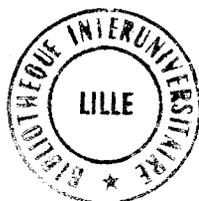


NUMERO D'ORDRE : 3 6 1

50376
1984
647



THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE LILLE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR INGENIEUR

spécialité automatique

par

Daniel **STEEN**

ingénieur ITR

**« AUTOMATISATION D'UN PROCESSUS
DE CONTRÔLE DE NUANCE »**

APPLICATION A L'INDUSTRIE TEXTILE

soutenue le 22 NOVEMBRE 1984 devant la commission d'examen :

Messieurs	P. Vidal	Président
	L. Povy	Rapporteur
	JC. Sacré	Examineur
	B. Avrin	invité
	JF. Gibier	invité
	M. Niederer	invité

AVANT - PROPOS

Nous exprimons toute notre gratitude au Professeur Pierre VIDAL pour l'accueil qu'il nous a réservé au sein de son laboratoire. Nous le remercions tout particulièrement d'avoir accepté la présidence de notre jury de thèse.

Que le Professeur Lucien POVY trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance pour les conseils et encouragements qu'il nous a toujours prodigués, nous faisant ainsi profiter de son expérience et de son amitié.

Que Monsieur Jean-Claude SACRE, Maître-Assistant à l'Université des Sciences et Techniques de Lille 1, qui nous a conseillé, guidé et dirigé tout au long de nos travaux, soit assuré de notre profonde reconnaissance. Nous sommes heureux de le remercier sincèrement et de lui exprimer notre amicale gratitude.

Nous tenons à remercier vivement Messieurs François COLOMBIER et Benoît HACOT qui ont permis la réalisation de ce projet dans leur usine de Houplines. Que Monsieur DESREUMAUX, directeur de teinture à la Société HACOT & COLOMBIER, trouve ici toute notre reconnaissance pour l'aide qu'il nous a apportée.

Nous exprimons nos remerciements à Monsieur Alain LOBIES, Président Directeur Général de la Société Troyenne de Teinture (S.T.T.) pour la gentillesse qu'il a eue de mettre à notre disposition son matériel de mesure des couleurs.

Nous sommes reconnaissants à Monsieur Michael NIEDERER, Vice-Directeur de PRETEMA AG (Suisse), d'avoir considéré avec bienveillance nos travaux et de nous faire l'honneur d'être membre du jury.

Que Monsieur Jean François GIBIER, Secrétaire Général de la Société de Promotion de l'Industrie de l'Ennoblement Textile, reçoive l'expression de notre gratitude pour ses efforts permanents en vue de réaliser la symbiose entre les laboratoires de recherche et l'industrie textile.

Enfin, nous tenons à remercier Monsieur Bernard AVRIN, Directeur de l'Ecole Supérieure des Techniques Industrielles et des Textiles, pour ses encouragements et son amitié.

- o000o -

T A B L E

D E S

M A T I E R E S

-o000o-

- T A B L E D E S M A T I E R E S -

	Page
Introduction générale	1
 <u>CHAPITRE I : COLORIMETRIE DES SURFACES SECHES</u>	
Introduction	3
I°) - Construction du triangle Rouge-Vert-Bleu	4
II°) - Valeurs tristimulaires et trichromatiques d'une couleur	6
III°) - Signification physique et expressions mathématiques de R,G,B	7
1°) Le support coloré	
2°) Les illuminants	
3°) L'oeil	
IV°) - Système de classement R,G,B	14
V°) - Système de classement X,Y,Z de la C.I.E.	15
VI°) - Colorimétrie additive et soustractive	19
1°) Colorimétrie soustractive	
2°) Colorimétrie additive	
3°) Couleurs complémentaires	
a. Mélanges soustractifs	
b. Mélanges additifs	
c. Cercle des couleurs complémentaires	
 <u>CHAPITRE II : SONDE INDUSTRIELLE</u>	
Introduction	26
I°) - Rappel du principe de fonctionnement de la sonde BEN-HABIB	27
II°) - Principe de fonctionnement de la sonde industrielle	28
III°) - Description technique de la sonde industrielle	30
IV°) - Liaison avec le spectrophotomètre	32
V°) - Utilisation de la sonde industrielle - Etalonnage automatique	34
1°) Principe de correction des mesures	
2°) Validité de l'Etalonnage	

VI°) - Caractéristiques des fibres optiques utilisées	40
1°) Caractéristiques géométriques	
2°) Caractéristiques optiques	
a. Condition de réflexion totale	
b. Condition de phase	
3°) Caractéristiques mécaniques	
VII°) - Conclusion	43
 <u>CHAPITRE III : TEXTILE MOUILLE ET COLORIMETRIE</u>	
Introduction	44
I°) - Relation colorimétrique entre une couleur sèche et une couleur mouillée	45
II°) - Transposition spectrophotométrique	46
1°) Constatations	
2°) Modélisations	
3°) Résultats techniques	
III°) - Le textile et l'eau	48
1°) Le textile (Généralités)	
2°) L'eau	
3°) Les colorants	
4°) Le coton	
a. Constitution chimique	
b. Cristallinité	
5°) Colorimétrie et textile mouillé	
IV°) - Recherche d'un modèle mathématique amélioré	60
1°) Expérimentation	
2°) Commentaires généraux	
3°) Etude de la zone 1	
4°) Etude de la zone 2	
5°) Etude de la zone 3	
6°) Conclusion	

CHAPITRE IV : PROGRAMME DYNAMIQUE DE CALCUL DES RECETTES

Introduction	71
I°) - Principe général du calcul des recettes	72
1°) Mise en équations du calcul des recettes	
2°) Résolution des équations	
3°) Mise en mémoire des colorants	
II°) - Choix du modèle mathématique fondamental	79
1°) Modèle de KUBELKA-MUNK	
2°) Modèle de PRESTON-TSIEN	
3°) Etude comparative des résultats	
4°) Difficultés d'exploitation du modèle de PRESTON-TSIEN	
a. Remarques concernant la valeur de "P"	
b. Modification de l'expression du modèle	
c. Méthode de détermination du paramètre "P"	
5°) Conclusion : sélection d'une loi	
III°) - Résolution des problèmes de non-linéarité du modèle fondamental	92
1°) Défaut de linéarité de la loi de KUBELKA-MUNK	
2°) Défaut de l'additivité de la loi de KUBELKA-MUNK	
3°) Résolution itérative des problèmes	
4°) Calcul dynamique des recettes	
5°) Organigramme général	
IV°) - Traitement des données avant calcul des recettes	105
1°) Rinçage théorique de la nuance	
2°) Séchage théorique de la nuance	
3°) Résumé du traitement des données préalablement au calcul des recettes	

CHAPITRE V : SUIVI DE TEINTURE - ANALYSE

Introduction	110
I°) - Processus de teinture	111
1°) Matière	
2°) Diagramme temporel de base	
3°) Nuançage	

II°) - Analyse générale des résultats	114
III°) - Description des opérations - Observations	
1°) Mise au point de la saisie	
2°) Rinçage et séchage par calculs	
3°) Observations relatives à l'influence de la température	
4°) Résultats et Conclusion	
IV°) - Extension aux colorants réactifs sur coton	117
1°) Introduction	
2°) Modélisation de la phase savonnage-rinçage	
V°) - Conclusion	137
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	138
<u>ANNEXE</u> : Programme dynamique de calcul des recettes	140
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	149

I N T R O D U C T I O N

G E N E R A L E

-o00o-

- INTRODUCTION GENERALE -

Ce mémoire représente l'aboutissement d'une étude entreprise par le laboratoire d'automatique de l'Université de LILLE I, l'Ecole Supérieure des Techniques Industrielles et des Textiles (E.S.T.I.T.) et la Société de Promotion de l'Industrie de l'Ennoblement Textile (S.P.I.E.T.), avec le concours financé de l'Agence pour le Développement de l'Informatique (A.D.I.).

L'objet de la recherche est de réaliser un système industriel automatique de nuançage des textiles en cours de teinture. Elle fait suite à des études de faisabilité en laboratoire menées par les mêmes partenaires et qui ont abouties à la présentation de la thèse de Docteur Ingénieur de Mr BEN HABIB en 1981, au Laboratoire d'Automatique de l'Université de Lille I.

Le premier Chapitre de ce mémoire est une introduction simple à la théorie des couleurs de façon à définir les éléments fondamentaux utilisés dans la suite.

La réalisation d'un système industriel automatique de nuançage des textiles nécessite la résolution de difficultés de diverses natures. Si la saisie d'une couleur en milieu industriel très agressif est un aspect important du problème posé, le traitement des données et en particulier la modélisation du rinçage et du séchage représentent une démarche extrêmement complexe à effectuer.

Le second Chapitre présente le capteur industriel de couleur mis au point pour la réalisation du projet. L'analyse de son principe de fonctionnement montre l'avantage du système proposé qui utilise comme référence blanche, la source lumineuse directement placée en atelier. L'ensemble du matériel est partagé entre l'atelier et le laboratoire, le couplage optique est réalisé par fibres de verre. Ce dispositif représente une étape vers un système entièrement industriel.

.../...

L'étude théorique de la mesure des couleurs sur textile mouillé est abordée au Chapitre III. Après une présentation synthétique des travaux réalisés à ce jour sur le même sujet, nous apportons une contribution à la modélisation du passage de la couleur sur textile mouillé à la même sur textile sec. Un aspect important de la modélisation est traité dans la question de l'évolution de la couleur en fonction du degré de mouillage du textile.

Un modèle mathématique reliant les réémissions sur tissu sec et mouillé est défini comme point de départ pour la suite de l'étude.

Le Chapitre IV détermine le traitement informatique du projet réalisé sur micro-ordinateur en langage Basic. Dans cette partie du mémoire, nous traitons encore certains aspects théoriques du problème, notamment en ce qui concerne les lois physiques et les méthodes mathématiques utilisées pour réaliser un calcul de recettes de teinture. Le logiciel conçu pour notre application réalise, outre le rinçage et le séchage théoriques de la matière en cours de teinture, un calcul dynamique de recette. L'ordinateur affiche ainsi les quantités de colorants encore nécessaires à la teinture pour réaliser la nuance type. Les spécialistes appellent cette méthode de travail "L'Echantillonnage au mouillé" dont l'application que nous avons faite constitue une première mondiale.

Les essais industriels menés à la Société HACOT et COLOMBIER (France) sont analysés au dernier Chapitre. Ils constituent la preuve que "L'Echantillonnage au mouillé" est un principe qui se développera dans l'avenir.

Bien que nos essais se soient déroulés dans des conditions particulières relativement simples, teinture de coton par colorants substantifs sur Jigger, nous pensons que les résultats sont suffisamment encourageants pour chercher à étendre la méthode à d'autres conditions de teinture textile et sur d'autres matières et colorants textiles.

Toutefois, le matériel de mesure dont nous disposons actuellement ne permet pas de poursuivre dans de bonnes conditions le projet d'extension de la méthode. Il convient par conséquent de considérer à nouveau la question du capteur et de son environnement informatique en y intégrant, bien entendu, toute l'expérience et le savoir acquis au cours de cette campagne d'essais.

CHAPITRE I

COLORIMETRIE DES SURFACES SECHES

-o000o-

- I N T R O D U C T I O N -

La "COLORIMETRIE" est une science relativement nouvelle d'un intérêt croissant. Le problème de la couleur se trouve à cheval sur les domaines de plusieurs sciences exactes et appliquées, notamment de la physique, de la physiologie, de la psychologie, de la technique de l'éclairage, de la chimie des matières colorantes, etc...

Il en résulte que le sujet peut être abordé de bien des manières différentes. La façon d'aborder le problème, dans ce qui suit, exprime les couleurs en nombres. Il n'est pas possible d'exposer toutes les théories relatives aux couleurs, mais nous souhaitons présenter des idées d'ensemble de manière à situer le problème posé parmi ceux qui restent à résoudre.

Nous rappelons, dans ce chapitre, certains éléments théoriques simples, relatifs à la mesure des couleurs de façon à en faciliter la compréhension.

La théorie qui suit est un rappel élémentaire du principe de classification des couleurs adoptée par la "Commission Internationale de l'Eclairage" (C.I.E. - 1931).

1°) CONSTRUCTION DU TRIANGLE ROUGE - VERT - BLEU

Cette théorie étant due à des Américains, nous utiliserons les symboles suivants :

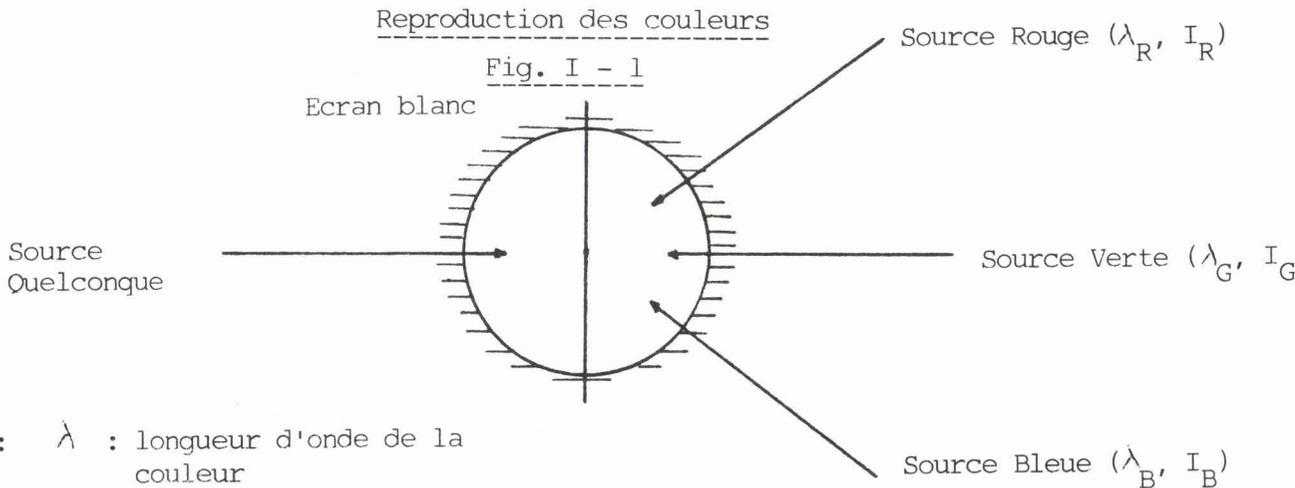
- rouge = Red = R
- vert = Green = G
- Bleu = Blue = B

Expérience

Si nous éclairons un écran blanc partagé en deux (Fig. 1) :

- d'un côté avec une lumière quelconque colorée ou non
- de l'autre avec trois sources monochromatiques (Rouge, Vert, Bleu) dont on peut régler les intensités.

Nous remarquons qu'il est possible de reproduire la couleur de la première source en modulant les intensités des trois sources colorées.



Notations : λ : longueur d'onde de la couleur
 I : Intensité de la source

Cette expérience montre qu'une couleur donnée peut être reproduite par un mélange approprié de trois couleurs de base.

Ceci nous permet d'imaginer un triangle, dont les sommets représentent les trois sources de base, à l'intérieur duquel nous arrivons à représenter presque toutes les couleurs (Fig. 2).

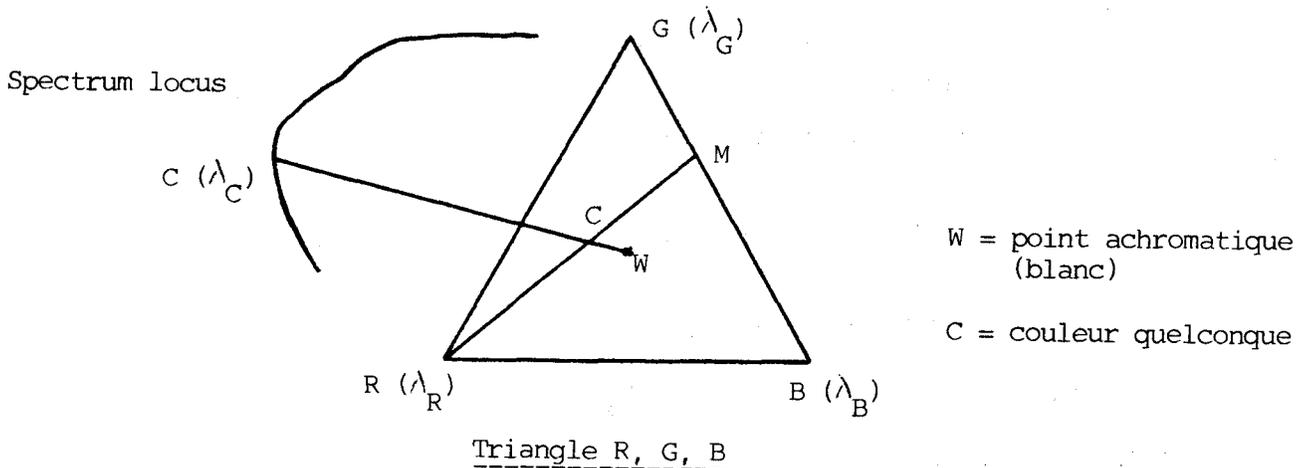


Fig. I - 2

La Figure 2 montre comment, à partir d'un mélange proportionné de deux couleurs G et B, nous arrivons à réaliser la teinte M. Puis en mélangeant M et R, nous obtenons la nuance C désirée. Par conséquent, C est bien un mélange ternaire.

Le point achromatique W se trouve au centre du triangle, il s'agit d'un blanc.

Nous observons que la couleur C peut également être obtenue en réalisant le mélange binaire d'une lumière blanche (W) et d'une lumière chromatique de longueur d'onde λ_C . Cette source monochromatique est nécessairement extérieure au triangle.

De cette manière, nous voyons qu'autour du triangle il existe une courbe où sont placées toutes les lumières monochromatiques visibles. Cette courbe s'appelle : "Spectrum locus" (lieu de spectre) et comporte toutes les couleurs de l'arc en ciel.

II°) VALEURS TRISTIMULAIRES ET TRICHROMATIQUES D'UNE COULEUR

Si nous choisissons trois rayonnements fondamentaux, c'est-à-dire, trois sources monochromatiques précises, pour reproduire la source C, nous pouvons écrire la relation suivante :

$$\begin{aligned}
 & C \text{ unités d'intensité de lumière } (C) = \\
 & R \text{ unités d'intensité de lumière } (\lambda_R) + \\
 & G \text{ unités d'intensité de lumière } (\lambda_G) + \\
 & B \text{ unités d'intensité de lumière } (\lambda_B)
 \end{aligned} \tag{1}$$

Cette relation peut se mettre sous une autre forme :

$$\begin{aligned}
 & \text{l'unité d'intensité de lumière } (C) = \\
 & \frac{R}{C} \text{ unités d'intensité de lumière } (\lambda_R) \\
 & + \frac{G}{C} \text{ unités d'intensité de lumière } (\lambda_G) \\
 & + \frac{B}{C} \text{ unités d'intensité de lumière } (\lambda_B)
 \end{aligned} \tag{2}$$

D'autre part, GRASSMAN a montré que la brillance résultante d'une association de lumières est égale à la somme des brillances individuelles.

La brillance d'une source lumineuse étant directement liée à son intensité, nous avons la possibilité d'écrire la relation suivante :

$$C = R + G + B \tag{3}$$

L'équation (2) peut alors prendre la forme suivante :

$$(C) = \frac{R}{R + G + B} (\lambda_R) + \frac{G}{R + G + B} (\lambda_G) + \frac{B}{R + G + B} (\lambda_B) \tag{4}$$

Si nous posons :

$$r = \frac{R}{R + G + B}, \quad g = \frac{G}{R + G + B}, \quad b = \frac{B}{R + G + B} \tag{5}$$

La relation devient :

$$(C) = r (\lambda_R) + g (\lambda_G) + b (\lambda_B) \tag{6}$$

Ce qui veut dire qu'une unité d'intensité de lumière (C) est obtenue par la somme de r unités de lumière (λ_R), g unités de (λ_G) et b unités de (λ_B).

Les valeurs de R, G, B sont les coefficients tristimulaires de la couleur C. Les valeurs de r, g, b sont les coefficients trichromatiques.

III°) SIGNIFICATION PHYSIQUE ET EXPRESSIONS MATHÉMATIQUES DE R, G, B

Les coefficients R, G, B sont, en réalité, les trois signaux qui atteignent le cerveau et qui font que celui-ci a une impression colorée.

Bien entendu, avant d'atteindre le cerveau, les signaux évoluent en fonction de plusieurs paramètres qui sont :

- le support coloré,
- l'illuminant,
- l'oeil.

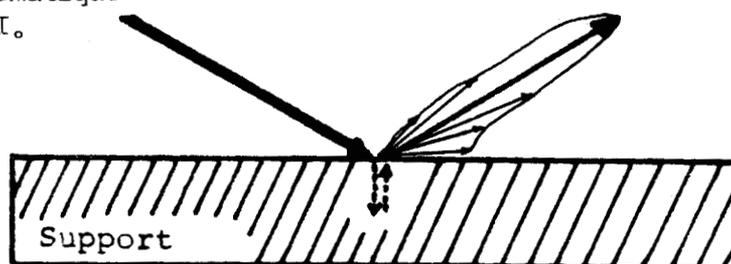
Nous allons étudier séparément chacun de ces paramètres.

1°) Le support coloré

Si nous éclairons un support coloré avec une source monochromatique une certaine partie de la lumière est absorbée par le support, une autre partie est réfléchi. Le rapport de l'intensité lumineuse réfléchi et de celle qui est émise s'appelle R : coefficient de réémission (Fig. 3).

Source monochromatique
d'intensité : I_0

Intensité réémise : I_r



$$R = \frac{I_0}{I_r}$$

Réémission de la lumière

avec : $0 \leq R \leq 1$

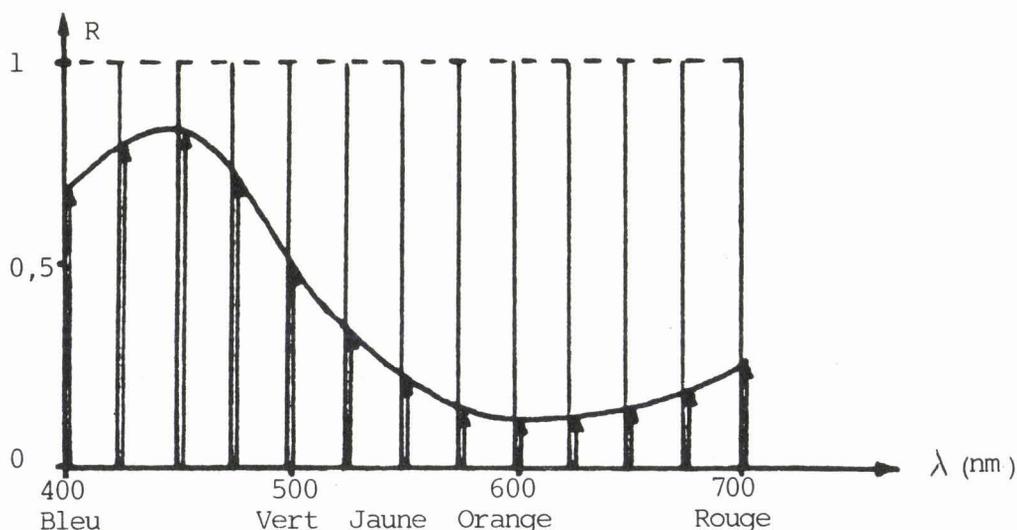
Fig. I - 03

$$\text{On a } R(\lambda) = \frac{I_r(\lambda)}{I_o(\lambda)} = \frac{\text{Intensité réémise}}{\text{Intensité incidente}} \quad (7)$$

La valeur de R est donnée à une longueur d'onde fixée et ne dépend d'aucun autre élément que le support coloré.

Si on éclaire le même support à différentes longueurs d'onde du spectre visible, on s'aperçoit que certains rayonnements sont plus absorbés que d'autres et qu'ainsi la valeur de R évolue lorsque λ change.

Sachant que le spectre visible se situe dans le domaine des longueurs d'onde 400 nm à 700 nm, nous pouvons définir un support coloré par sa courbe de réémission $R = f(\lambda)$ (Fig. 4).



Courbe de réémission d'un support bleu

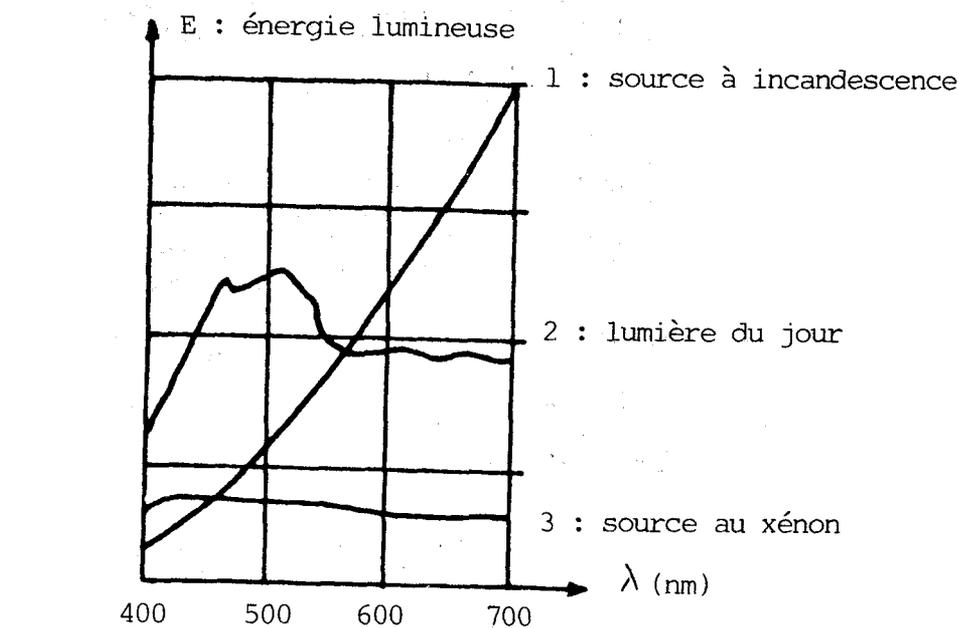
Fig. J - 04

2°) Les illuminants

Nous avons dit auparavant qu'une lumière blanche est composée de toutes les lumières colorées. Néanmoins, il existe plusieurs "blancheurs". Ainsi la lumière du soleil n'est pas la même à midi qu'à 18 H.

Nous sommes donc amenés à définir une source lumineuse par sa courbe énergétique en fonction de la longueur d'onde. Certaines sources ont des dominantes rouges (lampe à incandescence) d'autres sont légèrement bleutées (lumière du jour).

Les principales courbes sont les suivantes (Fig. 5) :



Courbes spectrales de sources lumineuses

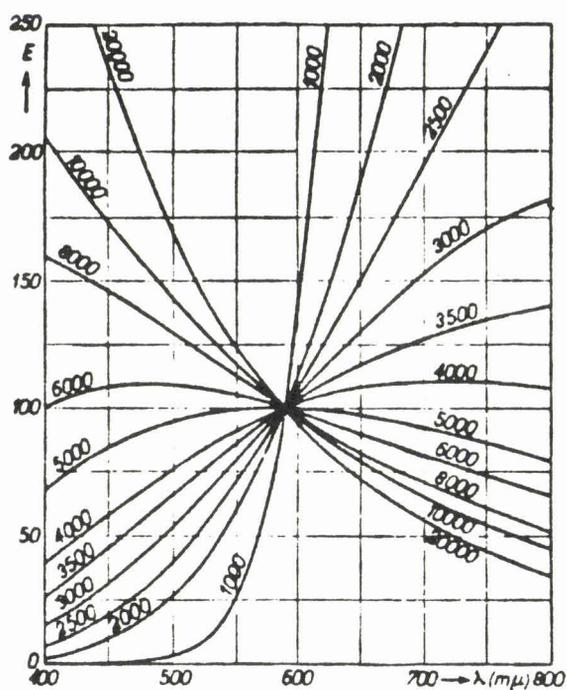
Fig. I - 05

Une source peut également être définie par ce qu'on appelle la "température de couleur".

En effet, nous avons remarqué que lorsqu'un corps cristallin est chauffé, il se crée une agitation moléculaire directement liée à la température. Cette agitation émet un rayonnement continu dans tout le spectre dont la couleur passe du rouge sombre (vers 500 ° C), au blanc (vers 5 000 ° C) puis au bleu.

Il a été possible de relever les courbes énergétiques de ces rayonnements aux différentes températures grâce à des expériences réalisées à l'aide d'un corps noir en platine chauffé.

Les courbes sont les suivantes (Fig. 6) :



Distribution spectrale relative du rayonnement noir aux températures de 1000 à 20 000 °K.

Fig. T - 06

Par conséquent, une source lumineuse continue, c'est-à-dire qui émet dans tout le spectre visible, peut être définie de deux manières :

- par sa courbe énergétique, $E = f(\lambda)$
- par sa température de couleur

Certains illuminants ont été normalisés, par exemple :

- source C = 6 500 ° K
- source A = 2 850 ° K

3°) L'oeil

La rétine de l'oeil est tapissée de cellules sensibles à la lumière.

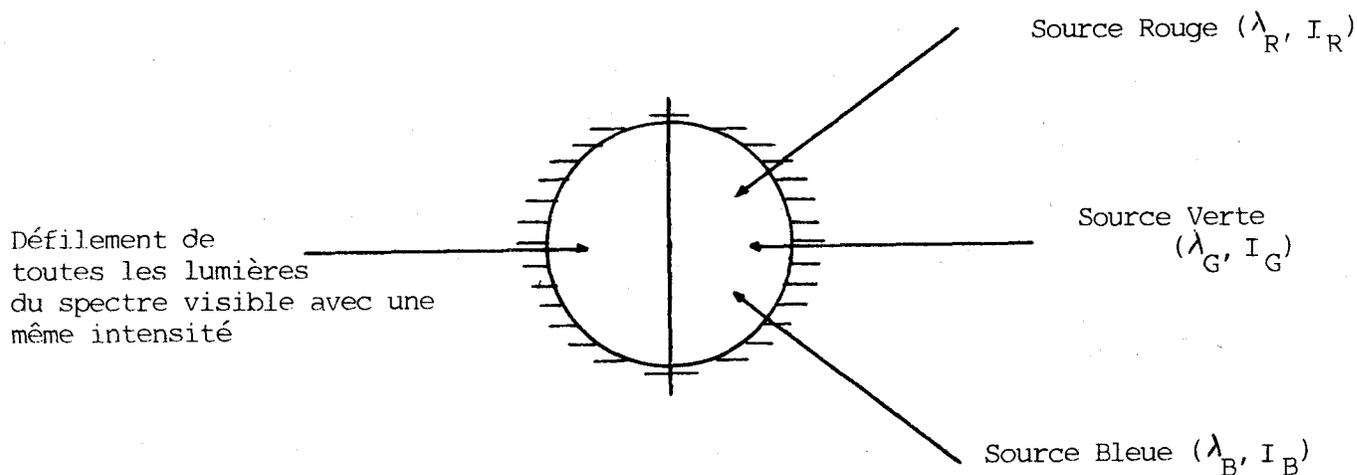
On distingue deux sortes de capteurs optiques :

- les bâtonnets sont très sensibles mais ne permettent pas de distinguer les couleurs. Ils sont utiles la nuit.
- les cônes ne sont excités que sous une haute intensité lumineuse et nous permettent de voir les différentes couleurs. Il y a trois sortes de cônes dont on a pu, par expérience, mesurer les sensibilités aux différentes longueurs d'onde du spectre visible.

L'expérience est la suivante :

Sur un écran blanc divisé en deux, nous éclairons un côté successivement avec toutes les sources monochromatiques du spectre visible, et de l'autre côté avec trois sources monochromatiques aux couleurs fondamentales.

Les intensités des trois fondamentales étant réglables, nous arrivons à reproduire chacune des sources monochromatiques (Fig. 7)

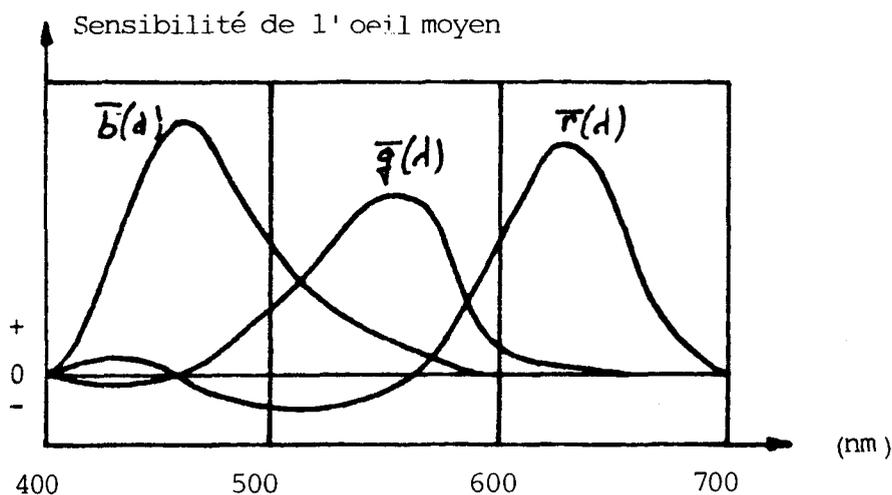


Mesure de la sensibilité de l'oeil

Fig. I - 07

Pour chacune des couleurs reproduites nous avons trois valeurs d'intensité des fondamentales : r, g, b. Lorsque l'expérience est terminée, nous pouvons tracer les évolutions de r, g, b, en fonction des longueurs d'ondes.

Cette expérience réalisée avec un grand nombre de personnes différentes a fourni des courbes moyennes de sensibilité. Nous définissons ainsi un oeil "moyen". Les courbes sont appelées $r(\lambda)$, $g(\lambda)$, $b(\lambda)$. (Fig. 8)



Courbes de sensibilité de l'oeil

Fig. I - 08

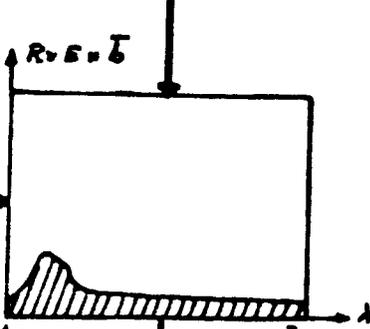
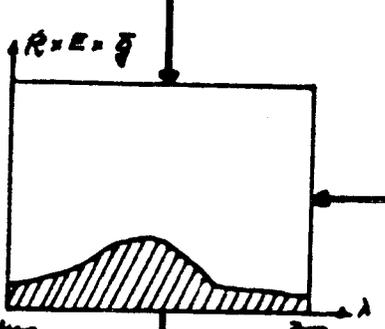
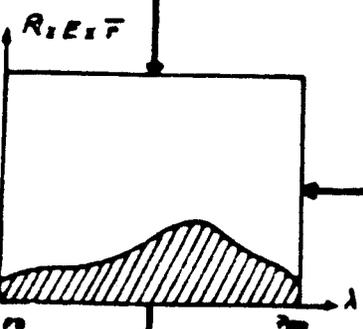
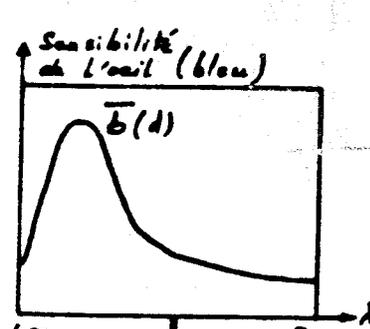
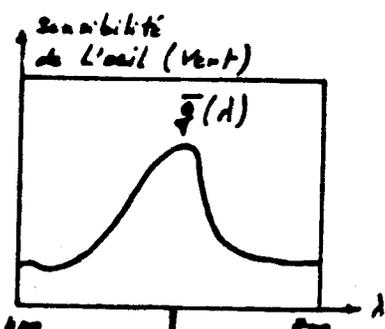
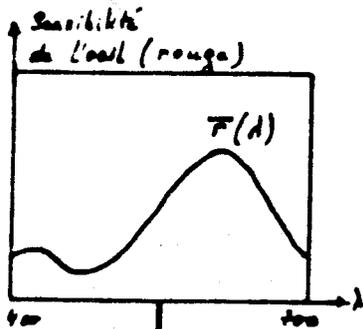
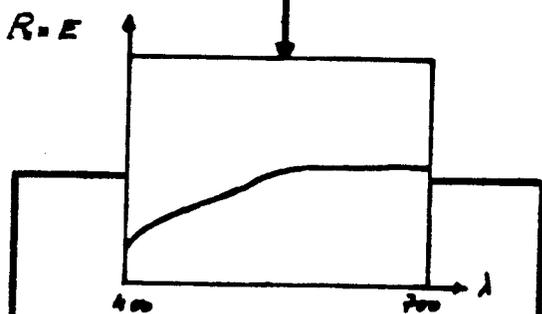
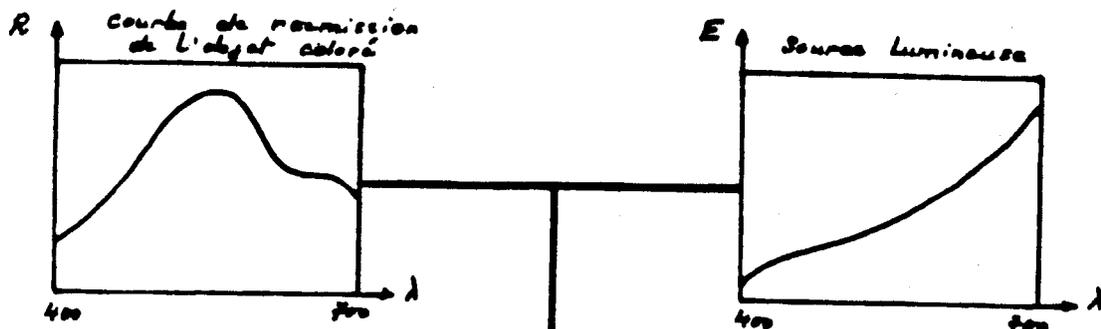
Remarque : il existe une partie négative dans ces courbes. Ceci est dû au fait qu'il n'est pas toujours possible de reproduire une couleur avec les trois fondamentales. On est alors amené à faire passer une des trois couleurs de base de l'autre côté de l'écran et à compter son intensité négativement.

4°) Synthèse

Nous avons mis en évidence les caractéristiques essentielles de chacun des éléments qui interviennent dans la sensation des couleurs. Bien entendu, le cerveau reçoit la synthèse, que nous avons schématisée dans la figure 9, cf page suivante.

Synthèse de la couleur

Fig. I - 09



R

G

B



Les expressions mathématiques de R, G, B, sont les suivantes :

$$\begin{aligned}
 R &= \int_{400}^{700} (R \cdot E \cdot \bar{r}) d\lambda \\
 G &= \int_{400}^{700} (R \cdot E \cdot \bar{g}) d\lambda \\
 B &= \int_{400}^{700} (R \cdot E \cdot \bar{b}) d\lambda
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

IV°) SYSTEME DE CLASSEMENT R - G - B

Nous avons vu qu'une couleur peut être définie par ses coefficients tris-
timulaires (R, G, B) ou par les coefficients trichromatiques (r, g, b).

Ces derniers vérifient la relation :

$$r + g + b = 1 \tag{9}$$

Nous remarquons que la connaissance de deux coefficients trichromatiques entraînent, par déduction, la connaissance du troisième :

$$r + g = 1 - b \tag{10}$$

Nous pouvons donc représenter, dans un plan ayant pour axes r et g, n'importe quelle couleur dont nous connaissons les coordonnées trichromatiques. En particulier, nous pouvons tracer la ligne représentant toutes les couleurs pures : le spectrum locus (Fig. 10).

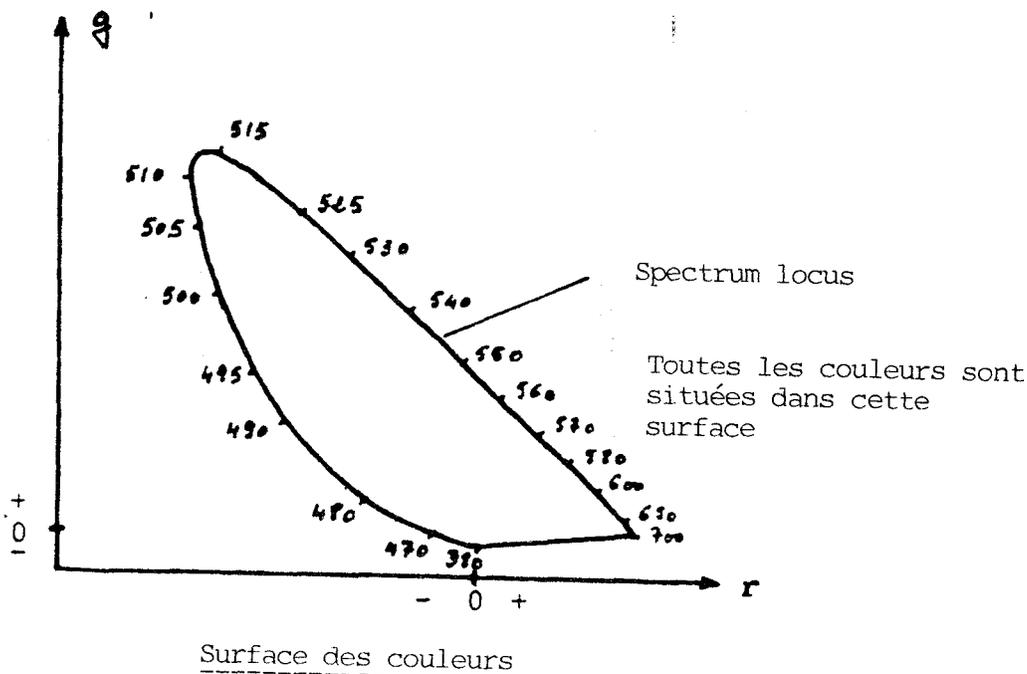


Fig. I - 10

V°) LE SYSTEME DE CLASSEMENT X Y Z DE LA COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE

Le système R G B présente certains défauts que nous n'allons pas énumérer. Néanmoins, nous avons pu remarquer que les courbes de sensibilité de l'oeil (\bar{r} , \bar{g} , \bar{b}), présentent des parties négatives gênantes.

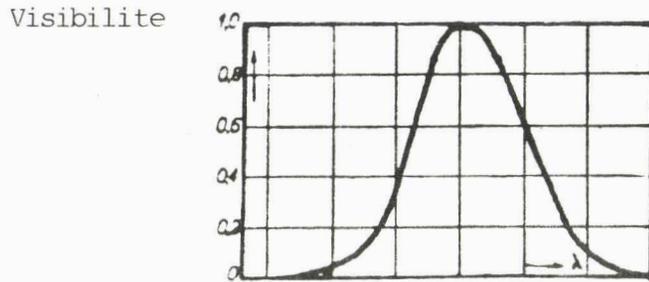
Des mathématiciens ont transformé le modèle réel R, G, B en un modèle fictif X, Y, Z n'ayant plus les défauts du précédent.

Pour cette raison, ils ont calculé un "oeil moyen" théorique en s'inspirant de "l'oeil moyen" réel.

Nous obtenons ainsi trois courbes de sensibilité $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ qui correspondent aux courbes $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$, $\bar{b}(\lambda)$.

Une particularité de cette transformation est de faire coïncider la courbe $\bar{y}(\lambda)$ avec la courbe de visibilité de l'oeil. Cette dernière représente la sensibilité de l'oeil en ce qui concerne la brillance d'un rayonnement en dehors de toute notion de couleur. Par exemple, si nous regardons une source verte qui émet un rayonnement avec une intensité I, nous aurons une plus forte impression de lumière que si nous regardons une source rouge dont l'intensité est la même.

