

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université
M'hammed BOUGARA
Boumerdes



Faculté
des Sciences de l'Ingénieur
Boumerdes

Département de Génie des procédés Industriels

MEMOIRE

Présenté par
M^{elle}. CHELLALI Samira

Pour l'obtention du titre de

MAGISTER

En Technologie Textile

Thème :

*IMPACT DE LA COULEUR ET DU TITRAGE DU
« POY » EN TEXTURATION. GRADATION DE LA
QUALITE ET OPTIMISATION DU PROCESSUS.*

Soutenu le :

Mr ZAOUI M.S
Mr BOUYAKOUB D
Mr BAL K
Mr BOUTICHE A
Mr MAALLEM M

Devant le jury composé de

Maître de conférence UMBB	Président
Chargé de cours UMBB	Encadreur
Maître de conférence U. Médéa	Examineur
Chargé de cours UMBB	Examineur
Maître de conférence UMBB	Examineur

BOUMERDES 2005

RESUME

La texturation est un des procédés utilisés pour le traitement des fils synthétiques. Son but est de se substituer au coûteux processus de retordage et aussi d'améliorer les propriétés physico-mécaniques des fils synthétiques.

Les domaines d'application des fils texturés se sont considérablement élargis et diversifiés, comme s'est améliorée la qualité des nombreux articles y découlant : Un aspect externe très attirant, un toucher soyeux, une stabilité à l'usure, une grande extensibilité, un effet couvrant important à faible densité et un prix de revient relativement faible. Toutes ces qualités leur garantissent une demande accrue de la part des consommateurs.

En Algérie, l'emploi du procédé de texturation est relativement nouveau, par rapport aux autres procédés textiles. Il se limite à quelques entreprises privées, qui sont en permanence confrontées à beaucoup de problèmes techniques, commerciaux, ...etc.

Malgré le fait avantageux pour ces entreprises, se traduisant par l'existence d'une demande locale dépassant de loin leur offre, elles restent pourtant incapables d'être compétitives sur la marché national. De plus, la concurrence farouche, imposée par les importateurs de fils texturés, ainsi que la conjoncture économique internationale les mettent souvent dans une position d'asphyxie.

Comment ces entreprises peuvent-elles s'en sortir, pour devenir performantes et compétitives ? Une seule issue existe : effectuer un diagnostic global et suivre un plan de redressement dans tous les domaines (fonctionnel, stratégique, financier et identitaire).

Parmi les actions à mener dans ce sens, figure celle touchant un des aspects du redressement fonctionnel : l'optimisation de l'appareil de production et la maîtrise de la qualité des produits fabriqués.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude, intitulée « **IMPACT DE LA COULEUR ET DU TITRAGE DU « POY » EN TEXTURATION. GRADATION DE LA QUALITE ET OPTIMISATION DU PROCESSUS.** ». Elle a été réalisée au niveau de l'entreprise de texturation « Polytext » - Rouiba et a permis d'aboutir aux résultats suivants :

- 1)** La couleur du POY influe sur les propriétés du fil texturé. Il est nécessaire de considérer un réglage approprié de la machine pour chaque couleur d'un même POY. Ce réglage peut être connu en déterminant le modèle mathématique de chaque propriété du fil texturé.
- 2)** Un nouveau coefficient, caractérisant l'influence de la couleur d'un POY sur les propriétés du fil texturé, a été mis en évidence. Pour les couleurs noire, verte claire et blanche, les valeurs respectives de ce coefficient sont : $A_N = 1$; $A_V = 0,372$; $A_B = 0,346$.
- 3)** Le caractère d'Influence des facteurs de texturation sur les propriétés des fils texturés varie en fonction de la nature et titrage du fil texturé. Une fiche technique a été élaborée.
- 4)** L'appréciation de la qualité en texturation a été étudiée par l'élaboration de nomogrammes de gradation de la qualité, qui ont permis d'avoir une vision globale et claire sur l'évolution de la qualité de chaque propriété d'un fil texturé, ainsi que son passage d'une gradation à l'autre (mauvaise, satisfaisante, bonne et excellente).

La qualité globale d'un fil texturé, en tenant compte de toutes ces propriétés et de sa destination, a été évaluée à l'aide d'un indice complexe très efficace.

- 5)** Les résultats obtenus ont montré que le coût de l'énergie nécessaire au fonctionnement du four peut être minimiser. Ceci a permis d'optimiser le processus de fabrication, en tenant compte des aspects qualitatif et économique.

Mots clés : texturation, fils texturés, stabilité à l'usure, extensibilité, effet couvrant, entreprise performante et compétitive, redressement fonctionnel, optimisation, qualité, POY, modèle mathématique, propriété, couleur, titrage, indice de qualité, nomogrammes, gradation, coût.

SUMMARY

Texture is one of the processes used for the treatment of synthetic yarn. Its goal is to replace the expensive process of twisting and also to improve the physicommechanical properties of synthetic yarn.

The applicability of textured yarn widened and diversified considerably, as improved quality of the many articles rising there: An external aspect very attracting, a silky touch, a stability with wear, a great extensibility, effect covering important with low density and a relatively weak cost price. All these qualities guarantee an increased request on behalf of the consumers to them.

In Algeria, the use of the process of texture is relatively new, compared to the other textile processes. It is limited to some private companies, which are permanently confronted with many technical problems, commercial... etc. In spite of the advantageous fact for these companies, resulting in the existence of a local request exceeding their offer by far, they however remain unable to be competitive on the national market.

Moreover, the savage competition, imposed by the textured yarn importers, as well as the international economic situation often put them in a position of asphyxiation.

How these companies can be left there, to become powerful and competitive? Only one exit exists: to carry out a total diagnosis and to follow a plan of rectification in all the fields (functional, strategic, financial and identity).

Among the actions to be carried out in this direction that concerning one of the aspects of the functional rectification appears: the optimization of the apparatus of production and control of the quality of the products manufactured.

They that our study is registered, is accordingly entitled "IMPACT OF the COLOR AND the TITRATION OF the" POY "IN TEXTURE. GRADATION OF QUALITY AND OPTIMIZATION OF THE PROCESS ". It was carried out on the level of the company of texture "Polytext" - Rouiba and made it possible to lead to the following results:

- 1) The color of the POY influences the properties of the textured yarn. It is necessary to consider a suitable adjustment of the machine for each color of the same POY. This adjustment can be known by determining the mathematical model of each property of the textured yarn.
- 2) A new coefficient, characterizing the influence of the color of a POY on the properties of the textured yarn, was highlighted. For the colors black, green clear and white, the respective values of this coefficient are: $A_N = 1$; $A_V = 0,372$; $A_B = 0,346$.
- 3) The character of Influence of the factors of texture on the properties of textured yarn varies according to the nature and titration of the textured yarn. A chart was elaborate.
- 4) The appreciation of quality in texture was studied by the development of nomograms of gradation of quality, which made it possible to have a global and clear vision on the evolution of the quality of each property of a textured yarn, like its passage from one gradation to another (bad, satisfactory, good and excellent). The total quality of a textured wire, by holding account of all these properties and its destination, was evaluated using an index complexes very effective.
- 5) The results obtained showed that the cost of energy necessary to the operation of the furnace can be to minimize. This made it possible to optimize the manufacturing process, by holding account of the aspects qualitative and economic.

Key words: texture, yarn textured, stability with wear, extensibility, covering effect, powerful and competitive company, functional rectification, optimization, quality, POY, mathematical model, property, color, titration, index of quality, nomograms, gradation, cost.

ملخص

« La texturation » هي طريقة من بين الطرق المستعملة لمعالجة الخيوط الصناعية الهدف منها هو تعويض الطريقة المكلفة المستعملة وهي « Retordage » و أيضا لتحسين خصائص الفيزيائو- ميكانيكية للخيوط الصناعية.

مجالات استعمال الخيوط « Fil Texturé » المعالجة وفقا لهذه الطريقة، توسعت بشكل كبير وتتنوعت، كما أن نوعية المواد التي تستعمل فيها هذه الخيوط تحسنت: المظهر الخارجي الجذاب، الملمس الحريري مقاومة للتلف، وقابلية للتمدد كبيرة، كثافتها الصغيرة و ثمنها قليل نسبيا. كل هذه الخصائص تضمن الطلب المتزايد للمستهلك.

في الجزائر هذه الطريقة مازالت جديدة بالمقارنة بالطرق النسيجية الأخرى. فهي محدودة في بعض المؤسسات الخاصة، والتي تتخبط بصفة مستمرة في مشاكل كثيرة: تقنية، تجارية... الخ.

رغم أن الطلب المحلي على هذا النوع من الخيوط أكبر من العرض إلا أن هذه الشركات غير قادرة على أن تكون منافسة للمنتجات الأجنبية و بالإضافة لذلك فان المنافسة الشديدة المفروضة من المستوردين لهذه الخيوط والوضعية الاقتصادية العالمية تضعها غالبا في وضعية غير مريحة.

كيف يمكن لهذه الشركات الخروج من هذه الوضعية وحتى تصبح فعالة ومنافسة؟ المخرج الوحيد هو أن تضع تشخيص عام متبع بمخطط للنهوض بكل المجالات.

من بين الأعمال الموجهة في هذا الاتجاه، تظهر تلك التي تمس المظهر

« Redressement fonctionnel » : الاختيار الأمثل لأداة الإنتاج والتحكم في نوعية المنتج المصنع.

في هذا الاتجاه تسجل هذه الدراسة تحت عنوان « أثار الألوان وسمك المادة الأولية للخيوط

الصناعية « Poy » في تصنيع « La texturation » وتدرج النوعية و الاختيار الأمثل لطريقة التصنيع»

هذه الدراسات تمت في الشركة بوليتكس -روبية، وقد تحصلنا على النتائج التالية:

1) « Poy » يؤثر على خصائص الخيوط « Fil texture » لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار الضبط المناسب للماكنة حسب لون « Poy »، هذا الضبط يمكن معرفته بتحديد النموذج الرياضي لكل خاصية للخيوط « Fil texturé ».

2) معامل جديد يخص تأثير لون « Poy » على خصائص الخيوط ثم تحديده، النتائج المتحصل عليها

لهذا المعامل: اللون الأسود، الأخضر و الأبيض هم على الترتيب. $A_N=1$, $A_V=0,372$, $A_B=0,346$.

3) طبيعة تأثير عوامل «de texturation» على خصائص الخيوط « Fil texturé » بطاقة تقنية تم ضبطها.

4) تحديد النوعية في « La texturation » تم دراستها بتسطير « Nomogramme de gradation » للنوعية، سمحت بالحصول على نظرة عامة وواضحة بتعيين النوعية لكل خاصية للخيط، وأيضا للمرور من درجة لأخرى « سيئة، مرضية، جيدة، ممتازة » النوعية العامة للخيط تأخذ بعين الاعتبار كل الخصائص ووجهة المنتج، تم تحديدها بفضل مؤشر النوعية المركب فعال.

5) النتائج المحصل عليها بينت أن ثمن الطاقة اللازم لتشغيل الفرن يمكن إنقاصها وهذا قد مكننا من الاختيار الأمثل للطريقة الصناعية، بأخذ بعين الاعتبار، النوعية والجانب الاقتصادي.

كلمات المفتاح:

« Fil texturé »، « texturation »، مقاومة التلّف، التمدد، « Effet couvrant »، مؤسسة فعالة ومنافسة، الاختيار الأمثل « Optimisation »، النوعية، « Poy »، النموذج الرياضي، خاصية، لون، سمك، مؤشر النوعية، « Nomogrammes » تدرج، ثمن.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

1. Exposition de la problématique et choix du thème	1
2. But, importance, actualité et opportunité de la recherche	2
3. Méthodologie du travail	2
3.1 – Structure du travail réalisé	2
3.2 – Moyens et matériels mis en œuvre	3
3.3 – Méthodes scientifiques de traitement des résultats expérimentaux	3

CHAPITRE I : CONSIDERATIONS THEORIQUES

I.1. PRINCIPES DU PROCEDE DE TEXTURATION :

I.1.1 But de la texturation	4
I.1.2 Différentes techniques de texturation	4
I.1.2.1 Procédés de texturation par torsion	4
a) Procédé conventionnel (en discontinu).....	4
b) Procédé non conventionnel (en continu)	5
c) Procédé par fausse torsion	5
I.1.2.2 Procédés sans torsion	6
a) Procédé par jet d'air	6
b) Procédé par tassement (à boîte de filasse)	7
c) Procédé par crêpage (arête chauffante)	8
d) Procédé par tricotage/détricotage (TDK)	8
I.1.3 - Produits obtenus par la texturation et leurs propriétés	8
I.1.4 Facteurs influant sur les propriétés d'un fil texturé	9
I.1.5 Domaine d'application des fils texturés	9
I.1.6- Principes de fabrication d'un fil texturé	10
Description de la machine et trajectoire du fil	10
• Râtelier d'alimentation	11
• Four primaire	11
• Zone de refroidissement	12
• Unité de torsion a friction 'POSITORQ 2A'	12
• Four secondaire	12
• La section de réception	13
I.1.7 Particularité de la fabrication des fils texturés faiblement extensibles	13
I.1.8 Matières premières utilisées en texturation	14
I.1.8.1 Technologie de filage du POY	15
A. Cas du polyester	16
a) Obtention et définition	16
b) Synthèse de polyester	16
B. Cas des polyamides	17
a) Obtention des polyamides	17
b) Synthèse du polyamide-6	17

I.1.9	méthodes et appareils de contrôle en texturation	18
I.1.9.1	Présentation des appareils de contrôle	18
I.2.	TRAITEMENT THERMIQUE EN TEXTURATION.	
I.2.1-	Procédés et dispositifs de chauffage	21
I.2.2 –	Analyse de l'échange de chaleur entre le four et le fil	22
I.3.	APPRECIATION DE LA QUALITE EN TEXTURATION	
I.3.1 –	Notion de qualité	25
I.3.1.1 –	Définition de la qualité	25
I.3.1.2 –	La gestion de la qualité	25
I.3.1.3 –	Appréciation quantitative de la qualité	26
I.3.1.4 –	Principes scientifiques d'appréciation optimale de la qualité des articles textiles, à l'aide de la méthode d'indices complexes de la qualité	26
a.	Méthode différentielle	27
b.	Méthode complexe	27
c.	Méthode combinée	27
I.3.1.5 –	Indice de qualité d'un matériau	27
I.3.1.6 –	Nature et choix des indices de qualité	28

CHAPITRE II : IMPACT DE LA COULEUR EN TEXTURATION.

II.1- ARGUMENTATION PRATIQUE.

II.1.1-	Constats pratiques	29
II.1.2-	Caractéristique de la matière première utilisée	29
II.1.3-	Méthode utilisée	29
II.1.4-	Les facteurs d'entrée considérés	29
II.1.5-	Les paramètres de sortie considérés	30
II.1.6-	Matrices de travail	30
II.1.7-	Résultats expérimentaux	30
II.1.8-	Traitement des résultats, d'après la méthode de l'expérience factorielle totale.....	30
II.1.9-	Modèles mathématiques obtenus	31
II.1.10-	Mise en évidence du caractère d'influence de chaque facteur de texturation sur les propriétés du fil texturé	31
II.1.11-	Interprétations et argumentation des résultats expérimentaux	33

II.2- ARGUMENTATION THEORIQUE

II.2.1-	Expression de la température du fil dans le fil	34
II.2.2-	Impact d'un flux thermique radiatif agissant sur le fil	35
II.2.3-	Conséquences	36
II.2.4-	Démarche à suivre pour la détermination du coefficient « A »	36

II.3- DETERMINATION DES VALEURS DES COEFFICIENTS A_j POUR LES CONDITIONS REELLES DE TRAVAIL DE L'ENTREPRISE « Polytext-Rouiba » ..

		38
--	--	----

II.4- CONCLUSIONS

		39
--	--	----

II.5- VERIFICATION DE LA PRECISION DU MODELE MATHEMATIQUE DEVELOPPE OBTENU Y_{ij}^*

		39
--	--	----

II.6- EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU FIL T_{fil} LORS DE SON PASSAGE DANS LE FOUR

		42
--	--	----

Discussion	44
------------------	----

Conclusion	45
------------------	----

CHAPITRE III : CARACTERE D'INFLUENCE DES FACTEURS DE TEXTURATION SUR LES FILS TEXTURES DE NATURE ET TITRAGE DIFFERENTS.

III.1- INTRODUCTION	46
III.2- METHODOLOGIE DE TRAVAIL	46
III.2.1- Caractéristiques de la matière première utilisée	47
III.2.2- Paramètres de sortie étudiés	47
III.2.3- Planification des expériences	47
III.2.3.1- Facteurs d'entrée considérés	48
III.2.3.2. Choix des intervalles de variation des facteurs d'entrée	48
III.2.3.3. Matrice codée de travail pour chaque paramètre de sortie	48
III.2.3.4. Matrice naturelle de travail pour chaque paramètre de sortie	49
III.2.4. Traitement des résultats expérimentaux	49
III.2.5. Interprétation des résultats, à partir des modèles mathématiques obtenus.	53

CHAPITRE IV:APPRECIATION DE LA QUALITE EN TEXTURATION PAR LA METHODE DES NOMOGRAMMES ET SON EVALUATION.

IV.1 INTRODUCTION : Argumentation pratique	54
IV.2 CONSIDERATIONS THEORIQUES	54
IV.3 EXPLOITATION GRAPHIQUE DE LA METHODE DE GRADATION DE LA QUALITE D'UN PRODUIT, A L'AIDE DE NOMOGRAMMES « Xyd ».....	57
Discussion	63
Conclusion	63
IV.4 CONSIDERATIONS SUPPLEMENTAIRES A ENVISAGER, LORS DE L'EMPLOI DE LA METHODE DES NOMOGRAMMES DE QUALITE	64
IV.4.1 Détermination des coefficients de pondération de chaque propriété du produit	64
Méthodologie à suivre	65
IV.4.2 Détermination de l'indice global de la qualité du produit étudié, en fonction de sa destination	69
IV.4.3 Détermination du critère géométrique global de qualité K_G d'un fil texturé	71
IV.5 CONCLUSION	72
IV.6 DETERMINATION DE LA VARIANTE OPTIMALE DE FABRICATION DU FIL TEXTURE PA-6 70f18 DEN., D'APRES LE RAPPORT « QUALITE / PRIX ».	
IV.6.1 Considérations générales sur le coût de fabrication d'un produit	73
IV.6.2 Détermination du coût horaire (CHF) de fabrication d'un fil texturé	73
IV.6.3 Evaluation de la variation de la puissance électrique consommée pour les variantes considérées	74
a. Détermination de la puissance maximale	74
b. Prix unitaire de l'énergie électrique (tarifs SONALGAZ)	74
IV.6.4 Evaluation du coût variable de l'énergie électrique (CVE) nécessaire pour la fabrication de 1 kg de fil texturé de chaque variante, en fonction de la l'énergie thermique (température) consommée par le four	75
Discussion	75
IV.6.5 Détermination de la variante optimale d'après son rapport qualité / prix ...	76
CONCLUSIONS GENERALES	77
BIBLIOGRAPHIE	84

INTRODUCTION

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. Exposition de la problématique et choix du thème.

