad (40)$$

Pour pouvoir valider le modèle, certains termes doivent être mis en équation comme les rayons $R(\theta_d)$ et $R(\theta_e)$, les moments d'inertie $J(\theta_d)$, $J(\theta_e)$ et J_i , le couple de freinage ...

III.1.6. - Calcul des moments d'inertie

Le calcul des différents moments d'inertie des rouleaux du système est utile pour la validation du modèle.

La plupart des cylindres de la machine sont creux. Le calcul de leur moment d'inertie (|1|,|19|) est fait en annexe 2 . Dans ce qui suit, nous reportons seulement le résultat obtenu.

III.1.6.1. - Moment d'inertie $J(\theta_e)$ à l'enroulement

Après un temps t de fonctionnement, le rayon $R(\theta_e)$ et la masse $M(\theta_e)$ du rouleau ont augmenté suivant le nombre de tours accomplis : le moment d'inertie du rouleau est donc fonction de l'angle de rotation $\theta_e(t)$:

$$J(\theta_e) = \frac{1}{2} \cdot M(\theta_e) \cdot R^2(\theta_e) \quad (41)$$

III.1.6.2. - Moment d'inertie $J(\theta_d)$ au déroulement

A l'instant $t = 0$, les rouleaux du cantre sont considérés comme pleins. Après un temps t de fonctionnement, le rayon initial R_0 va diminuer,

par conséquent la masse du rouleau aussi, ainsi que le moment d'inertie qui est toujours fonction de l'angle de rotation $\theta_d = \theta_d(t)$:

$$J(\theta_d) = \frac{1}{2} \cdot m_i(\theta_d) \cdot R_i^2(\theta_d) \quad (42)$$

III.1.6.3. - Moment d'inertie des cylindres-sécheurs

Le calcul du moment d'inertie est fait en annexe; il est constant :

$$J_i = \frac{10}{12} m_i \cdot r_i^2 \quad (43)$$

III.1.6.4. - Moment d'inertie des autres rouleaux

Nous considérons que les autres rouleaux (de guidage, d'exprimage,..) sont pleins et ont un moment d'inertie égal à :

$$J_i = \frac{1}{2} \cdot m_i \cdot r_i^2 \quad (44)$$

III.1.7. - Calcul du rayon d'enroulement $R(\theta_e)$

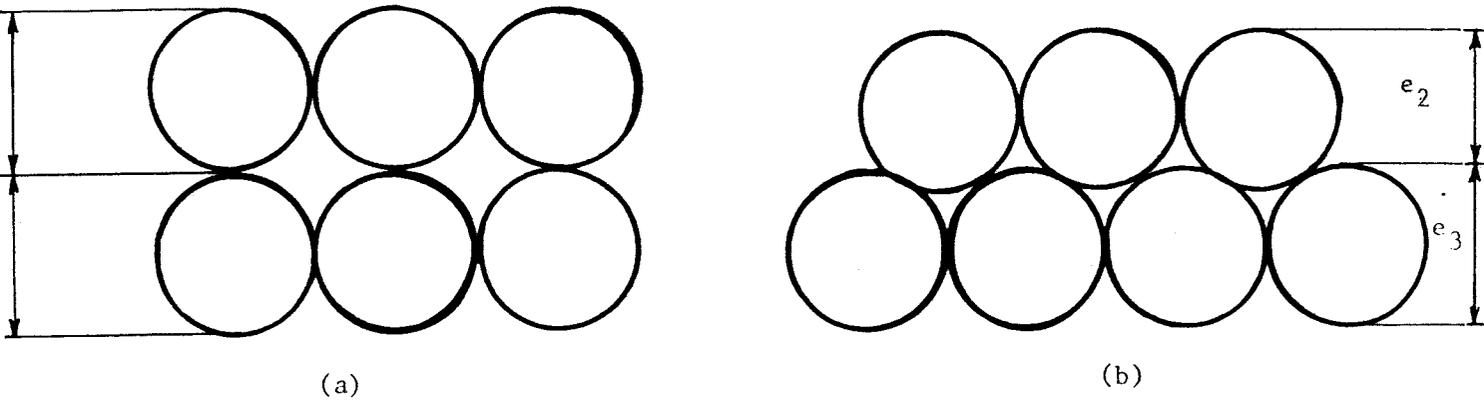
Au cours de l'enroulement, le rayon du rouleau passe de r_2 (rayon initial) à $R(\theta_e)$ valeur au temps t . En admettant que le rayon augmente d'une épaisseur initiale e_0 du fil, nous pouvons écrire :

$$R(\theta) = r_2 + N \cdot e_0 \quad (45)$$

où N est le nombre de tours effectués.

Or à chaque tour accompli, l'augmentation du rayon est inférieure à l'épaisseur e_0 du fil; en effet :

- . les fils sont encollés ($e_3 > e_0$), e_3 : épaisseur du fil encollé.
- . les fils se chevauchent : $R(\theta_e)$ n'augmentera pas de e_3 mais d'une épaisseur $e_2 < e_3$ comme l'indique le schéma suivant :



- . les fils encollés sont pressés sous une pression d'appui p_a dans le but de mettre beaucoup plus de longueur de fils sur chaque rouleau. Au vu de ces remarques, il est plus raisonnable d'écrire la relation (45) sous la forme :

$$R(\theta_e) = r_2 + N \cdot e_2 \quad (46)$$

où l'épaisseur e_2 est une fonction de l'épaisseur initiale e_0 du fil, de la pression d'appui, et de la quantité de colle déposée.

$$e_2 = k \cdot e_0 \quad (47)$$

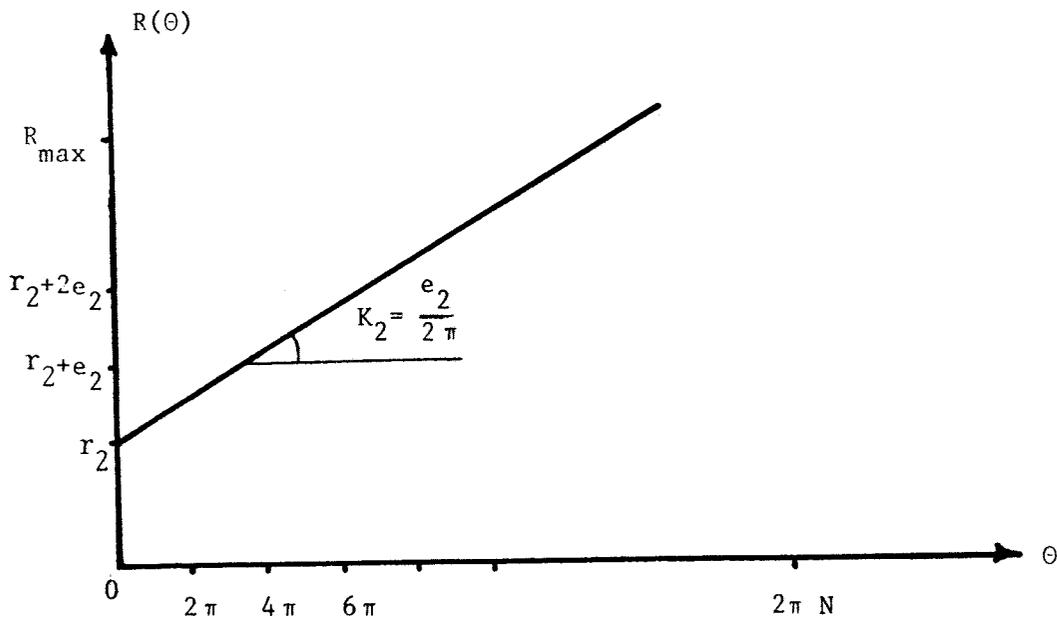


FIG.5 : variation du rayon d'enroulement R en fonction de θ

Le nombre de tours N que fait le rouleau en fonction de l'angle de rotation θ_e est donné par :

$$N = \frac{\theta_e}{2\pi} \quad (48)$$

D'après les relations (46), (47), (48); $R(\theta_e)$ s'écrira :

$$R(\theta_e) = r_2 + K_2 \theta_e \quad (49)$$

K_2 : coefficient à identifier ($K_2 = \frac{ke_0}{2\pi} = \frac{e_2}{2\pi}$)

III.1.8. - Calcul du rayon de déroulement $R(\theta_d)$

Au cours du déroulement, le rayon du rouleau passe de R_0 valeur à l'instant $t = 0$ à une valeur $R(\theta_d)$ à l'instant t .

Comme pour le rayon d'enroulement, nous proposons pour $R(\theta_d)$ une relation de la forme :

$$R(\theta_d) = R_0 - K_1 \theta_d \quad (50)$$

K_1 : coefficient à identifier ($K_1 = \frac{k'e_0}{2\pi} = \frac{e_1}{2\pi}$)

III.1.9. - Détermination de la masse $M(\theta_e)$ à l'enroulement

La masse $M(\theta_e)$ est la somme de la masse du rouleau à vide M_2 et la masse de fil qui vient s'enrouler :

$$M(\theta_e) = M_2 + M_f(\theta_e) \quad (51)$$

La masse totale de fils $M_f(\theta)$ peut être déterminée à l'aide de la relation donnant la masse linéique ρ :

$$\rho = \frac{M}{L} \rightarrow M = \rho \cdot L \quad (52)$$

d'où

$$M_f(\theta_e) = [\rho_2 \cdot L_e(\theta_e)] n \quad (53)$$

ρ_2 : masse linéique après encollage qui est fonction de la quantité de colle déposée, de la concentration de colle... (Kg/m)

$L_e(\theta)$: longueur totale enroulée (m)

n : nombre de fils de la nappe

III.1.9.1. - Calcul de la longueur enroulée $L_e(\theta_e)$

Voyons comment s'effectue le remplissage du rouleau :

0 tour	→	0
1 tour	→	$2\pi r_2$
2 tours	→	$2\pi r_1 = 2\pi (r_2 + e_2)$
3 tours	→	$2\pi r_2 = 2\pi (r_2 + 2e_2)$
"		
"		
j tours	→	$2\pi r_{j-1} = 2\pi (r_2 + (j-1)e_2)$
"		
"		
N tours	→	$2\pi r_{N-1} = 2\pi (r_2 + (N-1)e_2)$

la longueur totale enroulée $L_e(\theta_e)$ après N tours sera égale à :

$$L_e(N) = 2\pi r_2 + 2\pi (r_2 + e_2) + \dots + 2\pi (r_2 + (j-1)e_2) + \dots + 2\pi (r_2 + (N-1)e_2)$$

$$L_e(N) = 2\pi [N r_2 + (1 + 2 + 3 + \dots + (N-1)) e_2]$$

$$L_e(N) = 2\pi [N r_2 + N \cdot \left(\frac{N-1}{2}\right) e_2] \quad (54)$$

$$L_e(\theta_e) = \frac{K_2}{2} \theta_e^2 + (r_2 - K_2 \pi) \theta_e \quad (55)$$

Les équations (51), (53), (55) donnent finalement :

$$M(\theta_e) = n \rho_2 \frac{K_2}{2} \theta_e^2 + n \rho_2 (r_2 - K_2 \pi) \theta_e + M_2 \quad (56)$$

Pour simplifier l'écriture des relations, nous posons :

$$\begin{aligned} A_2 &= n \rho_2 \frac{K_2}{2} \\ B_2 &= n \rho_2 (r_2 - K_2 \Pi) \\ C_2 &= M_2 \end{aligned} \quad (57)$$

Ce qui permet d'écrire :

$$M(\theta_e) = A_2 \theta_e^2 + B_2 \theta_e + C_2 \quad (58)$$

III.1.10 - Détermination de la masse $m(\theta_d)$ au déroulement

Sur le cantre, nous pouvons mettre p rouleaux d'ourdissage ($1 \leq p \leq 12$). Chaque rouleau possède un nombre n_i de fils et une longueur initiale l_i au départ.

La nappe de fils présente à l'encollage :

$$\begin{aligned} - \text{un nombre } n \text{ de fils} &: n = \sum_{i=1}^p n_i \\ - \text{une longueur } L & \end{aligned}$$

Pour le calcul de la masse $m(\theta_d)$, nous procédons de la même manière que précédemment :

$$m(\theta_d) = M_1 + m_f(\theta_d) \quad (59)$$

avec

$$m_f(\theta_d) = n (\rho_1 L_r(\theta_d)) \quad (60)$$

ρ_1 : masse linéique avant encollage (Kg/m)

$L_r(\theta_d)$: longueur de fils restante (m)

M_1 : masse du rouleau vide (Kg)

Nous supposons que les p rouleaux sont identiques et se déroulent avec la même vitesse. Dans ce cas, nous opérons comme si nous avions un seul rouleau ayant un nombre de fils n et une longueur de fils initiale $L_0 = \min_i l_i$

III.1.10.1. - Calcul de la longueur déroulée $L_d(\theta_d)$

Nous procédons de la même manière que pour la longueur enroulée :

0 tour	→	0
1 tour	→	$2\pi (R_0 - e_1)$
2 tours	→	$2\pi (R_0 - 2 e_1)$
3 tours	→	$2\pi (R_0 - 3 e_1)$
"		
"		
j tours	→	$2\pi (R_0 - j e_1)$
"		
"		
N' tours	→	$2\pi (R_0 - N' e_1)$

Avec la condition $R_0 - N'e_1 = r_1$; N' étant le nombre de tours maximum pour arriver au rayon final r_1 .

Soit L_d la longueur totale déroulée après N' tours :

$$L_d(N') = 2\pi \sum_{i=1}^{N'} (R_0 - i e_1)$$

$$L_d(N') = 2\pi \left[N'R_0 - N' \left(\frac{N'+1}{2} \right) e_1 \right] \quad (61)$$

ou en fonction de θ_d :

$$L_d(\theta_d) = - \frac{K_1}{2} \theta_d^2 + (R_0 - K_1 \Pi) \theta_d \quad (62)$$

Au cours du fonctionnement de la machine, il y a perte de matière au déroulement et gain de matière à l'enroulement. A un instant quelconque t , il y aura un nombre différent de tours accomplis dans chaque côté.

Au déroulement, il en restera une longueur L_r égale à :

$$\begin{aligned} L_r(\theta_d) &= L_0 - L_d(\theta_d) \\ L_r(\theta_d) &= L_0 + \frac{K_1}{2} \theta_d^2 - (R_0 - K_1 \Pi) \theta_d \end{aligned} \quad (63)$$

Il en est de même pour la masse :

$$m(\theta_d) = + n \rho_1 \frac{K_1}{2} \theta_d^2 - n \rho_1 (R_0 - K_1 \Pi) \theta_d + n \rho_1 L_0 + M_1 \quad (64)$$

Pour simplifier l'expression (64), posons :

$$\begin{aligned} A_1 &= + n \rho_1 \frac{K_1}{2} \\ B_1 &= - n \rho_1 (R_0 - K_1 \Pi) \\ C_1 &= n \rho_1 L_0 + M_1 \end{aligned} \quad (65)$$

d'où :

$$m(\theta_d) = A_1 \theta_d^2 + B_1 \theta_d + C_1 \quad (66)$$

Par ailleurs, il est possible d'exprimer cette masse en fonction de θ_e . En effet, au cours des différentes opérations que subit la nappe de fils, il y a allongement et rétrécissement du fil à cause des conditions d'encollage (par exemple les tensions) : ce qui se traduit par la relation (3) à savoir :

$$L_e = (1 + \alpha) L_d \quad (67)$$

Connaissant L_e , nous pouvons alors exprimer L_d à partir des expressions (55) et (67) :

$$L_d(\theta_d) = \frac{K_2}{2(1+\alpha)} \theta_e^2 + \frac{r_2 - K_2\Pi}{1+\alpha} \theta_e \quad (68)$$

Il en sera de même pour la masse :

$$m(\theta_d) = -n \rho_1 \frac{K_2}{2(1+\alpha)} \theta_e^2 - n \rho_1 \frac{r_2 - K_2\Pi}{1+\alpha} \theta_e + n \rho_1 L_0 + M_1 \quad (69)$$

Soit encore sous forme simplificatrice :

$$\begin{aligned} A'_1 &= -n \rho_1 \frac{K_2}{2(1+\alpha)} \\ B'_1 &= -n \rho_1 \frac{r_2 - K_2\Pi}{1+\alpha} \\ C'_1 &= n \rho_1 L_0 + M_1 \end{aligned} \quad (70)$$

d'où :

$$m(\theta_d) = A'_1 \theta_e^2 + B'_1 \theta_e + C'_1 \quad (71)$$

III.1.11 - Freinage pneumatique (frein à sangle)

Le système defreinage pneumatique est appliqué aux ensouples du cantre. En effet quand celles-ci sont déroulées et que soudainement le processus qu'elles alimentent, est arrêté, l'inertie du rouleau les forcerait à continuer leur rotation.

Pour éviter cet inconvénient, on applique un frein à l'ensouple pour réguler le mouvement de la nappe de fils |10| .

Ce frein est un frein à sangle qui est une bande souple tendue par un système convenable, reposant sur la surface cylindrique (ou jante) du rouleau comme l'indique la FIG.6 .

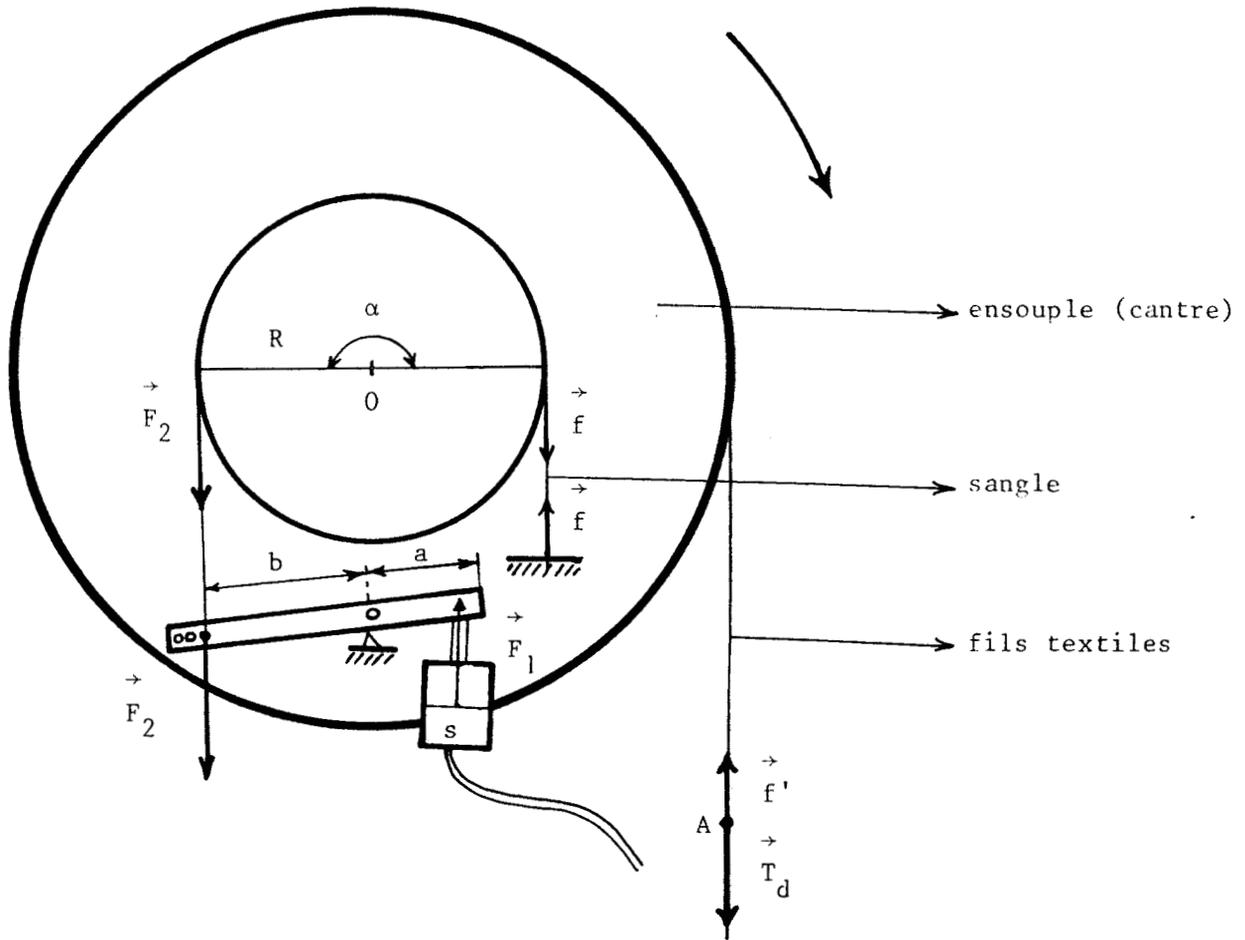


FIG.6 : FREIN A SANGLE

Pendant le déroulement de la nappe de fils, un couple de freinage agit sur l'ensouple.

La pression du piston est donnée par : $P = \frac{F_1}{s} \rightarrow F_1 = P \cdot s$ (72)

A l'équilibre : $F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$ (73)

d'où on tire F_2 : $F_2 = \frac{a}{b} \cdot F_1 = \frac{a}{b} \cdot P \cdot s$ (74)

où a, b, et s sont des constantes.

On sait que lorsqu'une sangle est placée sur la jante d'un rouleau, le rapport $F_2/f = k$, entre les tensions des deux extrémités de la bande, dépend du coefficient de frottement μ de la bande sur la surface cylindrique et de l'arc de l'enroulement α de la sangle (en rd) [22].

Dans notre cas, l'effort tangentiel $F = F_2 - f$ sera :

$$F = F_2 - \frac{F_2}{k} = \frac{k-1}{k} F_2$$
 (75)

avec $k = e^{\mu\alpha}$ (76)

En remplaçant F_2 par sa valeur, nous obtenons :

$$F = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{a}{b} \cdot s P = k_0 \cdot P \quad (77)$$

Le couple de freinage sera alors (en régime permanent)

$$C_f = F \cdot R = k_0 PR = \lambda P$$

III.2 - MODELE COMPLET

Le modèle dynamique étudié est une représentation mathématique des équations de mouvement de deux sous-systèmes étroitement liés.

Les relations (35) et (36) forment deux équations différentielles du second ordre non linéaire.

Le modèle complet sera formé par :

$$J(x_1) \dot{x}_2 + K_d \left(1 - \frac{k_1 R_1 x_4}{x_2 R(x_1)} \right) R(x_1) = u_1$$

$$J(x_3) \dot{x}_4 + K_m \left(\frac{R(x_3)}{k_2 R_2} - 1 \right) R(x_3) = u_2$$

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$J(x_1) = \frac{1}{2} m(x_1) R^2(x_1)$$

$$m(x_1) = A_1 x_1^2 + B_1 x_1 + C_1$$

$$R(x_1) = R_0 - K_1 x_1$$

$$J(x_3) = \frac{1}{2} M(x_3) R^2(x_3)$$

$$M(x_3) = A_2 x_3^2 + B_2 x_3 + C_2$$

$$R(x_3) = r_2 + K_2 x_3$$

R_0 , R_1 et R_2 sont des constantes.

Conditions initiales :

$$x_1(0) = 0 \quad \dot{x}_1(0) = 0 \quad x_3(0) = 0 \quad \dot{x}_3(0) = 0$$

III.3 - CONCLUSION

L'écriture du modèle mécanique aboutit à un système d'équations différentielles non linéaires. Dans ces conditions, une résolution analytique du problème est impossible. L'intégration de ce système sera donc effectuée numériquement au moyen de méthodes qui seront présentées au chapitre V.

Le modèle obtenu permet d'obtenir les profils de deux variables caractérisant les angles de rotation à l'enroulement $\theta_e(t)$ et au déroulement $\theta_d(t)$ à chaque instant t , en fonction des variables de commande C_f et C_m .

La résolution du système différentiel nécessite la connaissance des grandeurs suivantes :

- . les variables de commande : couple moteur C_m fourni par le moteur électrique et le couple de freinage C_f .
- . un certain nombre de données : les rayons des rouleaux mis en jeu comme R_1 , R_2 , $R(\theta_e)$ et $R(\theta_d)$, les conditions initiales $\theta_d(0)$, $\theta_e(0)$, $\dot{\theta}_e(0)$, ainsi que les paramètres de la matière : n le nombre de fils de la nappe, ρ_1 et ρ_2 les masses linéiques du fil avant et après encollage ...
- . les paramètres K_1 , K_2 , K_d , K_e , K_m , k_1 , k_2 qui doivent être identifiés pour chaque type de fil à partir de mesures prises sur le procédé réel.

Ceci fera l'objet de notre étude au chapitre V.

B I B L I O G R A P H I E

- |1| ALAIS P.
" Mécanique, cinématique, dynamique "
Tome 5 . A.COLIN . 1969 . PARIS .

- |2| ALANSO M.
" Physique générale "
Tome 1. Ed. du Renouveau Pédagogique . 1970 . PARIS . MONTREAL

- |3| APPELL Paul
" Traité de mécanique rationnelle "
Tome 1 et 2 . GAUTHIER-VILLARS . 1952 . PARIS

- |4| BEGIN Henri
" Cours de mécanique théorique et appliquée "
Tome 1 et 2. A.COLIN . 1956 . PARIS

- |5| BEGHIN H.
" Statique et dynamique "
Tome 1 et 2. A.COLIN . 1957 . PARIS .

- |6| BOUDAREL R. , DELMAS J. , GUICHET P.
" Commande optimale des processus "
Dunod . 1967 . PARIS

- |7| BOULIGAND G.
" Mécanique rationnelle : cours et problèmes "
Vuibert . 1959 . PARIS .

- |8| BRUHAT G.
" Mécanique "
MASSON et Cie . 1967 . PARIS .

- |9| CABANNES H.
" Problèmes de mécanique générale "
Dunod . 1966 . PARIS
- |10| CAMPBELL D.P.
" La dynamique des processus industriels "
Dunod . 1961 . PARIS
- |11| CATLOW M.G.
" Continued move towards automation in yarn preparation "
Textile Month . 09/1974 . P.62 . ANGLETERRE .
- |12| CAZIN M.
" Cours de mécanique générale et industrielle "
Tome 1, 2 et 3 . GAUTHIER-VILLARS . 1972-1975 . PARIS .
- |13| CESCHINO F. , KUNTZMANN J.
" Méthodes numériques : problèmes différentiels de conditions initiales "
DUNOD . 1963 . PARIS .
- |14| CHAZY J.
" Cours de mécanique rationnelle "
Tome 1 - GAUTHIER-VILLARS . 1952 . PARIS .
- |15| CUNNINGHAM W.J.
" Analyse non linéaire "
Dunod . 1963 . PARIS .
- |16| DREYFUS M.
" La pratique du fortran "
Dunod . 1977 . PARIS .
- |17| ENRICI P.
" Discrete variable methods in ordinary differential equations "
J. WILEY & Sons . 1962 . NEW-YORK .

- [18] FAURE P. , DEPEYROT M.
" Eléments d'automatique "
Dunod . 1974 . PARIS .
- [19] FLEURY P. , MATHIEU J.P
" Mécanique Physique "
Editions Eyrolles . 1959 . PARIS .
- [20] GIERSE F.J.
" Comment obtenir une tension du fil uniforme dans les encolleuses,
en particulier avant l'exprimage "
Sow Beitr Faserforsch . 03/1976 . P.194 . RFA .
- [21] GIRERD J. , KARPLUS W.J.
" Traitement des équations différentielles sur calculateurs électroniques "
GAUTHIER-VILLARS . 1968 . PARIS .
- [22] LENORMAND G. , MIGNEE R.
" Construction mécanique "
Tome 3 . FOUCHER . 1971 . PARIS .
- [23] LOEB J.
" Identification expérimentale des processus industriels "
Dunod . 1967 . PARIS .
- [24] MECHTERSKI
" Recueil de problèmes de mécanique "
Editions MIR . 1973 . MOSCOU
- [25] NANTET J.P
" Ordinateur en temps réel : applications industrielles "
MASSON & Cie . 1970 . PARIS .
- [26] NICOLET G. , TROTTET E.
" Eléments de machine "
Bibliothèque de l'ingénieur . SPES . 1971 . LAUSANNE .

- |27| PISKOUNOV N.
" Calcul différentiel et intégral "
Tome 1 et 2 . Editions MIR . 1973 . MOSCOU
- |28| TENOT A.
" Exercices numériques de mécanique en vue des applications industrielles "
Tome 1 et 2 . A.BLANCHARD . 1963 . PARIS .
- |29| VIGNES J.
" Théorie et pratique de la programmation "
Technip . 1969 . PARIS .
- |30| WAGH S.A.
" Yarn tension in the back beam zone "
Tecno Hôtel . 04/1975 . P.43 . ANGLETERRE
- |31| WATCH A.S.
" Stretch control on sizing machine "
Textile Highlights . 04/1976 . P.11 . INDE

MODÈLE THERMODYNAMIQUE

CHAPITRE IV

MODÈLE THERMODYNAMIQUE

INTRODUCTION

IV.1 - LES DIVERS PROCÉDES DE SÉCHAGE

IV.1.1. - Séchage par contact

IV.1.2. - Séchage par convection

IV.1.3. - Séchage par rayonnement

IV.2 - LE SECHOIR A CYLINDRES

IV.3 - MODELISATION DU PROCÉDE

IV.3.1. - Construction d'un modèle stationnaire

IV.3.1.1. - Ecriture du modèle mathématique

a - Bilan thermique

b - Bilan massique

IV.3.1.2. - Calcul des coefficients de transferts

a - Pendant le contact "matière-métal"

b - Sans contact "matière-air"

IV.3.1.3. - Etude du séchage d'un matériau poreux

IV.3.1.4. - Energie de liaison de l'eau et des fibres

IV.3.2. - Modèle complet

IV.3.2.1. - Modèle "contact matière - métal "

IV.3.2.2. - Modèle " sans contact "

IV.4 - CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE IV

MODÈLE THERMODYNAMIQUE

INTRODUCTION

Le séchage est une opération ayant pour but d'éliminer partiellement ou totalement l'humidité imprégnant les corps humides, par évaporation d'un liquide quelconque, dans un mélange solide-liquide, ou dans une solution cristalloïde ou colloïdale . Elle implique la conservation de la structure moléculaire primitive des corps traités. [12]

Actuellement, les séchoirs les plus courants sont répartis en trois types, suivant leur mode de transfert d'énergie :

- transfert d'énergie par rayonnement : séchoirs à rayonnement.
- transfert d'énergie par contact : séchoirs à cylindres
- transfert d'énergie par convection : séchoir à tambour perforé, rame plane ...

Le tableau 1 présente les différents types de séchoirs textiles classiques [8].

IV.1 - LES DIVERS PROCÉDES DE SECHAGE

Dans la plupart des applications industrielles, la chaleur s'écoule d'un certain milieu vers une paroi solide qu'elle traverse pour passer dans un autre milieu. Chacun de ces passages successifs ne constitue donc qu'une partie d'un processus global complexe.

MODE DE SECHAGE	TRANSFERT D'ENERGIE	GUIDAGE DU MILIEU DE SECHAGE	DEPLACEMENT DE LA MATIERE SECHE	AVEC/SANS SURALIMENTATION	CONTROLE DE TENSION	CONDITIONS DE TRAITEMENT
Séchoir par rayonnement	rayonnement	-	Rouleaux de traction	sans	sans	à la continue
Séchoir à cylindres	par contact	-	Rouleaux/cylindres	sans	sans	à la continue
Séchoir à tambour perforé	convection	Ventilation à travers les matrices	Tambour perforé	avec	partiel	à la continue
Rame élargisseuse à tambour perforé	convection	Ventilation à travers les matrices	Tambour perforé	avec	avec	à la continue
Séchoir oscillant	convection	Projection d'air par tuyère	Rouleaux de traction	sans	sans	à la continue
Rame élargisseuse	convection	Projection d'air par tuyère	Chaînes de tension	avec	avec	à la continue
Séchoir à bande perforée	convection	Projection d'air par tuyère/ventil. à travers les mat.	bande perforée	avec	sans	à la continue
Hotflue	convection	Projection d'air partielle	rouleaux	sans	sans	à la continue
Séchoir à plis suspendus	convection	Circulation d'air non orientée	Barres porteuses	sans	sans	à la continue

Tableau 1 : Comparaison des caractéristiques des séchoirs textiles classiques.

IV.1.1. - Séchage par contact

La conduction dans un solide homogène est définie comme le transfert de la chaleur d'un endroit à un autre, sous l'influence d'un gradient de température, sans déplacement appréciable de particules. [1]

Nous pouvons citer l'exemple des séchoirs à cylindres : la chaleur latente libérée par la condensation de vapeur à l'intérieur des cylindres est transférée par l'intermédiaire de la paroi métallique du sécheur à la surface externe en contact avec la matière à sécher.

IV.1.2. - Séchage par convection

Les phénomènes de convection sont liés intimement aux mouvements des fluides. Dans un fluide, des différences de température produisent des différences de densité pouvant amener des mouvements du fluide dits mouvements de convection, qui ont pour effet d'égaliser les températures par substitution réciproque de molécules froides à des molécules chaudes. Cette fois, il y aura transfert de chaleur accompagné d'un transfert de matière [7]

Lorsque les mouvements du fluide se font naturellement, on parlera de *convection libre ou naturelle*. Par contre, si on favorise les mouvements du fluide par un moyen artificiel : pompe de circulation, ventilateur ou turbine, on parlera de *convection forcée*.

IV.1.3. - Séchage par rayonnement

Un corps chaud émet de l'énergie dans toutes les directions sous forme de radiations. Ce mode de transfert d'énergie par radiations électromagnétiques peut se produire en l'absence de matière c'est-à-dire dans le vide. Inversement quand un corps reçoit de l'énergie rayonnée, il en absorbe une partie qui se transforme en chaleur et élève sa température.

- * Séchage par rayons infra-rouges : les rayons I.R présentent la propriété de pouvoir pénétrer dans les matériaux à une profondeur variant d'une fraction de mm à quelques mm, selon la nature du matériau et la fréquence des radiations. La chaleur provenant de l'absorption de l'énergie du rayonnement se développe donc à l'intérieur du matériau à chauffer.

- * Séchage par courants H.F : c'est un procédé dans lequel la génération de chaleur est faite à l'intérieur du matériau par conversion de l'énergie électromagnétique d'un champ haute fréquence en énergie calorifique.

Généralement les trois modes de transfert de chaleur interviennent à la fois, mais, selon les cas, l'un des trois est prépondérant et on peut négliger les autres. [9]

IV.2 - LE SECHOIR A CYLINDRES

Nous nous intéressons dans le cadre de ce travail, aux séchoirs à contact. La description de ce type de séchoir FIG.1 a été donnée au paragraphe I.1.4. . L'ensemble de l'installation est présenté à la FIG.2 .

Le problème qui se pose, est le suivant : augmenter la vitesse de la nappe de fils lors du séchage, tout en maintenant la qualité du fil au plus haut niveau et par conséquent, en respectant la contrainte définissant la teneur en eau résiduelle de la nappe de fils à la sortie du séchoir. Celle-ci est définie par le taux de reprise du fil, c'est-à-dire par sa teneur en eau correspondant à l'équilibre du fil avec l'air atmosphérique.