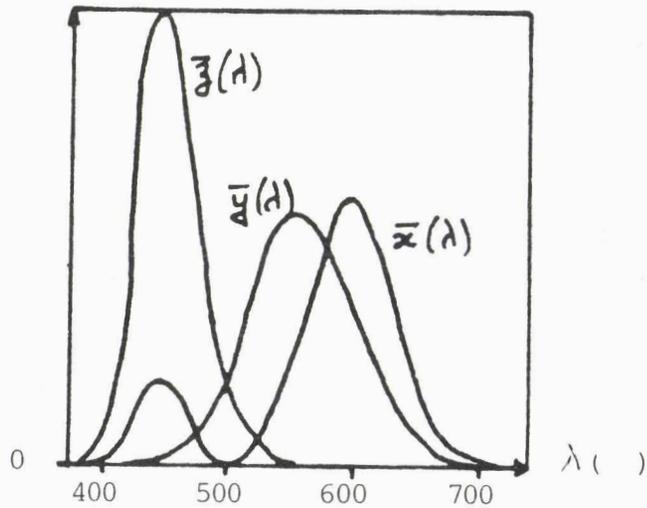
La courbe de visibilité de l'oeil est la suivante (Fig. 11) :



Courbe de visibilité de l'oeil
Fig. J - 11

Les courbes $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ sont indiquées sur la figure 12.

Sensibilité



Courbes de sensibilité de l'oeil théorique moyen

Fig. J - 12

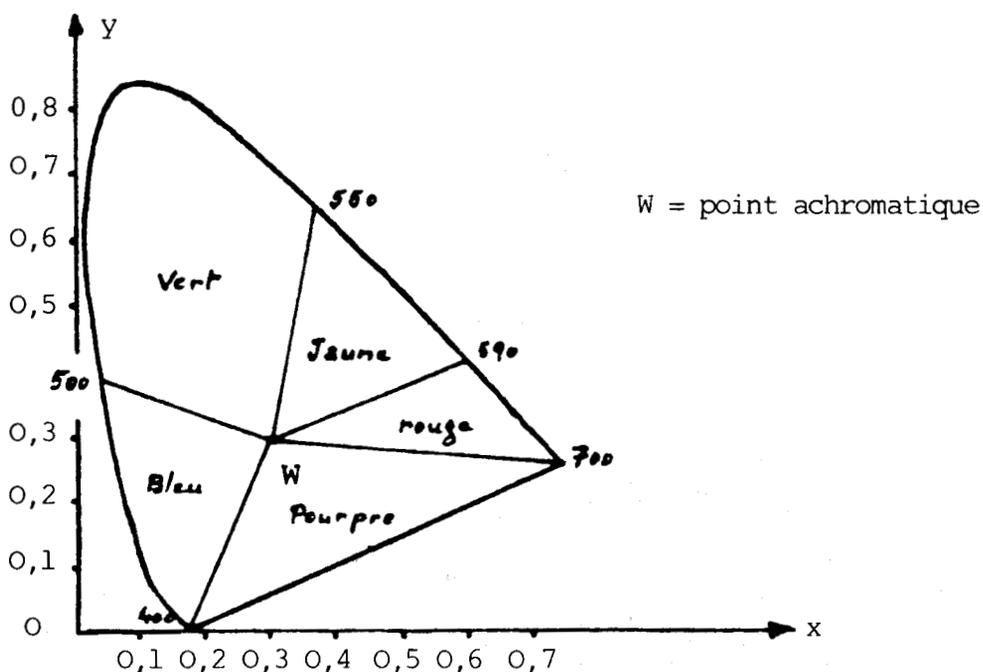
Les coefficients tristimulaires et trichromatiques modifiés deviennent :

$$\begin{aligned}
 X &= \int_{400}^{700} (R \cdot E \cdot \bar{x}) d\lambda \\
 Y &= \int_{400}^{700} (R \cdot E \cdot \bar{y}) d\lambda \\
 Z &= \int_{400}^{700} (R \cdot E \cdot \bar{z}) d\lambda
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

.../...

$$\text{et } x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}, \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (12)$$

La surface des couleurs calculées à l'aide de la courbe d'énergie de l'illuminant C (lumière du jour) est donnée en figure 13.



Surface des couleurs

Fig. I - 13

Un des avantages du système X, Y, Z est donné par le fait que la valeur Y représente la luminosité de l'objet coloré parce que la courbe $\bar{y}(\lambda)$ coïncide avec la visibilité de l'oeil.

En conséquence, nous pouvons définir une nuance d'une manière beaucoup plus précise en connaissant :

- sa chromaticité (couleur) : coordonnées x, y
- sa luminosité (hauteur de ton) : valeur de Y

Le système bidimensionnel (x, y) devient un espace dont les axes sont (x, y, Y).

L'ensemble de toutes les couleurs appartient à un volume dont l'image est représentée à la figure 14.

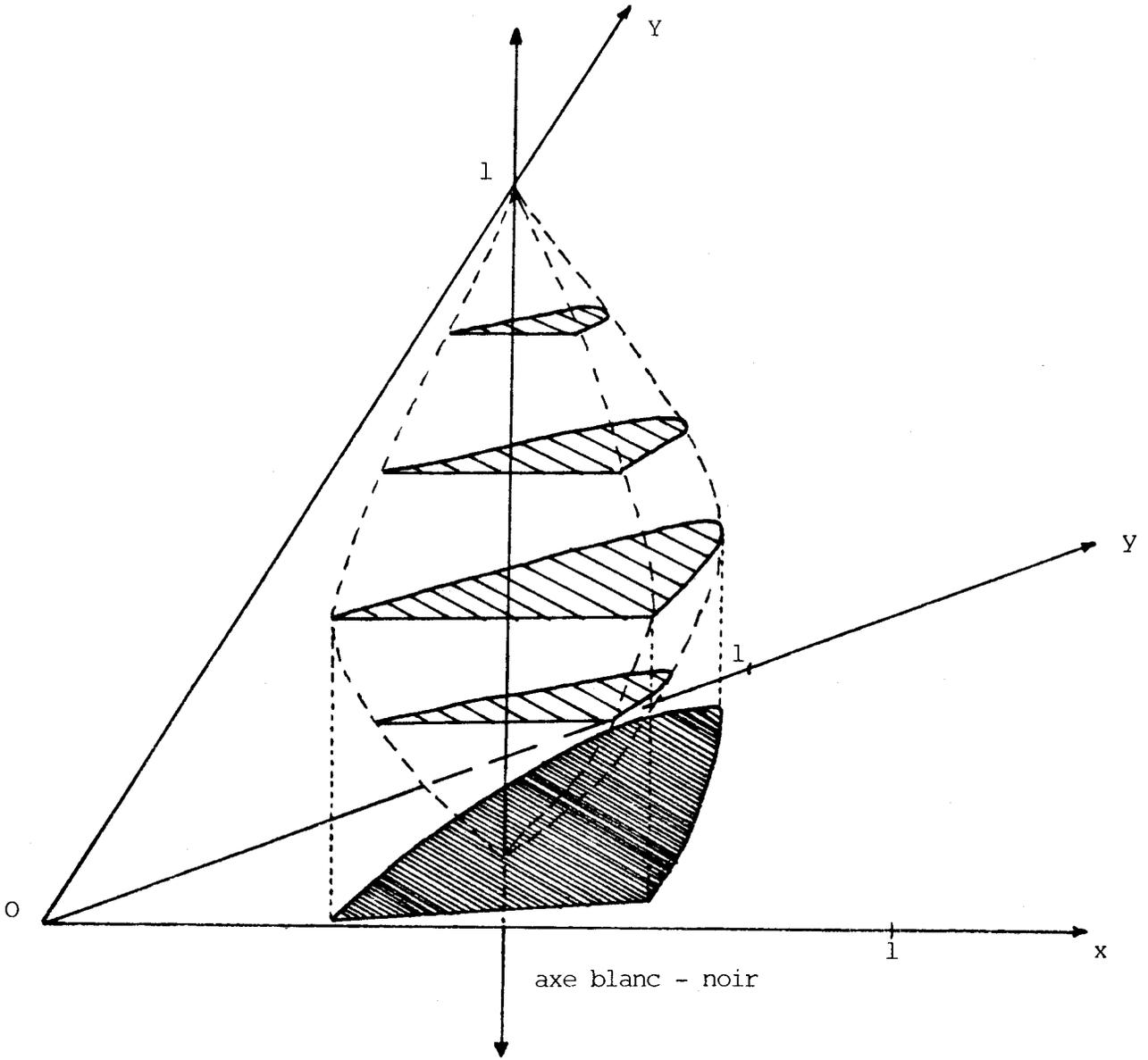


Image de l'espace des couleurs

Fig. 14 ²⁰⁰⁵ ₁₁₁₁₁

VI°) COLORIMETRIE ADDITIVE ET SOUSTRUCTIVE

1°) Colorimétrie soustractive

Si nous envoyons un rayonnement blanc successivement au travers de trois filtres colorés : Bleu, Vert, Rouge, nous observons que la lumière s'affaiblit un peu plus au travers de chaque filtre.

A la sortie du troisième filtre, la lumière est très sombre ; c'est le phénomène de colorimétrie soustractive représentée en Figure 16.

Nous retrouvons ce principe de soustraction en peinture et en teinture où chaque pigment ou colorant joue le rôle de filtre double (Fig. 15 & 16).

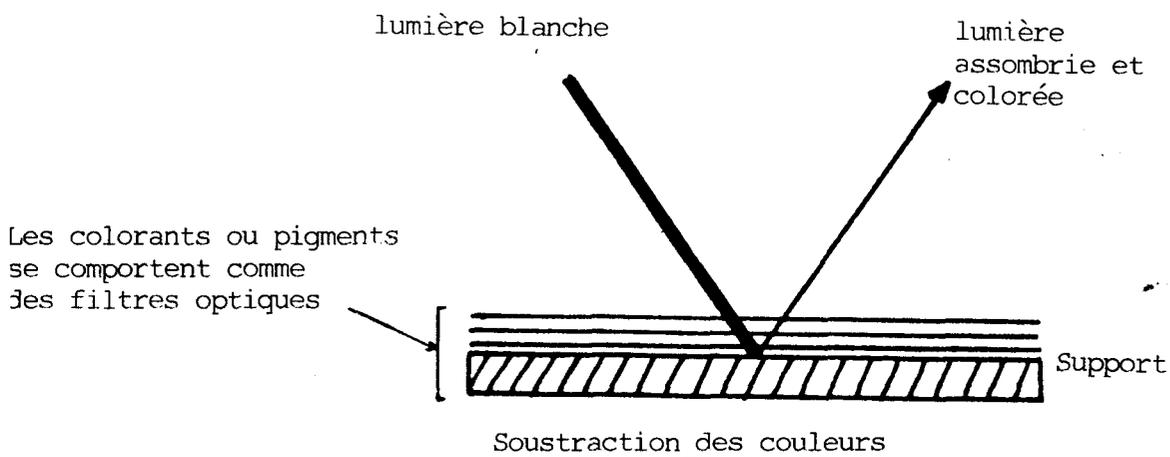


Fig. I - 15

N.B. = les mélanges soustractifs obéissent à la loi de Kubelka et Mink.

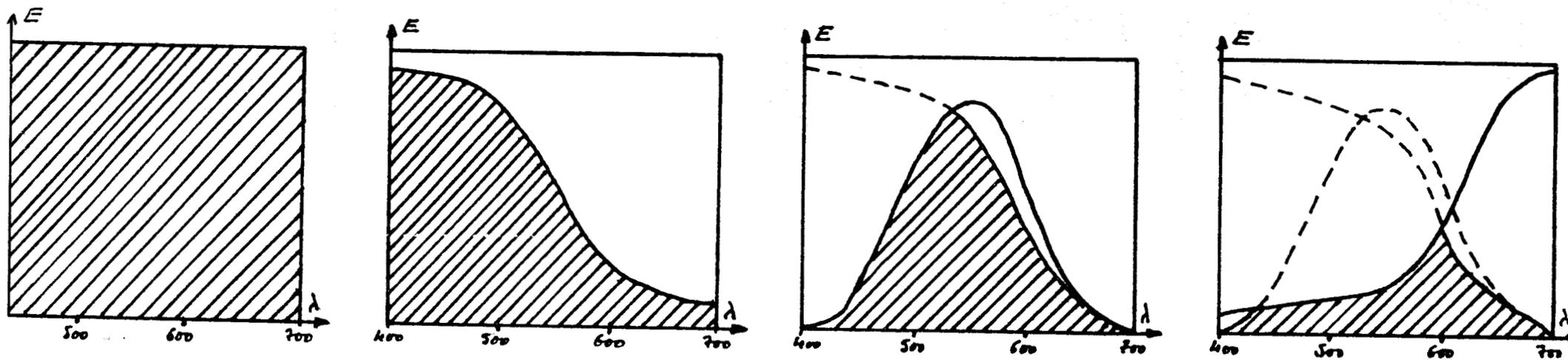
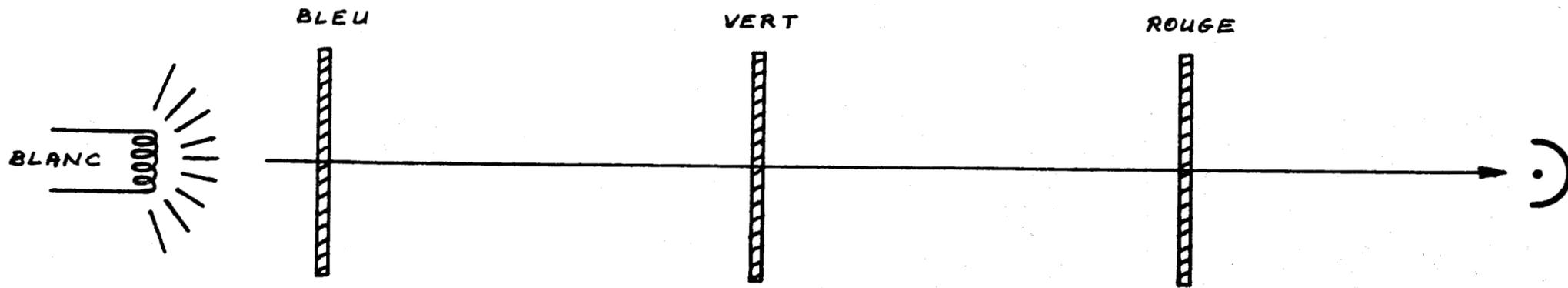
2°) Colorimétrie additive

Lorsque nous éclairons un écran blanc avec plusieurs sources colorées, la lumière résultante est de plus en plus blanche à mesure que l'on ajoute des sources. C'est le phénomène de colorimétrie additive représenté en Figure 17.

Les mélanges additifs obéissent à la règle suivante, pour une trichromie :

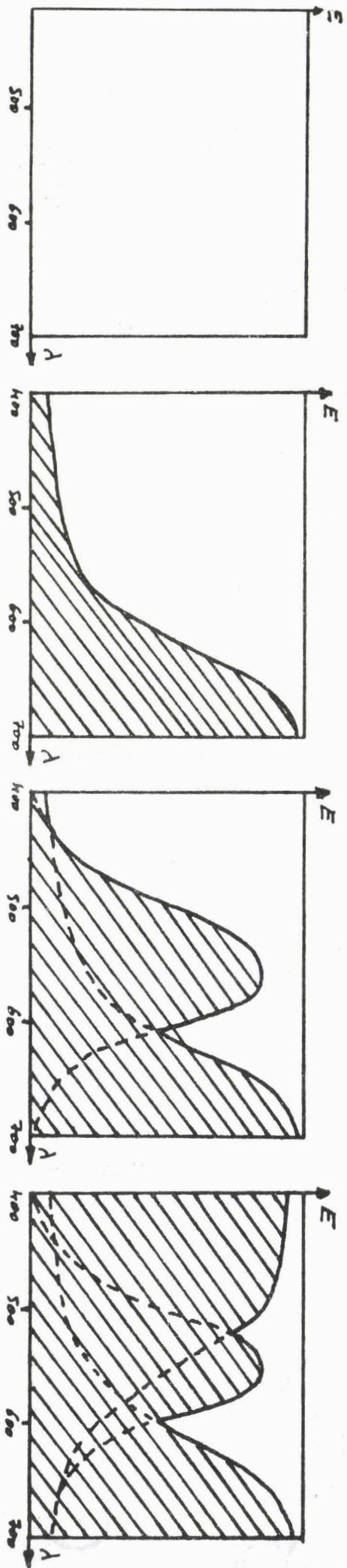
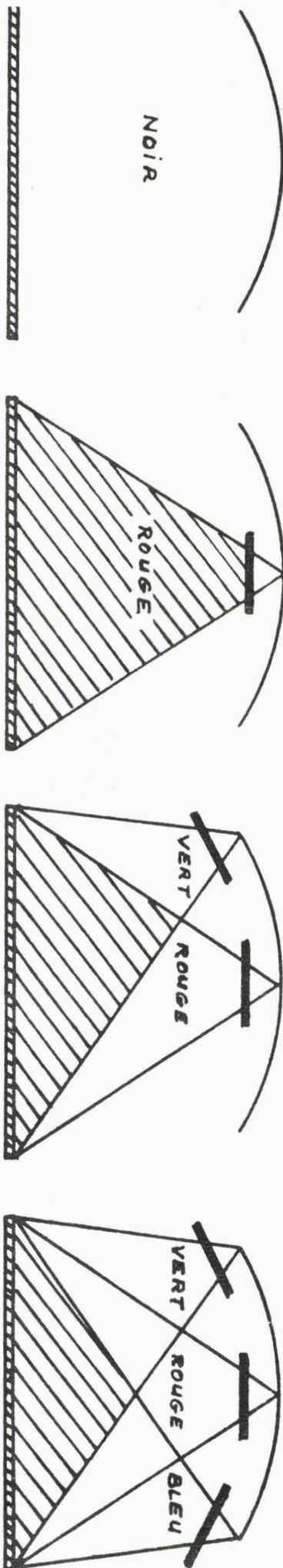
$$\begin{aligned} X_M &= X_R + X_V + X_B \\ Y_M &= Y_R + Y_V + Y_B \\ Z_M &= Z_R + Z_V + Z_B \end{aligned} \quad (13)$$

(Indices : M = mélange, R = rouge, V = vert, B = bleu)



COLORIMETRIE SOUSTRACTIVE

Fig. 16



COLORIMETRIE ADDITIVE

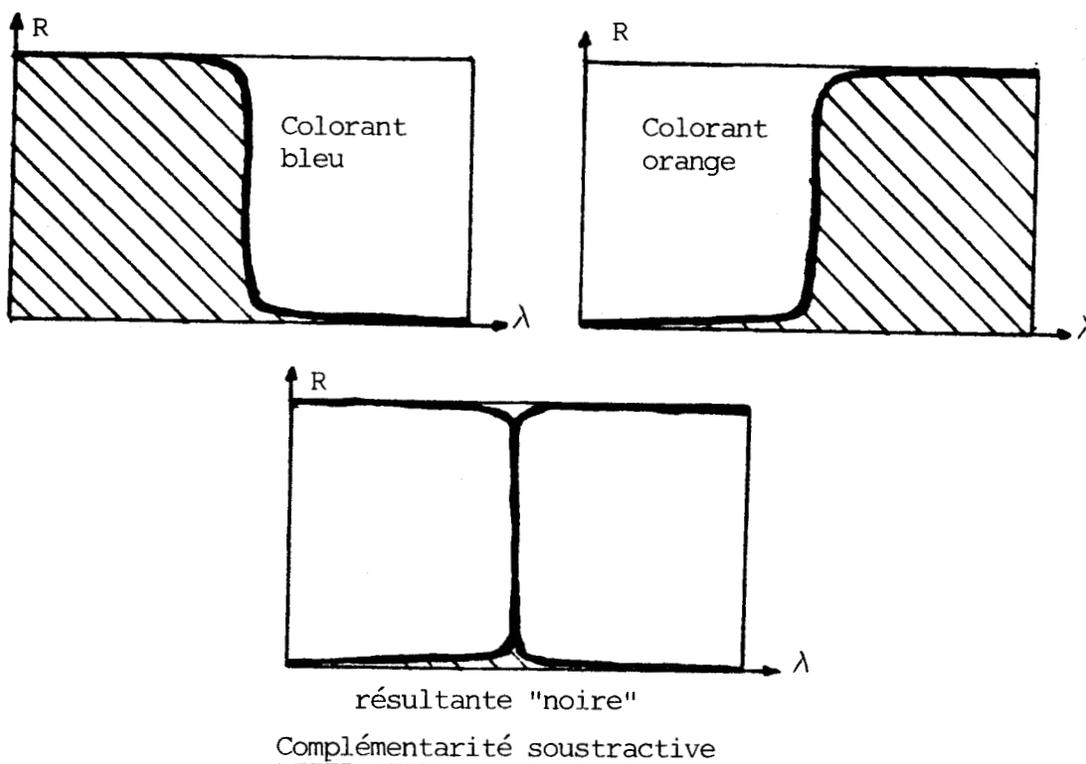
Fig. 17

3°) Couleurs complémentaires

3°a - Mélange soustractif

Soient A et B deux couleurs dont le mélange est soustractif. Si celui-ci est noir, on dit que les deux nuances sont complémentaires.

Par exemple, le bleu et l'orange sont complémentaires (Fig. 18).



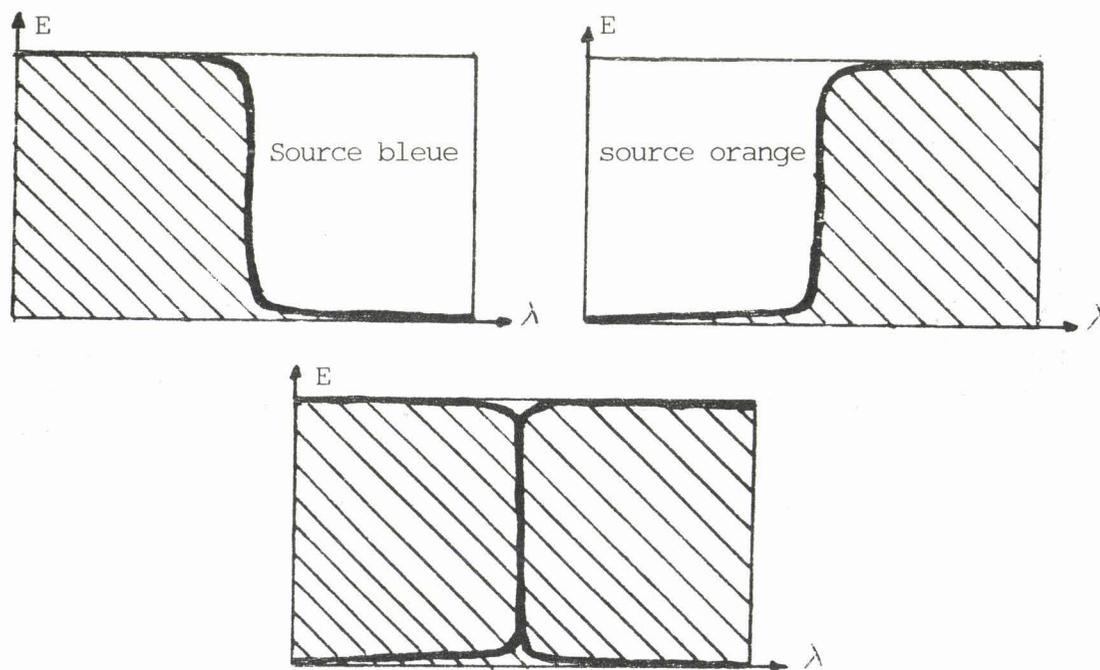
Complémentarité soustractive

Fig. I - 18

3°b - Mélange additif

Deux couleurs dont le mélange est additif sont complémentaires si celui-ci est blanc.

Par exemple : le bleu et l'orange sont complémentaires (Fig. 19).

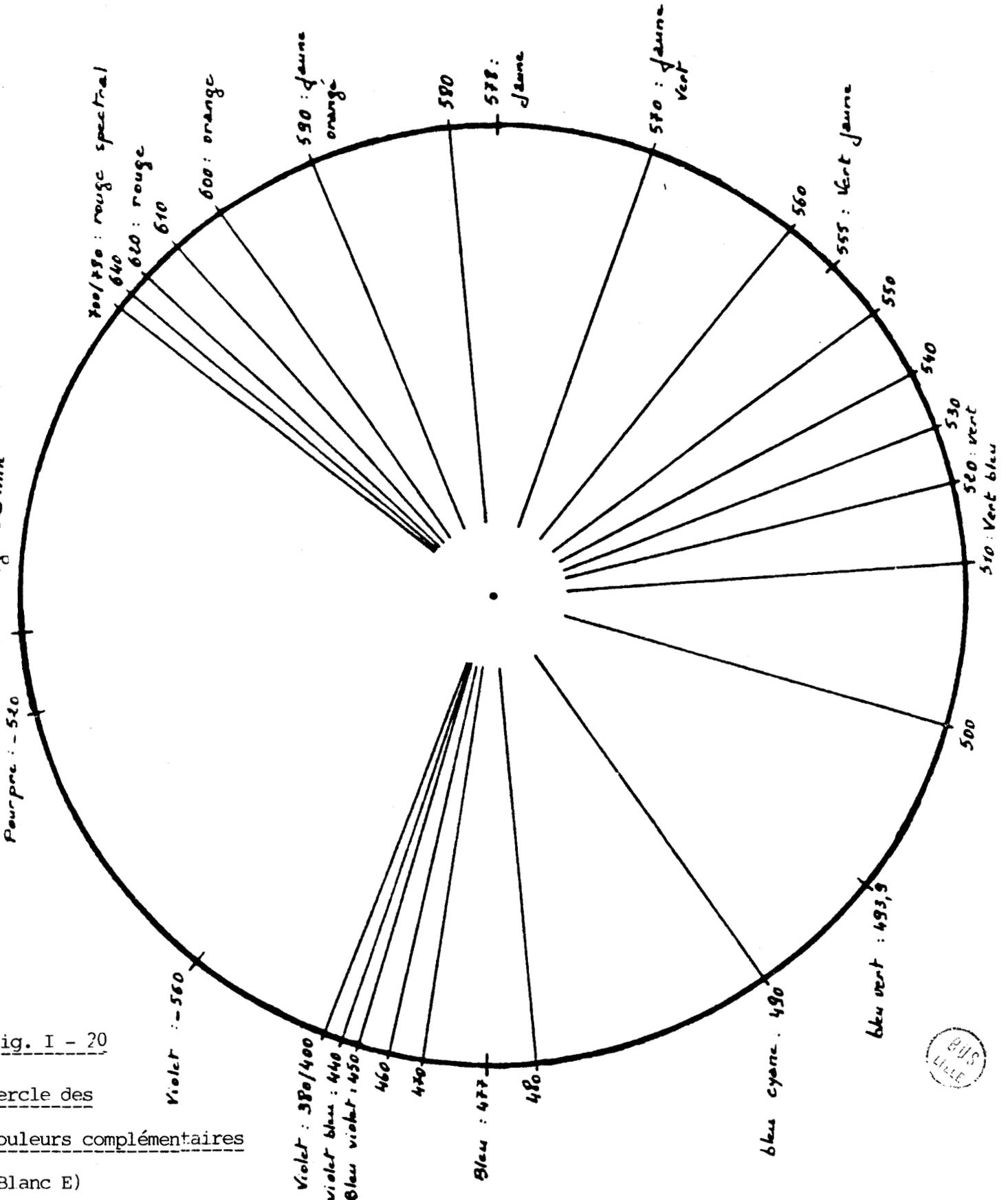


Complémentarité additive

Fig. I - 19

3°c - Cercle de couleurs complémentaires

Nous voyons que les couleurs complémentaires sont les mêmes quelque soit la nature du mélange. Nous pouvons les représenter sur un cercle tel que chaque couple de points diamétralement opposés représente des compléments (Fig. 20).



CHAPITRE II

SONDE INDUSTRIELLE

- o o o o -

- I N T R O D U C T I O N -

Si l'on observe en fonctionnement la sonde optique proposée par Ben Habib, il convient de noter les remarques suivantes :

- la mesure d'une courbe de réémission nécessite un arrêt du déroulement du Jigger : en effet, le capteur doit être posé sur le rouleau de tissu entrant dans le bain de teinture.

- la matière textile portée à 90 ° C environ, crée de la condensation d'eau à l'intérieur de la tête de mesure.

Cette condensation ne peut avoir qu'une influence néfaste sur :

- l'éclairement : atténuation et répartition de lumière
- la mesure de réémission : modification.

Il apparaît que ces phénomènes ne doivent plus être admis à partir du moment où l'on envisage une mesure industrielle de la couleur des textiles en cours de teinture.

La sonde industrielle doit répondre aux exigences suivantes :

- mesure de la couleur en continu du processus de teinture.
 - résistance au milieu ambiant très corrosif des salles de teinture.
- En particulier le dégagement de vapeur d'eau ne doit pas influencer la mesure.

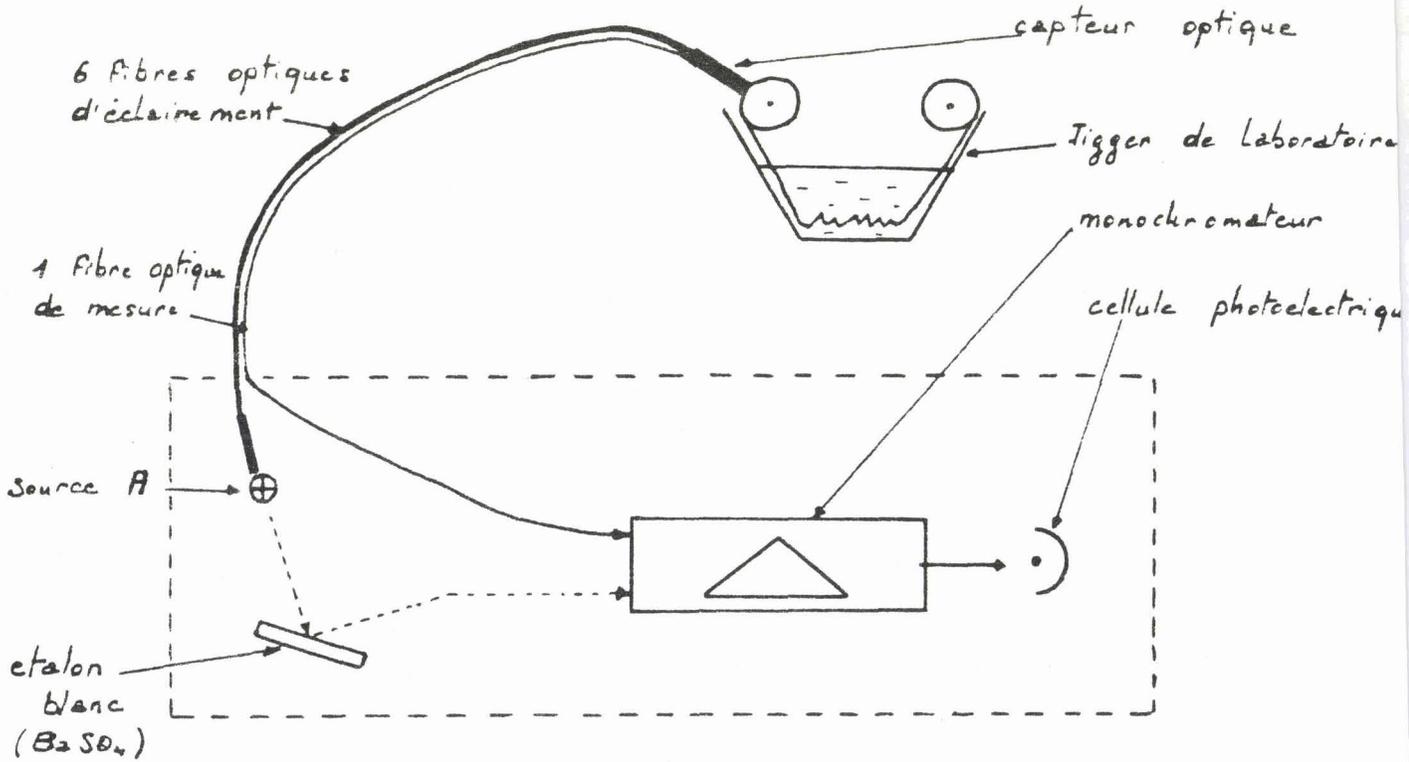
Ces raisons nous ont conduit à mettre au point un type de capteur colorimétrique dont voici la description.

1°) RAPPEL DU PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA SONDE DE BEN HABIB

La figure 1 de principe montre que le système de mesure est composé des éléments principaux suivants :

Une source lumineuse (type A), située à l'intérieur du spectrophotomètre de laboratoire, assure :

- l'éclairage direct d'un échantillon Blanc Etalon,
- l'éclairage du tissu à mesurer au moyen de 6 fibres optiques.



Principe du Capteur de BEN HABIB

Fig. II - 1

Une fibre optique de "retour" permet la saisie de la réémission relative-
ment à celle du blanc étalon qui est supposée réémettre 100 % de la lumière
reçue.

Ce mode de travail présente, en plus des remarques déjà faites préalablement, des contraintes difficiles à respecter si l'on souhaite réaliser des mesures industrielles. Ces contraintes sont les suivantes :

- le transport de la lumière depuis le spectrophotomètre jusqu'au site de teinture nécessite 6 fibres optiques de 1 000 microns. Cette méthode d'éclairage doit être évitée, tant pour des raisons de coût que pour des raisons purement techniques.

En effet, la qualité d'éclairage du tissu est tout à fait inférieure à celle de l'étalon blanc. Cette insuffisance doit être palliée mathématiquement par des vecteurs correcteurs importants.

- notre objectif est de réaliser un dispositif de mesure entièrement industriel. Il ne peut être atteint que par étapes successives, dont l'une est la suppression de l'étalon blanc utilisé dans tous les spectrophotomètres de laboratoire.

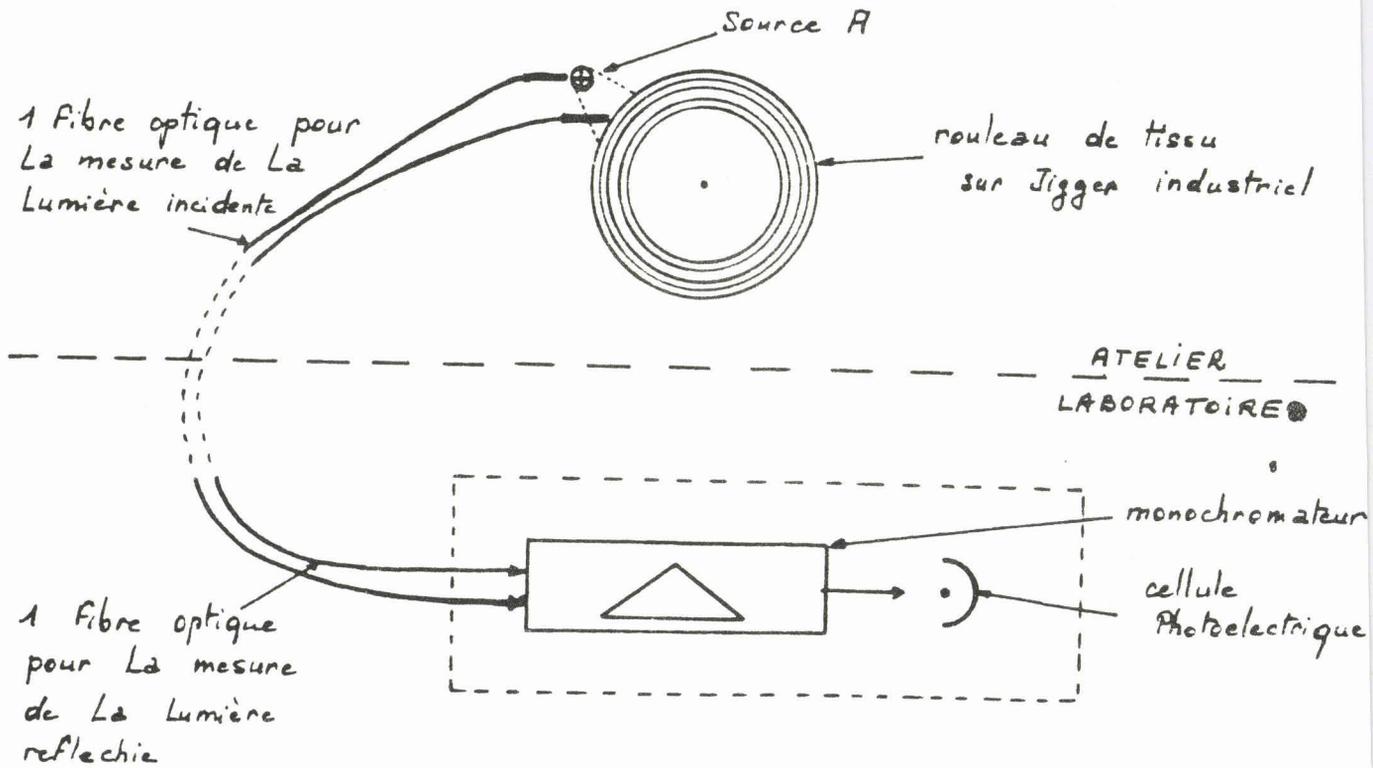
En effet, ces étalons sont très sensibles aux conditions atmosphériques et se dégraderaient immédiatement dans le milieu industriel.

Pour les raisons exposées ci-dessus, nous avons été amenés à considérer un nouveau principe de fonctionnement de la sonde optique et à mettre en oeuvre un capteur industriel.

II°) PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA SONDE INDUSTRIELLE

Le dispositif proposé ne comporte plus de référence blanche au sens du précédent capteur, mais se sert de la source lumineuse comme étalon. Par ailleurs, cette source est directement placée sur le site.

La figure 2, de principe, est la suivante :



Principe du Capteur Industriel

Fig. II - 2

En créant ce dispositif nous avons voulu réduire autant que nous le pouvons le rôle du matériel de mesure resté en laboratoire.

L'évolution apparaît dans le tableau 1 suivant :

		Capteur de BEN HABIB	Nouveau capteur
Liaison par fibres optiques	Appareillage en laboratoire	<ul style="list-style-type: none"> - Source lumineuse - Etalon blanc ($Ba SO_4$) - Monochromateur - Cellule photoélectrique 	<ul style="list-style-type: none"> - Monochromateur - Cellule photoélectrique
	Appareillage sur site	<ul style="list-style-type: none"> - Tête de mesure pour éclairage et saisie des réémissions (appareil de teinture arrêté) 	<ul style="list-style-type: none"> - Source lumineuse - Tête de mesure : <ul style="list-style-type: none"> . de la lumière directe . de la lumière réémise

Evolution du matériel de mesure

Tableau II - 01

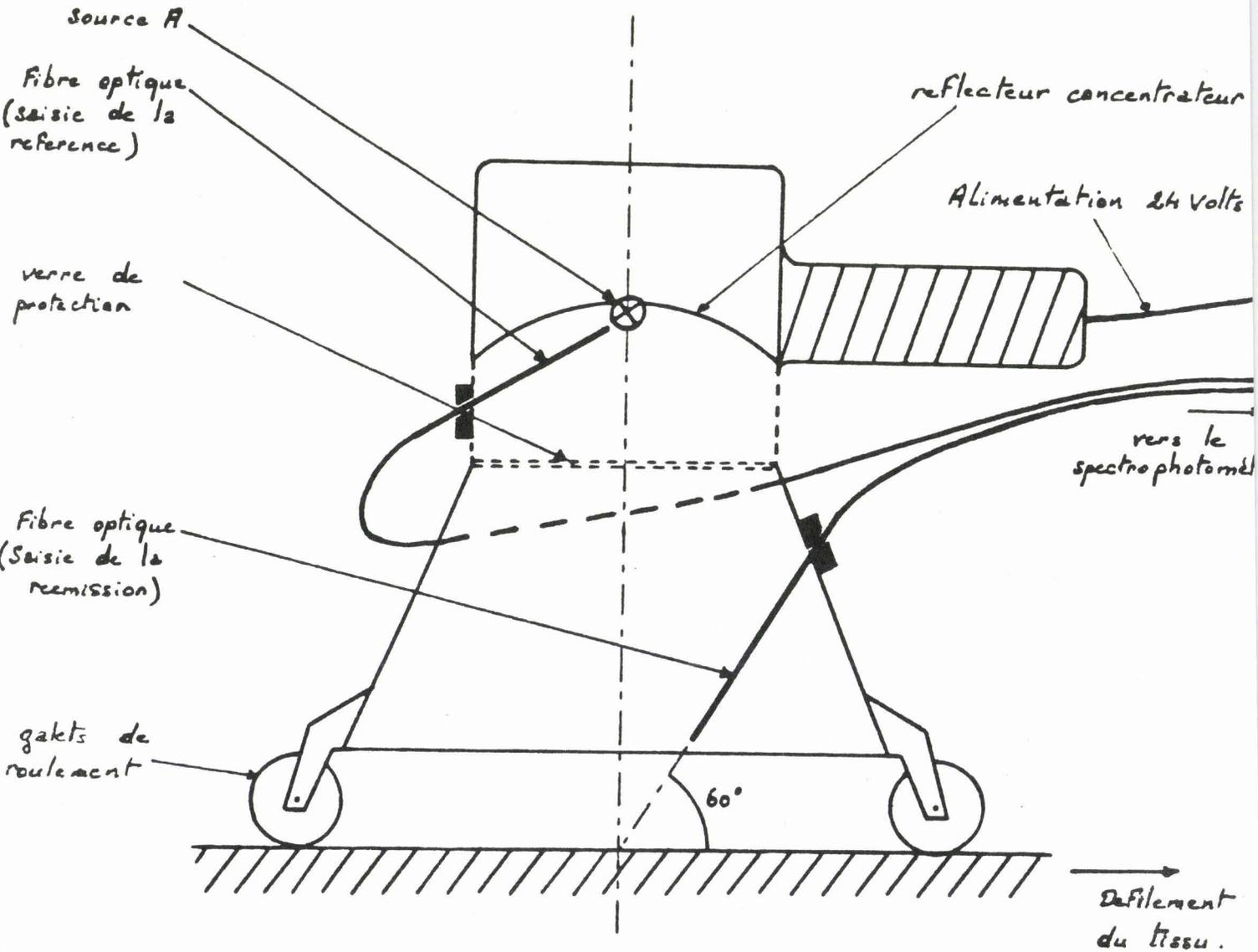
Il serait idéal de créer un appareil entièrement industriel. Toutefois, la réalisation de ce projet ne peut être faite qu'ultérieurement, étant donné la complexité des problèmes techniques qu'elle soulève. En particulier, un tel appareil devrait :

- être de petite taille pour être transportable facilement,
- ne comporter aucune partie mobile de façon à éviter au maximum les dérèglages d'ordre mécanique,
- ne comporter aucun miroir ou autre élément sensible à la corrosion,
- rapide et fiable dans la saisie des spectres de réémissions.

III°) DESCRIPTION TECHNIQUE DE LA SONDE INDUSTRIELLE

La sonde est constituée d'une torche d'éclairage équipée d'une ampoule standard à halogènes d'une puissance de 150 watts alimentée en 24 volts (Fig. 3). Le spectre d'éclairage est continu, voisin de celui d'une source A.

Fig. II - 3



CAPTEUR INDUSTRIEL DE COULEUR

(echelle 1/2)

Les fibres optiques utilisées sont faites en silice d'un diamètre de 1 mm, leur longueur est de 6 m.

L'angle entre la fibre de saisie des réémissions et le tissu en déroulement est de 60 °. Il a été obtenu empiriquement de manière à éliminer les effets de la brillance très prononcés sur tissus mouillés.

Le défilement du tissu sur Jigger a atteint au cours des essais la vitesse nominale de 90 m/mn. La présence de roulettes latérales permet de maintenir le capteur à une distance du tissu quasiment égale depuis le début de la mesure jusqu'à la fin. Toutefois ces roulettes présentent le défaut de marquer légèrement le tissu, par modification locale du mouillage, et sont donc appelées à disparaître au profit d'un autre système.

IV°) LIAISON AVEC LE SPECTROPHOTOMETRE

Cf page suivante : figure II - 4.