La transformation des fils synthétiques en étoffes exige dans la plus part des cas un traitement spécial des filaments synthétiques lisses. Dans ce but, la texturation est l'un des procédés les plus utilisés, car plus de 70% des fils synthétiques produits dans le monde y sont soumis [1]. Le premier fil synthétique qui a été texturé est le fil de polyamide et, depuis, d'autres fils synthétiques le sont aussi : Polyester, polyéthylène, polyacrylique, etc.

La texturation est un procédé qui a pour buts de se substituer au coûteux procédé de retordage, mais aussi d'améliorer les propriétés physico-mécaniques des fils synthétiques et leurs donner des propriétés proche de la fibre naturelle, nécessaires pour leurs utilisations futures, telles : le toucher agréable, l'effet gonflant, l'effet couvrant, l'extensibilité, etc.

En Algérie, la texturation est un procédé encore relativement nouveau dans notre pays et la production de ces fils se limite à quelques entreprises privées, dont leur capacité de production est loin de satisfaire les besoins du marché national. De plus, ces entreprises sont hélas confrontées à de véritables problèmes techniques et commerciaux :

- Une concurrence farouche de la part des importateurs des fils texturés, qui écoulent leurs marchandises à des prix beaucoup plus bas.
- Un manque fréquent de matières premières, à cause de leur coût plus élevé, provoqué par la dévaluation du dollar et l'augmentation du prix du pétrole.
- Des difficultés à satisfaire les exigences de leur clientèle en matière de qualité.
- Une incapacité dans la résolution des problèmes technologiques, comme par exemple celui lié au choix des paramètres de texturation en fonction des caractéristiques de la matière première.
- Une main d'œuvre, recrutée dans le tas, non spécialisée et sans aucun programme de formation préalable.
- Un personnel de maîtrise défaillant, ou n'ayant aucun rapport avec le domaine textile.

Pourtant, certaines de ces entreprises de texturation essayent en permanence d'améliorer leurs produits et même de les commercialiser sur le marché international (le cas de « Polytext »). Mais c'est une tâche difficile à réaliser, car la texturation est un processus très complexe, où il est nécessaire de maîtriser plusieurs facteurs et notions à la fois.

En effet, en texturation, la parfaite maîtrise du processus par des professionnels est indispensable. Le docteur-ingénieur de la firme allemande « Barmag » Johannes Brusk a d'ailleurs insisté sur cet aspect dans l'un de ses articles [2] : « ... en ce qui concerne la texturation, celle-ci peut être maîtrisée, pour autant qu'un certain nombre de conditions sont remplies. Il faut en tout premier, une qualité régulière de POY, un système de torsion ménageant la matière, des surfaces à faible coefficient de frottement avec le fil. Il faudra maîtriser les températures, les tensions dans la zone de texturation et de renvidage ainsi que les vitesses. Pour un fil pincé, il faudra un entrelacement régulier assurant un bon mélange de filaments et un renvidage compatible ».

Par conséquent, pour que nos entreprises nationales arrivent à surmonter les difficultés évoquées plus haut, il ne leur reste qu'une seule issue : faire appel à des professionnels dans le domaine de la texturation pour organiser le processus de production par des méthodes

scientifiques, garantissant la stabilité de son déroulement, la maîtrise de la flexibilité et de la qualité.

C'est dans ce sens que l'entreprise « Polytext » a sollicité notre contribution pour proposer des solutions à tous ces problèmes.

Le choix du thème de cette thèse est donc motivé par la nécessité de mettre à la disposition de cette entreprise, nous en tant que spécialistes dans le domaine textile, un ensemble d'outils, de méthodes et d'informations technico-économiques à même de lui permettre d'assurer en permanence un suivi efficace et qualitatif de son processus de production.

2. But, importance, actualité et opportunité de la recherche.

Cette étude consiste à :

- 1)- Mettre en évidence l'impact de la couleur des fils POY sur les propriétés des fils texturés obtenus et donc, sur les facteurs de texturation. Ce qui permettra à l'entreprise :
 - D'être en mesure de prendre rapidement et correctement les dispositions nécessaires lors d'un changement nuancé de couleur du fil à texturer.
 - Maintenir les mêmes propriétés des fils texturés qui diffèrent seulement par leur couleur.
- 2)- Maîtriser, optimiser et comparer la fabrication de fils texturés de nature et grosseur différentes. Ceci assurera :
 - Une meilleure organisation de tout le processus de fabrication.
 - Une plus grande maîtrise de la flexibilité du processus.
 - Des interventions rapides et efficaces sur les équipements de production.
- 3)- Proposer une méthode d'appréciation de la qualité en texturation, en y mettant en application la méthode déjà connue des « nomogrammes de gradation de la qualité ». Son assimilation aura des répercussions très positives sur :
 - La gestion, le suivi et le contrôle de la qualité.
 - L'augmentation de la productivité.
 - La maîtrise des coûts de production.
 - La crédibilité de l'entreprise face à sa clientèle locale ou étrangère.
 - Les possibilités de développement de l'entreprise.

3. Méthodologie du travail.

3.1 – Structure du travail réalisé.

Ce travail de 75 pages, est constitué :

- **D'un résumé** du mémoire, rédigé dans les trois langues: arabe, française et anglaise.
- **D'un sommaire.**
- **D'une introduction générale**, précisant la situation de la texturation dans les entreprises algériennes, les difficultés auxquelles elles sont confrontées et les exigences à satisfaire pour maîtriser cette technologie. Les objectifs à atteindre ainsi que la méthodologie de travail sont aussi exposés.
- **D'un premier chapitre**, intitulé « **considérations théoriques** », où doivent être expliquées toutes les méthodes, analyses et notions théoriques, nécessaires à la réalisation de cette étude.

- **D'un deuxième chapitre**, intitulé « **impact du changement de la couleur du fil en texturation** », où il s'agit de démontrer que les fils de couleurs différentes ont chacun un comportement thermique spécifique dans le four, ce qui va leur conférer des propriétés physico-mécaniques différentes.
- **D'un troisième chapitre**, intitulé « **Caractère d'influence des facteurs de texturation sur les fils texturés de nature et titrage différents** », dont l'objectif est d'établir une fiche technique détaillée, où figurent toutes les informations nécessaires à la fabrication de certains fils texturés, les plus demandés en Algérie.
- **D'un quatrième chapitre**, intitulé « **appréciation de la qualité en texturation par la méthode des nomogrammes et son évaluation** », consacré à l'évaluation quantitative de la qualité d'un fil texturé, par un indice global, à l'aide de la méthode des nomogrammes. Comme il est aussi question faire une étude sur l'optimisation du processus de fabrication du fil texturé en PA-6 70f18 deniers à « Polytext », en déterminant la variante la plus rentable, d'après son rapport qualité/prix.
- **D'une conclusion générale**, accompagnée de **recommandations**.

La réalisation de ce travail a nécessité l'utilisation de :

- cinq (5) méthodes de traitement et d'analyse des résultats.
- 24 Tableaux et de 19 figures.

3.2 – Moyens et matériels mis en œuvre :

- Matières premières utilisées : Multi filaments de polyester 2GT et de polyamide-6.
- Machines à texturer : FK-6 900 de la firme « Barmag » et DCS-1200 de la firme « Rieter-Scragg ».
- Appareils de contrôle : Dévidoir automatique, balance électronique, dynamomètre automatique, appareils de mesure des caractéristiques de frisure, bain marie.

3.3 – Méthodes scientifiques de traitement des résultats expérimentaux :

- Planification des expériences par la méthode de l'expérience factorielle totale pour la planification des expériences, la détermination des modèles mathématiques et l'estimation de l'erreur et des intervalles de confiance.
- Modèle d'analyse du transfert de chaleur entre un four tubulaire et un fil le traversant, pour la détermination de la température de ce dernier dans chaque zone.
- Méthode analytique et graphique d'appréciation quantitative de la qualité globale du produit, à l'aide de nomogrammes de gradation de la qualité.
- Méthode analytique de détermination des coefficients de pondération des propriétés d'un produit en fonction de sa destination.
- Méthode analytique de calcul des indices complexes de qualité.

CHAPITRE I

CONSIDERATIONS THEORIQUES

I.1. RINCIPES DU PROCEDE DE TEXTURATION :

I.1.1 But de la texturation.

La texturation est une technique qui, au début, avait pour but de remplacer le procédé de retordage des filaments synthétiques, car ce dernier nécessite un nombre d'installations et de passages technologiques plus important – bobinage, assemblage et le vaporisage – avec des vitesses de production limitées, sans oublier l'inconvénient de la discontinuité du processus.

Par la suite, la texturation a permis d'atteindre d'autres objectifs non moins importants [3-6]: l'obtention de fils avec des propriétés carrément nouvelles, ou l'obtention de fils avec des propriétés plus améliorées par rapport à celles des fils naturels, telles que :

- un aspect couvrant plus important avec faible densité (l'effet gonflant) ;
- bonne tenue à l'abrasion ;
- bonne aptitude tinctoriale ;
- un toucher doux et soyeux des articles y découlant ;
- un retrait réduit à l'eau bouillante (de 9% jusqu'à 0.7%) ;
- un allongement considérable ;
- une frisure très développée avec une souplesse remarquable.

De plus, en assurant une cohésion inter-filamentaire par entrelacement ou pincement, la texturation donne au fil obtenu une structure plus équilibrée et stabilisée, sous l'effet d'un traitement de thermification

Les fils texturés peuvent se distinguer aussi par leur grand volume, leur grande frisure et souplesse, leur extensibilité considérable (jusqu'à 400 %).

Finalement, on peut dire que, la texturation donne aux producteurs un grand avantage dans tous les domaines, soit en qualité produite, soit en diversification des propriétés, soit encore en productivité ou en rentabilité, face aux méthodes concurrentes, comme le retordage.

I.1.2 Différentes techniques de texturation.

Seuls quelques uns des nombreux processus de texturation, développés pendant les années 50 et 60, ont survécu sur l'échelle commerciale [7].

La texturation par fausse torsion, qui utilise des fils de polyester et polyamide de titrages compris entre 22 – 330 décitex, occupe plus de 90% des cas. Les procédés de texturation par torsion, jet d'air, tassement, crêpage et tricotage occupent, eux, les 10% qui restent [7].

Ces différents procédés de texturation sont regroupés en deux grandes classes [1]:

- les procédés de texturation par torsion ;
- les procédés sans torsion.

I.1.2.1 Procédés de texturation par torsion.

Trois procédés sont à considérer : le procédé conventionnel (en discontinu), le procédé non conventionnel (en continu) et le procédé par fausse torsion.

a) Procédé conventionnel (en discontinu):

C'est un procédé discontinu pratiquement abandonné de nos jours parce qu'il est peu productif. Ce procédé se déroule en trois phases :

- bobinage du fil avec forte torsion ;

- fixage des bobines de fil tordu en autoclave ;
- détorsion du fil et rebobinage normal.

Le fixage en autoclave se fait en milieu vapeur sous pression. Le rendement de ce procédé est très faible (2 à 3kg par heure et pour 1000 broches). De plus, si le bobinage et la torsion ne sont pas réalisés avec une homogénéité et une constance parfaite, le résultat obtenu, c'est-à-dire l'effet de frisure, sera irrégulier.

b) Procédé non conventionnel (en continu) :

La nature de la texturation en continu par la méthode de torsion se traduit par ce qui suit : le moment de torsion communiqué oblige les filaments élémentaires à se disposer en spirale sous un certain angle par rapport à l'axe longitudinal du fil complexe. Entre ces filaments élémentaires apparaissent des pressions internes, sous l'action desquelles le fil complexe tend à se détordre.

Enfin, le fil complexe est soumis à un traitement thermique (échauffement, refroidissement), afin d'éliminer ces pressions internes : Lors de son échauffement, le fil emmagasine une certaine énergie thermique qui va se transformer en énergie cinétique de mouvement des atomes et molécules. Par suite d'un relâchement et donc d'un affaiblissement des forces moléculaires de liaison, il se produit alors une réorientation des molécules qui vont avoir une nouvelle disposition. Ainsi, les pressions internes, apparues après l'application de la torsion, disparaissent. Enfin, après son refroidissement, le fil acquiert une structure équilibrée et stabilisée.

Comme résultat, les fils élémentaires fléchissent et prennent la forme spiralée, alors que le fil complexe acquiert une grande extensibilité purement élastique, une grande porosité ainsi qu'un grand volume spécifique (massique).

c) Procédé par fausse torsion :

Dans la texturation par fausse torsion, les multifilaments thermoplastiques sont tordus, thermofixés, puis détordus et encore thermofixés, dans un processus continu. Les fils texturés obtenus montrent un bon effet gonflant et une bonne frisure avec des propriétés mécaniques très appréciables.

Des unités à disques de friction, montés sur 3 axes, sont généralement utilisées pour donner la torsion ; ces disques sont généralement en céramique pur ou polyuréthane et peuvent être aussi en diamant (Fig. 1), [7].

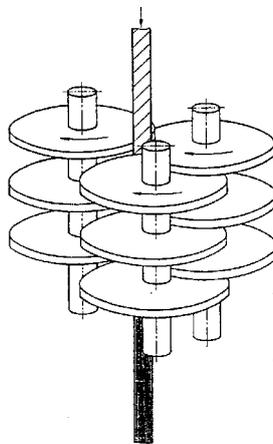


Fig. 1 – Disques de friction, montés sur trois axes.

Deux appareils de friction ont été développés dernièrement par les firmes « Murata Machinery » (Japon) et « Barmag » (Allemagne) et ont permis d'améliorer énormément le processus de texturation [7]. La torsion est alors imposée au fil par deux surfaces élastiques tournant dans des directions opposées. Le système de « Murata » emploie de petites courroies élastiques d'intersection, tandis que le système de « Barmag » est basé sur le passage du fil entre deux anneaux de friction d'intersection tournant dans des directions inverses (fig. 2).

Ces systèmes de fausse torsion ont permis d'augmenter la vitesse de texturation, réduire les pertes en friction, améliorer la résistance du fil et donner au fil texturé un toucher doux [7].

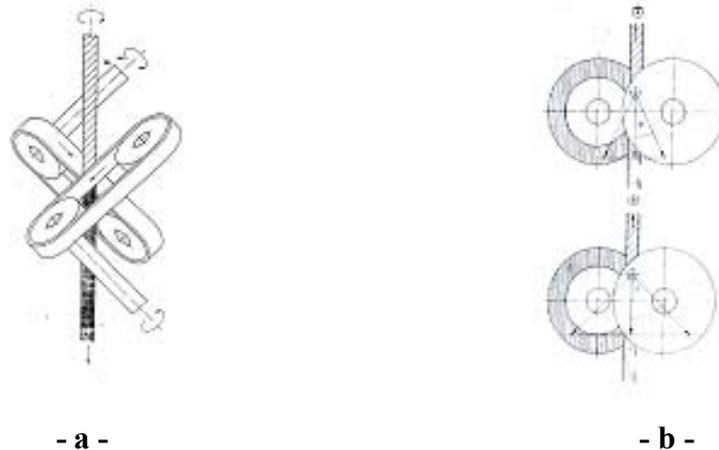


Fig. 2 - Mécanismes de texturation par friction. a - Mécanisme de texturation par courroies élastique d'intersection. b - Mécanisme de texturation par anneaux de friction : Taux de torsion petit (en haut), Taux de torsion petit (en haut)

Des tentatives ont été faites pour obtenir des vitesses de texturation plus élevées [8, 9]: dans ce cas, on doit impérativement augmenter la longueur de la zone de chauffage et de refroidissement jusqu'à 2 à 2,5m. Ces machines doivent être plus grandes et sont alors plus difficile à utiliser. Cette difficulté a été surmontée par le développement du chemin plié du fil. Cependant, le déplacement du fil peut être nuisible à sa qualité, particulièrement dans le cas des filaments profilés ou très fins.

Des tentatives également sont faites pour produire des bobines avec des propriétés de dévidage meilleur [8, 9].

I.1.2.2 Procédés sans torsion.

Ils sont extrêmement moins importants que les précédents, puisqu'ils ne présentent ensemble qu'une faible quantité de fils texturés. Ils n'ont cependant pas l'inconvénient majeur des procédés par torsion, à savoir le vrillage des fils, causé par la forte intensité de la torsion. Ce défaut est d'ailleurs essentiellement marqué pour les fils FT (fausse torsion), car pour des fils FTF (fausse torsion fixe), le deuxième traitement thermique minimise considérablement cet ennui.

a) Procédé par jet d'air.

La transformation de fils continus synthétiques en tissus exige dans la plupart des cas un traitement spécial exercé sur les filaments lisses. Une possibilité intéressante de modification de la structure lisse de ces fils est le procédé de texturation par jet d'air.

La texturation par jet d'air s'applique aux fils de filaments suivants : Polyester, Polyamide, Polypropylène, Viscose, Acétate, Verre. Les filaments individuels dans la buse aérodynamique sont soumis à un effet mécanique sous l'effet d'air comprimé, pour obtenir des boucles et des entrelacements, formant finalement un fil compact. Il est essentiel de suralimenter le fil dans la buse, afin de pouvoir former les déformations du filament sous l'effet de fortes turbulences d'air.

Contrairement à d'autres procédés de texturation, les fils texturés par jet d'air sont inélastiques ; de plus, de par les boucles et les enlacements volontairement dressés vers l'extérieur, leur structure est totalement différente, en acquérant un effet de voluminosité remarquable. Un exemple des buses d'entrelacement, utilisées en texturation, est montré par la figure (fig.3). Il s'agit de la buse « Hemajet », fabriquée par la firme « Heberlein » [7, 10].

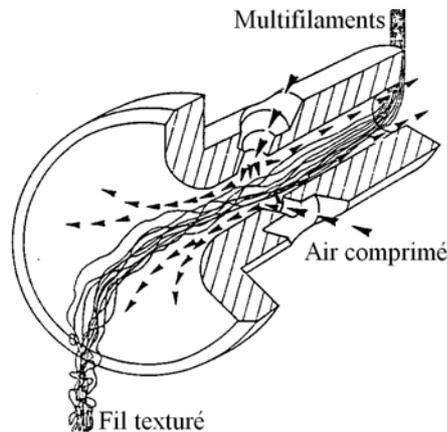


Fig. 3 - La buse d'entrelacement aérodynamique " Hemajet " de la firme « HEBERLEIN ».

b) Procédé par tassement (à boîte de filasse).

Le fil est dirigé à l'intérieur d'une enceinte, dont les parois sont chauffées, dans laquelle il est fortement tassé. En arrivant, plié sur la paroi chaude de la cellule, les filaments sont fixés dans leur état tassé. La frisure obtenue est intermédiaire entre celle d'un fil FT et celle d'un fil FTF. Les fils texturés obtenus par ce procédé sont souvent appelés fils « Banlon », (fig. 4) [7].