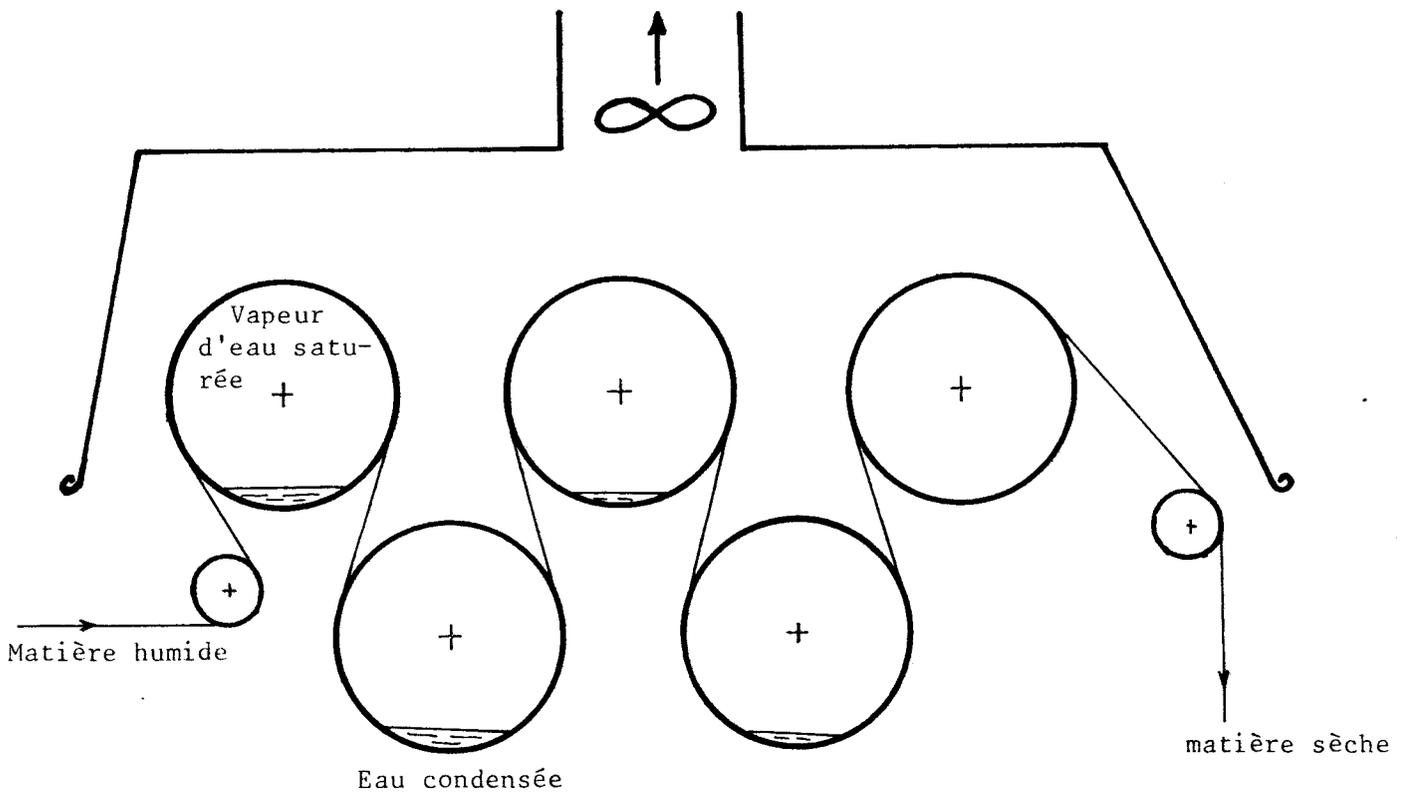


FIG.1 : SECHOIR A 5 CYLINDRES ROTATIFS DE L'ENCOLLEUSE

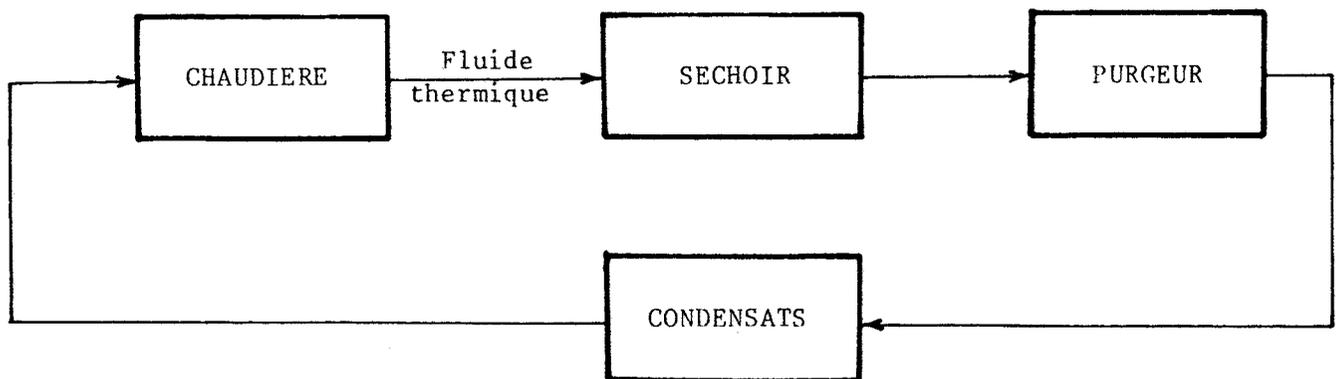


FIG.2 : ENSEMBLE DE L'INSTALLATION



IV.3 - MODELISATION DU PROCEDE

IV.3.1. - Construction d'un modèle stationnaire

Le séchoir qui fait l'objet de cette étude est essentiellement un processus à paramètres répartis de nature dynamique :

- Au niveau de la nappe de fils, l'humidité initiale à l'entrée du séchoir est variable, non seulement dans le temps, mais aussi sur sa largeur. Il y a pertes de chaleur entre les fils formant la nappe.
- Au niveau du séchoir, la température de la vapeur chauffant la paroi cylindrique est variable dans chaque cylindre au cours du temps. La chaleur rayonnée par les parois a tendance à sursécher la nappe de fils sur les lisières.

La prise en compte de ces caractéristiques conduirait à un modèle de fonctionnement très complexe, invérifiable et inutilisable. En effet, la validité d'un tel modèle ne pourrait être testée faute de mesures fiables sur le procédé, son optimisation serait très complexe et conduirait à des commandes irréalisables.

Dans ce sens, nous avons procédé à la construction d'un modèle stationnaire limité à une seule distribution spatiale dans le sens marche. Son but est de prédire la distribution spatiale moyenne des grandeurs caractéristiques de la nappe de fils (température et humidité) en fonction des paramètres de fonctionnement comme la vitesse d'avance de la nappe, la pression et la température de vapeur dans les cylindres, les conditions hygrométriques de l'air,

IV.3.1.1. - Ecriture du modèle mathématique

Nous décomposons le processus de séchage par contact sur cylindre, en deux parties représentant un cycle.

Chaque cycle est formé de deux phases FIG.3 :

- une phase dite de contact " matière-métal " AA'.
- et une phase libre "matière-air" correspondant à la distance séparant deux cylindres successifs A' A''.

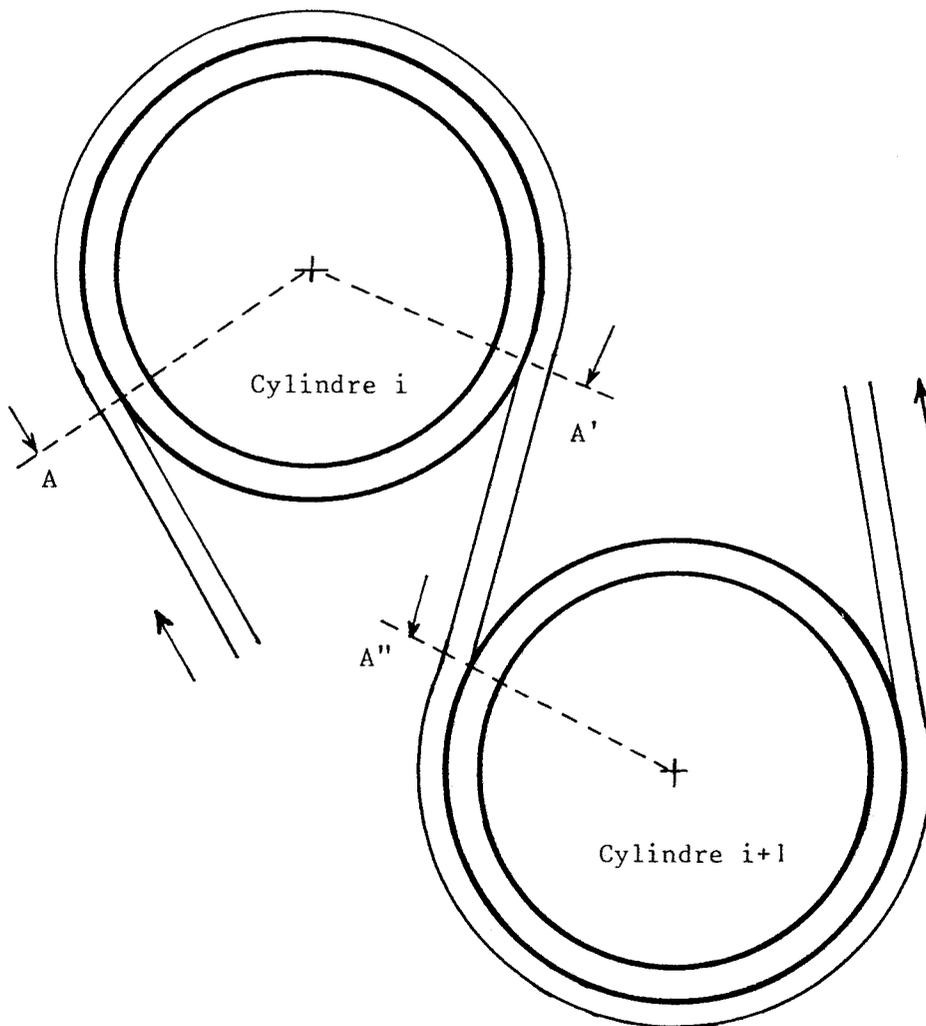


FIG.3 : LES DEUX PHASES DU CYCLE DE SECHAGE



Le système étant ainsi défini, nous introduisons des hypothèses simplificatrices destinées à réaliser un compromis entre la complexité du modèle et la précision de ses prédictions.

- . les fils sont considérés jointifs (pas de perte de chaleur entre fils) pour constituer une surface unie d'épaisseur e du fil.
- . le modèle est unidimensionnel : les distributions de température et d'humidité sont supposées uniformes à l'intérieur du matériau et dans le sens travers; nous ne considérons que les variations dans le sens de marche x de la nappe.
- . la chaleur rayonnée par les extrémités des cylindres est négligée.
- . l'eau condensée dans le cylindre est immédiatement évacuée vers le purgeur.

Compte tenu des hypothèses précédentes, ce modèle sera obtenu par l'application du principe général de la conservation de la quantité de chaleur (bilan thermique) et de la masse (bilan massique).

Pour ce faire, nous considérons un élément de nappe de fils infinitésimal de largeur l et de longueur dL , se déplaçant dans le sens marche x , à la vitesse d'avance V_m . FIG.4

La surface de ce petit élément est :

$$dS = l \cdot dL \quad (1)$$

a - Bilan thermique

En un point quelconque x , l'élément de surface dS de masse $m_m = m(x)$ est à la température $\theta_m = \theta(x)$ et a une humidité $X_m = X(x)$.

Après un temps dt , ce même élément aura parcouru une distance $dx = V_m \cdot dt$; sous l'effet du chauffage ses caractéristiques citées précédemment deviennent au point $x + dx$:

$$m'_m = m(x + dx)$$

$$\theta'_m = \theta(x + dx)$$

$$X'_m = X(x + dx)$$

La conservation de la quantité de chaleur s'écrit (en négligeant le rayonnement)

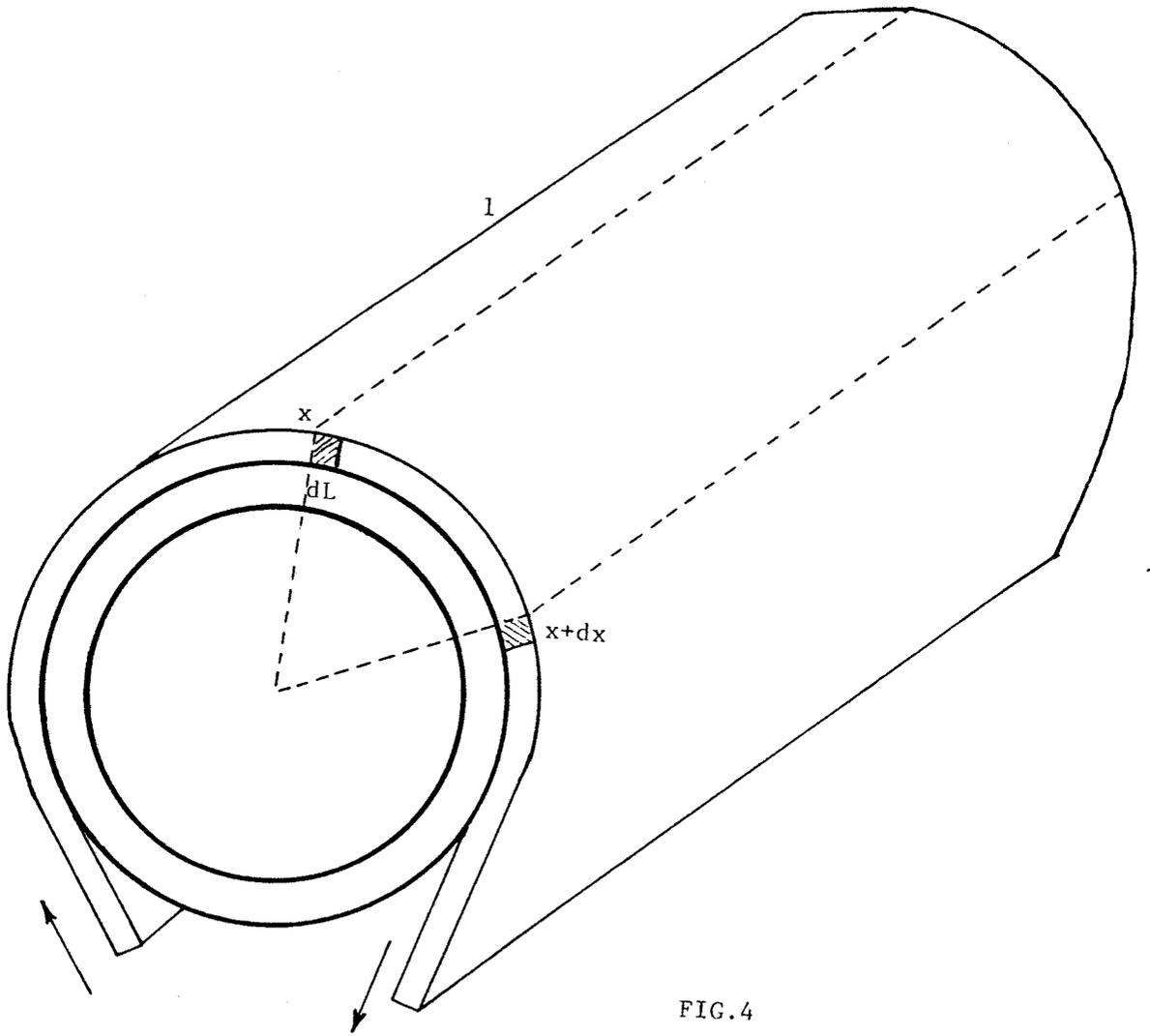
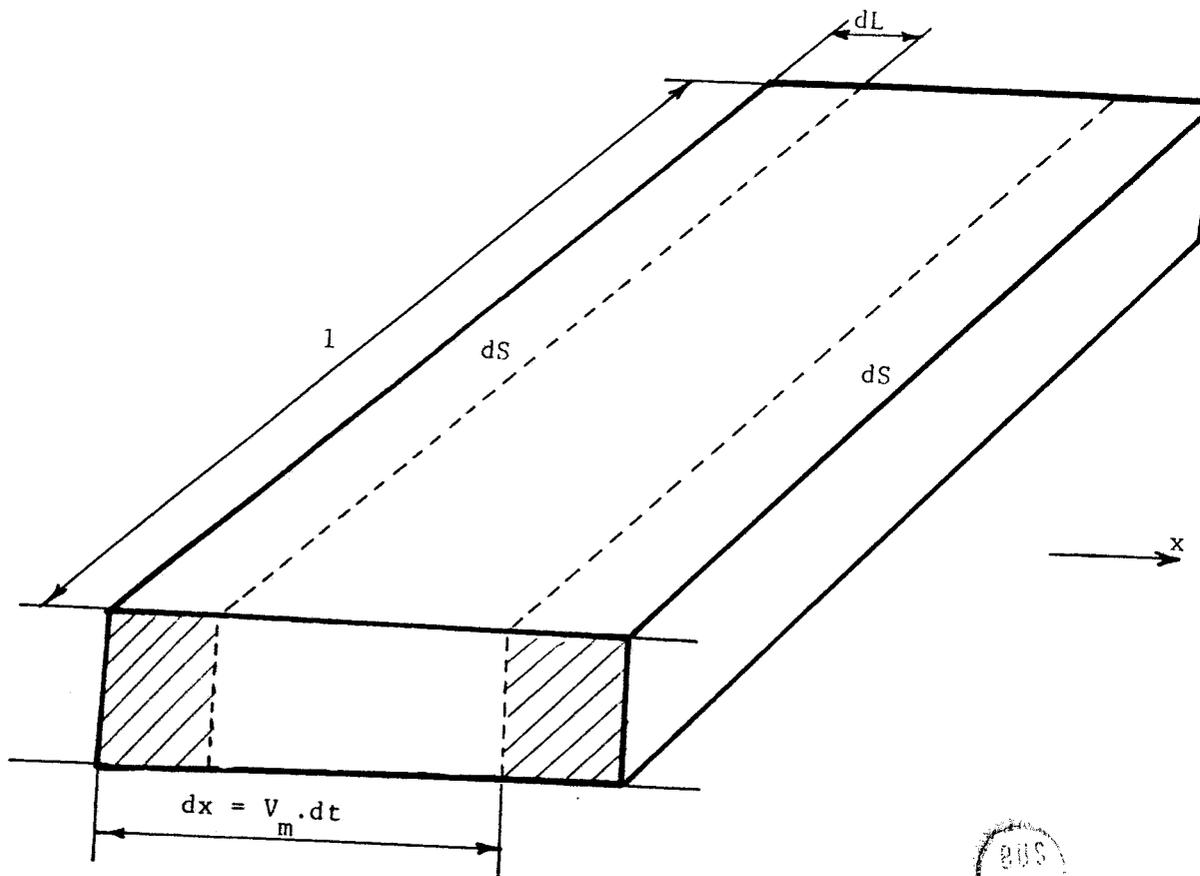


FIG.4



$$\left[\begin{array}{l} \text{CHALEUR} \\ \text{ENTRANTE A} \\ \text{L'INTERFACE} \\ \text{CYLINDRE-} \\ \text{FILS} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{CHALEUR} \\ \text{ENTRANTE A} \\ \text{L'INTERFACE} \\ \text{AIR-FILS} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{CHALEUR} \\ \text{EMMAGASINEE} \\ \text{DANS } dS \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{CHALEUR} \\ \text{PERDUE PAR} \\ \text{EVAPORATION} \end{array} \right]$$

* Chaleur entrante à l'interface cylindres-fils :

L'expression de la quantité de chaleur dQ transmise du fluide chauffant au produit à sécher, pendant le temps dt , est de la forme | 12 |

$$dQ_1 = \alpha_1 (\theta_v - \theta_m) dS \cdot dt. \quad (3)$$

où

dQ_1 : quantité de chaleur (Kcal)

α_1 : coefficient de transfert global intégrant les coefficients de transmission de chaleur du fluide chaud à la paroi, et de la paroi à la matière. (Kcal/m².h.°C)

θ_v : température de vapeur (°C)

θ_m : température de la matière (°C)

dS : surface d'échange élémentaire du corps à sécher (m²)

dt : temps élémentaire (h)

* Chaleur entrante à l'interface air-fils :

L'air ambiant cède une quantité de chaleur dQ_2 au produit à sécher pendant le temps dt :

$$dQ_2 = \alpha_2 (\theta_a - \theta_m) dS \cdot dt \quad (4)$$

dQ_2 : quantité de chaleur (Kcal)

α_2 : coefficient de transfert de chaleur air-matière (Kcal/m².h.°C)

θ_a : température air (°C)

θ_m : température matière (°C)

dS : surface d'échange du corps à sécher (m^2)

dt : temps (h)

Le coefficient α_2 n'est pas constant, mais une fonction complexe de paramètres (propriétés thermodynamiques du fluide, la vitesse relative du fluide et du corps, et les dimensions, formes du corps ...).

* Chaleur emmagasinée dans dS

Avant de déterminer cette quantité de chaleur, voyons les différentes masses mises en jeu dans la matière à sécher :

le fil encollé est formé de fibres, de colle et d'eau. A chacun de ces constituants, nous associons une masse et une chaleur spécifique :

- fibres : m_f , C_{p_f}

- colle : m_c , C_{p_c}

- eau : m_e , C_{p_e}

Pour un élément de surface dS de fils encollés, nous accordons une masse moyenne m et une chaleur spécifique moyenne C_p que nous pouvons mettre sous la forme :

$$m \cdot C_p = m_f \cdot C_{p_f} + m_c \cdot C_{p_c} + m_e \cdot C_{p_e} \quad (5)$$

Au cours du séchage, il y a évaporation d'eau donc m_e diminue, par contre m_f et m_c restent constantes et représentent la matière sèche m_s dans l'élément de surface dS , à laquelle nous associons une chaleur spécifique C_{p_s} .

La relation (5) devient alors :

$$m \cdot C_p = m_s C_{p_s} + m_e C_{p_e}$$

$$m \cdot C_p = m_s (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \quad (6)$$

où

$X_m = \frac{m_e}{m_s}$ représente l'humidité de la matière.

Un élément de surface dS aura une masse surfacique égale à :

$$\rho = \frac{m}{dS} = \frac{m_s + m_e}{dS} = m_s (1 + X_m) \frac{1}{dS} \quad (7)$$

$$\text{donc } m = m_s (1 + X_m) = \rho_s dS (1 + X_m) \quad (8)$$

La chaleur cédée à cet élément de surface dS au point x est :

$$\begin{aligned} Q_x &= m C_p \theta_m \\ &= m_s (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \theta_m \\ Q_x &= \rho_s dS (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \theta_m \end{aligned} \quad (9)$$

Au point $x + dx$, elle sera égale à :

$$Q_{x+dx} = \rho_s dS (C_{p_s} + X'_m C_{p_e}) \theta'_m \quad (10)$$

La masse d'eau évaporée entre les points x et $x + dx$ sera :

$$\begin{aligned} m_{ev} &= m' - m \\ &= \rho_s dS (1 + X'_m) - \rho_s dS (1 + X_m) \\ m_{ev} &= \rho_s dS (X'_m - X_m) = \rho_s dS \frac{dX_m}{dx} dx \end{aligned} \quad (11)$$

où

$$X'_m - X_m = \frac{dX_m}{dx} dx \rightarrow X'_m = X_m + \frac{dX_m}{dx} dx \quad (12)$$

de même, nous obtiendrons pour θ'_m : $\theta'_m = \theta_m + \frac{d\theta_m}{dx} dx$ (13)

En utilisant les relations (12) et (13), l'expression (10) devient :

$$Q_{x+dx} = \rho_s dS \left[C_{p_s} + \left(X_m + \frac{dX_m}{dx} dx \right) C_{p_e} \right] \left(\theta_m + \frac{d\theta_m}{dx} dx \right) \quad (14)$$

En effectuant les calculs, (14) se met sous la forme :

$$\begin{aligned} Q_{x+dx} = & \rho_s dS (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \theta_m + \rho_s dS C_{p_e} \theta_m \frac{dX_m}{dx} dx + \\ & + \rho_s dS (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \frac{d\theta_m}{dx} dx + \rho_s dS C_{p_e} \frac{dX_m}{dx} dx \cdot \frac{d\theta_m}{dx} dx \end{aligned} \quad (15)$$

En négligeant le terme du 2^{ème} ordre, la chaleur emmagasinée entre les points x et $x + dx$ sera :

$$\begin{aligned} dQ_3 &= Q_{x+dx} - Q_x \\ dQ_3 &= \rho_s dS (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \frac{d\theta_m}{dx} dx + \rho_s dS C_{p_e} \theta_m \frac{dX_m}{dx} dx \end{aligned} \quad (16)$$

Divisons les deux membres par dt , le rapport $\frac{dx}{dt}$ vaut V_m :

$$\frac{dQ_3}{dt} = \rho_s V_m dS (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \frac{d\theta_m}{dx} + \rho_s V_m dS C_{p_e} \theta_m \frac{dX_m}{dx} \quad (17)$$

où

$\frac{dQ_3}{dt}$: flux de chaleur emmagasinée dans dS (Kcal/h)

V_m : vitesse de la machine (m/h)

ρ_s : densité surfacique de la matière sèche (Kg/m²)

C_{p_s} : chaleur spécifique de la matière sèche (Kcal/Kg.°C)

C_{p_e} : chaleur spécifique de l'eau (Kcal/Kg.°C)

X_m : humidité de la matière (Kg d'eau/Kg de fils secs)

dx : longueur élémentaire dans le sens du déplacement (m)

* Chaleur perdue par évaporation

La masse d'eau évaporée entre les points x et $x + dx$ est donnée par la relation (11) à savoir :

$$m_{ev} = \rho_s \, dS \frac{dX_m}{dx} \, dx \quad (18)$$

Cette masse évaporée va emporter de la chaleur.

La quantité de chaleur perdue par évaporation est la somme de :

- la chaleur de vaporisation de l'eau à la température matière : $l_v (\theta_m) \cdot m_{ev}$

- la chaleur nécessaire pour évacuer la vapeur d'eau : $m_{ev} C_{p_v} (\theta_a - \theta_m)$

où C_{p_v} est la chaleur spécifique de la vapeur d'eau.

$$dQ_4 = l_v(\theta_m) \cdot \rho_s \, dS \frac{dX_m}{dx} \, dx + \rho_s \, dS \frac{dX_m}{dx} \, dx C_{p_v} (\theta_a - \theta_m) \quad (19)$$

Divisons les deux membres de cette expression par dt ; $\frac{dx}{dt} = V_m$:

$$\frac{dQ_4}{dt} = \rho_s \, V_m \, dS \frac{dX_m}{dx} \left[l_v (\theta_m) + C_{p_v} (\theta_a - \theta_m) \right] \quad (20)$$

La chaleur de vaporisation de l'eau en fonction de la température est assez bien représentée par la formule de Regnault, valable entre 100° et 200°C [18] :

$$l_v(\theta) = 605,5 - 0,695 \cdot \theta \quad (21)$$

Finalement, la relation donnant la conservation de chaleur s'écrit en utilisant les expressions (3), (4), (17), (20) :

$$\alpha_1 (\theta_v - \theta_m) dS + \alpha_2 (\theta_a - \theta_m) dS = \rho_s V_m dS (C_{p_s} + X_m C_{p_e}) \frac{d\theta_m}{dx} + \rho_s dS C_{p_e} \theta_m \frac{dX_m}{dx} + \rho_s V_m dS \frac{dX_m}{dx} [l_v(\theta_m) + C_{p_v} (\theta_a - \theta_m)] \quad (22)$$

que nous pouvons mettre sous la forme :

$$\rho_s V_m [C_{p_s} + X_m C_{p_e}] \frac{d\theta_m}{dx} = - (\alpha_1 + \alpha_2) \theta_m + \alpha_1 \theta_v + \alpha_2 \theta_a - \rho_s V_m \frac{dX_m}{dx} .$$

avec

$$f(\theta_m, \theta_a) \quad (23)$$

$$f(\theta_m, \theta_a) = l_v(\theta_m) + (C_{p_e} - C_{p_v}) \theta_m + C_{p_v} \theta_a$$

b - Bilan massique

La quantité d'eau m_{ev} enlevée à la nappe de fils se retrouve à l'état de vapeur dans l'air.

L'intensité du transfert moléculaire dans les opérations de séchage du type macroscopique dépend de la différence entre les pressions partielles P_i à l'intérieur du matériau et P_e à l'extérieur [4] :

$$\frac{d\phi}{dt} = K \cdot (P_i - P_e) \quad (24)$$

Généralement, on applique la loi de diffusion de STEPHAN [15], [22] dans le cas de la diffusion de vapeur d'eau dans l'air, à partir d'une surface humide :

$$\phi_v = - \frac{D_v}{R_v T_m} \cdot \frac{P_t}{P_t - P_o} \cdot \frac{d P_o}{dz} \quad (25)$$

ϕ_v : densité de flux de vapeur ($\text{Kg/m}^2 \cdot \text{h}$)

D_v : diffusivité de vapeur d'eau dans l'air, ou à travers le corps (m^2/h)

R_v : constante pour la vapeur d'eau $R_v = 455$

T_m : température absolue de la matière ($^\circ\text{K}$)

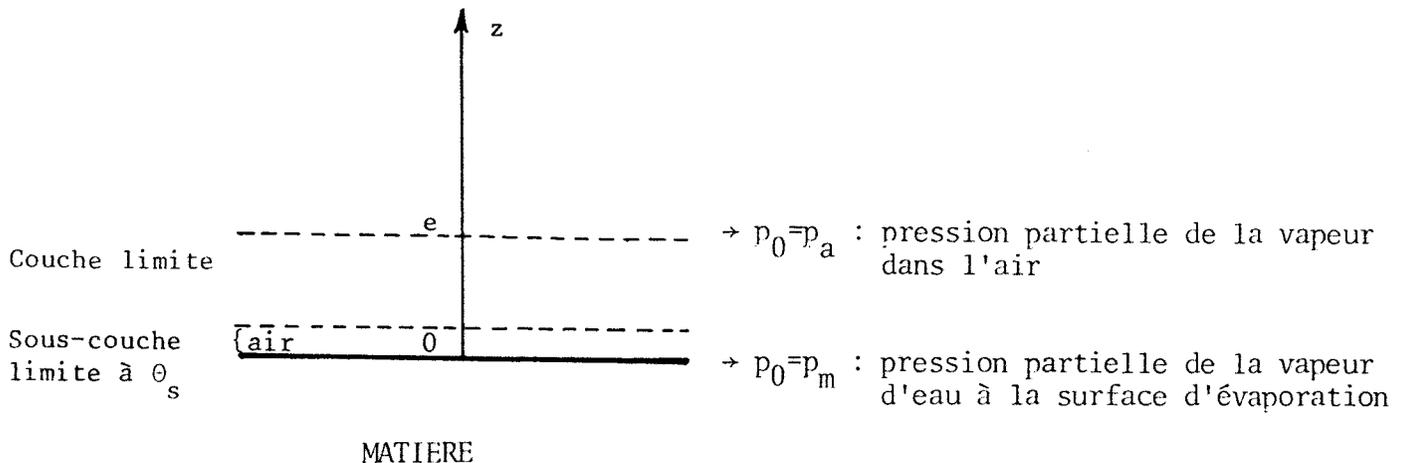
P_t : pression totale (Kg/cm^2)

P_o : pression partielle de vapeur d'eau (Kg/cm^2)

z : côte perpendiculaire à la surface de la matière (m)

On admet, et l'expérience l'a sensiblement confirmé, qu'à partir d'une distance e de la surface égale au rayon r du fil, la tension de vapeur a atteint la valeur p_a de l'air ambiant [12]

Pour que le séchage puisse s'effectuer, il faut qu'à tout moment $p_m > p_a$



L'intégration de la relation (25) sur l'épaisseur e de la couche limite donne :

$$\phi_v = \int_0^e \phi_v \cdot dz = - \frac{D_v}{R_v T_m} P_t \int_{P_m}^{P_a} \frac{dP_o}{P_t - P_o}$$

$$\phi_v = \frac{D_v/e}{R_v T_m} P_t \text{ Log } \frac{P_t - P_a}{P_t - P_m} \quad (26)$$

ϕ_v est la densité de flux de vapeur ($\text{Kg/m}^2\text{h}$) ou le taux d'évaporation qui traverse la surface élémentaire dS du corps humide.

D_v/e sera noté β et est appelé coefficient de diffusion de vapeur moyen ou coefficient de transfert de masse (m/h)

Le flux de vapeur ϕ est donné par la relation suivante :

$$\phi = \phi_v dS = \frac{\beta}{R_v T_m} P_t dS \text{ Log } \frac{P_t - P_a}{P_t - P_m} \quad (27)$$

Le bilan massique de l'élément de surface dS est donné par les relations (18), (27) qui sont égales :

$$\rho_s V_m \frac{dX_m}{dx} = \frac{\beta}{R_v T_m} \cdot P_t \cdot \text{Log } \frac{P_t - P_a}{P_t - P_m} \quad (28)$$

où

p_a : pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (Kg/cm^2)

p_m : pression partielle de la vapeur d'eau à la surface d'évaporation (Kg/cm^2)

REMARQUE : relation entre ρ_s et le numéro métrique du fil N_m

$$\rho_s = \frac{1}{n e} (10^{-3} N_m)$$

IV.3.1.2. - Calcul des coefficients de transfert

Comme nous l'avons précisé dans le paragraphe III.1 en page 84 : une fois, le modèle de connaissance établi, il faut calculer les valeurs numériques des constantes figurant dans les relations obtenues.

Les corps humides soumis à une opération de séchage sont placés dans une enceinte, dans laquelle est généralement entretenu un écoulement turbulent d'air chaud. L'agitation provoquée à leur surface par ce courant favorise les transferts de vapeur et de chaleur.

L'étude de ces transferts est complexe, l'échange dépendant de la vitesse de l'air, de la forme du corps, de l'état de rugosité de sa surface. Aussi a-t-on été amené à définir des coefficients d'échange globaux qui [12] :

- d'une part tiennent compte de l'ensemble de l'agitation moléculaire et tourbillonnaire.
- d'autre part intègrent tout ce qui se passe dans la zone de transition qu'est la couche limite et ceci, depuis le bord d'attaque jusqu'à l'extrémité opposée de la surface FIG.5 .

a - Pendant le contact "matière - métal "

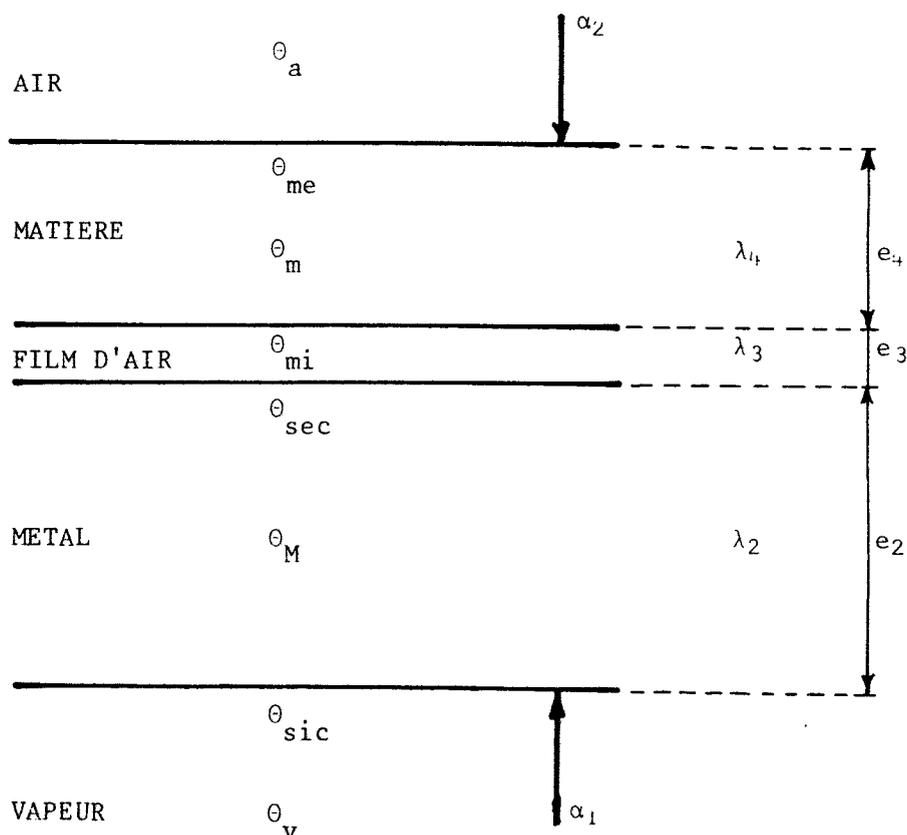


FIG.5

mi : matière interne

me : matière externe

sic : surface interne cylindre

sec : surface externe cylindre

* Coefficient de transfert de chaleur α_1

Le coefficient de transfert de chaleur α_1 correspond au coefficient de transfert vapeur-matière : α_{vm} . Son inverse est appelé résistance thermique qui est composée de trois résistances en série [12] .

$$\frac{1}{\alpha_{vm}} = \frac{1}{\alpha_{v-sic}} + \frac{1}{\alpha_{sic-sec}} + \frac{1}{\alpha_{sec-mi}} \quad (29)$$

Les résistances thermiques s'écrivent en fonction de la conductivité thermique λ et de l'épaisseur e :

$$\frac{1}{\alpha_i} = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (30)$$

En général, λ_i dépend de la température, VERON.M. a établi la formule suivante [12] :

$$\lambda_i = \frac{1}{\theta_1 - \theta_2} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \lambda \, d\theta \quad (31)$$

θ_1 et θ_2 sont les températures des deux faces avec $\theta_1 > \theta_2$.

Donc au vu de ces dernières relations, nous pouvons conclure que la détermination des valeurs théoriques des résistances thermiques est délicate, voire impossible; en effet, il est difficile de mesurer :

- les épaisseurs des parois (métal, film d'air, fils ...)
- certaines températures (θ_{sic} , θ_{mi} , ...).

Certaines études faites sur des séchoirs de papier indiquent que dans des conditions idéales de fonctionnement, les résistances thermiques $\frac{1}{\alpha_{v-sic}}$ et $\frac{1}{\alpha_{sic-sec}}$ peuvent être considérées comme constantes le long du séchoir.

En effet, les variations de structure de la matière ne modifient en rien ces coefficients. Pour le coefficient de transfert α_{sec-mi} , au contraire l'humidité de la matière, la porosité, le grammage ont une grande influence [17] .

D'une manière générale, la diminution du coefficient de transfert de chaleur $\alpha_{\text{sec-mi}}$ en fin de séchage est la conséquence de deux phénomènes :

- d'une part, la diminution de la conductibilité thermique de la matière pour de faibles teneurs en eau et, d'autre part, la mauvaise adhésion de la matière sur le cylindre, l'eau de surface ayant été éliminée.

* Coefficient de transfert de chaleur α_2

Le coefficient α_2 correspond au coefficient de transfert de chaleur entre l'air ambiant et la matière au dessus du cylindre : α_{am}

Dans ce cas, il est possible de le déterminer d'une manière théorique. Nous n'entrerons pas dans le détail des calculs effectués en particulier par CHILTON et COLBURN à ce sujet [12], et nous indiquerons simplement les résultats obtenus.