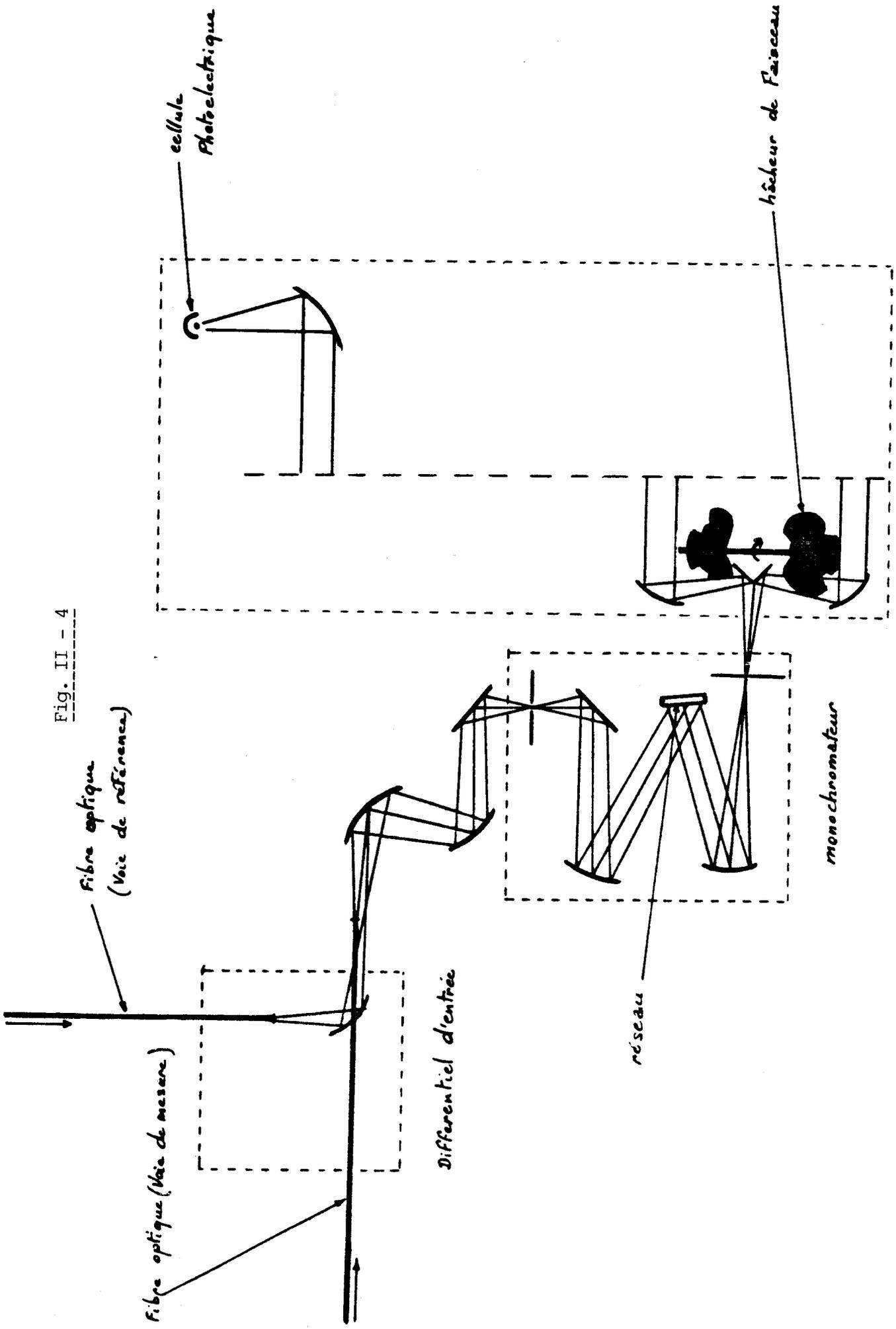


Fig. II - 4

V°) UTILISATION DE LA SONDE INDUSTRIELLE - ETALONNAGE AUTOMATIQUE

Sur un spectrophotomètre à référence blanche, le réglage de l'appareil s'effectue par calage à 100 % de réémission sur cet étalon et à 0 % de réémission en l'absence d'éclairement. En général, ce calage s'effectue automatiquement.

Selon notre principe la référence blanche est la source lumineuse. L'implantation figée des fibres dans le capteur ne nous permet pas de saisir l'intensité lumineuse incidente par les deux voies de mesure. Ceci nous a amené à procéder de façon différente pour réaliser l'étalonnage de l'appareil.

La méthode consiste à mesurer les courbes de réémission de 2 céramiques colorées étalon, proposées par la "British Ceramic Research Association". Les céramiques choisies sont :

- l'une claire (Light grey),
- l'autre foncée (Dark blue),

de telle sorte que la plage d'étalonnage soit la plus étendue possible. Un contrôle est ensuite réalisé par mesure d'une céramique de nuance moyenne (green).

Les courbes de réémissions (en %) des étalons sont les suivantes :

Longueurs d'onde (nm)	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
Light grey	53,2	54,6	56,4	57,8	59,0	59,9	60,6	60,4	59,7	60,1	57,7	57,5	57,8	58,0	57,8	56,4
Dark blue	15,5	13,4	8,9	4,7	2,3	1,5	1,1	1,1	0,6	0,5	0,3	0,3	0,5	0,7	1,5	6,0
Green	9,9	13,9	18,4	23,9	29,9	33,7	35,1	33,5	30,6	28,1	25,6	23,6	23,4	23,6	24,4	25,1

Courbes spectrales des étalons

Tableau II - 2

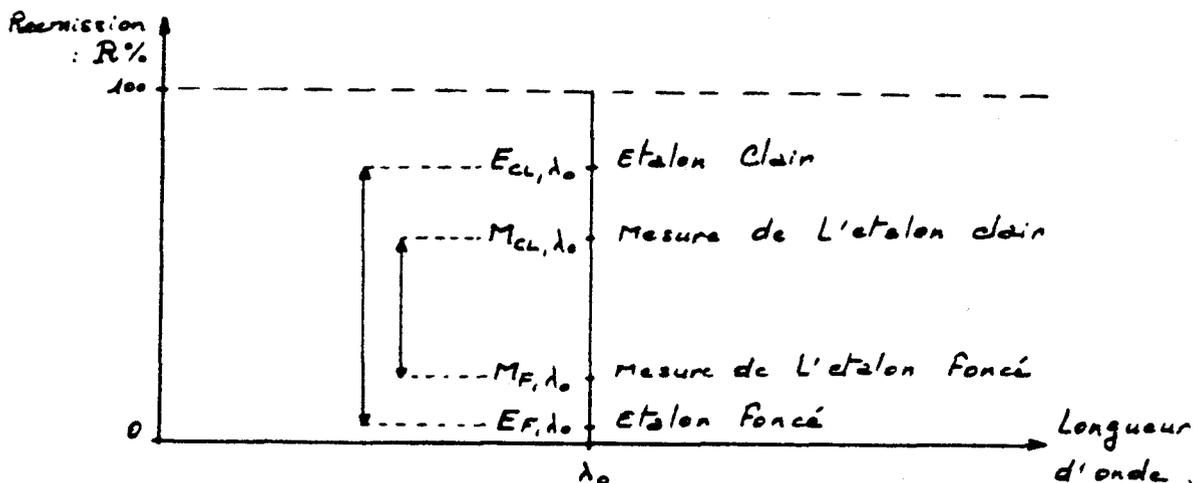
Les énergies de réémission saisies par le capteur industriel sont nécessairement déformées par le passage dans les fibres optiques : celles-ci se comportent comme des filtres.

Cette déformation se fait sur les deux voies de mesure, ce qui réduit son effet par un phénomène d'autoéquilibrage qui ne peut exister dans la sonde de Ben Habib.

Néanmoins, il est utile de corriger la mesure brute en lui faisant subir le moins possible de transformations.

1°) Principe de correction des mesures

La correction que nous avons établie est linéaire avec des paramètres différents à chaque longueur d'onde. Pour simplifier l'explication nous raisonnons à une longueur d'onde λ_0 donnée.



Mesures des Etalons comparées aux valeurs réelles

Fig. II - 5

Le domaine de réponse de la sonde est réduit du fait des déperditions d'énergie par transmission et translaté, à cause de lumières parasites inhérentes au matériel.

La correction de l'étendue du domaine de réponse peut être faite par l'utilisation d'un facteur de multiplication, la translation par addition d'une constante.

Si nous appelons R_{λ_0} la réémission réelle d'une couleur à la longueur d'onde λ_0 et M_{λ_0} , la mesure réalisée par le capteur, la correction est donnée par la relation :

$$M_{\lambda_0} = MUL_{\lambda_0} * R_{\lambda_0} + CTE_{\lambda_0}$$

$$\text{soit } R_{\lambda_0} = (M_{\lambda_0} - CTE_{\lambda_0}) / MUL_{\lambda_0}$$

Avec les paramètres MUL_{λ_0} et CTE_{λ_0} obtenus de la façon suivante :

$$MUL_{\lambda_0} = (M_{cl, \lambda_0} - M_{f, \lambda_0}) / (E_{cl, \lambda_0} - E_{f, \lambda_0})$$

$$CTE_{\lambda_0} = M_{cl, \lambda_0} - MUL_{\lambda_0} * E_{cl, \lambda_0}$$

L'application de la méthode à l'ensemble du spectre génère deux vecteurs MUL et CTE dont la validité est vérifiée à l'aide de la troisième céramique. Les vecteurs de correction sont calculés automatiquement à chaque mise en service de l'appareillage. L'analyse de nombreux résultats montre que les valeurs de MUL et CTE se dispersent dans les domaines suivants :

$$MUL \in [0,40 ; 0,50]$$

$$CTE \in [6,00 ; 8,00]$$

Les valeurs de CTE indiquent qu'il existe une lumière parasite qui vient perturber la mesure. Cette lumière correspond à une réémission de 7 % environ, et interdit de mesurer les nuances très foncées. Cette limite est à prendre en considération pour la mise au point d'un spectrophotomètre intégralement industriel. (Cette difficulté n'a pas été rencontrée sur un autre spectrophotomètre du même type).

2°) Validité de l'étalonnage

La mesure de la céramique moyenne permet d'obtenir par calcul la courbe théorique de réémission. Celle-ci est comparée à la référence.

Si nous appelons :

$E_{M,\lambda}$ = les valeurs de réémission de l'étalon moyen

$R_{M,\lambda}$ = les réémissions mesurées de l'étalon moyen

alors nous pouvons faire un calcul d'écart selon l'équation :

$$\text{Ecart} = \frac{1}{16} \sum_{\lambda=400}^{700} [(R_{M,\lambda} - CTE_{\lambda}) / MUL_{\lambda} - E_{M,\lambda}]^2$$

avec la longueur d'onde λ qui varie de 400 à 700 nm par pas de 20 nm.

L'écart maximum toléré est de 1 pour valider l'étalonnage, après quoi l'appareil est opérationnel. Ceci représente, en moyenne, une tolérance de $\pm 1\%$ d'écart de réémission.

Il n'est pas possible d'estimer l'écart colorimétrique toléré du fait que, dans la bande d'erreur tolérée, les courbes de réémission possibles peuvent se croiser et avoir une signification colorimétrique variable.

Nous n'avons pas voulu estimer la validité de l'étalonnage par calcul d'écarts colorimétriques parce qu'il n'existe pas à ce jour de méthode absolument valable.

Enfin la pratique de notre étalonnage a montré que nos mesures sont sérieuses et ont permis d'apporter des conclusions satisfaisantes à cette recherche.

A titre d'exemple, nous indiquons, ci-dessous, les valeurs d'un étalonnage pris au hasard

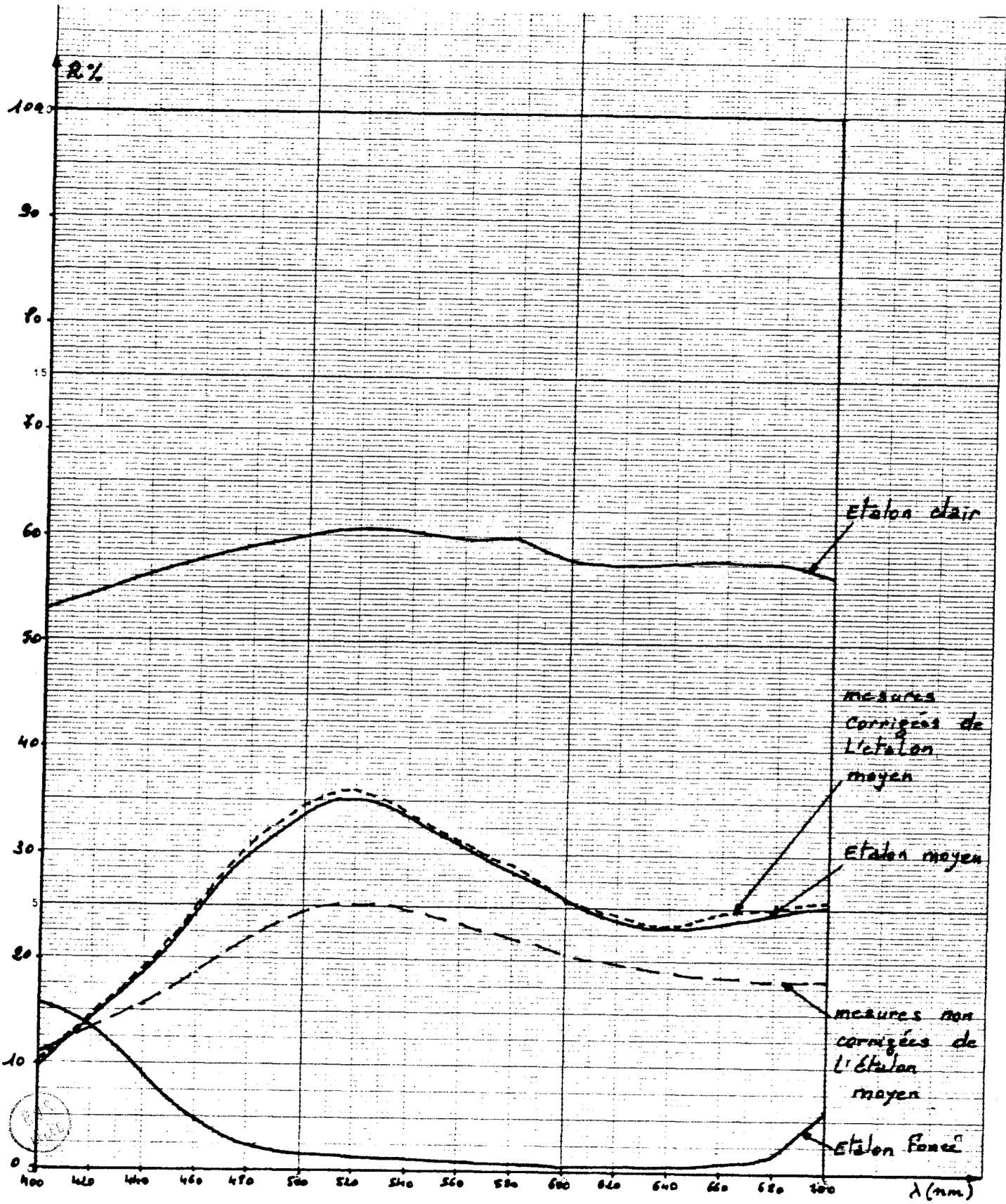
Longueur d'onde (nm)	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
Valeurs mesurées $M_{m,\lambda}$ %	10,81	13,22	15,58	18,68	22,10	24,55	25,31	24,69	23,40	21,96	20,58	19,81	19,06	18,66	18,36	18,27
MUL	0,48	0,49	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,50	0,49	0,49	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,43
CIE	6,20	6,18	6,53	6,94	7,16	7,46	7,63	7,74	8,18	7,73	7,72	7,63	7,23	6,95	6,90	7,18
Valeurs corrigées %	9,60	14,37	18,85	24,46	31,12	34,88	36,08	33,90	31,06	29,04	25,21	24,36	23,33	24,91	24,91	25,79
Valeurs Etalon $E_{m,\lambda}$ %	9,90	13,90	18,40	23,90	29,90	33,70	35,10	33,50	30,60	28,10	25,60	23,60	23,40	23,60	24,40	25,10

Tableau II - 03

Ecart = 0,569 %

(Ceci représente un écart colorimétrique de 0,814 unité selon l'équation de HUNTER.).

Voir Graphe 01 page suivante.



ETALONNAGE DE LA SONDE INDUSTRIELLE

COURBES DE REEMISSIION

VI°) CARACTERISTIQUES DE FIBRES OPTIQUES UTILISEES

1°) Caractéristiques géométriques

La fibre est composée d'une âme en silice pure, d'un revêtement en silicone servant d'indice et d'une protection en Tefzel.

Les fibres ont un diamètre de 1,000 mm et une longueur de 6 m, elles se terminent à chaque extrémité par un embout en acier inoxydable de 10 cm de longueur.

2°) Caractéristiques optiques

Indice de réfraction de l'âme : $n_1 = 1,458$

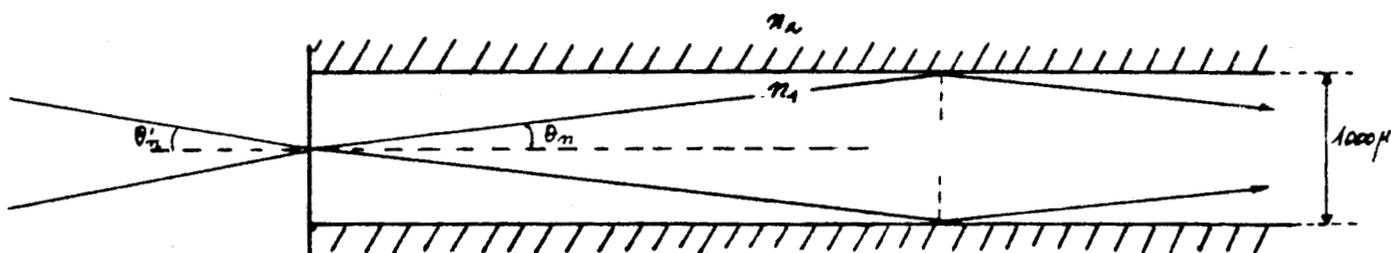
Indice de réfraction du revêtement : $n_2 = 1,448$

Ouverture numérique :

$$\sin \theta'_n = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = 0,17$$

(Figure 6)

$$\theta'_n = 20^\circ$$



Ouverture numérique

Fig. II - 6

La fibre utilisée est du type multimode, ce qui entraîne une diminution des pertes de couplage et un raccordement facile.

La propagation dans les fibres peut être expliquée par les lois de l'optique géométrique. Pour qu'il y ait propagation de la lumière, le faisceau pénétrant dans la fibre doit satisfaire à deux conditions :

1°a - Condition de réflexion totale

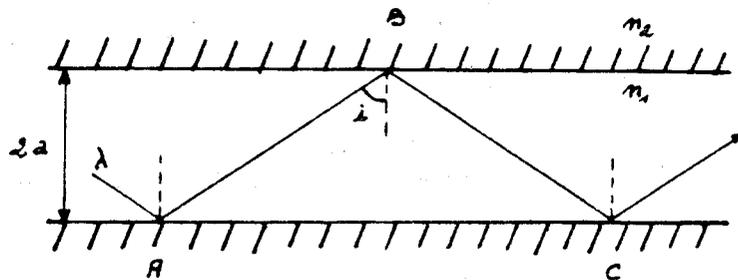
L'inclinaison des rayons lumineux par rapport à l'axe doit être inférieure à une limite θ_n , qui correspond à l'angle limite de réflexion totale sur le dioptré coeur-gaine.

$$\text{Soit : } \cos \theta_n = \frac{n_2}{n_1} \quad (\theta_n = 6,71^\circ)$$

1°b - Condition de phase

Liée à l'interférence entre une onde incidente et la même réfléchiée dans l'interface coeur-gaine.

La différence de phase entre l'onde incidente en A et celle incidente en C doit être un multiple de 2π et ceci dépend de la polarisation du faisceau optique pénétrant dans la fibre (Figure 7).



Réflexion au Coeur de la Fibre

Fig. II - 7

La condition de propagation s'écrit :

$$\frac{8\pi a}{\lambda} \cos i + 2\phi_r = 2k\pi$$

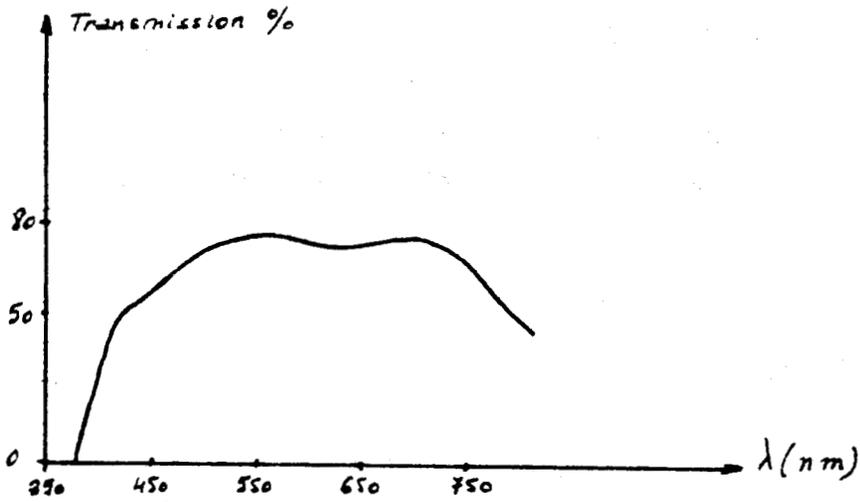
.../...

ϕ_r = déphasage dû à la réflexion vitreuse sur l'interface

λ = longueur d'onde (nm)

* Répartition spectrale

.....



Emission spectrale en sortie de fibre

Fig. II - 8

* Atténuation

.....

La courbe d'atténuation est représentée sur la Figure 9



Atténuation d'énergie au coeur de
la fibre

Fig. II - 9

3°) Caractéristiques mécaniques

Le rayon de courbure de la fibre est de 10 fois le diamètre de l'âme. La résistance à la traction du coeur est de 350 Hbar/mm^2

La fibre garde ses caractéristiques entre -40° C et $+150^\circ \text{ C}$; elle peut être utilisée dans l'ultra violet depuis 160 nm jusqu'au domaine visible et dans l'infrarouge jusqu'à 3 500 nm.

L'avantage de l'utilisation de ces fibres comme moyen de transport d'énergie lumineuse, réside dans leur immunité aux perturbations.

VII°) CONCLUSION

La création et la mise au point du nouveau capteur industriel de réémission nous permet d'aborder concrètement la réalisation d'un système automatique de contrôle des couleurs sur textile mouillé. Il convient toutefois, de souligner que ce capteur n'est encore qu'une étape vers la réalisation d'un spectrophotomètre entièrement industriel.

Néanmoins, nous pouvons, à partir de données recueillies par ce nouveau dispositif, améliorer sensiblement nos connaissances relatives à la relation entre les couleurs sur textiles mouillés et secs.

A ce sujet, le Chapitre III réalise la synthèse des connaissances dans ce domaine et apporte quelques éléments nouveaux.

CHAPITRE III

TEXTILE MOUILLE

ET

COLORIMETRIE

-o000o-

- I N T R O D U C T I O N -

La colorimétrie classique des surfaces suppose que celles-ci soient "sèches". En effet, la théorie de KUBELKA-MUNK est applicable si le milieu dans lequel on observe un échantillon est toujours le même, à savoir l'air.

Des variations dans le milieu continu changent évidemment le rapport des indices de réfraction des particules de diffusion (fibres) à celui du milieu continu.

En conséquence, le rapport K/S (K = coefficient d'absorption, S = coefficient de diffusion) sera affecté par la variation du rapport des indices de réfraction.

De là, il est intéressant d'essayer d'établir une relation entre la couleur d'un support textile observé dans l'air et la couleur du même support immergé dans l'eau, ou simplement mouillé.

La recherche d'une correspondance entre les couleurs des textiles secs et mouillés a d'abord été abordée par le Professeur G. GOLDFINGER (19), vers les années 1970.

La théorie proposée s'est rapidement révélée inexploitable dans la pratique, ce qui a entraîné la nécessité d'une démarche empirique de la recherche.

Nous ne rappelons pas dans ce chapitre les éléments théoriques proposés par G. GOLDFINGER, mais nous nous attachons à présenter de manière condensée les résultats pratiques obtenus depuis les années 1970 (14, 18, 20, 21).

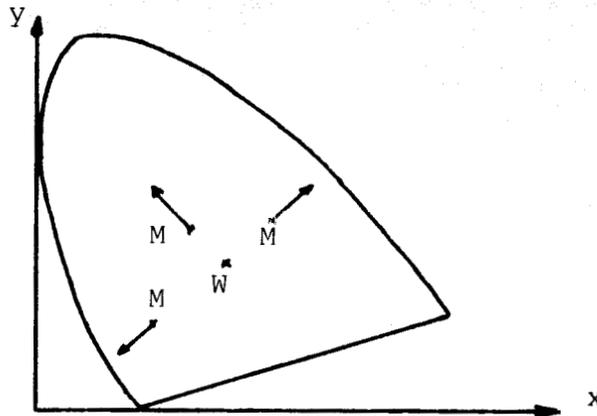
I°) RELATION COLORIMETRIQUE ENTRE UNE COULEUR SECHE ET UNE COULEUR MOUILLEE

Nous pouvons définir une nuance par :

- sa chromaticité : x, y
- sa luminosité : Y

L'étude des couleurs mouillées fait apparaître que celles-ci sont plus pures et plus foncées que les couleurs sèches.

Dans la surface des couleurs, une nuance mouillée se rapproche du Spectrum Locus (Figure 1).



Evolution de la nuance par mouillage du
support textile

Fig. III - 1

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'équations mathématiques permettant de relier les coordonnées (x, y, Y) d'une couleur sèche avec celles de la même couleur mouillée.

Les recherches ont essentiellement porté sur la découverte d'un modèle de transposition des réémissions sèches et mouillées. Ceci est dû au fait que seule l'analyse des courbes spectrales permet d'aboutir au calcul des recettes à partir des textiles mouillés.

II°) TRANSPOSITION SPECTROPHOTOMETRIQUE

1°) Constatations

Si l'on appelle :

R_m = réémission du textile mouillé

R_s = réémission du textile sec

alors, dans le cas d'un échantillon noir : $R_m \neq R_s \neq 0$ et dans le cas d'un échantillon blanc : $R_m < R_s$

2°) Modélisations

Un calcul de recette utilisant la loi de KUBELKA-MUNK ne peut exploiter que des valeurs de réflectances sèches. C'est la raison pour laquelle il a fallu rechercher un modèle de transposition des réflectances.

Les études diverses ont été menées dans des conditions assez différentes et ont fourni des modèles de deux types :

* modèle de G. GOLDFINGER ;

$$R_m = R_s \left[0,12 \times \frac{(1 - R_s)^2}{(0,1 + R_s)} - (0,2 - R_s) \right]$$

DUR et DECARNIN (24) ont mis en évidence que ce modèle n'est pas conforme à la réalité qu'ils ont rencontrée.

* modèles de BALLETT (20), CAMBONIE-COULIOU (21), ou BEN-HABIB (18)

$$R_s = A_0 \cdot e^{-R_m/k} + A_1 \cdot R_m + A_2$$

BALLET et CAMBONIE-COULIOU ont obtenu leurs relations en utilisant une cellule optique étanche renfermant le tissu immergé. Leur travail a permis de vérifier que pour un support textile donné il est possible de trouver un modèle de transposition quelquesoient les longueurs d'onde ou les colorants considérés.

L'analyse a porté sur des supports en fibres hydrophobes (polyamide, polyester) et hydrophiles (laine, coton).

Il apparait clairement que si la forme du modèle ne change pas d'une matière à l'autre les paramètres A_0 , A_1 , A_2 , et k varient sensiblement.

CAMBONIE et COULIOU ont émis l'hypothèse que la quantité d'eau absorbée réellement par le tissu influence de façon importante les résultats, mais ils n'ont pas eu la possibilité de vérifier et chiffrer leur hypothèse.

Les travaux de BEN-HABIB ont été réalisés dans des conditions techniques très différentes. Son modèle est obtenu à l'aide d'une sonde optique en fibres de verre sur un tissu de coton teint sur Jigger. Les chemins optiques sont différents de ceux utilisés par les prédécesseurs, de même le mouillage du tissu est très différent.

Le modèle est obtenu par des voies qui sont assez proches des conditions industrielles, c'est la raison pour laquelle notre étude utilise la relation de BEN-HABIB dans sa phase initiale.

L'équation est la suivante :

$$R_s = -14,43 e^{-R_m/2,5} + 1,161 R_m + 15,60$$

On remarque que si $R_m = 0$ % alors $R_s = 1,17$ %, ce qui n'est pas possible en réalité. Cet écart au point d'origine est en fait relativement secondaire puisque les couleurs textiles les plus foncées ont rarement d'aussi faibles réémissions.

3°) Résultats techniques

Les essais réalisés jusqu'à ce jour relativement à la mesure sur textiles mouillés, l'ont été sur site expérimental en laboratoire. L'aspect le plus intéressant de l'évolution a été la mise au point d'une sonde de mesure en fibres optiques permettant la saisie des couleurs à distance.

Le capteur proposé [(14), (18)] assure une double tâche :

- transmission de l'énergie lumineuse jusqu'au textile,
- retour du rayonnement réémis vers le spectrophotomètre.

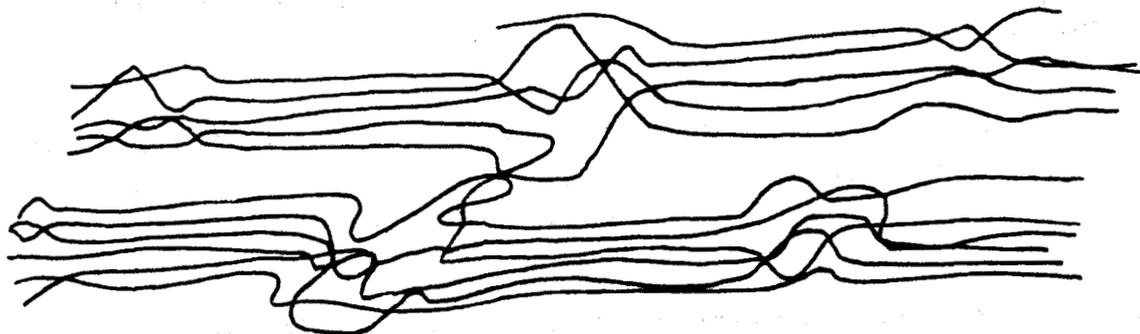
La mise au point de cette sonde s'est révélée extrêmement délicate du fait de l'inéquation entre le spectrophotomètre et le tissu en mouvement dans l'appareil de teinture. Néanmoins les possibilités offertes par cette technique sont suffisamment prometteuses pour que les études soient approfondies.

III°) LE TEXTILE ET L'EAU (25)

1°) Le Textile (généralités)

Sa présentation peut être très diverse : bourre, ruban, fil (bobine, écheveau), tissu, tricot, articles confectionnés, tapis, velours, non-tissés, ...

Chaque fibre est constituée d'éléments très petits appelés macromolécules (d'une longueur de quelques cents millièmes de millimètre) disposés régulièrement dans certaines zones ZC (zones cristallines) et irrégulièrement dans d'autres zones ZA (zones amorphes), Figure 2.



Représentation d'un ensemble de fibrilles textiles

Les premières (ZC) sont construites de telle manière que les macromolécules disposées régulièrement, sont très proches les unes des autres. Elles peuvent ainsi exercer les unes sur les autres des forces d'attraction très importantes, forces comparables à celle d'un aimant sur du fer, mais d'autant plus élevées que la distance entre elles est faible. Ces zones sont appelées zones cristallines.

A l'inverse, dans les secondes (ZA) ou zones amorphes, les chaînes sont beaucoup plus libres, plus indépendantes les unes des autres.

Des milliers de macromolécules peuvent former des ensembles appelés fibrilles, elles-mêmes constituant une fibre.

De plus, l'étude microscopique des coupes transversales de fibres permet de mettre en évidence de fins capillaires s'étendant de l'extérieur vers l'intérieur de la fibre (Figure 3).

Ceci permet de comprendre comment des produits de petite taille (molécules d'eau), produits chimiques divers dont les colorants sont susceptibles de pénétrer dans chaque fibre :

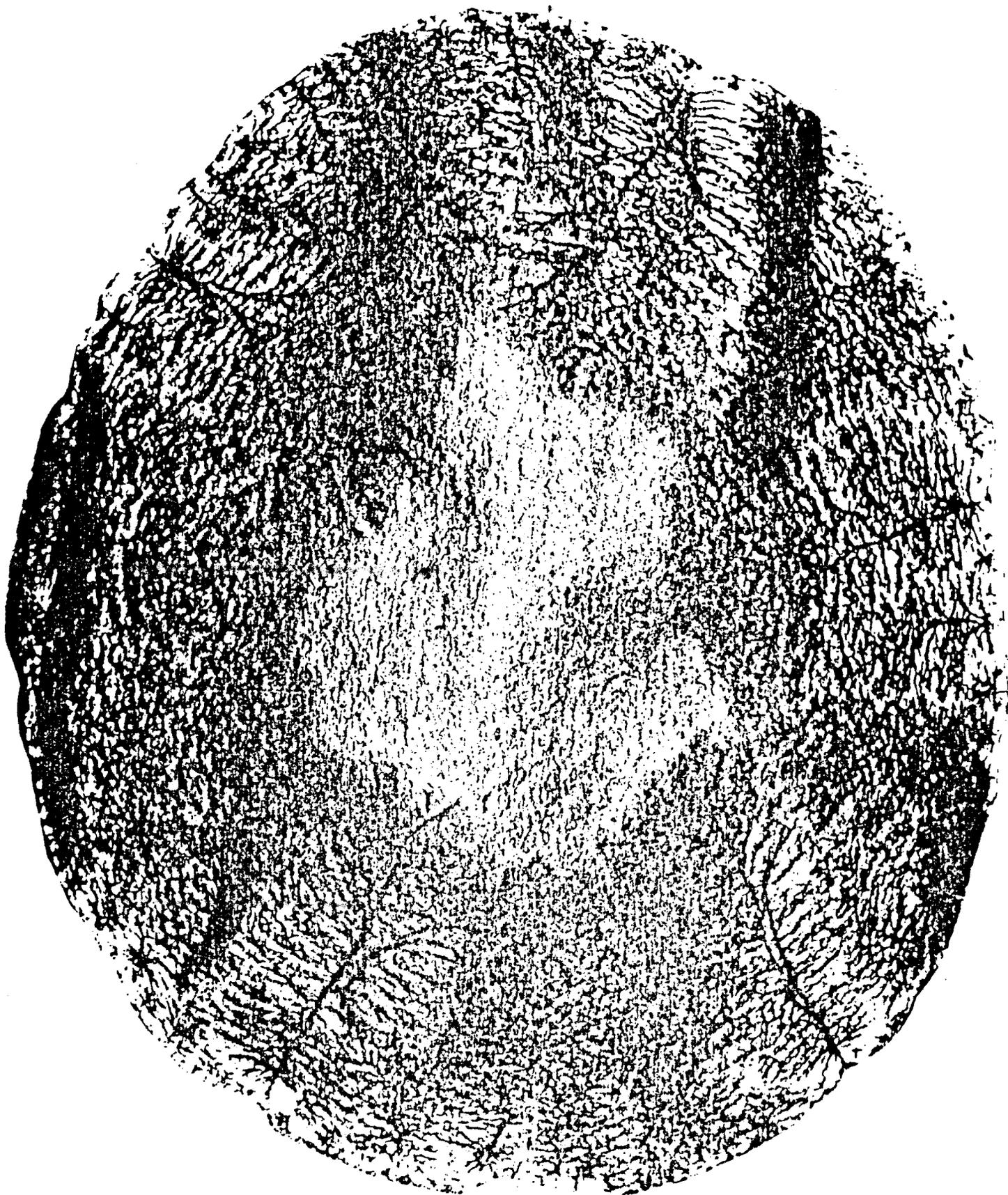
- par les canaux capillaires d'abord,
- à travers les zones amorphes ensuite.

Les zones cristallines sont inaccessibles dans les conditions de la teinture (si elles étaient accessibles, la fibre subirait de telles transformations qu'elle perdrait ses propriétés mécaniques).

Il faut encore noter que certaines fibres sont dites "hydrophiles", (laine, coton, viscosse, etc...) car elles attirent les molécules d'eau et sont capables de se lier à elles, tandis que d'autres fibres sont dites "hydrophobes" (nylon, polyester, etc...) car elles n'exercent pratiquement pas d'attraction pour les molécules d'eau.

Une fibre hydrophile absorbera de l'eau à cause de la pression (force mécanique) de la masse d'eau sur la fibre (possédant des canaux capillaires) et à cause de l'affinité pour l'eau (force chimique), (Figure 4).

Une fibre hydrophobe ne pourra absorber de l'eau que par la force mécanique qui pousse cette eau dans la structure poreuse de la fibre (Figure 5).

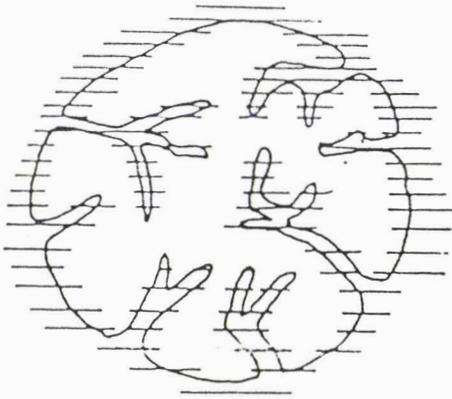


Coupe transversale d'une fibre
de polyacrylonitrile (microphotographie electronique)

I.T.F.

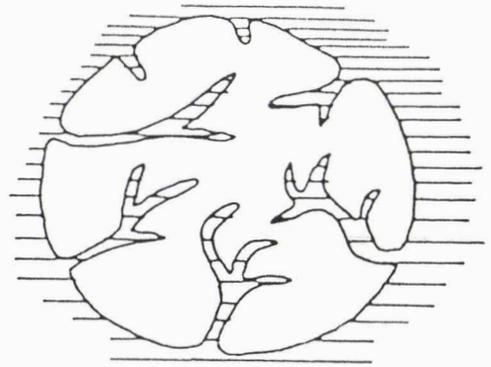
Fig. III - 03





Coupe d'une fibre hydrophile

Fig. III - 4



Coupe d'une fibre hydrophobe

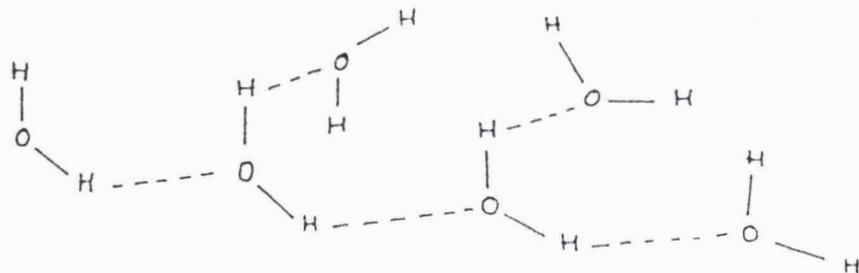
Fig. III - 5

Il semble évident que tout produit de petite taille dissout dans l'eau sera entraîné par celle-ci à l'intérieur de la fibre.

D'autre part, si on élève la température, les canaux capillaires peuvent se dilater et les segments de macromolécules dans les zones amorphes peuvent vibrer et permettre une pénétration plus rapide des liquides dans la fibre.

2°) L'eau

Elle est constituée de petites molécules attachées entre elles par des forces appelées "liaisons hydrogène". (Figure 6).



Liaisons des molécules d'eau

Fig. III - 6

Lorsqu'on élève la température, l'énergie qui est communiquée aux molécules amène le mouvement de chacune d'entre elles. A partir d'une certaine température, des molécules peuvent se séparer des autres. Ceci correspond par exemple à l'évaporation que l'on constate lorsqu'on travaille dans un appareil ouvert.

Si, dans ce milieu, on introduit des produits capables de donner des liaisons avec l'eau, on dira qu'il y a une affinité de l'eau pour ces produits. Si l'affinité est très forte, on dira que les produits se dissolvent dans l'eau.

En revanche, si les produits introduits dans l'eau ne peuvent se lier avec celle-ci, ou bien ne peuvent se lier très faiblement, on dira que les produits sont insolubles dans l'eau.

C'est ainsi que, bien que le coton ait de l'affinité pour l'eau, il ne s'y dissout pas, mais les colorants acides introduits dans l'eau peuvent s'y dissoudre.

3°) Les colorants

Le colorant commercial est un mélange de divers produits, dont le composant principal est une matière colorante. La formule chimique de la molécule est variable d'un colorant à l'autre. Sa taille est de l'ordre de $4 \times 6 \times 10 \text{ \AA}$ à $10 \times 25 \times 50 \text{ \AA}$ environ, soit un encombrement latéral de 6 à 25 cent millièmes de centimètre.

La poudre commerciale introduite dans l'eau permet de constater que les grains se décomposent en grains de plus en plus fins pouvant aller jusqu'à leur séparation en molécules. Ce phénomène de désagrégation est généralement plus rapide à chaud (Figure 7).

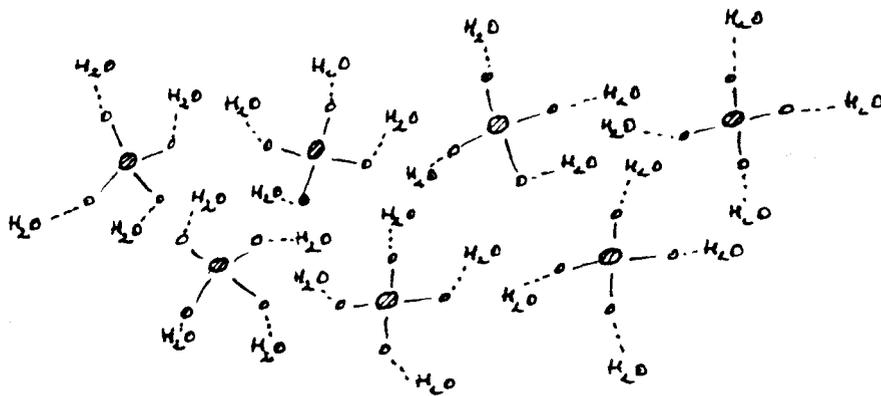


Fig. III - 7

Il y aura dissolution dans le cas où les molécules de colorants seront liées à des molécules d'eau de manière importante.

Dans certains cas (colorants dispersés, colorants de cuve,...) les molécules de colorants ne peuvent se lier suffisamment à l'eau et l'on n'obtient pas de solution vraie.

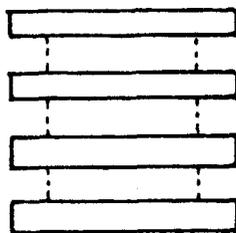
Il est possible cependant d'obtenir une pseudo-solution ou une dispersion en introduisant un produit se liant d'une part à l'eau et d'autre part au colorant (Figure 8).



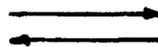
Pseudo-solution

Fig. III - 08

On peut encore noter que, suivant les conditions opératoires, la proportion de molécules isolées peut varier. On dit qu'il y a un équilibre entre les molécules isolées et les molécules "agrégées", (Figure 9)



Molécules agrégées



Molécules isolées

Fig. III - 09

En se souvenant que les fibres sont accessibles aux produits de petite taille qui seuls peuvent pénétrer par les canaux capillaires, on se rend compte que seules les molécules simples ou les agrégats de petite taille permettent la teinture.

On peut encore dire que si toutes les molécules ou presque sont isolées au même moment, elles pourront toutes pénétrer dans la fibre très rapidement (risque de mauvais unisson), tandis que si l'on se met dans des conditions telles que les molécules isolées sont produites progressivement, leur pénétration dans les fibres (teinture) aura lieu progressivement (l'unisson risque d'être meilleur, mais le processus sera plus long).

4°) Le coton

4°a - Constitution chimique

Selon son origine, le coton brut est composé de 88 à 96 % de cellulose pure.

Il contient, en outre, de l'eau retenue (environ 8 %), des protéines, des matières pectiques, des cires, des acides organiques, des sucres et des minéraux divers.

Le Tableau 01 donne, d'après J.D. GUTHRIE, la composition de ces divers constituants, ramené en % par rapport au poids sec.