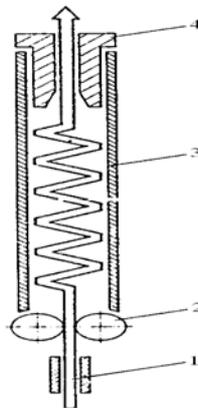


Fig. 4 – Mécanisme de texturation par tassement « Boîte de filasse ». 1 – fil alimentaire ; 2 – rouleau d'alimentation ; 3 – parois de la boîte chauffées ; 4 – dispositif de fermeture de la boîte.

c) Procédé par crêpage (arête chauffante).

La frisure obtenue par ce procédé est similaire à celle obtenue sur les rubans d'emballage cadeaux par exemple. Le passage d'un fil tendu sur une arête pointue et chauffée inflige à ce fil une déformation préférentielle d'une face par rapport à l'autre. La partie la plus déformée, celle directement en contact avec l'arête, se place à l'intérieur d'une hélice et la partie la moins déformée à l'extérieur.

On introduit ainsi une dissymétrie volontaire dans la structure du fil, phénomène que l'on observe naturellement dans la laine. Les fils traités par ce principe ont la dénomination commerciale « AGILON ».

d) Procédé par tricotage/détricotage (TDK).

On tricote à très grande vitesse un tube de tricot jersey sur un métier simple chute, simple fonture. Le tricot est ensuite fixé en autoclave puis véhiculé vers une zone de détricotage et de rebobinage. Le fil fixé conserve, après le détricotage, le souvenir de la forme des mailles et présente une ondulation régulière.

Le traitement de fixation thermique peut également être fait sur le tricot lors des opérations de teinture ce qui permet l'utilisation ultérieure de ce fil teint.

I.1.3 Produits obtenus par la texturation et leurs propriétés [1].

La liste des fils texturés énumérés sur le tableau ci-dessous est constituée selon des facteurs reflétant une quelconque propriété principale privilégiée de ces fils : extensibilité, frisure et aspect externe (fils bouclés et profilés).

Tab. 1 – Propriétés et mode d'obtention des différents types de fils texturés.

Type des fils texturés	Propriétés principales	Mode d'obtention
Hautement extensibles (Elastic, Helanka)	Grande extensibilité, volume élevé, frisure de forme spiralée.	Torsion, traitement thermique, détorsion (procédé discontinu ou continu)
Faiblement extensibles (Mélane, Meron, Belane, Crimplène)	Volume élevé, frisure de forme spiralée, extensibilité moyenne.	Torsion, traitement thermique, détorsion, deuxième traitement thermique.
Frisés (gaufron, banlon, Anylon, Nogelon, Bouclon)	Grande frisure, volume élevé, extensibilité élevée.	Pressage ou gaufrage ; action d'un pan aigu.
Bouclés (Aéron, Taslane, Mirlon)	Structure bouclée, volume élevé, extensibilité normale	Formation d'une structure bouclée à l'aide de courants d'air, de gaz, ou de liquide.
Profilés (Chelon)	Structure ouverte poreuse, extensibilité normale.	Formation des fils sur des filières spéciales à partir d'un polymère homogène.
Bicomposés	Volume élevé, extensibilité et frisure élevée	Formation des fils dans des filières à partir de polymères de propriétés différentes.
Combinés	Dépendent des propriétés des fils et fibres mélangés initialement.	Mélange et torsion de fils texturés différents avec des fils simples ou avec une mèche.

Dans certains cas, cette nomenclature indique le mode d'obtention (fils profilés, combinés, bicomposés).

Les fils texturés, surtout ceux frisés, ont un grand volume spécifique dû à la frisure des filaments élémentaires et à l'augmentation importante des espaces vides entre ces derniers.

Les fils texturés se distinguent des fils complexes habituels par leur plus grande section transversale pour des densités linéaires assez faibles. Le volume spécifique représente un des facteurs les plus importants d'un fil texturé. Parfois, à la place du volume spécifique, on utilise la masse volumique. Le coefficient caractérisant l'augmentation du volume du fil après sa texturation représente aussi un indice important.

I.1.4 Facteurs influant sur les propriétés d'un fil texturé.

Pour ce qui est de la maîtrise du processus de texturation, le docteur-ingénieur Johannes Brusik a fait une conclusion à ce sujet en précisant que [2] : « *En ce qui concerne la texturation, celle-ci peut être maîtrisée, pour autant qu'un certain nombre de conditions sont remplies. Il faut en tout premier, une qualité régulière de POY, un système de torsion ménageant la matière, des surfaces à faible coefficient de frottement avec le fil ... Il faudra maîtriser les températures, les tensions dans la zone de texturation et de renvidage ainsi que les vitesses... Il faudra un entrelacement régulier assurant un bon mélange de filaments et un renvidage compatible* ».

Cette multitude de conditions à satisfaire, sur lesquelles insistent encore de nombreux autres spécialistes en texturation [3 - 6], nous renseigne donc sur les difficultés réelles que l'on peut rencontrer lors de la production des fils texturés, surtout lorsqu'il s'agit de lancer la production d'un nouveau type de fil texturé.

Ainsi, beaucoup de facteurs entrent en jeu pour assurer un bon déroulement du processus de texturation ainsi que les propriétés projetées d'un fil texturé. Ces facteurs sont :

- le régime des vitesses de travail ;
- le taux de torsion ;
- la température dans les chambres thermiques ;
- la tension du fil le long de son parcours ;
- la pression (éventuellement) du jet d'air ;
- conception des mécanismes principaux (dispositifs d'alimentation, de tension, de sortie, de traitement thermique, de fausse torsion et d'entrelacement).

I.1.5 Domaine d'application des fils texturés.

La destination des fils texturés conditionne le choix de leur densité linéaire ainsi que le type du procédé de fabrication, (tab.2) [1].

Grâce aux fils texturés, le domaine d'utilisation des fils synthétiques s'est considérablement élargi, comme s'est améliorée la qualité des différents articles textiles, dont la production ne cesse d'augmenter.

Le développement qu'a connu le procédé « à jet d'air » a ouvert de nouvelles perspectives d'applications. De plus, l'avantage de la structure bouclée obtenue est favorable dans l'enduction des tissus y découlant [3, 10].

L'aspect externe très attirant, le touché, la grande stabilité à l'usure, et le coût relativement faible des articles texturés garantissent une demande accrue de la part des consommateurs. Dans certains pays, jusqu'à 70% des fils synthétiques, utilisés pour la fabrication d'articles de large consommation, sont soumis préalablement à la texturation.

Tab. 2 – Applications des fils texturés.

Technique de texturation	Nature du POY	Numéro métrique (m/g) du fil texturé	Domaine d'utilisation	Effets obtenus dans le produit fini
Par torsion vraie (fil type « Helanka »)	PA-6 ; PA-66 ; PES ; PAN.	12 - 400	<ul style="list-style-type: none"> •Articles de bonneterie. •Costumes de bain. •Gants et bandages. •Tissus d'ameublement. 	Grande élasticité, avec une sensation de crêpe.
Par fausse torsion	PA ; PES ; PAN.	15 - 300	<ul style="list-style-type: none"> •Articles de bonneterie. •Bas orthopédiques. •Costumes de bain. 	Grande élasticité, avec un doux toucher.
Technique de boîte à filasse (fil Banlon).	PA ; PES.	15 - 5000	<ul style="list-style-type: none"> •Habillement. •Tapisserie. 	Maintien forme chaleur ;toucher doux.
Par crêpage (fil type « Agilon »).	PA ; PES.	9 - 210	<ul style="list-style-type: none"> •Bas et chaussettes. •Articles tricotés indémaillables. 	Très duveteux et élastiques, avec un doux toucher.
Par stabilisation répétée (fil de type « Crymlene »).	PA ; PES.	15 - 300	<ul style="list-style-type: none"> •Habillement. •Sous vêtements. •Ameublement et décoration. 	Fils bi-stabilisés qui conservent la forme initiale du tissu, avec légèreté et élasticité et toucher doux.
Par jet d'air.	PA PES	40 – 200 ; 65 - 150	<ul style="list-style-type: none"> •Habillement, chaussettes. •Tapisserie ; Bâches. •Sous vêtements tricotés ; •Dentelles et rideaux. •Transport : Revêtement sièges et portes ; pneumatiques. 	Fils bouclés avec des caractéristiques des filés de fibres.

I.1.6 Principes de fabrication d'un fil texturé.

Pour expliquer ces principes d'une façon concrète, prenons comme exemple la machine à texturer « SDS 900 » de la firme « RIETER-SCRAGG », utilisée actuellement à l'entreprise « Polytext – Rouiba » [11].

a) Description de la machine et trajectoire du fil (voir fig. 5).

La machine d'étirage et de texturation à grande vitesse « SDS 900 » du constructeur « Rieter-Scragg » est destinée à la production de fils texturés, à partir de fils alimentaires de toute orientation en polyamide ou polyester, de grosseur jusqu'à 330 décitex. Elle est conçue pour fonctionner à des vitesses allant jusqu'à 900 m/min. Cette machine est équipée des composants suivants :

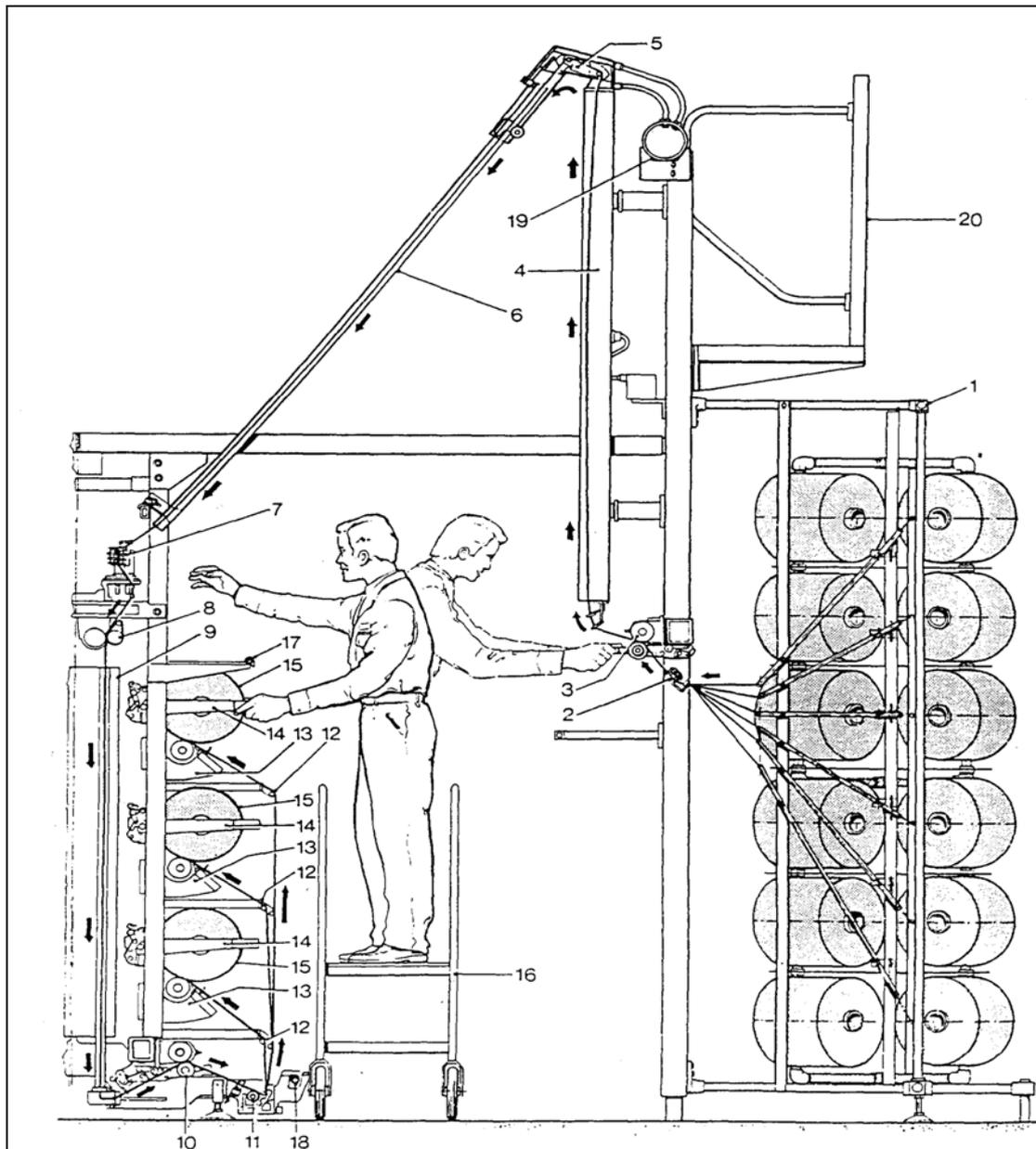


Fig. 5 - Machine de texturation RIETER-SCRAGG « SDS 900 » : 1 – Râtelier ; 2 – Coupe-fil ; 3 – Rouleau d'alimentation d'entrée ; 4 – Four primaire ; 5 – Chariot ; 6 – Platine de refroidissement ; 7 – Positorq 2A ; 8 – Rouleau d'alimentation intermédiaire ; 9 – Four final ; 10 – Rouleau d'alimentation de sortie ; 11 – Dispositif d'ensimage ; 12 – Guide de réception ; 13 – Tête de bobinage ; 14 – Bobinoir ; 15 – Bobine de fil texturé ; 16 – Trolley ; 17,18 – Tube d'aspiration ; 19 – Canalisation d'extraction de fumée ; 20 – Plate-forme de maintenance (Option).

- **Râtelier d'alimentation :**

A partir du râtelier (1), le fil est alimenté à travers le coupe-fil (2) par les rouleaux d'alimentation d'entrée (3), puis vers le haut à travers le four primaire (4). Ce râtelier peut contenir jusqu'à 2 x 432 bobines, disposées sur 6 étages.

- **Four primaire :**

Le fil est chauffé par des fours thermosiphons demi-baies, chacun ayant 6 pistes de fil, des sondes de températures, un thermostat et une isolation appropriée. Chaque piste de fil comprend une platine d'acier au nickel et une couche de céramique au fond de chaque rainure. Durant la texturation, les fils sont maintenus en contact avec les pistes chauffantes par

des bloqueurs de torsion (situés en haut) et par une platine de refroidissement (située en bas). Chaque double piste est couverte par une porte pour retenir la chaleur et contrôler les fumées engendrées par l'huile du fil (Spin-Finish). A partir du haut du four le fil est tourné au moyen de deux guides sur un chariot (5) pour être ensuite acheminé vers le bas sur la platine de refroidissement et de stabilisation (6) (qui fonctionne aussi en tant que piste du chariot).

- **Zone de refroidissement:**

La zone de refroidissement du fil s'étend du bas du four à demi baie jusqu'au haut de l'unité de torsion POSITORQ 2A. Elle comprend une boîte d'extraction, qui reçoit les fumées, et assure que celui-ci soit refroidi suffisamment avant d'entrer dans l'unité de torsion.

La boîte d'extraction est reliée à la canalisation d'extraction de fumée, qui s'étend sur la longueur de la machine.

- **Unité de torsion a friction 'POSITORQ 2A' :**

Immédiatement en dessous de la platine de refroidissement et de stabilisation, le fil passe à travers l'unité de torsion POSITORQ 2A (7) et ensuite continue sa route à travers les rouleaux d'alimentation intermédiaires (8).

L'unité de torsion individuelle 'POSITORQ 2A' comprend trois étages d'empilages de disques de friction en chevauchement. Les unités peuvent être assemblés avec des disques à couches de céramiques de configuration variées. Le choix d'une unité dépend du décitex du fil des propriétés requises du fil texturé. Les disques sont montés sur des broches à centres fixes. Un mécanisme d'enfilage est monté sur chaque unité, afin de pouvoir insérer le fil dans sa position courante sur les surfaces des disques, lors de leur rotation. Les trois broches sont menées tangentiellement par une courroie crantée. La direction de torsion peut être réglée pour tout 'S' ou tout 'Z' ou alternativement 'S' et 'Z'.

Des rapports variés de la vitesse du disque à la vitesse du fil (D/F) peuvent être sélectionnés, en montant les poulies crantées appropriées, pour déterminer le niveau de torsion.

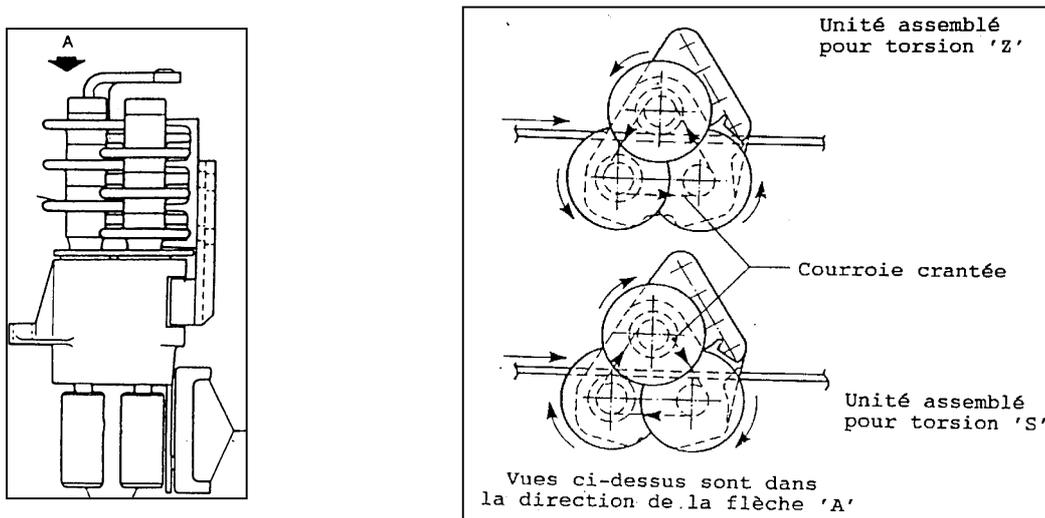


Fig. 6 - Groupe de friction « POSITORQ 2A » de la firme « Rieter-Scragg »

- **Four secondaire :**

Le fil pénètre le four final (9), autour des guides et les rouleaux d'alimentation de sortie (10). La stabilisation est réalisée par le passage du fil à travers un tube d'acier chauffé, monté dans un tube de recouvrement en aluminium pour minimiser les pertes de chaleur. Le diamètre du tube est de 4mm. Il y a 24 tubes assemblés dans chaque bloc de fours, dont la

longueur est de 1460 mm. Par conséquent, il y a 9 blocs de fours servant les 216 trajectoires de fil sur la machine. Les températures de traitement sont contrôlées dans une gamme de 50 à 230°C par le système (INTROL) à base de microprocesseur, situé à l'extrémité de la commande de la machine. La tension du fil dans le four final gouverne le degré de "fixation" dans le fil et est contrôlée par réglage de la vitesse du rouleau délivreur par rapport à celle du rouleau d'alimentation intermédiaire.