Sur les deux ou trois premiers cylindres, nous pouvons assimiler le phénomène à une circulation d'air chaud sur une surface d'eau libre, qui est formée par une sous-couche saturée de vapeur d'eau. FIG.6

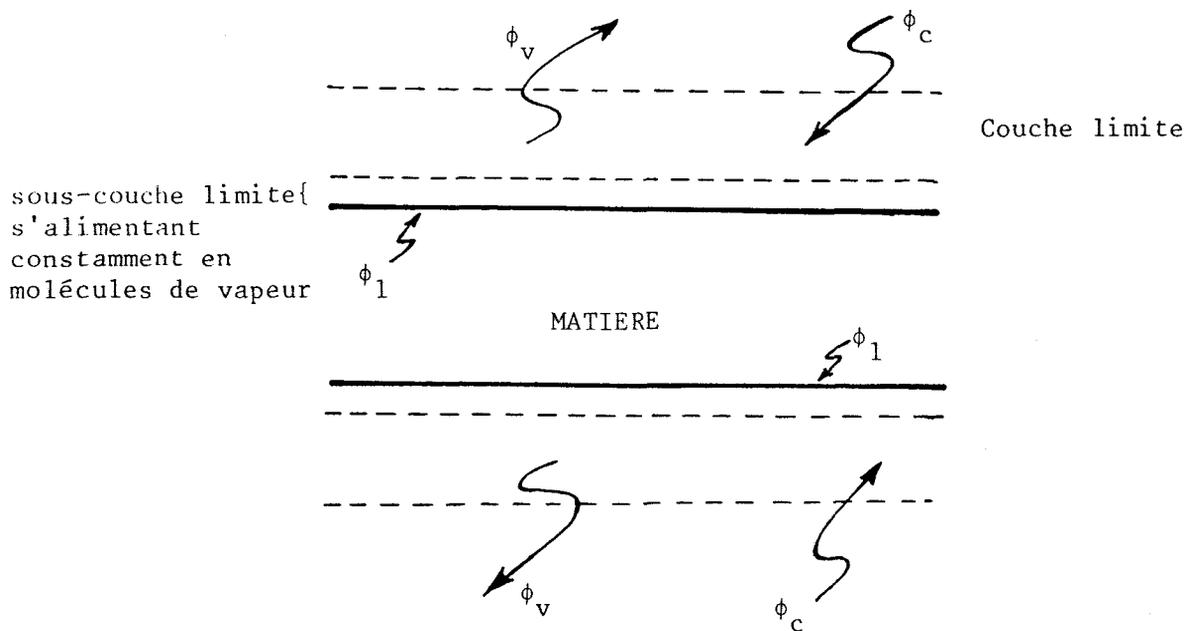


FIG.6 : ECHANGES ENTRE UN CORPS HUMIDE ET L'AIR AMBIANT

- ϕ_c : flux de chaleur
- ϕ_l : flux de liquide
- ϕ_v : flux de vapeur

La vapeur d'eau doit traverser cette sous-couche avant d'être entraînée par le courant d'air. Le type d'écoulement de la couche est régi par le nombre de Reynolds R_e .

Les groupes adimensionnels utilisés permettent de mettre en corrélation les données de la transmission de chaleur par convection [7], [13], [18] :

$$N_u = K \cdot R_e^m \cdot P_r^n \quad (32)$$

K , m et n sont fonction de la forme du corps et des jets.

Dans le cas où les transferts ont lieu dans les fluides en écoulement à l'extérieur des corps convexes tels que cylindres, sphères, ailes d'avion, petites plaques parallèles à l'écoulement, Approximativement, on a [13] :

$$0,30 \leq K \leq 0,50$$

$$0,5 \leq m \leq 0,6$$

$$0,3 \leq n \leq 0,35$$

N_u , R_e , P_r sont respectivement les nombres de Nusselt, de Reynolds et de Prandtl, donnés par les relations suivantes [15], [16] :

$$N_u = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \quad R_e = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad P_r = \frac{\nu}{a} \quad (33)$$

l : longueur caractéristique du corps (m)

v : vitesse relative du fluide et du corps solide (m/s)

ν : viscosité cinématique du fluide (m^2/s)

α : coefficient de transfert de chaleur en surface ($Kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$)

λ : coefficient de conduction thermique du fluide ($Kcal/h \cdot m \cdot ^\circ C$)

a : diffusivité thermique de l'air humide = $\frac{\lambda}{\rho C_p}$ (m^2/h)

ρ : masse volumique du fluide (Kg/m^3)

C_p : chaleur spécifique du fluide à $P = cte$. ($Kcal/Kg \cdot ^\circ C$)

En combinant ces dernières relations, on arrive à déterminer avec une bonne approximation la valeur moyenne $\bar{\alpha}$:

- en régime laminaire : $\bar{\alpha}_1 = k_1 \cdot (V)^{0,5}$ (34)

- en régime turbulent : $\bar{\alpha}_t = k_2 \cdot (V)^{0,8}$ (35)

* Coefficient de transfert de masse β

Il est déterminé à partir d'une relation [17] :

$$Sh = \varnothing (R_e) \cdot \psi (Sc) \quad (36)$$

où Sh et Sc sont respectivement les nombres de Sherwood et de Schmidt.

$$Sh = \frac{\beta \cdot l}{D} \quad Sc = \frac{\nu}{D} \quad (37)$$

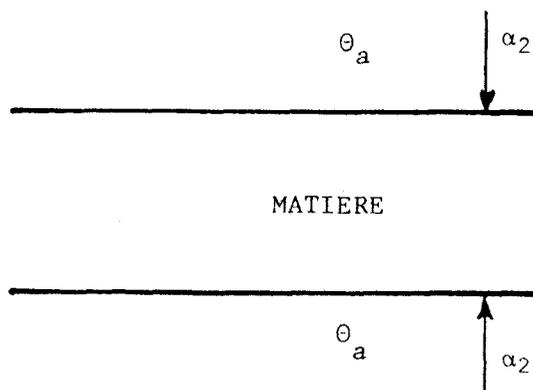
L'analogie de COLBURN [17] permet de relier les deux coefficients de transfert α et β :

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{1}{\lambda} \cdot a^{1/3} \cdot D^{2/3} = A \quad (38)$$

La diffusivité D varie en fonction de la température; A vaudra entre 4,1 à 4,6 quand la température passera de 40 à 100 °C.

b - " Sans contact "

Dans cette deuxième phase du séchage de la nappe de fils, elle se trouve comprise en sandwich, entre deux couches d'air humide ayant une température θ_a .



* Coefficients de transfert de chaleur α_2 et de masse β :

Ils ont été déjà déterminés précédemment. Mais il faut remarquer dans ce cas que :

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= 2 \cdot \alpha_{am} \\ \beta &= 2 \cdot \beta_{am}\end{aligned}\tag{39}$$

Puisque la nappe de fils est exposée à un échange sur ces deux faces.

IV.3.1.3. - Etude du séchage d'un matériau poreux

Nous avons vu précédemment que pour que le séchage puisse s'effectuer, il faut qu'à tout moment la pression de vapeur à la surface d'évaporation p_m soit supérieure à celle de l'air ambiant p_a . Nous avons montré que le taux d'évaporation était fonction de p_a et de p_m ; de plus le transfert de masse qui intervient au cours du séchage est grandement influencé par le type de liaison de l'eau avec les fibres. En effet, le fil composé de fibres, est une structure hygroscopique et poreuse. Les parois de ses capillaires sont élastiques et se gonflent en absorbant l'humidité.

A l'entrée du séchoir, la nappe de fils encollée et exprimée, pénètre avec une certaine quantité d'eau variable (toujours élevée), liée aux fibres et à la colle. Au cours du séchage, la couche de surface est alimentée suffisamment en eau par les couches en profondeur du fil pour rester à une valeur supérieure à l'humidité critique X_c .

Quand l'humidité de surface devient inférieure à l'humidité critique, la pression de vapeur d'eau à la surface du fil diminue et donc aussi le taux d'évaporation.

IV.3.1.4. - Energie de liaison de l'eau et des fibres

Les fibres naturelles et artificielles ainsi que certaines fibres synthétiques (les polyamides) se prêtent plus particulièrement aux liaisons hydrogènes (faibles) qui dépendent de la température, tandis que d'autres

(polyoléfines) ne sont que susceptibles de former des liaisons par forces de VAN DER WAALS.

Pour chacune de ces formes, le degré de liaison entre l'eau et le matériau est différent.

Si un produit de nature hygroscopique se trouve en contact avec une vapeur, il fixe celle-ci jusqu'à un état d'équilibre (phénomène d'adsorption).

Une substance hygroscopique est donc capable de fixer de l'eau avec une certaine énergie qui se manifeste par un abaissement de la tension de vapeur. Pour annuler l'effet de cette liaison et donc amener la vapeur d'eau de la pression p à la pression p_s ; il faudrait dépenser une énergie E par unité de masse de vapeur.

Dans le cas de matériaux cellulosiques, cette énergie de liaison est [17] :

$$E = - C_0(T) + \frac{K_0(T)}{X} \quad (40)$$

E représente l'énergie de liaison de l'eau par le corps poreux.

De plus, elle n'apparaît qu'en deçà d'une humidité appelée humidité critique X_{c_0} (FIG.7) et donc telle que :

$$- C_0(T) + \frac{K_0(T)}{X_{c_0}} = 0 \quad (41)$$

C_0 : humidité relative

K_0 : coefficient qui caractérise l'hydrophobie du matériau

$$E = K_0(T) \left(\frac{1}{X} - \frac{1}{X_{c_0}} \right) \quad (42)$$

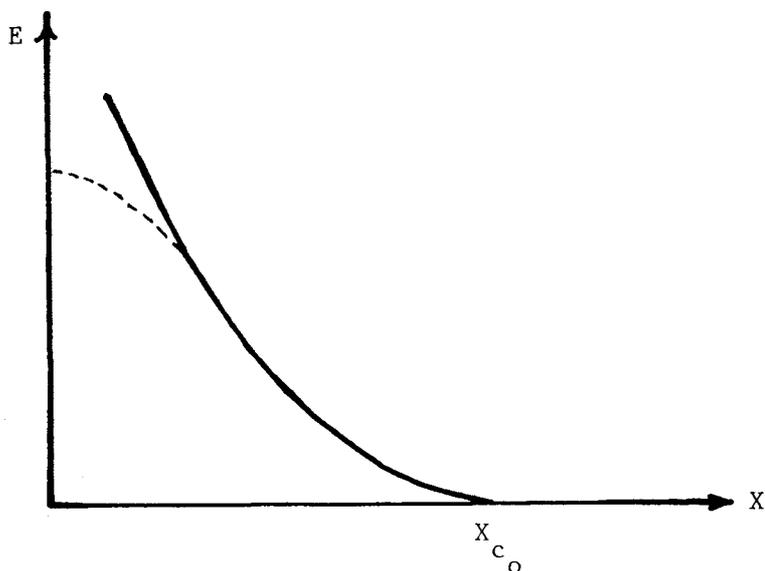


FIG.7 : ENERGIE DE LIAISON E EN FONCTION DE L'HUMIDITE ABSOLUE X

Pour la tension relative de la vapeur en équilibre avec le matériau, nous pouvons écrire :

$$\eta = \frac{p_m}{p_s(\theta)} = e^{-\frac{K_0(T)}{RT}} \left(\frac{1}{X} - \frac{1}{X_{c_0}} \right) \quad \text{pour } X_{c_0} > X \quad (43)$$

Cette formulation représente une formulation mathématique des isothermes de sorption-désorption. Les coefficients $K_0(T)$ et X_{c_0} sont caractéristiques du matériau.

IV.3.2. - Modèle complet

Le modèle stationnaire étudié est essentiellement une représentation mathématique des échanges thermiques et massique au niveau de la matière, faisant intervenir les paramètres du séchage.

Les relations (23), (28) fournissent un système de deux équations différentielles du premier ordre non linéaire.

La juxtaposition n fois de ce modèle conduit à la simulation d'un séchoir de n cylindres sécheurs.

IV.3.2.1. - Modèle de contact "matière-métal"

$$\frac{d\theta_m}{dx} = - \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{\rho_s V_m (C_{p_s} + X_m C_{p_e})} \theta_m + \frac{\alpha_1 \theta_v + \alpha_2 \theta_a}{\rho_s V_m (C_{p_s} + X_m C_{p_e})} - \frac{f(\theta_m, \theta_a)}{(C_{p_s} + X_m C_{p_e})} \cdot \frac{dX_m}{dx}$$

(44)

$$\frac{dX_m}{dx} = \frac{\beta}{R_v T_m} \frac{P_t}{\rho_s V_m} \text{Log} \frac{P_t - p_a}{P_t - p_m}$$

avec $f(\theta_m, \theta_a) = l_v(\theta_m) + (C_{p_e} - C_{p_v}) \theta_m + C_{p_v} \theta_a$

$$p_m = p_s(\theta_m) \quad \text{si } X_m > X_{c0}$$

$$p_m = p_s(\theta_m) e^{-\frac{K_0}{R_v T_m} \left(\frac{1}{X_m} - \frac{1}{X_{c0}} \right)} \quad \text{si } X_m < X_{c0}$$

(45)

$$\alpha_1 = \alpha_{\text{vapeur-matière}}$$

$$\alpha_2 = \alpha_{\text{air-matière}}$$

$$\beta = \beta_{\text{air-matière}}$$

$$\theta_v = \theta_{\text{vapeur}}$$

$$\theta_a = \theta_{\text{air}}$$

* Conditions initiales :

$$\theta_m = \theta_{m0} \quad \text{pour } x = 0$$

$$X_m = X_{m0} \quad \text{pour } x = 0$$

IV.3.2.2. - Modèle libre "matière-air"

Entre deux cylindres successifs, la nappe de fils se trouve uniquement en contact avec de l'air sur ses deux faces donc $\theta_v = 0$ et $\alpha_1 = 0$.

Du fait, que la matière présente ses deux faces donc deux fois la surface élémentaire, α_2 vaudra $2 \alpha_{am}$ et $\beta = 2 \beta_{am}$

Les relations précédentes deviennent alors :

$$\frac{d\theta_m}{dx} = - \frac{2 \alpha_{am}}{\rho_s V_m (C_{p_s} + X_m C_{p_e})} \theta_m + \frac{2 \alpha_{am} \theta_a}{\rho_s V_m (C_{p_s} + X_m C_{p_e})} - \frac{f(\theta_m, \theta_a)}{(C_{p_s} + X_m C_{p_e})} \cdot \frac{dX_m}{dx}$$

$$\frac{dX_m}{dx} = \frac{2 \beta_{am}}{R_v T_m} \cdot \frac{P_t}{\rho_s V_m} \cdot \text{Log} \frac{P_t - p_a}{P_t - p_m} \quad (46)$$

IV.4 - CONCLUSION

Le modèle stationnaire présenté, décrit l'évolution de l'état de la nappe de fils au cours du séchage.

La simulation de ce modèle fournit les profils des deux variables caractérisant l'état de la matière à l'abscisse x : $\theta_m(x)$ et $X_m(x)$ en fonction des différents paramètres de réglage (V_m, θ_v).

La résolution du système différentiel nécessite la connaissance de grandeurs suivantes :

- * variables de commande : vitesse machine V_m et température vapeur θ_v .
- * un certain nombre de données : les caractéristiques hygrométriques de l'air ambiant (θ_a et p_a), la température θ_{m_0} et l'humidité X_{m_0} initiales de la nappe de fils ainsi que sa densité surfacique ρ_s , les caractéristiques physiques pour l'eau (C_{p_e}, D_v, l_v).
- * les paramètres $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ qui doivent être identifiés pour chaque type de fil et pour chaque cylindre, à partir d'observations relevées sur le procédé réel.

C'est ce que nous essayons de voir dans le prochain chapitre qui traitera de la validation des modèles.

B I B L I O G R A P H I E

- |1| ADAMS W.H. Mc
" Transmission de la chaleur "
Dunod . 1961 . PARIS .
- |2| BONTE M.
" Séchoir vapeur : ses effets sur le textile, comparaison avec
différents types de séchoirs industriels "
ITF . Avril 1982 . Vol.11, n°42 . P.25 . FRANCE .
- |3| BOUDAREL R. , DELMAS J. , GUICHET P.
" Commande optimale des processus "
Tome 2. Ed. Dunod . 1968 . PARIS .
- |4| CAMPBELL D.P.
" La dynamique des processus industriels "
Dunod . 1961 . PARIS .
- |5| CARSLAW H.S. AND JAEGER J.C.
" Conduction of heat in solids "
Oxford at the Clarendon Press. 1959 . LONDON
- |6| CHABERT J. , VIALLIER P.
" Economies d'énergie possibles à l'encollage : exprimage et séchage "
Industrie Textile . 06/1980 . P.21 . FRANCE .
- |7| CONTE R.
" Eléments de chaleur et de thermodynamique "
Dunod . 1971 . PARIS .
- |8| DAMBROTH J.P
" Les différents types de séchoirs et la technique de séchage "
ITB . Mars 1976 . P.221 . FRANCE .

- |9| DASCALESCU A.
" Le séchage et ses applications industrielles "
Ed. Méridiennes . Dunod . 1969 . PARIS .
- |10| FOULARD C. , GENTIL S. , SAUDRAZ J.P
" Commande et régulation par ordinateur numérique de la théorie aux
applications "
Ed. EYROLLES . 1977 . PARIS .
- |11| GALARA D.
" Contribution à l'automatisation des séchoirs à tambour rotatif "
Thèse de Docteur-Ingénieur . 1976 . LILLE 1 .
- |12| GOENAGA R.
" Séchage des solides et des liquides "
Technique de l'Ingénieur J3 . 1965 . PARIS .
- |13| GOMARIN C.
" Technique du séchage "
Courrier des Etablissements NEU . n°67 . 09/1975 . FRANCE
- |14| KNEULE F.
" Le séchage "
Ed. EYROLLES . 1964 . PARIS .
- |15| KREITH F.
" Transmission de la chaleur et thermodynamique "
Ed. Masson et Cie . 1967 . PARIS .
- |16| KRISCHER O. , KROLL
" Bases scientifiques de la technique de séchage "
Tomes 1, 2, 3, et 4 . Techn. de séchage . Springer-verlag . 1963 .
- |17| LEMAITRE A.
" Modélisation et identification d'une sécherie multicylindrique de
machine à papier "
Thèse de Docteur-Ingénieur . 28/09/1978 . INP DE GRENOBLE

- [18] MONDIEZ A.
" Cours de Physique Industrielle "
GAUTHIER-VILLARS . 1955 . PARIS .
- [19] PIERRONE F.
" Modélisation et identification d'un processus de séchage "
Thèse de 3ème Cycle . 16/06/1977 . BORDEAUX
- [20] SERRA-TOSIO J.M
" Contribution à l'étude des transferts de masse, de chaleur et d'énergie "
Thèse de 3ème Cycle . 1968 . GRENOBLE .
- [21] TOUZANI A.
" Optimisation du rendement thermodynamique des séchoirs textiles "
Thèse de 3ème Cycle . 02/03/1979 . LILLE .
- [22] TREYBAL R.E.
" Mass-transfert opérations "
Ed. Mac-Graw-Hill-Book Co . 1968 . NEW-YORK .
- [23] VIALLIER P.
" L'importance du réglage des séchoirs pour tissus sur les consommations
d'énergie spécifique "
Industrie Textile . n° 1125 . 09/1982 . P.743 . FRANCE .

MOYENS DE VALIDATION DES MODÈLES

ET

MÉTHODES D'IDENTIFICATION

CHAPITRE V

MOYENS DE VALIDATION DES MODÈLES ET MÉTHODES D'IDENTIFICATION

INTRODUCTION

V.1 - MESURES NECESSAIRES A LA VALIDATION DES MODELES

V.1.1. - Modèle mécanique

V.1.1.1. - Mesures

- a - détermination de K_1 et K_2
- b - détermination de K_m , K_e et K_d
- c - détermination de k_1 et k_2

V.1.2. - Modèle thermodynamique

V.1.2.1. - *Mesures*

V.1.2.2. - *Matériel utile, emplacement des capteurs*

V.2 - METHODES D'IDENTIFICATION

V.2.1. - Présentation du problème

V.2.2. - Algorithmes d'adaptation

V.2.2.1. - *Méthode de " HOOKE et JEEVES "*

V.2.2.2 - *Méthode de ROSENBROCK*

V.2.2.3. - *Méthode du gradient*

V.2.2.4. - *Méthode de POWELL*

V.3 - CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE V

MOYENS DE VALIDATION DES MODÈLES ET MÉTHODES D'IDENTIFICATION

INTRODUCTION

En règle générale, après l'obtention du modèle de connaissance d'un système étudié, vient l'étape d'identification du modèle qui consiste à déterminer les coefficients intervenant dans les relations obtenues :

- soit théoriquement
- soit, si ce n'est pas possible, en adaptant ces paramètres sur la base d'essais expérimentaux.

Ceux-ci sont obtenus au moyen d'une procédure d'identification paramétrique dont le but est de déterminer leurs valeurs optimales vis à vis d'un critère de minimisation de l'écart entre sorties réelles du procédé et sorties calculées par le modèle, tous deux étant soumis aux mêmes entrées | 8,12 | . La procédure d'identification, en général itérative, est schématisée par la FIG.1 .

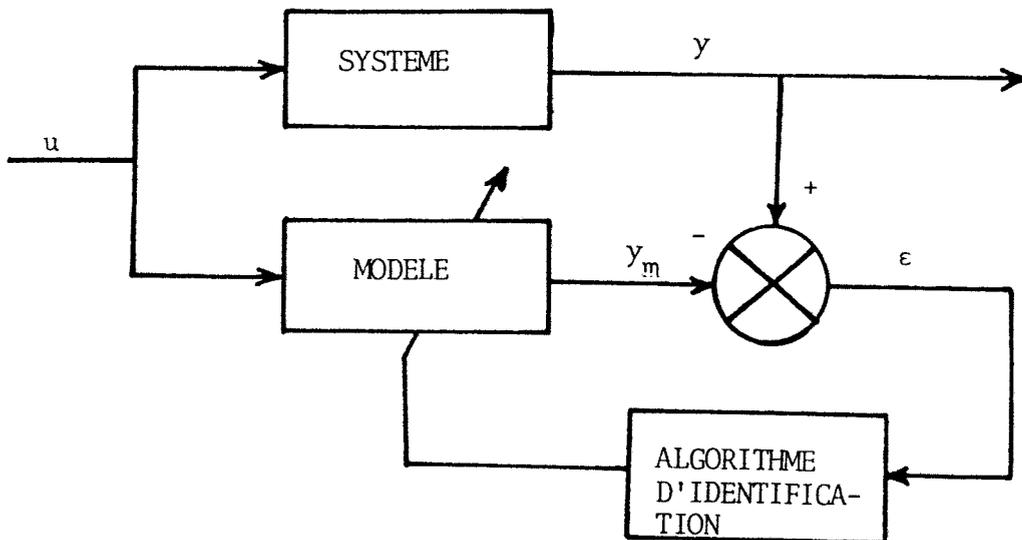


FIG.1 : IDENTIFICATION PAR MINIMISATION DE L'ERREUR DE SORTIE

V.1 - MESURES NECESSAIRES A LA VALIDATION DES MODELES

V.1.1. - Modèle mécanique

Le modèle mécanique établi permet d'obtenir, à chaque instant, les angles de rotation de déroulement θ_d et d'enroulement θ_e qui sont étroitement liés.

La connaissance de certains paramètres est nécessaire pour l'intégration des équations du modèle lorsqu'on connaît les conditions initiales. Des mesures relevées sur le système réel, en régime statique, détermineront les coefficients intervenant dans les relations du modèle, en maintenant la vitesse d'avance constante de la matière donnée.

Les entrées du modèle sont constituées par un couple moteur C_m fourni par le moteur électrique à l'enroulement et un couple de freinage C_f agissant au déroulement.

V.1.1.1. - Mesures

Le modèle mathématique obtenu s'écrit :

$$J(\theta_d) \ddot{\theta}_d + K_d \left(1 - \frac{k_1 R_1 \dot{\theta}_e}{R(\theta_d) \dot{\theta}_d} \right) R(\theta_d) = - \mathbb{I}_r$$

$$J(\theta_e) \ddot{\theta}_e + K_m \left(\frac{R(\theta_e)}{k_2 R_2} - 1 \right) R(\theta_e) = + \mathbb{I}_m$$

avec

$$J(\theta_d) = \frac{1}{2} m(\theta_d) R^2(\theta_d)$$

$$m(\theta_d) = n \rho_1 \frac{K_1}{2} \theta_d^2 - n \rho_1 (R_0 - K_1 \Pi) \theta_d + n \rho_1 L_0 + M_1$$

$$R(\theta_d) = R_0 - K_1 \theta_d$$

$$J(\theta_e) = \frac{1}{2} M(\theta_e) R^2(\theta_e)$$

$$M(\theta_e) = n \rho_2 \frac{K_2}{2} \theta_e^2 + n \rho_2 (r_2 - K_2 \Pi) \theta_e + M_2$$

$$R(\theta_e) = r_2 + K_2 \theta_e$$

Les conditions initiales étant égales à : $\theta_d(0) = 0$ $\dot{\theta}_d(0) = 0$
 $\theta_e(0) = 0$ $\dot{\theta}_e(0) = 0$

Les coefficients à identifier sont au nombre de sept :

k_1, k_2 : rapport des diamètres de poulies, ou des dents d'engrenages

K_1, K_2 : rapport rayon/angle

K_d, K_e, K_m : rapport tension/coefficient allongement.

Une bonne identification réclame de nombreux essais ou mesures car les valeurs exactes de ces paramètres en dépendent directement.

a - Détermination de K_1 et K_2

=====

* A partir des mesures des rayons et du nombre de tours :

les coefficients K_1 et K_2 sont donnés par les relations donnant les rayons de déroulement et d'enroulement :

$$K_1 = \frac{R_0 - R(\theta_d)}{\theta_d} \qquad K_2 = \frac{R(\theta_e) - r_2}{\theta_e}$$

Leurs déterminations nécessitent des mesures simultanées du nombre de tours N_d et N_e à l'aide d'un compteur ($\theta = 2\Pi N$), et les rayons de déroulement $R(\theta_d)$ et d'enroulement $R(\theta_e)$ avec un système adéquat reposant sur la matière textile, à chaque instant. R_0 et r_2 peuvent être mesurés facilement.

Ceci permet de calculer directement les masses au déroulement $m(\theta_d)$ et à l'enroulement $M(\theta_e)$ puisque rayons et masses ont en commun les couples de valeurs (K_1, θ_d) et (K_2, θ_e) ; donc les moments d'inertie $J(\theta_d)$ et $J(\theta_e)$ seront connus à chaque instant.

* A partir des mesures des longueurs $L_d(\theta_d)$ et $L_e(\theta_e)$:

En parallèle aux mesures du nombre de tours de N_d et N_e , on relève les longueurs débitées et enroulées à chaque instant, données par les relations théoriques suivantes :

$$L_d(\theta_d) = -\frac{K_1}{2} \theta_d^2 + (R_0 - K_1 \Pi) \theta_d$$

$$L_e(\theta_e) = \frac{K_2}{2} \theta_e^2 + (r_2 - K_2 \Pi) \theta_e$$

la résolution de l'équation du second degré donnera deux solutions dont une seule sera retenue ($\theta > 0$) :

$$\theta_d = \frac{(R_0 - K_1 \Pi) + \sqrt{(R_0 - K_1 \Pi)^2 - 2 K_1 L_d(\theta_d)}}{K_1}$$

$$\theta_e = \frac{-(r_2 - K_2 \Pi) + \sqrt{(r_2 - K_2 \Pi)^2 + 2 K_2 L_e(\theta_e)}}{K_2}$$

relations qui donnent pour K_1 et K_2 :

$$K_1 = 2 \frac{R_0 \theta_d - L_d(\theta_d)}{\theta_d^2 + 2 \Pi \theta_d}$$

$$K_2 = 2 \frac{L_e(\theta_e) - r_2 \theta_e}{\theta_e^2 - 2 \Pi \theta_e}$$

c'est une deuxième méthode pour identifier K_1 et K_2 .

On peut aussi mesurer seulement la longueur $L_e(\theta_e)$ à l'enroulement, et connaissant l'allongement total α , on déterminera $L_d(\theta_d)$ par la relation :

$$L(\theta_e) = (1 + \alpha) L(\theta_d)$$

b - Détermination de K_m , K_e et K_d
 =====

* Mesures des vitesses linéaires des rouleaux et des tensions appliquées :

Les coefficients K_d , K_e , K_m étant reliés au tension et au coefficient d'allongement par :

$$K_d = \frac{T_d}{\alpha_d} \qquad K_m = \frac{T_m}{\alpha_m} \qquad K_e = \frac{T_e}{\alpha_e}$$

nécessitent les valeurs des tensions T_d , T_e , T_m et les coefficients d'allongement α_d , α_e , α_m . Les tensions peuvent être mesurées à l'aide d'un tensiomètre. On fera des mesures sur quelques fils dont on prendra la valeur moyenne. Connaissant le nombre n de fils constituant la nappe, on le multipliera par cette valeur moyenne, le produit sera la tension totale appliquée à la chaîne. Quant à α_i , il est déterminé par les vitesses linéaires des rouleaux formant le sous-système i :

$$\alpha_d = \frac{V_1}{V_d} - 1 \qquad \alpha_e = \frac{V_2}{V_1} - 1 \qquad \alpha_m = \frac{V_e}{V_2} - 1$$

on remarque que les mesures de V_e et V_d donnent l'allongement total α .

c - Détermination de k_1 et k_2
 =====

Ils peuvent être retrouvés directement à l'aide de la chaîne cinématique, car on connaît les diamètres des poulies, le nombre de dents des engrenages ... ou encore pour vérification des valeurs de k_1 et k_2 , nous utilisons les vitesses linéaires déjà effectuées V_1 , V_2 , V_e et les relations suivantes :

$$\dot{\theta}_e = \frac{V_e}{R(\theta_e)} \qquad \dot{\theta}_i = \frac{V_i}{R_i} \qquad k_i = \frac{\dot{\theta}_i}{\dot{\theta}_e}$$

A IDENTIFIER	CONNUS	INCONNUS A MESURER
k_1, k_2	R_0, R_1, R_2, r_2	θ_d, θ_e
K_1, K_2	M_1, M_2	$\dot{\theta}_d, \dot{\theta}_e$
K_d, K_e, K_m	ρ_1, ρ_2	$R(\theta_e), R(\theta_d)$
	L_0, n	
	$\mathbb{I}_r, \mathbb{I}_m$	

V.1.2. - Modèle thermodynamique

Le modèle de séchage établi permet d'obtenir la température et l'humidité de la nappe de fils en tout point du séchoir.

Le but de ces mesures sur le processus est l'obtention des coefficients de transfert permettant de valider le modèle; celui-ci étant supposé stationnaire.

Les mesures à effectuer doivent être relevées en régime permanent. Pour cela, les conditions de travail sont les suivantes :

- type de fil donné (matière et numéro métrique)
- vitesse d'avance de la nappe de fils constante
- température et humidité initiales constantes de la nappe de fils en entrée du séchoir.

Les caractéristiques de ce séchoir sont :

- . nombre de cylindres-sécheurs : 5
- . diamètre et largeur de chaque cylindre : 0,8 m et 2 m
- . laize de la nappe de fils : 1,80 m
- . longueur de la portion de contact "métal-matière" : 1,70 m

- . longueur de la portion libre "air-matière" : 0,35 m
- . pression vapeur alimentant les cylindres : 3,5 Kg/cm²

Les entrées ou commandes du modèle sont constituées par :

- V_m : vitesse d'avance de la nappe de fils (ou machine)
- θ_v : température vapeur alimentant les cylindres.

Lorsque les entrées du modèle sont connues, il permet, à partir des conditions initiales, de calculer les grandeurs suivantes :

θ_m : température matière le long du séchoir

X_m : humidité matière le long du séchoir

V.1.2.1. - Mesures

Le modèle mathématique obtenu est le suivant :

$$\frac{d\theta_m}{dx} = - \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{\rho_s V_m (C_{p_s} + X_m C_{p_e})} \cdot \theta_m + \frac{\alpha_1 \theta_v + \alpha_2 \theta_a}{\rho_s V_m (C_{p_s} + X_m C_{p_e})} - \frac{f(\theta_m, \theta_a)}{(C_{p_s} + X_m C_{p_e})} \cdot \frac{dX_m}{dx}$$

$$\frac{dX_m}{dx} = \frac{\beta}{R_v T_m} \cdot \frac{P_t}{\rho_s V_m} \text{Log} \frac{P_t - P_a}{P_t - P_m}$$

$$f(\theta_m, \theta_a) = l_v (\theta_m) + (C_{p_e} - C_{p_v}) \theta_m + C_{p_v} \theta_a$$

$$P_m = p_s(\theta_m) \quad \text{si } X_m > X_{c0}$$

$$P_m = p_s(\theta_m) e^{-\frac{K_0}{R_v T_m} \left(\frac{1}{X_m} - \frac{1}{X_{c0}} \right)} \quad \text{si } X_m < X_{c0}$$

* modèle "matière-métal"

$$\alpha_1 = \alpha_{vm}$$

$$\alpha_2 = \alpha_{am}$$

$$\beta = \beta_{am}$$

* modèle "matière-air"

$$\alpha_1 = 0 \quad (\theta_v = 0)$$

$$\alpha_2 = 2 \alpha_{am}$$

$$\beta = 2 \beta_{am}$$

* Conditions initiales :

$$\theta_m = \theta_{m_0} \quad \text{pour } x = 0$$

$$X_m = X_{m_0} \quad \text{pour } x = 0$$

L'écriture du modèle mathématique fait apparaître pour chaque cylindre sécheur deux modèles distincts : le modèle "métal-matière" et le modèle "air-matière". Donc la détermination des coefficients relatifs à chaque partie doit se faire séparément à l'aide de mesures prélevées sur chaque phase.

Nous avons fait apparaître 3 coefficients de transfert en tout à savoir :

- . $\alpha_1 = \alpha_{vm}$: coefficient de transfert de chaleur vapeur-matière.
- . $\alpha_2 = \alpha_{am}$: coefficient de transfert de chaleur air-matière.
- . $\beta = \beta_{am}$: coefficient de transfert de masse air-matière.

Les valeurs exactes de ces paramètres dépendent énormément des facteurs suivants :

- du nombre de mesures n : plus n est grand, plus les valeurs moyennes des coefficients sont proches de la réalité.
- des erreurs sur les n mesures
- des positions réelles des points de mesure
- du choix des capteurs (voire erreurs dûes aux capteurs) et leur étalonnage.

Ce grand nombre de mesures pourrait être obtenu à l'aide d'un système mécanique adéquat portant les capteurs et fixé sur chaque cylindre. Ceci permettra de connaître exactement les positions réelles des points de mesures.

Si ce nombre souhaitable de relevés n'est pas possible, il peut être réduit. En effet, si nous considérons que la majorité du séchage se fait quand le fil est en contact avec le cylindre, alors il est préférable de relever aux points où la nappe rejoint le cylindre et où elle s'en décolle.

V.1.2.2. - Matériel utile, emplacement des capteurs

. Température matière θ_m

Le profil de la température superficielle de la nappe de fils le long du séchoir, peut être mesuré à l'aide d'un capteur en contact avec la matière aux points déjà cités précédemment, donc deux prises de mesures pour chaque cylindre.

. Humidité matière X_m

L'humidité de la matière peut être obtenue aux mêmes points que ceux de la température à l'aide d'un humidimètre à infra-rouge par exemple. Cet appareil nécessite un étalonnage car la qualité des résultats est fortement conditionnée par la précision de cet étalonnage.

. Température de l'air ambiant : θ_a

La température de l'air ambiant sera mesurée au dessus et en dessous de chaque cylindre à une certaine distance (20 cm par exemple) à l'aide d'une canne pyrométrique à thermo-couple.

. Température de vapeur : θ_v

La température de vapeur θ_v de chaque cylindre peut être mesurée à l'aide d'une sonde pénétrant à l'intérieur du sécheur. Si les conditions techniques ne le permettent pas, nous pouvons nous en passer et la remplacer par la température externe de la surface du cylindre au point où la nappe de fils se décolle, sans rien changer au problème.

. Autres mesures nécessaires :

Les pressions partielles de vapeur à la surface d'évaporation p_m et de vapeur d'eau dans l'air p_a sont obtenues directement par des tables après que les températures θ_m et θ_a aient été mesurées.