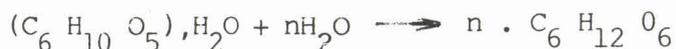
(Voir page suivante)

Composition chimique du coton

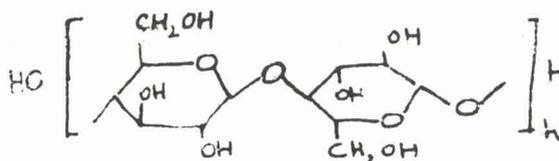
Tableau III - 01

Nature	Moyenne	Mini	Maxi
. Cellulose	94,0	88,0	96,0
. Protéines	1,3	1,1	1,9
. Pectines	0,9	0,7	1,2
. Cendres	1,2	0,7	1,6
. Cires	0,6	0,3	1,0
. Acides organiques	0,8	0,5	1,0
. Sucres	0,3		
. Divers	0,9		

L'hydrolyse de la cellulose conduit au glucose.

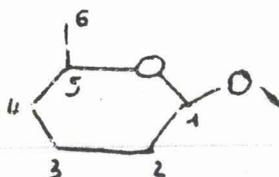


Communément la cellulose est un polyglucoside à liaison 1 - 4 β que l'on peut représenter par le schéma suivant :



Le nom 1 - 4 β se réfère à la liaison entre deux cycles qui s'établit entre le carbone de l'un et le carbone de l'autre, avec renversement d'un cycle sur deux.

Le schéma ci-dessous indique la numérotation des atomes de carbone :



On remarquera, en particulier, la présence de nombreuses fonctions alcool primaire (-CH₂ OH) ou secondaire (-CHOH), qui participent considérablement à la cohésion de l'ensemble par le truchement de l'établissement de liaisons hydrogènes:

- intramoléculaires : entre l'OH porté par le carbone 3 et l'oxygène du noyau glucosique voisin,
- intermoléculaire : entre l'OH du carbone 6 et l'oxygène du pont d'une chaîne voisine,
- les OH du carbone 2 seraient liés à des molécules d'eau de cristallisation.

4°b - Cristallinité

Les portions cristallines de la cellulose peuvent être isolées par une hydrolyse à l'aide de l'acide sulfurique dans des conditions déterminées. On peut alors observer, au microscope électronique, des microfibrilles dont les trois dimensions sont : 2 500, 130 et 30 Å, et qui ont donc la forme de lamelles. On admet donc cette structure lamellaire de la cellulose.

Quant aux cristallites élémentaires, leur forme et leurs dimensions sont déterminées par l'étude et l'interprétation des diagrammes de diffusion aux rayons X.

Voici les hypothèses émises à ce sujet :

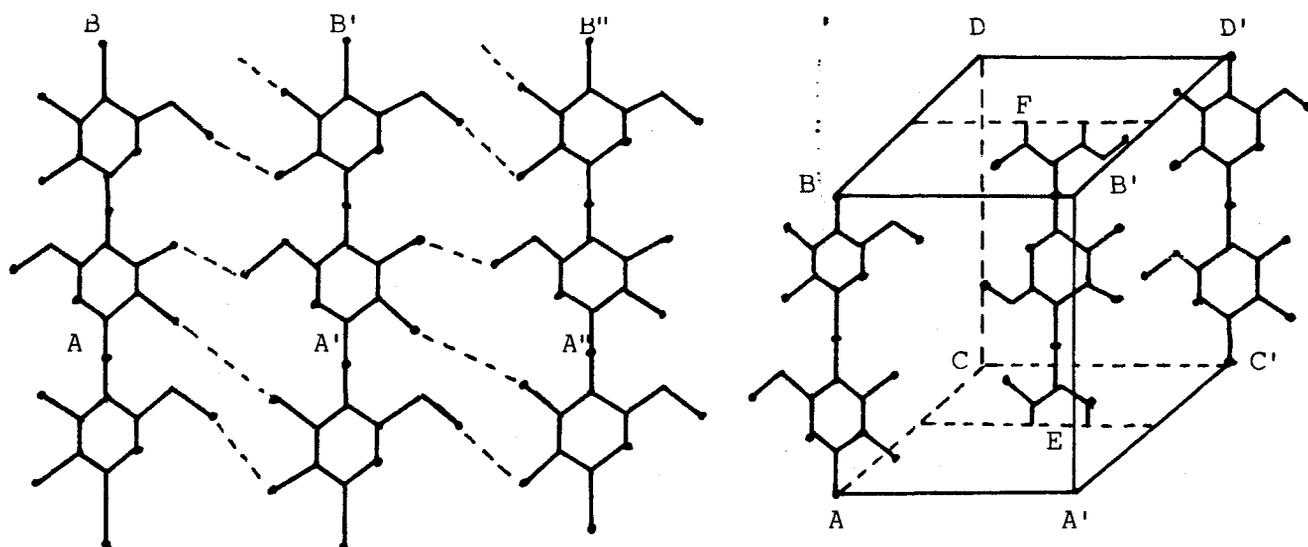
* Cellulose I :

C'est la cellulose des fibres naturelles non traitées chimiquement. Les macromolécules se rangent parallèlement (voir les figures 10 et 11) à la distance 8,35 Å les unes des autres (soit AB, A'B', ...) pour donner des nappes planes.

Des liaisons hydrogène se forment entre groupes OH relativement voisins et situés du même côté du plan (dans le schéma ci-après les points figurent ces groupes OH et les atomes d'oxygène).

Les nappes ainsi constituées se disposent parallèlement avec un décalage latéral (suivant CD et C'D' dans la 2e figure). Le prisme ainsi obtenu, qui est la maille du système cristallin, a pour base un parallélogramme ACC'A' où $AA' = 8,35 \text{ \AA}$, $AC = 7,84 \text{ \AA}$, l'angle A étant égal à 84° .

D'autres nappes viennent s'intercaler, dont EF est un élément, semblables aux précédentes et parallèles, mais retournées d'avant en arrière et décalées vers le haut de $2,57 \text{ \AA}$ (1/4 de la hauteur du prisme) de manière que E soit au milieu de la diagonale AC'.



Cellulose I

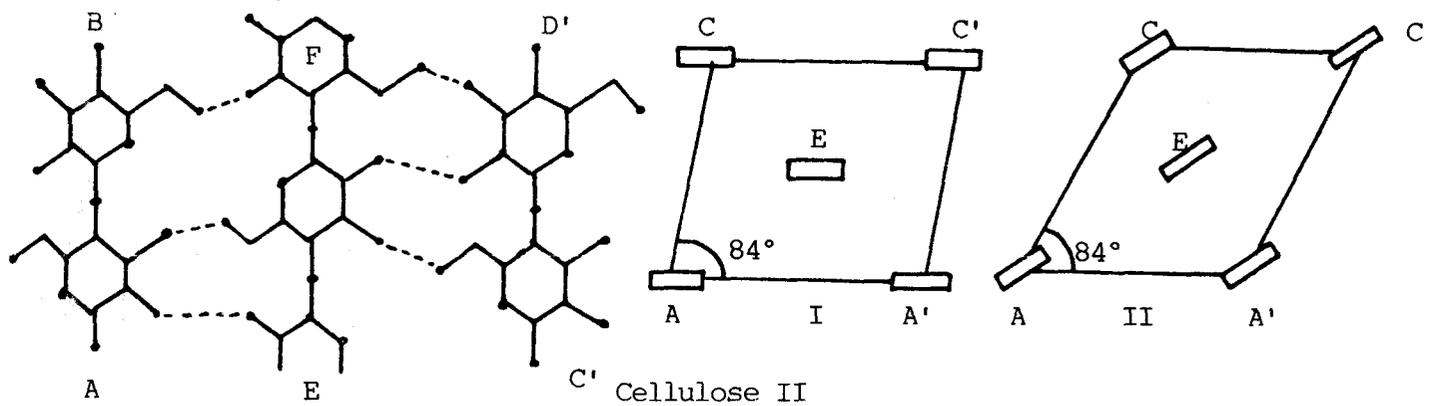
Fig. III - 10

* Cellulose II

L'action de NaOH sur la cellulose I provoque une rotation de toutes les macromolécules autour de leur axe ; de nouvelles nappes parallèles se forment, comprenant les molécules AB, EF, C'D' etc... ; les liaisons hydrogène précédentes sont rompues et remplacées par d'autres.

Le parallélogramme de base a comme côtés $AA' = 8,14 \text{ \AA}$ et $AC = 9,14 \text{ \AA}$, et l'angle A devient égal à 62° .

Le schéma montre les nouvelles liaisons hydrogène qui se forment plus aisément.



Cellulose II

Fig. III - 11

* Celluloses III et IV

Ces variétés, obtenues par divers traitements, sont instables, encore mal connues et sans importance pratique.

* Zones amorphes

Ces zones sont réparties sur les micro-fibrilles, et distantes entre elles de 3 000 à 3 500 Å. Leur nature chimique est peut-être différente de celle des zones cristallines : on y trouverait par exemple des poly-pentosanes dérivés du xylose et de l'arabinose.

Ces zones sont aussi appelées "points sensibles", à cause de l'affinité plus grande qui s'y manifeste pour divers réactifs et en particulier pour l'eau : l'humidité y provoque une hydrolyse qui, pourvu qu'elle soit modérée, s'accompagne d'un renforcement. Ce phénomène permet d'expliquer que les fibres naturelles acquièrent par humidification une résistance plus forte à la traction ; en effet, leur DP* est important, ce qui fait qu'elles possèdent plusieurs points sensibles par macro-molécule.

Pour les fibres artificielles, au contraire, l'humidité diminue leur résistance : leurs macro-molécules contiennent tout au plus un point sensible, car leur DP* est bien plus faible

DP* = degré de polymérisation

5°) Colorimétrie et textile mouillé

* Définitions

Taux de Reprise : poids d'eau exprimé en pourcentage qu'il faut ajouter à 100 g de matière anhydre pour obtenir le poids légal marchand

Taux de rétention : Quantité d'eau résiduelle (exprimée en %) d'un textile, mouillé par immersion totale, après centrifugation pendant 5 mn sous une accélération centrifuge égale à 1000 fois g.

La colorimétrie de surface est actuellement exercée sur des tissus dits "secs", dont le "taux de reprise" est en réalité très variable d'une fibre à une autre.

Ainsi, une fibre acrylique "sèche" contient 2 % en poids d'eau, alors qu'une laine "sèche" en contient 18,5 %.

Dans l'un et l'autre cas, la théorie de KUBELKA-MUNK reste applicable pour le calcul des recettes de teinture, avec les mêmes avantages et les mêmes défauts.

Lorsqu'un textile est trempé dans l'eau pendant un certain temps, on dit communément qu'il se "mouille". Là encore, cette notion est très relative puisque les "taux de rétention" d'eau sont extrêmement variables selon la nature des fibres. Le coton retient 50 % en poids d'eau, le polyester : 4 %, la viscose : 101 % et la laine : 44 %.

Considérant ces remarques, il est difficile d'admettre qu'une relation $R_s = f(R_m)$ ne tienne pas compte explicitement de l'humidité relative, effectivement contenue dans le tissu.

Dans ce qui suit, nous tentons d'apporter un élément de réponse à ce problème.

IV°) RECHERCHE D'UN MODELE MATHEMATIQUE AMELIORE

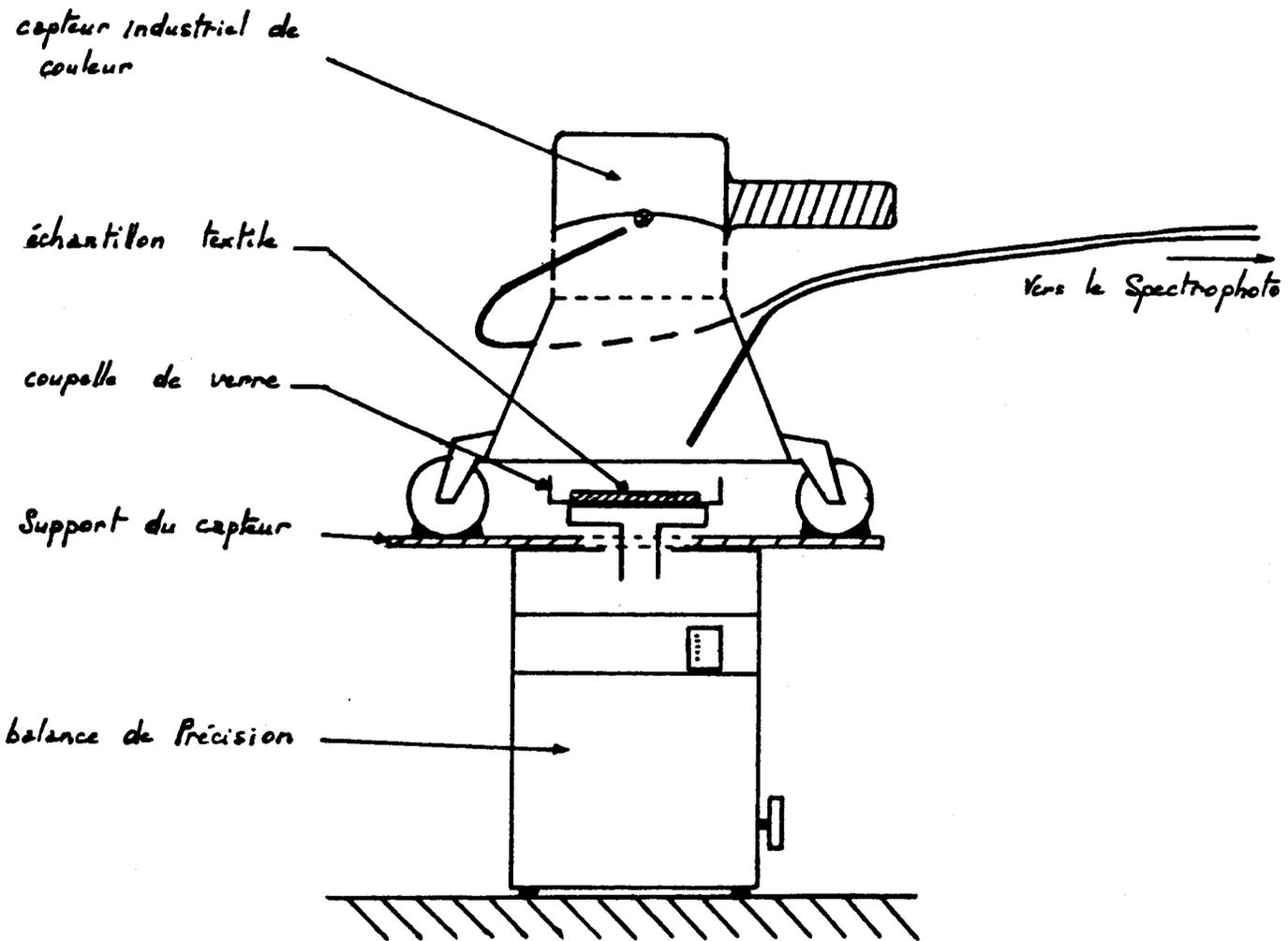
1°) Expérimentation

Une expérience simple consiste à mesurer, à une longueur d'onde donnée, l'évolution de la réémission d'un tissu de coton mouillé qui sèche progressivement.

Le dispositif est constitué du capteur industriel de couleur, d'une balance de précision et d'une coupelle de verre.

(voir Figure 12, page suivante).

Le textile est placé dans la coupelle contenant un poids d'eau connu. Cette eau chauffée par la lampe du capteur s'évapore, provoquant ainsi le séchage du tissu. La mesure est évidemment réalisée sur textile chaud, ce qui est voisin des conditions de teinture.



DETERMINATION DE L'INFLUENCE DE
LA QUANTITE D'EAU SUR LA COULEUR

Fig. III-12



2°) Commentaires généraux

Les essais ont été menés dans leur majorité sur toile de coton préalablement teinte de diverses nuances.

Nous avons mesuré à une longueur d'onde donnée λ les valeurs de réémission du textile mouillé R_m en fonction du pourcentage d'eau contenu dans celui-ci (Tableau 2, en fin de chapitre).

Soit $R_m = f(H\%)$

Il est à noter que nous avons considéré au cours de ces essais que $H = 0\%$ représente en réalité le taux de reprise du coton soit $8,5\%$.

Le graphe 1 rassemble 8 courbes $R_m = f(H\%)$ relatives au coton. Ceci nous permet de faire les observations suivantes :

- jusqu'à un taux d'humidité $H\%$ voisin de 40% la réémission n'est pas modifiée de façon importante,

- entre $H \simeq 40\%$ et $H \simeq 70\%$, la réémission chute fortement, notamment pour les nuances moyennes,

- au-delà de $H = 70\%$, la baisse de réémission se poursuit avec une pente moins forte, puis tend à se stabiliser vers 200% d'humidité.

Il semble intéressant de considérer avec attention ces zones d'humidité ainsi mises en évidence, à savoir :

- . Zone 1 : $H \in [0\%, 40\%]$, soit une humidité totale comprise entre 0% et $48,5\%$ environ
- . Zone 2 : $H \in [40\%, 70\%]$, soit une humidité totale comprise entre $48,5\%$ et $78,5\%$ environ.
- . Zone 3 : au delà de $H = 70\%$, soit une humidité totale supérieure à $78,5\%$

3°) Etude de la zone 1

Jusqu'à une humidité totale dans le tissu de 48,5 % environ, nous ne pouvons pas affirmer que la réémission mesurée varie de façon significative.

Cette observation confirme le fait que les principes de la colorimétrie de surface sèche puissent être appliqués avec succès sur des textiles ayant des taux de reprise importants.

4°) Etude de la zone 2

Nous observons dans cette partie une chute brutale de la réémission. Ce phénomène semble se produire à partir d'un taux d'humidité immédiatement supérieur au taux de rétention dans le cas qui nous concerne.

Bien qu'il soit très délicat de découvrir une loi de variation de la réémission en fonction de l'humidité, nous pouvons néanmoins rechercher quelques enseignements précis.

Si nous admettons, pour simplifier, que l'évolution de la réémission R_m en fonction de l'humidité relative H est "linéaire" dans la zone 2, alors une analyse mathématique peut être faite.

En effet, la pente d'évolution de $R_m = f(H)$ est "faible" pour des hauteurs de ton fortes ou faibles, "forte" pour des hauteurs de ton moyennes.

Plus précisément nous pourrions écrire :

avec R_s = réémission sèche

$R_{m,H}$ = réémission mouillée aux taux d'humidité H %

H = taux d'humidité % (avec $H = 0$ % pour le taux de reprise)

En supposant que dans la zone 2 nous ayons la relation :

$$R_{m,H} = R_s + p.H \quad (p = \text{pente} < 0)$$

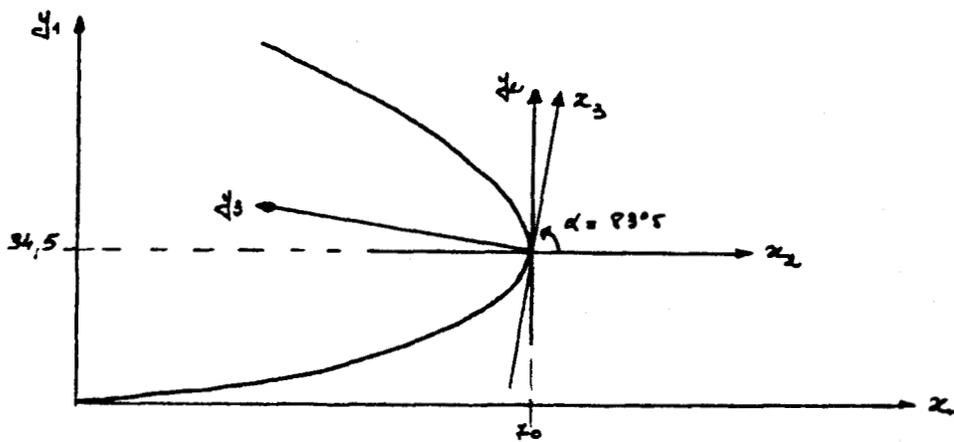
alors nous constatons que les valeurs de p évoluent de manière quasi parabolique avec les valeurs de R_s . Le graphe 2 représente cette évolution.

La recherche d'un modèle mathématique $p = f(R)$, nécessite une analyse dans différents systèmes d'axes, à savoir (Figure 13) :

$$\text{Système } x_1, y_1 : \begin{cases} x_1 = p \\ y_1 = R_s \end{cases}$$

$$\text{Système } x_2, y_2 : \begin{cases} x_2 = -200 x_1 - 70 \\ y_2 = y_1 - 34,5 \end{cases}$$

$$\text{Système } x_3, y_3 : \begin{cases} x_3 = 0,113x_2 + 0,994y_2 \\ y_3 = -0,994x_2 + 0,113 y_2 \end{cases} \quad (\text{rotation d'un angle de } 83^\circ 5 \text{ du système})$$



Evolution de p en zone 2

Fig. III - 13

Dans le système (x_3, y_3) la courbe est ajustée à la fonction :

$$y_3 = 0,0366 x_3^2$$

Le passage au système d'axes initial (x_1, y_1) nous permet d'obtenir la relation entre la pente (x_1) et la réémission sèche (y_1) .

$$p = \frac{128,9621 + 1,6441 \cdot R_s - \sqrt{-0,0103 R_s^2 + 662,6782 R_s + 16\ 668,2069}}{37,4748}$$

soit $P = \emptyset (R_s)$ cette fonction.

Il vient à partir de ces calculs que dans la zone 2, la réémission mouillée peut être estimée par :

$$R_{m,H} = R_S + (H - 35) \cdot \phi (R_S)$$

5°) Etude de la zone 3

La réémission du tissu mouillé au delà d'un pourcentage $H = 70 \%$, jusqu'à $H = 140 \%$ environ, évolue en décroissance selon une loi qui semble mal définie.

Il faut que le tissu soit mouillé au delà de ce pourcentage pour observer une stabilité dans la réémission.

Nous pouvons remarquer toutefois que cette stabilité est atteinte plus rapidement pour les nuances foncées.

Si nous appelons $R_{m,\infty}$ la valeur plancher de réémission du textile mouillé, nous pouvons trouver une relation entre cette valeur et celle de la réémission sèche correspondante R .

L'estimation de cette fonction est obtenue à partir des valeurs suivantes :

R_S	$R_{m,\infty}$
77,2	63
72	56
50	34
32	15
23	11,5
19	5
7	2

Tableau III - 03

Bien que le nombre de valeurs dont nous disposons soit faible, il est aisé de constater que le modèle s'apparente fortement à celui choisi par BALLETT, CAMBONIE-COULIOU et BEN HABIB, à savoir :

$$R_s = A_0 \cdot e^{-\frac{R_{m,\infty}}{k}} + A_1 \cdot R_{m,\infty} + A_2 \quad (\text{voir graphe 3}).$$

Il nous est apparu qu'il n'était pas possible de proposer un modèle de transposition valable avec si peu de données. Cependant, nous avons pu vérifier par ces observations que les valeurs appelées $R_{m,\infty}$ sont voisines de celles calculées par les modèles de transposition précédemment proposés.

La forme mathématique développée par BEN HABIB est celle qui a été retenue pour l'étude industrielle du problème.

6°) Conclusion

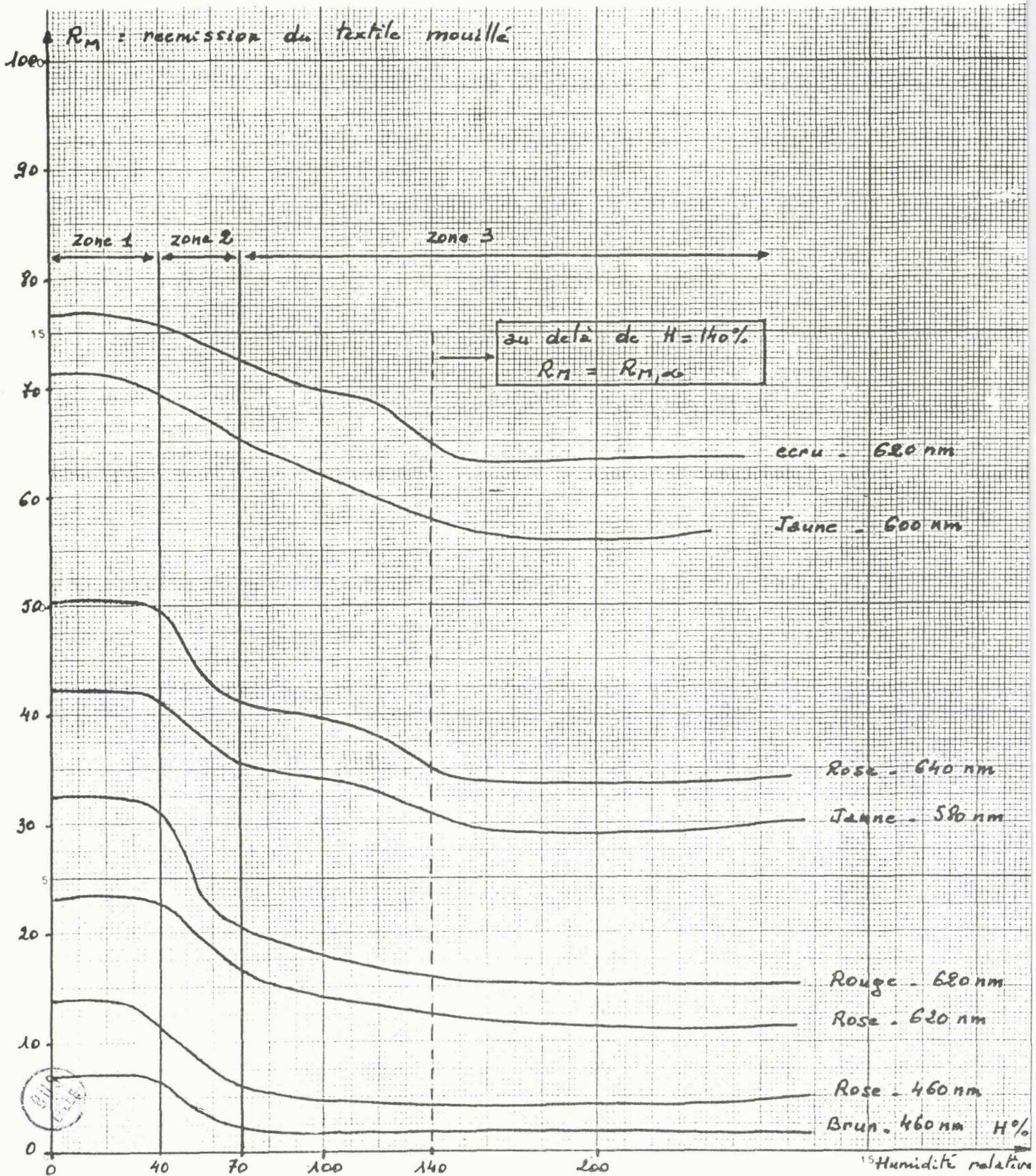
Une observation détaillée de l'évolution de la réémission mouillée en fonction de l'humidité relative du textile nous permet d'apporter les conclusions suivantes :

- un tissu de coton semble être "colorimétriquement sec" jusqu'à une humidité voisine de son taux de rétention.

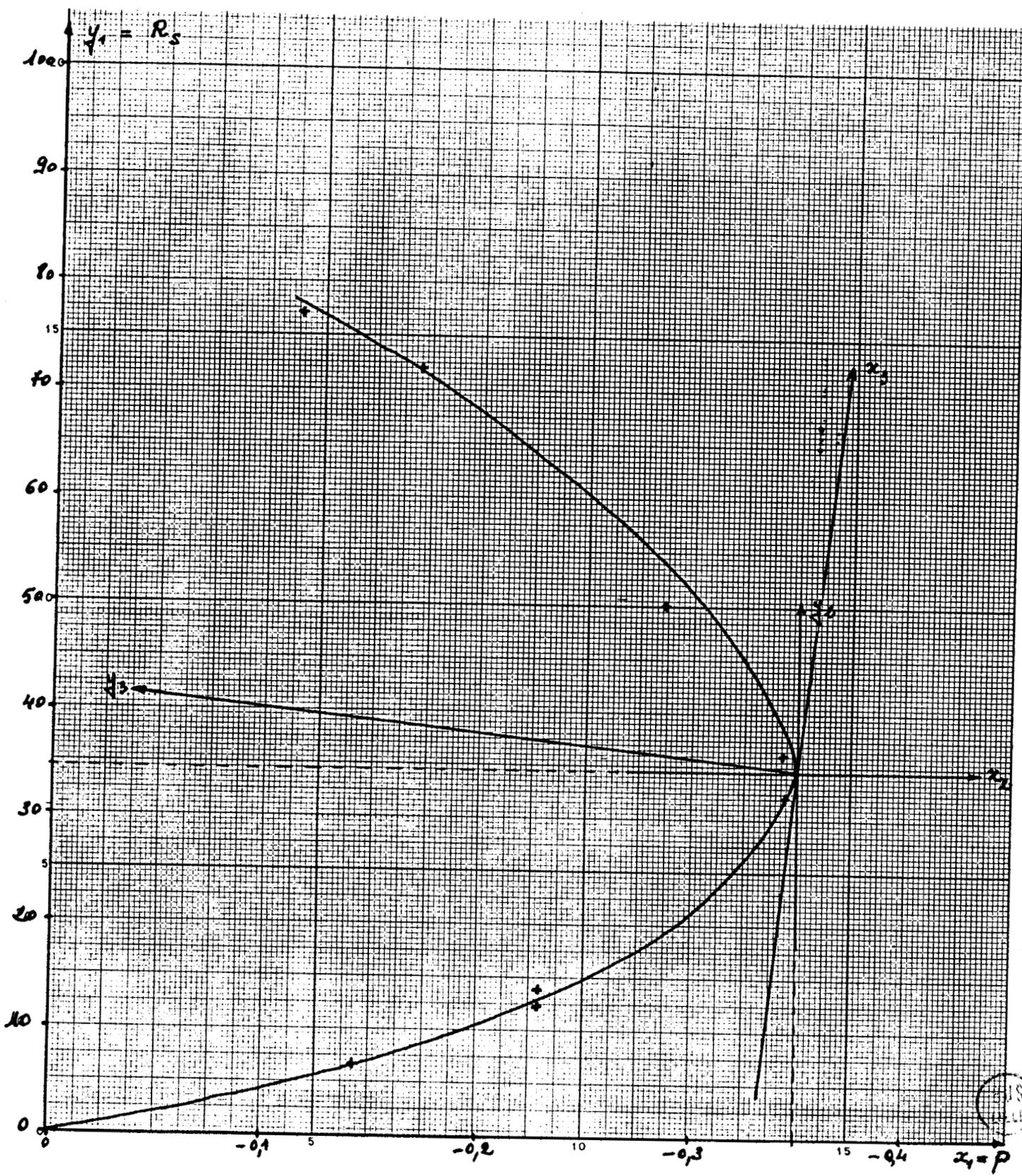
- au-delà du taux de rétention, la réémission décroît fortement jusqu'à un taux d'humidité total de 78,5 % environ.

- pour un taux d'humidité total supérieur à 90 % en nuances foncées, 150 % en nuances moyennes et claires, la réémission mouillée atteint une valeur plancher qui répond au modèle proposé par BEN HABIB.

Ceci nous confirme donc la validité de ce modèle dans les limites citées ci-dessus.



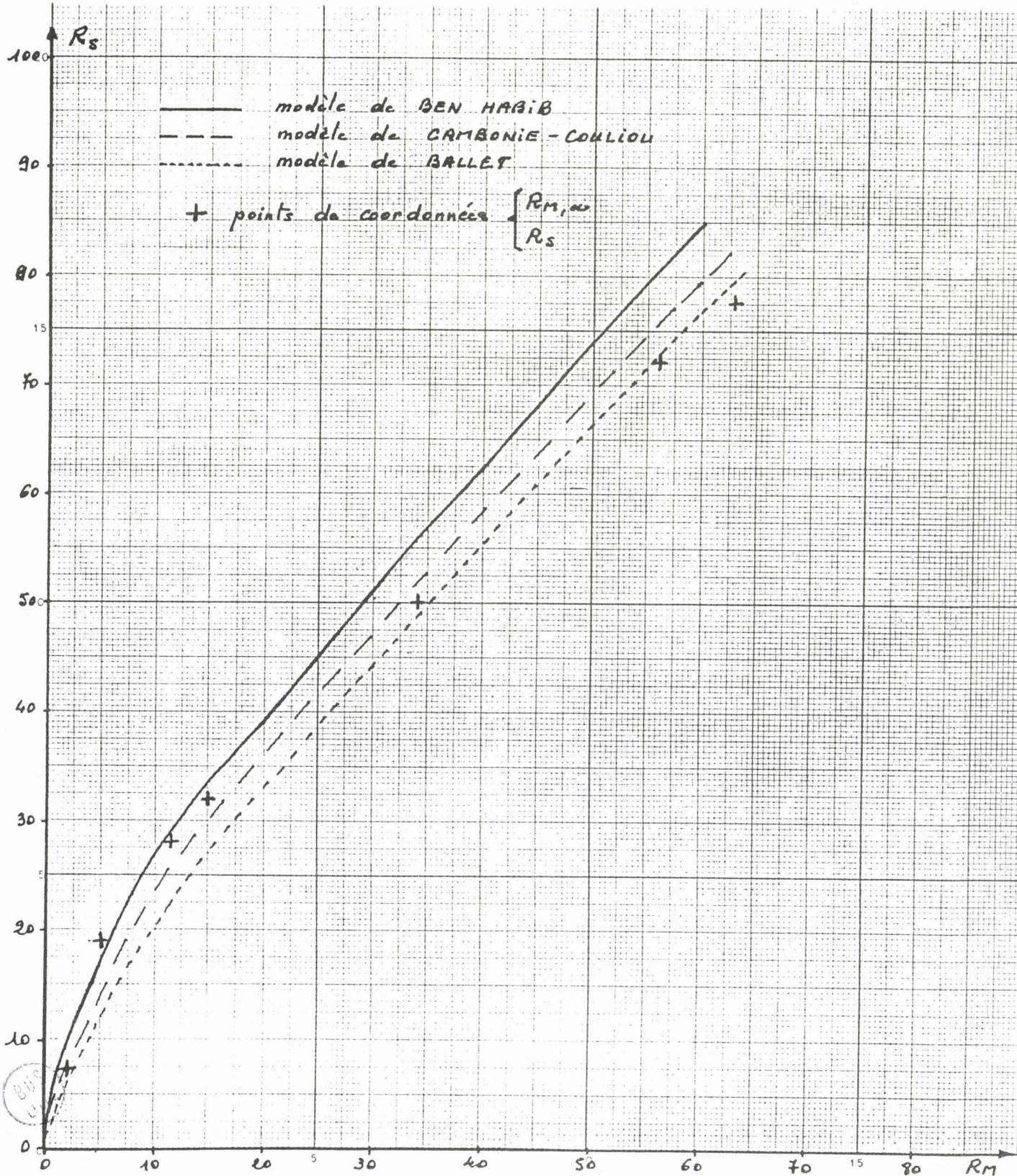
Graph III- 01



Evolution des valeurs de P en fonction de R_s

Graphe III - 02





Graphé III - 3

Mesures de réémission en fonction de l'Humidité

Tableau III - 2

Ecrû - 620 nm		Jaune - 600 nm		Rose - 640 nm		Jaune - 580 nm		Rouge - 620 nm		Rose - 620 nm		Rose - 460 nm		Brun - 460 nm	
R _m	H%														
63,5	261,8	56,8	240,4	34,9	296,0	30,2	287,8	14,9	218,3	11,5	325,7	5,7	301,2	1,2	328,9
64,0	255,5	56,8	230,8	35,0	285,0	30,0	253,7	15,0	208,3	11,4	259,9	5,8	292,2	1,4	279,6
64,1	244,5	56,5	216,3	34,7	268,0	29,8	226,5	15,1	200,4	11,5	216,4	5,7	280,1	1,7	248,7
63,9	235,1	56,2	201,9	34,4	247,9	29,5	196,6	15,4	189,2	11,5	202,6	5,6	269,9	1,7	226,3
64,0	225,1	56,2	176,0	33,8	219,5	29,7	186,4	15,5	175,0	11,4	177,6	5,5	260,2	1,9	202,6
63,7	217,3	56,5	152,4	33,7	201,2	29,5	164,6	15,6	166,7	12,4	155,9	5,2	247,0	2,0	190,8
63,8	205,7	58,7	132,2	33,5	175,1	29,6	152,4	15,7	151,2	13,0	150,7	4,2	233,1	2,1	175,0
63,5	190,6	59,7	123,6	33,6	157,4	31,8	139,4	15,7	135,0	13,2	138,1	4,3	207,8	1,8	157,9
63,5	178,0	61,0	111,5	34,0	143,2	32,7	130,6	18,0	104,6	13,6	121,0	4,1	191,0	1,8	143,4
63,0	162,3	62,0	100,0	37,1	131,9	33,1	122,4	18,5	87,5	13,7	108,5	4,3	162,0	1,8	129,6
63,0	146,1	62,5	92,3	38,2	121,3	33,6	114,9	19,1	81,2	14,1	97,4	4,4	136,1	1,8	117,8
66,7	134,5	63,2	82,2	38,7	110,6	33,9	102,7	20,2	70,4	14,5	88,8	4,5	116,3	1,7	98,7
67,3	130,9	64,7	66,8	39,1	102,4	34,1	94,5	21,1	63,7	15,4	77,6	4,9	92,8	1,8	82,9
68,0	126,2	67,3	53,8	39,5	92,3	34,4	85,7	23,9	54,6	16,3	69,1	5,3	80,7	2,0	75,0
68,8	115,2	67,8	51,0	40,2	79,3	34,8	77,5	30,0	44,2	17,2	64,5	6,6	64,5	2,2	69,1
69,0	108,4	68,9	45,2	41,7	66,9	35,1	68,0	31,8	36,2	18,0	61,8	7,9	57,2	2,4	65,8
69,7	96,3	69,8	37,0	43,3	59,2	35,9	65,3	32,0	29,2	19,5	58,5	12,9	37,3	4,1	55,3
70,1	86,9	70,5	27,4	45,0	53,8	36,8	57,8	32,0	16,7	21,0	52,0	13,4	33,7	5,7	49,3
71,0	78,5	71,0	19,2	47,0	48,5	37,6	51,0	32,0	0,0	22,7	46,0	13,6	24,7	6,5	42,1
71,4	72,2	71,0	13,5	49,7	39,6	38,7	46,9			23,4	41,4	13,7	14,5	6,6	32,9
72,0	65,4	71,4	3,8	49,7	29,6	40,1	40,8			23,1	32,9	13,7	6,0	6,6	27,0
72,7	59,2	72,0	0,0	50,0	20,7	40,4	34,0			23,2	28,3	13,7	0,0	6,6	21,0
73,5	53,4			50,0	11,8	41,0	27,2			23,2	21,7			6,6	17,1
74,2	49,2			50,0	0,0	41,4	20,4			23,2	0,0			6,6	0,0
75,2	44,0					41,7	13,6								
75,8	41,9					42,0	6,8								
75,2	31,4					42,1	0,0								
76,2	20,9														
77,0	10,5														
77,0	0,0														

CHAPITRE IV

PROGRAMME DYNAMIQUE

DE CALCUL :

DES RECETTES

-o000o-

- I N T R O D U C T I O N -

L'objet de nos travaux est de réaliser un suivi des teintures au niveau de la couleur surfacique d'un tissu.

Nous avons vu, dans le chapitre II, que la mesure de la couleur du tissu est réalisée en atelier. Les énergies saisies sont transférées par fibres optiques dans un laboratoire pour être mesurées, actuellement au moyen d'un spectrophotomètre de laboratoire. Enfin, les valeurs de réémissions sont automatiquement adressées à un micro-ordinateur de type Commodore CBM 3032.

Le logiciel d'exploitation doit remplir les tâches suivantes :

- étalonnage automatique du dispositif de mesure,
- exploitation de la mémoire des colorants utilisés dans la teinture,
- saisie des réémissions sèches de la nuance type à reproduire,
- saisie des réémissions mouillées du support textile sur lequel il faut teindre ; séchage par calcul,
- calcul d'une recette initiale,
- saisie des réémissions mouillées de la reproduction à un temps donné ; rinçage et séchage par calcul ; estimation de la recette corrective.

Ce point est répété autant de fois que nécessaire, jusqu'à la déclaration de validation de teinture.

Nous exposons dans ce qui suit le principe de fonctionnement du logiciel, élément essentiel de notre recherche.

I°) PRINCIPE GENERAL DU CALCUL DES RECETTES

La théorie de KUBELKA-MÜNK est sans conteste la plus utilisée actuellement pour réaliser des calculs de recettes de teinture. Selon cette théorie, simplifiée pour une utilisation spécifiquement textile, nous avons les propriétés suivantes :

Si nous posons : λ = longueur d'onde en nanomètres

K = coefficient d'absorption de la lumière par le support coloré

S = coefficient de diffusion de la lumière dans le support coloré

R % = pourcentage de réémission de lumière par le support coloré

KUBELKA-MÜNK (1) définissent un rapport simplifié :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = \frac{(1 - R_\lambda)^2}{2R_\lambda}$$

Pour un colorant pur, le rapport $\frac{K}{S}$ jouit, en principe, d'une propriété de linéarité avec la concentration C % à une longueur d'onde donnée.

La relation s'écrit :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda,C} = \delta_\lambda \cdot C \% + \left(\frac{K}{S}\right)_\lambda, \text{ support écriu}$$

δ_λ représente la pente de la droite à la longueur d'onde λ .

Lorsque l'on réalise un mélange de trois colorants pour obtenir une nuance particulière, les valeurs de $\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda$ vérifient une loi d'additivité que

.../...

l'on peut exprimer de cette façon :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j} + \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}}$$

avec :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} = \text{valeur de } \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} \text{ du mélange}$$

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j} = \text{valeur de } \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} \text{ du colorant } j, \text{ à la concentration } C_j$$

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}} = \text{valeur de } \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda} \text{ du support textile sur lequel on veut teindre}$$

* Remarque

La présentation de la loi de KUBELKA-MUNK exposée ci-dessus est extrêmement simplifiée et résumée de manière à introduire le lecteur aux principes généraux utilisés dans la suite.

1°) Mise en équations du calcul des recettes

Pour chacun des colorants du mélange, d'indice j allant de 1 à 3, il existe en principe une relation linéaire :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j} = \gamma_{\lambda, j} \cdot C_j + \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}}$$

Nous en déduisons que les pentes de ces droites sont les suivantes :

$$\gamma_{\lambda, j} = \left[\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j} - \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}} \right] / C_j$$

L'additivité des $\frac{K}{S}$ du mélange s'écrit :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} = \sum_{j=1}^3 \gamma_{\lambda, j} \cdot C_j + \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}}$$

ou encore :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} - \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}} = \sum_{j=1}^3 \gamma_{\lambda, j} \cdot C_j$$

Dans cette dernière relation les valeurs : $\gamma_{\lambda,j}$ sont déduites des mémoires de colorants. Les valeurs de $\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda,M}$ et $\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda,\text{support}}$ sont saisies au moment de la teinture.

C_1, C_2, C_3 représentent les concentrations à calculer. Elles sont obtenues en résolvant un système de 16 équations à 3 inconnues.

2°) Résolution des équations

Posons les matrices suivantes :

$$P = \begin{bmatrix} \gamma_{400,1} & \gamma_{400,2} & \gamma_{400,3} \\ \gamma_{420,1} & \gamma_{420,2} & \gamma_{420,3} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{700,1} & \gamma_{700,2} & \gamma_{700,3} \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{K}{S}\right)_{400,M} & - & \left(\frac{K}{S}\right)_{400,\text{support}} \\ \left(\frac{K}{S}\right)_{420,M} & - & \left(\frac{K}{S}\right)_{420,\text{support}} \\ \vdots & & \vdots \\ \left(\frac{K}{S}\right)_{700,M} & - & \left(\frac{K}{S}\right)_{700,\text{support}} \end{bmatrix}$$

$$TP = \begin{bmatrix} \gamma_{400,1} & \gamma_{420,1} & \dots & \gamma_{700,1} \\ \gamma_{400,2} & \gamma_{420,2} & \dots & \gamma_{700,2} \\ \gamma_{400,3} & \gamma_{420,3} & \dots & \gamma_{700,3} \end{bmatrix}$$

La résolution du système revient à résoudre l'équation suivante :

$$P.C = M$$

La solution est donnée par : $C = (TP \cdot P)^{-1} \cdot TP \cdot M$

.../...