- **La section de réception :**

Ensuite le fil pénètre le four final (9), autour des guides et les rouleaux d'alimentation de sortie (10), passe sur le rouleau d'ensimage (11) et enfin sur la section de réception. L'ensimage du fil standard comprend un rouleau "lécheur", dans lequel la vitesse du rouleau peut être changée en vue de l'application d'une quantité d'huile différente, dépendant du type de fil utilisé. Le débit d'huile est contrôlé par réglage de sa hauteur de distribution.

La section de réception, à la sortie, comprend les guides de va-et-vient (12), la tête de bobinage (13) et le bobinoir (14), qui supporte un tube sur lequel le fil est enroulé pour former une bobine (15). Dans le cas où le fil casse, un détecteur informe un coupe-fil qui, à son tour, coupe et retient le fil pour éviter que celui-ci ne s'enroule autour du rouleau.

L'étirage du fil est réalisé entre les rouleaux d'alimentation d'entrée et intermédiaire en fixant la vitesse du rouleau d'alimentation d'entrée à une valeur inférieure à celle de la vitesse du rouleau d'alimentation intermédiaire.

Pour des besoins d'enfilage du fil, un chariot peut être tiré vers le bas sur une piste, à partir de la position de marche du haut du four, pour être accessible à l'opérateur. Un trolley à 2 étages (16) permet l'accès à tous les composants de la machine nécessaire à l'enfilage du fil.

Les tubes d'aspiration (17) et les pistolets d'enfilage, qui peuvent être attachés aux tubes d'aspiration (18), servent pour assistance à l'enfilage.

Les fumées (Spin-Finish) du fil dans le four sont extraites par un ventilateur à partir d'une hotte et d'une boîte d'extraction, situées respectivement au dessus et au dessous du four.

1.1.7 Particularité de la fabrication des fils texturés faiblement extensibles.

Les fils élémentaires, composant le fil texturé hautement extensible, ont tendance à se recourber pour former par la suite des boucles et finissent ainsi par se raccourcir.

Le phénomène de rétrécissement des fils hautement extensibles peut se poursuivre même au niveau des articles y découlant, ce qui est d'ailleurs nécessaire pour les articles de bonneterie (les maillots de bain...), mais non recommandable pour certains articles, comme les vêtements de dessus tricotés. De plus, dans les industries du tricot et du tissu, on utilise très largement des fils texturés, ayant plutôt une voluminosité, une pilosité, une porosité et une douceur très élevées et ce, avec un allongement relativement faible (jusqu'à 30 – 40%).

Techniquement, la diminution de l'extensibilité des fils hautement extensibles est surtout possible à l'aide d'un traitement thermique supplémentaire (lors de la détorsion).

Par suite de ce second traitement thermique, la structure interne des filaments change, la forme du fil est plus fermement fixée, et par conséquent augmente la stabilité dimensionnelle des fils et des articles y découlant. Ce fil ainsi obtenu perd ses capacités ou possibilités de se tordre et de se rétrécir (se vriller), mais garde plus sa pilosité, sa douceur au toucher ainsi que son effet gonflant (par rapport au fil initial).

Les fils faiblement extensibles ainsi obtenus sont utilisés avec succès pour la fabrication des articles tricotés de dessus et des tissus.

A l'heure actuelle, sont connus deux principaux procédés d'obtention des fils faiblement extensibles :

- par vaporisation (procédé FTV) des fils hautement extensibles dans un autoclave à air saturé, ou dans une chambre de vaporisation. Après ce traitement, le fil perd 22 à 40% de son extensibilité. Ce procédé est de moins en moins utilisé parce qu'il est moins productif et moins régulier que le deuxième procédé (FTF) ;
- par traitement thermique secondaire (procédé FTF) réalisé en continu (sur la même machine de texturation produisant le fil hautement extensible). Ce procédé est considéré comme le plus rentable.

Il existe encore un autre procédé de texturation permettant d'obtenir des fils faiblement extensibles. Il s'agit du procédé à jet d'air, considéré comme un complémentaire au deuxième procédé. Un flux d'air en circulation, selon la marche du fil, causera des déplacements des filaments, orientés longitudinalement, en produisant ainsi des boucles. Le mécanisme du tourbillonnement peut être expliqué par une séparation des filaments sous l'effet du jet d'air puissant, c'est à dire que le fil est dissocié sous forme de bulles. Lorsqu'une telle ouverture de fil se produit avant le lieu d'entrée d'air, les filaments sont soufflés par le jet d'air, mais sous des manières différentes, en fonction de la position du filament : Un filament, placé au centre du canal du fil, sera soufflé au maximum, par contre, les filaments placés latéralement au jet primaire termineront dans les flux de retour, énergiquement plus faibles. Il en résulte ainsi deux tourbillons partiels du flux, tordant localement les groupes de filaments entre eux. Les deux flux partiels appliquent ainsi une torsion opposée au groupe de filaments concernés, et au niveau des points de tourbillonnement des structures de tressage seront créées.

Le tourbillonnement de fils texturés est destiné essentiellement pour [12]:

- a. Le doublage ou l'assemblage de fils texturés pour l'élévation du titre. Ce procédé se traduit par l'obtention d'un fil plus grossier, mais ayant les caractéristiques de frisure d'un fil fin; ce type de fils (dit « BCF ») est destiné essentiellement pour les tapis.
- b. Rendre possible l'utilisation des fils texturés comme fils de chaîne en tissage, en facilitant l'opération de leur rentrage, grâce à l'existence des nœuds (« soudure » des filaments, en les faisant tourbillonner par un jet d'air à chaud). Cette possibilité est très importante car elle permet d'éliminer des opérations technologiques très coûteuses : le retordage et l'encollage. Les tissus fabriqués y découlant sont plus rentables et ont un meilleur aspect (remplissage) et un toucher plus agréable.
- c. Création de nouvelles propriétés du fil en tourbillonnant des fils variés, possédant des caractéristiques différentes. On produit des fils hybrides ayant des caractéristiques propres, fort différentes de celles de ses « géniteurs ».
- d. le tourbillonnement du fil d'âme, se substituant au coûteux guipage. On assiste souvent aujourd'hui au tourbillonnement des fils d'élasthane ; le fil texturé obtenu trouve une place de choix dans la fabrication de bas orthopédiques, mais plus souvent en production de bas fins pour dames, avec une forme moulée remarquable.

I.1.8 Matières premières utilisées en texturation :

Le développement très rapide des vitesses de production en texturation n'aurait pas été possible s'il n'y avait pas eu parallèlement des développements sur les fils alimentaires lisses : Les premiers essais ont eu lieu en 1970 avec du polyamide 6.6-LOY (Low Oriented Yarn) non étiré, avec des augmentations de vitesses appréciables. L'étape du cops fut ainsi éliminée [8].

En fonction des vitesses de filage V et des étirages résiduels E , différentes définitions et appellations de ces fils alimentaires (obtenus après filage) sont utilisées [8, 13, 14, 15] :

- LOY (low oriented yarn) : $V = 700$ à 1700m/min ; $E = 2.5$ à 4.5 .
- MOY (middle oriented yarn) : $V = 1700$ à 2800m/min ; $E = 1.8$ à 2.8 .
- POY (Partially oriented yarn) : $V = 2800$ à 4500m/min ; $E = 1.2$ à 2.0 .
- FOY (full oriented yarn) : $V = 5000\text{m/min}$; $E < 1.2$.
- FEL (filage, étirage intégré) : $V = 700$ à 1700m/min ; $E < 1.05$.

Il est à souligner que, pendant l'étirage, on donne à la fibre une déformation longitudinale à une température supérieure à celle de transition vitreuse. L'étirage est réalisé entre deux systèmes de rouleaux tournant à des vitesses différentes. Pendant ce traitement, les macromolécules s'orientent parallèlement à l'axe de la fibre soit au hasard, soit partiellement, soit définitivement (**fig. 7**) [16].

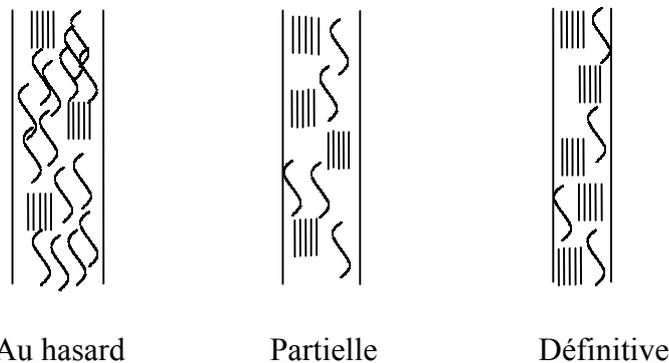


Fig. 7 – Orientation des fibres lors de l'opération d'étirage.

Avec l'augmentation de l'offre en POY (Oriented Yarn), la texturation du LOY s'est vite trouvée fortement en retrait. En plus, la volonté d'équiper des machines de texturation, avec des dispositifs « Sequentex » qui coûtent chers, s'estompe. Le fait que les caractéristiques de stockage ou de transport de PET-LOY soient inadéquates, cette technique est uniquement valable pour une texturation « Indoor » mais qui n'a pas eu de succès, [8, 14].

De plus, la matière POY permet d'obtenir un produit résistant, facile à stocker et à transporter, pouvant être étiré et texturé simultanément à vitesses élevées. En plus de ses titres élevés, le POY a une grande régularité qui dépasse celle des produits « cops » et LOY. La régularité optimale des titres se situe aujourd'hui à des valeurs inférieures à 0.9 U%, [8].

De ce fait, c'est l'utilisation du polyester et du polyamide en « POY » qui domine de loin en texturation.

I.1.8.1 Technologie de filage du POY :

On file aujourd'hui du PET-POY avec des vitesses de 3000 à 3500 m/min, du PA 6.6 avec des vitesses de 4000 à 5000 m/min.

Bien que des vitesses de bobinage plus élevées soient parfaitement possibles, les allongements du POY ne doivent pas être trop faibles, afin de pouvoir presser le fil avec une force de traction optimale sur les disques de friction en texturation.

C'est le développement du filage rapide et la disponibilité du POY qui ont permis d'intégrer dans la zone de texturation l'étape de l'étirage résiduel. L'étirage résiduel d'un POY en PA 6.6 se trouve entre 1,25 à 1,35, pour celui en PET entre 1.6 à 1.8 [8].

A. Cas du polyester :

a) Obtention et définition :

Le polyester est obtenu en faisant réagir un diacide et un diol en présence d'un catalyseur. C'est un polymère de condensation de l'éthylène glycol et de l'acide téréphtalique. Son filage ressemble à celui du polyamide, il est réalisé à l'état fondu. A la sortie des filières, les filaments obtenus subissent un étirage à chaud. Deux définitions de polyester peuvent être proposées [17] :

1. la définition DIN 60001, une fibre est désignée par polyester, si elle contient dans sa chaîne macromoléculaire au moins 85% d'un ester de diol et d'acide téréphtalique.

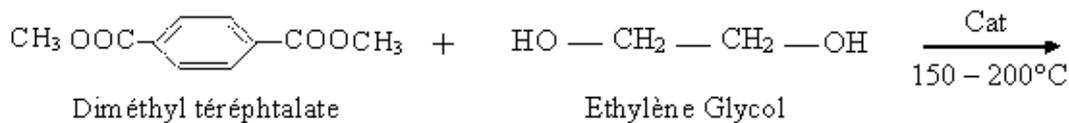
2. la définition chimique : les polyesters sont des macromolécules obtenus par polycondensation de diacide (acide téréphtalique PTA) et dialcool (Ethylène glycol EG). Le produit obtenu est le polytéréphtalate d'éthylène (PETP).

b) Synthèse de polyester [18 - 20]:

- **Par le procédé « DMT » :** La synthèse s'effectue en deux étapes :

1. L'estérification du DMT avec un excès de l'éthylène glycol, à une température entre 150 °C et 180 °C, en présence d'un catalyseur (essentiellement le zinc, le calcium, ou l'acétate de magnésium). L'excès en glycol est distillé à une température supérieure à 250 °C.

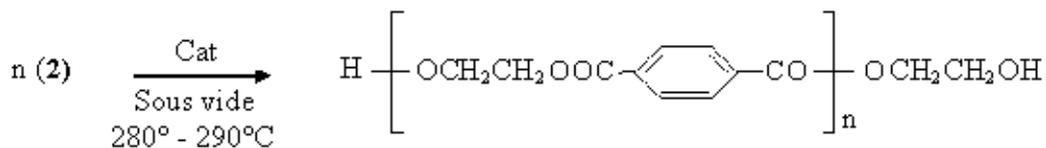
2. La polycondensation est effectuée à haute température (supérieure à 285°C) et sous pression :



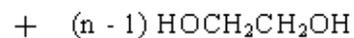
1



2



Polyester (PETP)

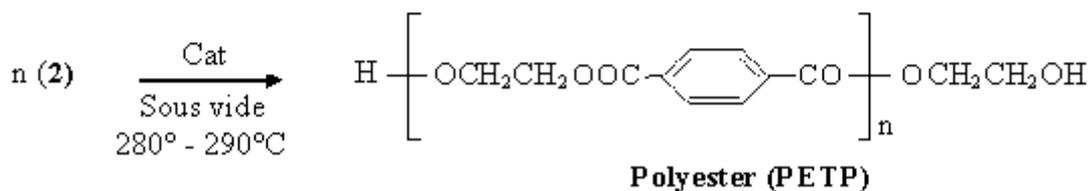
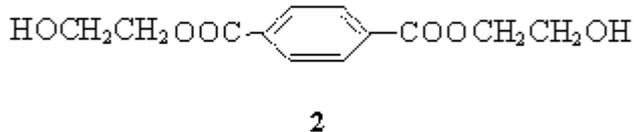
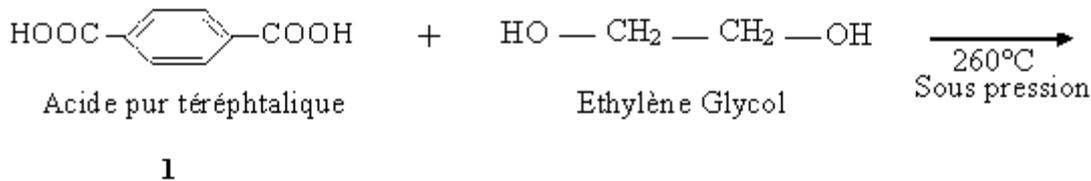


- **Par le procédé « PTA » :**

L'avantage de ce procédé, par rapport à celui de DMT, est qu'il est moins cher ; l'estérification est réalisée directement avec l'éthylène glycol.

La réaction est réalisée à une température de 260 °C, sous pression, ne nécessitant pas la présence de catalyseur. La polycondensation nécessite la présence du catalyseur.

L'avantage économique de ce procédé se traduit par le fait que la circulation du méthanol est éliminée, la nécessité du glycol est moins considérable, mais surtout, la quantité nécessaire de matière première est moindre. Ce procédé est utilisé dans un processus continu.



B. Cas des polyamides :

a) Obtention des polyamides :

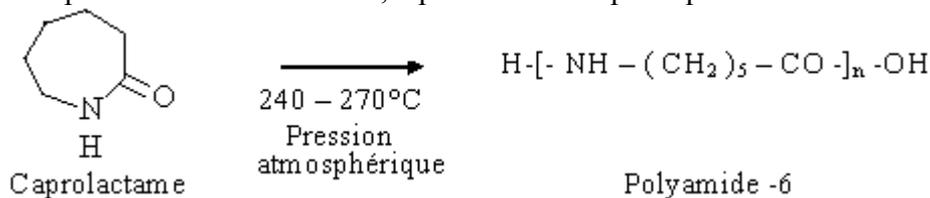
Les polyamides sont des polymères semi cristallins préparés de deux façons, [21] :

- Par polyaddition du monomère. Ils sont alors désignés par le nombre d'atomes de carbone dans le monomère. Comme exemple : le polyamide -6 est obtenu par polyaddition du monomère « caprolactame » : $(-\text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CO}-)_n$

- Par polycondensation à partir de diamines et de diacides. Comme exemple : l'hexaméthylène diamine et l'acide adipique, dont chacun comporte 6 carbones, d'où la désignation « PA 6.6 » : $(-\text{NH} - (\text{CH}_2)_6 - \text{NH} - \text{CO} - (\text{CH}_2)_4 - \text{CO}-)_n$.

b) Synthèse du polyamide-6 [22, 23]:

Le polyamide 6 est obtenu de la polyaddition du caprolactame avec une petite addition d'eau à une température de 240 – 270°C, à pression atmosphérique :



A une température de 25 °C, il est constitué de 89 % de polyamide linéaire, 8,5 % de caprolactame et de 2,5 % de grandes liaisons d'acides.

A cause de son point de fusion relativement faible et haut taux d'absorption d'eau, le polyamide 6 n'est pas le meilleur aminoacide carboxylique destiné à la production des fibres synthétiques. La raison de sa grande importance et de son grand volume de production est purement économique.

I.1.9 Méthodes et appareils de contrôle en texturation :

I.1.9.1 Présentation des appareils de contrôle

Pour assurer un bon contrôle en texturation, il est nécessaire d'avoir les appareils suivants [1]:

1. Un dévidoir automatique.
2. Une balance électronique.

Ces deux appareils sont utilisés pour la détermination de :

- la grosseur – titre T_t – des fils texturés :

$$T_t = T_r \cdot (E + 100) / 100 \quad [\text{Tex}] ,$$

tel que $T_r = 10^6 \cdot m / L$ [Tex] ; où : T_r – est la densité linéaire du fil à l'état redressé ; m – la masse du fil (en gr) de longueur L (en mm).

- le volume spécifique des fils texturés :

$$V_s = V / m \quad [\text{mm}^3/\text{mg}] ,$$

où : $V = \pi \cdot d^2 \cdot L / 4$ [mm³], en supposant que le fil texturé à une forme arrondie ; d - Valeur moyenne du diamètre du fil texturé ; L - Longueur de l'échantillon considéré.

- Le coefficient caractérisant l'augmentation du volume du fil après sa texturation :

$$K = 100 \cdot d / d_c \quad [\%] ;$$

Où : d_c - diamètre calculé du fil avant sa texturation (mm).