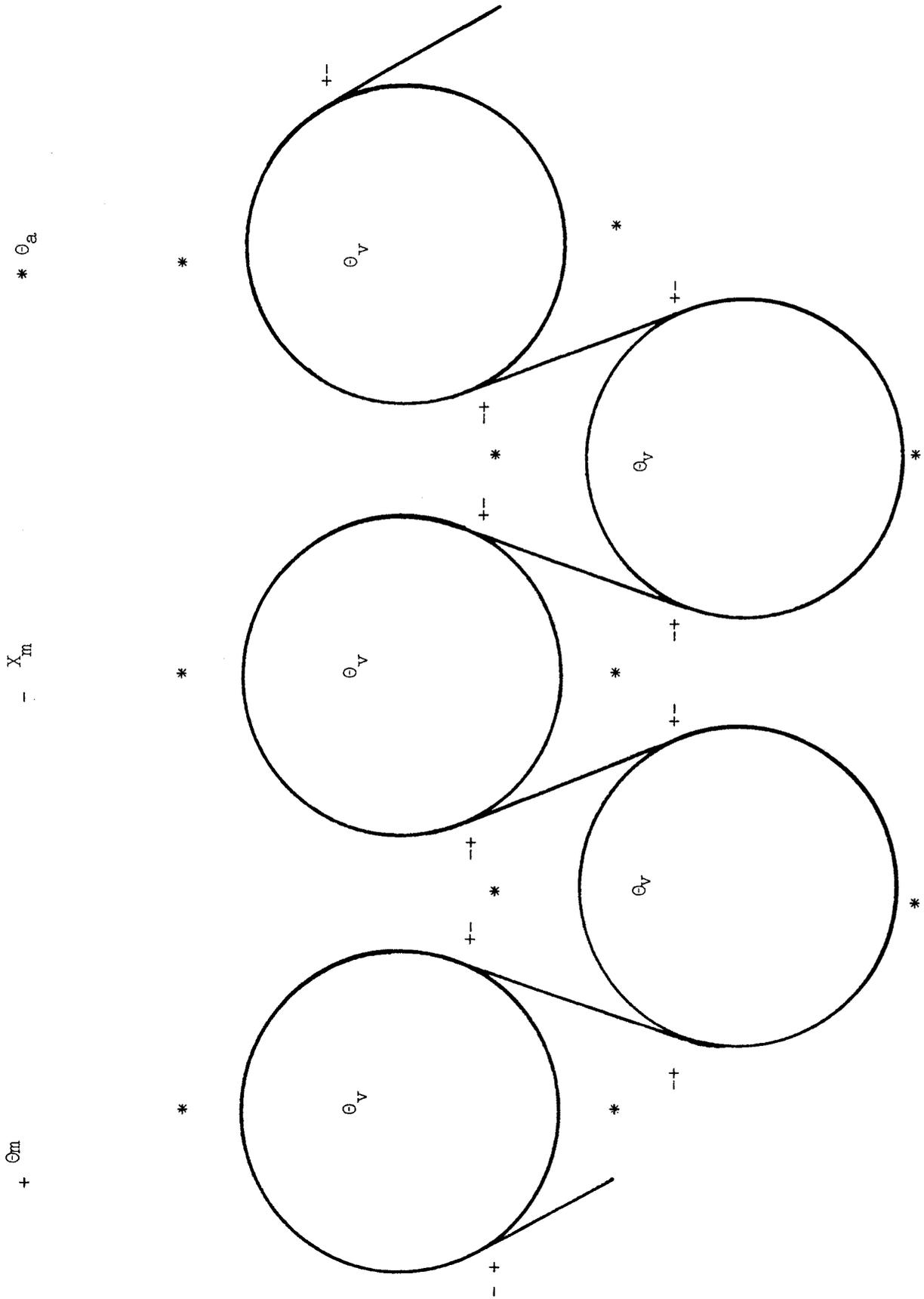


FIG.2 : MESURES RELATIVES AU SECHOIR



La vitesse de la machine et la densité surfacique de la matière s'obtiennent facilement.

Les caractéristiques du fil ne peuvent être déterminées qu'à partir d'expériences au laboratoire. Nous citons quelques principes de manipulation pour les obtenir.

- Chaleur spécifique du fil sec C_{ps} : le principe consiste à placer un échantillon de fil donné dans une étuve à p_s laquelle on fournit une quantité de chaleur Q connue. Par un moyen adéquat on relève la température du fil θ . Plusieurs expériences doivent être réalisées sur l'échantillon pour déterminer la valeur moyenne de C_{ps} proche de la réalité; celle-ci étant obtenue à partir de la relation donnant la quantité de chaleur cédée à la matière à savoir :

$$Q = m C_{ps} \theta$$

- Coefficient d'affinité du fil à l'équilibre K_0 : il est obtenu expérimentalement à partir des isothermes de désorption du fil considéré. Comme précédemment, le principe | 13 | consiste à placer des échantillons de fils dans une étuve dite "tropicale", à différentes humidités relatives et pour une température sèche donnée; lorsque l'équilibre est atteint (plusieurs heures) l'échantillon est pesé pour déterminer sa teneur en eau. Une méthode d'identification basée sur la minimisation du critère quadratique permet d'estimer numériquement la valeur de K_0 .

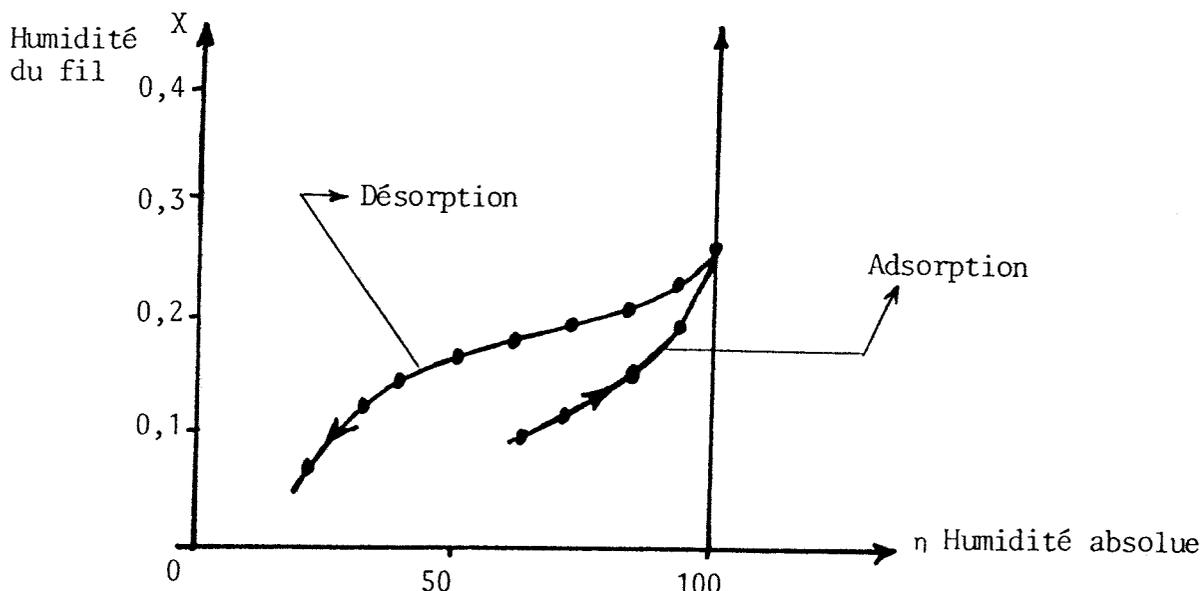


FIG.3 : COURBE D'ADSORPTION ET DE DESORPTION

Humidité critique X_{c0} : elle est obtenue graphiquement en réalisant les courbes donnant le taux d'évaporation en fonction de l'humidité absolue : quand le taux d'évaporation tend vers zéro, on retrouve l'humidité critique X_{c0} .

A IDENTIFIER	CONNUS	INCONNUS A MESURER
α_{vm}	C_{pe}, C_{pv}	$\theta_{m0}, \theta_m, \theta_v, \theta_a$
α_{am}	R_v, l_v	X_{m0}, X_m
β_{am}	ρ_s, V_m	
	P_t	
K_0		$\theta_a \rightarrow p_a$
X_{c0}		$\theta_m \rightarrow p_m$

V.2 - METHODES D'IDENTIFICATION

Une fois, toutes les mesures expérimentales faites sur le procédé réel, il convient d'identifier les paramètres inconnus.

V.2.1. - Présentation du problème

Les modèles établis présentent des équations différentielles du premier et du second ordre non linéaire. Dans ces conditions, une résolution analytique du problème est impossible. L'intégration des systèmes est donc effectuée numériquement au moyen de méthodes que nous exposerons par la suite.

Pour cela, les modèles seront écrits sous forme discrète.

Le problème est de calculer la valeur optimale du vecteur des paramètres. Pour optimiser le modèle, on peut définir divers critères dont le plus classique et le plus utilisé est [9] :

$$J = \sum_{k=1}^N \epsilon_k^2$$

où ϵ est l'erreur entre la sortie réelle du procédé y_k calculé et la sortie du modèle y_k mesuré et N le nombre de mesures.

$$\epsilon_k = y_k \text{ calculé} - y_k \text{ mesuré.}$$

Pour juger de la validité du modèle, on se basera d'abord sur la valeur du critère. Plus précisément, si $J = \sum \epsilon_k^2$, on observera par exemple, la grandeur sans dimension [14] :

$$M = \sqrt{\frac{J}{\sum y_k^2}}$$

Selon que ce critère relatif est égal à 1%, 5%, 20%, on sera évidemment plus ou moins satisfait du modèle obtenu. Il reste à choisir maintenant une méthode conduisant les paramètres à leur valeur optimale, correspondant à la minimisation de J .

V.2.2. - Algorithmes d'adaptation

Dans le cas général non linéaire, il convient de faire appel à des méthodes numériques de minimisation (gradient, gradient amélioré, ...) pour trouver la valeur optimale des paramètres.

Il faut définir un algorithme qui, partant de valeurs initiales estimées, améliore à chaque itération la valeur du critère.

Le schéma de la procédure est le suivant [22] :

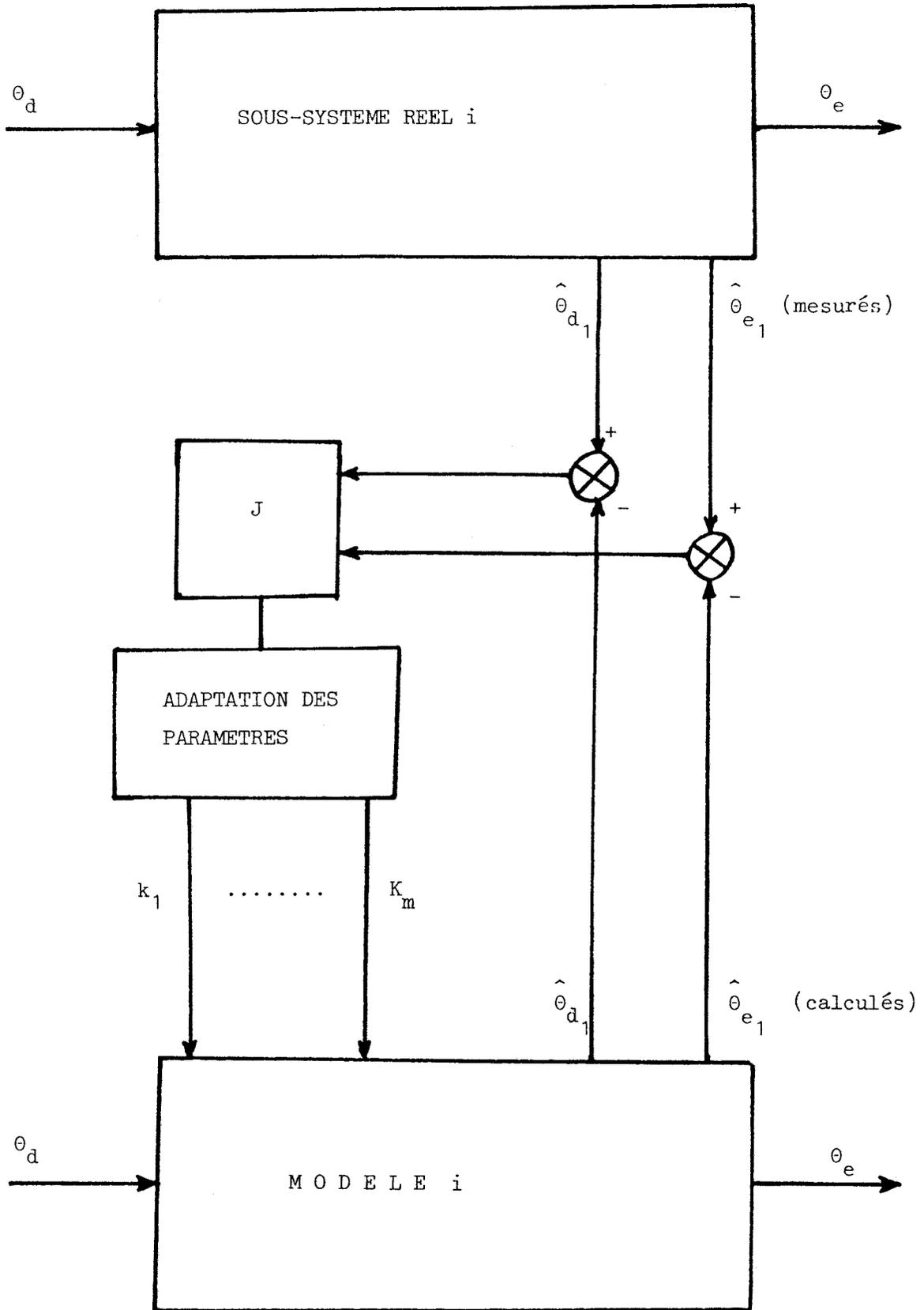


FIG.4 : ALGORITHME D'IDENTIFICATION (mécanique)



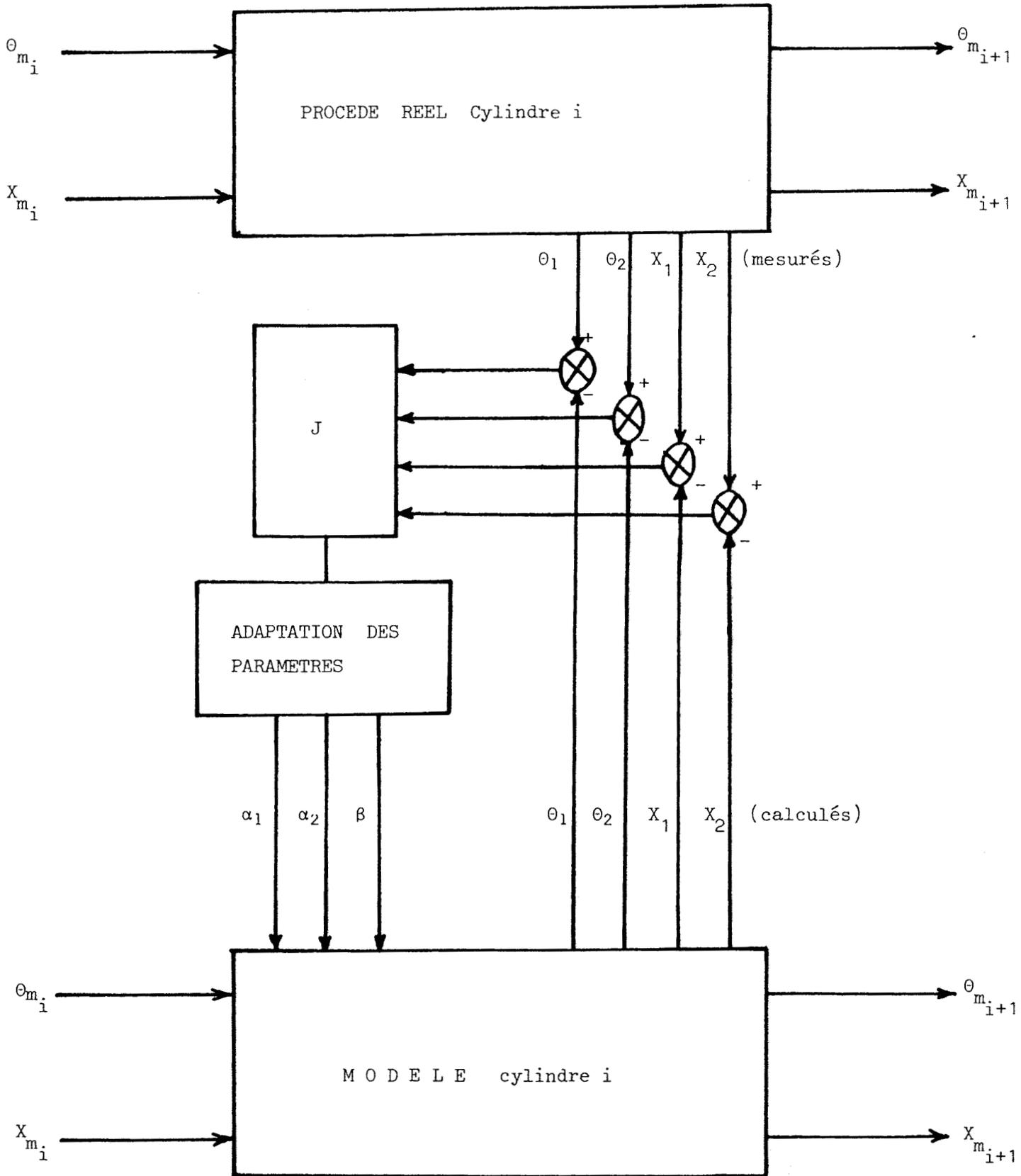
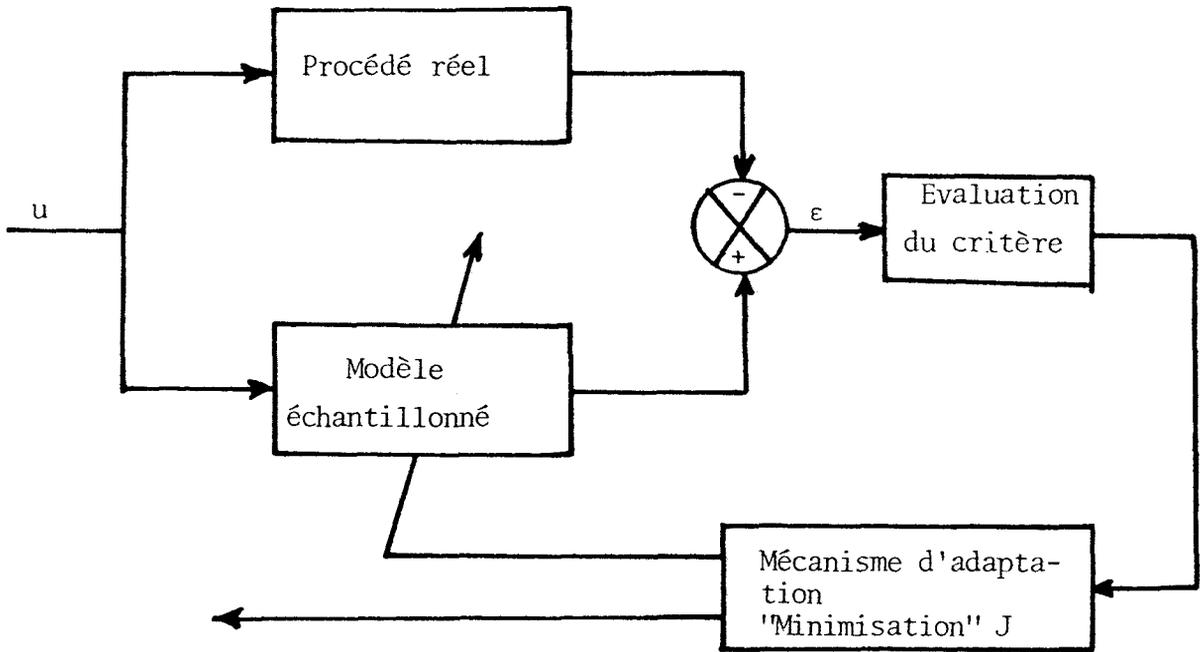


FIG.5 : ALGORITHME D'IDENTIFICATION (thermodynamique)





* Choix d'une méthode

Plusieurs méthodes de résolution de ce genre de problème sont envisageables. En effet, il existe de nombreuses méthodes de programmation non linéaire [24] et le choix de l'une ou de l'autre dépend de facteurs tels que la rapidité de la progression vers l'optimum, la simplicité des calculs, la convergence ou la précision :

- les méthodes dites " de recherche directe " qui font appel aux techniques d'"essais-erreurs" : " HOOKE et JEEVES " et de " ROSENBROCK "
- les méthodes du type "gradient" qui nécessitent le calcul de la ou des dérivées n-ièmes de la fonction à minimiser :
" du GRADIENT " et de " POWELL ".

V.2.2.1. - Méthode de " HOOKE et JEEVES "

Cette méthode est particulièrement adaptée pour les ajustements de courbes non linéaires comportant la minimisation d'une somme de carrés et pour estimer à partir de données expérimentales, les paramètres de relations théoriques de thermodynamique ou de cinétique chimique non linéaire. Elle utilise une technique d'essais-erreurs, comportant deux étapes principales. La première est une phase opératoire consistant à étudier le comportement local du critère $J(\vec{K})$ autour du point courant (\vec{K}) et notamment la direction correspondant à une diminution de J . La deuxième phase est une progression dans cette direction.

V.2.2.2. - Méthode de ROSENBROCK

C'est une méthode très proche de celle de " HOOKE et JEEVES ". Son intérêt réside dans le fait qu'elle permet de recalculer à chaque itération les axes de coordonnées, afin d'explorer l'espace suivant des directions plus intéressantes. Elle comporte également deux étapes principales :

- la première est la détermination dans une phase exploratoire, d'un nouveau point courant \vec{K} dont toutes les composantes sont distinctes du précédent \vec{K}^* .
- la deuxième étape consiste à calculer un nouveau système d'axes orthonormés dont la première direction doit être celle définie par le vecteur (\vec{K}, \vec{K}^*) .

Cette méthode, un peu plus rapide que la précédente, donne de bons résultats en ce qui concerne la convergence de l'algorithme.

V.2.2.3. - Méthode du gradient

Le principe bien connu de cette méthode est le suivant : si $J(\vec{K})$ est le critère, et si l'on effectue un développement limité de premier ordre autour du point courant \vec{K} , on montre qu'un déplacement élémentaire $\Delta\vec{K}$, colinéaire au vecteur gradient $(\frac{\partial J}{\partial \vec{K}})$ et de sens contraire entraîne une diminution du critère.

Une amélioration intéressante de cette méthode consiste à effectuer une recherche dichotomique dans la direction du gradient en faisant varier judicieusement le gain de la progression.

V.2.2.4. - Méthode de POWELL

Cette méthode permet de calculer la solution du système d'équations non linéaire suivant :

$$\varepsilon_k(K) = \varepsilon_k(K_1, K_2, \dots, K_n) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Ceci revient à minimiser le critère J défini précédemment. POWELL utilise un algorithme hybride qui est une combinaison astucieuse entre les algorithmes des méthodes de NEWTON-RALPHSON et du gradient; l'objectif est de profiter des avantages qu'ont chacune de ces techniques dans leur meilleur domaine de convergence. Cet algorithme s'écrit :

$$K_{i+1} = K_i + \delta_i$$

Avec δ_i solution du système suivant :

$$(\lambda_i I + G_i^T G_i) \delta_i + G_i^T \varepsilon_i = 0$$

G est la matrice des dérivées premières de ε (Jacobien) et les λ_i des scalaires positifs ou nuls.

Lorsque λ_i augmente, le pas d'incrémentation δ_i diminue et l'on se rapproche de la méthode du gradient; si $\lambda_i = 0$, on retrouve l'algorithme de NEWTON.

V.3 - CONCLUSION

Comme nous venons de le remarquer, les techniques et algorithmes sont évidemment extrêmement variés, et on trouve dans les programmations de nombreux algorithmes de programmation non linéaire que l'utilisateur doit

compléter par la définition de la fonction à minimiser, c'est-à-dire par le " sous-programme fonction critère J " qui est, dans le cas présent, le programme de calcul de J.

Le choix sera porté sur telle ou telle méthode en comparant :

- les résultats obtenus avec chaque algorithme
- les performances (convergence, coût)
- le temps de calcul nécessaire à une identification pour une valeur de J donnée.

Les résultats obtenus seront naturellement très dépendants de la qualité et du nombre de mesures réalisées sur le processus réel. L'obtention de données très fiables est donc une condition nécessaire à la validation des modèles pour chaque type de fil.

Il est aussi intéressant de vérifier l'unicité de la solution qui confirme la stabilité des modèles : en choisissant des coefficients moyens et en les introduisant dans les modèles. On calcule les valeurs de $\theta_1, \theta_2, X_1, X_2, \theta_e, \theta_d$ à l'emplacement théorique des points de mesure et on réidentifie les coefficients au moyen de ces valeurs. Si on constate que l'on retrouve effectivement les valeurs des coefficients introduits, alors le modèle est stable.

Enfin, une fois les modèles validés, on pourra analyser les conditions de fonctionnement pour trouver des remèdes aux anomalies affectant la machine.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] BOUDAREL R. - DELMAS J. - GUICHET P.
" *Commande optimale des processus* "
Dunod - 1967 - PARIS
- [2] CAMPBELL D.P.
" *Dynamique des processus industriels* "
Dunod - 1961 - PARIS
- [3] CATLOW M.G
" *Continued move towards automation in yarn preparation* "
Textile Month - 09/1974 - P.62 - ANGLETERRE
- [4] CESCHINO F. - KUNTZMANN J.
" *Méthodes numériques : problèmes différentiels de conditions initiales* "
Dunod - 1963 - PARIS
- [5] CUNNINGHAM W.J.
" *Analyse non linéaire* "
Dunod - 1963 - PARIS
- [6] ELLOY J.P. - PIASCO J.M.
" *Problèmes d'automatique* "
Dunod - 1981 - PARIS
- [7] ENRICI P.
" *Discrete variable methods in ordinary differential equations* "
J. WILEY & SONS - 1962 - NEW-YORK
- [8] FAURE P. - DEPEYROT M.
" *Eléments d'automatique* "
Dunod - 1974 - PARIS

- |9| FOULARD C. - GENTIL S. - SAUDRAZ J.P .
" *Commande et régulation par ordinateur numérique de la théorie aux applications* "
Eyrolles - 1977 - PARIS
- |10| GALARA D.
" *Contribution à l'automatisation des séchoirs à tambour rotatif* "
Thèse de Docteur-ingénieur - 1976 - LILLE 1
- |11| GIRERD J. - KARPLUS W.J.
" *Traitement des équations différentielles sur ordinateurs électroniques* "
GAUTHIER-VILLARS - 1968 - PARIS
- |12| LARMINAT P. - THOMAS Y.
" *Automatique des systèmes linéaires : identification - commande* "
FLAMMARION SCIENCES - Tome 2 et 3 - 1977 - PARIS
- |13| LEMAITRE A.
" *Modélisation et identification d'une sécherie multicylindrique de machine à papier* "
Thèse de Docteur-Ingénieur - 28/09/1978 - INP DE GRENOBLE
- |14| LOEB J.
" *Identification expérimentale des processus industriels* "
Dunod - 1967 - PARIS
- |15| MC ADAMS W.H.
" *Transmission de la chaleur* "
Dunod - 1961 - PARIS
- |16| NANTET J.P.
" *Ordinateur en temps réel : applications industrielles* "
MASSON & CIE - 1970 - PARIS
- |17| NICOLET G. - TROTTEY E.
" *Eléments de machines* "
Bibliothèque de l'Ingénieur - SPES - 1971 - LAUSANNE

- | 18 | PIERRONE F.
" *Modélisation et identification d'un processus de séchage* "
Thèse de 3ème Cycle - 16/06/1977 - BORDEAUX
- | 19 | POVY L.
" *Identification des processus* "
DUNOD-BORDAS - 1975 - PARIS
- | 20 | RICHALET J. - RAULT A. - POULIQUEN R.
" *Identification des processus par la méthode du modèle* "
Gordon and Breach - 1971 - LONDON
- | 21 | SERRA-TOSIO J.M.
" *Contribution à l'étude des transferts de masse, de chaleur et d'énergie* "
Thèse de 3ème Cycle - 1968 - GRENOBLE
- | 22 | TOUZANI A.
" *Optimisation du rendement thermodynamique des séchoirs textiles* "
Thèse de 3ème Cycle - 02/03/1979 - Lille 1
- | 23 | WILDE D.J.
" *Méthode de recherche d'un optimum* "
Dunod - 1965 - PARIS
- | 24 | LAAFIA O.
" *Contribution à l'étude de l'identification des systèmes non linéaires : application aux systèmes biologiques* "
Thèse de 3ème Cycle - Lille le 23 Sept.1983

SOLUTIONS À APPORTER AU SYSTÈME

POUR SON AMÉLIORATION

CHAPITRE VI

PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DU SYSTÈME

INTRODUCTION

VI.1 - MINIMISATION DES EFFORTS

VI.1.1. - Efforts mécaniques dûs à la tension

VI.1.1.1. - *Modèle mécanique*

VI.1.1.2. - *Limites élastiques et modèle mécanique*

VI.1.2. - Efforts mécaniques dûs à la séparation

VI.1.2.1. - *Séparation humide simple*

VI.1.2.2. - *Séparation humide prolongé*

VI.2 - AUGMENTATION DE LA VITESSE DE DEFILEMENT DE LA NAPPE

VI.2.1. - Pré-séchage

VI.2.1.1. - *Chauffage aux rayons infra-rouges*

VI.2.2.2. - *Chauffage par haute fréquence*

VI.2.2. - Diminution de l'humidité de sortie à l'encollage

VI.2.2.1. - *Haute pression d'exprimage*

VI.2.2.2. - *Avantages de la haute pression d'exprimage*

VI.2.3. - Séchage

VI.2.3.1. - *Séchage à fils disjoints*

VI.2.3.2. - *Nombre de cylindres-sécheurs*

VI.2.3.3. - *Problème de surséchage sur les lisières*

VI.3 - CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

C H A P I T R E VI

PROPOSITIONS POUR L'AMÉLIORATION DU SYSTÈME

INTRODUCTION

Les causes de la dégradation des fils textiles sont nombreuses et ont été citées précédemment. Pour y remédier ou tout au moins pour les diminuer, dans le but d'entraîner un faible taux de casses, par conséquent un rendement élevé tant en encollage qu'en tissage, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la modélisation de l'encolleuse.

Nous espérons, à partir de l'étude des deux modèles établis, apporter quelques améliorations qui permettront la bonne marche de la machine de production.

VI.1 - MINIMISATION DES EFFORTS

Le problème qui affecte l'efficacité de l'encollage et par conséquent le tissage, est dû essentiellement aux variations de vitesse qui à leur tour, entraînent des variations de tensions : c'est là l'inconvénient majeur qu'il faut éliminer ou réduire considérablement.

VI.1.1. - Efforts mécaniques dûs à la tension

VI.1.1.1. - Modèle mécanique

D'après ce que nous venons de voir, il vaut mieux travailler à vitesse constante or celle-ci maintenue constante ne permet pas la régulation actuelle du séchage.

Une solution consiste à allonger le parcours de la nappe de fils sur le dernier cylindre sécheur. En effet, plus la longueur séchée est importante, plus la vitesse d'avance est grande. La variation de cette longueur peut être réalisée à l'aide d'un système mécanique constitué par un rouleau de guidage reposant sur toute la largeur de la chaîne et un moteur électrique l'entraînant.

Cette transformation au niveau du système a un avantage et un inconvénient qui peut être diminué ou éliminé :

- avantage : vitesse constante, éventuellement plus élevée qu'actuellement
- inconvénient : création de tensions mécaniques supplémentaires au niveau du fil d'où la nécessité d'un système de compensation ou d'une boucle permettant de garder une longueur constante de la matière entre la sortie du séchoir et le rouleau d'enroulement; et une dynamique de variation de longueur ΔL limitant les tensions transitoires.

Remarque : remplacer $\frac{dV}{dt}$ par $\frac{\Delta L}{dt}$ ne revient pas seulement à remplacer une variation de tension par une autre.

En effet $\frac{dV}{dt}$ crée des variations de tensions tout le long du fil et en particulier dans la zone non encollée (fil faible).

Alors que $\frac{\Delta L}{dt}$ crée des variations de tensions localisées dans la zone où le fil est encollé et quasiment sec c'est-à-dire plus solide donc moins d'apparition de points faibles.

L'humidité et le taux d'évaporation sont donnés par le modèle en tout point du séchoir. L'humidité finale X_f et l'humidité initiale X_i sont données par la relation (12) en page 126 :

$$X_f - X_i = \int_0^L \frac{dX}{dx} dx \quad (1)$$

La régulation par variation de longueur L sera obtenue à partir de (1) :

$$\Delta (X_f - X_i) = \frac{dX}{dx} (L) \cdot \Delta L \quad (2)$$

Soit X_e , l'humidité à l'entrée du dernier cylindre-sécheur et X_s son humidité de sortie. On peut écrire une relation du type :

$$\Delta X = X_s - X_e = k \alpha \quad (3)$$

$$\text{avec } \widehat{AB} = R \alpha \quad (4)$$

R et α rayon et angle d'enroulement de la nappe sur le dernier sécheur (connus), il reste à chercher k .

On possède déjà un système d'équations différentielles :

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_m}{dx} &= f (V_m, \theta_m, X_m, \dots) \\ \frac{dX_m}{dx} &= f (V_m, \theta_m, \dots) \end{aligned} \quad (5)$$

Connaissant l'humidité à l'entrée du dernier cylindre sécheur (capteur à installer), le taux d'évaporation et l'humidité désirée, le système mécanique prévu agira de façon à régler la longueur à sécher pour atteindre l'humidité de sortie.

VI.1.1.2. - Limites élastiques et modèle mécanique

Ce modèle a été mis au point pour définir les différentes tensions mécaniques à appliquer à chaque type de fil et à chaque niveau du processus, pour éviter un allongement trop important pendant l'encollage de la matière.

Cependant, on assiste à deux sortes de tensions : faibles et fortes.

* tensions faibles : les fils de chaîne qui ne sont pas parfaitement tendus et qui, de ce fait chevauchent les fils voisins, empêchent ces derniers de recevoir normalement leur dose d'encollage. Lors des efforts dûs au tissage, le film de colle peut ainsi être gratté et enlevé provoquant la casse de fil; ce qui conduit à supposer que les fils uniformément tendus

et parallèlement guidés constituent une condition essentielle pour l'obtention de bonnes propriétés d'emploi ultérieur.

* tensions fortes : l'application de tensions trop fortes au cours de l'encollage augmente l'allongement total de la chaîne de fils. Cet affaiblissement réduira considérablement le rendement au tissage d'où la nécessité de diminuer ces forces pour préserver les caractéristiques physiques du fil après l'encollage.

Nous avons effectué des essais dynamométriques sur différentes matières encollées et non encollées à l'I.T.F.-Nord. FIG.2 à 5. Le test est simple : une longueur de fil de 50 cm est comprise entre deux mâchoires d'un dynamomètre dont une est fixe et l'autre mobile. Celle-ci soumet le fil à une force de traction jusqu'à la rupture. Un calculateur sort des graphes représentant la force en fonction de l'allongement, ainsi que d'autres résultats que nous avons rassemblés en un seul tableau (page 179).

L'étude de ces courbes permettra de déterminer pour un allongement fixé, la force à appliquer aux n fils composant la chaîne. Avec une bonne approximation, les deux graphes correspondant à "avant" et "après" encollage donneront les tensions de déroulement et d'enroulement.

Une fois les tensions connues, on placera des jauges dynamométriques à des points fixes qui permettront de contrôler efficacement ces forces.

Il faut remarquer que dans le processus, en plus des tensions d'entraînement, il y en a d'autres qui interviennent à savoir des forces "transversales" (décollement des fils entre eux . (§ I.1.5)) . Il est à signaler l'importance de ces forces et leur répercussion au tissage d'où l'intérêt qu'il faut leur apporter en les considérant.