La qualité de la résolution du système exposé ci-dessus dépend de la linéarité de la loi utilisée. Nous savons pour des raisons de saturation colorimétriques que la loi de KUBELKA-MUNK présente des défauts de linéarité.

Ceci engendre de graves erreurs dans les calculs de recettes de toutes les nuances en dehors des pastels. En effet, la matrice des pentes est erronée au delà des faibles concentrations de colorants.

Ceci nous amène naturellement à rechercher un modèle mathématique fondamental, plus linéaire que celui de KUBELKA-MUNK ou, s'il n'existe pas, à résoudre la difficulté de non linéarité.

3°) Mise en mémoire des colorants

Dans cette étude nous avons considéré 3 colorants substantifs sur coton fabriqués par la société PCUK (Produits chimiques Uguine Kulman). Les noms commerciaux sont les suivants :

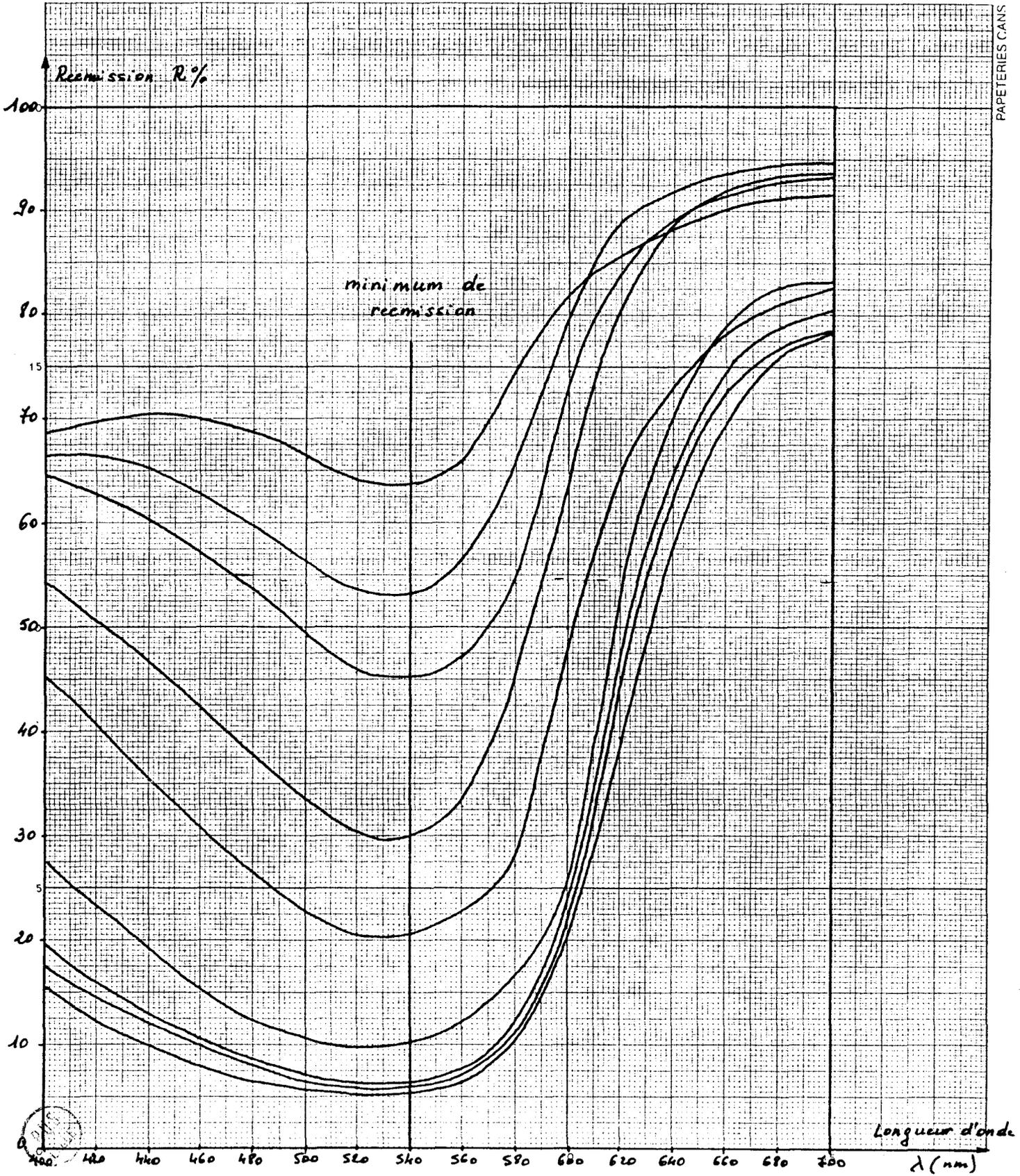
- Rouge Diazol lumière GBL 1750
- Bleu Diazol lumière R extra 1350
- Jaune Diazol lumière 4 R L

Les concentrations de mise en mémoire sont identiques pour les 3 colorants, à savoir :

C %	0,005	0,01	0,02	0,05	0,10	0,30	0,75	1,00	1,50
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tableau IV - 01

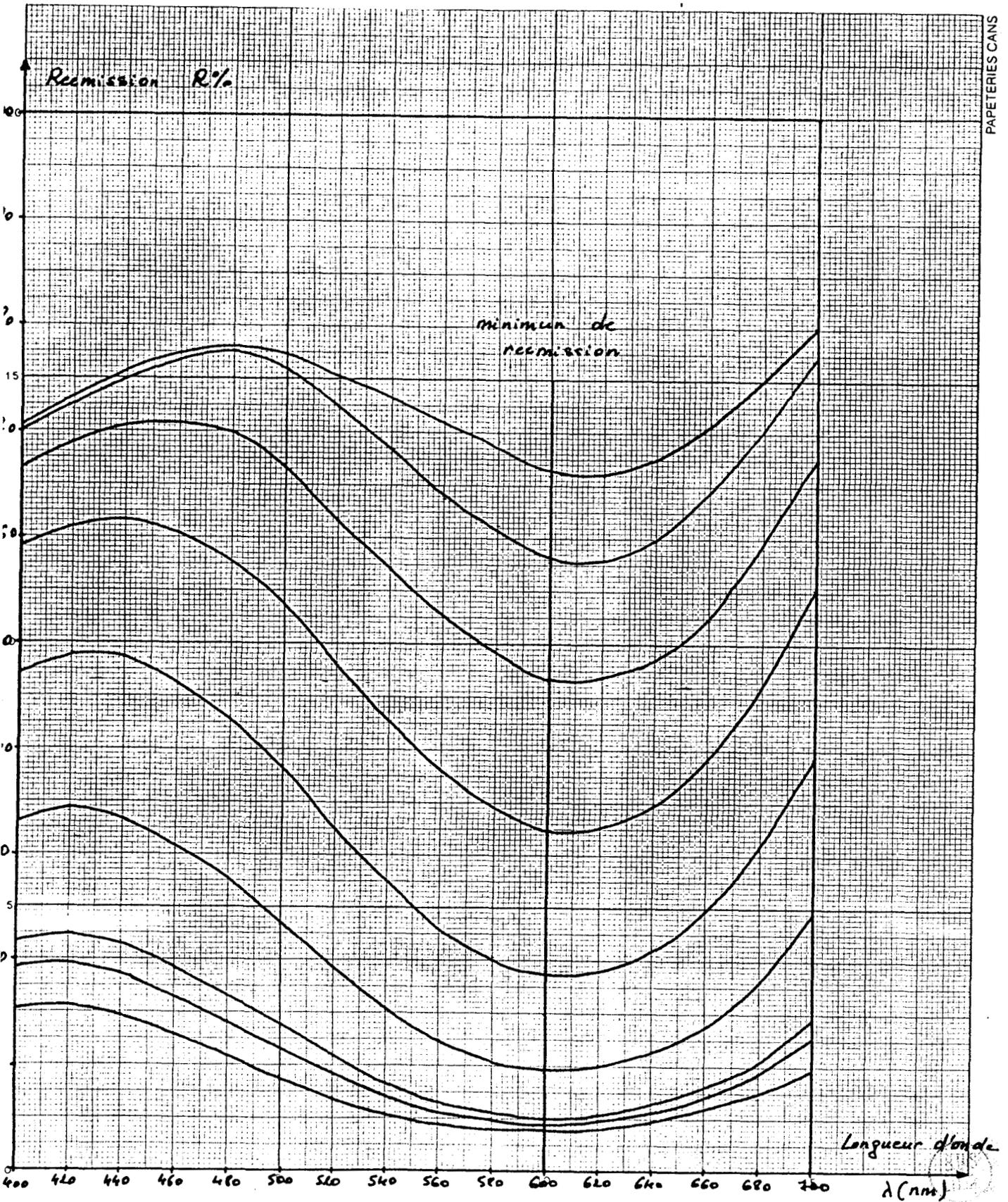
Les valeurs de réémissions sèches sont enregistrées dans des instructions DATA de manière à permettre une exploitation rapide.



ROUGE DIAZOL LUMIERE 6 BL 1750

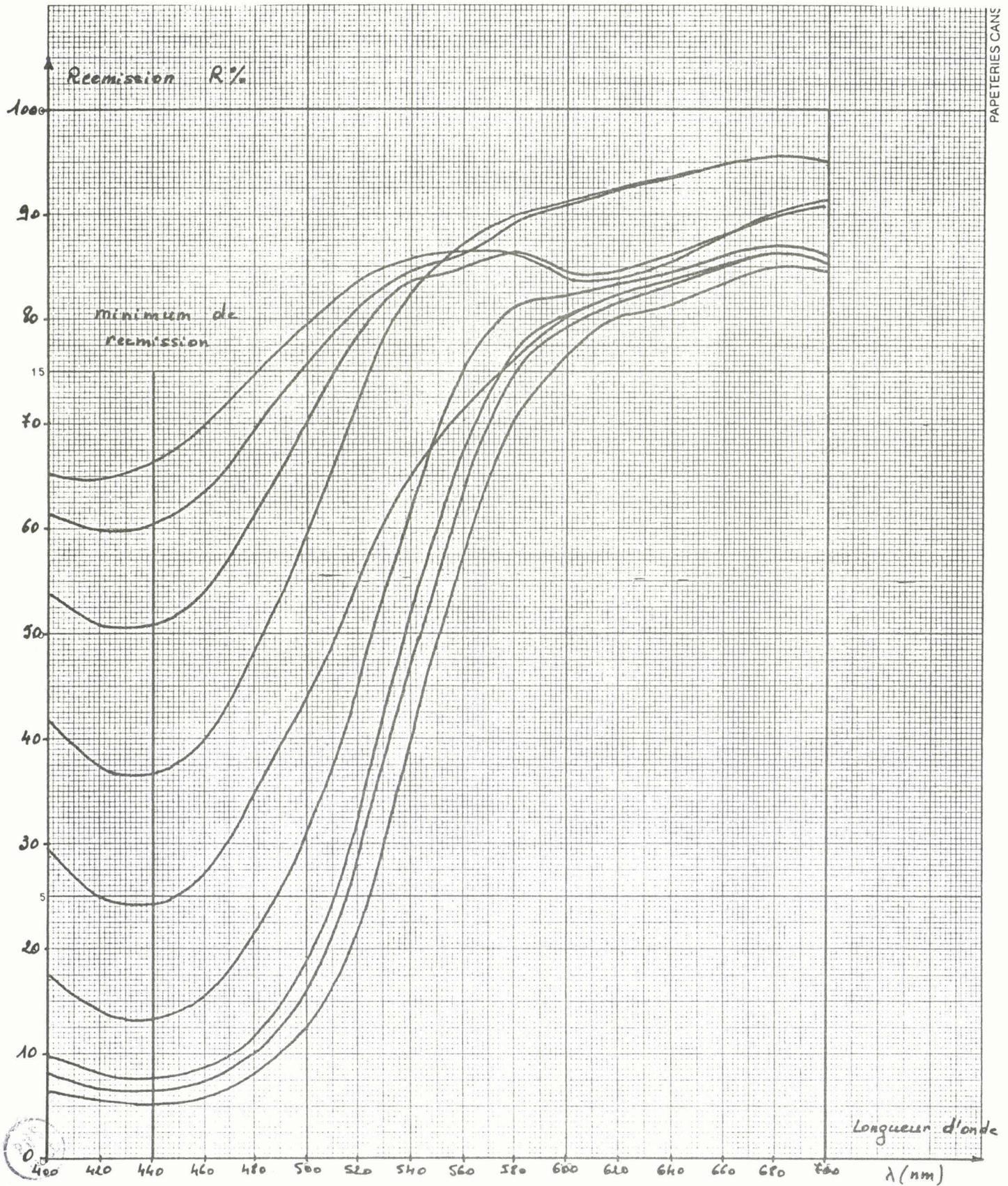
Grappe IV - 01

PAPETERIES CANIS



BLEU DIAZOL LUMIERE R extra 1350

Grappe IV - 02



JAUNE DIAZOL LUMIERE 4 RL

Grappe IV - 03

II)° CHOIX DU MODELE MATHEMATIQUE FONDAMENTAL

La théorie de KUBELKA-MUNK suppose pour son application quelques hypothèses de départ :

- le tissu est considéré homogène et est uniformément coloré.
- la réflectance est mesurée sous une lumière parfaitement diffuse.
- le flux réfléchi est également parfaitement diffus.

H. LEJEUNE et C. MARTHE expliquent pourquoi cette loi devient discutable à de fortes concentrations (9) :

" Ce sont des facteurs propres aux différentes techniques de teinture qui limitent la valeur pratique de la loi de KUBELKA-MUNK à des domaines plus ou moins étendus de concentration.

La relation entre la quantité de colorant sur la fibre et l'absorption de lumière est limitée pour des raisons optiques telle la réflexion résiduelle du support, même lorsque celui-ci est teint en noir. Mais, ce qui diminue encore beaucoup la portée de cette relation, c'est le divorce qu'il peut y avoir entre la quantité de colorant présente sur la fibre en fin de teinture et celle que l'on avait prévue ; le colorant pénètre dans la fibre en fonction d'un équilibre dynamique entre sa concentration dans le bain de teinture et celle dans la matière à teindre ; les lois qui régissent ces équilibres varient en fonction des colorants, des fibres, des adjuvants utilisés avec les colorants, des conditions physiques de la teinture. Il est déjà difficile de bien maîtriser tous ces facteurs ; or, il est fréquent qu'à partir d'une certaine concentration dans la fibre, le colorant n'obéisse plus aux lois d'équilibre précédentes et ne pénètre plus ou très peu dans la fibre ; ce sont des phénomènes de saturation qui se compliquent encore de phénomènes de blocage : certains éléments empêchent d'autres colorants, pourtant de même classe, de teindre les fibres à l'intensité normale ; on peut même dans certains cas provoquer, en partie, le départ d'un colorant hors de la matière teinte en ajoutant en cours de teinture un autre colorant qui prend sa place. "

La loi de KUBELKA-MUNK reste cependant une bonne approximation de la solution, elle présente en outre l'avantage d'être extrêmement simple.

Citons pour mémoire d'autres chercheurs qui ont proposé des solutions :

- FINK-JENSEN (10)
- ATHERTON (13, 14)
- BRIGGEMAN (12)
- PRESTON-TSIEN (13)
- PINEO (13)
- SELLING (13)

Avant d'entreprendre la mise au point d'un logiciel de calcul des recettes de teinture sur textile mouillé, nous avons recherché la solution mathématique la mieux adaptée. Une préétude a été réalisée sur des supports textiles tricotés ou fibres acryliques. Ces fibres sont celles qui posent le plus de difficultés aux coloristes du fait de leur grande variété, mais aussi du fait que beaucoup de colorants cationiques sont fluorescents.

Parmi les modèles cités ci-dessus, le meilleur est celui qui offre la plus grande linéarité entre un rapport que nous appelons $\frac{K}{S}$ dans la théorie de KUBELKA-MUNK et la concentration du colorant.

La sélection d'un modèle a été réalisée à partir du colorant Rouge Astrazon^{*} GTL teint sur Dralon.^{*}

Les courbes $\frac{K}{S} = f(C)$ ont été tracées en 14 points et 3 longueurs d'ondes sélectionnées, à savoir : 500 nm, 560 nm, 600 nm. Les valeurs de mesures sont précisées dans le Tableau 02.

Pour deux modèles : KUBELKA-MUNK et PRESTON-TSIEN, nous avons calculé les équations des droites : $\frac{K}{S} = f(C)$. La comparaison des linéarités se fait au moyen de coefficients de corrélation linéaire. Les autres modèles proposés se sont vite avérés non exploitables par manque de linéarité.

* Marques déposées de la Farbenfabriken BAYER A.G. (R.F.A.)

Valeurs de réémission du Rouge Astrazon

GTL sur Dralon

Tableau IV - 02

Concentration du colorant (%)	R % $\lambda = 500 \text{ nm}$	R % $\lambda = 560 \text{ nm}$	R % $\lambda = 600 \text{ nm}$
0,01	48,40	60,30	72,80
0,05	24,30	36,30	57,00
0,10	16,40	27,10	47,90
0,30	7,30	14,20	32,40
0,50	4,70	9,60	25,70
0,70	3,70	7,80	22,50
1,00	2,80	5,80	18,60
1,50	2,00	3,90	13,70
2,00	1,70	3,10	11,30
2,50	1,50	2,60	9,90
3,00	1,40	2,20	8,00
3,50	1,40	2,10	7,60
4,00	1,30	1,80	6,30
4,50	1,30	1,80	5,80
Support Ecrû (Dralon)	86,00	87,20	86,30

1°) Modèle de KUBELKA-MUNK

Expression générale : $\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$

Etude de la linéarité entre le $\frac{K}{S}$ et la concentration C

Tableau IV - 03

Longueur d'onde (nm)	Equation de la droite $\frac{K}{S} = f(C)$	Coefficient de Corrélation : r
500	$\frac{K}{S} = 8,8238 C + 4,9200$	0,955
560	$\frac{K}{S} = 6,0368 C + 2,0100$	0,978
600	$\frac{K}{S} = 1,6625 C + 0,1341$	0,999

2°) Modèle de PRESTON-TSIEN

Expression générale $\frac{K'}{S} = \text{Log}_n \left[\frac{\frac{1 - 2p}{R} + \frac{1}{p} - 4}{\frac{1}{p} - \frac{1}{R}} \right]$

La valeur du rapport est fonction du paramètre p qui, selon les auteurs est propre à la fibre. La valeur de p se situe en générale entre 0,001 et 0,015. Pour le Dralon, nous sommes amenés à déterminer la valeur du paramètre p de telle manière que la linéarité entre $\frac{K'}{S}$ et la concentration soit la meilleure possible. Remarque : c'est uniquement pour des raisons de commodité que nous appelons cette fonction $f(C) = \frac{K'}{S}$

Etude de la linéarité entre le

$\frac{K'}{S}$ et la concentration C

Tableau IV - 04

Longueur d'onde (nm) et valeur de p	Equation de la droite $\frac{K'}{S} = f(C)$	Coefficient de corrélation : r
500 avec p = 0,005	$\frac{K'}{S} = 0,0816 C + 0,0410$	0,960
500 avec p = 0,010	$\frac{K'}{S} = 0,2076 C + 0,0669$	0,978
500 avec p = 0,011	$\frac{K'}{S} = 0,2523 C + 0,0632$	0,985
500 avec p = 0,012	$\frac{K'}{S} = 0,3230 C + 0,0439$	0,993

3°) Analyse comparative des résultats

Les valeurs de $\frac{K}{S}$ calculées par différentes équations sont indiquées dans le tableau IV -05.

Une observation vient immédiatement à l'analyse du tableau : la valeur de $\frac{K}{S}$ ne peut pas avoir la même signification physique dans chacun des modèles, puisque les différences en valeurs sont extrêmement importantes.

Par exemple : à 500 nm, pour la concentration 1 % :

- selon KUBELKA-MUNK : $\frac{K}{S} = 16,871$

- selon PRESTON-TSIEN (pour $p = 0,012$) : $\frac{K'}{S} = 0,380$

Le rapport $\frac{K}{S}$ devient donc simplement une valeur déduite de la réémission qui permet de trouver une relation linéaire avec la concentration.

Si nous examinons à présent les résultats d'analyse de linéarité dans les tableau 3 et 4, nous découvrons que le modèle de KUBELKA-MUNK est le moins linéaire ; le plus intéressant semble être celui de PRESTON-TSIEN à condition de savoir correctement déterminer la valeur de p (tableau 5).

Valeurs de $\frac{K}{S}$ calculées par différents modèles

Tableau IV - 05

Concentration C %	KUBELKA-MUNK			PRESTON-TSIEN = 500 nm			
	= 500	= 560	= 600	p = 0,005	p = 0,010	p = 0,011	p = 0,012
0,01	0,275	0,130	0,050	$2,44 \cdot 10^{-4}$	$4,02 \cdot 10^{-4}$	$4,23 \cdot 10^{-4}$	$4,41 \cdot 10^{-4}$
0,05	1,179	0,558	0,162	$9,19 \cdot 10^{-4}$	$1,84 \cdot 10^{-2}$	$2,02 \cdot 10^{-2}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$
0,10	2,13	0,96	0,28	$1,78 \cdot 10^{-2}$	$3,58 \cdot 10^{-2}$	$3,94 \cdot 10^{-2}$	$4,30 \cdot 10^{-2}$
0,30	5,88	2,59	0,70	$5,10 \cdot 10^{-2}$	0,103	0,113	0,124
0,50	9,66	4,26	1,07	$8,44 \cdot 10^{-2}$	0,171	0,189	0,207
0,70	12,53	5,45	1,33	0,110	0,224	0,249	0,273
1,00	16,87	7,65	1,78	0,148	0,309	0,343	0,380
1,50	24,01	11,84	2,72	0,214	0,462	0,521	0,584
2,00	28,42	15,14	3,48	0,255	0,571	0,653	0,746
2,50	32,34	18,24	4,10	0,293	0,684	0,797	0,937
3,00	34,72	21,74	5,29	0,317	0,764	0,905	1,09
3,50	34,72	22,82	5,62	0,317	0,764	0,905	1,09
4,00	37,47	26,79	5,97	0,344	0,870	1,06	1,38
4,50	37,47	26,79	7,65	0,344	0,870	1,06	1,38

Résultats comparés à $\lambda = 500 \text{ nm}$:

Comparaisons des modèles

Tableau IV-06

Modèle	Valeurs de r	
. KUBELKA-MUNK	0,955	→ Solution la moins bonne
. PRESTON-TSIEN p = 0,005	0,960	
. PRESTON-TSIEN p = 0,010	0,978	
. PRESTON-TSIEN p = 0,011	0,985	
. PRESTON-TSIEN p = 0,012	0,993	→ Solution la meilleure

D'autres travaux effectués sur le même principe nous ont conduit à étudier plus profondément le modèle de PRESTON-TSIEN avant la poursuite de l'étude. Bien entendu, le problème n'est pas simple compte-tenu du fait que notre choix nous amène à analyser la difficulté de la détermination du paramètre p.

4°) Difficultés d'exploitation du modèle de PRESTON-TSIEN

4°a - Remarques concernant la valeur de "p"

- les auteurs indiquent que p représente un coefficient de réémission pour l'interface fibre-air ; la valeur de p semble donc devoir être étroitement liée à la nature de la fibre.

- le rapport :

$$\frac{\frac{1 - 2p}{R} + \frac{1}{p} - 4}{\frac{1}{p} - \frac{1}{R}}$$

doit être positif quel que soit R qui varie entre 0 et 1. Cette condition est remplie si $0 < p < R_{\text{min}}$ (on prendra p plus petit que la réémission la plus faible).

4°b - Modification de l'expression du modèle

Si la réémission est totale (R = 1), la valeur de f(R) doit être nulle : f(1) = 0

$$\text{Or, } f(1) = \text{Log}_n \left[\frac{\frac{1}{p} - 3 - 2p}{\frac{1}{p} - 1} \right]$$

n'est pas nulle dans le domaine de p.

Pour satisfaire à cette exigence de commodité, l'expression PRESTON-TSIEN doit être légèrement modifiée, à savoir :

$$f(R) = \text{Log}_n \left[\frac{\frac{1 - 2p}{R} + \frac{1}{p} - 4}{\frac{1}{p} - \frac{1}{R}} \right] - \text{Log}_n \left[\frac{\frac{1}{p} - 3 - 2p}{\frac{1}{p} - 1} \right]$$

C'est sous cette forme que le modèle de PRESTON-TSIEN est utilisé dans la suite des investigations.

4°c - Méthode de détermination du paramètre "p"

Pour une fibre, un colorant et une longueur d'onde donnés, nous devons avoir une relation du type :

$$f(R) = a \cdot C + b$$

(C = concentration du colorant sur la fibre)

Si p change, les valeurs de a et b sont modifiées et la corrélation linéaire se trouve également modifiée. La valeur de p optimum sera donc celle qui donne le meilleur coefficient de corrélation. Les équations des droites sont déterminées par la méthode des moindres carrés.

D'une manière pratique, le programme de calcul recherche la valeur de p optimum entre 0,002 et 0,015.

Par ailleurs, l'étude des colorants est faite en 5 points se situant aux concentrations % : 0,1 - 0,3 - 0,5 - 1 - 2.

.../...

En utilisant ce principe de calcul, nous obtenons les valeurs suivantes pour le colorant Rouge Astrazon GTL sur Dralon :

Valeur optimum de p pour le Rouge Astrazon GTL/Dralon

Tableau IV - 07

$\lambda(\text{nm})$	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
$p \times 10^3$	2	2	12	14	15	13	14	15	2	2	2	2	2	2	2	2

Il est remarquable que cette façon de procéder conduit à des valeurs de p optimum très différentes d'une longueur d'onde à une autre. Toutefois, il faut analyser ces résultats en tenant compte de la valeur relative à attribuer aux différentes longueurs d'ondes. Par exemple, pour ce colorant rouge, il est clair que la zone d'absorption maximum, donc de détermination de la couleur, se situe aux longueurs d'ondes 440 à 540 nm. Les autres fréquences sont "relativement" secondaires sans être négligeables pour autant.

Il est intéressant d'examiner l'influence du paramètre p dans chacune des zones ainsi définies :

- 1 - Zone d'absorption maximum : zone primordiale
- 2 - Zone d'absorption minimum : zone secondaire

* Influence du paramètre p dans une zone primordiale ($\lambda = 500 \text{ nm}$)

A la longueur d'onde 500 nm, nous faisons varier la valeur de p et nous analysons l'incidence sur la linéarité de la relation entre f(R) et la concentration.

Le tableau 08 contient les résultats.

Tableau de f(R)

Tableau IV - 07

Valeur de p	0,002	0,005	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014
Equation : f(R) = aC + b	0,1119 C + 0,0175	0,2885 C + 0,0414	0,6528 C + 0,0596	0,7483 C + 0,0558	0,8582 C + 0,0468	0,9893 C + 0,0301	1,1545 C + 0,0007
Corrélation r	0,9916	0,9929	0,9972	0,9982	0,9991	0,9997	0,9997

L'analyse de ce tableau montre qu'une variation de p engendre une modification assez sensible du coefficient de corrélation r.

Si p passe de 0,013 à 0,002
alors r diminue de 0,9997 à 0,9916 (baisse importante)

La valeur de p dans une longueur d'onde primordiale doit donc être l'optimum ou, à défaut, une valeur proche.

* Influence du paramètre p dans une zone secondaire ($\lambda = 600 \text{ nm}$)
.....

De la même façon que précédemment, faisons varier p à la longueur d'onde 600 nm. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 09.

Valeurs de f(R)

Tableau IV - 09

Valeur de p	0,002	0,005	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014
Equation : f(R) = aC + b	0,0132 C + 0,0036	0,0330 C + 0,0091	0,0665 C + 0,0182	0,0733 C + 0,0200	0,0801 C + 0,0218	0,0968 C + 0,0237	0,0938 C + 0,0255
Corrélation r	0,9963	0,9961	0,9962	0,9962	0,9962	0,9963	0,9963

L'analyse du tableau 09 révèle que, quelque soit p dans une zone secondaire, la linéarité est toujours bonne. En effet, le coefficient de corrélation évolue pratiquement pas : il est toujours excellent.

* Conséquence pour la détermination de p

Les travaux précédents ont montré que p doit être choisi dans la zone d'absorption maximum pour être appliqué à toutes les longueurs d'ondes du spectre visible.

En ce qui concerne le colorant rouge Astrazon GTL étudié sur Dralon, la valeur de p doit se situer dans la gamme suivante :

Longueur d'onde (nm)	440	460	480	500	520	540
Valeur de p	0,012	0,014	0,015	0,013	0,014	0,015

Choix de p

Tableau IV - 10

Soit : $0,012 \leq p \leq 0,015$ ($\bar{p} = 0,0138$)

* Elargissement de la recherche de p pour d'autres colorants

Pour approfondir la recherche d'une valeur de p nous élargissons la gamme de couleurs à 7 colorants, à savoir :

- Rouge Astrazon GTL (Rouge GTL)
- Bleu Astrazon 3RL (Bleu 3RL)
- Bleu Astrazon 5RL (Bleu 5RL)
- Bleu Astrazon FL (Bleu FL)
- Violet Astrazon F2R (Violet F2R)
- Jaune or Astrazon 2R (Jaune or 2R)
- Jaune or Astrazon GL (Jaune or GL)

La recherche systématique des valeurs de p optimum fournit les résultats rassemblés dans le tableau 11.

Valeurs de p optimum

Tableau IV - 11

Longueur d'onde (nm)	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
Rouge GTL			0,012	0,014	0,015	0,013	0,014	0,015								
Bleu 3RL																
Bleu 5RL							0,015			0,008			0,011			
Bleu FL									0,008	0,013	0,011	0,013				
Violet F2R									0,015							
Jaune or 2R		0,015	0,015	0,013	0,015	0,013										
Jaune or GL	0,006	0,013	0,013	0,012	0,012											

Les cases vides du tableau 11 indiquent que les valeurs de p correspondantes peuvent être choisies entre 0,002 et 0,015 avec une légère préférence pour les valeurs faibles (0,002 est l'optimum).

Une manière de simplifier le problème de la détermination de p est de calculer la moyenne arithmétique des valeurs ci-dessus et de considérer cette valeur comme étant celle du Dralon, soit :

$$p_{\text{Dralon}} = 0,0127$$

Si cette valeur est correcte, alors, pour chacun des colorants, et à toutes les longueurs d'ondes, nous devons avoir une bonne linéarité entre $f(R)$ et la concentration. La qualité de linéarité est jugée par les coefficients de corrélation r .

Le tableau 12 présente les coefficients r calculés lorsque $p = 0,0127$

Etude de linéarité - Coefficients de Corrélation

Tableau IV - 12

Longueur d'onde (nm)	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700
Rouge GL				0,9996	0,9986	0,9995	0,9993	0,9986								
Bleu 3RL									0,9996	0,9999	0,9994	0,9999	0,9999			
Bleu 5RL								0,9999	0,9998	0,9997	0,9997	0,9990				
Bleu FL									0,0002	0,9998	0,9996	0,9999	0,9976			
Violet F2R						0,9938	0,9986	0,9887	0,9968	0,9956						
Jaune Or 2R		0,9997	0,9989	0,9998	0,9989	0,9998										
Jaune Or GL		,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9996										

Seules les valeurs de corrélation aux longueurs d'ondes qui entourent les maximum d'absorption sont indiquées car ce sont en réalité ces longueurs d'ondes qui déterminent le calcul des recettes.

La moyenne des 35 coefficients de corrélation ci-dessus est :

$$\bar{r} = 0,9986$$

avec un écart type :

$$\sigma_r = 0,0023$$

Si nous calculons les mêmes coefficients en utilisant la loi de KUBELKA-MUNK, nous trouvons :

$$\bar{r}' = 0,9953$$

$$\sigma_{r'} = 0,0065$$

Un test statistique de comparaison des deux valeurs moyennes de corrélation permet d'affirmer avec 95 % de certitude que la linéarité est meilleure en utilisant la loi de PRESTON-TSIEN avec $p = 0,0127$ pour la Dralon qu'en utilisant la loi de KUBELKA-MUNK.

(Pour cette comparaison, la variable à tester est la suivante :

$$u = \frac{|r - r'|}{\sqrt{\frac{\sigma_r^2}{35} + \frac{\sigma_{r'}^2}{35}}} = 2,83$$

avec la borne critique au niveau 95 % = 1,64).

* Elargissement de la recherche de p pour d'autres matières
.....

Une étude semblable à celle réalisée sur Dralon montre que la loi de PRESTON-TSIEN est plus linéaire que celle de KUBELKA-MUNK lorsqu'elle est appliquée sur Leacryl ($p = 0,0142$). Par contre, elle n'est pas meilleure de façon significative lorsqu'elle est appliquée sur courtelle ($p = 0,0136$) ou Crylor ($p = 0,0127$).

5°) Conclusion : sélection d'une loi

La loi de PRESTON-TSIEN est sans doute l'une des plus linéaires proposées actuellement. Toutefois, nous constatons que son exploitation est extrêmement délicate. En particulier le paramètre p doit être déterminé pour chaque support, éventuellement pour chaque catégorie de colorants applicables sur un support donné.

En outre, le fait que la valeur de p ne soit pas commune à tous les textiles engendre une difficulté supplémentaire pour les calculs de recettes sur fibres mélangées.

Pour cet ensemble de raisons nous avons préféré exploiter la loi de KUBELKA-MUNK en intégrant au logiciel une méthode de correction des défauts de linéarité.

III°) RESOLUTION DES PROBLEMES DE NON LINEARITE DU MODELE FONDAMENTAL

1°) Défaut de linéarité de la loi de KUBELKA-MUNK

Si nous considérons les trois colorants choisis pour notre étude, les réémissions les plus faibles sont les plus influantes lors d'un calcul de recette.

Par conséquent les longueurs d'ondes des minimums de réémissions sont celles où la linéarité doit être la plus parfaite. Nous observons en réalité un tassement des droites, parfois très significatif, qui perturbe sensiblement le calcul des recettes.

Pour illustrer cette remarque nous avons tracé sur le graphe O4, une "droite" $\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = f(C)$ pour chacun des colorants concernés.

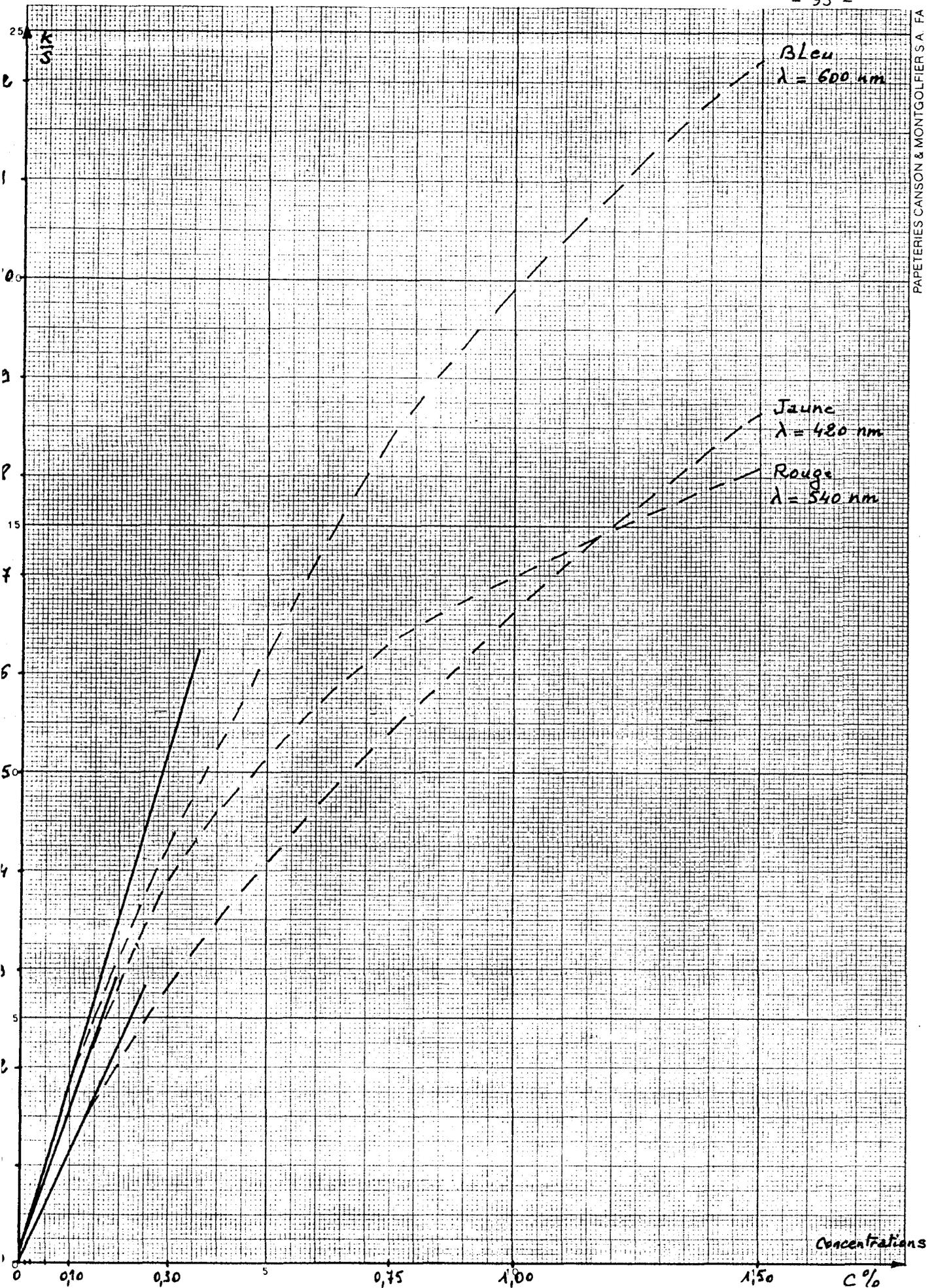
Les valeurs utilisées sont données ci-dessous :

Linéarité de la loi de KUBELKA-MUNK

Tableau IV - 13

Concentration %	0,005	0,01	0,02	0,05	0,10	0,30	0,75	1,00	1,50	λ (nm)
$\frac{K}{S}$ (Rouge)	0,1013	0,2071	0,3341	0,7967	1,4860	3,9059	6,3869	6,9680	8,1184	540
$\frac{K}{S}$ (Bleu)	0,0876	0,1531	0,3114	0,7138	1,7812	4,2563	8,4605	9,4407	12,1769	600
$\frac{K}{S}$ (Jaune)	0,0844	0,1298	0,2368	0,5459	1,1791	2,7712	5,4493	6,6088	8,6414	440
$\frac{K}{S}$ (Support)	440 nm 0,0256		540 nm 0,0040		600 nm 0,0042					

Il apparait clairement que la difficulté majeure rencontrée dans le calcul des recettes réside dans ce que nous venons d'exposer. La qualité du logiciel est fonction de la façon avec laquelle nous parvenons à surmonter la difficulté. La littérature spécialisée reste muette sur cette question.



NON LINEARITE DE LA LOI DE KUBELKA-MUNK

De fait, la solution réside soit en une modélisation des fonctions $\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = f(C)$, soit en réalisant des interpolations plus ou moins complexes dans les courbes.

2°) Défaut d'additivité de la loi de KUBELKA-MUNK

Si la linéarité de la loi n'est pas vérifiée, c'est qu'il se produit un phénomène de saturation optique. Il est donc normal de retrouver cette limite dans la relation d'additivité des $\frac{K}{S}$ du mélange de colorants.

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} - \left(\frac{K}{S}\right)_\lambda, \text{ support} = \sum_{j=1}^3 \gamma_{\lambda, j} \cdot c_j$$

Cette relation théorique n'est plus vérifiée dès que la somme $(C_1 + C_2 + C_3)$ devient importante .

Si nous appelons $\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} - \left(\frac{K}{S}\right)_\lambda, \text{ support} = \left(\frac{K}{S}\right)_\lambda$ mesuré

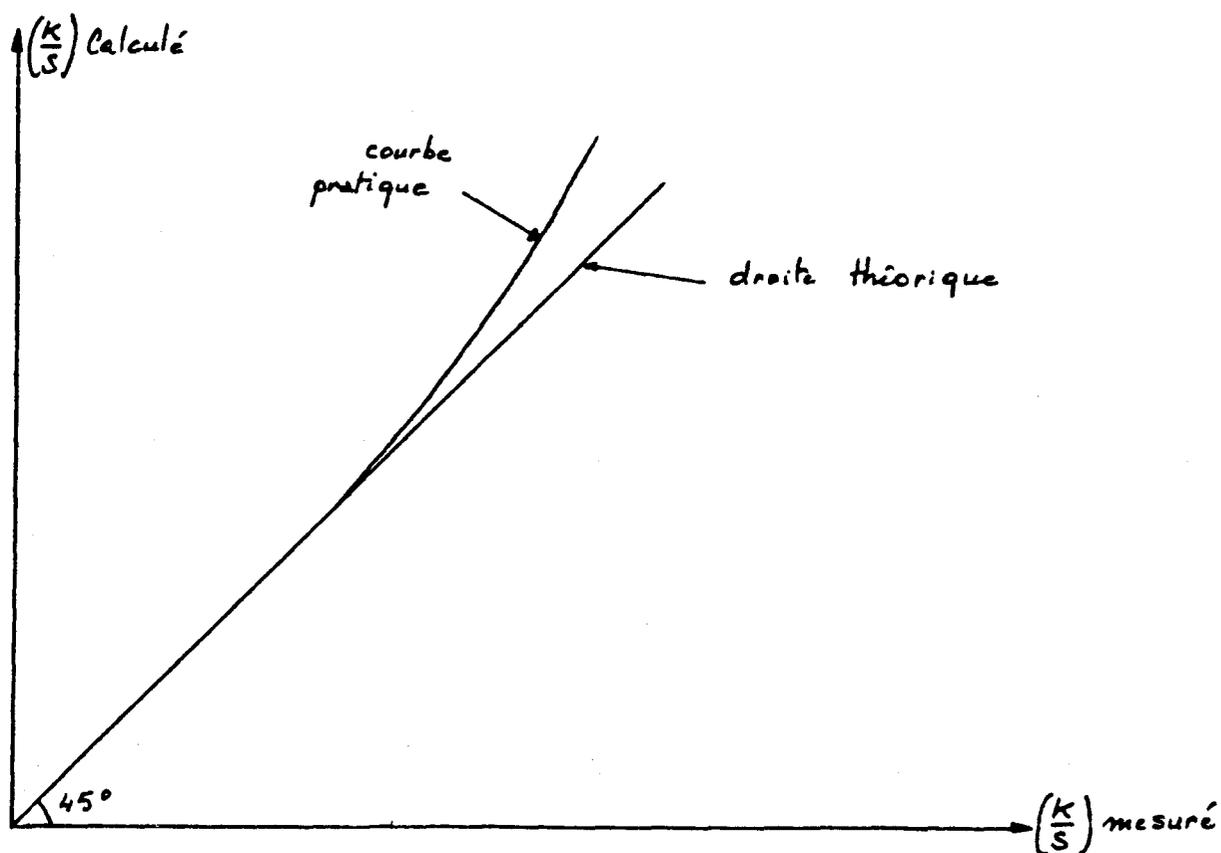
et

$$\sum_{j=1}^3 \gamma_{\lambda, j} \cdot c_j = \left(\frac{K}{S}\right)_\lambda \text{ calculé}$$

Nous observons, quelle que soit la longueur d'onde, une droite $\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda \text{ calculé} = f\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda \text{ mesuré}$ qui s'infléchit vers les grandes valeurs de $\frac{K}{S}$.
(Cf Figure 1).

Vérification du principe d'additivité
de $\frac{K}{S}$

Fig. IV - 01



3°) Résolution itérative des problèmes

Pour tous les colorants nous observons une bonne linéarité des $\frac{K}{S}$ en fonction des faibles concentrations.

Il est intéressant de se servir de cette propriété pour réaliser un premier calcul de recettes.

Les pentes des droites de la matrice p sont donc, au départ, celles obtenues pour des concentrations allant jusqu'à C_j^* .