- Le diamètre calculé d_c d'un fil texturé :

$$d_c = 0.0357 \sqrt{T / \rho} \quad (\text{mm}) ;$$

Où : T - densité linéaire du fil avant sa texturation (Tex) ; ρ - densité moyenne du fil (mg/mm³)

3. Un mini-métier circulaire, pour fabriquer des échantillons tricotés en fils texturés.
4. Un autoclave, pour des essais de teinture sur des échantillons tricotés.
5. Un Elkomètre, pour déterminer les imperfections des fils texturés, dont les points gros, les points minces et les filaments cassés.
6. Un dynamomètre automatique (de type « Statimat-M » de la firme « textechno », piloté par un microprocesseur, travaillant sur le principe du gradient d'allongement constant, d'après les normes DIN 51 221, DIN 53 834 et ISO 2062). Il a pour rôle de déterminer les caractéristiques dynamométriques des fils texturés. Ses fonctions de « Test Control » sont :
 - Détermination de la force de rupture, du travail à la rupture, de la ténacité et de l'allongement.
 - Détermination des moyennes, des coefficients de variation, des valeurs maximales et minimales et des limites de confiance.
 - Rapports des résultats des essais en valeurs, en graphes et en histogrammes.
7. Un appareil de détermination automatique des caractéristiques de frisure (de type « Texturmat-M », développé par la firme « Textechno », pour des essais en accord avec la norme DIN53840). Il permet de déterminer la contraction, le module et la stabilité de frisure. De plus, on peut utiliser cet appareil pour d'autres tests, tel celui du retrait sur fil à filaments continus, filé de fibres et fil tourbillonné « Taslan ».

Les formules pour le calcul de la contraction, du module et de la stabilité de frisure sont [24]:

- Contraction de frisure CC :

C'est le rétrécissement, d'un filé de filaments texturé, résultant de sa structure, après que la frisure ait été développée. Elle est calculée comme le taux de la différence entre la longueur étendue L_g et la longueur contractée L_z , par rapport à la longueur étendue l_g :

$$CC = \frac{L_g - L_z}{L_g} \times 100 \% \quad (\%)$$

- Module de frisure CM :

Il caractérise l'allongement des fils texturés, avec l'idée d'un allongement élastique de la frisure. Il représente le taux de la différence entre la longueur étendue L_g et la longueur mesurée L_f , par rapport à la longueur étendue L_g :

$$CM = \frac{L_g - L_f}{L_g} \times 100 \% \quad (\%)$$

- Stabilité de frisure CS :

Elle détermine la contraction de frisure d'un filé de filament texturé, après l'application d'une force de tension mécanique donnée. Pour l'obtenir, les échantillons sont soumis pendant un temps court à une force de tension F/KB . A la suite de laquelle le filé de filament se contracte à cause de la frisure. Ensuite on mesure la longueur L_b .

Elle est exprimée par le rapport entre la contraction de frisure calculée par la valeur L_b , après l'application d'une force de tension sur la contraction de frisure E :

$$CS = \frac{L_g - L_b}{L_g - L_z} \times 100 \% \quad (\%)$$

Les caractéristiques de frisure peuvent aussi être déterminées par une autre méthode, avec l'utilisation de l'eau bouillante, d'après la norme ISO 9001. On peut ainsi déterminer :

- L'effet gonflant ou BULK, exprimé auparavant par la contraction de frisure CC :

$$BULK = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (\%)$$

- Le retrait ou SBW, exprimé auparavant par la stabilité de frisure CS :

$$SBW = \frac{L_1 - L_3}{L_1} \times 100 \quad (\%)$$

Significations :

- **Longueur étendue l_g** : longueur mesurée dans les conditions climatiques standards de la norme DIN 53802-20/65 sous une force tension $F_g = 500$ gf., après que la frisure ait été développée.
- **Longueur contractée L_z** : longueur mesurée sous climat standard de la norme de climatisation, sous une force $F_z = 2,5$ gf, après une période de reprise recommandée.

- **Longueur Lf pour le module de frisure** : longueur mesurée sous climat standard, sous une tension spécifique $F_f = 25$ gf.
 - **Longueur Lb, après une charge de stabilité** : longueur mesurée sous une force de tension $F_b = 2,5$ gf., après un temps d'exposition court à une force de tension élevée F/KB (charge de stabilité de 2500 gf.) et après une période de reprise donnée sous les conditions de climat standard.
 - **Longueur L₁** : longueur de l'échevette soumise à un poids G_1 (en gramme) égale au titre du fil (en denier).
 - **Longueur L₂** : longueur de l'échevette après séchage, soumise à un poids G_2 , après avoir passée 1h. dans un bain d'eau chaude : $G_2 = (1/10) \times \text{Titre}_{\text{(fil en denier)}}$.
 - **Longueur L₃** : longueur de l'échevette, après séchage, soumise à un poids G_3 , après avoir passée 1h. dans un bain d'eau chaude : $G_3 = 2 \times \text{Titre}_{\text{(fil en denier)}}$.
- 8- Un computer, lié aux deux appareils cités précédemment, pour une interprétation statistique, tabulée et graphique des résultats.
 - 9- Un Stroboscope, pour le contrôle des vitesses sur machines.
 - 10- Un densimètre, pour déterminer la densité de renvidage du fil texturé sur bobines.
 - 11- Un tensiomètre électronique, pour contrôler la tension du fil sur machine.

Le laboratoire de l'entreprise « POLYTEXT » est équipé d'un certain nombre d'appareils, nécessaires pour effectuer tous les différents contrôles sur des fils texturés. Ces appareils sont :

- Un dévidoir automatique.
- Une balance électrique.
- Un dynamomètre automatique.
- Un torsiomètre.
- Un densimètre.
- Un tensiomètre
- Un bain de teinture, avec une planche à 2 faces (blanche/noir, pour contrôler les nuances des couleurs).
- Un mini métier circulaire pour la préparation d'échantillons tricotés, pour des essais de teinture.

I.2. TRAITEMENT THERMIQUE EN TEXTURATION.

I.2.1 Procédés et dispositifs de chauffage [25]:

La réalisation du procédé de texturation d'une façon continue sur une seule machine ne fut complètement envisagée qu'après avoir pu installer des chambres de thermofixation du fil en continu dans la zone de torsion.

Sous l'interaction de la chaleur puis du refroidissement, les déformations du fil provoquées par la torsion et la tension sont fixées. Après sa détorsion, le fil acquiert de nouvelles propriétés.

En texturation, cet échange de chaleur se produit, « sans contact » ou « avec contact », du four vers le fil à texturer, par l'un des procédés connus de transfert de chaleur : radiation, conduction, convection, ou par leur combinaison. Les chambres thermiques peuvent être chauffées à l'aide d'un courant électrique ou par condensation à l'aide de conducteurs calorifiques (vapeur, huile).

Le processus d'échange de chaleur **par radiation** est employé en texturation dans les chambres thermiques chauffées par un courant électrique et dans lesquelles la température des surfaces d'irradiation est considérablement supérieure à la température de fusion du fil. Dans ce cas, le fil ne doit pas se mettre en contact avec la surface chauffée, mais il est chauffé par les rayonnements infrarouges dégagés par cette surface (procédé sans contact). En réalité, avec ce procédé, le fil est chauffé en principe par convection et en partie par la capacité pénétrante des rayons infrarouges reflétés par la source de chaleur. Ces chambres thermiques ont déjà été conçues, mais n'ont pas reçu une large application, en raison de la difficulté d'enfilage du fil et de la possibilité de l'endommager ou de le rompre, lors d'un contact direct accidentel avec les surfaces chauffées. C'est l'inconvénient majeur de ce procédé.

Le chauffage du fil **par conduction de chaleur** s'effectue dans des chambres, où le fil peut entrer en contact avec les surfaces chauffées (procédé par contact). Mais dans ce cas, il se produit un échange de chaleur complexe, comprenant tous les trois procédés d'échange de chaleur. Cependant, en fonction de la construction des chambres thermiques et de la méthode de chauffage, c'est l'un des trois procédés qui reste principal, alors que les deux autres sont seulement accompagnateurs. Ce procédé garantit un chauffage plus régulier des filaments, ce qui permet d'augmenter la qualité du fil texturé. Dans ce cas, les chambres thermiques travaillent avec des températures proches de la température de fusion du fil, ce qui rend obligatoire le maintien du fil dans une position bien précise, par rapport aux sources de chaleur. L'avantage de ce procédé par contact est le chauffage rapide du fil. Par conséquent, on peut augmenter la vitesse de passage du fil dans la chambre thermique. Pourtant, à cause des divers pulsations et ballonnements du fil tordu, ce dernier peut être irrégulièrement chauffé, ce qui influe négativement sur la qualité du fil texturé.

Les chambres thermiques peuvent être de forme cylindrique ou quadrangulaire avec des tubulures creuses et des orifices pour l'enfilage du fil. Elles sont identiques dans les deux types de chauffage : par contact ou sans contact. Les dispositifs de chauffage par contact à tubulures garantissent une grande intensité de transfert de chaleur, en tout cas plus grande que celle des dispositifs plats. Mais ces derniers sont moins chers, moins consommateurs d'énergie, pratiques pour l'enfilage et plus simples à faire fonctionner.

En conclusion, on peut dire que, sur les machines modernes de texturation, on utilise des chambres thermiques des deux types : par contact et sans contact. Ces chambres sont

chauffées à l'aide de spirales traversées par un courant électrique, ou à l'aide de lamelles conductrices de chaleur.

Ces derniers temps, on emploie très souvent le procédé « à condensation » qui permet d'obtenir une température régulière selon toute la longueur de la chambre thermique (c'est le cas de la machine utilisée pour nos expériences).

En qualité de conducteur de chaleur est utilisée une huile spéciale (l'oxyde de diphényle, utilisée pour le chauffage du premier four des machines « RIETER SCRAGG »), contenue dans un réservoir, installé dans la partie inférieure de la chambre thermique, qu'on chauffe jusqu'à ébullition.

La vapeur d'huile monte le long des lames de chauffage, entre en contact avec les surfaces internes de ces lames en leur transmettant la chaleur nécessaire. Le condensât des vapeurs sous forme d'huile coule vers le bas sur les lames, pour revenir vers le réservoir. La condensation de la vapeur d'huile s'effectue, en premier lieu, sur les parties les moins chauffées des lames, en s'égalisant selon toute leur longueur. Par conséquent, presque dans tous les points de la chambre thermique, exception faite des parties externes, la température reste identique et le fil s'échauffe régulièrement. La variation de la température est réglée par l'intensité de l'évaporation et de condensation, soit par la qualité de l'énergie calorifique transférée par les vapeurs d'huile.

I.2.2 Analyse de l'échange de chaleur entre le four et le fil [1]:

Les principaux paramètres du traitement thermique sont :

- La température du fil ;
- La vitesse de chauffage du fil ;
- Le temps ou la durée de passage du fil dans la chambre thermique ;
- Vitesse de refroidissement.

En passant dans la chambre thermique, le fil s'échauffe puis, en y sortant se refroidit. Ainsi, le champ calorifique du fil varie en fonction du temps, c'est-à-dire qu'il se produit un processus d'échange de chaleur non stationnaire. La température est différente dans les diverses parties de la chambre thermique : elle diminue à l'entrée et à la sortie, par suite de l'action du refroidissement par le milieu externe, alors qu'elle est maximale juste au milieu.

Malgré la complexité du processus d'échange de chaleur subit par le fil, il est cependant possible de faire son analyse, en se basant sur les lois générales du transfert de chaleur.

L'échange de chaleur entre la surface du fil et le milieu environnant se produit selon la loi de NEWTON. Aussi, le coefficient de transmission de chaleur sur tous les points de la surface du fil est identique et reste constant durant toute la durée de chauffage.

Pour simplifier l'analyse, il est nécessaire de considérer certaines suppositions :

- Il est possible d'assimiler le fil à un cylindre continu et compact, puisqu'il se trouve dans un état tordu dans la chambre thermique. Dans ce cas, l'analyse du processus de chauffage du fil est analogue à celle du transfert de chaleur vers un ressort cylindrique homogène et solide, soumis à des sollicitations thermiques non stationnaires.

- On peut aussi supposer, dans une première approche, que le fil est régulièrement chauffé et possède une température initiale constante.

Dans la chambre thermique, le fil reçoit la chaleur par conduction d'une façon homogène selon toute sa surface, à partir de la paroi chaude du four.

En outre, la température du fil dépend seulement de la durée de chauffage et du rayon du fil. La variation de la température de la paroi, selon toute la longueur de la lame, peut approximativement être considérée comme une fonction linéaire sur une petite distance Δx .

Pour chaque Δx , la relation entre la température du four et la durée de son chauffage peut être décrite par l'équation :

$$\boxed{t_a = t_1 + b \cdot \tau} \quad (\text{I.1})$$

Où : t_a – température de la paroi du four, ($^{\circ}\text{C}$) ; t_1 – température initiale, ($^{\circ}\text{C}$) ; b – coefficient angulaire, ($^{\circ}\text{C/s}$) ; τ – durée de chauffage, (s).

Afin de déterminer, à n'importe quel moment, la distribution de la température à travers la section du fil, il faut utiliser l'équation générale de la conduction de chaleur qui, pour notre cas, peut être simplifiée, puisque la température est régulièrement répartie selon les sections du fil et ne dépend pratiquement pas du rayon du fil, mais uniquement de la durée du traitement.

Dans ce cas, l'équation de conduction de chaleur aura l'allure suivante :

$$\boxed{dt / d\tau = \omega / c \cdot \rho} \quad (\text{I.2})$$

tel que :

$$\boxed{\omega = Q / V = \alpha F(t_a - t) / V} \quad (\text{I.3})$$

Où :

t – température du fil, ($^{\circ}\text{C}$).

ω – quantité de chaleur, reçue par unité de volume du fil en une unité de temps, à partir du four, ($\text{J} / \text{m}^3 \cdot \text{s}$) ou (W/m^3).

c – capacité calorifique spécifique du fil, ($\text{Kj} / \text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$).

ρ – densité du fil, (Kg / m^3).

Q – quantité de chaleur transmise au fil à partir du milieu ambiant en une unité de temps.

V – volume du fil ($V = \pi R^2 \cdot L$), (m^3).

R – rayon du fil, (m).

L – longueur du fil, (m).

F – la surface de la superficie du fil ($F = 2\pi \cdot R \cdot L$), (m^2).

t_a – température du four dans la chambre thermique, ($^{\circ}\text{C}$).

α – coefficient de transfert de chaleur, ($\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$).

En introduisant F et V dans l'équation (I.3), on obtient :

$$\omega = 2 \alpha (t_a - t) / R \quad ; \quad (\text{I.3})$$

Dés lors la formule (2) devient :

$$dt / d\tau = 2 \alpha (t_a - t) / R \cdot c \cdot \rho \quad ; \quad (\text{I.4})$$

Exprimons $(2 \alpha / R \cdot c \cdot \rho)$ par K , on aura :

$$dt / d\tau = K (t_a - t) \quad ; \quad (\text{I.5})$$

En introduisant la valeur de t_a d'après la formule (I.1) dans la formule (I.5), on obtient :

$$dt / d\tau = K [(t_1 + b\tau) - t] \quad ; \quad (\text{I.6})$$

ou bien :

$$dt / d\tau + Kt = K (t_1 + b\tau) \quad ; \quad (\text{I.7})$$

Intégrons l'équation (6), on aura :

$$t = e^{-\int K d\tau} [K (t_1 + b\tau) \cdot e^{\int K d\tau} + C] \quad ; \quad (I.8)$$

C – constante d'intégration.

D'où:

$$t = C \cdot e^{-K\tau} + e^{-K\tau} [K t_1 \int e^{K\tau} d\tau + b/K \int e^{K\tau} \cdot K\tau d\tau] \quad ; \quad (I.9)$$

Ou bien :

$$t = C \cdot e^{-K\tau} + t_1 + b\tau - b/K \quad ; \quad (I.10)$$

La constante d'intégration peut être trouvée à partir des conditions initiales, qui supposent que, pour le temps $T=0$, la température du fil est égale à la température initiale du fil t_0 , avant son entrée dans la chambre thermique, soit $t = t_0$; ainsi :

$$C = t_0 - t_1 + b/K$$

Finalement, on obtient :

$$t = t_1 + b\tau - b/K - (t_1 - t_0 - b/K) e^{-K\tau} \quad ; \quad (I.10)$$

Dans la chambre thermique, la température est une grandeur variable, cependant pour une première approximation on peut considérer la température du four comme constante.

La température du fil se calcule d'après la formule (I.10), avec $t_a = t_1 + b\tau = \text{const.}$

Ainsi, on obtient finalement :

$$t = t_a - (t_a - t_0) \cdot e^{-K \cdot \tau} \quad (I.11)$$

avec : $t_1 = t_a$

On peut également déterminer la vitesse de chauffage du fil V_f :

$$V_f = K (t_a - t_0) \cdot e^{-K \cdot \tau} \quad (I.12)$$

Lors de la résolution des équations (I.10), (I.11) et (I.12), la grandeur inconnue est le coefficient de transfert de chaleur α , caractérisant l'intensité du transfert de chaleur.

Parfois, pour un calcul plus pratique du coefficient α , on emploie le coefficient de conduction (calorifique) de température 'a' :

$$a = \lambda / c \cdot \gamma \quad ; \quad (I.13)$$

Où : λ – coefficient de conduction de chaleur (W/ m.°C) ; $\gamma = \rho$ densité du fil.

En introduisant l'expression (I.13) dans la formule déterminant le coefficient $K = 2\alpha/R \cdot c \cdot \rho$, on aura :

$$K = 4 \alpha a / (\lambda \cdot d) \quad ; \quad (I.14)$$

Avec : $d = 2 \cdot R$; (d – diamètre du fil).

D'après les formules (I.10), (I.11) et (I.12), on peut déterminer la température du fil et la vitesse de son chauffage dans les différentes zones de la chambre thermique, ainsi qu'à sa sortie.

Cette analyse sur le transfert de chaleur entre le four et le fil a montré que la température du fil et la vitesse de son chauffage varient en fonction du temps exponentiellement.

En fait, la température du fil s'approche asymptotiquement de la température ambiante, alors que la vitesse de sa variation tend vers zéro.

La température et la vitesse de chauffage des différents types de fils de diverses densités linéaires dépendent de :

- La température initiale du fil ;
- La température du four ;
- Le coefficient de transfert de chaleur.

I.3 APPRECIATION DE LA QUALITE EN TEXTURATION.

I.3.1 Notion de qualité.

I.3.1.1 Définition de la qualité :

Définir la qualité avec précision et d'autant important que souvent la nomenclature standard (des paramètres de qualité des produits textiles) se limite seulement aux paramètres de structure, de rupture, de stabilité et aux défauts, qui ne caractérisent pas toujours les conditions réelles d'utilisation du produit.

Incontestablement, le professeur SOLOVIEV [26] est un des premiers chercheurs à avoir donné une définition très précise de la qualité : « *La qualité d'un matériau est le degré de conformité de ses propriétés aux exigences, qui définissent l'aptitude de ce matériau, lors de sa fabrication et de son utilisation, selon sa destination* ».

Par ailleurs, l'association française de normalisation (AFNOR) définit la qualité comme étant : « *L'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs* ».