VI.1.2. - Efforts mécaniques dus à la séparation

Une étude consacrée à ces efforts |17| a envisagé les trois cas suivants :

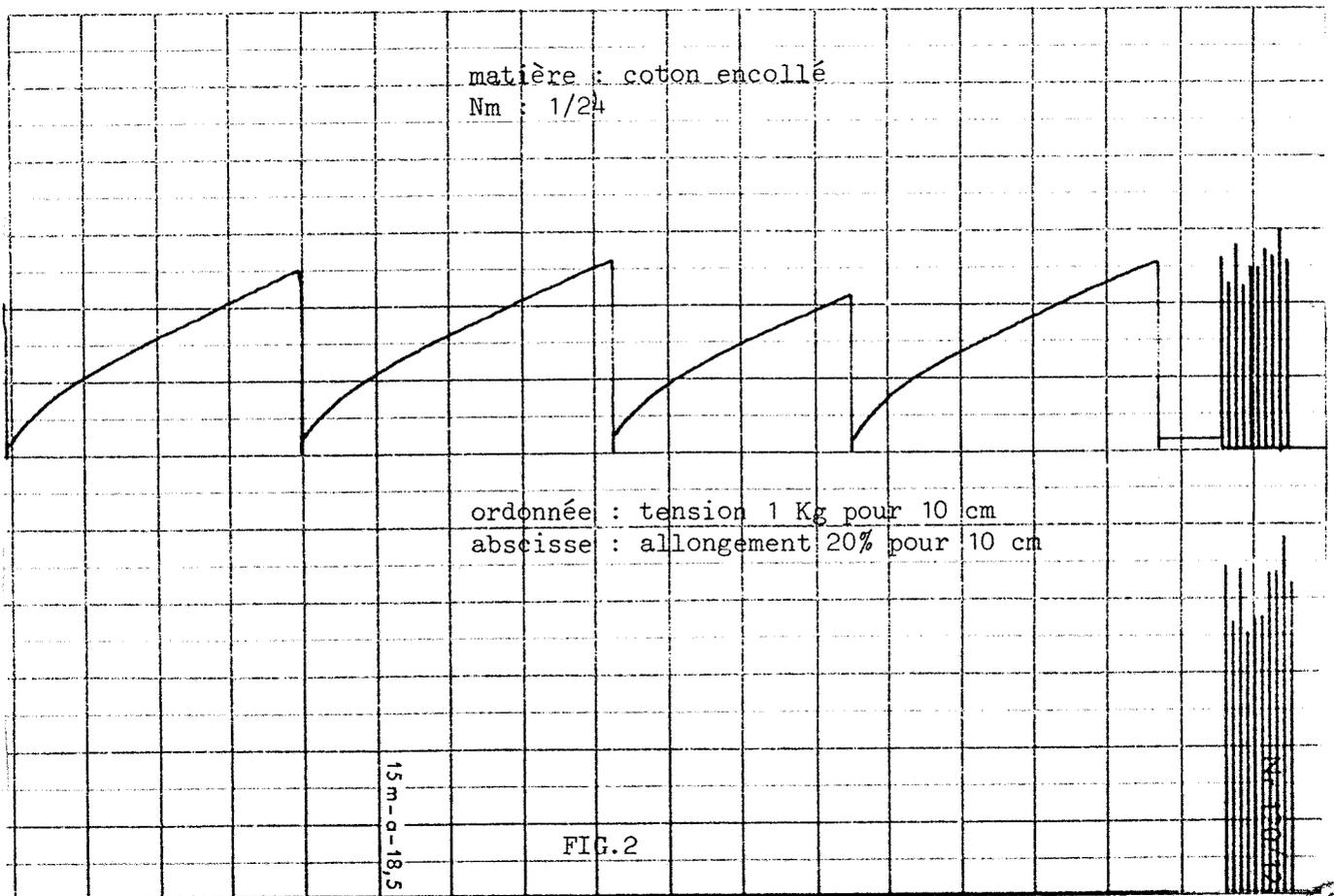
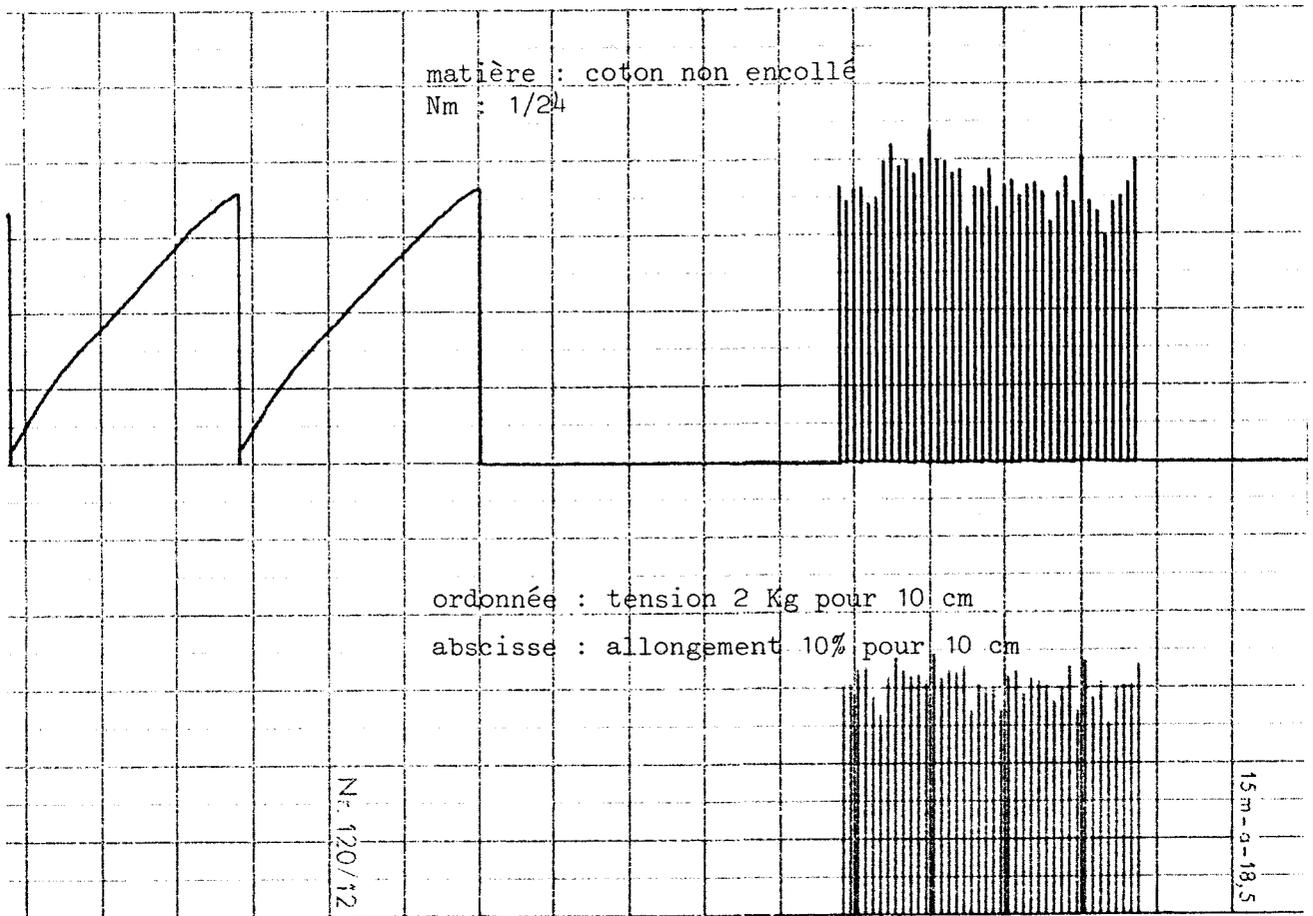
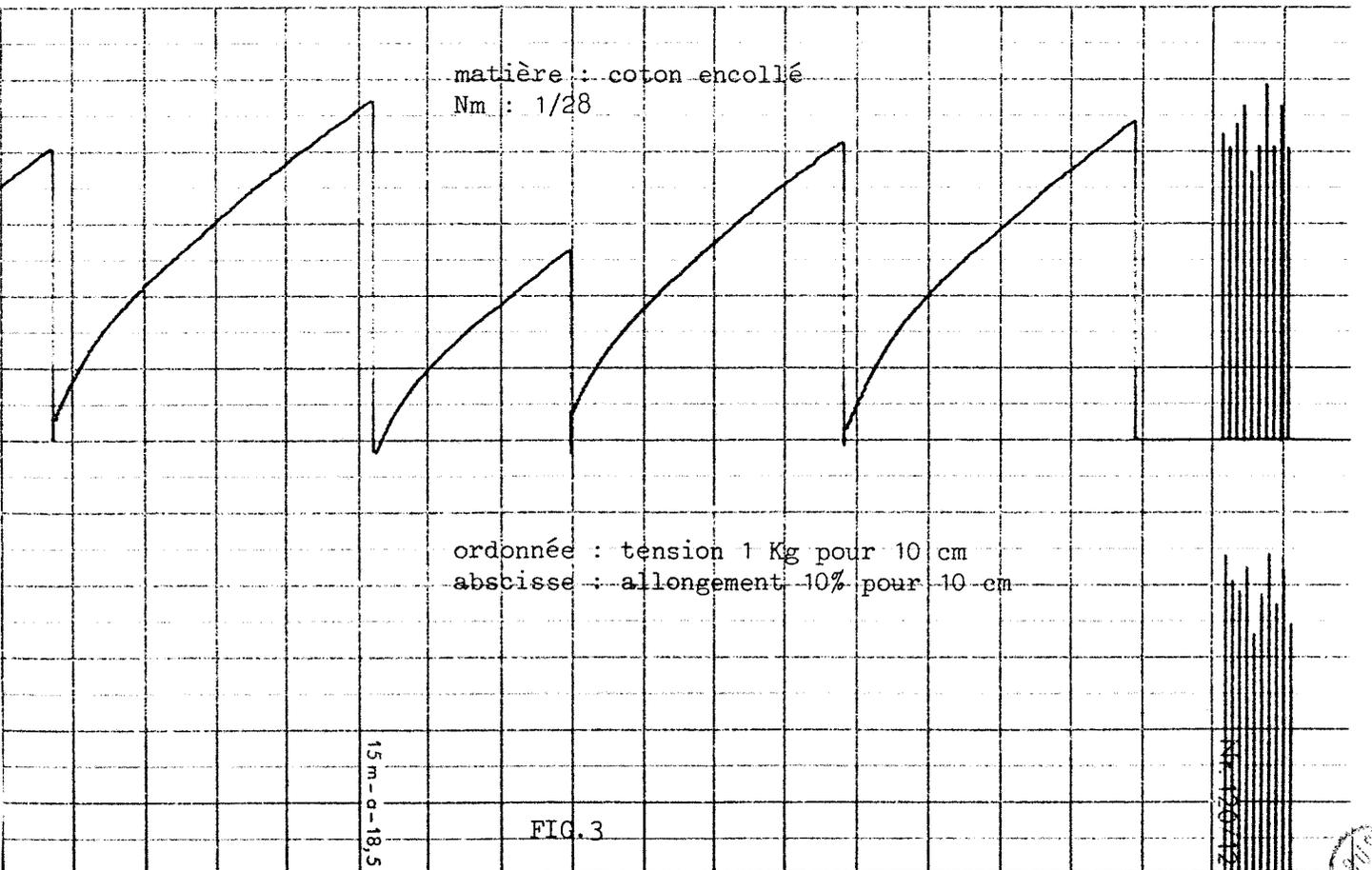
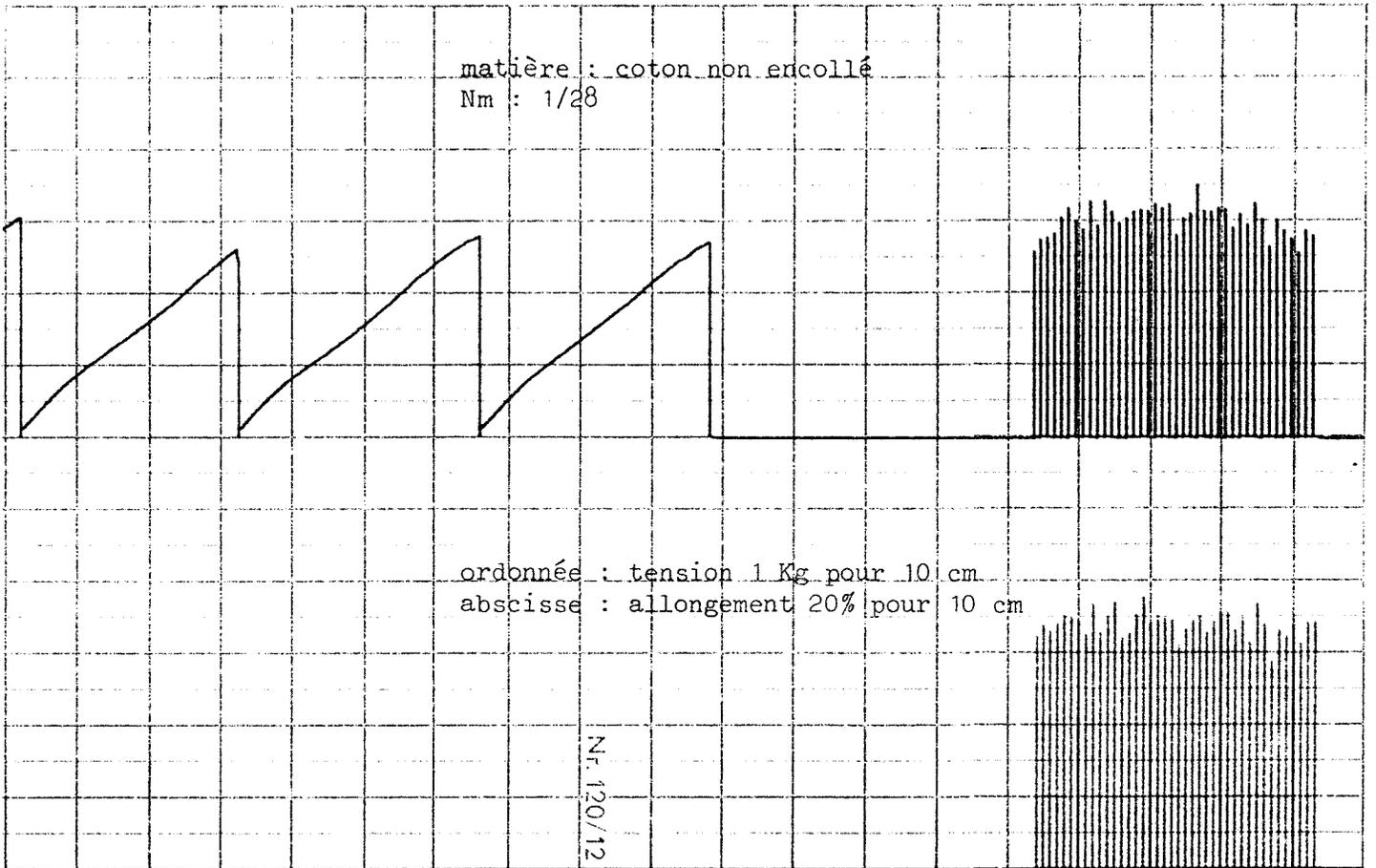


FIG.2





matière: P-coton non encollé
Nm : 1/30

ordonnée : tension 2 Kg pour 10 cm
abscisse : allongement 50% pour 10 cm

15 m - α - 18,5

Nr. 120/12

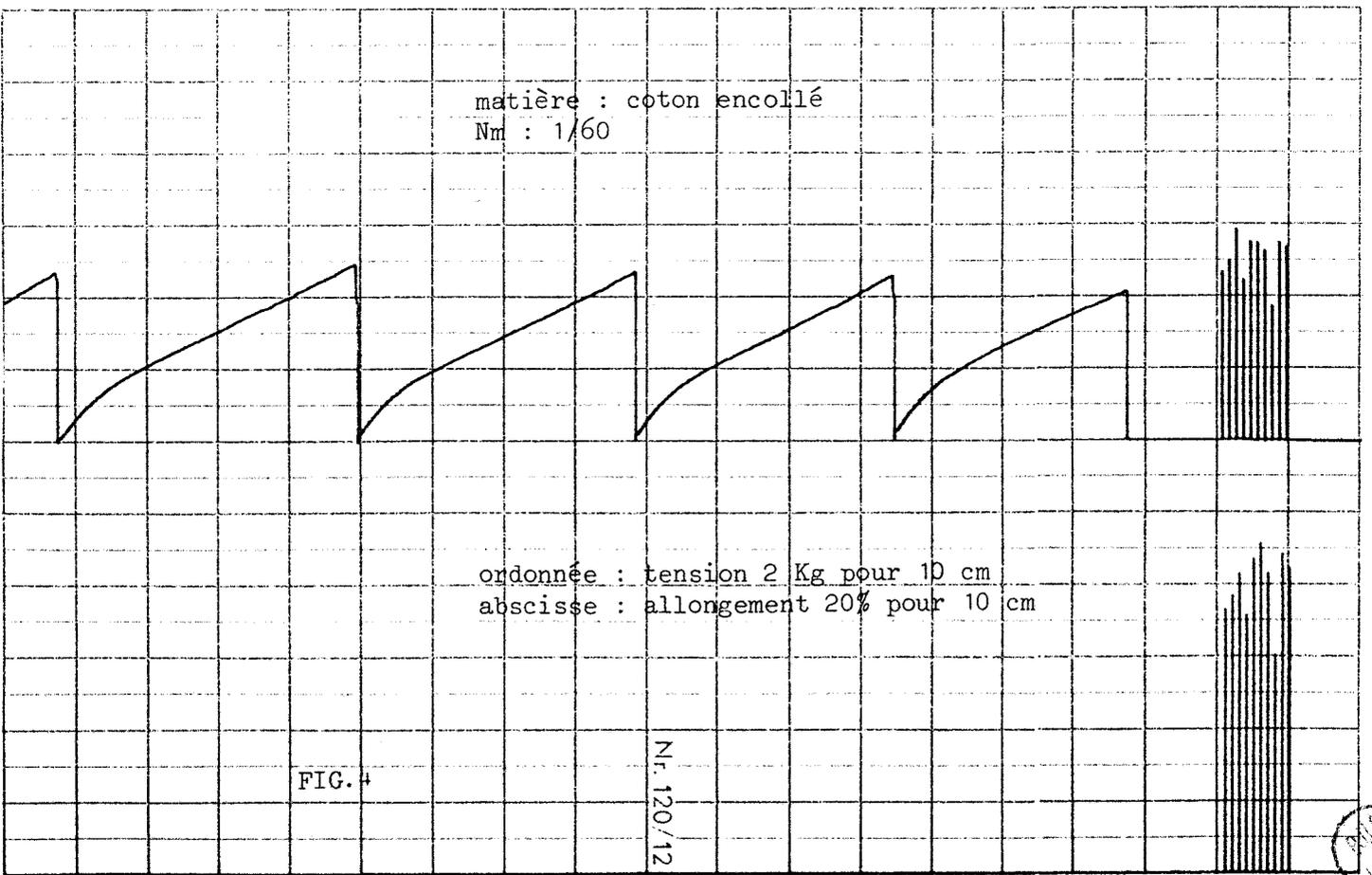
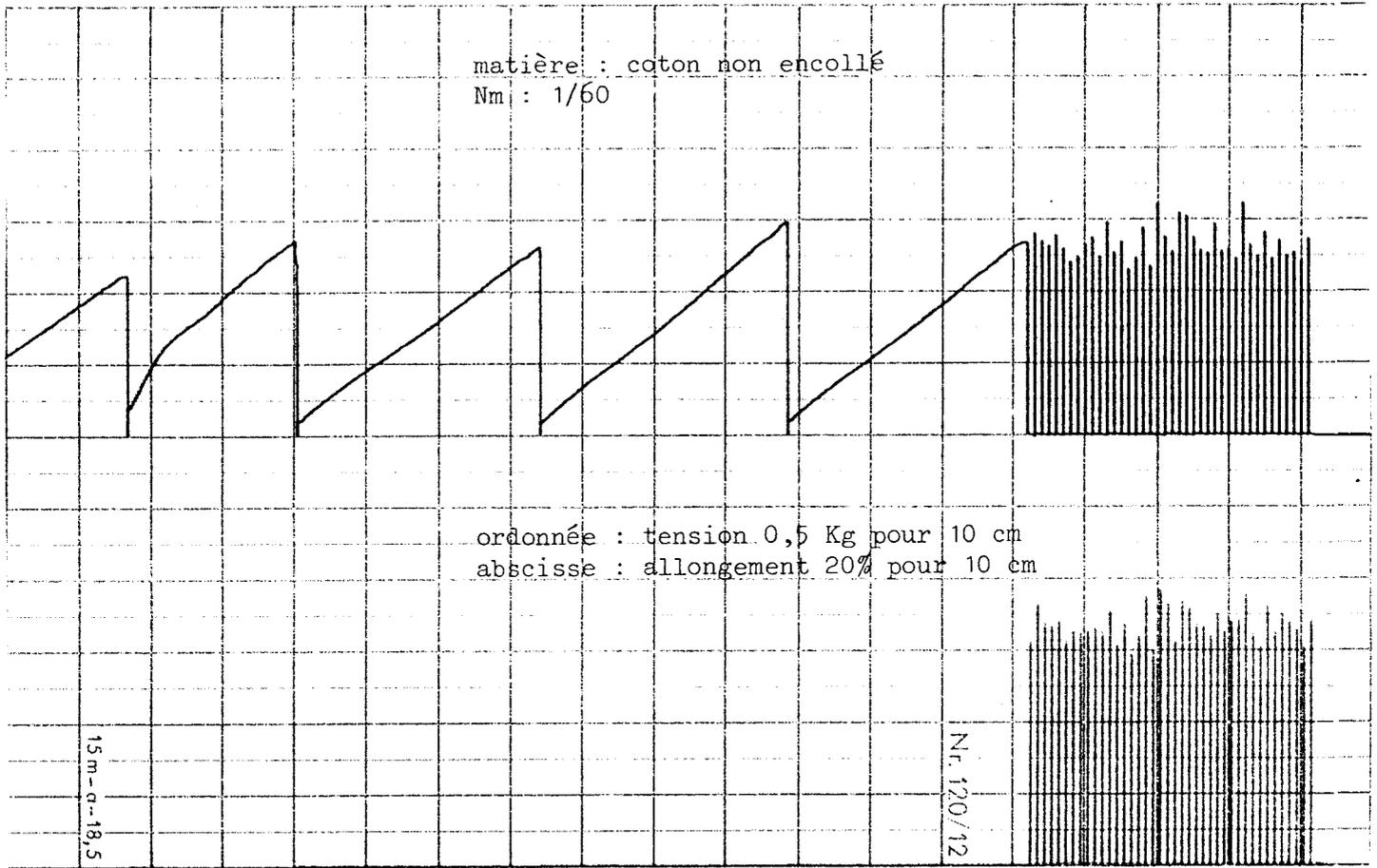
matière: P-coton encollé
Nm : 1/30

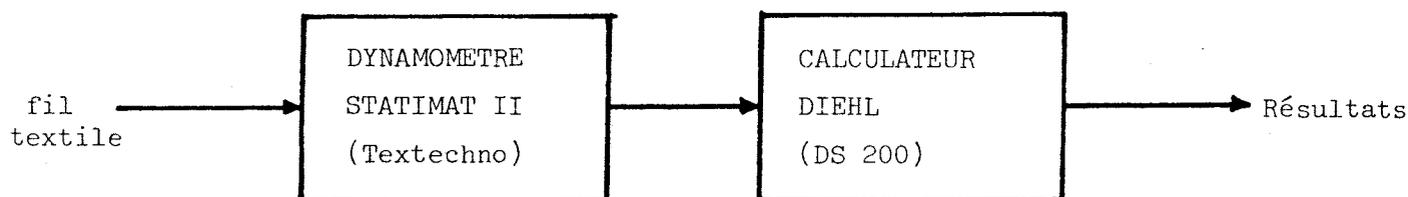
ordonnée : tension 2 Kg pour 10 cm
abscisse : allongement 20% pour 10 cm

Nr. 120/12

FIG. 3







Dispositif d'essais dynamométriques

Numéro métrique Nm		1/24		1/28		1/60		1/30	
		N.E	E	N.E	E	N.E	E	N.E	E
Tension	n	50	20	50	20	50	20	50	20
	M	3,77880	5,21	3,1064	4,375	1,373	5,305	5,4186	5,445
	S	0,30018	0,45871	0,22389	0,51286	0,11489	0,69469	0,4979	0,49891
	C.V	7,94382	8,80454	7,20758	11,72253	8,36822	13,09515	9,18882	9,16289
	I.C	0,08490	0,21437	0,06332	0,23967	0,03249	0,32465	0,14082	0,23316
Allongement	m	6,11800	4,03	6,752	3,95	6,58	7,865	11,034	9,085
	s	0,41141	0,42809	0,38716	0,50523	0,5099	0,97401	0,56518	0,68998
	c.v	6,72464	10,62264	5,73402	12,79077	7,74926	12,3842	5,1222	7,59476
	i.c	0,11636	0,20006	0,10950	0,23611	0,14422	0,45519	0,15985	0,32245

Coton de Nm : 1/24, 1/28, 1/60

Polyester-coton de Nm : 1/30

N.E : non encollé

E : encollé

n : nombre d'essais

M,m : moyenne de la résistance (M) et de l'allongement (m)

S,s : écart-type

C.V, c.v : coefficient de variation (%)

I.C, i.c : indice de confiance

$$C.V : \frac{S}{M} 100$$

$$I.C = t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

t : coefficient caractérisant le matériau et le nombre d'essais, donné par une table.

plus petite valeur < C.V < plus grande valeur.

M - I.C < M < M + I.C.

RESULTATS DES TESTS DYNAMOMETRIQUES

- la séparation humide prolongée
- la séparation humide simple
- pas de séparation humide du tout

Pour être sûr que tout changement dans le taux de casse au tissage soit uniquement dû aux caractéristiques de surface du fil et non aux propriétés dynamométriques du fil, le dépôt de colle, la teneur en eau résiduelle et les tensions d'encollage ont été maintenus constants.

Les tensions sur encolleuse sont maintenues à des valeurs relativement fortes pour réaliser une séparation nette des fils après séchage de la nappe. Cette difficulté de la séparation est due au fait que la nappe est imprégnée de colle et séchée à fils jointifs, si ce n'est à fils chevauchants, et éventuellement élargie seulement durant la séparation. A cause de ces fortes tensions, ce procédé entraîne des discontinuités de la pellicule de colle, d'où des points faibles provoquant des casses de fil au tissage.

Afin de garder cet enrobage intact, on a eu l'idée de séparer les fils quand ils sont encore humides.

Les machines étant malheureusement acquises ainsi, on ne peut guère réduire cet inévitable collage des filés entre eux, qu'en réalisant une séparation humide, entre les rouleaux d'exprimage et le système sécheur, ou en cours de séchage.

VI.1.2.1. - Séparation humide simple

La division au mouillé dans le processus d'encollage est l'opération qui consiste à séparer les fils mouillés les uns des autres après le passage de la chaîne dans la bache à colle et les rouleaux exprimeurs. Cette opération est réalisée grâce à des baguettes de séparation (1 à 3), qui sont, soient chromées, en aluminium ou en laiton et sont disposées entre la dernière paire des rouleaux exprimeurs et le premier cylindre sécheur, et divisent la chaîne en plusieurs rubans. Chaque baguette est actionnée par un moteur à nombre constant de tours FIG.6 .

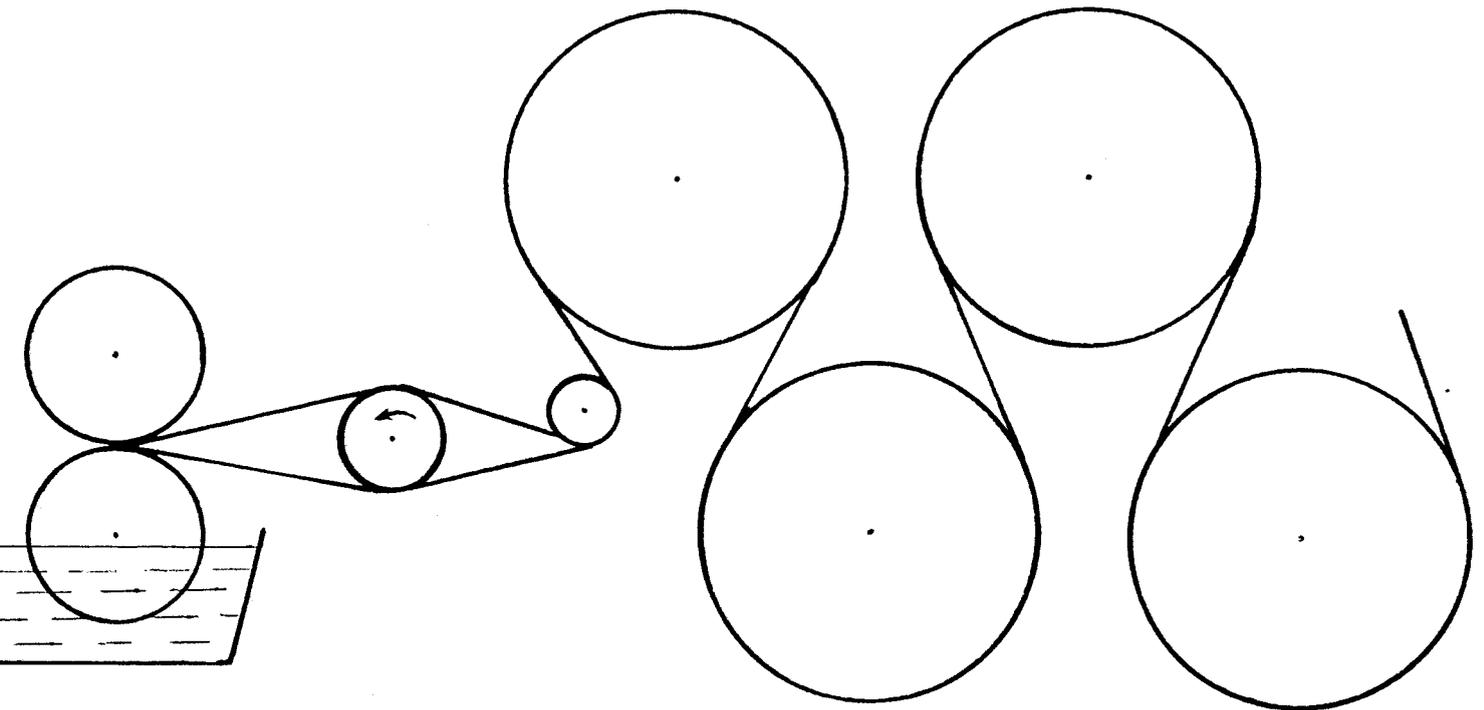


FIG.6 : CIRCUIT DE CHAINE POUR UNE SEPARATION SIMPLE SUR BARRE TOURNANTE

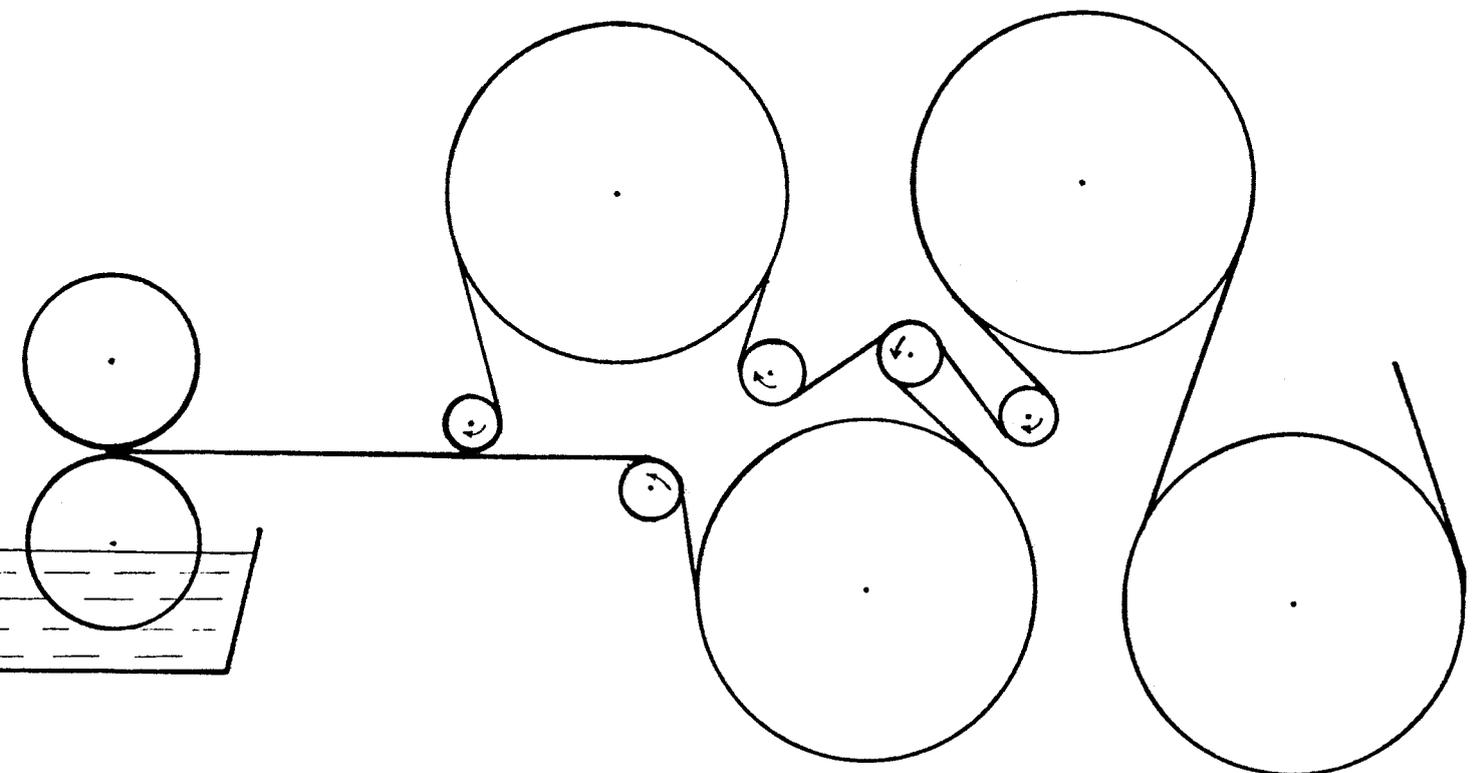


FIG.7 : CIRCUIT DE CHAINE POUR UNE SEPARATION HUMIDE PROLONGEE



Le but de cette division au mouillé est de se rapprocher d'un encollage des fils individuels et d'obtenir un fil qui soit moins fibreux. En outre, il s'agit d'atteindre une exploitation optimale du processus d'encollage en enveloppant le paquet de fibres de colle pour l'amener divisé au séchage et éviter ainsi la cassure de la pellicule de colle.

La division au mouillé a d'abord trouvé son utilisation pour les fils de chaîne à faible torsion ou sans torsion aucune, de même que pour les filés continus.

Cependant il est préférable de faire tourner les baguettes dans le sens contraire du passage du fil pour obtenir un nettoyage automatique des baguettes.

VI.1.2.2. - Séparation humide prolongée

La précédente solution est souvent insuffisante; une meilleure solution consiste à réaliser une séparation à l'aide d'une barre téflonnée en cours de séchage lorsque la nappe est tout juste encore humide FIG. 7 ou de diviser la chaîne en deux nappes dès après l'imprégnation : chacune des moitiés est pré-séchée séparément avant réunissage pour le séchage final.

L'application de cette technique a eu pour résultats de réduire considérablement la tension nécessaire à la séparation de la nappe sèche.

De cette étude, il ressort que le taux de casses était relié à l'état défectueux de " l'intégrité de surface " du fil encollé qui concerne la capacité conférée par encollage de prévenir ou d'éviter le déplacement des fibres superficielles de la masse du fil. Cet endommagement ou altération de la surface du fil est dû à l'augmentation de la force de séparation des fils collés entre eux.

La solution idéale consisterait à séparer chaque fil de son voisin tout au long du parcours à travers l'encolleuse, quitte à resserrer la nappe sèche au lieu de l'élargir comme on le voit faire habituellement.

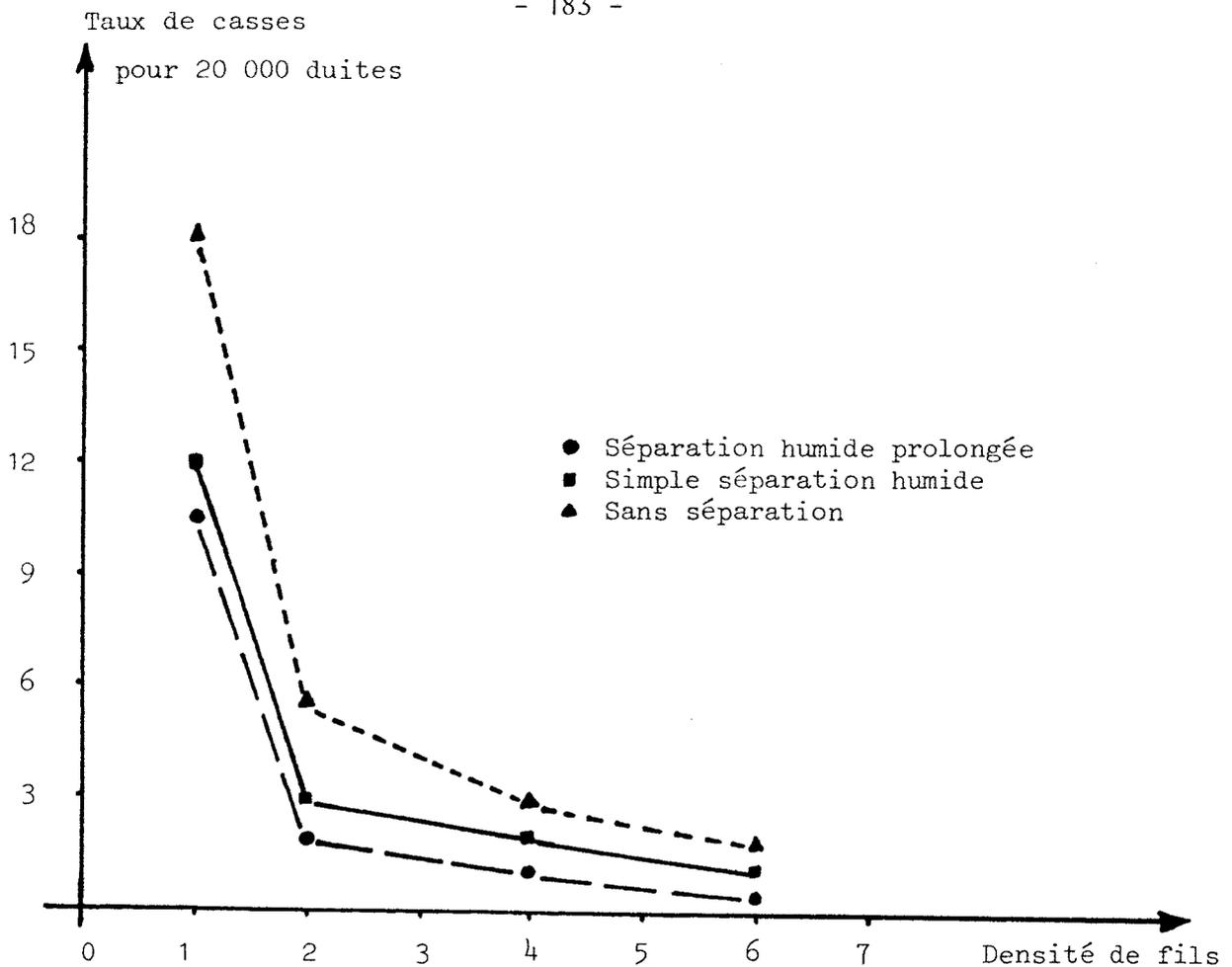


FIG.8 : Relation entre taux de casse pour 20 000 duites et facteur de densité de fils pour différents cas de séparation : séparation humide prolongée, simple séparation humide, sans séparation.