Cette concentration C_j^* est obtenue par l'étude de la courbe $\frac{K}{S} = f(C)$, pour chacun des colorants à sa longueur d'onde critique λ^* , c'est-à-dire au minimum de réémission.

Pour déterminer C_j^* il est nécessaire que la relation :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda^*, C_j} = \gamma_{\lambda^*, j} \cdot C_j \quad \text{pour} \quad C_j \leq C_j^* \quad \text{soit linéaire.}$$

L'étude de l'évolution de cette droite, lorsque C_j augmente jusque C_j^* , ne doit pas faire apparaître de variation sensible dans la pente.

On réalise la détermination de C_j^* par une comparaison statistique de la dernière pente calculée avec la moyenne de celles qui la précèdent.

Si on pose :

$$\bar{\gamma}_{\lambda^*, j, i} = \text{moyenne des pentes progressivement calculées pour les } i \text{ premiers points de la courbe}$$

et :

$$\bar{\gamma}_{\lambda^*, j, i+1} = \text{pente calculée pour les } (i+1) \text{ premiers points de la courbe}$$

alors nous pouvons pratiquer un test de comparaison unilatéral utilisant la loi de GAUSS avec la variable suivante :

$$U = \frac{|\gamma_{\lambda^*, j, i+1} - \bar{\gamma}_{\lambda^*, j, i}|}{\sigma_{\gamma_{\lambda^*, j}}}$$

Le $\sigma_{\gamma_{\lambda^*, j}}$ représente l'écart type des pentes entrant dans le calcul de la moyenne $\bar{\gamma}_{\lambda^*, j, i}$

Le test est pratiqué au seuil de 1 %, la borne critique a pour valeur 2,33.

Par exemple

Pour le colorant jaune, à la longueur d'onde critique 440 nm, nous avons les mesures suivantes :

Concentrations %	0	0,005	0,01	0,02	0,05	0,10	0,30
$\frac{K}{S}$	0	0,0584	0,1042	0,2112	0,5205	1,1535	2,7456
Point i	1	2	3	4	5	6	7

Colorant jaune

K/S en fonction de C % de la longueur

d'onde 440 nm

Tableau IV - 14

Le calcul progressif des pentes fournit les résultats suivants :

Dernier point utilisé dans le calcul de i	2	3	4	5	6	7
Pente : $\gamma_{440, \text{jaune}, i}$	11,680	10,420	10,456	10,363	11,445	9,197

Evolution des pentes

Tableau IV - 15

La concentration $C = 0,10 \%$ est-elle inférieure ou supérieure à C^* jaune ? (Calcul sur le point 6).

Moyenne des 4 premières pentes : $\bar{\gamma}_{440, \text{jaune}, 5} = 10,730$

Ecart type : $\sigma_{\gamma_{440, \text{jaune}}} = 0,634$

.../...

La variable à tester a pour valeur $U = \frac{|11,445 - 10,730|}{0,635}$, soit $U = 1,126$

Elle est inférieure à la borne critique 2,33. Par conséquent, nous ne pouvons pas dire que la pente calculée sur 6 points soit différente des précédentes (risque 1 % d'erreur). La concentration $C = 0,10 \%$ est donc inférieure ou égale à C_j^* .

Si l'on teste la concentration suivante $C = 0,30 \%$, les calculs nous donnent une valeur pour $U = \frac{|10,873 - 9,197|}{0,636}$, soit $U = 2,635$.

Cette concentration est donc supérieure à C_j^* , ce qui nous conduit à prendre $C_j^* = 0,10 \%$.

Le calcul à l'aide des pentes initiales, nous permet d'obtenir une approche de solution (C_1, C_2, C_3) , que nous appelons (x_1, x_2, x_3) .

L'équation suivante est vérifiée pour 16 longueurs d'onde :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} - \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}} = \sum_{j=1}^3 \gamma_{\lambda, j} \cdot x_j$$

Par ailleurs, il est aisé, connaissant les x_j et $\gamma_{\lambda, j}$ de déterminer séparément les éléments de la somme ci-dessus.

Nous avons par conséquent la relation suivante :

$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j} = x_j \cdot \gamma_{\lambda, j}$$

$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j}$ représente la valeur de $\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda}$ du colorant j , à la concentration C_j .

A ce stade du calcul, il faut trouver avec le plus d'exactitude possible à quelle concentration C_j correspond la valeur $\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, C_j}$. La figure 2 représente l'opération à réaliser.

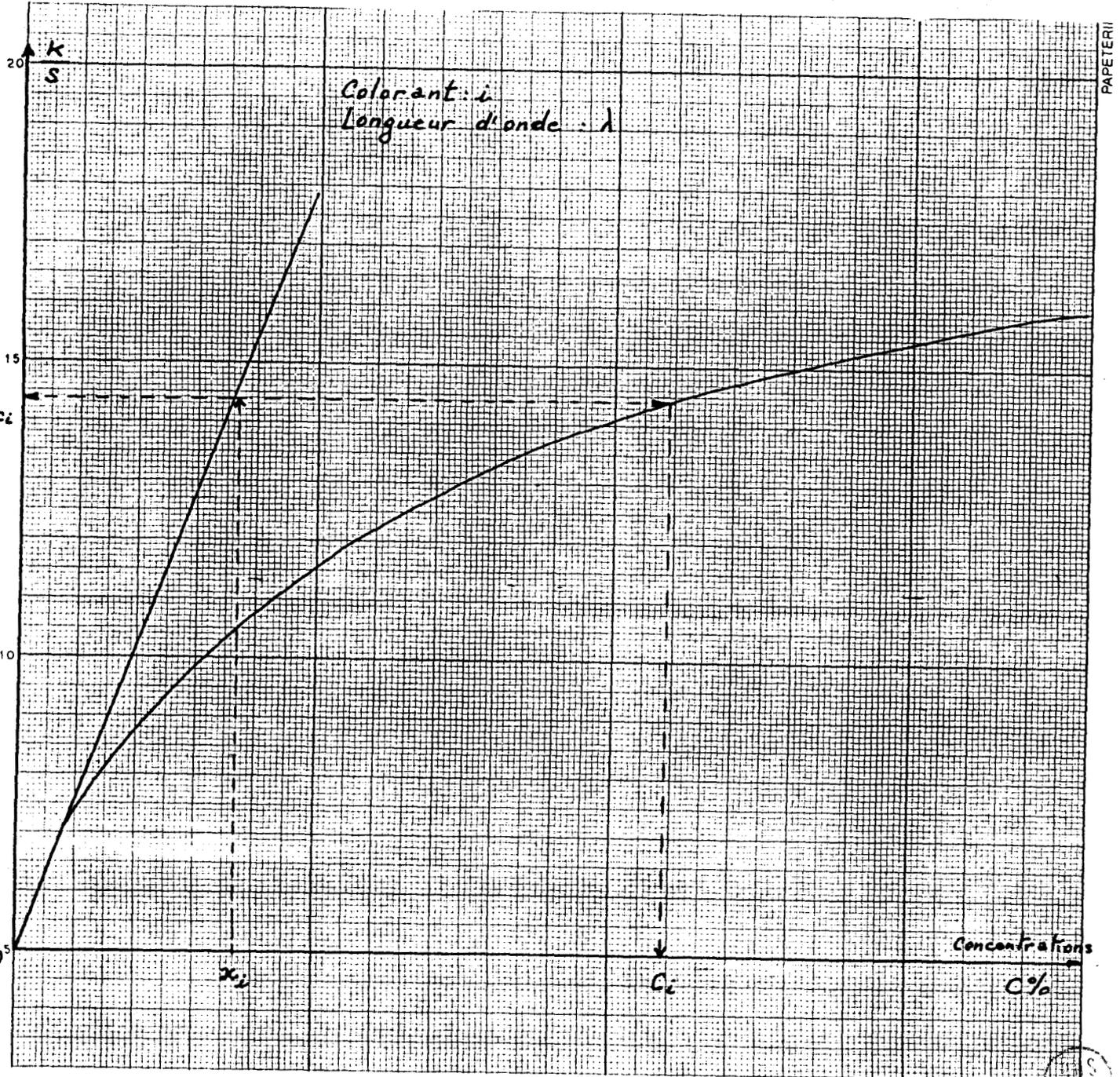


Fig. IV - 02

Il est à remarquer que les pentes des droites utilisées pour la détermination de x_1 , x_2 , x_3 doivent être connues avec une grande précision. Celle-ci dépend de la qualité de réalisation des mémoires. L'exactitude des faibles concentrations est la plus difficile à réaliser.

L'obtention de C_1 , C_2 , C_3 se fait à l'aide de 3 fois 16 courbes

$$\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = f(C)$$

Des analyses dans ce domaine, nous ont amené à choisir une méthode d'interpolation, plutôt que de modéliser les fonctions $\left(\frac{K}{S}\right)_\lambda = f(C)$. Tant pour des raisons de précision que pour des raisons de rapidité de calcul.

Ainsi, au-delà des concentrations C_j^* propres à chaque colorant, nous effectuons une segmentation et des interpolations linéaires. Il convient alors de multiplier les points de manière à obtenir un maximum de précision.

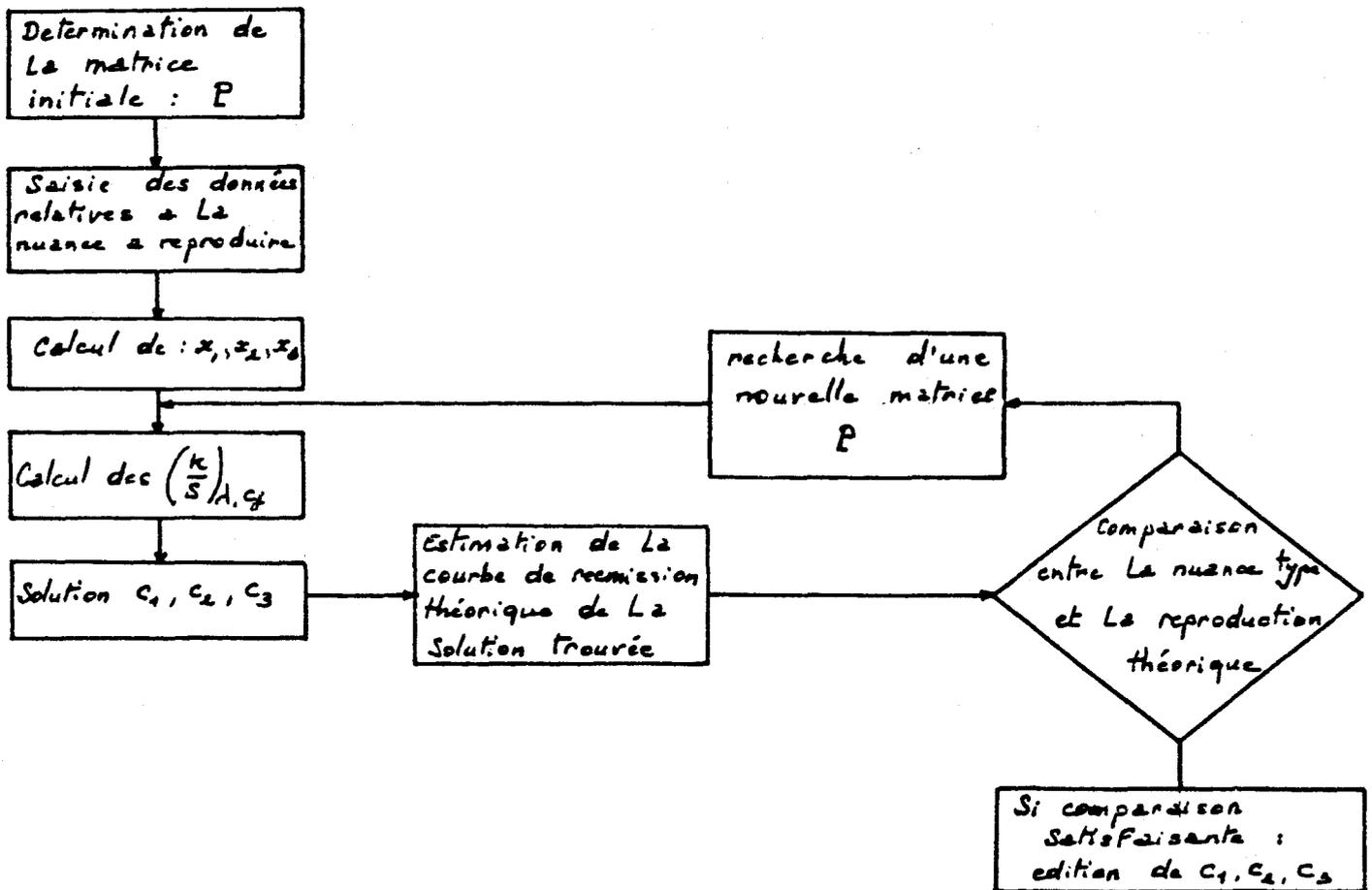
Il est indispensable de créer une mémoire de colorant rigoureusement sans défaut. Une analyse systématique des mémoires permet de mettre en évidence les teintures à refaire.

Le principe itératif du calcul des recettes est le suivant :

(Cf page suivante).

Principe de calcul de recette

Fig. IV - 03



4°) Calcul dynamique des recettes

Au départ du processus de teinture, le calcul d'une recette initiale est réalisé à partir de la nuance type sèche et du support textile mouillé.

Lorsque le bain de teinture est épuisé, une mesure de la reproduction à l'état mouillé est faite sur site. Celle-ci est "rincée" puis "séchée" par calculs. Nous obtenons ainsi la courbe de rémission de la reproduction au temps T.

Si cette reproduction est imparfaite, il est nécessaire d'estimer les quantités de colorants à ajouter au bain de manière à l'améliorer jusqu'à entière satisfaction.

A ce niveau, deux solutions sont envisageables :

- Calculer la recette nécessaire pour obtenir la nuance type en se servant de la reproduction comme support.

- Calculer la recette qui serait nécessaire pour obtenir la reproduction actuelle, en se servant du support initial. Déduire cette recette de celle calculée pour la nuance type.

La première solution, retenue au début des essais, est abandonnée pour la raison que nous exposons dans ce qui suit.

Le calcul des quantités de colorants à ajouter doit être très précis, d'autant plus que la reproduction s'approche de la nuance type. Si nous calculons une recette à partir d'un support textile de couleur voisine de celle du type, nous obtenons une faible valeur pour la différence :

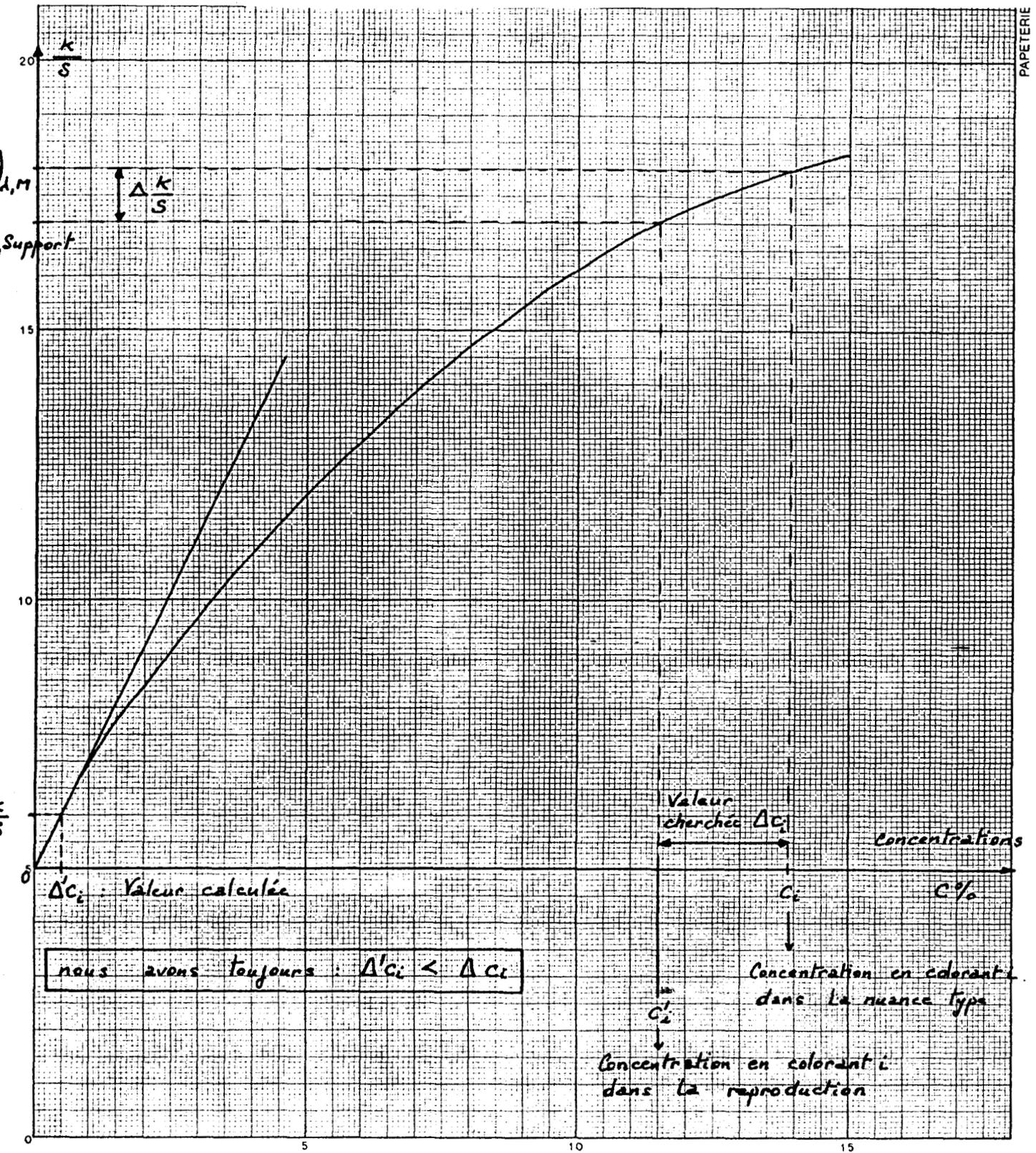
$$\left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, M} - \left(\frac{K}{S}\right)_{\lambda, \text{support}}$$

Le calcul de la recette correspondante s'effectue donc inévitablement dans la partie linéaire de la fonction de KUBELKA-MUNK, ce qui est fondamentalement erroné du fait que les nuances type et reproduction ne se situent vraisemblablement pas dans cette zone. (seules les nuances pastelées se situent dans la zone de linéarité).

Par conséquent, les valeurs calculées C_1 , C_2 , C_3 pour corriger la nuance reproduite, sont impérativement trop faibles. La figure 3 illustre ce phénomène.

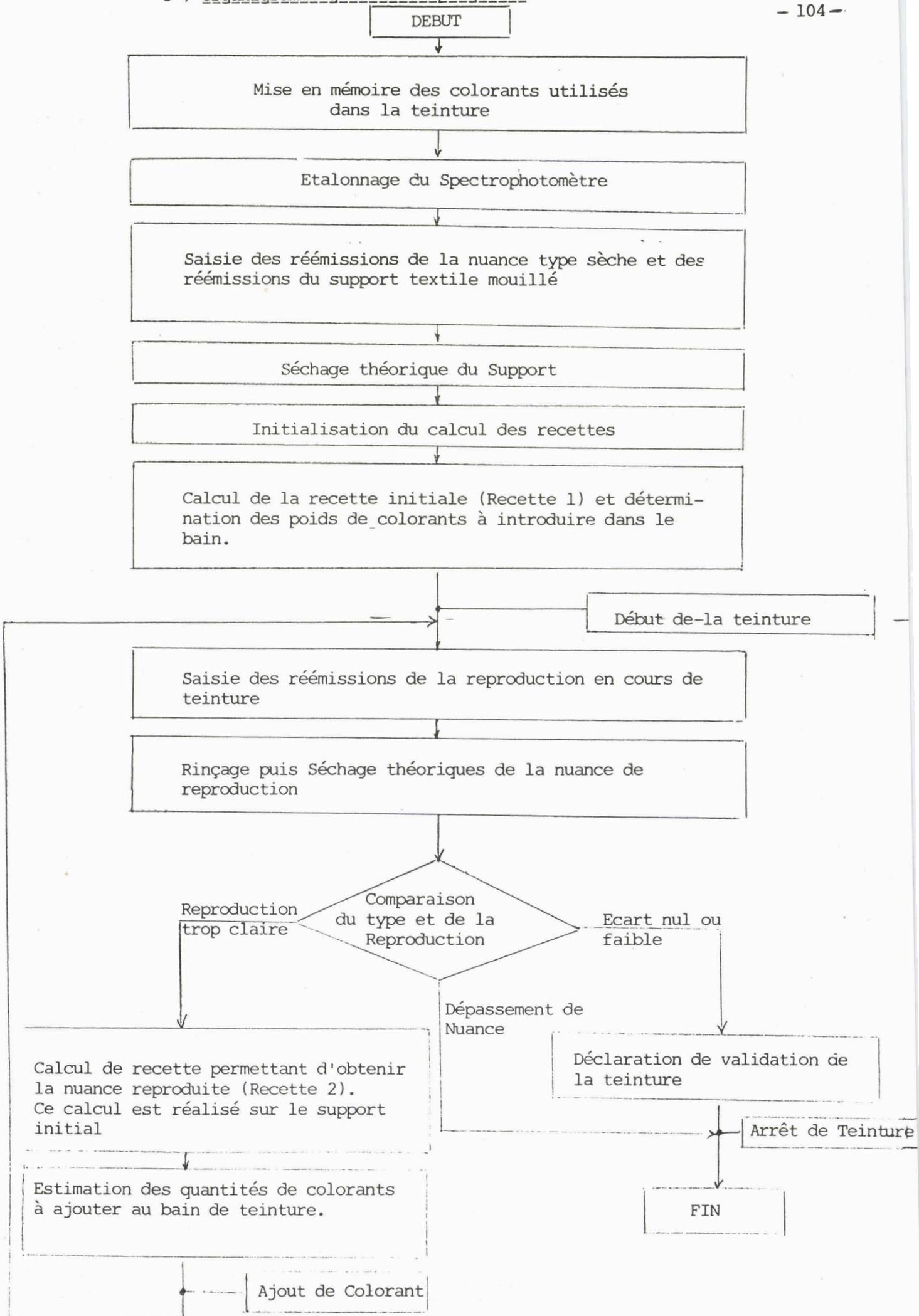
(Cf page suivante).

L'autre solution proposée nous a permis de mettre au point des nuances sur site avec une conformité satisfaisante. Toutefois, nos calculs sont vains, si les valeurs saisies des réémissions de la reproduction ne sont pas correctement traitées avant d'être utilisées dans le calcul de recette.



Détermination de l'ajout de Colorant

Fig. IV - 03



IV°) TRAITEMENT DES DONNEES AVANT CALCUL DES RECETTES

Le traitement des données est réalisé en trois étapes dans l'ordre :

- transformation des valeurs par application des vecteurs de correction MUL et CTE calculés lors de l'étalonnage (Voir Chapitre : SONDE INDUSTRIELLE),
- rinçage théorique de la nuance,
- séchage théorique de la nuance.

1°) Rinçage théorique de la nuance

Il a été montré (14), pour les trois colorants concernés appliqués sur coton, qu'il existe une relation linéaire entre les réémissions du tissu avant rinçage et celles obtenues après rinçage. Le rinçage définitif est réalisé, dans cette étude, après une série de trois vidange/rinçage (passage une fois dans l'eau adoucie froide).

Si nous appelons : R_{AR} = réémission avant rinçage

R_V = réémission à la vidange finale

Nous avons :

- pour le colorant Rouge seul : $R_{AR} = \alpha_R \cdot R_V$ avec $\alpha_R = 1,19$
- pour le colorant Bleu seul : $R_{AR} = \alpha_B \cdot R_V$ avec $\alpha_B = 1,12$
- pour le colorant jaune seul : $R_{AR} = \alpha_J \cdot R_V$ avec $\alpha_J = 1,21$

Le rinçage industriel est réalisé, dans notre cas, par passage du tissu dans une eau adoucie continuellement renouvelée. De plus, les teintures sont, pour la plupart, réalisées en trichromie.

La modélisation du rinçage industriel n'a donc été possible que par analyses successives des essais réalisés sur des rouleaux de 800 m de coton.

Les colorants substantifs ne font aucune liaison chimique avec le coton : seules des liaisons hydrogènes interviennent. La théorie de la teinture de la cellulose par les colorants directs est largement expliquée par plusieurs chercheurs (15) - (16).

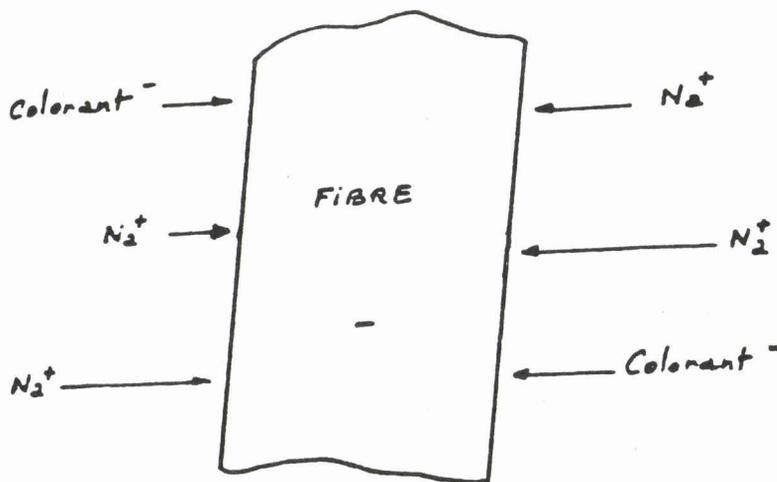
Schématiquement, nous pouvons dire que la teinture est un phénomène au cours duquel nous distinguons 4 étapes :

- Dissolution du colorant
.....

Le colorant se présente sous forme d'agrégats ou de molécules simples dissouts dans le milieu aqueux ; l'équilibre est atteint suivant les lois de la chimie classique.

- Adsorption superficielle
.....

Dans le milieu aqueux, le colorant et les fibres de coton portent tous deux des charges négatives. La force de répulsion rend difficile l'adsorption du colorant par la fibre, il faut donc la favoriser par l'adjonction d'un électrolyte (Na Cl ou Na_2SO_4). Ce dernier permet à la fibre de prendre un potentiel positif et d'attirer les anions colorants.



Adsorption superficielle

Fig. IV - 04

La diffusion du colorant de la surface vers l'intérieur de la fibre se fait sous l'influence des forces osmotiques. Le colorant présent dans le bain

ne pénètre pas en totalité dans la fibre ; il s'établit un équilibre qui dépend de :

- la température,
- la concentration en colorant,
- la concentration en électrolyte,
- le PH du bain,
- le rapport de bain.

- Fixation du colorant
.....

La fixation se fait par liaisons hydrogènes.

La théorie du rinçage sur Jigger étudié par TH. MORTON (17) fournit des équations très complexes, difficilement applicables à l'analyse des résultats industriels.

Nous pouvons penser que le rinçage dépend des éléments suivants :

- dureté de l'eau,
- vitesse de déroulement du tissu,
- température,
- renouvellement de l'eau,
- dimensions des molécules de colorants, affinités.

Le rinçage industriel est considéré comme terminé lorsque le colorant ne dégorge plus. C'est à dire après 1 ou 2 passages en eau renouvelée.

L'ensemble des éléments à intégrer est très complexe. Nos essais nous ont amenés à considérer un modèle de rinçage relativement simple, qui s'est avéré assez proche de la réalité, avec les colorants utilisés.

Si nous appelons :	C_R	concentration de colorant Rouge	} Recette totale appliquée
	C_B	" " Bleu	
	C_J	" " Jaune	

nous établissons un coefficient de rinçage global qui est appliqué à la courbe de réémission mesurée avant rinçage de manière à estimer ce qu'elle serait après rinçage.

$$\text{RINCE} = 1 + \frac{(\alpha_R - 1)C_R + (\alpha_B - 1)C_B + (\alpha_J - 1)C_J}{C_R + C_B + C_J + \xi}$$

En pratique, on utilise un ξ au dénominateur de façon à obtenir un coefficient de rinçage égal à 1 lorsque $C_R = C_B = C_J = 0$ (début de teinture).

Avec $\alpha_R, \alpha_B, \alpha_J$: coefficients propres aux colorants utilisés

$$\text{Nous avons : } R_V = R_{AR} * \text{RINCE}$$

avec R_V : réémission mouillée prévue après vidange

R_{AR} : réémission mouillée avant rinçage

Les coefficients α ont pour valeurs :

$$\begin{aligned} \alpha_R &= 1,19 \\ \alpha_B &= 1,12 \\ \alpha_J &= 1,21 \end{aligned}$$

2°) Séchage théorique de la nuance

Comme nous l'avons exposé au chapitre III, nous avons appliqué le modèle suivant :

$$R_S = -A_0 \cdot e^{-\frac{R_M}{K}} + A_1 \cdot R_M + A_2$$

3°) Résumé du traitement des données préalablement au calcul de recette

- Correction : $R_M = (R_M - \text{CTE})/\text{MUL}$
- Rinçage : $R_M = R_M * \text{RINCE}$
- Séchage : $R_S = A_0 \cdot \exp(-R_M/K) + A_1 \cdot R_M + A_2$

V°) CONCLUSION

Le calcul des recettes de teinture est dans le domaine de l'ennoblissement textile, un élément majeur pour la modernisation de cette industrie. Notre logiciel présente par rapport aux produits actuellement proposés des différences sensibles.

.../...

A savoir,

- le calcul des recettes s'effectue de manière dynamique à partir d'une mesure sur textile mouillé. Le système intègre par conséquent la prévision de changement de nuance due au rinçage et au séchage final de la matière.

- le calcul est effectué sur la base d'une trichromie déjà connue,

- la méthode mathématique choisie est simple de façon à réduire la durée des calculs, à piloter le processus en temps quasi-réels.

-o000o-

CHAPITRE V

SUIVI DE TEINTURE

ET

ANALYSE

-o000o-

- I N T R O D U C T I O N -

Les travaux entrepris dans le cadre de ce mémoire ont donné lieu à des teintures trichromiques en site industriel. Le passage d'un prototype de laboratoire à la grandeur réelle, entraîne d'une part des modifications sensibles du modèle et d'autre part une adaptation spécifique du matériel. L'analyse des résultats conduit à une réflexion générale sur les moyens à mettre en oeuvre en vue d'un élargissement de la méthode.

En outre, les observations sur le site ont permis des expérimentations originales en matière de colorimétrie des textiles mouillés.

-o000o-

I°) PROCESSUS DE TEINTURE

La campagne d'essais industriels s'est étendue sur une série de 13 teintures sur Jigger. La technique de teinture adoptée se rapproche de la méthode traditionnelle. Elle est également sensiblement identique pour toutes les expériences. Ce processus se décompose essentiellement en :

1°) Matière

Nous avons utilisé des rouleaux de 800 m (toile de coton) en 1,30 m de laize. Soit un poids de 130 kg par rouleau.

2°) Diagramme temporel de base

Voir page suivante, Fig. 01.

La durée totale du processus de teinture est de 2 H 45 environ, et comporte les tâches essentielles :

- teinture,
- nuançage,
- rinçage.

Le "mouillage" préalable du tissu est réalisé dans l'eau froide en deux passages, ce qui permet de saisir les réémissions du support écriu et de calculer la recette initiale.

En fonction du poids de coton à teindre, l'ordinateur indique les poids de colorants à introduire dans le bain. L'introduction effective des colorants correspondant à 90% de la recette initiale, est faite en 2 moitiés de manière à éviter un mauvais unisson dans le sens "tête-queue".

Le rapport de bain est de 1/3,5 (3,5 litres d'eau pour 1 kg de coton). L'ajout d'électrolyte (NaCl) est réalisé progressivement en 4 fois, soit successivement : 1, 2, 3 et 4 kg. Ce qui représente au total une concentration de 20 grammes par litre de bain.

Le rinçage est réalisé par débordement d'eau adoucie froide.

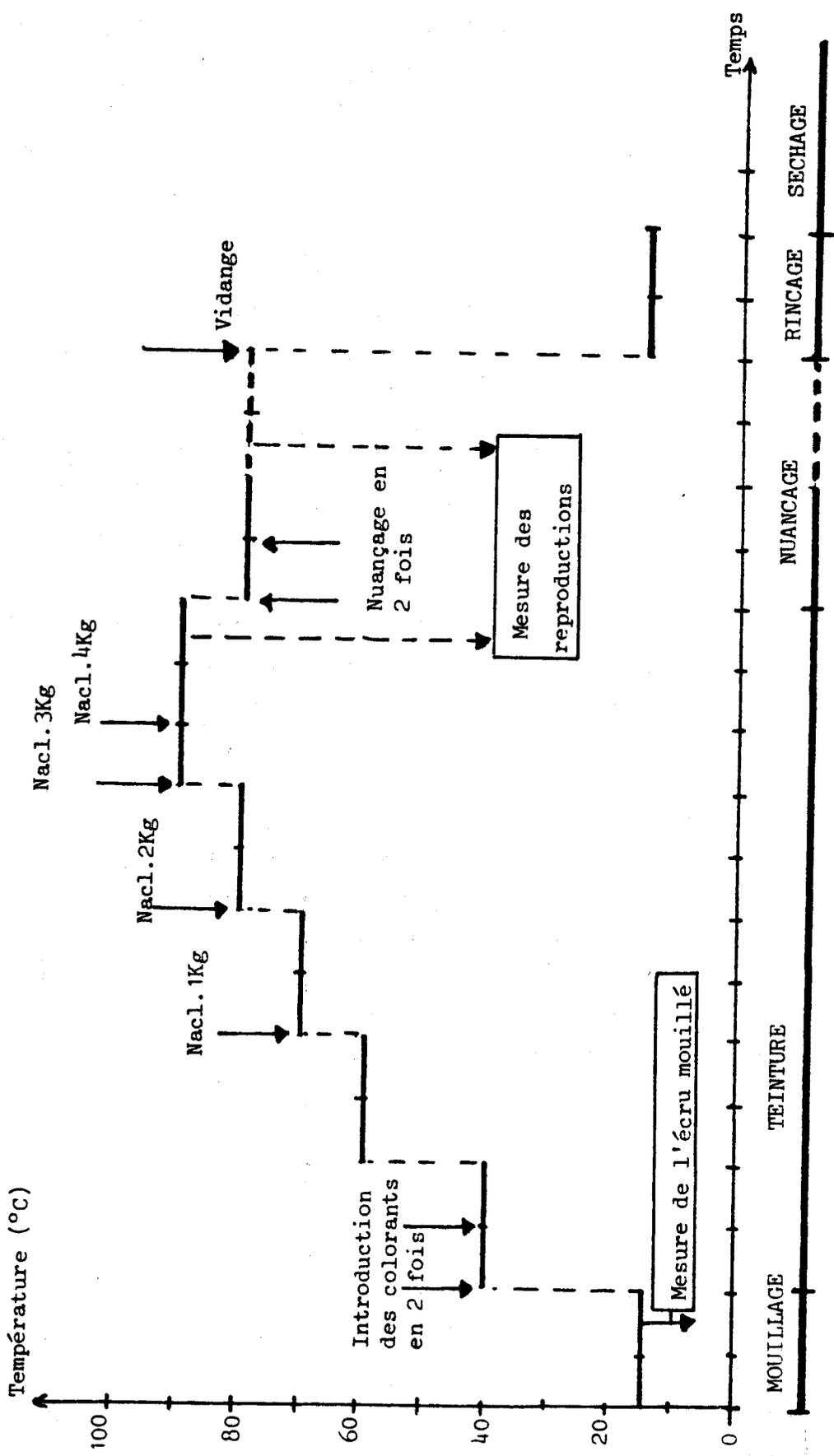


Diagramme temporel des teintures

Echelle de temps : 1 espace = 1 passage
dans le bain à la vitesse de 90 m/mn à 9 mm

Fig. V - 01

3°) Nuançage

Parmi toutes les opérations du processus de teinture, le nuançage est la plus délicate. Elle s'effectue traditionnellement de la façon suivante :

- a - Arrêt de la machine
- b - Prélèvement d'un échantillon teint
- c - Séchage de l'échantillon
- d - Comparaison visuelle de la reproduction et de la nuance type
- e - Estimation des quantités de colorants à ajouter
- f - Introduction des colorants et nuançage.

Les points d et e peuvent être réalisés à l'aide d'un spectrophotomètre de laboratoire équipé d'un ordinateur. Toutefois, dans la plupart des cas, ce travail est laissé au spécialiste : le maître teinturier, homme de grande expérience.

Notre système d'"échantillonnage au mouillé", en opposition à l'"échantillonnage au sec", exposé ci-dessus, apporte un progrès considérable. Le mécanisme de l'opération est très simplifié :

- a - Saisie des réémissions de la reproduction en cours de teinture
- b - Comparaison automatique de la reproduction et de la nuance type
- c - Calcul en cascade des ajouts nécessaires de colorants
- d - Introduction des colorants et nuançage

La mesure de la reproduction doit, bien entendu, être faite en fin de teinture, lorsque le bain est "épuisé". Si ce n'est pas le cas, il se produit deux erreurs importantes :

- le colorant, non encore monté sur fibre, fausse l'estimation de ce qu'il faut ajouter dans le bain,
- si la phase de diffusion du colorant au coeur de la fibre n'est pas terminée, la couleur définitive n'est pas atteinte et n'est pas représentative.

En effet, lorsque tout le colorant du bain (ou presque) se trouve "monté" sur fibre, il diffuse progressivement de la périphérie vers l'intérieur. On observe que la fibre est plus foncée, pour une même quantité de colorant, avant diffusion qu'après.

La diffusion n'est terminée qu'en fin de teinture, il convient donc d'attendre cette étape pour réaliser des prédictions valables.

Enfin, la phase tinctoriale proprement dite du nuançage est à réaliser avec le plus grand soin. Les quantités de colorants généralement faibles, sont à diluer de façon homogène dans le bain. La vitesse d'épuisement du colorant peut être contrôlée par l'intermédiaire de la température.

II°) ANALYSE GENERALE DES RESULTATS

Le processus de teinture décrit précédemment, découle naturellement d'une part de la technique traditionnelle du "maître teinturier", et d'autre part de la volonté d'automatiser la régulation du coloris. C'est pourquoi, la phase de nuançage a été introduite systématiquement en adoptant le principe de ne mettre que 90 % de la recette initiale prévue. Cette phase entraîne d'ajouter en nuançage des quantités de colorants bien souvent différentes des 10 %. A ce stade, il est utile de rappeler qu'il est toujours aisé d'ajouter des colorants dans un bain et donc en principe sur le textile mais que la réciproque est quasi impossible. En effet, un surplus de colorant dans le bain (à constater ?) ne peut se résorber que par un changement ou une dilution de ce bain. Le contrôle de ce nouveau bain, tant en colorant qu'en température ou en adjuvant, devient une opération délicate sinon impossible en milieu industriel.

Les essais industriels, après l'implantation du matériel nécessaire (spectrophotomètre spécialisé, calculateur...) et du contrôle de son bon fonctionnement, ont fait l'objet de 21 expériences dont l'objectif de chacune était bien rigide.

La chronologie du tableau 1, fait apparaître alternativement des époques de teinture avec des périodes de simulation ou d'essai qui se distingue par l'utilisation ou non de matières sur Jigger.

.../...

La démarche scientifique est légèrement différente du programme des travaux proposés, en ce sens que chaque expérience a donné lieu à une confrontation. Il en découle régulièrement une amélioration soit du calcul de recette soit d'une des lois de transformation entre deux textiles de conditionnement différent.

Afin de faciliter la lecture des résultats, nous avons adopté un système de notation des 21 expériences utilisant l'ordre alphabétique, (de A à U) respectant l'ordre chronologique. Le tableau 01 fait apparaître 6 périodes :

- de A à C - Tentative de reproduction en teintures monochromatiques des 3 colorants
- de D à G - Teintures trichromiques sur un même type avec amélioration de la transposition mouillé sec.
- de G' à K - Simulation de teinture à partir d'échantillons monochromiques (provenant de la mémoire de colorant) et multichromiques mise au point du calcul de recette.
- en L à N - Reprise des teintures trichromiques
- en O à P - Simulation sur les conditions de mouillage du textile et sa répercussion sur la recette
- en Q à U - Teintures trichromiques interrompues en R et S pour essais sur rouleaux (800 m) de corrélation de température, temps, mouillage... Puis en T et U : poursuite des teintures et obtention d'un contre type conforme.

Les colorants utilisés pour toutes ces teintures sont :

- un rouge : le rouge Diazol lumière 6 BL 1750
- un bleu : le bleu Diazol lumière R extra 1350
- un jaune : le jaune Diazol lumière 4 GL

Afin de faciliter la lecture des résultats, ils sont représentés par leurs initiales R, B, J.

Les types utilisés ont été également réalisés avec ces mêmes colorants mais en laboratoire. Dans ces conditions, le processus de teinture étant différent, les concentrations données pour ces types ne doivent être prises qu'à titre indicatif.

LETTRE D'ORDRE	DATE	OPERATION			TYPE A REPRODUIRE		N°PIECE DE TISSU	PRESENTATION TISSU		RECETTE INITIALE CALCULEE		RECETTE TOTALE APPLIQUEE		RECETTE SOUHAITEE EN FIN DE TEINTURE				
		T-TEINTURE	S-SIMULATION	E-ESSAI	R%	B%		J%	N	NEUF	R%	B%	J%	R%	B%	J%	R%	B%
A	24/06/82	T			-	0,07	1	N	0,008	0,054	-	0	0,059	0	0,01	0	0	0
B	01/07/82	T			0,07	-	2	N	0,064	-	0,003	0,06	0	0	0	0	0	0,005
C	07/07/82	T			-	-	3	N	0,002	-	0,095	0	0	0	0	0,004	0	0
D	08/09/82	T			0,3	0,1	3	S	0,255	0,061	0,017	0,368	0,054	0,015	0,014	0	0	0
E	16/09/82	T			0,3	0,1	1	S	0,248	0,015	0,113	0,294	0,024	0,165	0,106	0	0	0,027
F	22/09/82	T			0,3	0,1	3	S (2)	0,059	0,013	0,043	0,082	0,028	0,074	0,024	0,004	0,026	0
G	29/09/82	T			0,3	0,1	2	D	0,223	0,058	0,114	0,300	0,100	0,142	0,033	0	0	0,017
G'	29/09/82	S					0	-										
H	06/10/82	S					0	-										
I	13/10/82	S					0	-										
J	19/10/82	S					0	-										
K	20/10/82	S					0	-										
L	18/11/82	T			0,3	0,1	1	D	0,246	0,051	-0,032	0,324	0,067	0	0,044	0,007	-0,003	0
M	02/12/82	T			0,75	0,75	3	S(3)	0,026	0,122	0,271	0,135	0,168	0,471	0,042	0	0,253	0
N	16/12/82	T			0,3	1,0	3	D	0,095	0,344	-0,012	0,090	0,308	0	-0,02	-0,408	-0,066	0
O	12/01/83	S					0	-										
P	20/01/83	S					0	-										
Q	01/02/83	T			0,1	0,1	4	N	0,091	0,065	0,214	0,106	0,076	0,296	0,002	0,008	0,069	0
R	23/02/83	E					4	-										
S	03/03/83	E					4	-										
T	16/03/83	T			1,0	0,3	4	S	0,281	0,021	0,249	0,429	0,042	0,431	0,150	0,019	0,192	0
U	29/03/83	T			1,0	0,3	4	D	0,368	0,055	-0,025	0,455	0,088	0,135	0,113	0,022	0,046	0

III°) DESCRIPTION DES OPERATIONS - OBSERVATIONS

En dehors de la description du processus de teinture et de l'analyse générale des résultats, il convient de présenter la description des opérations menées en site industriel.

Afin de simplifier la présentation, le lecteur sera amené à se reporter au Tableau 1, récapitulatif qui fait apparaître toutes les données communes aux diverses expériences.

Ainsi, il retrouvera aisément la lettre d'ordre (de A à U), la date, l'opération, les caractéristiques des types à réaliser, le numéro de l'écrû ou du support initial et les recettes de la teinture.