Alors que selon (GOST 15467-79), la qualité d'un produit est : « *L'ensemble des propriétés conditionnant son utilité et qui satisfont à des exigences bien définies, conformément à sa destination* ».

Mais, le concept qualité a une définition universelle, précisée par l'organisation mondiale de la normalisation (ISO 8402) : « *La qualité peut être définie comme étant l'adéquation entre le produit livré et les besoins explicites ou implicites des clients ou consommateurs.* ».

I.3.1.2 La gestion de la qualité :

La gestion par la qualité est une technique de management imposée par la nécessité de suivre des entreprises, qui doivent atteindre des niveaux de performances et de compétitivité optimums.

L'apparition du concept "cercle de qualité", sur lequel va s'appuyer l'amélioration et la création de la qualité, est un petit groupe de travailleurs volontaires qui se réunit, en dehors des heures de travail, pour trouver des solutions à des problèmes de qualité qu'ils rencontrent au niveau de la structure qui les emploie : atelier, bureau, service.

Actuellement, de nombreuses entreprises de par le monde appliquent ce modèle de gestion qui a fini par établir des techniques d'approche et de résolution des problèmes qui lui sont propres [27]:

- Le « Brain Storming », ou déballage des idées.
- La méthode « A, B, C » de classement des informations, ou principe de Pareto.
- Le diagramme d'Ishikawa ou « causes – effets ».

Les entreprises, qui gèrent par la qualité, consentent un effet soutenu de formation des hommes et exécutent une politique d'information et de communication réelle ; deux fondements, sans lesquels, il ne peut y avoir de qualité.

La gestion par la qualité débouche nécessairement sur la qualité totale, qui consiste à tendre vers la perfection : débusquer toute possibilité de non qualité, à quel niveau que ce soit et, à généraliser cette méthode par effet d'entraînement à l'ensemble des partenaires de l'entreprise.

Les effets attendus de la méthode de gestion par la qualité qui exige formation, rigueur, implication de tous, sont nombreux :

- Réduction des coûts de non - qualité qui augmente les prix de revient.
- Performance des équipements.
- Réduction du nombre de pièces détachés et amélioration de celles qui entrent dans la composition des produits.
- Réduction des coûts et meilleur rapport qualité/prix.
- Gain de temps, réduction du gaspillage et des dysfonctionnements.

I.3.1.3 Appréciation quantitative de la qualité :

C'est la préoccupation permanente du fabricant et c'est l'un des objectifs clés de notre étude. Le sens retenu de la « qualité », dans ce travail, est basé sur sa définition normalisée, déjà précisée plus haut, à savoir : le degré de conformité des paramètres du produit aux exigences dictées par sa destination dans son domaine strict d'utilisation.

Partant de là, nous proposerons une méthode concrète de l'estimation préférentielle e la qualité des produits textiles, qui permettra au producteur de se fixer sur les paramètres les plus déterminants, capables d'améliorer la qualité du fil texturé étudié, après son optimisation et ce en tenant compte de ces différentes destinations précises.

Ainsi, nous envisagerons l'appréciation de la qualité du fil texturé, par la méthode d'expertise à l'aide des critères complexes, en déterminant l'importance des caractéristiques du fil texturé étudié, en fonction de sa destination [28].

Cette méthode nous permettra d'apprécier « quantitativement » la qualité, à l'aide d'un indice global (ou critère complexe), qui prendra en compte non seulement l'ensemble des paramètres influant sur cette qualité, mais encore le degré d'importance de chacun d'eux.

I.3.1.4 Principes scientifiques d'appréciation optimale de la qualité des articles textiles, à l'aide de la méthode d'indices complexes de la qualité :

D'après la définition de la qualité donnée plus haut, la précision de l'appréciation de la qualité dépend de deux paramètres :

- Du niveau des propriétés du matériau.
- Du niveau des exigences.

En principe, plus le niveau des propriétés est élevé (ou bien plus le niveau des exigences est faible) et plus l'indice de qualité du matériau est plus grand.

De ce fait, l'indice de qualité d'un produit (matériau) doit refléter quantitativement le degré de conformité des propriétés de ce produit aux différentes exigences.

On comprend alors facilement qu'un paramètre naturel absolu ne pourra en aucun cas caractériser à lui seul la qualité d'un produit. Dans ce cas, la mesure quantitative, mettant en évidence un ensemble de propriétés, ne peut devenir envisageable, que par l'utilisation d'un indice global complexe.

La détermination de l'indice global de qualité peut être réalisée par trois méthodes [28]:

a. Méthode différentielle :

Elle consiste à comparer la valeur réelle de chaque paramètre avec sa valeur normative (ou de base), ce qui permet de mettre en évidence les défaillances du produit et de trouver les possibilités de son amélioration. Mais lorsqu'il s'agit d'analyser le niveau de qualité d'un ensemble de produits de types différents, il n'est plus possible d'utiliser cette méthode. On emploie dans ce cas la méthode complexe.

b. Méthode complexe :

Elle consiste à utiliser une seule grandeur numérique (l'indice complexe de qualité). Ceci permet de faciliter la comparaison du niveau de la qualité pour différent groupe de produits. Toutefois, cette méthode présente certains inconvénients :

- Elle ne donne aucune appréciation sur les paramètres utilisés, alors qu'elle est nécessaire pour un choix correct de la matière première et un bon déroulement du processus technologique.
- On peut obtenir le même indice complexe avec une combinaison différente des paramètres de qualité de départ.

Pendant, cette méthode est utilisée en complément du contrôle classique.

c. Méthode combinée :

L'estimation globale de la qualité est effectuée sur la base d'indices complexes. Alors que pour mettre en évidence les causes d'une basse qualité et de son amélioration, on utilise le critère différentiel dans un domaine de gradations qualitatives. Il s'agit de la méthode la plus efficace et donc la plus utilisée.

I.3.1.5 Indice de qualité d'un matériau :

C'est la mesure quantitative du degré de conformité des propriétés de ce matériau aux exigences, qui définissent l'aptitude à la fabrication et à l'utilisation, selon la destination.

Pour certains matériaux textiles, il devient presque impossible de caractériser leur qualité à l'aide de la seule valeur naturelle absolue ou relative. Dans ce cas, il est nécessaire d'utiliser des indices (critères) complexes de qualité, qui peuvent simultanément prendre en compte l'ensemble des propriétés définissant le matériau.

L'avantage principal de l'estimation complexe se traduit par le fait que, sa seule valeur numérique permet de comparer les niveaux de qualité de plusieurs groupes (ou variantes) de matériaux. Par contre elle a aussi quelques inconvénients :

- Sa valeur ne montre pas l'impact de chaque propriété sur la qualité ; ceci ne permet pas de corriger les propriétés défaillantes ;
- Sa valeur ne dépend pas du choix du nombre et du type de paramètres analysés.

Pour remédier à ces inconvénients, il est nécessaire d'utiliser l'indice complexe combiné. Et pour mettre en évidence les causes d'une basse qualité et trouver les moyens de son augmentation, on procède à une analyse différentielle des matériaux, dans les limites des gradations qualitatives. L'estimation combinée de la qualité est la plus efficace, car elle prend

simultanément en considération l'avantage de l'indice complexe, l'analyse des principales propriétés et les causes d'une non qualité.

I.3.1.6 Nature et choix des indices de qualité :

Après avoir déterminé la nomenclature des principaux facteurs de qualité pour les matériaux de destination différente et aussi après avoir trouvé leur coefficient de pondération et leur valeur expérimentale, il devient alors possible de déterminer les indices complexes de qualité de ces matériaux.

Cependant, ce qui est impossible, c'est de réunir un ensemble de facteurs, ayant des unités de mesure différentes, dans un seul indice global. C'est pour cela, qu'il est nécessaire de trouver un moyen de « transfert » pour passer d'une évaluation « naturelle » (basée sur des grandeurs mesurables), vers une autre évaluation indicielle (basée sur des indices non mesurables : rangs ; points ; taux).

Avant tout, il est préférable que la fonction mathématique utilisée pour l'évaluation de la qualité croisse d'une façon monotone, avec l'amélioration de l'indice de qualité. En outre, la fonction ne doit pas croître sans limites, lorsque la valeur du paramètre naturel est indéfiniment grande, comme elle ne doit pas décroître infiniment, lorsque cette valeur est indéfiniment petite. Aussi, il est plus pratique d'utiliser des fonctions qui sont délimitées dans l'intervalle : $[0, 1]$.

A toutes ces exigences satisfont certaines fonctions bien déterminées ; il s'agit des fonctions, avec des courbes en forme de « S », (tab. 3). Les fonctions préférentielles les plus utilisées sont la fonction logistique et la fonction de "Homperfs" [28], car :

$$\text{Lorsque } \left\{ \begin{array}{l} Y \rightarrow -\infty \\ A \text{ grand} \end{array} \right\} \Rightarrow f(y) \rightarrow 0 \quad ; \quad \text{et} \quad \left\{ \begin{array}{l} y \rightarrow +\infty \\ \forall A \end{array} \right\} \Rightarrow f(y) \rightarrow 1$$

Tab.3 – Caractéristiques des fonctions, ayant des courbes en forme de « S ».

Expression		Courbe logistique	Courbe de Homperfs
Indice de qualité : K		$\frac{1}{1+A \cdot \exp(-By)}$	$\exp(-AB^{-By})$
Inclinaison de la courbe : dK/dy		$B \cdot K \cdot (1-K)$	$B \cdot K \cdot \ln K$
Valeurs de K	Lorsque $y \rightarrow -\infty$	0	0
	Lorsque $y=0$	$1 / 1+A$	$\exp(-A)$
	Lorsque $y \rightarrow +\infty$	1	1
Point de courbure		1 / 2	1/e = 0,37

CHAPITRE II

IMPACT DE LA COULEUR EN TEXTURATION

II. IMPACT DU CHANGEMENT DE LA COULEUR DU FIL EN TEXTURATION.

II.1. ARGUMENTATION PRATIQUE.

II.1.1 Constats pratiques.

Pratiquement, au niveau des entreprises de production, les paramètres de réglages de la machine sont systématiquement modifiés à chaque fois qu'on doit passer d'une couleur à l'autre d'un même fil POY. Ceci, bien sûr, dans le but de maintenir les propriétés identiques des fils texturés fabriqués de mêmes nature et caractéristiques initiales, indépendamment de leur couleur.

A « Polytext », par exemple, lorsque la couleur du POY change, c'est des modifications de certains paramètres de réglage au niveau de la machine qui sont effectuées et ce, sans que les raisons de ces modifications soient connues. Les paramètres modifiés sont les suivants : la vitesse de texturation V , la température du four primaire T_1 et du four secondaire T_2 (éventuellement).

A « Texturfil », lorsqu'il fallait texturer un fil de couleur noire juste après un autre de mêmes caractéristiques mais de couleur blanche, un temps considérable était perdu avant de trouver le réglage adéquat sur la machine, ce qui se répercute très négativement sur la productivité.

Pour confirmer ce phénomène d'influence de la couleur, nous avons envisagé de texturer des fils POY en polyamide-6, ayant les mêmes caractéristiques physico-mécaniques, mais de couleurs différentes. Il s'agira par la suite de confirmer la différence de leurs propriétés, puis enfin d'interpréter et analyser ce phénomène. Les essais ont été effectués à l'entreprise « POLYTEXT – Rouiba ».

II.1.2 Caractéristique de la matière première utilisée.

Les fils utilisés lors de nos essais sont en polyamide -6 destiné pour la fabrication du fil texturé 70 deniers. Les caractéristiques du POY sont les mêmes pour les différentes couleurs considérées.

- Titre : 98 dtex (88.2 d).
- Nombre de filaments : 18 filaments.
- Couleur de fil POY : blanc, vert, noir.

II.1.3 Méthode utilisée.

La texturation du polyamide -6 a été faite selon le procédé FT « fausse torsion » sur la machine de texturation « DCS 1200 », de la firme « RIETER-SCRAGG », à un seul four.

La planification et la réalisation des essais ainsi que le traitement des résultats ont été effectués selon le mode d'une expérience factorielle totale « EFT ».

II.1.4 Les facteurs d'entrée considérés.

Les paramètres qu'on va faire varier sont :

- La vitesse de texturation.
- La température du four.

Ce choix limité au seul couple de facteurs vitesse/température est justifié par les considérations théoriques déjà connues (voir chapitre I) sur l'expression d'échange de chaleur entre le four et le fil, dans laquelle seules la température du four et la durée de chauffage, parmi tous les autres facteurs de texturation, influent sur la température du fil.

II.1.5 Les paramètres de sortie considérés.

Les paramètres de sortie (ou les propriétés du fil texturé considérées) ont été choisis d'après leur importance et selon les types de contrôles disponibles au niveau de l'entreprise « Polytext – Rouiba » et sont :

- L'allongement à la rupture (%).
- La ténacité (CN/dtex, ou gr/d).
- L'effet gonflant (%).
- Le retrait à l'eau bouillante (%).

II.1.6 Matrices de travail.

On peut voir sur le tableau 4 la matrice de travail utilisée pour la planification et la réalisation de nos expériences, selon une expérience factorielle totale.

Tab 4- Matrice de travail, pour la texturation du fil PA-6 70f18 deniers de différentes couleurs.

Les paramètres d'entrée considérés	Codification des facteurs d'entrée	Intervalle de variation	Niveau inférieur (-1)	Niveau de base (0)	Niveau Supérieur (+1)
Vitesse V (m/min)	X ₁	137	409	546	683
Température T (°C)	X ₂	10	165	175	185

II.1.7 Résultats expérimentaux : Voir annexe N°3.

II.1.8 Traitement des résultats, d'après la méthode de l'expérience factorielle totale.

Les résultats expérimentaux obtenus ont été traités en suivant les étapes d'une expérience factorielle totale. Ces étapes sont [29, 30]:

- La codification des facteurs d'entrée.
- La randomisation des plans.
- La réalisation des essais, en contrôlant tous les facteurs externes.
- L'estimation de la variance de l'erreur de l'expérience.
- Le calcul des coefficients de régression des modèles mathématiques.
- La vérification de la signification statistique des coefficients de régression.
- La vérification de l'adéquation du modèle mathématique
- L'estimation de l'erreur absolue de la valeur calculée.

La méthode de calcul dans chaque étape ainsi que les résultats de chaque caractéristique statistique sont détaillés dans l'annexe 6.

II.1.9 Modèles mathématiques obtenus.

Les modèles mathématiques obtenus selon l'expérience factorielle totale « EFT », pour les différentes couleurs considérées du fil et pour chaque paramètre de sortie, sont :

a- Couleur noire :

- Allongement à la rupture :
All = 46.06 – 0.012 V + 0.015 T
- Ténacité :
Ten = 10.30 – 0.007 V – 0.024 T + 0.000036 VT
- Effet gonflant : "BULK"
BULK = 149.79 – 0.150 V – 0.495 T + 0.0007 VT
- Retrait à l'eau bouillante : "SBW"
SBW = 12.40 + 0.024 V – 0.056 T - 0.00011 VT

b- Couleur verte :

- Allongement à la rupture :
All = 42.65 – 0.022 V + 0.042 T
- Ténacité :
Ten = 20.88 – 0.021 V – 0.085 T + 0.00012 VT
- Effet gonflant : "BULK"
BULK = 245.79 – 0.203 V – 1.085 T + 0.0011 VT
- Retrait à l'eau bouillante : "SBW"
SBW = 23.12 + 0.017 V – 0.113 T - 0.000073 VT

c- Couleur blanche :

- Allongement à la rupture :
All = -25.74 + 0.056 V + 0.367 T - 0.00039 VT
- Ténacité :
Ten = 3.068 + 0.001 V + 0.011 T
- Effet gonflant : "BULK"
BULK = 545.825 – 0.675 V – 2.717 T + 0.0037 VT
- Retrait à l'eau bouillante : "SBW"
SBW = 16.95 + 0.021 V – 0.085 T – 0.00007 VT

II.1.10 Mise en évidence du caractère d'influence de chaque facteur de texturation sur les propriétés du fil texturé.

En analysant les différents résultats obtenus, on peut voir que l'influence des facteurs d'entrées (Vitesse de texturation et la température du four) a le même sens d'influence (négative, ou positive) sur les propriétés du fil texturé, mais pas avec le même degré pour les différentes couleurs. (Voir Tab5).

Tab.5 - Influence des facteurs de texturation sur les propriétés du fil texturé polyamide -6 de différentes couleurs.

Effet sur → Augmentation de ↓	Allongement			Ténacité			BULK			SBW		
	Fil blanc	Fil vert	Fil noir	Fil blanc	Fil vert	Fil noir	Fil blanc	Fil vert	Fil noir	Fil blanc	Fil vert	Fil noir
Vitesse V	↘	↘	↘	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↗	↗	↗
Température du four T	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘

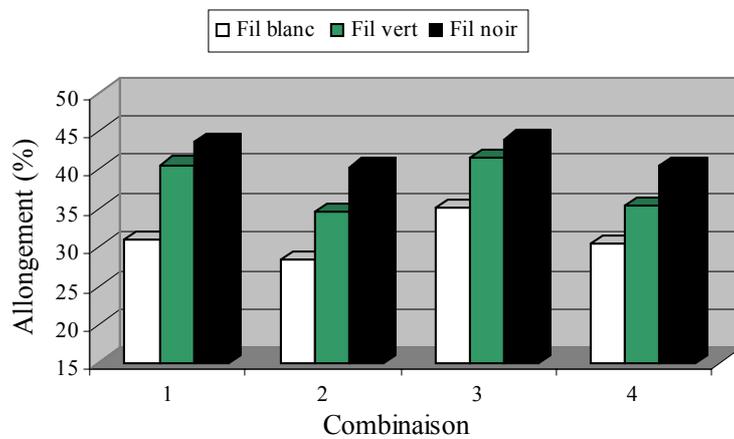


Fig. 8- Influence des paramètres de texturation (V, T) sur l'allongement du fil texturé de couleur Blanche, Verte, Noire.

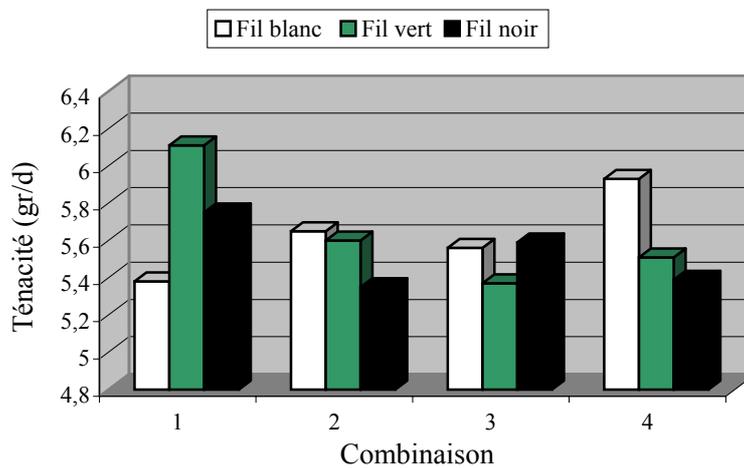


Fig.9- Influence des paramètres de texturation (V, T) sur la ténacité du fil texturé de couleur Blanche, Verte, Noire.