Des trois cas de séparation étudiés, la FIG.8 montre l'utilité de la séparation humide prolongée où le taux de casses au tissage est bien inférieur aux deux autres procédés.

Après avoir signalé l'importance des tensions mécaniques, il reste à montrer par quels moyens peut-on augmenter l'effet bénéfique de la vitesse de la machine.

VI.2. - AUGMENTATION DE LA VITESSE DE DEFILEMENT DE LA NAPPE

Deux possibilités s'offrent à nous pour améliorer la vitesse d'avance à savoir par :

- un pré-séchage
- une faible humidité du fil à l'entrée du séchoir.

VI.2.1. - Pré-séchage

Le modèle mathématique établi dépend des conditions initiales comme la température et l'humidité initiales. Cette température peut être augmentée à une valeur limite qu'il ne faut pas dépasser pour éviter d'altérer les propriétés du fil et de le sursécher.

En effet, l'existence d'une zone intermédiaire entre l'extrimage et le séchage peut être équipée d'un appareil de pré-séchage d'appoint pour augmenter la capacité de séchage et donc de la vitesse de marche de l'encolleuse.

Deux moyens sont possibles :

VI.2.1.1. - Chauffage aux rayons infra-rouges

Les rayons I.R présentent la propriété de pouvoir pénétrer dans les matériaux. La chaleur provenant de l'absorption de l'énergie du rayonnement se développe à l'intérieur du matériau à chauffer. Les sources de rayonnement utilisées sont soit des lampes à filament incandescent, soit des surfaces chauffées.

Les avantages de ce procédé :

- . On peut faire varier l'intensité du rayonnement en réglant la tension appliquée à la source.
- . ou en faisant varier la distance entre la source et le matériau à sécher.
- . l'absence de contact avec le matériau et le faible encombrement.
- . la valeur économique de ce procédé dépend du tarif de l'EDF.

VI.2.1.2. - Chauffage par haute fréquence (H.F.)

On utilise un générateur à tube électronique spécial (puissance utile de 1 à 2 KW, fréquence de 15 à 30 MHz) pour le chauffage par pertes diélectriques. Le matériau se trouve entre les armatures d'un condensateur. La chaleur se développe à l'intérieur même du matériau. La température de l'échantillon décroît de l'intérieur vers l'extérieur du matériau, ce qui favorise l'élimination rapide de l'humidité. L'avantage de ce procédé est d'éviter le sur-séchage. Son coût est très élevé ce qui explique son non utilisation dans

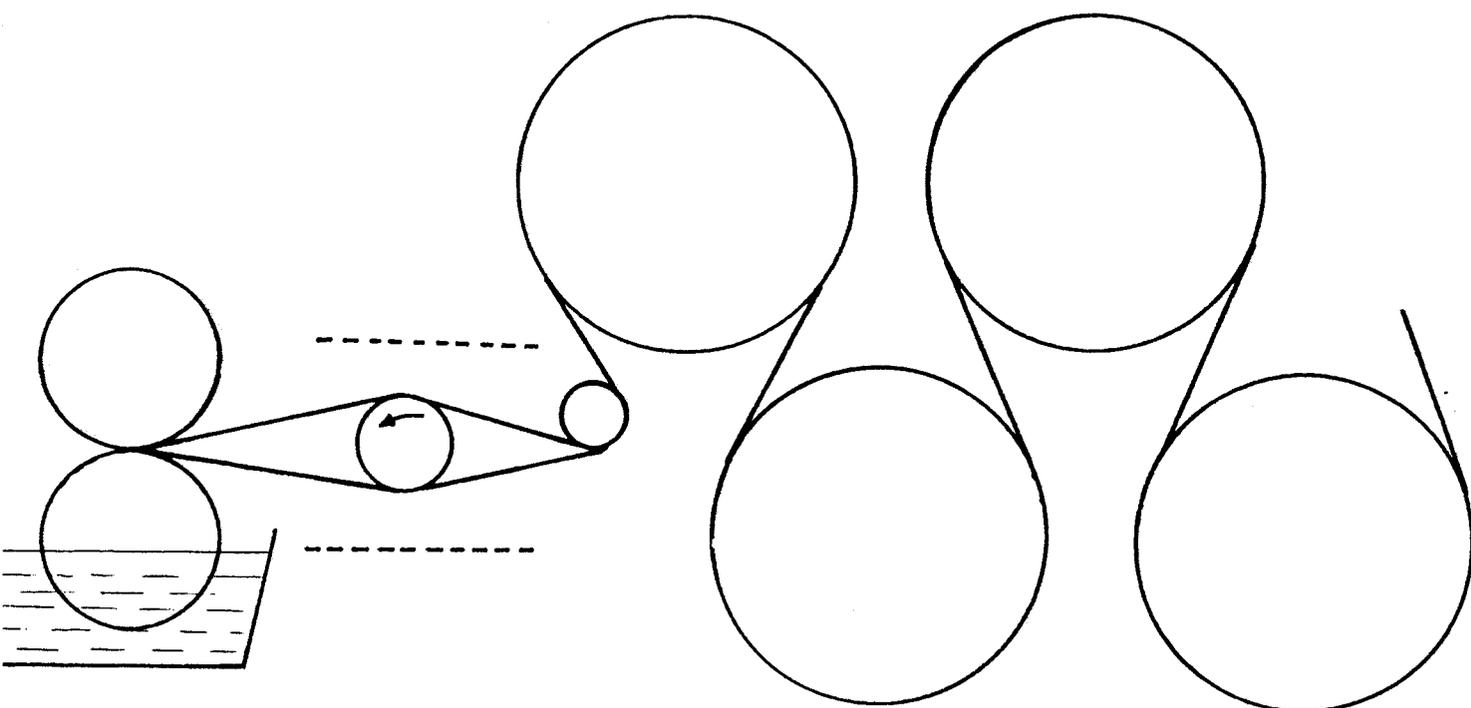


FIG.9 : ENSEMBLE PRE-SECHAGE - BAGUETTES

l'industrie actuelle. Cela pourrait être une technique d'avenir dans le domaine de l'encollage.

Remarque : l'ensemble pré-séchage - baguettes peut faire l'objet d'une séparation prolongée dont l'importance a été déjà soulignée.
FIG.9 .

VI.2.2. - Diminution de l'humidité de sortie à l'encollage

La diminution de cette quantité ($X_m(0)$) qui apparait dans le modèle mathématique, peut être obtenue par une technique appelée " exprimage à haute pression ".

En effet, plus l'humidité contenue dans le fil est faible, plus le temps qu'il faut mettre pour le sécher est faible; ceci permet une grande vitesse d'avance.

VI.2.2.1. - Haute pression d'exprimage

Une nouvelle technique d'exprimage est apparue vers le début de 1978, appelée exprimage à haute pression [7]. L'équipement matériel permettait d'atteindre une charge maximale de 9070 Kgf pour des laizes de 152 cm à 198 cm, soit une pression d'exprimage correspondante de 46 à 60 Kgf par cm linéaire.

Ces charges représentent 10 à 20 fois, celles appliquées en encollage conventionnel, où l'on n'applique que des charges de 1,8 Kgf à 3,6 Kgf par cm linéaire.

Des résultats positifs ont été obtenus au cours d'essais menés avec des produits d'encollage variés. En effet, le comportement rhéologique non newtonien vrai des colles d'encollage est tel qu'à fort exprimage, le coefficient de viscosité apparente η est nettement plus faible qu'à l'exprimage léger, ce qui peut se traduire également par la possibilité d'utiliser des colles plus concentrées avec un exprimage fort.

D'après les expériences, le domaine des viscosités qui convient le mieux pour l'application en haute pression se situe entre 200 et 250 centipoises.

VI.2.2.2. - Avantages de la haute pression d'exprimage

Bien qu'initialement, on craignait que la forte pression d'exprimage provoque un aplatissement des fils, l'examen microscopique des coupes transversales soigneusement effectuées a montré qu'il n'y a pas d'aplatissement de fibres : le filé conserve avec les fibres qui le composent sa structure cylindrique intacte, de plus les fibres sont mieux lissées. [13]

Des coupes sectionnelles de fils encollés individuels révèlent une pénétration plus profonde par la colle appliquée sous forte pression que selon la technique conventionnelle.

L'eau résiduelle après exprimage se trouve à un niveau suffisamment bas. Les essais ont confirmé les réductions d'eau à évaporer, permettant ainsi d'économiser de la vapeur (jusqu'à 50%) et d'augmenter la vitesse de la machine donc une production accrue.

Des échantillons de tissus ont été soigneusement suivis durant l'ennoblissement. L'examen attentif montre que la haute pression d'exprimage à l'encollage n'affecte ni le désencollage, ni la teinture, ni l'apprêtage final des tissus. |11|

Les essais ont montré qu'il n'y a qu'une faible augmentation d'énergie électrique nécessaire pour l'entraînement de l'exprimage haute pression. Cette légère augmentation d'énergie est insignifiante par rapport au gain considérable d'énergie économisée au cours du séchage.

Il serait plus facile d'assurer une régularité du dépôt de colle en travaillant à forte pression qu'aux pressions habituelles. L'augmentation de pression est bénéfique pour la tenue aux abrasions sans que les autres caractéristiques n'en souffrent. On peut aussi noter des réductions sensibles de casses.

Après l'exprimage traditionnel (0 à 800 Kp), les concentrations de colle (féculé de pomme de terre) utilisées ne dépassent guère les 7%, variable très liée au dépôt de colle sur le fil. Avec la haute pression d'exprimage, on arrive largement à de fortes concentrations, et l'augmentation de la vitesse d'encollage signalée précédemment entraîne un dépôt de colle important sur la matière. Cependant l'augmentation de la pression d'exprimage est limitée par la concentration maximale de la colle utilisée.

Les potentialités de l'exprimage haute pression constituent l'un des aspects les plus significatifs des progrès réalisés en technologie textile durant ces dernières années.

VI.2.3. - Séchage

VI.2.3.1. - Séchage à fils disjoints

La phase du séchage des fils textiles est une partie importante et déterminante pour l'obtention d'un article de bonne qualité permettant une augmentation de rendement au tissage.

Au cours de ces dernières années, les industriels ont été amenés de plus en plus nombreux à diviser la chaîne en plusieurs sections et à sécher chacune de ces sections sur des cylindres séparés avant de les réunir à nouveau pour l'ultime opération de séchage. Son but est d'amener le séchage préalable de chaque section à un degré tel que les fils ne risquent plus de coller les uns aux autres au moment où ils sont réunis. On évite ainsi la séparation brutale de la chaîne sur les baguettes de séparation et cela permet de conserver intact le revêtement de colle [19] .

VI.2.3.2. - Nombre de cylindres-sécheurs

La chaîne de fils présente alternativement une face puis l'autre au contact des tambours successifs. Si nous suivons le séchage d'une même longueur de nappe sur les différents sécheurs, nous remarquons qu'à la fin, une face est surséchée par rapport à l'autre FIG.10 .

Le séchage à fils disjoints nécessite un nombre pair de rouleaux; dans ce sens, il contribue à éliminer cet inconvénient.

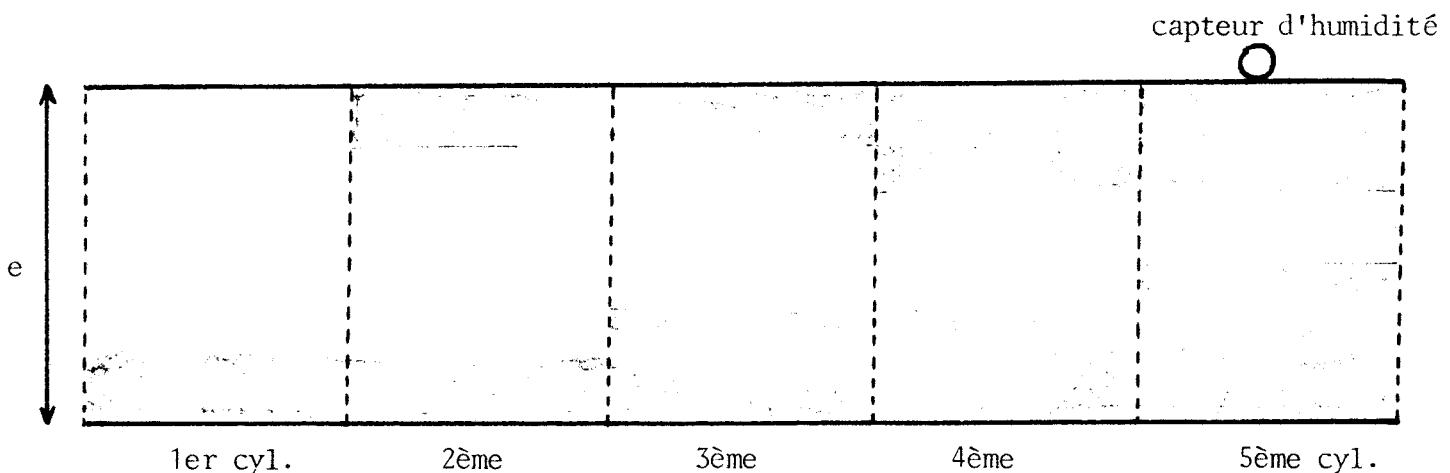


FIG.10 : Séchage d'une portion de nappe de fils sur les cinq cylindres-sécheurs.

VI.2.3.3. - Problème de surséchage sur les lisières

Actuellement, l'humidité de sortie est mesurée à l'aide de 3 capteurs dont deux sont installés aux extrémités et un au milieu de la nappe. Il se trouve que les lisières sont surséchées (rayonnement, ...) par rapport au milieu de la chaîne (un fil surséché casse facilement). Une solution à envisager est d'enfermer le séchoir dans un caisson dans le but d'éviter les pertes de chaleur

vers l'extérieur, d'assurer un séchage uniforme et de plus, une augmentation sensible de la vitesse d'avance.

Par ailleurs, une autre solution consiste à appliquer l'allongement du parcours de séchage (§ VI.1.1.1.) aux seuls fils du milieu de la nappe.

VI.3 - CONCLUSION

De l'ensemble de propositions que nous venons de citer, nous pouvons mentionner les avantages certains suivants : contrôle plus efficace des tensions appliquées à la nappe, diminution de l'allongement du fil, moins de cassures dans la pellicule de colle, fil moins fibreux avec une adhérence réduite au tissage, augmentation de la vitesse d'avance de la matière ...

L'encollage et le tissage étant deux étapes étroitement liées, il est absolument nécessaire de tisser à faibles tensions, pour apporter en plus une certaine amélioration au rendement (la FIG.11 montre l'évolution de la tension pendant le tissage).

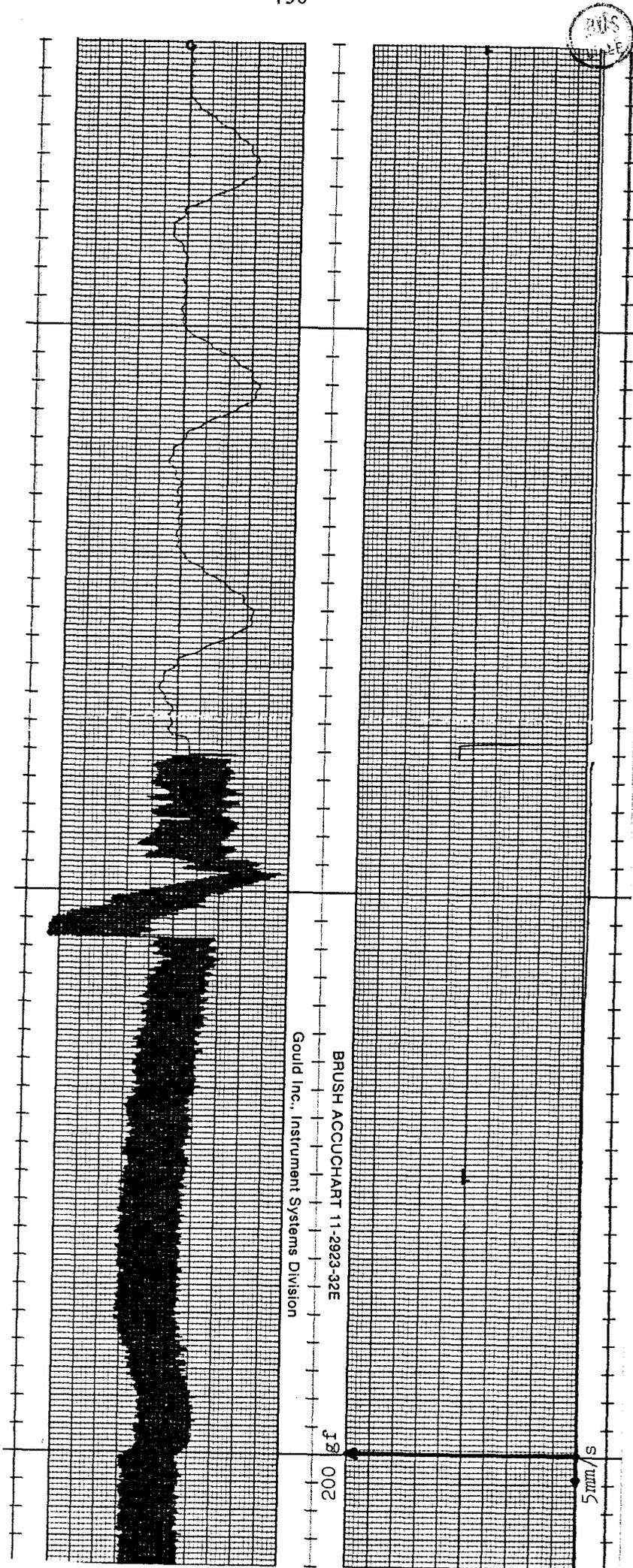


FIG. 11 : EVOLUTION DE LA TENSION PENDANT LE TISSAGE.

B I B L I O G R A P H I E

- |1| AUBANTON J.P
" Le point sur la métrologie des caractéristiques adiathermiques
des matériaux fibreux "
ITF SUD/LECARIM . P.53 . FRANCE
- |2| BECKER H.
" Encollages spécifiques adaptés aux différents articles "
Industrie Textile . 06/1980 . P.33 . FRANCE
- |3| BLOCH J.A.
" Die auswirkungen unterschiedlicher fadenfuehrung in schlichtetrog "
(Les effets des différents modes de guidage du fil dans le bac à
colle)
Textil Praxis . 01/1974 . P.26 . RFA
- |4| BROUARD D.
" Séchage de laine et pompes à chaleur "
Industrie Textile . 06/1983 . P.557 . FRANCE
- |5| BURGHOLZ R.
" Regelung der Abluftfeuchtigkeit bei Trocknern für Textilbahnen "
Textil-Praxis . 11/1960 . P.1151 . RFA
- |6| BUSS E.
" Moderne schlichtetechnologie aus der schit der chemiefaserhersteller "
Textil Praxis . 01/1974 . P.44 . RFA
- |7| CHABERT J. - VIALLIÉ P.
" Economies d'énergie possibles à l'encollage : exprimage et séchage "
Industrie textile . 06/1980 . P.21 . FRANCE

- |8| COTNEY A.D.
" New developments in slashing equipment "
Textile chemist and colorist . 04/1980 . P.74 . USA
- |9| DEROCHE P.Y.
" Encollage des chaînes denses "
Industrie Textile . 07-08/1980 . P.643 . FRANCE
- |10| GIERSE F.J.
" Comment obtenir une tension du fil uniforme dans les encolleuses
en particulier avant l'exprimage "
Sow Beitr Faserforsch . 03/1976 . P.194 . RFA
- |11| HACKING H.
" Quantité optimale de colle pour le tissage "
Industrie Textile . 06/1980 . P.30 . FRANCE
- |12| KISER H.W.
" Slashing systems for higher standards "
Textil Industries . 11/1978 . P.24 . USA
- |13| KLYSZEJKO C.
" Present et futur de la technologie de l'encollage "
Industrie Textile . 06/1980 . P.89 . FRANCE
- |14| KRASOVSKAJA I.I. -PAVLOVA J.N. - SHIGORINA N.F.
" Modernizirovannaja shlikjtovalnaja mashina "
(Modernisation de l'encolleuse MSHB - 91140)
Tekstilnaia Promychnost . 01/1979 . P.50 . URSS
- |15| KRUECKELS W.
" Moeglichkeiten zur verbesserung des schichteffektes bei dichten
webkretten "
(Possibilités d'amélioration de l'effet d'encollage des chaînes avec
compte élevé)
Melliand Textilberichte . 10/1975 . P.799 . RFA

- | 16 | MASON O.
" Warp preparation and slashing quality control "
America's text. Rep/Bulletin . 05/1977 . P.44 . USA
- | 17 | SCHUTZ R.A.
" Solutions possibles aux problèmes d'encollage et de désencollage textiles "
Industrie Textile . 06/1980 . P.9 . FRANCE
- | 18 | SCHNEIDER HANS - JOACHIM.
" Neue entwicklungen an schlichtmaschinen zur verbesserung der verwebbarkeit von ketten aus fasergarnen "
(Innovations sur machines d'encollage pour l'amélioration de la tissabilité de filés)
Melliand Textilberichte . 01/1978 . P.31 . RFA
- | 19 | STRAUSS M.D. - CAHILL C.
" Endommagements de la structure superficielle des filés encollés en rapport avec l'espacement des fils dans la bache à colle "
Industrie textile . 06/1980 . P.53 . FRANCE
- | 20 | VIALLIER P.
" L'importance du réglage des séchoirs pour tissus sur les consommations d'énergie spécifique "
Industrie Textile . 09/1982 . P.743 . FRANCE
- | 21 | WACHTER H.
" De la régulation automatique de la température des cylindres sécheurs de l'encolleuse par " tout ou rien "
1er SIET . 1968 . P.280 . FRANCE
- | 22 | WAGH S.A.
" Yarn tension in the back beam zone "
Techno Hotel . 04/1975 . P.43 . ANGLETERRE
- | 23 | WATCH A.S.
" Stretch control on sizing machine "
Textile Highlights . 04/1976 . P.11.INDE

- |24| " Hochgeschwindigkeitsschichten "
(Encollage à vitesse élevée)
Int. Text. Bull. Weberei . 01/1976 . P.47 . SUISSE
- |25| " Perfectionnements des dispositifs d'encollage, vu sur le plan
technique "
ITC Publications-Reports . 1974 . P.12 . SUISSE

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de thèse est relatif à l'étude d'une modélisation d'une encolleuse de nappe de fils textiles. L'objectif est d'améliorer la conduite de ce procédé (encollage) pour une meilleure utilisation ultérieure (tissage).

Notre contribution se situe au niveau de la description mathématique par la mise au point de deux modèles de connaissance (mécanique et thermodynamique) permettant l'étude du comportement du processus en régime permanent.

Une étude statistique a permis de mettre en évidence le rôle néfaste des tensions mécaniques et le rôle bénéfique de la vitesse d'encollage, et a conduit à l'élaboration de ces deux modèles. Cette analyse doit être refaite en continu, avec un plus grand nombre de variables à l'encollage, pour un numéro métrique d'une matière donnée afin de confirmer les résultats obtenus au chapitre II.

Le modèle mécanique déterminera les tensions à appliquer à chaque type de fil en tout point du processus.

L'analyse phénoménologique du fonctionnement du séchoir a permis d'aboutir à un modèle mathématique caractérisant l'évolution de la température et de l'humidité du fil en tout point du séchoir.

Nous espérons, par ce travail, avoir contribué d'une manière effective, à une meilleure compréhension des phénomènes caractérisant ce procédé.

Cette étude ainsi que les quelques propositions apportées au système donneront, nous l'espérons, un meilleur rendement tant en encollage qu'en tissage.

ANNEXES

A N N E X E 1

ÉTUDE DE L'EFFET DE CHANGEMENTS DE CONDITIONS SUR LE COMPORTEMENT

RHÉOLOGIQUE

Cette annexe est consacrée à l'étude de changements de conditions sur le comportement rhéologique, étude qui a été faite sur différentes colles [1] dont nous avons retenu celle de l'amidon qui est utilisée dans l'encollage des filés.

Nous considérons le cas le plus simple : écoulement laminaire des couches FIG.1

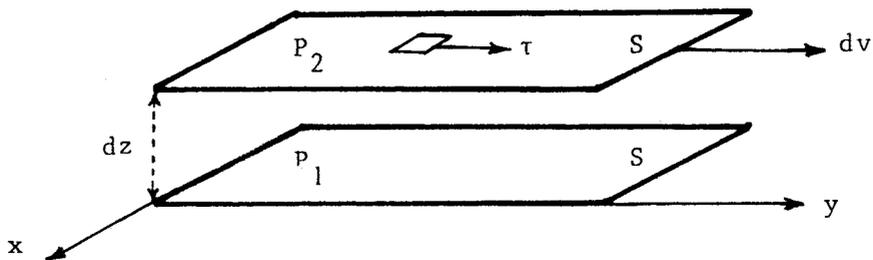


FIG.1 : DEFINITION DE LA VISCOSITE

La vitesse $d\vec{v}$ de déplacement d'une couche dont on considère une surface S, par rapport à une autre couche parallèle se trouvant à une distance dz, est proportionnelle :

- à la force F s'exerçant sur S et qui provoque ce déplacement
- à la distance dz

et inversement proportionnelle :

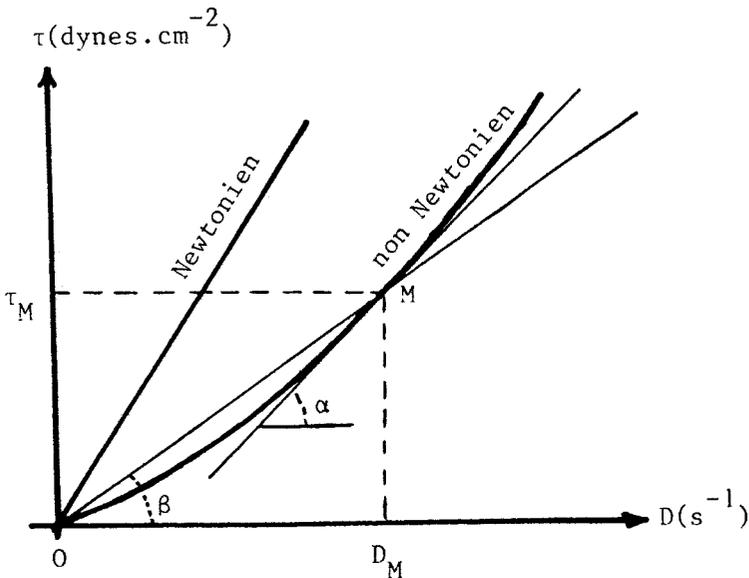
- à la surface S de la couche
- et à la viscosité η

$$dv = \frac{F \cdot dz}{S \eta} \quad \eta = \frac{F/S}{dv/dz} = \frac{\tau}{D}$$

F/S : correspond à la contrainte de cisaillement τ et
 dv/dz : au gradient de vitesse de glissement D .

REMARQUE : η n'est pas constant dans les systèmes non-newtoniens (colles
=====
d'encollage) . Aussi peut-on tout au plus parler de "viscosité
apparente " η_i telle que :

$$\bar{\eta}_i = \frac{\tau_i}{D_i}$$



tg α : viscosité différentielle
tg β : viscosité apparente

FIG.2



Le comportement rhéologique des colles est décrit par 2 types de relations :

* la relation en puissance

$$\tau = K D^a \quad \text{ou mieux } \tau = \tau_0 \left(\frac{D}{D_0} \right)^a$$

valable pour de nombreux produits amyliques en solution, où τ_0 et D_0 sont des contraintes et des gradients remarquables.

* la relation de CROSS

$$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_0 - \eta_\infty}{1 + \alpha D^{2/3}}$$

qui dans certains cas peut se simplifier en :

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \alpha D^{2/3}}$$

où

η est la viscosité réelle pour un gradient D donné

η_0 est la viscosité limite à vitesse de cisaillement nulle

η_∞ est la viscosité limite à vitesse de cisaillement infinie

α est une constante liée à l'association des particules.

Ces relations de CROSS s'appliquent plutôt aux gommes (guar ...), aux carboxyméthylcelluloses, aux acétates de polyvinyliques,

En prenant des coordonnées logarithmiques, les représentations des $\log \tau$ en fonction de $\log D$ donnent des droites : FIG.3

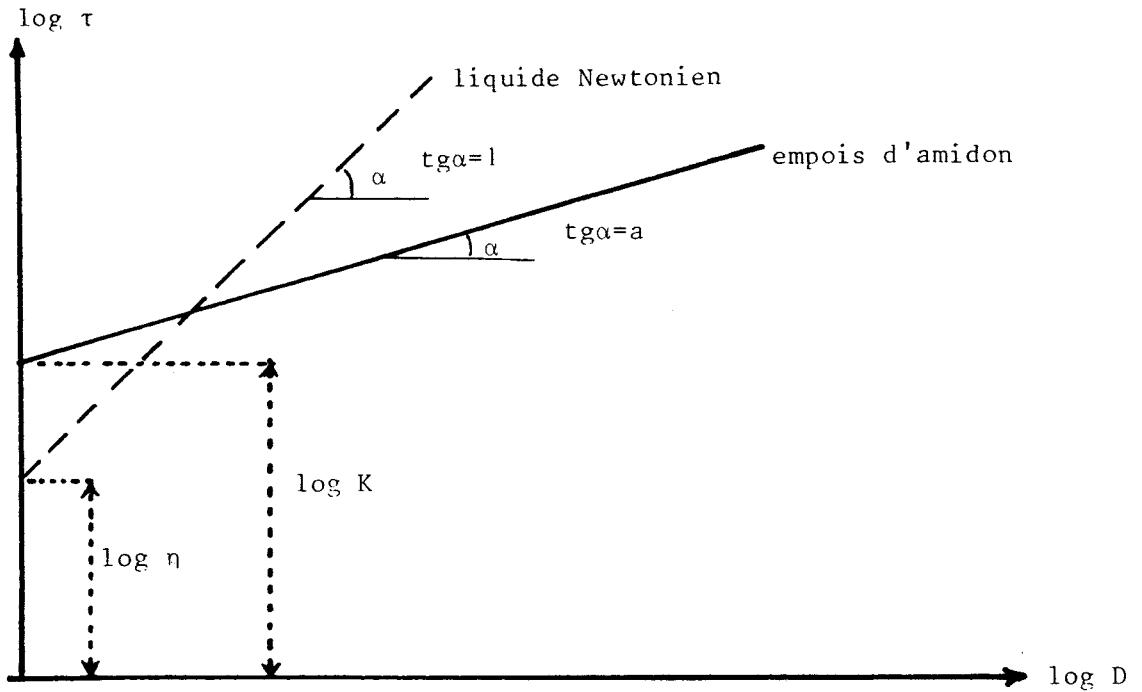


FIG.3 :

Exemple : FIG.4

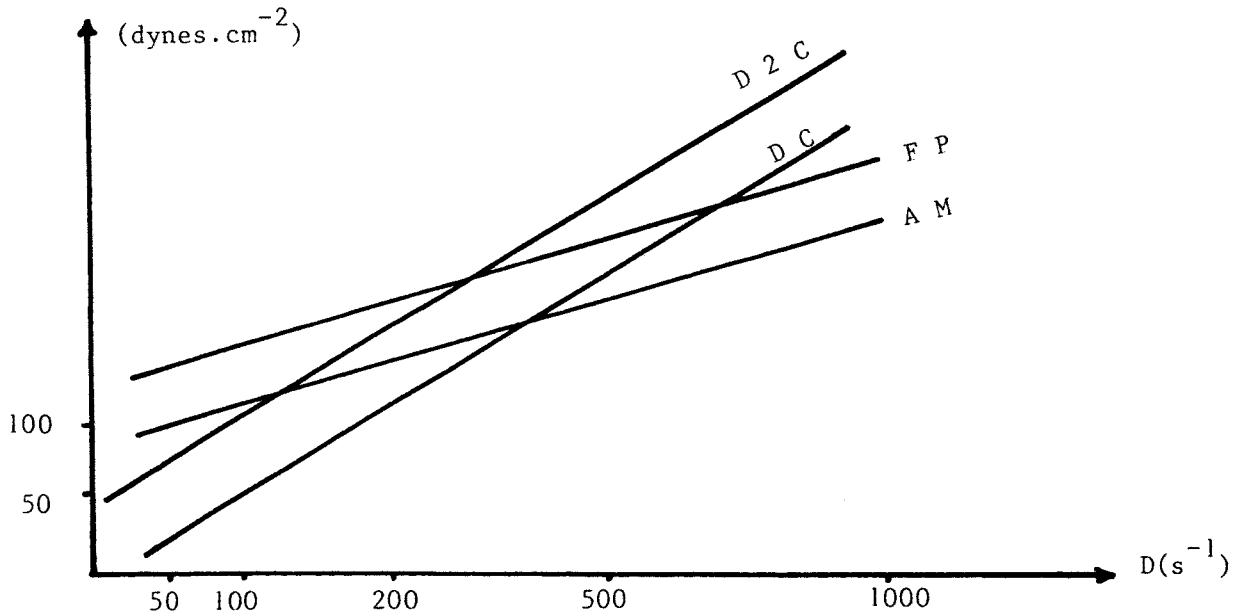


FIG.4 :

AM : $\tau = 25.D^{0,45}$
 DC : $\tau = 4,1.D^{0,77}$
 FP : $\tau = 28.D^{0,46}$
 D2C: $\tau = 7,6.D^{0,75}$

En considérant le domaine des gradients de vitesse plus élevés :
 FIG.5, probablement plus proche des conditions d'exprimage, on observe

des viscosités apparentes très différentes qui peuvent expliquer les écarts de dépôts de colle.

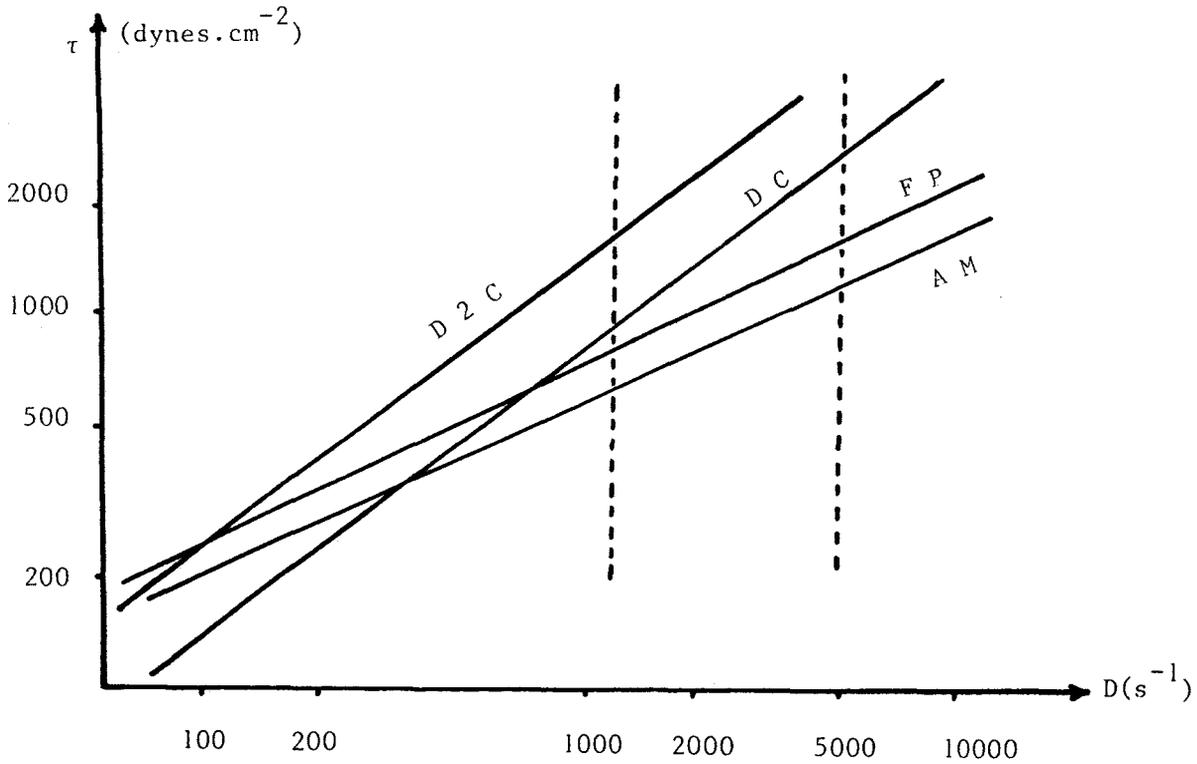


FIG.5 :

Effet de changements de conditions sur le comportement rhéologique :

Il est important, pour la pratique, de connaître et de prévoir l'effet de changements de conditions. Celles-ci peuvent être de divers ordres :

- soit concernant la colle (température, concentration)
- soit concernant l'application de la colle (vitesse, pression).