Les éléments particuliers à chaque expérience sont regroupés et commentés dans la suite.

1°) La saisie

Expériences A, B, et C.

L'orientation principale de l'expérience A, est la mesure industrielle à l'aide de la nouvelle sonde. Il a été constaté que la pression des roulettes sur le tissu, incomplètement mouillé, entraîne un exprimage de ce dernier et par la suite une absorption plus grande de colorant.

La conséquence est un marquage du tissu sous la forme de rayures plus foncées. Le remède apporté aux expériences suivantes a été de limiter, d'une part la pression du capteur et d'autre part d'éviter des mesures pendant le début de la montée du ou des colorants.

Une fois que le tissu est bien imbibé en bain, ce phénomène ne se rencontre pratiquement plus.

La seconde constatation importante relève des phénomènes dits de "balourd". Lorsque l'on doit arrêter la machine, soit après les opérations préalables à la teintures, telles que le désencollage, et le blanchiment, soit pour une cause importante pendant la teinture, le tissu est stationné sur les cylindres principaux.

Ces arrêts prolongés créent des difficultés. L'eau contenue dans le textile tend naturellement sous effet de la gravité à descendre dans la partie inférieure du cylindre sans pour autant la quitter. Les effets mécaniques lors de la remise en route inévitable sont loin d'être négligeables et demandent même de grandes précautions, surtout pour la machine.

C'est pourquoi, un stationnement prolongé se fait si possible au milieu de la pièce du textile.

En teinture l'introduction des colorants et adjuvants se fait à l'arrêt en bout de pièce pour éviter des taches par éclaboussures et pour contribuer à l'unisson (les extrémités du tissu sont systématiquement éliminées quand elles ne sont pas rapportées artificiellement).

Afin d'éviter une remise en mouvement délicate de la machine, il convient de rendre cet arrêt le plus court possible en le prévoyant et en préparant les produits à introduire avec ses accessoires tels que filtre, doseur, et mélangeur d'homogénéisation du bain.

Les montées en température se font également pendant ces arrêts. L'organisation d'un arrêt commence naturellement par le changement de consigne de cette variable.

Cela étant, nous avons constaté lors de cette première expérience que les enregistrements relevés par le spectrophotomètre indiquaient des ondulations de fréquence quasi régulières, mais d'amplitudes décroissantes durant les 120" correspondant au défilement des longueurs d'onde de 400 à 700 nm (Voir graphe 01).

La corrélation entre la période de rotation du cylindre de textile et de la vitesse d'enregistrement met directement en cause le phénomène de balourd.

La difficulté d'obtention de mesure précise a été contournée en utilisant la décroissance de l'amplitude des ondulations et donc la tendance au retour à un équilibre de la pièce. En effet, la durée de passage d'un bout à l'autre étant de 9 mn et celle de mesure de 2 mn, il a suffi pour résoudre ce problème d'effectuer une acquisition aux environs du milieu de la pièce avec l'avantage de se rendre relativement indépendant vis-à-vis du calcul global de recette, des variations entre tête et queue.

A

24/6/82 115

Echantillon :

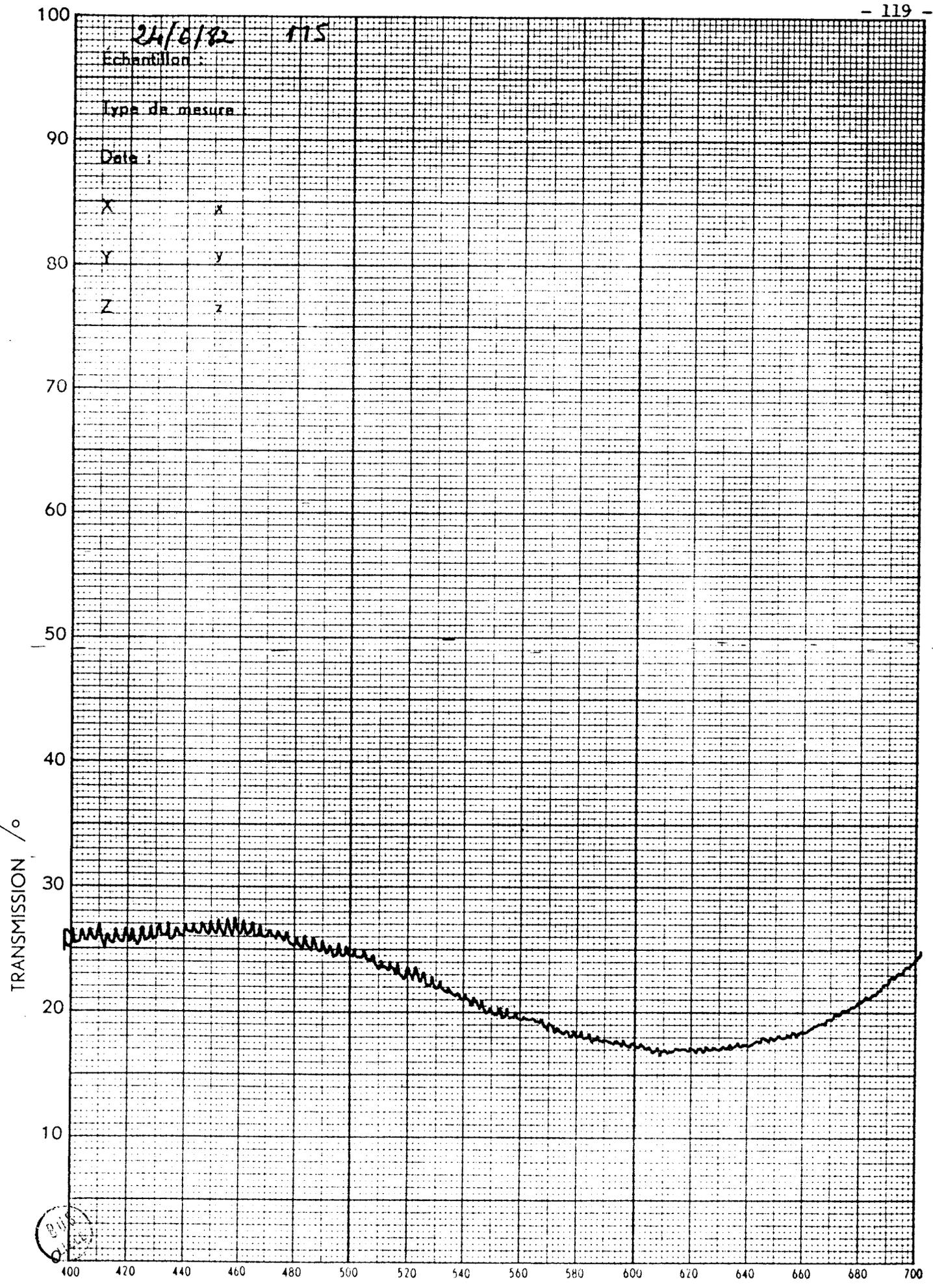
Type de mesure :

Date :

X x

Y y

Z z



Outre ces mises au point sur la technique de mesure, cette expérience est aussi une tentative de régulation colorimétrique par son opération de nuançage. Il s'est avéré en laboratoire que le contre type est nettement plus clair que l'échantillon monochromique provenant de la mémoire de colorant.

L'expérience B a pour but de poursuivre les essais de mesure en site industriel et de tester le programme de calcul de recette en régulation de nuançage.

La teinture est monochromique, utilisant, cette fois, le colorant rouge, la précédente A, étant en bleu. Les résultats de laboratoire ont incité à utiliser comme loi de passage du textile mouillé à son équivalent sec, la relation suivante :

$$R_{S_1} = 14,7 + 1,37 R_M - 14,25 \text{ EXP } (-R_M/3,5)$$

La recette trichromique finale demandait 0,005 % de jaune, quantité négligeable vis-à-vis du coloris rouge à faire. Cependant, l'observation du type et du contre-type sec fait apparaître que la nuance est trop claire.

Pour montrer l'importance des phénomènes de balourd, il est utile de signaler un incident concernant cette pièce de textile. Après teinture, la pièce rincée et enroulée sur un chariot est restée immobilisée plusieurs heures avant son séchage. L'eau descendant a entraîné avec elle du colorant plus ou moins bien fixé. Après séchage, la pièce présentait des ondulations, la rendant inapte pour nos essais en surteinture.

Nous la retrouvons après décoloration en G.

Après les colorants Bleu et Rouge, il reste à tester en monochromie le Jaune. C'est l'objet de l'expérience C.

Toutefois, les résultats précédents demandent de modifier quelques paramètres en vue d'approcher la nuance choisie. En ce sens, nous avons repris la loi de correspondance sec-mouillé établie précédemment (14). Soit :

$$R_{S_2} = 15,6 + 1,161 R_M - 14,43 \text{ EXP } (-R_M/2,5)$$

L'expérience menée conduit à des recettes quasi nulles en fin de teinture. L'examen des deux échantillons en laboratoire continue dans le sens d'un contre-type nettement trop clair.

* Remarque
.....

Les comparaisons entre échantillons sont (sauf exception) volontairement objectives dans le but d'alléger la présentation des résultats. Les enregistrements spectrophotométriques sont toutefois existants et disponibles.

La comparaison quantitative de la différence colorimétrique entre deux coloris reste néanmoins sujette à caution. En effet, il n'existe en cette matière pas de norme sur laquelle un consensus entre partenaires commerciaux ne soit totalement approuvé.

2°) Rinçage - Séchage par calculs

Les essais précédents nous permettent de constater qu'en dehors de la saisie des réémissions, il existe un problème de transposition des couleurs mouillées à sèches, et également une difficulté de rinçage par calcul.

L'application directe des résultats de laboratoire sur site industriel est toujours délicate. De plus, une modification, même légère, de la loi de transposition mouillé-sec, ne peut se faire dans le cadre industriel avec autant de mesures qu'il serait souhaitable.

Nous avons, par conséquent, analysé les résultats des expériences successives pour approcher, par étape, de la loi de transposition la mieux adaptée à la situation.

Cette recherche s'est doublée d'une mise au point du mode de calcul de recette, exposée au chapitre précédent.

Enfin, nous avons été confronté à une difficulté dans la technique de rinçage par calcul dont la théorie est également exposée au chapitre IV.

Les 6 premiers essais utilisent, au niveau du programme, l'ordre de calcul : Séchage puis rinçage, les essais suivants font l'inverse.

.../...

En outre,

L'évolution des paramètres de transposition mouillé-sec est la suivante :

$$\text{Essais A \& B : } R_{S_1} = 14,7 + 1,371 R_M - 14,25 \text{ EXP } (-R_M/3,5)$$

$$\text{Essais C \& D : } R_{S_2} = 15,6 + 1,161 R_M - 14,43 \text{ EXP } (-R_M/2,5)$$

$$\text{Essais E \& F : } R_{S_3} = 15,6 + 1,140 R_M - 14,43 \text{ EXP } (-R_M/5,5)$$

$$\text{Essais G \& R : } R_{S_4} = 15,6 + 1,161 R_M - 14,43 \text{ EXP } (-R_M/5,5)$$

$$\text{Essais S \& U : } R_{S_5} = 20,0 + 1,145 R_M - 23,0 \text{ EXP } (-R_M/5,0)$$

Une représentation des diverses fonctions est faite au Graphe 02.

Pour comparer les modèles de séchages associés au mode de rinçage, nous avons choisi la première nuance trichromique, réalisée en D.

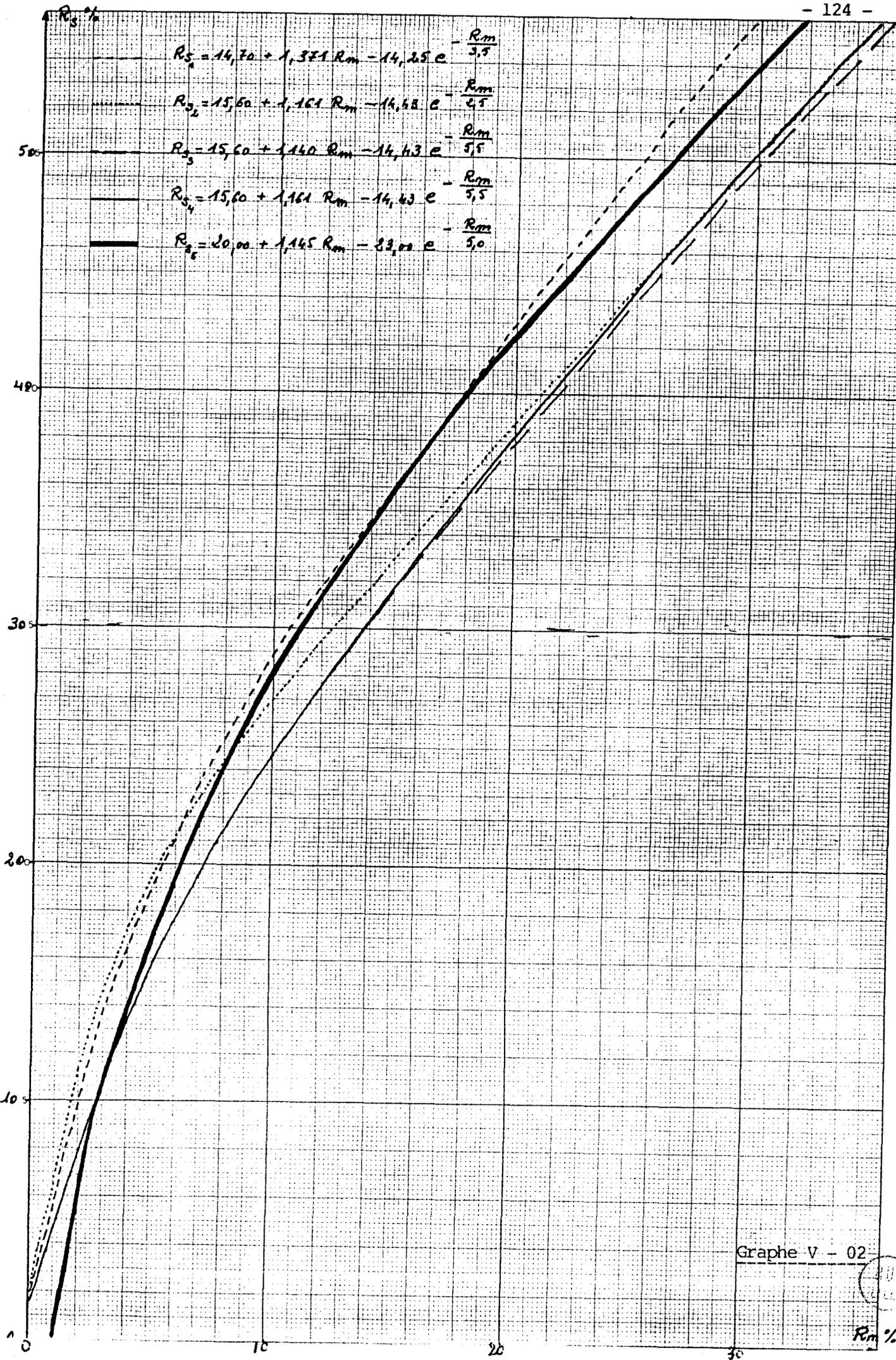
Le tableau 2 montre les valeurs de réémissions mouillées (mesures industrielles) puis sèches (mesure en laboratoire) en comparaison avec les modes de séchage et rinçage adoptés.

Les graphes 3 & 4 représentent les points de couleurs obtenues dans le système XYZ (illuminant D 65).

Sans faire intervenir le rinçage (Graphe 3), nous observons que les équations R_{S_3} , R_{S_4} , et R_{S_5} marquent un progrès constant par rapport à R_{S_1} en ce qui concerne la chromaticité. L'équation R_{S_2} est mauvaise. Au niveau de la luminosité l'équation R_{S_1} reste bonne. Les écarts de couleurs calculés entre la nuance contre-type sèche et les points 1 à 5 montre un écart minimum pour le point 5.

Tableau IV - 02

λ (nm)	Valeurs de réémission en %								
	CT (D4) mouillé	CT (D4) sec	CT x Rs1	CT x Rs2	CT x Rs3	CT x Rs4	CT x Rs5	CT x Rs5 x Rinçage	CT x Rinçage x Rs5
400	06,21	21,90	20,80	21,61	18,01	18,14	20,47	24,32	23,19
420	05,16	18,30	18,52	19,76	15,84	15,95	17,71	21,04	20,27
440	04,38	16,20	16,63	18,18	14,08	14,18	15,44	18,34	17,83
460	04,33	15,10	16,50	18,07	13,97	14,06	15,28	18,15	17,67
480	03,56	14,30	14,43	16,26	12,10	12,18	12,79	15,19	14,97
500	03,63	13,40	14,63	16,44	12,28	12,36	13,02	15,47	15,23
520	03,06	12,50	12,95	14,91	10,82	10,88	11,03	13,10	13,04
540	03,20	12,80	13,37	15,30	11,18	11,25	11,54	13,71	13,60
560	03,27	14,20	13,58	15,49	11,36	11,43	11,78	13,99	13,87
580	05,67	19,70	19,65	20,70	16,92	17,03	19,09	22,68	21,73
600	09,83	29,90	27,32	26,73	24,39	24,60	28,03	33,30	31,15
620	12,40	36,00	31,29	29,89	28,22	28,48	32,27	38,34	35,66
640	14,02	38,60	33,66	31,82	30,45	30,75	34,66	41,18	38,25
660	15,72	40,40	36,09	33,82	32,69	33,02	37,01	43,97	40,83
680	19,49	45,00	41,36	38,22	37,40	37,81	41,85	49,72	46,29
700	24,92	52,90	48,85	44,53	43,85	44,38	48,37	57,46	53,84
X	08,67	24,319	23,659	23,990	20,802	20,968	23,350	27,732	26,264
Y	05,800	19,916	19,239	20,442	16,613	16,733	18,137	21,558	20,733
Z	05,437	19,832	20,719	22,790	15,575	17,698	19,133	22,698	22,155
x	00,418	00,389	00,372	00,357	00,378	00,379	00,385	00,385	00,379
y	00,300	00,306	00,302	00,304	00,302	00,302	00,299	00,299	00,299
L	24,08	44,63	43,86	45,21	40,76	40,91	42,59	46,43	45,53
a	19,21	25,94	22,20	18,28	22,28	22,43	26,00	28,26	26,09
b	02,24	02,55	00,311	- 00,735	00,772	00,775	00,879	01,017	00,557
Ecart s selon Hunter	21,623	Type	04,429	08,353	05,616	05,417	02,639	03,311	02,194
L *	28,90	51,74	50,97	52,33	47,77	47,92	49,66	53,55	52,66
A *	26,21	29,76	25,91	21,48	26,48	26,62	30,16	31,86	29,77
B *	03,76	03,41	00,408	- 00,945	01,046	01,049	01,175	01,320	00,724
Ecart s selon CIELAB 76	23,114	/	04,94	09,38	05,66	05,48	03,08	03,47	02,84

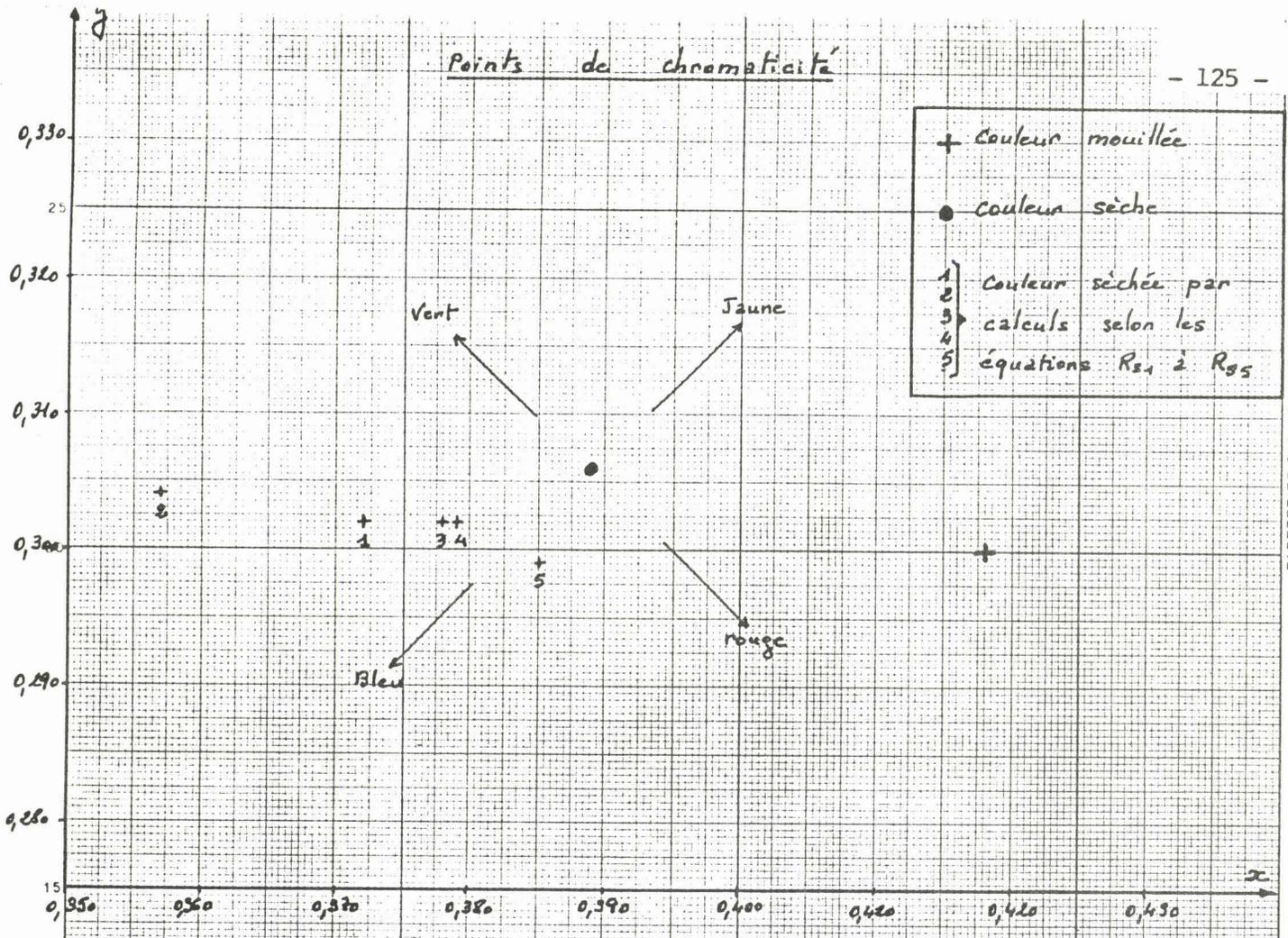


Grappe V - 02

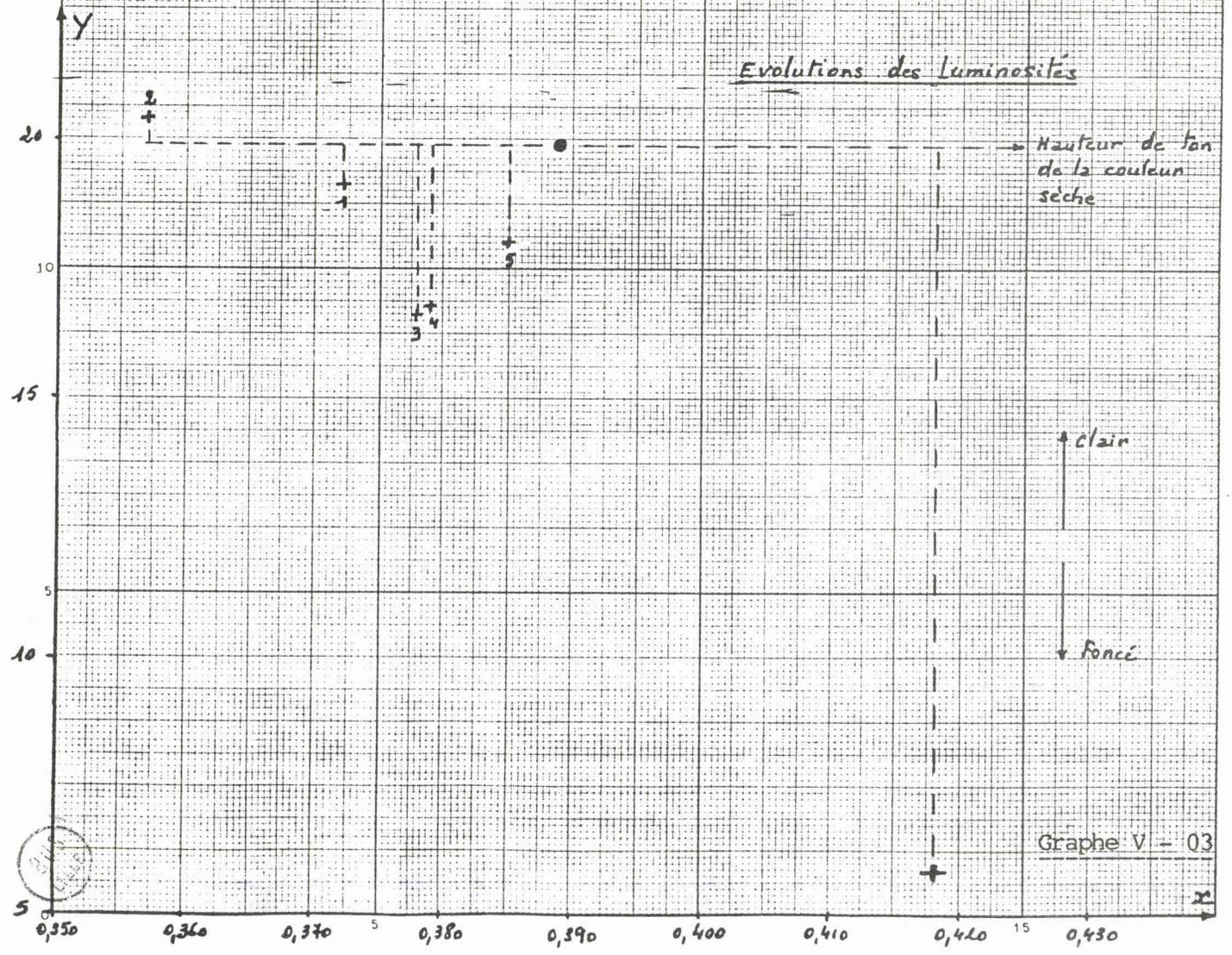


R_m %

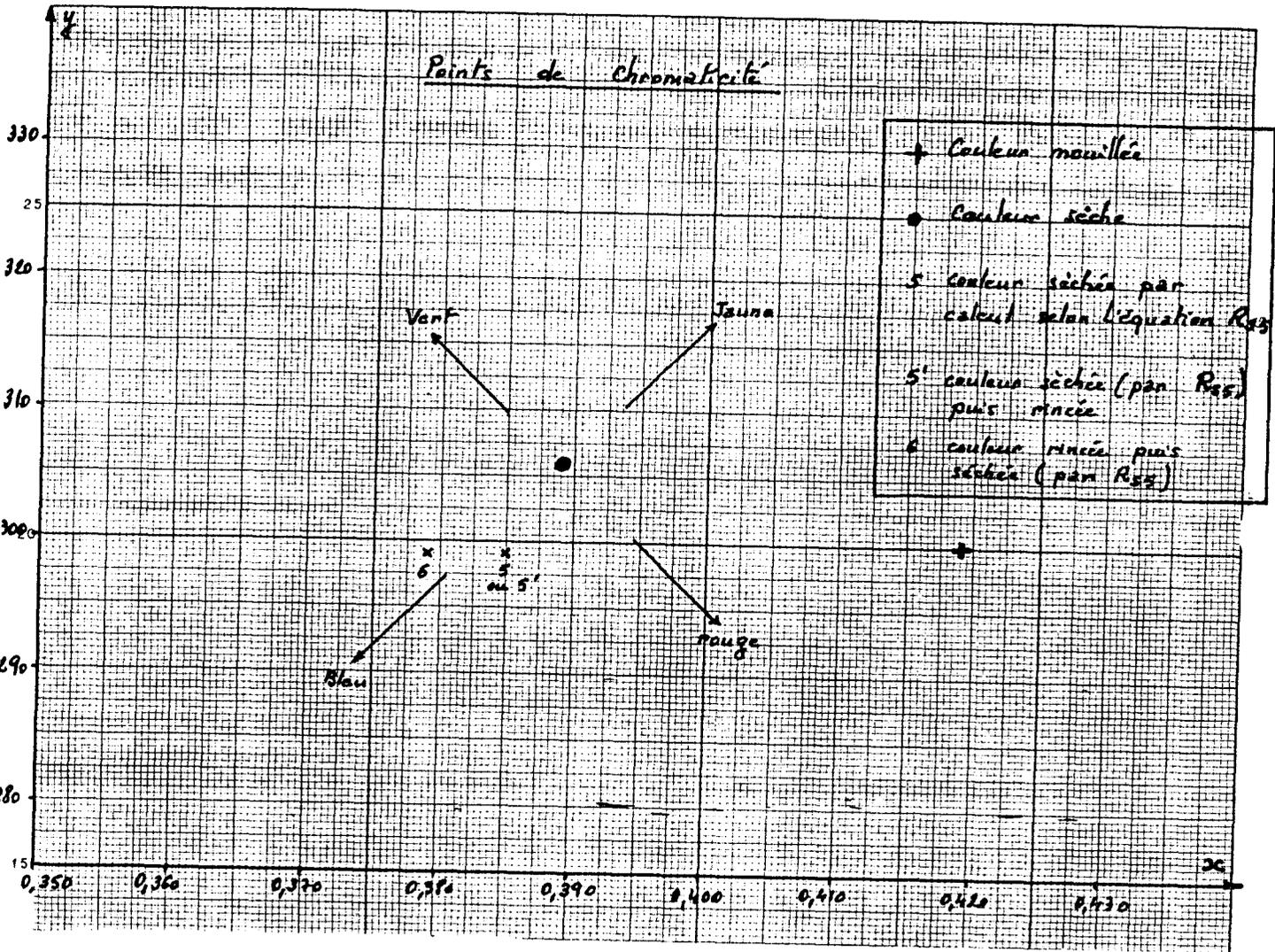
Points de chromaticité



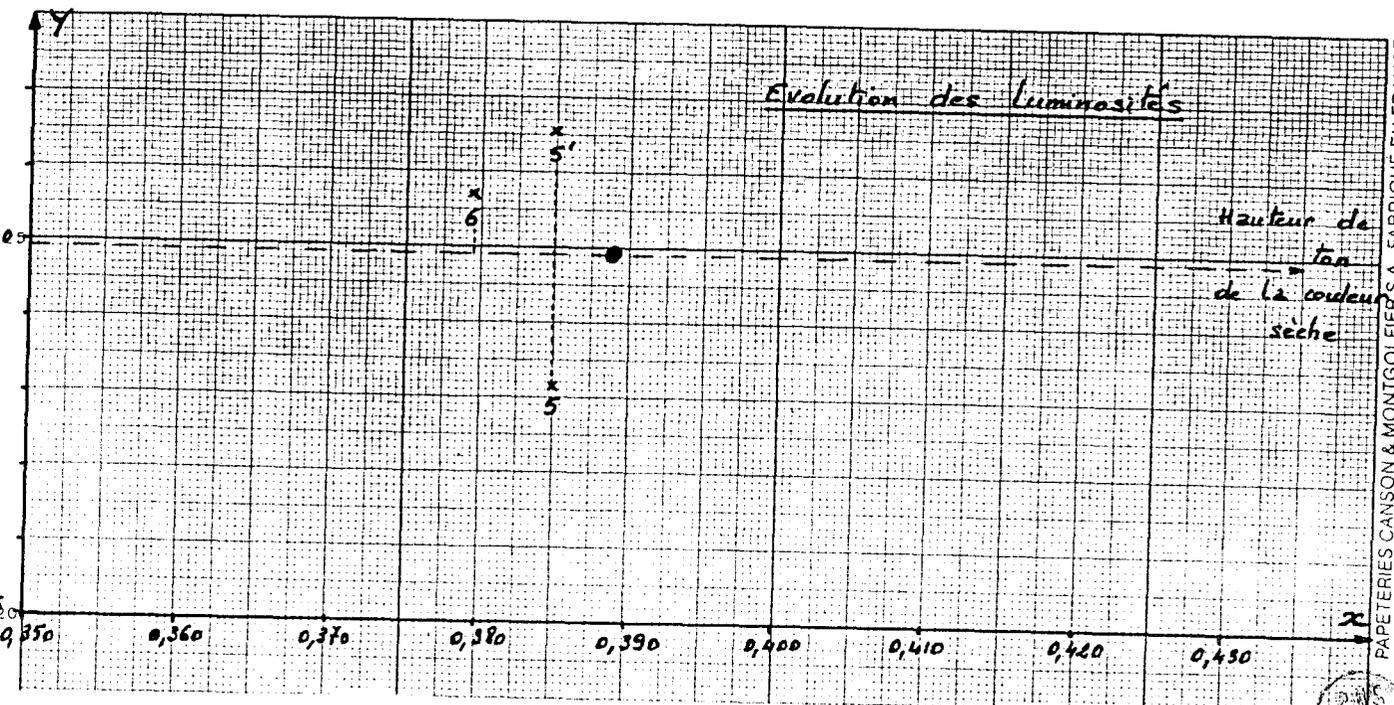
Evolutions des Luminosités



Points de Chromaticité



Evolution des Luminosités



PAPETERIES CANSON & MONTGOLFIER S.A. FABRIQUE EN FRANCE



Les calculs d'écarts de couleurs sont réalisés par les équations de HUNTER & CIELAB 1976 pour l'illuminant D 65. Seul une comparaison relative des valeurs par équation est valable. Les deux systèmes de calculs donnent des résultats voisins.

Si l'on fait intervenir le rinçage, nous observons au Graphe 04 que le processus "Rinçage puis Séchage" modifie la chromaticité légèrement plus que la méthode inverse.

Toutefois, la luminosité est un peu meilleure, ce qui donne globalement un écart de couleurs plus faible.

Toutes ces observations sont confirmées à posteriori par l'étude d'une autre nuance trichromique reproduite pendant l'expérience U (Tableau 03).

λ (nm)	Type (U21) - Sec	Contre type (U21) - Sec
400	10,8	11,1
420	8,8	9,1
440	7,9	8,3
460	7,8	8,3
480	8,0	8,4
500	8,0	8,5
520	7,9	8,3
540	8,2	8,4
560	9,2	9,4
580	13,0	13,4
600	20,2	20,6
620	24,3	25,1
640	25,8	27,0
660	27,4	29,2
680	30,9	33,6
700	37,3	41,2
X	16,393	16,953
Y	12,963	13,377
Z	10,241	10,711
x	0,414	0,413
y	0,327	0,326
L	36,00	36,57
a	20,49	21,00
b	6,61	6,48
ΔE	Type	0,778
L^*	58,71	59,32
a^*	25,30	25,77
b^*	10,25	9,95
ΔE	Type	0,829

3°) Observations relatives à l'influence de la température

L'analyse du processus de régulation nous a conduit à rechercher l'influence éventuelle de la température du tissu mouillé. Au chapitre III, nous mettons en évidence l'influence du mouillage, il nous a semblé au cours des essais, que la température pouvait également être un paramètre significatif de la couleur.

Les essais R et S permettent de mettre en évidence que la nuance mesurée à 90° C semble légèrement plus claire qu'à 20 ° C.

Le tableau 04 montre les valeurs de réémissions sèches obtenues par l'équation R_{S_5} . Les mesures à 20 ° C et 90 ° C sont faites sur la même portion de tissu. Celui-ci ayant été "mouillé" par quatre passages dans l'eau adoucie.

Longueurs d'ondes (nm)	Réémissions % mesurées à 20°C	Réémissions % mesurées à 90°C	Rapport des Réémissions 90°C / 20°C
400	17,27	17,56	1,017
420	15,08	15,03	0,997
440	15,42	14,61	0,947
460	14,59	14,30	0,980
480	15,32	15,18	0,991
500	16,16	16,58	1,026
520	16,30	16,80	1,031
540	16,87	16,97	1,012
560	16,96	17,49	1,031
580	20,40	20,69	1,014
600	24,73	24,21	0,979
620	25,97	26,51	1,021
640	27,87	27,99	1,004
660	30,01	30,46	1,015
680	34,50	35,01	1,015
700	41,44	43,44	1,048

Tableau V - 4

En réalité, il est impossible de tirer une conclusion dans le sens d'une influence significative de la température sur la couleur pour les raisons suivantes :

- Le rapport des réémissions sèches obtenues à 90 ° C et 20 ° C est en moyenne de 1,008, ce qui est voisin de l'erreur de mesure. Celle-ci est de $\pm 0,1 \%$, ce qui, en terme de rapport de réémissions, représente une valeur de 1,014 au minimum de réémission pour la nuance étudiée.

- S'il existe une légère différence, celle-ci peut provenir du fait que le mouillage du tissu est vraisemblablement différent aux deux températures considérées. Toutefois, nous n'avons pu vérifier cette hypothèse.

4°) Résultats et conclusion

Pour parvenir à un résultat colorimétrique "acceptable" par le teinturier il est nécessaire de maîtriser conjointement les éléments suivants :

- Saisie des réémissions rapide et reproductible,
- Calcul dynamique des recettes,
- Modèle de séchage puis rinçage précis.

En outre, il faut contrôler parfaitement la dilution des colorants dans le bain et leur épuisement de façon à exclure le "mal uni". Ceci peut être effectué par un asservissement de la température, le contrôle d'épuisement étant réalisé par voie colorimétrique de solution.

Un certain nombre de facteurs difficilement maîtrisables tendent à réduire la précision des résultats. Parmi ceux-là, nous trouvons :

- la présence d'un nuage de vapeur d'eau autour du Jigger. Celui-ci est toutefois peu gênant parce que la saisie des mesures est faite à quelques millimètres du tissu.
- la quantité d'eau emportée par le tissu est peut-être légèrement variable du début à la fin de la teinture.

- La saisie des mesures doit être faite lorsque le colorant a diffusé au coeur de la fibre. Si nous savons estimer à quel moment la diffusion est achevée dans la première phase de teinture, il en est autrement au moment du nuançage.

- Lorsque le dispositif de contrôle demande un ajout de colorant, il faudrait pouvoir prendre en considération le fait qu'il reste un peu de colorant en solution dans le bain.

L'épuisement est-il absolument terminé au moment de la saisie ?

Faut-il considérer que le reste de colorant en solution est totalement inactif ?

Ces éléments ajoutés les uns aux autres engendrent une certaine imprécision. Néanmoins, celle-ci pourrait être réduite grâce à un appareillage permettant des mesures et calculs beaucoup plus rapides. La saisie nécessite actuellement 2 mn, le calcul 3 mn. Notre dispositif ouvre une voie intéressante pour réaliser un automatisme complet de régulation d'un appareil de teinture, mais il est trop imparfait pour être utilisé dans l'état.

La création d'un nouveau spectrophotocolorimètre industriel équipé d'un calculateur est indispensable à la poursuite du projet.

Notre résultat final (expérience I) est, au regard des observations ainsi faites, extrêmement intéressant. Une comparaison visuelle des échantillons types et contre-types peut-être faite ci-dessous.

Type

Contre-type

.../...

L'écart colorimétrique calculé selon la formule de HUNTER est de 0,778 unité . Ce résultat est d'autant plus étonnant qu'il s'agit d'une teinture effectuée sur un rouleau préalablement "déteint". Le démontage de colorants est rarement absolu, c'est pourquoi le tissu utilisé le jour de l'expérience U était vert clair en début de teinture. Par ailleurs une reteinture est délicate du fait que la capacité d'absorption des colorants par la fibre est modifiée par les traitements chimiques qu'elle a subi.

L'expérience U est la cinquième qui utilise le même rouleau de tissu (3 teintures et 2 essais de mouillage).

On constate en fin de teinture, que l'ordinateur demande un ajout non nul de colorants, ceci provient d'une part du fait que la reproduction est effectivement un peu trop claire et d'autre part de l'imprécision relative des mesures dont certaines causes sont exposées dans ce paragraphe.

Enfin, nous observons qu'il est indispensable de connaître non seulement la couleur du tissu mais aussi d'analyser de manière continue la couleur du bain de teinture. Deux capteurs sont nécessaires pour contrôler le processus, de façon à ce que l'ordinateur ne demande pas l'ajout de colorants qui se trouvent encore partiellement dans le bain.

IV°) EXTENSION AUX COLORANTS REACTIFS SUR COTON

1°) Introduction

Parallèlement aux essais industriels que nous venons d'exposer ci-dessus nous avons voulu examiner les possibilités d'extension de notre système à d'autres colorants sur coton, en particulier aux colorants réactifs.

La difficulté par rapport aux colorants substantifs se situe essentiellement dans la modélisation du dégorgement par le savonnage puis rinçage.

Une brève recherche a été menée en laboratoire à l'aide de l'ensemble du matériel mis au point et utilisé lors d'une étude D.G.R.S.T. Les colorants choisis sont de marques REMAZOL (Société HOECHST-RFA).

Les trois éléments sont les suivants :

- jaune Rémozol GR
- rubis Rémozol GR
- bleu Rémozol BR

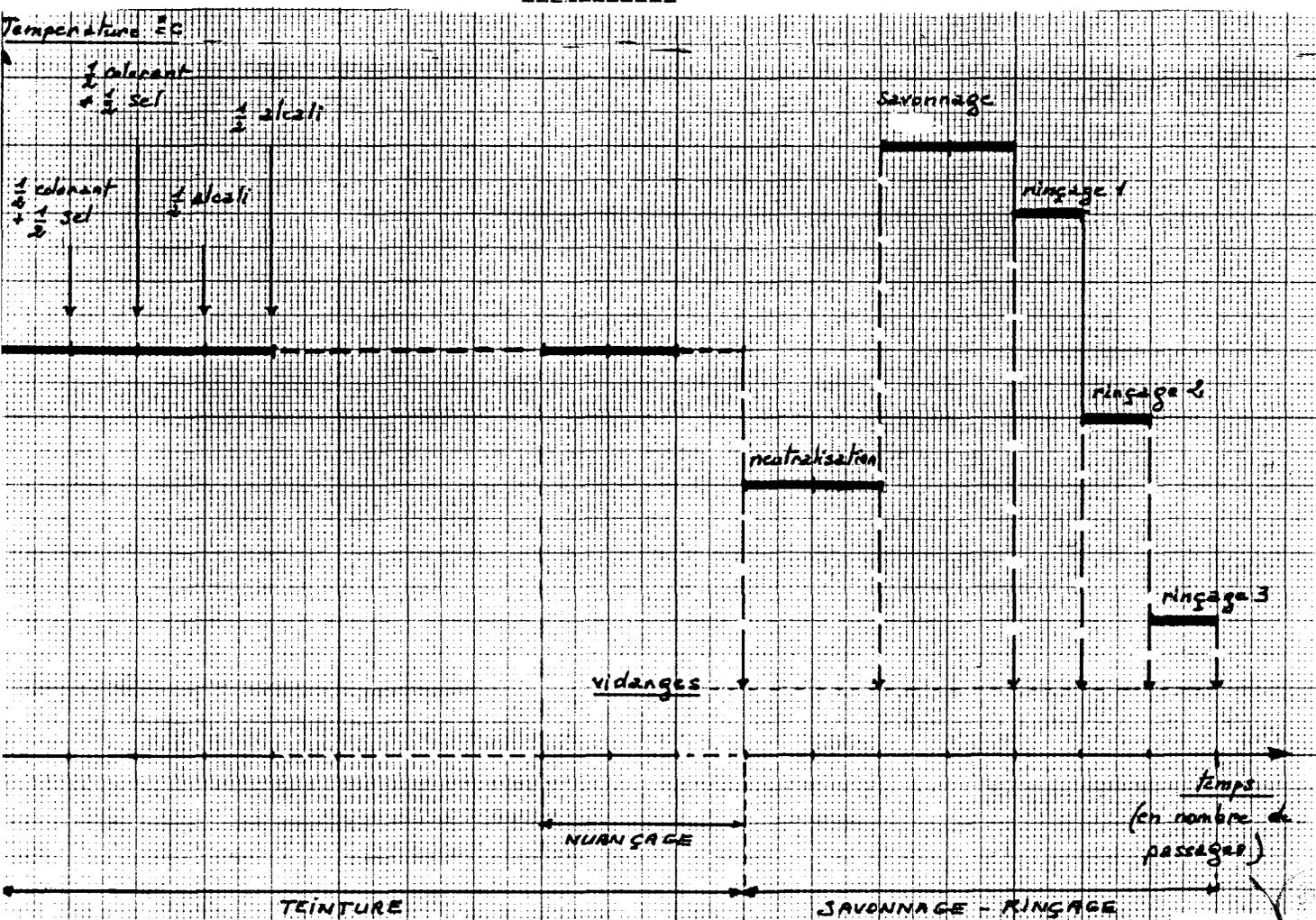
Le déroulement de la teinture s'effectue selon les phases ci-dessous :

- Adsorption du colorant sur fibre
- Fixation en milieu alcalin (carbonate de soude)
- Neutralisation
- Savonnage
- Rinçage

La phase de nuançage peut être effectuée avant le savonnage-rinçage à condition de modéliser celui-ci. La figure 2 présente l'évolution chronologique de la teinture.