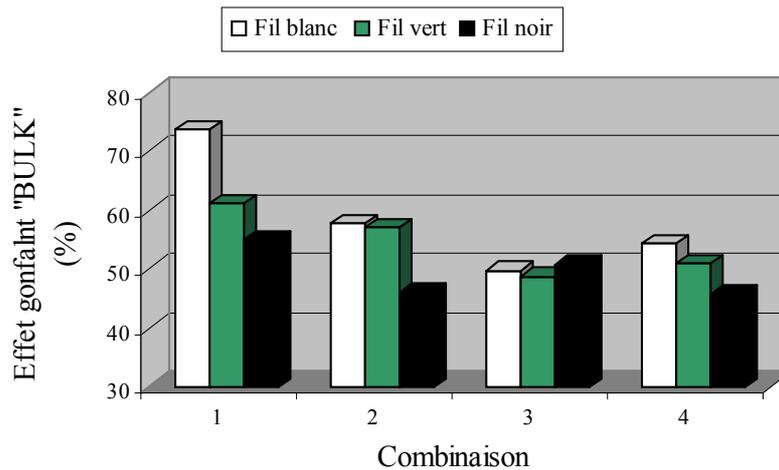


Fig.10- Influence des paramètres de texturation (V, T) sur l'effet gonflant 'BULK' du fil texturé de couleur Blanche, Verte, Noire.

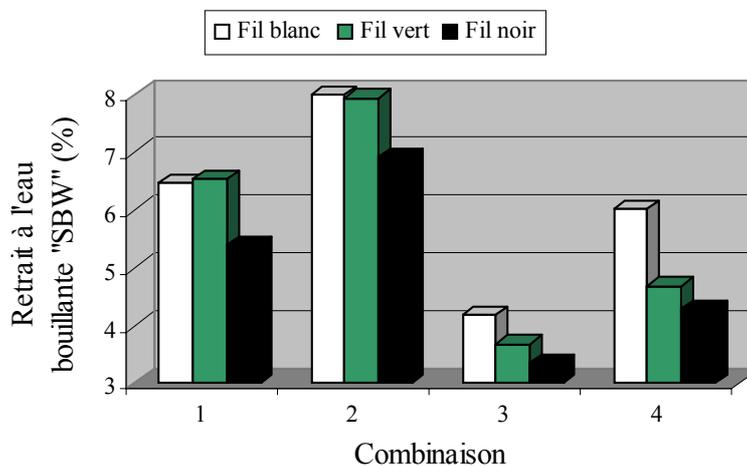


Fig.11- Influence des paramètres de texturation (V, T) sur le retrait à l'eau bouillante 'SBW' du fil texturé de couleur Blanche, Verte, Noire.

II.1.11 Interprétations et argumentation des résultats expérimentaux.

A partir des histogrammes, élaborés pour chaque paramètre et du tableau d'influence des facteurs, on peut faire des déductions d'un grand intérêt concernant l'influence de la couleur utilisée du fil.

1. Influence sur l'allongement :

a) C'est le fil noir qui s'allonge le plus, puis le fil vert et enfin le fil blanc (fig.8). Ceci est lié au pouvoir d'absorption de chaleur de chaque fil considéré. Plus le fil absorbe de la chaleur, plus son échauffement est grand et rapide, ce qui lui permet de subir plus facilement toutes les déformations auxquelles il est soumis. Ainsi, en se tordant plus rapidement, les macromolécules et les filaments de ce fil reçoivent le maximum de spires de torsion, s'enroulent plus en spirale et prennent plus l'allure d'un ressort ; d'où, l'élasticité plus développée de ce fil. Mais puisque un corps noir étant un absorbant parfait de la chaleur, le fil en question est donc le fil noir.

- b) Le caractère d'évolution de l'allongement est le même pour toutes les trois couleurs des fils considérés (tab.5).
- c) L'augmentation de l'allongement est provoquée par une diminution de la vitesse ou un accroissement de la température, soit par une structure plus amorphe du polymère.

2. Influence sur la ténacité :

- a) Le comportement des fils texturés est variable en fonction de leur couleur (fig.9).
- b) Le fil blanc devient plus tenace, lorsque la vitesse ou la température augmentent au dépens respectivement de l'augmentation de ses zones cristallines ou de l'absorption d'une plus grande quantité de chaleur lui permettant d'emmagasiner un plus grand taux de torsion.
- c) Le fil noir, par contre, voit sa ténacité augmenter avec la diminution de la vitesse ou de la température, entraînant respectivement un taux de torsion plus grand et une meilleure fixation de sa structure (tab.5).

3. Influence sur l'effet gonflant :

- a) L'effet gonflant (BULK) est moindre chez le fil noir, puis le vert, alors qu'il est maximal chez le fil blanc. Le fil noir gonfle moins à cause de l'intensité de la torsion qu'il a subit, le rendant plus compact et l'empêchant de prendre du volume (fig.10).
- b) Le caractère d'évolution de l'effet gonflant est le même pour toutes les trois couleurs (tab.5).
- c) Le BULK augmente avec la diminution de la vitesse ou de la température, soit par une structure moins cristalline du polymère.

4. Influence sur le retrait :

- a) On peut dire que c'est le fil blanc qui se contracte en général toujours plus, puis le vert et enfin le noir (sous l'effet de l'eau bouillante à 100 °C) (fig.11). Ceci s'explique par la forte torsion emmagasinée par le fil noir, qui lui permet de s'opposer à une déformation de rétrécissements acquiert de faibles propriétés élastiques, en lui conférant donc une stabilité dimensionnelle.
- b) Le caractère d'évolution du retrait est respecté pour les trois couleurs (tab.5).
- c) Le retrait augmente avec l'augmentation de la vitesse et la diminution de la température, soit par une cristallisation plus prononcée du polymère.

II.2. ARGUMENTATION THEORIQUE.

II.2.1 Expression de la température du fil dans le four.

En voulant contribuer à la résolution de ce problème, on est parti des considérations thermodynamiques déjà connues liées au processus de texturation, qui sont les suivantes :

Dans l'ouvrage de « Oussenko B. A. » [1], il est expliqué le phénomène d'échange de chaleur entre le milieu ambiant dans le four et le fil (voir explication détaillée au paragraphe II.2.2). L'expression générale de la température du fil, en fonction de son temps de séjour dans le four, est :

$$\boxed{T_{\text{fil}} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{-(2 \cdot \alpha \cdot \tau / R \cdot c \cdot \rho)}} \quad (\text{II.1})$$

Où :

T_a – température du four ; T_0 – température initiale du fil ; α - coefficient de transmission de chaleur du four ; τ - temps de séjour du fil dans le four ; R – rayon du fil ; c – capacité thermique massique du fil ; ρ - masse volumique du fil.

D'autre part, on peut facilement comprendre que le changement de la température du four T_a et de la vitesse du fil V , appliqué au niveau des entreprises, influe surtout sur l'intensité de l'échange de chaleur entre le four et le fil, soit sur la température de ce dernier.

Autrement dit, afin de maintenir identiques les propriétés des fils texturés de même grosseur quelque soit leur couleur, le changement de V et T se fait en réalité de manière à ce que la température du fil T_{fil} reste inchangée.

En effet, le maintien de T_{fil} constant, pour deux fils de couleurs différentes, leur permet de subir des déformations de même nature et de même intensité, afin d'acquérir par suite des propriétés identiques.

Mais, en analysant l'expression (II.1), on remarque qu'avec la variation de la température du four T_a , celle du fil T_{fil} peut rester constante que si un au moins parmi les autres termes varie inversement (par rapport à T_a) lorsque la couleur du POY varie. Comme les facteurs α ; R et ρ restent pratiquement les mêmes pour des POY qui diffèrent seulement par leur couleur, seul le facteur « c » (indiquant la quantité d'énergie nécessaire pour faire augmenter la température de 1 kg de fil de 1 K) peut être « altérer » sous l'effet d'un changement de couleur du fil.

II.2.2 Impact d'un flux thermique radiatif agissant sur le fil :

Il y a lieu de signaler que, d'une façon générale, le procédé de chauffage du fil en texturation peut être réalisé selon deux moyens différents :

- « sans contact » du fil contre la paroi du four, à l'aide d'un transfert de chaleur prédominant par radiation ;
- « avec contact » du fil contre la paroi du four, à l'aide d'un transfert de chaleur prédominant surtout par conduction.

C'est le deuxième procédé qui est installé sur la machine à texturer « DCS 1200 » utilisée par l'entreprise « Polytext-Rouiba » et qui va faire l'objet de cette étude.

Si pour le premier cas, on peut facilement admettre que la quantité de chaleur absorbée par le fil, sous l'influence du flux thermique rayonné, dépend de la couleur de ce fil, pour le second cas, cette assertion n'est pas évidente.

Cependant, d'après l'ouvrage d'Oussenko [1], il existe en réalité lors d'un chauffage du fil par conduction (donc par contact) un échange de chaleur complexe, où les deux autres procédés de transfert de chaleur – par radiation et convection – sont aussi présents (quoique non dominants).

De ce fait, on pourrait alors considérer que si dans ce cas un fil de couleur différente se comporte différemment, cela ne peut être que sous l'effet d'un flux thermique surtout radiatif.

Sous un aspect plus général, l'influence de la couleur d'un matériau sur sa capacité d'absorption de la chaleur est expliquée dans plusieurs ouvrages par les lois de Planck, Wien, Stefan-Boltzmann et Kirchhoff.

L'essentiel de cette théorie montre que tout corps, soumis à un flux thermique radiatif, réagit thermiquement en fonction de ses facteurs d'absorption « a », de réflexion « r » et de transmission « t », tel que $a + r + t = 1$, $a = 1$ pour un corps noir, $r = 1$ pour un corps blanc [25].

II.2.3 Conséquences :

Lors du processus de texturation, on peut admettre que le four émet une certaine quantité d'énergie radiative en direction du fil et que, sous l'action d'un certain échange de chaleur par radiation (rayonnement), le fil s'échauffe encore plus, mais à des degrés différents, en fonction de sa couleur.

Par exemple, si sa couleur est noire, il absorbera théoriquement toute la chaleur rayonnée, alors que si sa couleur est blanche, il la réfléchit totalement ou presque. De ce fait, la température du fil noir sera logiquement plus grande que celle du fil blanc.

Autrement dit, le calcul de la température du fil en texturation doit tenir compte de sa couleur. C'est pour cela que, pour exprimer cette influence, la formule (II.1) doit inclure un certain coefficient complémentaire, qu'on notera par « A ».

II.2.4 Démarche à suivre pour la détermination du coefficient « A_j » :

En examinant la formule (II.1) de la température du fil :

$T_{fil} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{-(2 \cdot \alpha \cdot \tau / R \cdot c \cdot \rho)}$, on constate que le nouveau coefficient « A_j » ne peut faire partie que du membre $(2 \cdot \alpha / R \cdot c \cdot \rho) = K$. Porté en exponentiel.

De plus, pour que T_{fil} augmente, il faut que K augmente aussi.

Ainsi, si « A_j » est compris dans l'intervalle $]0;1]$, sa valeur maximale $A_j = 1$, d'après l'explication avancée plus haut, correspondant donc au fil de couleur noire, soit $A_j = 1$ alors sa position sera dans le numérateur de K , telle que : $K = \frac{2 \cdot \alpha \cdot A}{R \cdot c \cdot \rho}$.

Dans ce cas, l'expression de T_{fil} devient :

$$T_{fil} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{-(2 \cdot \alpha \cdot \tau \cdot A_j / R \cdot c \cdot \rho)} \quad (II.2)$$

L'expression de A_j sera :

$$T_{fil} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{-K \cdot \tau} = T_a - \frac{(T_a - T_0)}{e^{K \cdot \tau}} \Rightarrow e^{K \cdot \tau} = \frac{(T_a - T_0)}{(T_a - T_{fil})} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K \cdot \tau = \ln\left(\frac{T_a - T_0}{T_a - T_{fil}}\right) = \frac{2 \cdot \alpha \cdot A_j}{R \cdot c \cdot \rho} \cdot \tau$$

Soit :

$$A_j = \frac{R \cdot c \cdot \rho}{2 \cdot \alpha \cdot \tau} \cdot \ln\left(\frac{T_a - T_0}{T_a - T_{fil}}\right) \quad (II.3)$$

Ou enfin :

$$A_j = \frac{1}{K \cdot \tau} \cdot \ln\left(\frac{T_a - T_0}{T_a - T_{fil}}\right) \quad (II.4)$$

D'après cette dernière expression (II.3), on constate que le coefficient \mathbf{A}_j , qui dépend de la variation de la couleur, est fonction de l'expression $\frac{T_a - T_0}{T_a - T_{fil}}$ qui, elle-même est fonction des deux facteurs \mathbf{T}_a et \mathbf{T}_{fil} , pour des mêmes conditions de texturation (les autres facteurs R , c , ρ , α et τ doivent rester constants pour les fils de différentes couleurs).

Dans ce cas, « \mathbf{A}_j » est fonction de 2 variables, d'où la nécessité d'avoir une deuxième équation, exprimant une dépendance entre elles, ou entre une d'elles et d'autres facteurs connus.

Il est plus judicieux de choisir la deuxième équation d'une façon telle, à pouvoir exprimer \mathbf{T}_a en fonction de \mathbf{Y}_i . Ainsi, en planifiant les essais expérimentaux selon « une expérience factorielle totale » (EFT), on peut déterminer les modèles mathématiques pour chaque propriété du fil texturé de couleur donnée en fonction des facteurs de texturation, dont \mathbf{T}_a .

Par ailleurs, la détermination de ces modèles est importante à plus d'un titre, puisque cela permet de :

1. confirmer l'obtention de valeurs expérimentales différentes d'un paramètre donné du fil texturé, lors de la seule variation de sa couleur ;
2. confirmer encore l'influence de la couleur du fil utilisé, en déterminant, pour un paramètre donné de ce fil, les différents modèles mathématiques correspondant aux différentes couleurs de ce fil ;
3. mettre à la disposition de l'entreprise « Polytext » une autre base de données importante, celle concernant le caractère d'influence des facteurs de texturation sur les propriétés du fil texturé et ce, en exploitant les différents modèles mathématiques obtenus.

Si l'on suppose que le modèle mathématique d'un paramètre \mathbf{Y}_{ij} du fil texturé (où : i et j représentent le numéro respectif d'un paramètre et d'une couleur considérés du fil) est de type :

$$\mathbf{Y}_{ij} = \mathbf{a}_{0-ij} + \mathbf{T}_a \cdot \mathbf{a}_{1-ij} + \mathbf{V} \cdot \mathbf{a}_{2-ij} + \mathbf{V} \cdot \mathbf{T}_a \cdot \mathbf{a}_{i2-ij} ; \quad (\text{II.5})$$

Alors on peut déterminer \mathbf{T}_a en fonction des autres facteurs (tous connus) :

$$\mathbf{T}_a = \frac{\mathbf{Y}_{ij} - \mathbf{a}_{0-ij} - \mathbf{V} \cdot \mathbf{a}_{2-ij}}{\mathbf{a}_{1-ij} + \mathbf{V} \cdot \mathbf{a}_{i2-ij}} ; \quad (\text{II.6})$$

où : a_0 , a_1 , a_2 et a_{12} – coefficients de régression du modèle mathématique calculé ; V – vitesse de texturation.

Comme la vitesse de texturation peut être elle aussi exprimée autrement, soit en fonction du temps de passage dans le four τ et de la longueur L du four : $V = L / \tau$, alors l'expression (II.6) de \mathbf{T}_a devient :

$$\mathbf{T}_a = \frac{\mathbf{Y}_{ij} - \mathbf{a}_{0-ij} - \frac{L \cdot \mathbf{a}_{2-ij}}{\tau}}{\mathbf{a}_{1-ij} + \frac{L \cdot \mathbf{a}_{i2-ij}}{\tau}} = \mathbf{T}_a = \frac{\mathbf{Y}_{ij} - \mathbf{B}_{02-ij}}{\mathbf{B}_{112-ij}} ;$$

$$\text{où : } B_{02-ij} = a_{0-ij} + \frac{L.a_{2-ij}}{\tau} \quad \text{et} \quad B_{112-ij} = a_{1-ij} + \frac{L.a_{12-ij}}{\tau}.$$

Finalement l'expression (II.3) du coefficient A devient :

$$A_j = \frac{R.c.\rho}{2.\alpha.\tau} \cdot \ln \left(\frac{\left(\frac{Y_{ij} - B_{02-ij}}{B_{112-ij}} \right)_{-T_0}}{\left(\frac{Y_{ij} - B_{02-ij}}{B_{112-ij}} \right)_{-T_{fil}}} \right) ; \quad (\text{II.7})$$

ou bien :

$$A_j = \frac{1}{K.\tau} \cdot \ln \left(\frac{\left(\frac{Y_{ij} - B_{02-ij}}{B_{112-ij}} \right)_{-T_0}}{\left(\frac{Y_{ij} - B_{02-ij}}{B_{112-ij}} \right)_{-T_{fil}}} \right) \quad (\text{II.8})$$

L'influence de T_{fil} peut ne pas se poser dans le cas particulier suivant :

Pour qu'une propriété donnée Y_i du fil soit maintenue constante indépendamment de sa couleur, il faut que la température du fil T_{fil} soit aussi maintenue constante durant la texturation : $\boxed{Y_i = \text{const.} \Leftrightarrow T_{fil} = \text{const.}}$

La valeur de T_{fil} peut être déterminée à l'aide de son expression (II.2) :

$T_{fil} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{-\left(\frac{2.\alpha.\tau.A_j}{R.c.\rho} \right)}$, en considérant le cas particulier du fil texturé de couleur noire, pour lequel $A = 1$. Les valeurs de tous les autres facteurs étant connues.

II.3. DETERMINATION DES VALEURS DES COEFFICIENTS « A_j » POUR LES CONDITIONS REELLES DE TRAVAIL DE L'ENTREPRISE « POLYTEXT-ROUIBA ».

Pour déterminer les coefficients A_{BLANC} et A_{VERT} , on doit donc considérer le cas lorsque $Y_N = Y_V = Y_B$, qui n'est possible que lorsque : $T_{filN} = T_{filV} = T_{filB}$; avec :

$$\begin{cases} \tau_N = \tau_V = \tau_B \\ T_{aN} \neq T_{aV} \neq T_{aB} \\ K_N \neq K_V \neq K_B \end{cases}$$

Ainsi, par exemple, si Y correspond à un retrait de $SBW = 6.54\%$ et sachant que :

- la température initiale du fil $T_0 = 25^\circ\text{C}$;
- la vitesse de texturation $V = \frac{x}{\tau} = 409 \text{ m/min}$;

- la capacité thermique massique du fil noir (tabulaire) $C_N = C_{\text{tabulaire}} = 1,6 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{K}$;
- le coefficient de transfert de chaleur du four : $\alpha = 1038,88 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$;
- la masse volumique du polyamide-6 $\rho_{\text{PA-6}} = 1,12 \text{ gr/Cm}^3$;
- le rayon calculé du fil $R = 0,047 \text{ mm}$.