1 . Effet de la température
=====

Dans le cas des systèmes décrits par une relation en puissance du type $\tau = K.D^a$, l'influence de la température se fait surtout sentir sur K FIG.7; tandis que a reste pratiquement invariable FIG.8, ceci est vrai pour le domaine compris entre 50°C et 90°C, qui est le domaine d'utilisation pratique des colles où l'on vérifie que K évolue en fonction de la température selon la relation:

$$K = K_0 \cdot \exp \frac{E}{RT}$$

où

E serait une énergie d'activation apparente

R la constante thermodynamique

T la température absolue en °K.

Cet effet de la température sur K, se traduit donc aussi sur la viscosité apparente $\bar{\eta}_1$ pour un gradient donné qui varie selon la relation:

$$\bar{\eta}_1 = k \cdot \exp \frac{E}{RT}$$

La figure 6 montre l'évolution du comportement rhéologique en fonction de la température pour une variation de 5°C en 5°C depuis 50°C jusqu'à 75°C d'un empois de féculé de pomme de terre à 3%.

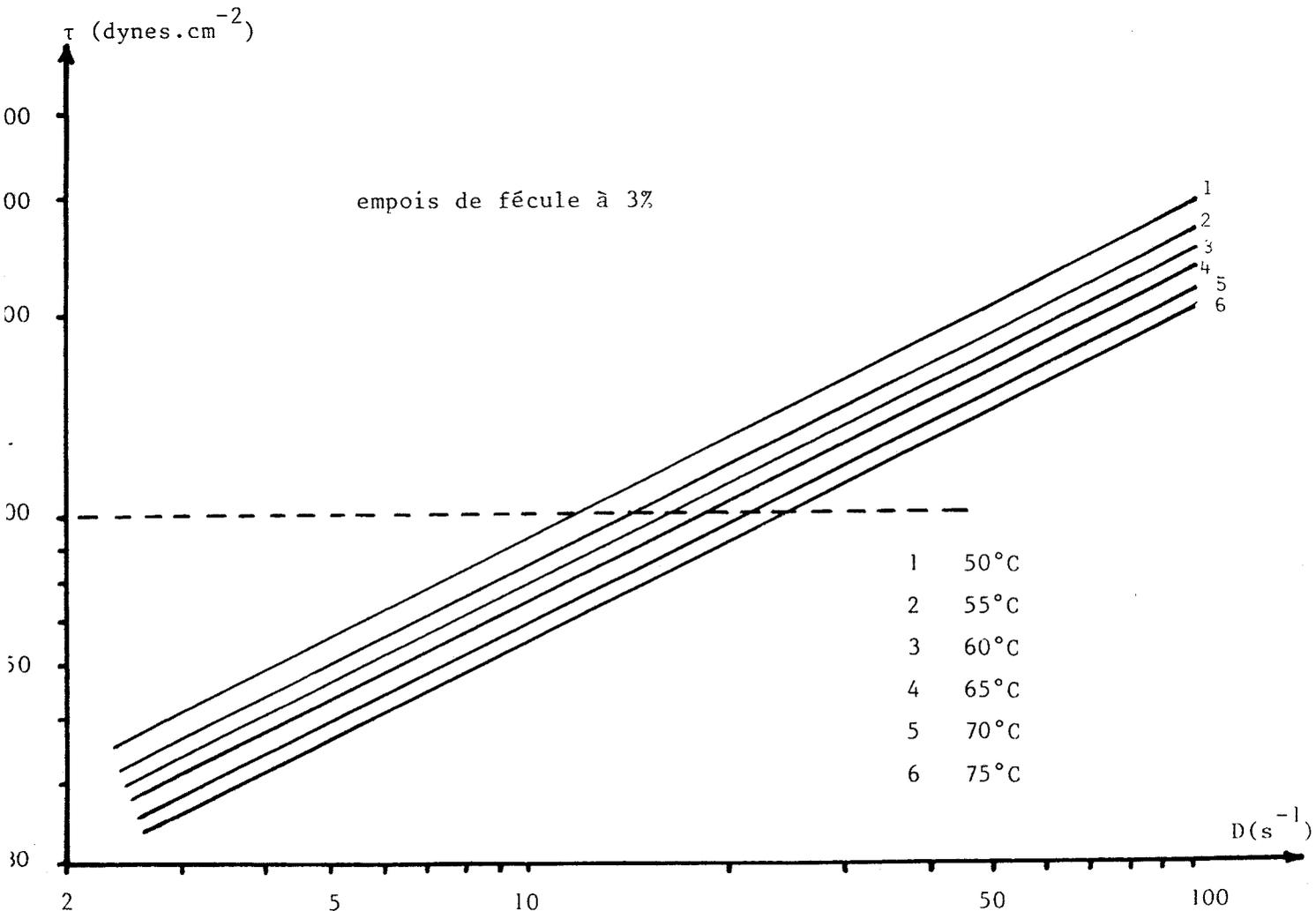


FIG.6 : INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

2 . Effet de la concentration (pour relation en puissance)
= = = = =

Quand on modifie la concentration des empois, l'exposant a ne reste plus constant mais diminue lentement lorsque la concentration augmente; toutefois cette variation est faible et, pour les concentrations variant entre 3 et 9%, l'exposant a peut être considéré comme constant. Mais les variations du paramètre K avec la concentration FIG.9 sont considérables et, pour le domaine où a peut être considéré comme constant, suivent sensiblement la relation :

$$K = K_0 \exp B C$$

où C est la concentration
 B est une constante.

Dans le cas où a n'est pas constant, les relations deviennent plus complexes.

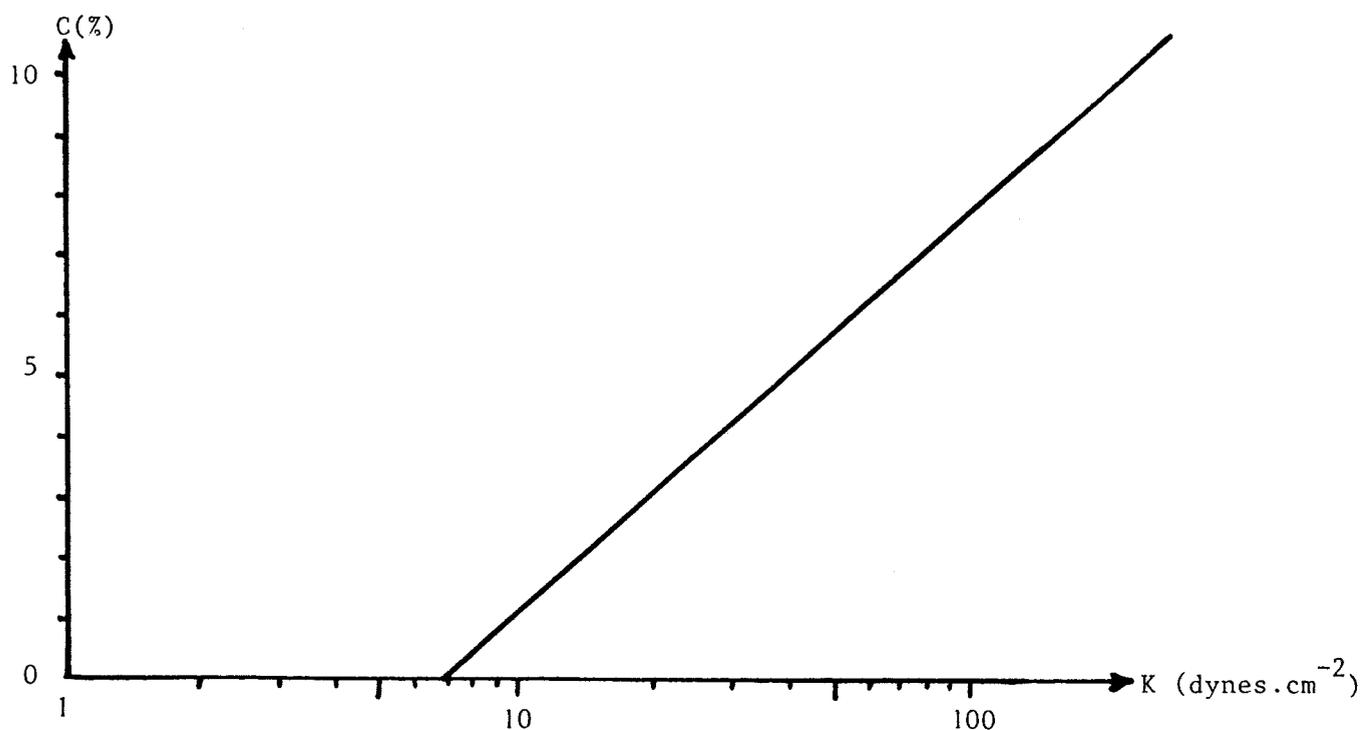


FIG.9 : VARIATIONS DE K AVEC LA CONCENTRATION

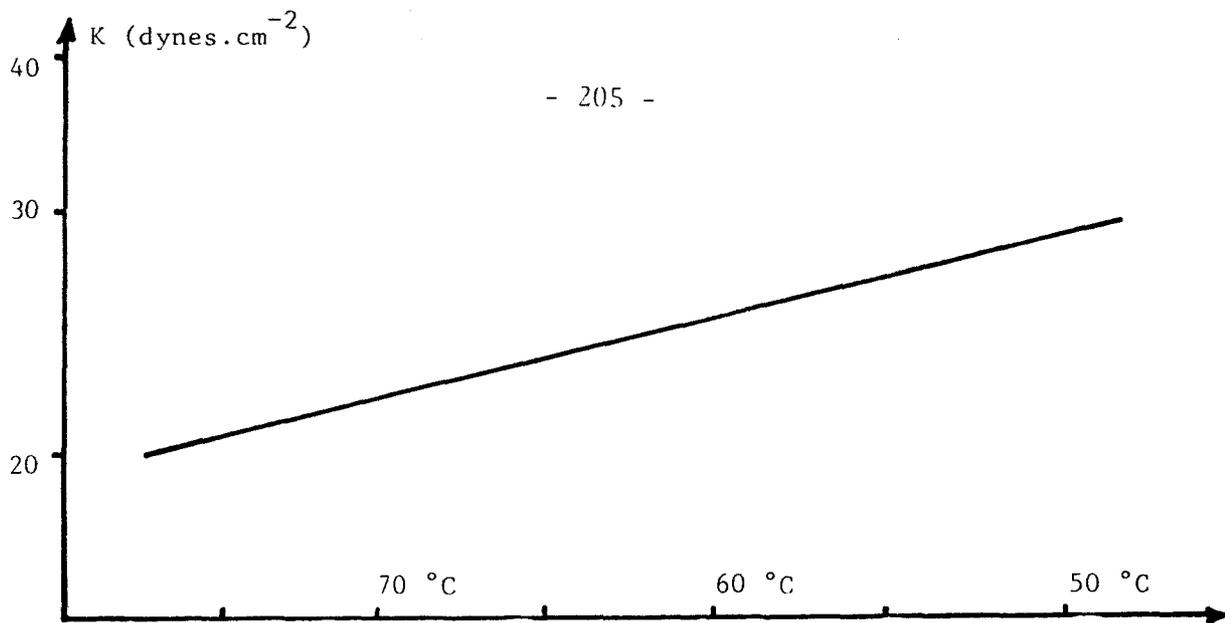


FIG.7 : INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR K

T (°C)	50	55	60	65	70	75
a	0.504	0.507	0.504	0.505	0.503	0.506
K (dynes. cm ⁻²)	29,1	26,8	25,5	23,3	22,25	20,6

FIG.8 : INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR a et K

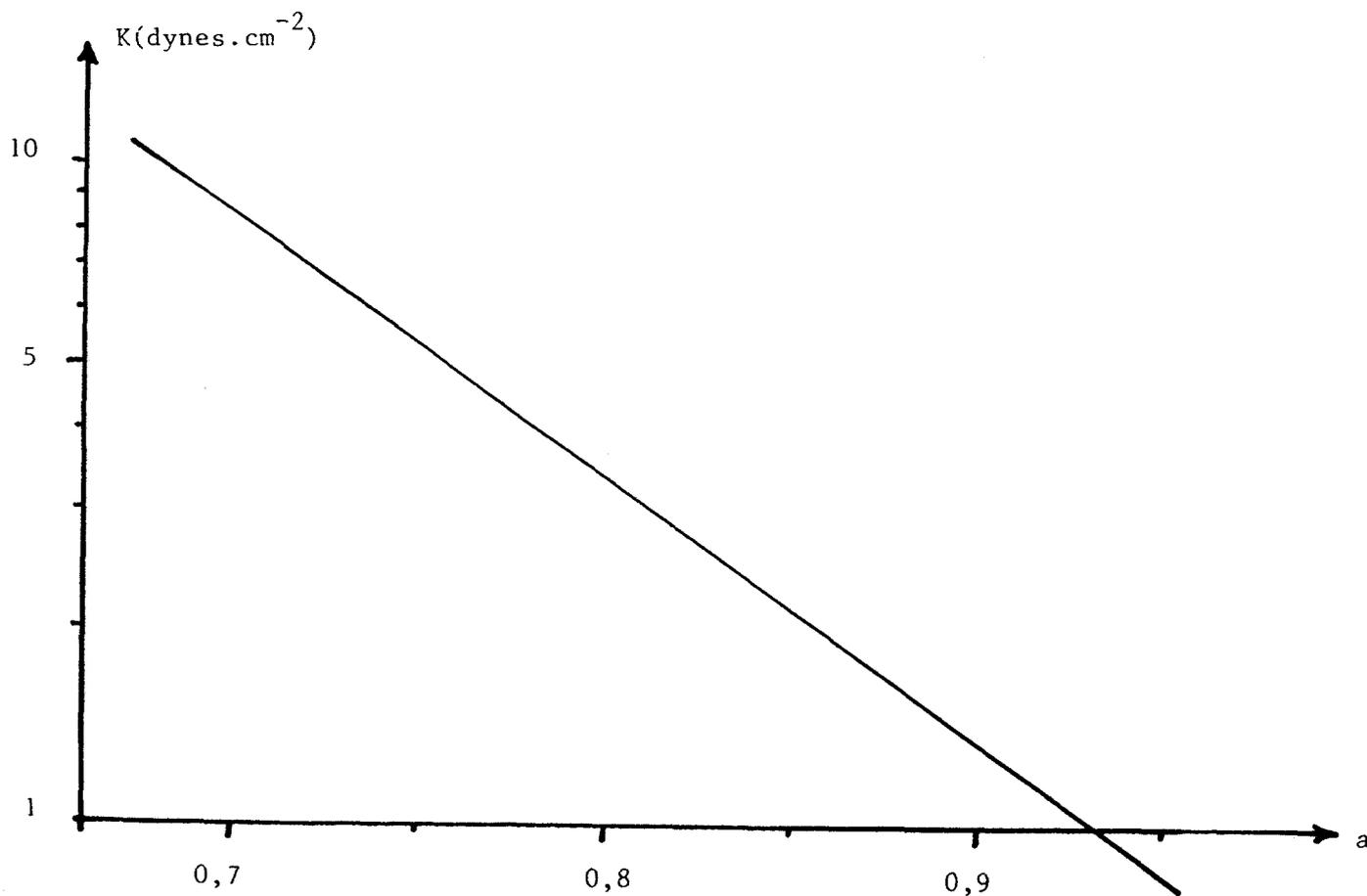


FIG.10 : ETABLISSEMENT D'UNE RELATION ENTRE a et K

3 . Effet de la pression d'exprimage

Il faut distinguer les pressions relativement faibles qui sont le cas des pressions usuelles actuellement dans l'encollage et les pressions élevées (l'impression).

- . Pour de faibles pressions (0,5 à 3 da N/cm), on ne peut relever de différences de comportements rhéologiques.
- . Pour les pressions nettement élevées (au delà de 10 daN/cm), on observe avec les revêtements élastomériques actuels un écrasement qui modifie la géométrie de l'écoulement et, par suite, change plus ou moins fortement le type d'écoulement.

On peut souligner que, pour les systèmes non-newtoniens tels que les produits amylicés, plus forts sont les gradients appliqués indirectement du fait de la pression, plus basses sont les viscosités apparentes.

Par conséquent, aux fortes pressions, on peut s'attendre à une pénétration plus facile des solutions à consistance apparente élevée, et une consommation d'énergie progressivement dégressive pour l'application de la même quantité de colle.

4 . Effet de la vitesse

Aux grandes vitesses (au delà de 100 m/mn), ce sont les gradients de vitesse qui sont augmentés, par conséquent, les viscosités apparentes pour ces gradients élevés sont diminuées d'autant plus que l'exposant a de $\tau = K \cdot D^a$ est une valeur plus faible.

Avec cette diminution de la viscosité apparente, on observe une pénétration plus facile et, par suite, un entraînement plus important de colle.

REFERENCES

- 1 - NEDONCHELLE Y.
" Rhéologie des solutions concentrées de carbohydrates macromoléculaires "
Thèse de Docteur-Ingénieur - 4/7/1968
FACULTE DE STRASBOURG - FRANCE

ANNEXE 2

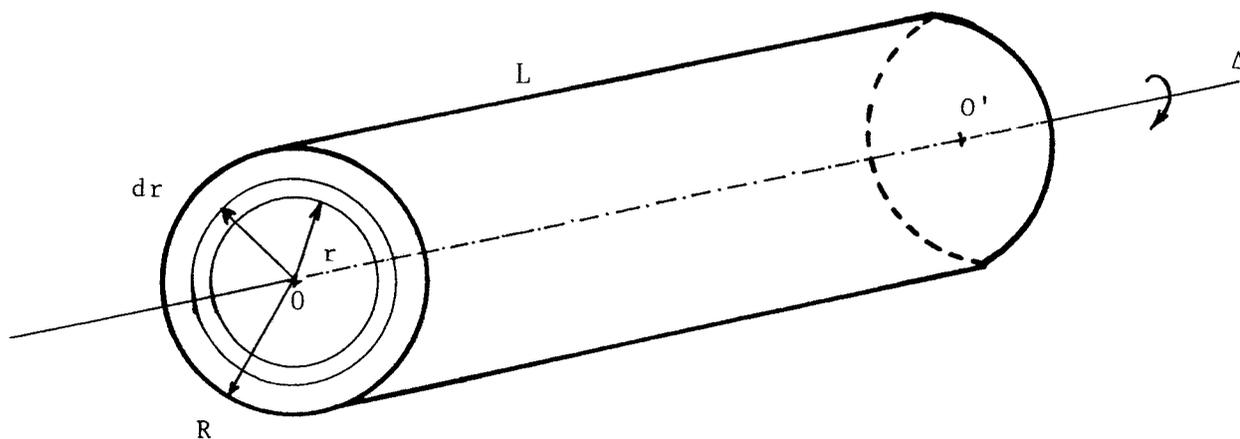
CALCUL DES MOMENTS D'INERTIE

On appelle moment d'inertie I d'un système par rapport à une droite Δ , la quantité :

$$I = \int r^2 dm \quad (1)$$

qui représente la somme des termes obtenus en multipliant la masse de chaque élément par le carré de sa distance à la droite Δ .

1. Cylindre plein



La symétrie du problème nous suggère de choisir comme volume élémentaire une couronne de rayon r et de largeur dr .

Ainsi, si nous appelons la longueur du cylindre L , le volume de la couronne est $dV = L.dS = 2\pi Lrdr$.

Si le solide est homogène, sa densité est constante : $\rho = \frac{dm}{dV}$

Tous les points de la couronne sont à la distance r de l'axe Δ , alors :

$$I = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV = \rho 2\pi L \int_0^R r^3 dr = \rho \pi L \frac{R^4}{2}$$

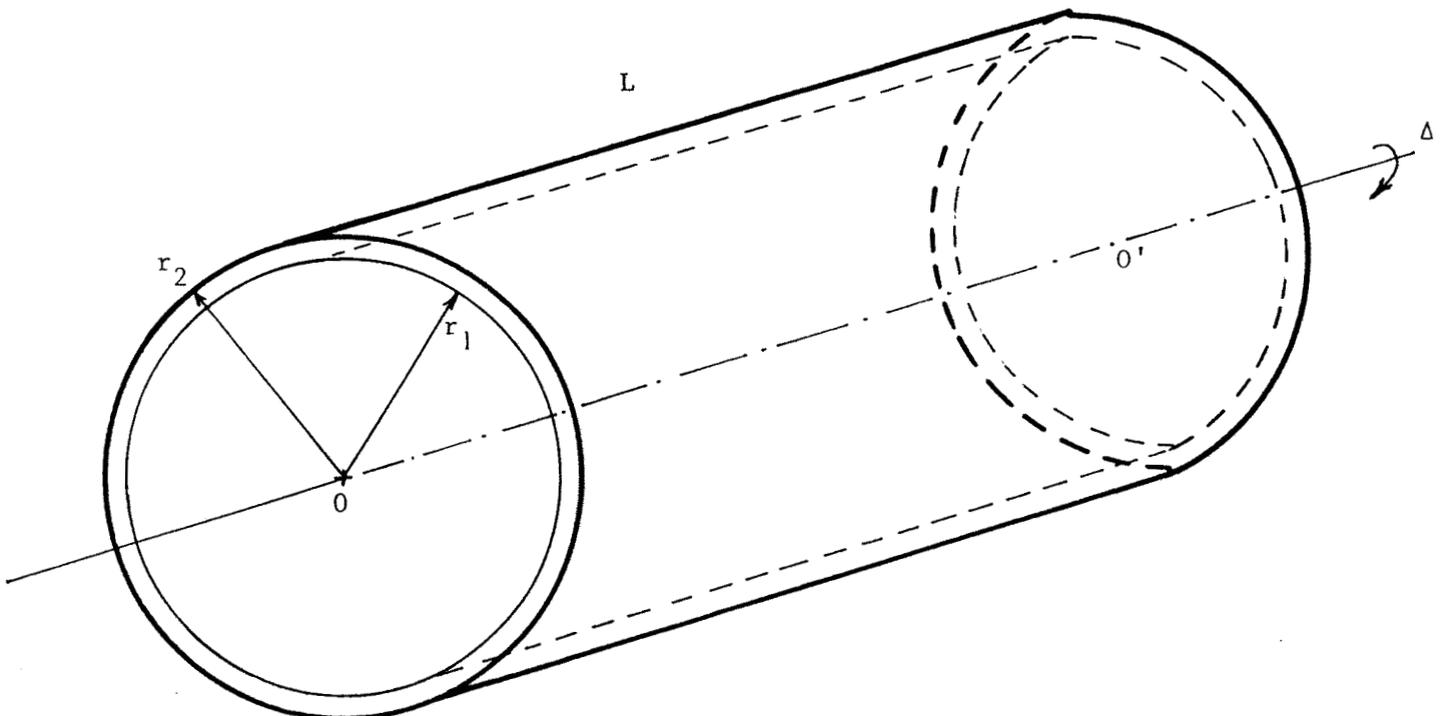
or le volume du cylindre plein vaut $V = \pi R^2 L$ et sa masse totale $M = \rho \pi R^2 L$ d'où :

$$I = \rho \pi L \frac{R^4}{2} = (\rho \pi R^2 L) \frac{R^2}{2} = \frac{1}{2} M R^2 \quad (2)$$

2. Cylindre-sécheur

Les moments d'inertie sont additifs. On décompose le cylindre en

- un anneau cylindrique de masse m_c et de rayons intérieur r_1 et extérieur r_2 .
- de deux disques de masse m_d et de rayon r_1 .



a - Anneau cylindrique

On procède de la même manière que précédemment :

$$I_C = \int_{r_1}^{r_2} r^2 dm = \frac{1}{2} \rho \Pi L (r_2^4 - r_1^4)$$

le volume : $V = S.L = \Pi (r_2^2 - r_1^2) L$ et $m = \rho.V$

$$I_C = \frac{1}{2} \cdot m_C (r_1^2 + r_2^2) \quad (3)$$

b - Disque

même principe :

$$I_d = \int_0^{r_1} r^2 dm = \frac{1}{2} m_d r_1^2 \quad (4)$$

Le moment d'inertie total :

$$I = I_C + 2I_d = \frac{1}{2} m_C (r_1^2 + r_2^2) + m_d r_1^2 \quad (5)$$

Evaluons le rapport $\frac{m_d}{m_C}$:

$$\frac{m_d}{m_C} = \frac{\rho V_d}{\rho V_C} = \frac{\Pi r_1^2 \cdot e}{\Pi (r_2^2 - r_1^2) L}$$

$$r_1 = 397 \text{ mm}$$

$$r_2 = 400 \text{ mm}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

$$m_d = 0,1 m_C \quad (6)$$

La masse totale du cylindre :

$$M = m_C + 2 m_d = 1,2 m_C \quad (7)$$

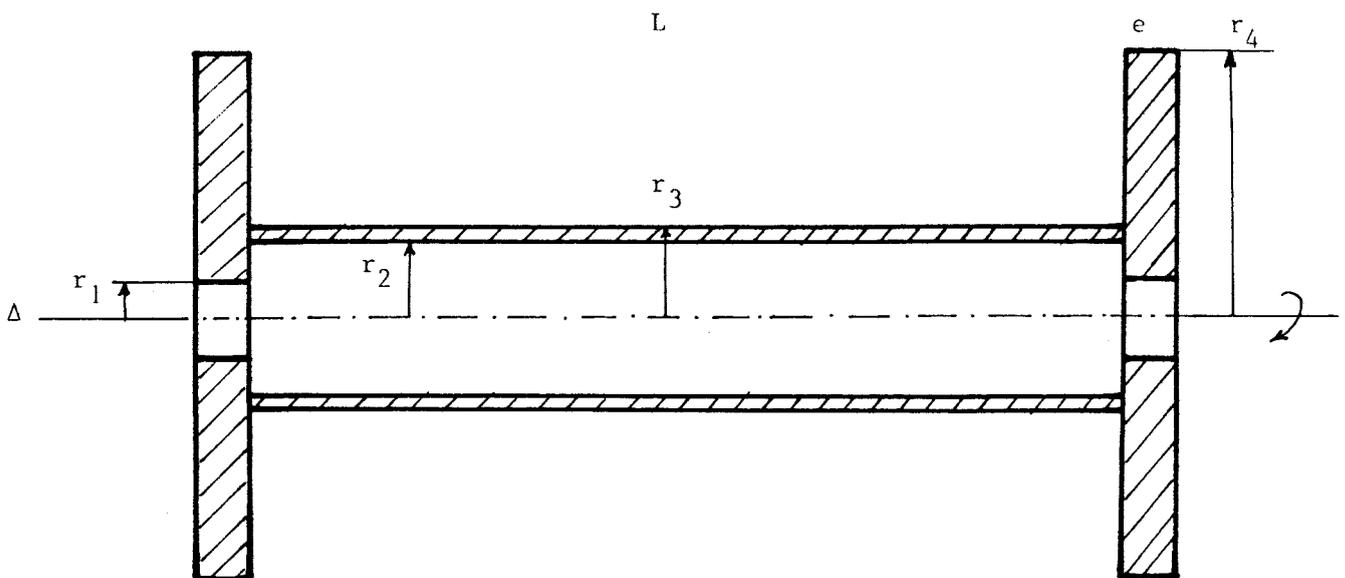
La relation (5) deviendra en utilisant les données :

$$I \simeq m_c r_2^2 \quad (8)$$

Enfin, le moment d'inertie du cylindre s'écrira :

$$I = \frac{10}{12} \cdot M \cdot r_2^2 \quad (9)$$

3. Rouleau à vide (enroulement)



Nous opérons comme précédemment :

- . un anneau cylindrique
- . 2 disques.

Nous trouvons :

- anneau cylindrique : $I_c = \frac{1}{2} m_c (r_2^2 + r_3^2)$ (10)

- disque : $I_d = \frac{1}{2} m_d (r_1^2 + r_4^2)$ (11)

$$I = I_c + 2 \cdot I_d$$

Les données : $r_1 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
 $r_2 = 7,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
 $r_3 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
 $r_4 = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}$
 $L = 1,80 \text{ m}$
 $e = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$

$$\frac{m_d}{m_c} \simeq 8,30$$

$$I \simeq m_d \cdot r_4^2 \quad (12)$$

La masse totale est : $M = m_c + 2 m_d \simeq 2 m_d + \frac{1}{8} m_d$

$$M \simeq 2 m_d$$

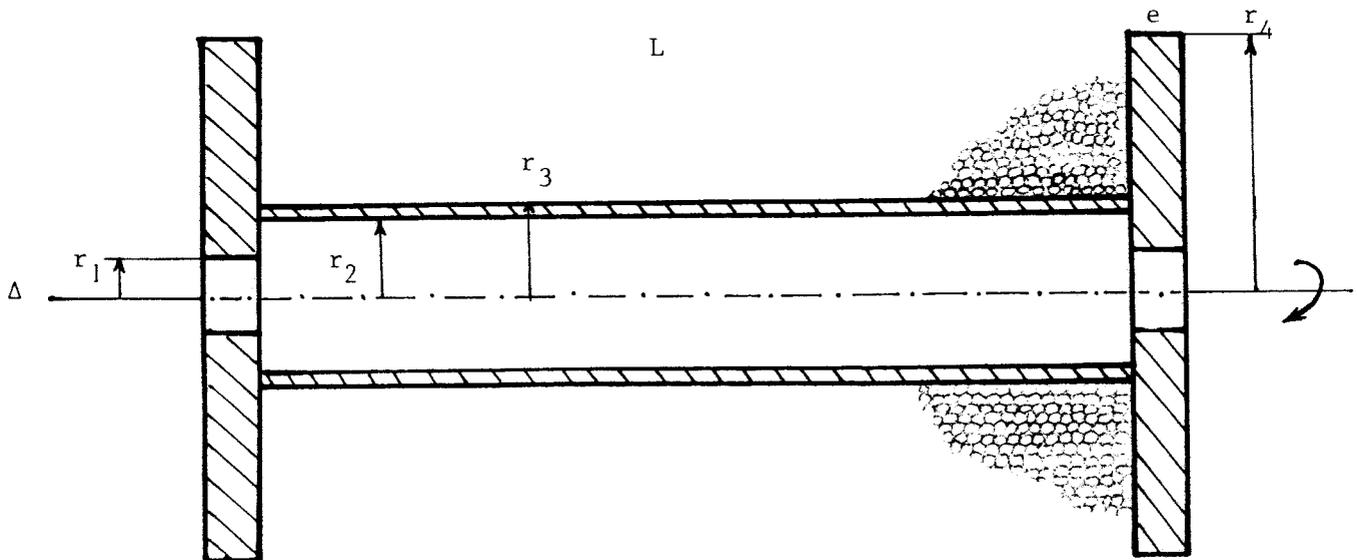
Le moment d'inertie du rouleau à vide sera :

$$I = m_d r_4^2 = \frac{1}{2} M \cdot r_4^2 \quad (13)$$

4. Rouleau au déroulement

Nous considérons le rouleau plein de formule

$$I = \frac{1}{2} M \cdot r_4^2 \quad \text{avec } M = M_0 + M_{\text{fil.}}$$

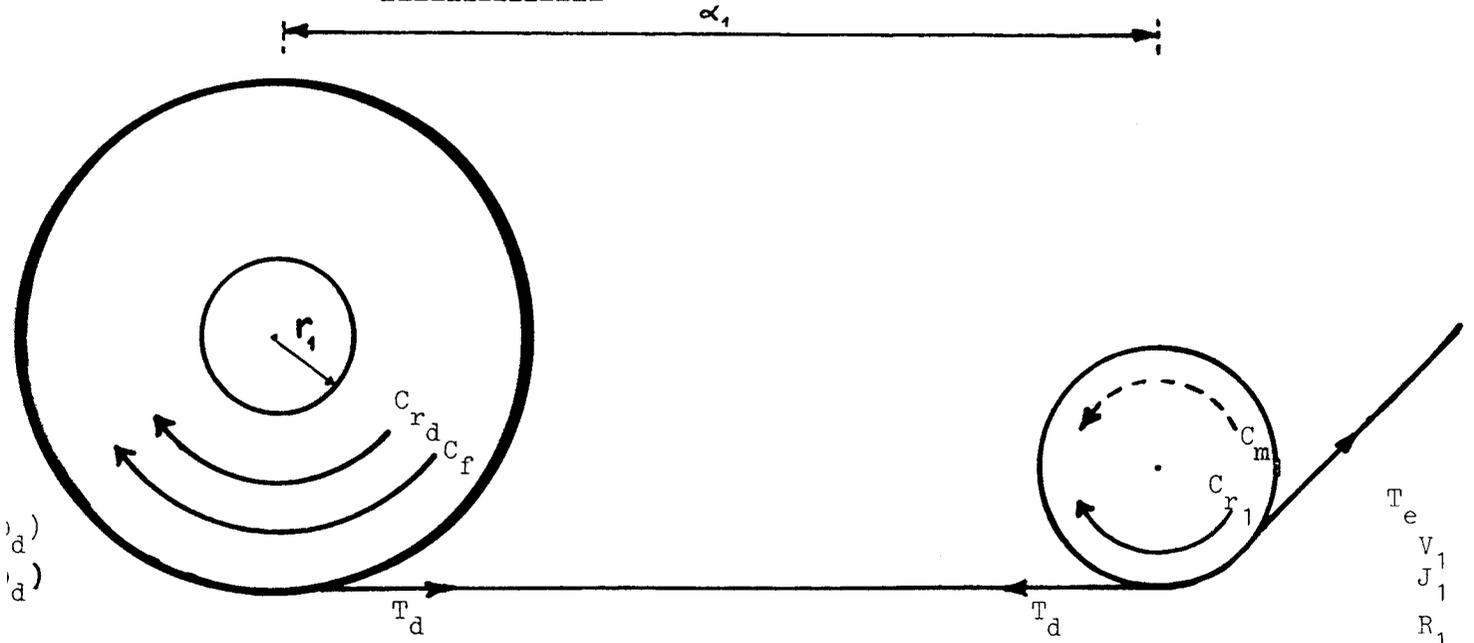


ANNEXE 3

CALCUL DES TENSIONS AU NIVEAU DE CHAQUE SOUS-SYSTÈME

Nous donnons dans cette annexe les relations pouvant calculer les tensions mécaniques que subit la nappe de fils au niveau de chaque sous-système : Un coefficient d'allongement α_i est affecté à ce dernier.