Evolution chronologique de la teinture

Fig. V - 02



2°) Modélisation de la phase savonnage-rinçage

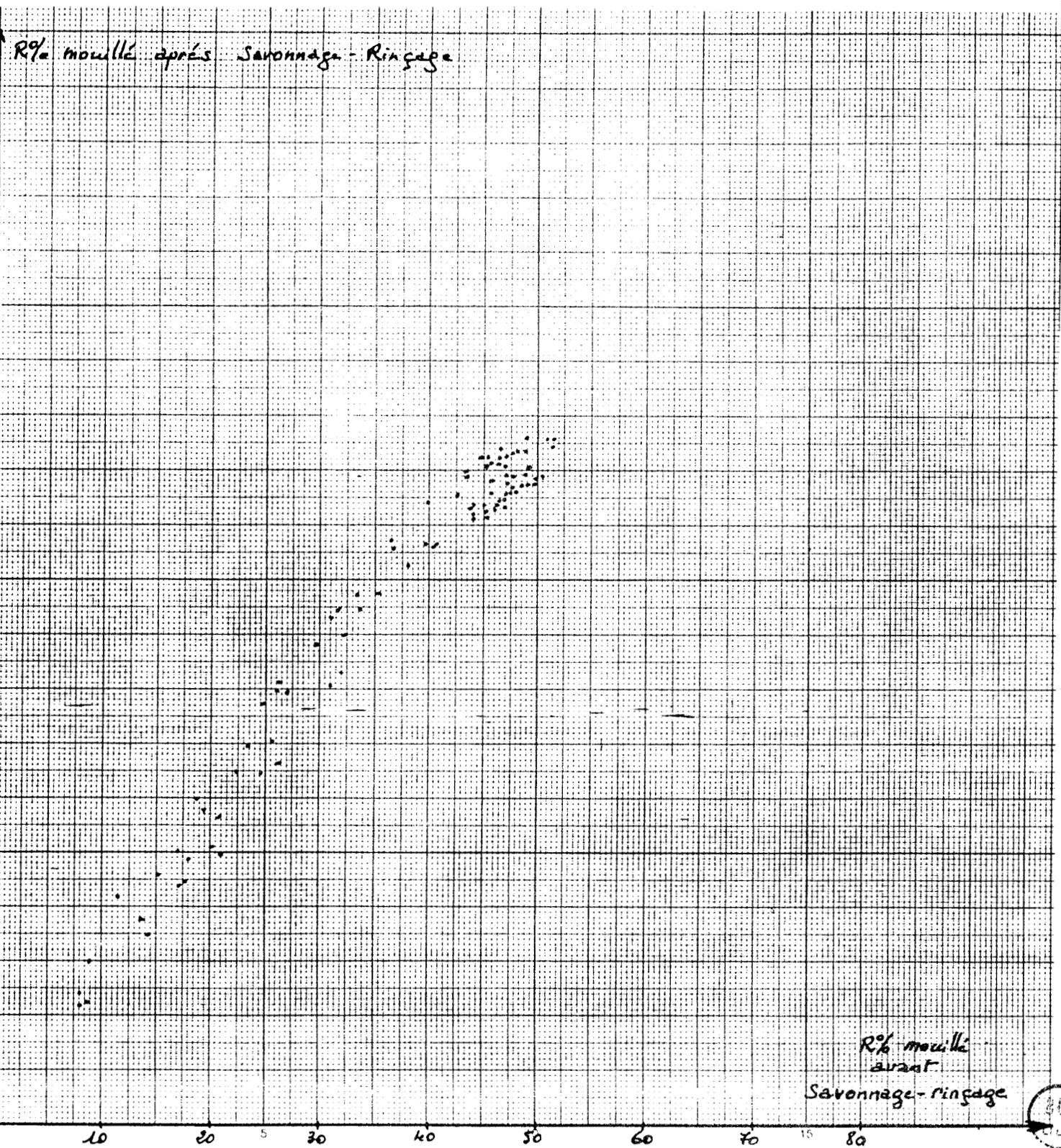
L'exécution d'une vingtaine de teintures avec des colorants réactifs nous a permis d'une part d'établir un ensemble de mémoires de ces colorants et d'autre part d'étudier la modification spectrophotométrique entre le début et la fin de la phase du savonnage-rinçage.

Il est apparu après traitement des données recueillies de l'ensemble des teintures que l'évolution du taux de réémission du textile entre le début et la fin du savonnage-rinçage semble linéaire (Graphes 3, 4, 5).

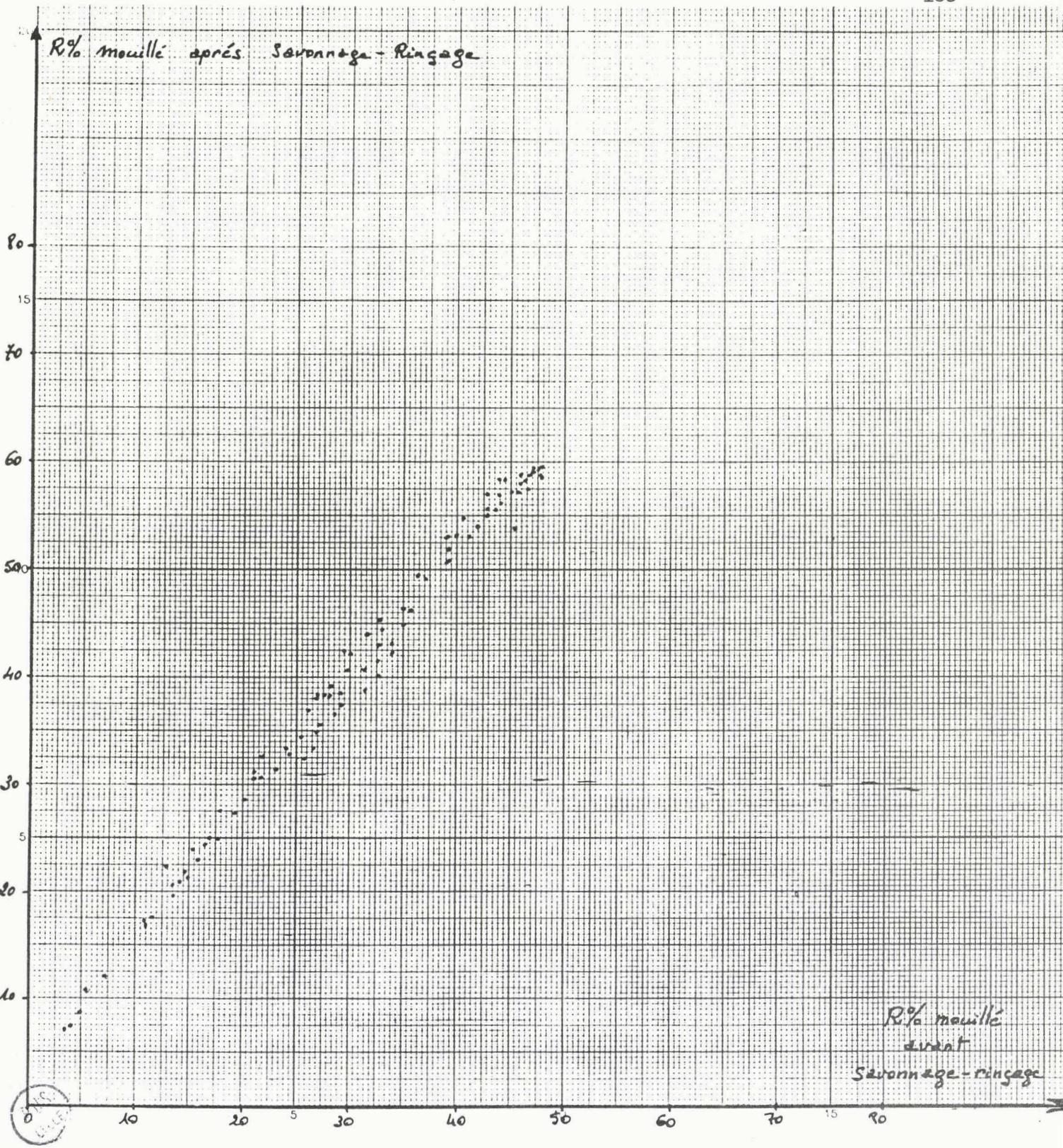
Toutefois, nous observons pour les colorants Jaune et Rubis, un fléchissement de la droite pour les réémissions fortes.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que les nuances claires dégorgent moins au savonnage-rinçage que les foncées. Les réémissions sont donc à peine augmentées au cours du traitement. On peut penser que la partie supérieure des droites s'infléchit vers une autre droite inclinée à 45 °.

Nous pouvons ajouter que l'évolution des réémissions d'un colorant donné au cours de la phase savonnage-rinçage est indépendante de la longueur d'onde, ce qui nous amène à penser que la modélisation du traitement concerné peut être faite selon le principe utilisé pour des colorants substantifs au moins en ce qui concerne les nuances moyennes et foncées.



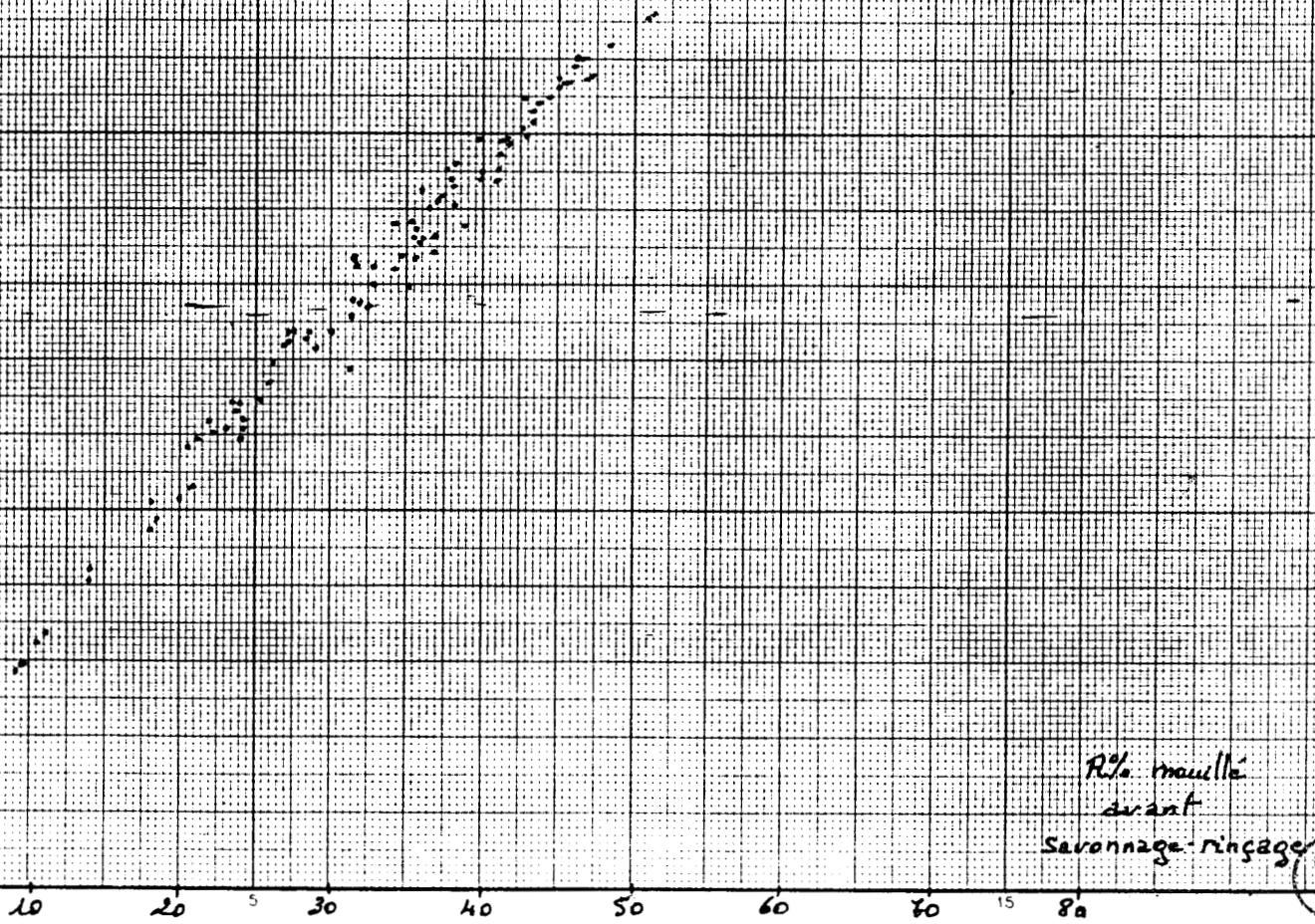
Relations entre les réémissions mesurées sur coton mouillé avant et après savonnage-rinçage, colorant Jaune Remazol GR



Relations entre les réémissions mesurées sur coton mouillé avant et après savonnage-rinçage, colorant Rubis Remazol GR

Graphe V - 04

R% mouillé après Savonnage - Rinçage



Relations entre les réémissions mesurées sur coton mouillé avant et après savonnage-rinçage, colorant : Bleu Remazol BR

Graphé V - 05

V°) CONCLUSION

La pratique industrielle de l'Echantillonnage au mouillé n'a pu être réalisée que par l'étude de la résolution d'un grand nombre de questions colorimétriques entièrement nouvelles.

Notre travail apporte une importante contribution à l'avancement de la recherche dans ce domaine.

En outre, nous sommes persuadés que la réalisation d'un matériel de mesure entièrement industriel permettrait d'affiner les modèles mathématiques utilisés et d'améliorer encore les résultats pratiques.

Enfin, le contrôle automatique des nuances en cours de production est envisageable non seulement dans l'industrie textile, mais également dans celle du cuir et dans l'imprimerie.

C O N C L U S I O N

G E N E R A L E

-o00o-

- C O N C L U S I O N G E N E R A L E -

Au terme de ce mémoire, nous sommes amenés à constater que le sujet traité offre, en puissance, un grand nombre d'applications.

A ce jour, la couleur a toujours été mesurée sur textile sec ; le fait de savoir traiter correctement l'information relative à une mesure sur textile mouillé est un gage pour l'avenir de la teinture, qu'elle soit réalisée en mode discontinu ou continu.

L'automatisation complète de l'appareil de production ne peut être réalisé que par la maîtrise totale du processus de coloration, donc par sa parfaite connaissance.

Le capteur proposé est industriel, robuste et fiable. Son couplage avec un spectrophotomètre de laboratoire, nous a permis de réaliser un traitement en temps quasi-réel du processus de coloration du textile. Les résultats sont très encourageants, bien qu'ils soient limités. Un certain nombre de défauts inhérents au matériel sont apparus au cours de la campagne d'essais industriels, ce qui nous amène à proposer qu'une poursuite des travaux puisse se faire dans le sens de la réalisation d'un matériel entièrement industriel.

Le spectrophotomètre industriel idéal, selon notre conception devrait : être de faible encombrement, rapide dans la saisie des réémissions, conçu sans aucune pièce mobile et posséder une mémoire lui permettant de conserver les mesures pour un traitement éventuellement différé.

En ce qui concerne l'application que nous avons traitée dans ce mémoire, il faut ajouter qu'une mesure de couleur surfacique est insuffisante si elle n'est pas associée à une mesure de coloration du bain de teinture.

.../...

Le traitement informatique des données issues des deux capteurs doit réaliser, non seulement un automatisme de nuançage, mais également une régulation d'épuisement du bain de teinture en vue d'obtenir une nuance juste et unie en un minimum de temps.

Notre étude est, par conséquent, une étape vers la réalisation d'un système plus complet.

-o000o-

- ANNEXE -

PROGRAMME DYNAMIQUE

DE CALCUL

DES RECETTES

-o00o-

LISTE DES VARIABLES ESSENTIELLES UTILISEES DANS LE LOGICIEL

I : Indice de longueur d'onde (varie de 1 à 16)

J : Indice de concentration de colorant (varie de 1 à 9)

K : Indice de colorant (varie de 1 à 3)

GRI (I) : Réémissions de l'étalon clair

ELE(I) : " " foncé

VER(I) : " " moyen

KBLAN(I) : $\frac{K}{S}$ du support de mémoire

KS (I, J, K) : $\frac{K}{S}$ de la mémoire des 3 colorants

KLR(I) : Mesures de l'étalon clair

FAM(I) : " " foncé

CTE(I) & MUL(I) : Vecteurs de correction des mesures

MOY(I) : Mesures de l'étalon moyen

RELU(I) : Mesures d'une nuance quelconque

RCAR(I) : Valeurs de RELU(I) corrigées

RRIN(I) : Valeurs de RCAR(I) "rincées"

RSEC(I) : Valeurs de RRIN(I) "séchées"

CANC(K, J) : Concentrations des colorants en mémoire

TYPE(I) : Réémission de la nuance type sèche

PD : Poids de matière sèche à teindre

AR, AB, AJ : Poids de colorants à introduire dans le bain de teinture

RINCE : Coefficient de rinçage

```
7 PRINT "D":PRINT:PRINT:PRINTTAB(5)"#VEUILLEZ ATTENDRE SVP"  
8 DIM P1NTE(16,3),P2NTE(16,3),P3NTE(16,3)  
9 DIM D1RO(16,3),D2RO(16,3),D3RO(16,3)  
0 DIM KS(16,9,3),PENDE(16,3),TEPEN(3,16),KTYP(16),TYPE(16),SUP(16),KZUP(16)  
5 DIM KBLAN(16),RIPRO(16),CANO(3,9),DRO(16,3)  
7 DIM GRI(16),BLE(16),VER(16),MUL(16),CTE(16)  
0 DIM LAM(16),RELU(16),KLR(16),FAN(16),MOY(16),RCAR(16),RSEC(16),RRIN(16)  
49 REM  
50 REM ETALON GRIS BLEU PUIS VERT  
51 REM  
52 DATA 53.2,54.6,56.4,57.8,59.0,59.9  
53 DATA 60.6,60.4,59.7,60.1,57.7,57.5  
54 DATA 57.3,58.0,57.8,56.4  
55 FORI=1TO16:READ GRI(I):NEXTI  
56 DATA 15.5,13.4,08.9,04.7,02.3,01.5  
57 DATA 01.1,01.1,00.6,00.5,00.3,00.3  
58 DATA 00.5,00.7,01.5,06.0  
59 FORI=1TO16:READ BLE(I):NEXTI  
60 DATA 09.9,13.9,18.4,23.9,29.9,33.7  
61 DATA 35.1,33.5,30.6,28.1,25.6,23.6  
62 DATA 23.4,23.6,24.4,25.1  
63 FORI=1TO16:READ VER(I):NEXTI  
89 REM  
90 REM SUPPORT DE LA MEMOIRE  
91 REM  
00 DATA 76.6,79.8,83.6,86.2,88.7,89.6  
01 DATA 90.5,91.4,91.6,93.5,91.2,91.5  
02 DATA 93.0,94.4,95.1,94.1  
799 REM  
800 REM MEMOIRE COLORANT ROUGE  
801 REM  
810 CAL$(1)="ROUGE D LUM 6BL 1750":NBCAN(1)=9  
820 DATA 0.005  
821 DATA 68.8,69.5,70.5,69.3,68.9,66.2  
822 DATA 64.0,64.0,65.8,75.0,82.1,85.9  
823 DATA 88.0,90.1,91.5,91.3  
824 DATA 0.01  
825 DATA 66.6,66.2,65.3,62.8,59.8,56.1  
826 DATA 53.2,53.1,56.0,66.5,80.3,89.5  
827 DATA 91.7,94.0,94.6,94.6  
828 DATA 0.02  
829 DATA 64.3,62.6,60.7,57.0,53.3,49.0  
830 DATA 45.6,45.1,47.5,59.1,74.5,84.5  
831 DATA 89.1,91.9,93.0,93.3
```

ADY.

840 DATA 0.05
841 DATA 53.6,50.5,46.8,42.1,37.7,33.4
842 DATA 30.4,30.4,32.9,45.1,64.9,80.8
843 DATA 88.7,92.4,93.7,93.6
845 DATA 0.1
847 DATA 44.6,40.6,35.3,30.6,26.5,22.9,20.6,21.0
849 DATA 22.8,32.2,49.9,65.7,73.5,77.9,80.7,81.9
852 DATA 0.3
854 DATA 27.4,23.0,19.0,15.5,12.8,10.8,9.9,10.3
856 DATA 11.6,18.1,34.3,55.9,71.2,79.2,82.8,83.1
860 DATA 0.75
862 DATA 19.5,15.6,13.0,10.5,8.6,7.3,6.5,6.8
864 DATA 7.8,12.8,27.7,48.3,65.4,75.0,79.1,80.1
870 DATA 1.0
872 DATA 17.5,14.1,11.8,9.6,8.0,6.6,6.1,6.3
874 DATA 7.3,11.7,25.6,45.3,62.4,72.6,77.1,78.3
880 DATA 1.5
882 DATA 15.2,12.1,9.7,7.0,6.5,5.6,5.2,5.5
884 DATA 6.2,10.1,21.2,39.4,57.7,69.8,76.5,78.7
889 REM
860 REM MEMOIRE DU COLORANT BLEU
861 REM
870 CAL#(2)="BLEU D LUM R EXTRA":NBCAN(2)=9
880 DATA 0.005
881 DATA 70.6,73.2,75.7,77.1,78.1,77.4
882 DATA 74.8,73.2,70.7,69.1,66.0,66.0
883 DATA 67.8,70.6,75.2,80.1
884 DATA 0.01
885 DATA 70.6,73.4,75.8,76.9,77.4,75.8
886 DATA 72.2,68.3,63.8,61.2,57.9,58.3
887 DATA 59.8,64.2,70.4,77.3
888 DATA 0.02
889 DATA 66.6,69.0,70.8,70.7,70.0,66.9
890 DATA 61.9,57.3,52.7,49.3,46.3,46.6
891 DATA 48.6,52.3,59.0,67.2
900 DATA 0.05
901 DATA 59.2,61.0,61.7,60.4,58.0,54.1
902 DATA 48.2,42.8,37.6,35.0,32.2,32.7
903 DATA 34.9,39.0,45.9,55.3
910 DATA 0.11
912 DATA 47.4,49.0,48.7,46.2,43.1,38.5,32.8,27.3
914 DATA 23.0,20.2,18.6,19.4,21.4,24.8,30.9,39.3
920 DATA 0.3
922 DATA 33.2,34.5,33.7,30.9,27.7,23.7,19.2,15.2
924 DATA 12.3,10.6,9.6,10.2,11.6,13.9,18.0,24.3
930 DATA 0.75
932 DATA 21.8,22.5,21.6,19.0,16.5,13.6,10.7,8.2
934 DATA 6.6,5.8,5.3,5.6,6.5,7.9,10.2,14.3
940 DATA 1.0
942 DATA 19.2,19.8,18.9,16.6,14.3,11.7,9.3,7.1
944 DATA 5.7,5.1,4.8,5.0,5.8,6.9,9.0,12.6
950 DATA 1.5
952 DATA 15.3,15.7,14.9,12.9,10.9,8.9,7.0,5.5
954 DATA 4.5,4.1,3.8,4.1,4.7,5.6,7.0,9.6

RDY.

```
3910 REM
3911 REM MEMOIRE DU COLORANT JAUNE
3912 REM
3920 CAL$(3)="JAUNE D LUM 4RG":NBCAN(3)=9
3930 DATA 0.005
3931 DATA 65.1,64.7,66.5,69.5,74.9,79.9
3932 DATA 83.9,86.1,85.7,86.5,83.3,83.6
3933 DATA 85.5,87.7,90.1,91.3
3934 DATA 0.01
3935 DATA 61.2,59.6,60.4,63.7,69.7,75.9
3936 DATA 81.3,85.0,86.8,90.2,90.8,92.2
3937 DATA 92.8,95.0,95.3,94.7
3938 DATA 0.02
3939 DATA 53.6,50.6,50.9,54.1,61.3,70.1
3940 DATA 78.5,83.7,85.0,86.6,84.0,84.6
3941 DATA 85.8,88.0,89.7,90.7
3950 DATA 0.05
3951 DATA 41.5,37.0,36.7,40.2,48.0,59.1
3952 DATA 72.5,83.2,87.7,91.2,91.1,91.7
3953 DATA 92.5,94.7,94.9,94.6
3960 DATA 0.1
3962 DATA 28.7,24.7,24.3,27.2,34.0,43.0,55.9,65.8
3964 DATA 70.3,76.5,80.3,82.7,83.8,85.5,86.2,85.1
3970 DATA 0.3
3972 DATA 16.8,13.9,13.5,15.6,20.9,30.2,45.9,64.8
3974 DATA 75.7,81.8,82.1,83.8,84.5,86.4,87.1,85.8
3980 DATA 0.75
3982 DATA 9.8,8.0,7.8,9.1,12.6,19.3,32.6,52.3
3984 DATA 67.7,77.5,80.0,82.5,83.7,85.6,86.5,85.3
3986 DATA 1.0
3988 DATA 8.1,6.7,6.6,7.6,10.4,16.0,27.9,47.1
3989 DATA 63.8,75.7,79.3,82.2,83.7,85.7,86.5,85.5
3990 DATA 1.5
3992 DATA 6.3,5.3,5.2,5.9,8.0,12.2,21.5,38.5
3994 DATA 56.2,70.5,76.3,80.2,81.9,84.4,85.5,84.5
45947 REM
45948 REM LECTURE DES REMISSIONS DU SUPPORT DE MEMOIRE
45949 REM
45950 FOR I=1TO16
45960 READ BLAN:KBLAN(I)=(1-(BLAN/100))12/(BLAN/50)
45970 NEXT I
45997 REM
45998 REM LECTURE DES BETA, TRANSF. EN K/S
45999 REM
50000 FOR K=1TO3:FOR J=1TO NBCAN(K)
50010 READ CANC(K,J)
50020 FOR I=1TO16
50030 READ BETA:KS(I,J,K)=(1-(BETA/100))12/(BETA/50)-KBLAN(I)
50035 IF KS(I,J,K)>0 THEN 51040
50037 KS(I,J,K)=0
51040 NEXT I:NEXT J:NEXT K
51042 POKE 59459,0:OPEN1,5
51044 FOR I=1TO16:LAM(I)=380+20*I:NEXT I
```

READY.

```

51046 PRINT "J":PRINT "PROCEDONS A L'ETALONNAGE"
51048 PRINT:PRINTTAB(5)"INTRODUIRE L'ETALON CLAIR":PRINT
51049 GOSUB 60000
51050 FOR I=1TO16:KLR(I)=RELU(I):NEXTI
51065 PRINT "J":PRINT "PROCEDONS A L'ETALONNAGE"
51066 PRINT:PRINTTAB(5)"INTRODUIRE L'ETALON FONCE":PRINT
51067 GOSUB 60000
51069 FORI=1TO16:FAN(I)=RELU(I):PRINTLAM(I),KLR(I),FAN(I):NEXTI
51071 FORI=1TO16:MUL(I)=(KLR(I)-FAN(I))/(GRI(I)-BLE(I))
51072 CTE(I)=KLR(I)-MUL(I)*GRI(I):NEXTI
51074 PRINT "J":PRINT "VERIFIONS L'ETALONNAGE"
51075 PRINT:PRINTTAB(5)"INTRODUIRE L'ETALON MOYEN":PRINT
51077 GOSUB 60000
51079 FORI=1TO16:MOY(I)=RELU(I):MOY(I)=(MOY(I)-CTE(I))/MUL(I)
51080 S=S+(MOY(I)-VER(I))^2:NEXTI
51081 S=S/16:PRINT "ECART D'ETALONNAGE =":S
51082 IF S>1.5THEN51046
51083 PRINT "INTRODUIRE LE TYPE SEC AU CLAVIER"
51086 FORI=1TO16:PRINT LAM(I):INPUT TYPE(I):NEXTI
51090 GOSUB 60500
51093 INPUT "POIDS A TEINDRE(KG)":PD
51094 PD=PD*10
51097 REM
51098 REM CALCUL DES PENTES
51099 REM
51100 Q1=1:Q2=5:N=6
51102 FORI=1TO16:FORK=1TO3:GOSUB 61000
51104 P1NTE(I,K)=(N*SSXY-SX*SY)/(N*S2X-SX^2)
51106 D1RC(I,K)=(SY*S2X-SX*SSXY)/(N*S2X-SX^2)
51108 NEXT K:NEXT I
51110 Q1=6:Q2=7:N=2
51112 FORI=1TO16:FORK=1TO3:GOSUB 61000
51114 P2NTE(I,K)=(N*SSXY-SX*SY)/(N*S2X-SX^2)
51116 D2RC(I,K)=(SY*S2X-SX*SSXY)/(N*S2X-SX^2)
51118 NEXT K:NEXT I
51120 Q1=8:Q2=9:N=2
51122 FORI=1TO16:FORK=1TO3:GOSUB 61000
51124 P3NTE(I,K)=(N*SSXY-SX*SY)/(N*S2X-SX^2)
51126 D3RC(I,K)=(SY*S2X-SX*SSXY)/(N*S2X-SX^2)
51128 NEXT K:NEXT I
51139 REM
51140 REM RECHERCHE DES LAMBDA CRITIQUES
51141 REM
51142 K=1:GOSUB 62000:L1NDE=DA
51144 K=2:GOSUB 62000:L2NDE=DA
51146 K=3:GOSUB 62000:L3NDE=DA
51148 REM
51149 REM CALCUL DES POINTS COMMUNS
51150 REM
51151 K=1:DA=L1NDE:GOSUB 63000
51152 K=2:DA=L2NDE:GOSUB 63000
51154 K=3:DA=L3NDE:GOSUB 63000
51169 FORI=1TO16:KZUP(I)=KBLAN(I):NEXTI

```

:EADY.

```
51200 REM
51202 REM LECTURE DU TYPE
51203 REM
51204 PZ=0
51205 TST=100000:PW=0:IFPZ=0THEN51239
51210 PRINT"INTRODUIRE LA PIECE EN TEINTURE"
51215 GOSUB 60000
51217 FORI=1TO16:RCAR(I)=(RELU(I)-CTE(I))/MUL(I):NEXTI
51219 REM
51220 REM INTRODUCTION DES POIDS DE COLORANTS
51221 REM
51222 INPUT"POIDS DE ROUGE AJOUTE(GR)":AR:CR=CR+AR/PD
51224 INPUT"POIDS DE BLEU AJOUTE(GR)":AB:CB=CB+AB/PD
51226 INPUT"POIDS DE JAUNE AJOUTE(GR)":AJ:CJ=CJ+AJ/PD
51228 RINCE=1+(0.19*CR+0.12*CB+0.21*CJ)/(CR+CB+CJ+0.00001)
51229 REM
51230 REM TRANSFORMATION RINCEGE PUIS SECHAGE
51231 REM
51232 FORI=1TO16:RRIN(I)=RCAR(I)*RINCE
51234 RSEC(I)=20.0+1.145*RRIN(I)-23.0*EXP(-RRIN(I)/5.0)
51235 TYPE(I)=RSEC(I):NEXTI
51239 FORI=1TO16
51250 KTYP(I)=((1-TYPE(I)/100)12)/(TYPE(I)/50)
51270 KTYP(I)=KTYP(I)-KZUP(I)
51280 NEXTI
51289 REM
51290 REM INITIALISATION DES DROITES
51291 REM
51300 FOR I=1TO16:FOR K=1TO3
51310 PENTE(I,K)=PINTE(I,K)
51320 DRO(I,K)=DIRO(I,K):NEXT K:NEXT I
51366 REM
51367 REM TRANSPOSITION DES PENTE(I,K)
51368 REM
51369 PW=PW+1
51370 FOR I=1TO16:FOR K=1TO3
51380 TEPEN(K,I)=PENTE(I,K):NEXTK:NEXTI
51397 REM
51398 REM CALCUL DU CARRE DES PENTES
51399 REM
51400 FOR L=1TO3:FOR K=1TO3
51402 P(K,L)=0
51404 NEXTK
51406 NEXTL
51408 FOR L=1TO3:FOR K=1TO3
51410 FOR I=1TO16
51420 P(K,L)=P(K,L)+TEPEN(K,I)*PENTE(I,L)
51430 NEXTI:NEXTK:NEXTL
51446 REM
51447 REM PRODUIT DES PENTES PAR LE TYPE
51448 REM
51449 B(1)=0:B(2)=0:B(3)=0
51450 FOR K=1TO3:FOR I=1TO16
51460 B(K)=B(K)+TEPEN(K,I)*(KTYP(I)-DRO(I,1)-DRO(I,2)-DRO(I,3))
51470 NEXTI:NEXTK
```

READY.

```

51497 REM
51498 REM CALCUL DES SOLUTIONS
51499 REM
51500 A1=P(1,1)*(P(2,2)*P(3,3)-P(2,3)*P(3,2))
51510 A2=P(2,1)*(P(1,2)*P(3,3)-P(1,3)*P(3,2))
51520 A3=P(3,1)*(P(1,2)*P(2,3)-P(1,3)*P(2,2))
51530 DETER=A1-A2+A3
51540 A1=B(1)*(P(2,2)*P(3,3)-P(2,3)*P(3,2))
51550 A2=B(2)*(P(1,2)*P(3,3)-P(1,3)*P(3,2))
51560 A3=B(3)*(P(1,2)*P(2,3)-P(1,3)*P(2,2))
51570 X(1)=(A1-A2+A3)/DETER
51580 A1=B(1)*(P(2,1)*P(3,3)-P(2,3)*P(3,1))
51590 A2=B(2)*(P(1,1)*P(3,3)-P(1,3)*P(3,1))
51600 A3=B(3)*(P(1,1)*P(2,3)-P(1,3)*P(2,1))
51610 X(2)=(-A1+A2-A3)/DETER
51620 A1=B(1)*(P(2,1)*P(3,2)-P(2,2)*P(3,1))
51640 A2=B(2)*(P(1,1)*P(3,2)-P(1,2)*P(3,1))
51650 A3=B(3)*(P(1,1)*P(2,2)-P(1,2)*P(2,1))
51660 X(3)=(A1-A2+A3)/DETER
51665 FOR L=1TO3:IFX(L)>0.001 THEN 51670
51666 X(L)=0
51670 NEXTL
51697 REM
51698 REM EXAMEN DES RECETTES
51699 REM
51700 IF PW=2 THEN 51730
51702 TK(1)=X(1)*PENTE(LINDE,1)+DRO(LINDE,1)
51704 TK(2)=X(2)*PENTE(L2NDE,1)+DRO(L2NDE,2)
51706 TK(3)=X(3)*PENTE(L3NDE,3)+DRO(L3NDE,3)
51710 FOR K=1TO3:GOSUB 63500:NEXT K
51720 GOTO 51368
51730 REM
51731 REM STOCKAGE DE LA SOLUTION
51732 REM
51740 IF PZ<=0 THEN 51770
51750 FOR K=1TO3:SIL(K)=X(K):SOL(K)=X(K):NEXT K
51760 GOTO 51970
51770 FOR K=1TO3:SOL(K)=SIL(K)-X(K):NEXT K
51970 PZ=PZ+1
51980 PRINT "7"
51990 PRINTTAB(5)" 3SOLUTION"TAB(16)" 3DEMANDEE"TAB(26)" 3AJOUTEE"TAB(34)" 3MI:
51995 WQ(1)=CR:WQ(2)=CB:WQ(3)=CJ
52000 FORK=1TO3
52002 WW(K)=SOL(K)*PD
52003 R=WW(K)+0.5:WW(K)=INT(R)
52004 R=WQ(K)*1000+0.5:WQ(K)=INT(R)/1000
52005 R=SOL(K)*1000+0.5:SOL(K)=INT(R)/1000
52010 PRINTCAL$(K)TAB(19)"="TAB(20)SOL(K)TAB(27)WW(K)TAB(34)WQ(K):NEXTK
52015 PRINT"3ONDE      RELU      RCOR      RSEC      RRIN "
52020 FORI=1TO16
52025 H%=RELU(I)*100:RELU(I)=H%/100
52027 H=RCAR(I)*100:RCAR(I)=INT(H)/100
52029 H=RSEC(I)*100:RSEC(I)=INT(H)/100
52031 H=RRIN(I)*100:RRIN(I)=INT(H)/100
52033 PRINTLAM(I)TAB(7)RELU(I)TAB(14)RCAR(I)TAB(21)RSEC(I)TAB(28)RRIN(I)
52035 NEXTI

```

READY.

```
52050 GOSUB 60300
52070 GOTO51205
52100 INPUT"VOULEZ VOUS CHANGER DE TYPE";Z$
52110 IFZ$="0"THEN51083
52120 GOTO 51205
59997 REM
59998 REM SOUS PROGRAMME LECTURE DU VOLTMETRE
59999 REM
60000 FOR I=1TO16
60005 C1%=PEEK(59471)
60010 IF C1%<254THEN60005
60015 TI$="000000"
60020 IFTI<10THEN60020
60030 INPUT#1,RELU(I)
60035 IFTI<120THEN60035
60040 C2%=PEEK(59471)
60050 IFC2%<255THEN60040
60055 PRINTLAM(I),RELU(I)
60060 NEXTI
60070 RETURN
60297 REM
60298 REM ENREGISTREMENT DE LA REPRODUCTION
60299 REM
60300 OPEN2,1,1,"MESURES"
60310 FORI=1TO16
60320 PRINT#2,LAM(I)
60322 PRINT#2,RELU(I)
60324 PRINT#2,RCAR(I)
60326 PRINT#2,RSEC(I)
60328 PRINT#2,PRIN(I)
60330 NEXTI
60335 PRINT#2,SOL(1)
60336 PRINT#2,SOL(2)
60337 PRINT#2,SOL(3)
60340 CLOSE2
60350 RETURN
60497 REM
60498 REM ENREGISTREMENT DE L"ETALONNAGE
60499 REM
60500 OPEN2,1,1,"MESURES"
60510 FOR I=1TO16
60520 PRINT#2,LAM(I)
60522 PRINT#2,RELU(I)
60524 PRINT#2,TYPE(I)
60526 PRINT#2,MUL(I)
60528 PRINT#2,CTE(I)
60530 NEXTI
60531 A=2
60532 PRINT#2,A
60533 PRINT#2,A
60534 PRINT#2,A
60540 CLOSE 2
60550 RETURN
```

READY.

```

61000 REM
61002 REM SOUS PROGRAMME CALCUL DES DROITES
61004 REM
61010 SSXY=0: SX=0: S2X=0: SY=0
61020 FOR J=Q1 TO Q2
61030 SSXY=SSXY+DANC(K, J)*KS(I, J, K)
61040 SX=SX+DANC(K, J)
61050 SY=SY+KS(I, J, K)
61060 S2X=S2X+DANC(K, J)^2
61070 NEXT J
61080 RETURN
62000 REM
62002 REM SOUS PROGRAMME RECHERCHE DES LAMBDA CRITIQUES
62004 REM
62005 MAX=0
62010 FOR I=1 TO 16
62020 IF MAX < KS(I, 9, K) THEN 62040
62030 MAX=KS(I, 9, K): DA=I
62040 NEXT I
62050 RETURN
63000 REM
63002 REM SOUS PROGRAMME CALCUL DES POINTS COMMUNS
63004 REM
63010 C1L(K)=(D2RO(DA, K)-D1RO(DA, K))/(P1NTE(DA, K)-P2NTE(DA, K))
63020 C2L(K)=(D3RO(DA, K)-D2RO(DA, K))/(P2NTE(DA, K)-P3NTE(DA, K))
63030 K1L(K)=C1L(K)*P1NTE(DA, K)+D1RO(DA, K)
63040 K2L(K)=C2L(K)*P2NTE(DA, K)+D2RO(DA, K)
63050 RETURN
63500 REM
63502 REM SOUS PROGRAMME MODIFICATION DES PENTES
63504 REM
63510 IF X(K) < C1L(K) THEN 63550
63520 IF TK(K) > K2L(K) THEN 63560
63530 FOR I=1 TO 16: PENTE(I, K)=P2NTE(I, K)
63540 DRO(I, K)=D2RO(I, K): NEXT I
63550 RETURN
63560 FOR I=1 TO 16: PENTE(I, K)=P3NTE(I, K)
63570 DRO(I, K)=D3RO(I, K): NEXT I
63580 RETURN
READY.

```

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

-o000o-

- BIBLIOGRAPHIE -

- 1 . P. KUBELKA et F. MUNK
Ein Beitrag zur optik der farbanstricke
Z. Techn. Physid, 12, 593 (1931)
- 2 . Rapport AIDE AU PREDEVELOPPEMENT
Convention n° 79237011 - partie 1
- 3 . JUDD et WYSZECKY
Color in business science and industry
John Wilay and sons, inc (1963)
- 4 . E. ALLEN
Basic equations used in computer color matching
J.O.S.A. vol. 56 - 9 - 1256 (1966)
- 5 . E. ALLEN
Basics equations used in computer colour matching
J.O.S.A. - vol. 64 - 7 - 991 (1974)
- 6 . JP KRAHENBUHL
Les bases théoriques et pratiques de la formulation en
colorimétrie industrielle. Document de la SARL . DATACOLOR
- 7 . SCHIFFNER - Journal of the society of Dyers and colorists
- 8 . F. BRAUN - Couleur 63 - 3ème trimestre - 31 (1966)
- 9 . H. LEJEUNE et C. MARTRE - Couleur 59 - 3ème trimestre 12
(1965)
- 10 . ALDERSON, ALTHERTON, DERBYSHIRE - JSDC, 77 - 663 (1961)
- 11 . R.B. LOVE - JSDC, 81 - 609 - (1965)

- 12 . T. BRIDGEMAN - JSDC, 82 - 457 (1966)
- 13 . ATHERTON - JSDC, 71 - 389 (1955)
- 14 . Rapport DGRST - "Commande prédictive d'un système multivariable application à la conduite d'unités de teinture textile" (1981)
- 15 . JSDC, Septembre 1942, V. 62, p. 280
- 16 . Colorant diazol lumière en teinture sur coton et viscose - Cahiers de teinture
- 17 . TH. MORTON
"Jigger Studies IV - Wasching and Heating"
JSDC-81 , 150 (1965)
- 18 . Thèse de Dr-Ingénieur M. BENHABIB
"Contribution à la régulation colorimétrique d'une unité de teinture textile"
(1981)
- 19 . G. GOLFINGER, HS. GOLFINGER, S.P. HERSH and T.M. LEONARD
Journal of polymer Science. part. C, Vol. 31 (1970)
- 20 . F. BALLETT - Mémoire d'ingénieur ITR (1977)
- 21 . F. CAMBONIE et J.L. COULIOU - Mémoire d'ingénieurs ITR
(1979)
- 22 . F.T. SIMON - "The two methods for measurement and formulation with fluorescent colorants"
Journal of color and appearance - Vol. 1 - 4 -
Février Mars 1972



- 23 . E. ALLEN . "Fluorescent and colorimetry of fluorescent materials" . World Textile Abstracts - Vol. 4 - 19 Octobre 1972
- 24 . J.P. DECARMIN et P. DUR - Mémoire d'Ingénieurs ITR (1976)
- 25 . Cours de Fibres - G. LEROY et J. DUFOUR - ITR

-o000o-