1. Sous-système 1 : Déroulement / Entrée



$$J(\theta_d) \ddot{\theta}_d + C_{r_d} + C_f = T_d R(\theta_d)$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + C_{r_1} + T_d R_1 = C_{m_1} + T_e R_1$$

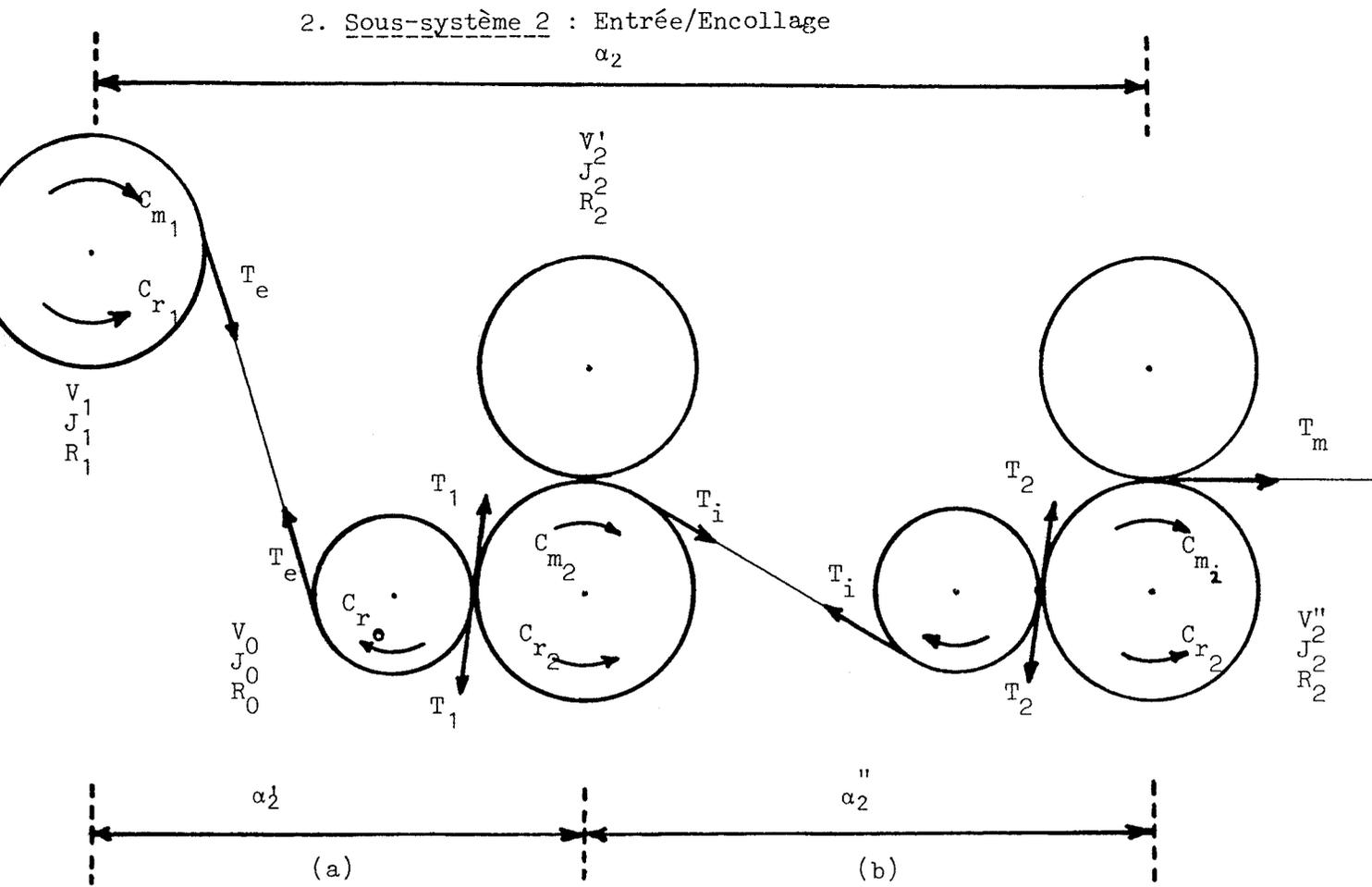
$$\alpha_1 = \frac{T_d}{K_1} = \frac{R_1 \dot{\theta}_1}{R(\theta_d) \dot{\theta}_d} - 1$$

$$\theta_1 = k_1 \theta_e$$

$$k_1 = \frac{\theta_e}{\phi_1}$$

$$\theta_d(0) = 0$$

$$\dot{\theta}_d(0) = 0$$



- Sous-système (a)

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + C_{r1} + T_d R_1 = C_{m1} + T_e R_1$$

$$J_0 \ddot{\theta}_0 + C_{r0} + T_e R_0 = T_1 R_0$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2' + C_{r2} + T_1 R_2 = C_{m2} + T_i R_2$$

$$\alpha_2' = \frac{T_e}{K_2'} = \frac{R_2 \dot{\theta}_2'}{R_1 \dot{\theta}_1} - 1$$

- Sous-système (b)

$$J_0 \ddot{\theta}_0'' + C_{r0} + T_i R_0 = T_2 R_0$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2'' + C_{r2} + T_2 R_2 = C_{m2} + T_m R_2$$

$$\alpha_2'' = \frac{T_i}{K_2''} = \frac{R_2 \dot{\theta}_2''}{R_2 \dot{\theta}_2} - 1$$

Si nous considérons seulement le premier rouleau de rayon R_1 et la dernière paire de rouleaux de rayons R_2 , nous obtenons :

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + C_{r_1} + T_d R_1 = C_{m_1} + T_e R_1$$

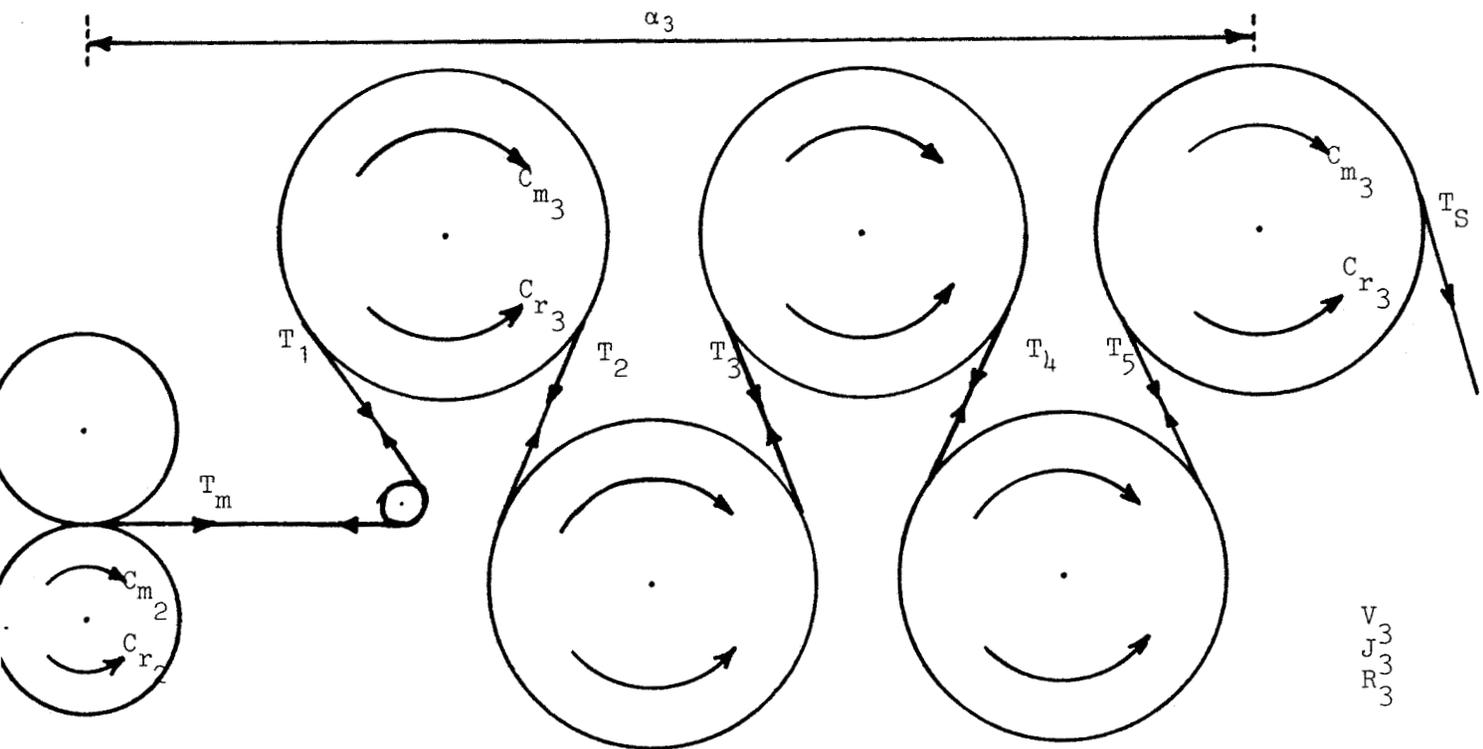
$$J_2 \ddot{\theta}_2 + C_{r_2} + T_2 R_2 = C_{m_2} + T_m R_2$$

$$\alpha_2 = \frac{T_e}{K_2} = \frac{R_2 \dot{\theta}_2}{R_1 \dot{\theta}_1} - 1$$

$$\theta_2 = k_2 \theta_e$$

$$k_2 = \frac{\phi_2}{\phi_e}$$

3. Sous-système 3 : Encollage/Séchage



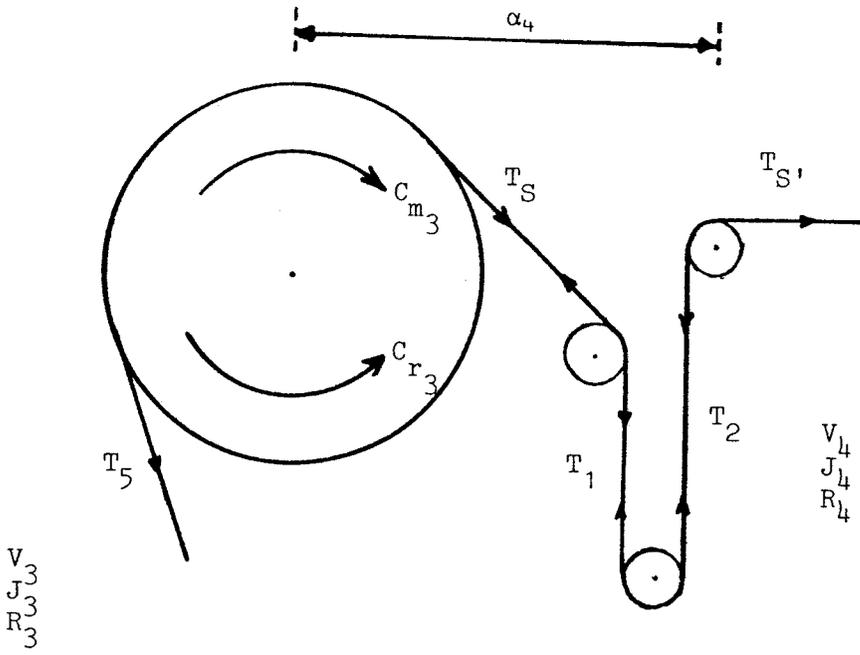
$$J_2 \ddot{\theta}_2 + C_{r_2} + T_2 R_2 = C_{m_2} + T_m R_2$$

$$J_3 \ddot{\theta}_3 + C_{r_3} + T_5 R_3 = C_{m_3} + T_s R_5$$

$$\alpha_3 = \frac{T_m}{K_3} = \frac{R_3 \dot{\theta}_3}{R_2 \dot{\theta}_2} - 1$$

$$\theta_3 = k_3 \theta_e$$

4. Sous-système 4 : Séchage/séparation

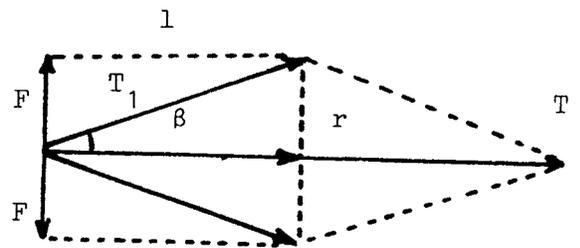
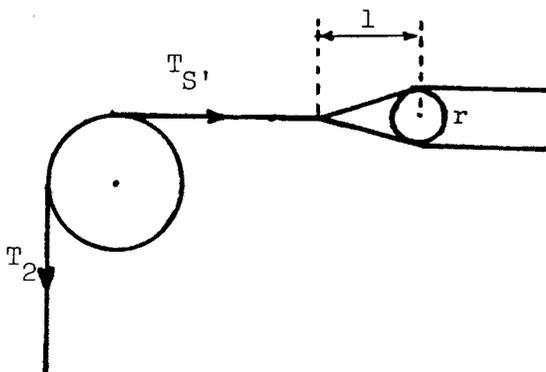


$$J_3 \ddot{\theta}_3 + C_{r3} + T_5 R_3 = C_{m3} + T_s R_3$$

$$J_4 \ddot{\theta}_4 + C_{r4} + T_2 R_4 = T_{s'} R_4$$

$$\alpha_4 = \frac{T_s}{K_4} = \frac{R_4 \dot{\theta}_4}{R_3 \dot{\theta}_3} - 1$$

REMARQUE : On peut calculer la force de séparation F de deux fils :

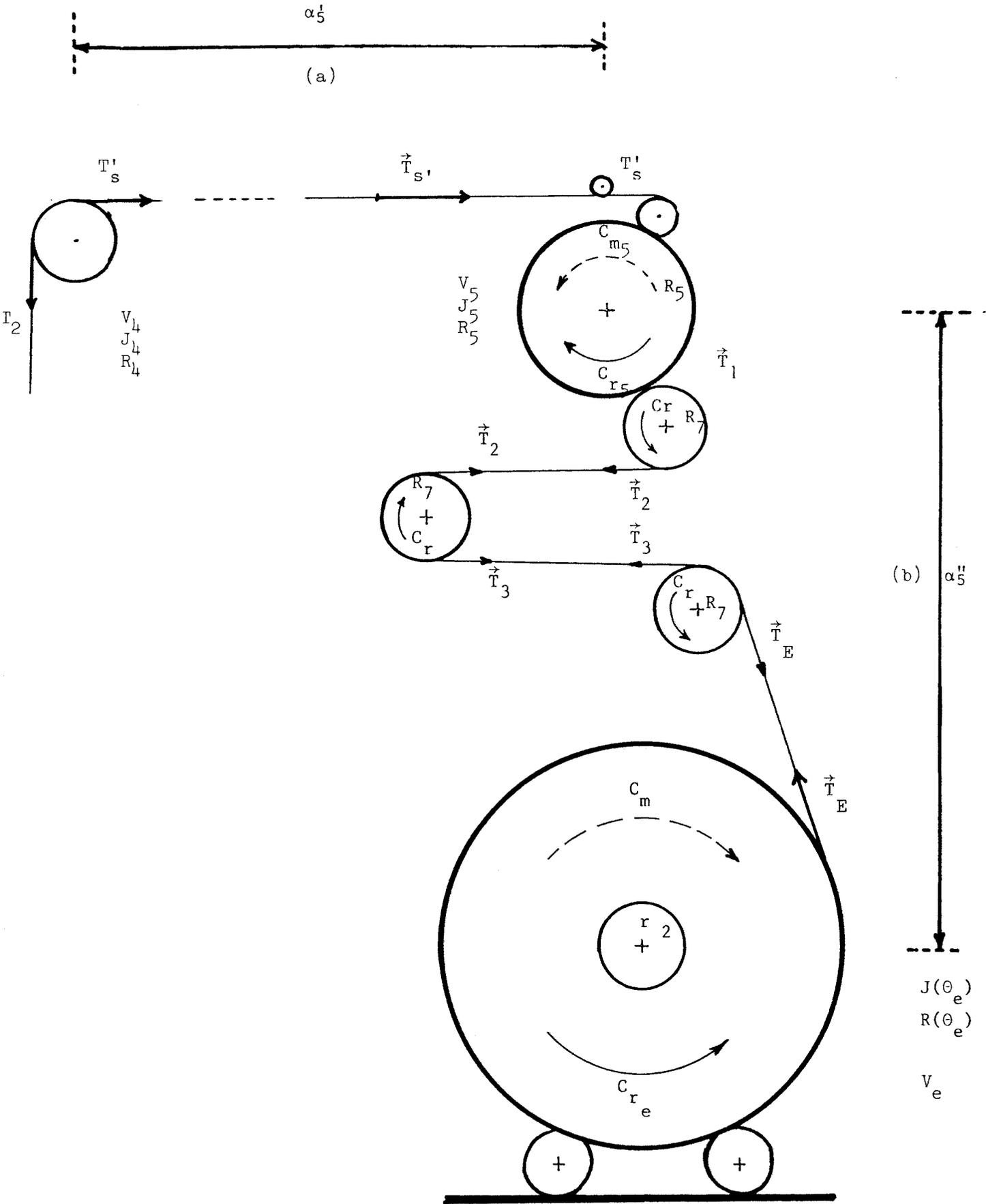


$$\text{tg } \beta = \frac{r}{l} \rightarrow \beta = \text{Arctg } \frac{r}{l}$$

$$\sin \beta = \frac{F}{T_1} \rightarrow F = T_1 \sin \beta = T_1 \sin \left(\text{Arc tg } \frac{r}{l} \right)$$

quand $l \nearrow \rightarrow \beta \searrow$ et $T \nearrow$

5. Sous-système 5 : Séparation/Enroulement



- sous-système (a)

$$J_4 \ddot{\theta}_4 + C_{r_4} + T_2 R_4 = T_{s'} R_4$$

$$J_5 \ddot{\theta}_5 + C_{r_5} + T_{s'} R_5 = C_{m_5} + T R_5$$

$$\alpha'_5 = \frac{T_{s'}}{K'_5} = \frac{R_5 \dot{\theta}_5}{R_4 \dot{\theta}_4} - 1$$

- sous-système (b)

$$J_5 \ddot{\theta}_5 + C_{r_5} + T_{s'} R_5 = C_{m_5} + T R_5$$

$$J(\theta_e) \ddot{\theta}_e + C_{r_e} + T_e R(\theta_e) = C_m$$

$$\alpha''_5 = \frac{T}{K''_5} = \frac{R(\theta_e) \dot{\theta}_e}{R_5 \dot{\theta}_5} - 1$$

ou encore, globalement :

$$J_4 \ddot{\theta}_4 + C_{r_4} + T_2 R_4 = T_{s'} R_4$$

$$J(\theta_e) \ddot{\theta}_e + C_{r_e} + T_E R(\theta_e) = C_m$$

$$\alpha_5 = \frac{T_{s'}}{K_5} = \frac{R(\theta_e) \dot{\theta}_e}{R_5 \dot{\theta}_5} - 1$$

Valeurs de f dans quelques cas d'emploi de courroies.

θ °C	ρ_a kg/m ³	C_{Pa} Kcal/kg.°C	λ_a Kcal/h.m°C	η_a kg/m.h	D_v m ² /h
0	1,293	0,241	0,0208	0,061	0,083
20	1,205		0,022	0,064	0,092
40	1,13	0,242	0,0232	0,0665	0,105
60	1,06	0,243	0,0246	0,070	0,115
80	1,01		0,0258	0,0735	0,125
100	0,95	0,244	0,0268	0,0770	0,136

GRANDEURS CARACTERISANT LES TRANSFERTS DE L'AIR

Nature des matériaux en contact.	f	Nature des matériaux en contact.	f
Cuir neuf sur fonte polie.....	0,15	Coton ou chanvre sur fonte	0,20
Cuir gras (courroie usagée) sur fonte polie..	0,28 à 0,30	Balata sur fonte ou acier.	0,25 à 0,35
Cuir sur bois.....	0,45	Caoutchouc sur fonte ou acier	0,5

Valeurs de $K = e^{fa}$ et de $\frac{K}{K-1}$

Arcs embrassés en degrés sur la petite poulie.	f = 0,10		f = 0,155		f = 0,20		f = 0,25		f = 0,30		f = 0,40	
	K	$\frac{K}{K-1}$	K	$\frac{K}{K-1}$	K	$\frac{K}{K-1}$	K	$\frac{K}{K-1}$	K	$\frac{K}{K-1}$	K	$\frac{K}{K-1}$
100	1,19	6,27	1,31	4,23	1,41	3,44	1,54	2,85	1,69	2,45	2,01	1,99
110	1,21	5,77	1,35	3,86	1,46	3,18	1,64	2,64	1,78	2,28	2,15	1,87
120	1,23	5,35	1,38	3,64	1,52	2,92	1,68	2,47	1,87	2,15	2,31	1,76
130	1,25	5,00	1,42	3,38	1,57	2,76	1,76	2,32	1,97	2,03	2,47	1,68
140	1,27	4,71	1,46	3,18	1,63	2,59	1,84	2,19	2,08	1,93	2,66	1,59
150	1,30	4,34	1,50	3,00	1,69	2,46	1,92	2,09	2,20	1,83	2,88	1,53
160	1,32	4,13	1,54	2,86	1,75	2,35	2,00	2,00	2,31	1,76	3,08	1,48
170	1,34	3,86	1,58	2,72	1,81	2,24	2,10	1,91	2,43	1,70	3,31	1,43
180	1,36	3,77	1,63	2,59	1,87	2,15	2,19	1,84	2,56	1,64	3,55	1,39
190	1,39	3,54	1,67	2,49	1,94	2,06	2,29	1,74	2,69	1,59	3,81	1,36
200	1,42	3,40	1,72	2,39	2,01	2,00	2,39	1,72	2,84	1,54	4,08	1,35
210	1,44	3,26	1,76	2,31	2,08	1,93	2,50	1,67	3,00	1,50	4,39	1,32
220	1,47	3,13	1,81	2,23	2,15	1,87	2,61	1,62	3,17	1,46	4,75	1,27
230	1,49	3,04	1,84	2,18	2,22	1,82	2,71	1,58	3,35	1,42	5,17	1,24

Températures d'ébullition de l'eau (en °C)

au voisinage de 760 mm Hg (échelle du thermomètre normal)

Pres-sion mm Hg										Pres-sion mm Hg											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
700	97,714	753	702	832	870	910	949	989	*028	*067	760	100,000	037	074	110	147	184	220	257	293	330
710	98,106	145	184	223	261	300	339	378	416	455	770	366	403	439	475	511	548	584	620	656	692
720	493	532	570	609	647	686	724	762	800	838	780	728	764	800	836	872	908	944	979	*028	*067
730	877	915	953	991	*029	*067	*104	*142	*180	*218	L'astérisque indique le passage à l'unité supérieure.										
740	99,255	293	331	368	406	443	481	518	555	592	Au voisinage de $\theta = 100^\circ\text{C}$ ou de $p = 76\text{ cm}$, on peut prendre :										
750	630	667	704	741	778	815	852	889	926	963	$\theta = 100 + 0,3685 (p - 76)$										

de 700 à 800 mm Hg

Pres-sion mm Hg										Pres-sion mm Hg											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8		0,9	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
700	97,714	718	722	725	729	733	737	741	745	749	750	99,630	633	637	641	645	648	652	656	659	663
701	753	757	761	765	769	773	777	781	785	789	751	667	671	674	678	682	686	689	693	697	700
702	792	796	800	804	808	812	816	820	824	828	752	704	708	712	715	719	723	726	730	734	738
703	832	836	840	844	847	851	855	859	863	867	753	741	745	749	752	756	760	764	767	771	775
704	871	875	879	883	887	891	895	899	902	906	754	778	782	786	790	793	797	801	804	808	812
705	97,910	914	918	922	926	930	934	938	942	946	755	99,815	819	823	827	830	834	838	841	845	849
706	949	953	957	961	965	969	973	977	981	985	756	852	856	860	863	867	871	875	878	882	886
707	989	993	996	*000	*004	*008	*012	*016	*020	*024	757	889	893	897	900	904	908	911	915	919	923
708	98,028	032	036	040	043	047	051	055	059	063	758	926	930	934	937	941	945	948	952	956	959
709	067	071	075	079	082	086	090	094	098	102	759	963	967	970	974	978	982	985	989	993	996
710	98,106	110	114	118	121	125	129	133	137	141	760	100,000	004	007	011	015	018	022	026	029	033
711	145	149	153	157	160	164	168	172	176	180	761	037	040	044	048	052	055	059	063	066	070
712	184	188	192	195	199	203	207	211	215	219	762	074	077	081	085	088	092	096	099	103	107
713	223	227	230	234	238	242	246	250	254	258	763	110	114	118	121	125	129	132	136	140	143
714	261	265	269	273	277	281	285	289	292	296	764	147	151	154	158	162	165	169	173	176	180
715	98,300	304	308	312	316	320	323	327	331	335	765	100,184	187	191	195	198	202	206	209	213	216
716	339	343	347	351	355	358	362	366	370	374	766	220	224	227	231	235	238	242	246	249	253
717	378	382	385	389	393	397	401	405	409	412	767	257	260	264	268	271	275	279	283	286	290
718	416	420	424	428	432	436	440	443	447	451	768	293	297	300	304	308	311	315	319	322	326
719	455	459	463	467	470	474	478	482	486	490	769	330	333	337	341	344	348	352	355	359	363
720	98,493	497	501	505	509	513	517	520	524	528	770	100,366	370	373	377	381	384	388	392	395	399
721	532	536	540	544	547	551	555	559	563	567	771	403	406	410	414	417	421	424	428	432	435
722	570	574	578	582	586	590	593	597	601	605	772	439	442	446	450	453	457	461	464	468	472
723	609	613	617	620	624	628	632	636	640	643	773	475	479	483	486	490	493	497	501	504	508
724	647	651	655	659	662	666	670	674	678	682	774	511	515	519	522	526	530	533	537	540	544
725	98,686	689	693	697	701	705	709	712	716	720	775	100,548	551	555	559	562	566	569	573	577	580
726	724	728	732	735	739	743	747	751	755	758	776	584	588	591	595	598	602	606	609	613	616
727	762	766	770	774	777	781	785	789	793	797	777	620	624	627	631	634	638	642	645	649	653
728	800	804	808	812	816	819	823	827	831	835	778	656	660	663	667	671	674	678	681	685	689
729	838	842	846	850	854	858	861	865	869	873	779	692	696	699	703	707	710	714	718	721	725
730	98,877	880	884	888	892	896	899	903	907	911	780	100,728	732	735	739	743	746	750	753	757	761
731	915	918	922	926	930	934	937	941	945	949	781	764	768	772	775	779	782	786	789	793	797
732	953	956	960	964	968	972	975	979	983	987	782	800	804	807	811	815	818	822	825	829	833
733	991	994	998	*002	*006	*010	*013	*017	*021	*025	783	836	840	843	847	851	854	858	861	865	869
734	99,029	032	036	040	044	048	051	055	059	063	784	872	876	879	883	886	890	894	897	901	904
735	99,067	070	074	078	082	085	089	093	097	101	785	100,908	912	915	919	922	926	929	933	937	940
736	104	108	112	116	119	123	127	131	135	138	786	944	947	951	954	958	962	965	969	972	976
737	142	146	150	153	157	161	165	169	172	176	787	979	983	987	990	994	997	*001	*005	*008	*012
738	180	184	187	191	195	199	203	206	210	214	788	101,015	019	022	026	029	033	037	040	044	047
739	218	221	225	229	233	236	240	244	248	252	789	051	054	058	062	065	069	072	076	079	083
740	99,255	259	263	267	270	274	278	282	285	289	790	101,087	090	094	097	101	104	108	112	115	119
741	293	297	300	304	308	312	316	319	323	327	791	122	126	129	133	136	140	144	147	151	154
742	331	334	338	342	346	349	353	357	361	364	792	158	161	165	168	172	176	179	183	186	190
743	368	372	376	379	383	387	391	394	398	402	793	193	197	200	204	207	211	215	218	222	225
744	406	409	413	417	421	424	428	432	436	439	794	229	232	236	239	243	246	250	254	257	261
745	99,443	447	451	454	458	462	466	469	473	477	795	101,264	268	271	275	278	282	286	289	293	296
746	481	484	488	492	495	499	503	507	510	514	796	300	303	307	310	314	317	321	324	328	332
747	518	522	525	529	533	537	540	544	548	551	797	335	339	342	346	349	353	356	360	363	367
748	555	559	563	566	570	574	578	581	585	589	798	370	374	377	381	385	388	392	395	399	402
749	592	596	600	604	607	611	615	619	622	626	799	406	409	413	416	420	423	427	430	434	437
											800	101,441									

L'astérisque indique le passage à l'unité supérieure.

TENSION DE VAPEUR DE L'EAU ET DES SOLUTIONS AQUEUSES

(D'après J. H. Perry, avec l'autorisation de Mc Graw Hill)

Tension de vapeur de l'eau

glace de -15° C à 0° C (en mm Hg)

t °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-14	1,361	1,348	1,336	1,324	1,312	1,300	1,288	1,276	1,264	1,253
-13	1,490	1,477	1,464	1,450	1,437	1,424	1,411	1,399	1,386	1,373
-12	1,632	1,617	1,602	1,588	1,574	1,559	1,546	1,532	1,518	1,504
-11	1,785	1,769	1,753	1,737	1,722	1,707	1,691	1,676	1,661	1,646
-10	1,950	1,934	1,916	1,899	1,883	1,866	1,849	1,833	1,817	1,800
-9	2,131	2,112	2,093	2,075	2,057	2,039	2,021	2,003	1,985	1,968
-8	2,326	2,306	2,285	2,266	2,246	2,226	2,207	2,187	2,168	2,149
-7	2,537	2,515	2,493	2,472	2,450	2,429	2,408	2,387	2,367	2,346
-6	2,765	2,742	2,718	2,695	2,672	2,649	2,626	2,603	2,581	2,559
-5	3,013	2,987	2,962	2,937	2,912	2,887	2,862	2,838	2,813	2,790
-4	3,280	3,252	3,225	3,198	3,171	3,144	3,117	3,091	3,065	3,039
-3	3,568	3,539	3,509	3,480	3,451	3,422	3,393	3,364	3,336	3,308
-2	3,880	3,848	3,816	3,785	3,753	3,722	3,691	3,660	3,630	3,599
-1	4,217	4,182	4,147	4,113	4,079	4,045	4,012	3,979	3,946	3,913
0	4,579	4,542	4,504	4,467	4,431	4,395	4,359	4,323	4,287	4,252

eau de 0° C à 100° C (en mm Hg)

Jusqu'à 49° C et de 90 à 101° C, les chiffres de la première colonne donnent la partie entière de la température; la partie décimale est inscrite en tête de chacune des colonnes suivantes. De 50 à 80° C, les chiffres de la première colonne sont arrondis aux dizaines de degré; les unités sont inscrites en tête de chacune des colonnes suivantes: par ex., la colonne 0,3 sur la ligne 60 donne la tension de vapeur 63° C.

t °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,579	4,613	4,647	4,681	4,715	4,750	4,785	4,820	4,855	4,890
1	4,926	4,962	4,998	5,034	5,070	5,107	5,144	5,181	5,219	5,256
2	5,294	5,332	5,370	5,408	5,447	5,486	5,525	5,565	5,605	5,645
3	5,685	5,725	5,766	5,807	5,848	5,889	5,931	5,973	6,015	6,058
4	6,101	6,144	6,187	6,230	6,274	6,318	6,363	6,408	6,453	6,498
5	6,543	6,589	6,635	6,681	6,728	6,775	6,822	6,869	6,917	6,965
6	7,013	7,062	7,111	7,160	7,209	7,259	7,309	7,360	7,411	7,462
7	7,513	7,565	7,617	7,669	7,722	7,775	7,828	7,882	7,936	7,990
8	8,045	8,100	8,155	8,211	8,267	8,323	8,380	8,437	8,494	8,551
9	8,609	8,668	8,727	8,786	8,845	8,905	8,965	9,025	9,086	9,147
10	9,209	9,271	9,333	9,395	9,458	9,521	9,585	9,649	9,714	9,779
11	9,844	9,910	9,976	10,042	10,109	10,176	10,244	10,312	10,380	10,449
12	10,518	10,588	10,658	10,728	10,799	10,870	10,941	11,013	11,085	11,158
13	11,231	11,305	11,379	11,453	11,528	11,604	11,680	11,755	11,833	11,910
14	11,987	12,065	12,144	12,223	12,302	12,382	12,462	12,543	12,624	12,706
15	12,788	12,870	12,953	13,037	13,121	13,205	13,290	13,375	13,461	13,547
16	13,634	13,721	13,809	13,898	13,987	14,076	14,166	14,256	14,347	14,438
17	14,530	14,622	14,715	14,809	14,903	14,997	15,092	15,188	15,284	15,380
18	15,477	15,575	15,673	15,772	15,871	15,971	16,071	16,171	16,272	16,374
19	16,477	16,581	16,685	16,789	16,894	16,999	17,105	17,212	17,319	17,427
20	17,535	17,644	17,753	17,863	17,974	18,085	18,197	18,309	18,422	18,536
21	18,650	18,765	18,880	18,996	19,113	19,231	19,349	19,468	19,587	19,707
22	19,827	19,948	20,070	20,193	20,316	20,440	20,565	20,690	20,815	20,941
23	21,068	21,196	21,324	21,453	21,583	21,714	21,845	21,977	22,110	22,243
24	22,377	22,512	22,648	22,785	22,922	23,060	23,198	23,337	23,476	23,616
25	23,759	23,897	24,039	24,182	24,326	24,471	24,617	24,764	24,912	25,060
26	25,090	25,239	25,390	25,542	25,694	25,848	26,003	26,159	26,316	26,474
27	26,739	26,897	27,055	27,214	27,374	27,535	27,696	27,858	28,021	28,185
28	28,349	28,514	28,680	28,847	29,015	29,184	29,354	29,525	29,697	29,870
29	30,043	30,217	30,392	30,568	30,745	30,923	31,102	31,281	31,461	31,642
30	31,824	32,007	32,191	32,376	32,561	32,747	32,934	33,122	33,312	33,503
31	33,695	33,888	34,082	34,276	34,471	34,667	34,864	35,062	35,261	35,462
32	35,663	35,865	36,068	36,272	36,477	36,683	36,891	37,099	37,308	37,518
33	37,729	37,942	38,155	38,369	38,584	38,801	39,018	39,237	39,457	39,677
34	39,898	40,121	40,344	40,569	40,794	41,021	41,248	41,476	41,705	41,934
35	42,175	42,409	42,644	42,880	43,117	43,355	43,593	43,832	44,072	44,312
36	44,503	44,808	45,114	45,421	45,729	46,038	46,348	46,658	46,969	47,281
37	47,067	47,324	47,582	47,841	48,102	48,364	48,627	48,891	49,157	49,424
38	49,692	49,961	50,231	50,502	50,774	51,048	51,323	51,600	51,879	52,160
39	52,442	52,725	53,009	53,294	53,580	53,867	54,156	54,446	54,737	55,030
40	55,324	55,611	55,901	56,191	56,483	56,776	57,071	57,367	57,664	57,962
41	58,340	58,635	58,932	59,230	59,529	59,830	60,132	60,436	60,741	61,047
42	61,500	61,802	62,106	62,411	62,718	63,026	63,336	63,647	63,959	64,272
43	64,800	65,104	65,410	65,718	66,027	66,338	66,650	66,964	67,279	67,595
44	68,260	68,568	68,877	69,187	69,498	69,810	70,124	70,439	70,755	71,072
45	71,888	72,202	72,517	72,833	73,150	73,468	73,787	74,107	74,428	74,750
46	75,050	75,364	75,679	76,000	76,322	76,645	76,969	77,294	77,620	77,947
47	79,000	79,316	79,633	79,951	80,270	80,590	80,911	81,233	81,556	81,880
48	83,710	84,031	84,353	84,676	84,999	85,324	85,650	85,977	86,305	86,634
49	88,020	88,344	88,669	88,994	89,320	89,647	89,975	90,304	90,634	90,964
50	92,510	92,836	93,163	93,491	93,820	94,150	94,481	94,813	95,146	95,480
60	149,38	150,43	151,47	152,51	153,55	154,59	155,63	156,67	157,71	158,75
70	233,7	243,9	254,0	264,2	274,4	284,6	294,8	305,0	315,2	325,4
80	355,1	369,7	384,9	400,6	416,8	433,6	450,9	468,7	487,1	506,1
90	525,76	527,70	529,77	531,78	533,80	535,82	537,86	539,90	541,95	544,00
91	546,05	548,11	550,18	552,26	554,35	556,44	558,53	560,64	562,75	564,87
92	566,99	569,12	571,26	573,40	575,55	577,71	579,87	582,04	584,22	586,41
93	588,60	590,80	593,00	595,21	597,43	599,66	601,89	604,13	606,38	608,64
94	610,90	613,17	615,44	617,72	620,01	622,31	624,61	626,92	629,24	631,57
95	633,90	636,24	638,59	640,94	643,30	645,67	648,05	650,43	652,82	655,22
96	657,62	660,03	662,45	664,88	667,31	669,75	672,20	674,66	677,12	679,59
97	682,07	684,55	687,04	689,54	692,05	694,57	697,10	699,63	702,17	704,71
98	707,27	709,83	712,40	714,98	717,56	720,15	722,75	725,36	727,98	730,61
99	733,24	735,88	738,53	741,18	743,85	746,52	749,20	751,89	754,58	757,29
100	760,00	762,72	765,45	768,18	770,93	773,68	776,44	779,22	782,00	784,79
101	787,57	790,37	793,18	796,00	798,82	801,66	804,50	807,35	810,21	813,07

eau liquide, de -16° C à 0° C (en mm Hg)

calculée à partir des données de la table précédente, à l'aide de l'équation thermodynamique

$$\log_{10} \frac{p_{\text{eau}}}{p_{\text{glace}}} = \frac{-1,1489 t}{273,1 + t} - 1,330 \cdot 10^{-6} t^2 + 9,084 \cdot 10^{-8} t^3$$

Le chiffre de la première colonne donne la partie entière de la température. La partie décimale est inscrite en tête de chacune des colonnes suivantes. Au point de croisement, la tension de vapeur en mm Hg à 0° C.

t °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
-15	1,436	1,425	1,414	1,402	1,390	1,379	1,368	1,356	1,345	1,334
-14	1,560	1,547	1,534	1,522	1,511	1,497	1,485	1,472	1,460	1,449
-13	1,691	1,678	1,665	1,651	1,637	1,624	1,611	1,599	1,585	1,572
-12	1,834	1,819	1,804	1,790	1,776	1,761	1,748	1,734	1,720	1,705
-11	1,987	1,971	1,955	1,939	1,924	1,909	1,893	1,878	1,863	1,848
-10	2,149	2,134	2,116	2,099	2,084	2,067	2,050	2,034	2,018	2,001
-9	2,326	2,307	2,289	2,271	2,254	2,236	2,219	2,201	2,184	2,167
-8	2,514	2,495	2,475	2,456	2,437	2,418	2,399	2,380	2,362	2,343
-7	2,715	2,695	2,674	2,654	2,633	2,613	2,593	2,572	2,553	2,533
-6	2,931	2,909	2,887	2,866	2,843	2,822	2,800	2,778	2,757	2,735
-5	3,163	3,139	3,115	3,092	3,069	3,046	3,022	3,000	2,976	2,955
-4	3,410	3,384	3,359	3,334	3,309	3,284	3,259	3,235	3,211	3,187
-3	3,673	3,647	3,620	3,593	3,567	3,540	3,514	3,487	3,461	3,436
-2	3,956	3,927	3,898	3,871	3,844	3,817	3,789	3,762	3,735	3,708
-1	4,									