On peut d'abord calculer le facteur $K = 2 \cdot \alpha \cdot A_j / R \cdot c \cdot \rho$ pour le fil blanc (K_B) et pour le fil vert (K_V), pour trouver ensuite d'après la formule (II.8) la valeur de leur coefficient A_{BLANC} et A_{VERT} :

- $A_{\text{NOIR}} = 1$
- $A_{\text{VERT}} = 0,372$
- $A_{\text{BLANC}} = 0,346$

II.4. CONCLUSIONS :

1. Par rapport au fil noir, les fils vert et blanc absorbent respectivement que 37,2 et 34,6 % de l'énergie thermique totale fournie.
2. Dans notre cas, la capacité d'absorption thermique du fil vert A_{VERT} est très rapprochée de celle du fil blanc A_{BLANC} , car la couleur verte considérée est très claire avec un aspect brillant.
3. Cette diminution d'absorption thermique provient essentiellement de la partie radiative de l'énergie thermique existant dans le four.
4. En texturation, on doit tenir compte de l'influence de ce phénomène d'absorption thermique variable en fonction de la couleur du POY, en introduisant un coefficient (noté par A dans notre cas) dans la formule (déjà existante) de la température du fil.
5. Pour les autres couleurs non considérées dans ce travail, il y a lieu de réaliser une étude analogue pour déterminer leur coefficient d'absorption correspondant A_j à l'aide de l'expression (II.8).

II.5. VERIFICATION DE LA PRECISION DU MODELE MATHEMATIQUE DEVELOPPE OBTENU $Y_{ij}^* = f(T_a ; V ; A_j)$

Le modèle mathématique développé Y_{ij}^* est obtenu en introduisant l'expression de la température du four (voir formule II.6) dans celle de la température du fil (voir formule II.3).

On peut ainsi calculer les différentes valeurs des paramètres Y_{ij}^* (voir tab.6), qui tiennent compte de l'influence des coefficients A_j pour les conditions de travail considérées.

Puis, il y a lieu de les comparer aux valeurs moyennes expérimentales $Y_{ij \text{ moy}}$, afin d'estimer l'erreur des valeurs de Y_{ij}^* calculées à partir du modèle développé.

$$Y_{ij}^* = \frac{(a_{0i} + a_{2i}V)(1 - e^{-2\alpha\tau A_j/R\varphi}) + (a_{1i} + a_{3i}V)(T_{fil} - T_0 \cdot e^{-2\alpha\tau A_j/R\varphi})}{1 - e^{-2\alpha\tau A_j/R\varphi}} \quad (II.9)$$

On constate, d'après le tableau 6, qu'en général, les valeurs Y_{ij}^* des paramètres, calculées d'après le modèle développé, se trouvent à l'intérieur (sinon, très proche) de l'intervalle de confiance (Voir annexe 7) des valeurs expérimentales moyennes des paramètres considérés.

Cependant, certaines valeurs Y_{ij}^* sont relativement loin de cet intervalle de confiance ; ceci peut être causé par les nombreuses suppositions prises en compte lors de la détermination de l'expression de la température du fil dans le four de texturation (**voir paragraphe 1.2.2**).

Aussi, on peut en déduire que :

- La méthode utilisée pour la détermination de coefficient A_j est suffisamment précise.
- Les valeurs obtenues du coefficient A_j , pour les différentes couleurs étudiées, sont acceptables.
- Le modèle développé (II.9) reflète la réalité pratique, avec un pourcentage d'erreur acceptable.
- La reconsidération de l'expression de la température du fil, en y introduisant le nouveau coefficient A_j (qui tient compte de l'influence de la couleur du POY), donne des résultats satisfaisants.

Tab. 6 – Comparaison entre les valeurs expérimentales « Y_{m-ij} » et celles calculées « Y_{ij}^* » des paramètres considérés.

Variantes [V (m/min) ; T(°C)]	Couleur du fil	Les paramètres du fil texturé considérés PA-6 70 f18 denier															
		Allongement (%)				Ténacité (gr/d)				BULK (%)				SBW(%)			
		Y_{m-ij}	Y_{ij}^*	$\frac{\Delta y}{y}(\%)$	$\xi_r(\%)$	Y_{m-ij}	Y_{ij}^*	$\frac{\Delta y}{y}(\%)$	$\xi_r(\%)$	Y_{m-ij}	Y_{ij}^*	$\frac{\Delta y}{y}(\%)$	$\xi_r(\%)$	Y_{m-ij}	Y_{ij}^*	$\frac{\Delta y}{y}(\%)$	$\xi_r(\%)$
VAR 1 409 ; 165	Blanc	30.98	31.37	1.26	5.87	5.38	5.29	1.67	2.79	73.59	71.28	3.14	3.11	6.47	6.80	5.10	3.55
	Vert	40.56	40.58	0.05	1.68	6.11	6.36	4.09	2.29	61.05	57.96	5.06	0.69	6.55	6.50	0.76	1.23
	Noir	43.54	43.63	0.21	2.27	5.75	5.91	2.78	3.65	54.97	54.01	1.75	5.89	5.39	5.55	2.97	11.50
VAR 2 683 ; 165	Blanc	28.44	29.11	2.36	1.02	5.65	5.57	1.42	1.77	57.61	53.47	7.18	4.81	8.72	9.38	7.57	1.60
	Vert	34.57	34.55	0.06	0.78	5.60	6.04	7.86	3.04	57.07	52.07	8.76	2.68	7.94	7.86	1.01	1.89
	Noir	40.30	40.34	0.10	1.07	5.35	5.62	5.05	0.75	45.99	44.55	3.13	5.44	6.91	7.16	3.62	3.62
VAR 3 409 ; 185	Blanc	35.09	33.52	4.47	2.59	5.56	5.51	0.90	2.52	49.8	47.24	5.14	4.80	4.18	4.53	8.37	11.24
	Vert	41.45	41.42	0.07	2.78	5.37	5.65	5.21	3.53	48.70	45.26	7.06	1.83	3.68	3.64	1.09	17.39
	Noir	43.93	43.93	0.00	1.18	5.59	5.72	2.32	3.04	50.82	49.83	1.95	5.88	3.36	3.53	5.06	8.04
VAR 4 683 ; 185	Blanc	30.39	31.12	2.40	4.21	5.93	5.79	2.36	0.67	54.30	49.67	8.53	3.19	6.03	6.73	11.61	8.96
	Vert	35.36	35.48	0.34	1.69	5.51	5.97	8.35	1.45	50.95	44.72	12.22	2.85	4.68	4.27	8.76	6.62
	Noir	40.51	40.63	0.29	5.26	5.39	5.63	4.45	1.11	45.69	44.21	3.24	1.62	4.29	4.53	5.59	8.16

II.6. Evolution de la température du fil T_{fil} lors de son passage dans le four.

En remplaçant les différentes valeurs de A_j dans la formule de température du fil T_{fil} (II.2), on peut estimer son évolution durant son temps de passage τ dans le four, en fonction de sa couleur (tab. 7 ; 8 ; 9 et 10).

Analogiquement, on peut trouver l'expression de la température des fils de couleur verte ou blanche, tel que le fil blanc aura ses propres grandeurs (Y_B ; a_{0B} ; a_{1B} ; a_{2B} ; a_{3B} ; K_B) et le fil vert aussi (Y_V ; a_{0V} ; a_{1V} ; a_{2V} ; a_{3V} ; K_V).

Et pour mieux voir cette évolution, traduisons les résultats obtenus à l'aide de graphes (fig. 12 ; 13 ; 14 et 15) :

Tab. 7- Evolution de la température du fil T_{fil} de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 409$ m/min ; $T_a = 165$ °C.

τ (s)	Température du fil (°C)		
	Fil noir	Fil vert	Fil blanc
0	25	25	25
0,073	141.877	93.355	89.989
0,147	161.274	128.671	125.151
0,220	164.385	146.408	143.649
0,293	164.898	155.486	153.560

Tab. 8- Evolution de la température du fil T_{fil} de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 683$ m/min ; $T_a = 165$ °C.

τ (s)	Température du fil (°C)		
	Fil noir	Fil vert	Fil blanc
0	25	25	25
0.044	112.714	71.510	68.886
0.088	144.029	102.569	99.016
0.132	159.605	123.309	119.700
0.176	163.178	137.159	133.900

Tab. 9- Evolution de la température du fil T_{fil} de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 409$ m/min ; $T_a = 185$ °C.

τ (s)	Température du fil (°C)		
	Fil noir	Fil vert	Fil blanc
0	25	25	25
0,073	158.574	103.120	99.273
0,147	180.742	143.481	139.459
0,220	184.297	163.753	160.599
0,293	184.884	174.127	171.926

Tab. 10- Evolution de la température du fil T_{fil} de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 683 \text{ m/min}$; $T_a = 185 \text{ }^\circ\text{C}$.

τ (s)	Température du fil ($^\circ\text{C}$)		
	Fil noir	Fil vert	Fil blanc
0	25	25	25
0.044	130.959	78.154	75.116
0.088	166.747	113.650	109.589
0.132	178.835	137.353	133.228
0.176	182.918	154.797	149.458

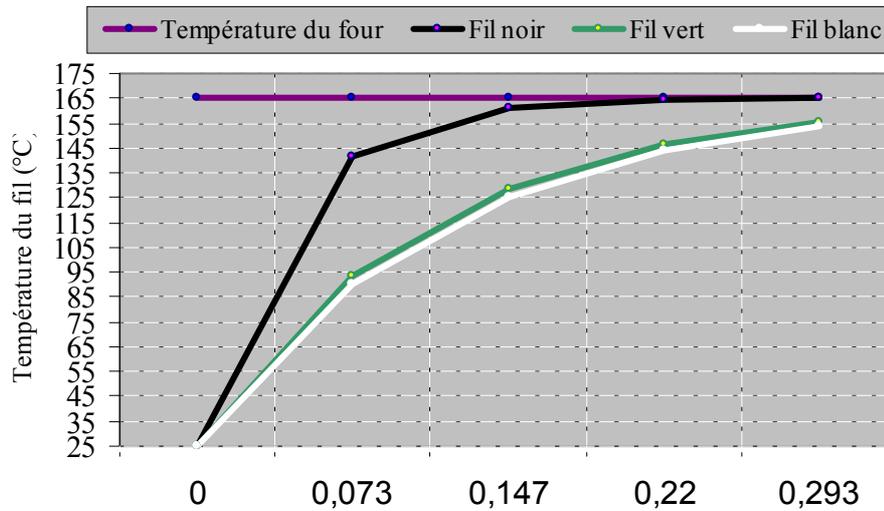


Fig. 12- Evolution de la température des fils de différentes Couleurs dans le four ;
 $V = 409 \text{ m/min}$; $T_a = 165 \text{ }^\circ\text{C}$.

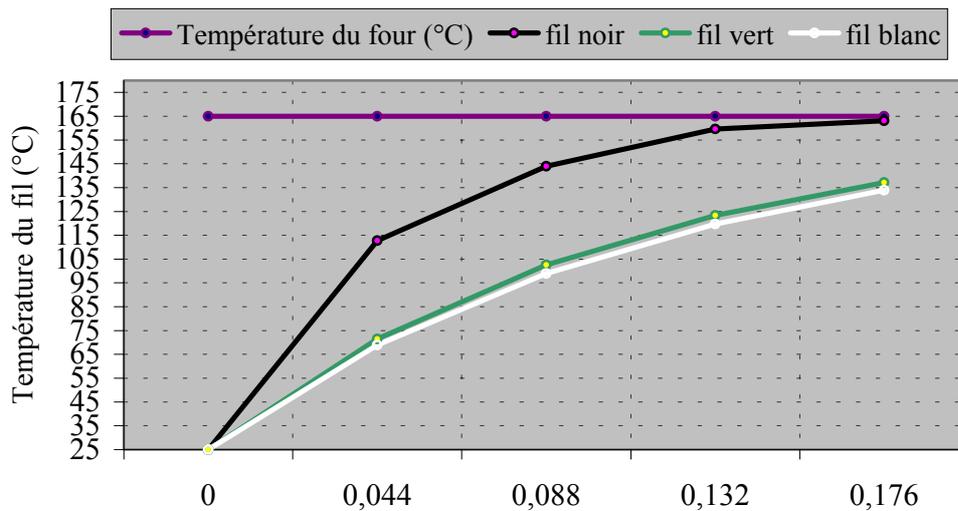


Fig. 13 - Evolution de la température des fils de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 683 \text{ m/min}$; $T_a = 165 \text{ }^\circ\text{C}$.

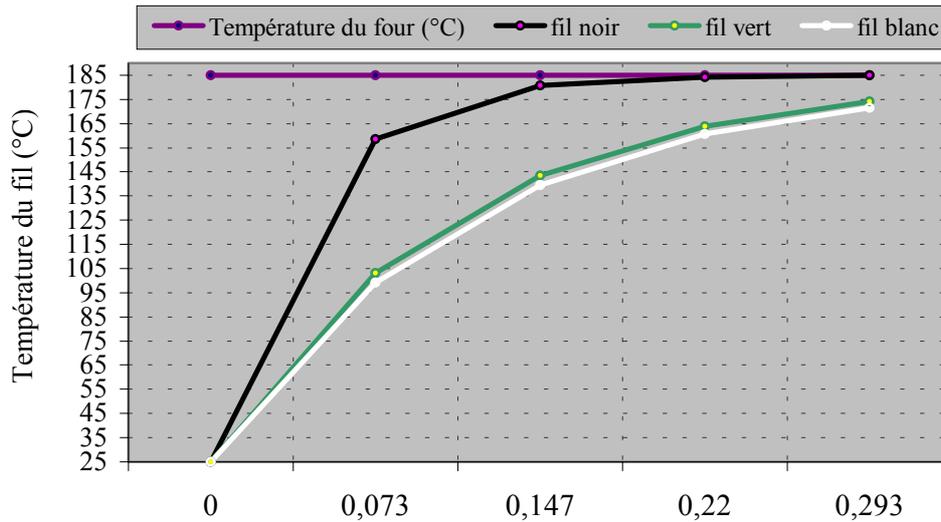


Fig. 14 - Evolution de la température des fils de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 409 \text{ m/min}$; $T_a = 185 \text{ °C}$.

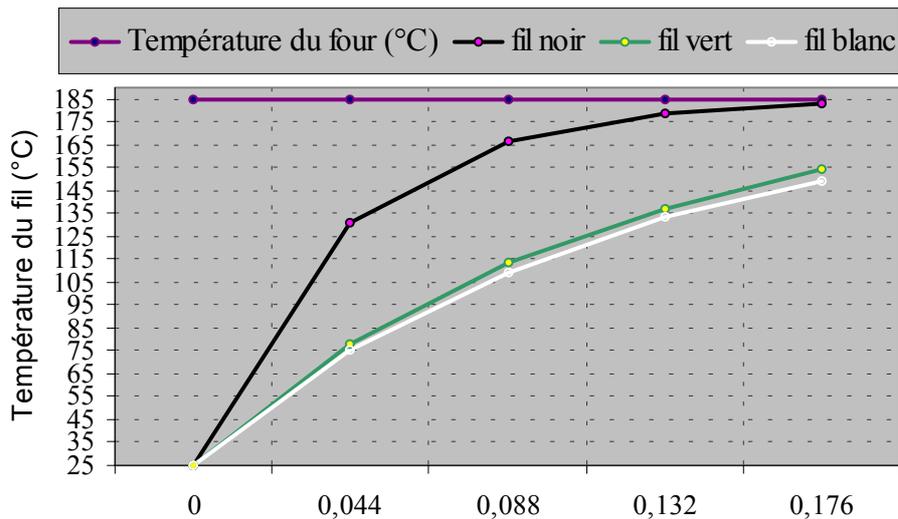


Fig. 15 - Evolution de la température des fils de différentes couleurs dans le four ;
 $V = 683 \text{ m/min}$; $T_a = 185 \text{ °C}$.

Discussion :

- Quelle que soit la couleur du fil, sa température est moindre à la sortie du four lorsqu'on augmente sa vitesse de passage et on diminue la température du four.
- Le fil noir s'échauffe beaucoup plus vite et atteint dans tous les cas la valeur pré-réglée de la température du four T_a : avec une vitesse de défilement minimale, il atteint T_a après avoir seulement parcouru la moitié de la longueur du four ; avec une vitesse maximale, il atteint T_a au bout du 2/3 de son parcours.
- Les fils blanc et vert s'échauffent beaucoup moins vite que le fil noir et n'arrivent jamais à atteindre la température désirée T_a : ils ne peuvent atteindre dans les conditions favorables qu'environ 50 % de T_a à mi-chemin et 87 % à la sortie du four.

Conclusions :

1. Après avoir introduit les coefficients trouvés d'absorption de chaleur A_j dans la formule de la température du fil, l'examen de l'évolution de cette dernière à l'intérieur du four permet donc d'avancer qu'elle porte un caractère logique et cohérent : le fil noir, se comportant comme un absorbeur parfait de chaleur, s'échauffe beaucoup plus et plus rapidement que les fils blanc et vert.

2. La couleur du fil a une grande influence sur son intensité de chauffage. Par exemple, le fil noir est plus chaud que le fil blanc de :

- A une vitesse de $V=409$ m/min : 58.14 % en moyenne à 1/4 de son parcours, 29.23 % à la moitié, 14.59 % au 3/4 et 7.46 % à la fin de son parcours dans le four.
- A une vitesse de $V=683$ m/min : 68.98 en moyenne à 1/4 de son parcours, 48.81 % à la moitié, 33.78 % au 3/4 et 22.12 % à la fin de son parcours dans le four.

3. Le fil noir, s'échauffant au maximum très rapidement, acquiert ainsi une aptitude beaucoup plus importante à la déformation suite aux différentes sollicitations mécaniques qu'il subit : Face au moment de torsion, ses macromolécules ainsi que ses filaments s'enroulent en spirales plus rapidement avec une plus grande intensité ; c'est ce qui lui permet d'emmagasiner une énergie élastique plus importante et d'augmenter sa surface de frottement inter filamentaire qui se traduisent respectivement par un allongement plus grand.

CHAPITRE III

CARACTERE D'INFLUENCE DES FACTEURS
DE TEXTURARTION SUR LES FILS TEXTURES
DE NATURE ET TITRAGE DIFFERENTS

III. CARACTÈRE D'INFLUENCE DES FACTEURS DE TEXTURATION SUR LES FILS TEXTURÉS DE NATURE ET TITRAGE DIFFÉRENTS.

III.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre sera consacré à la détermination, pour certains fils texturés, ses conditions optimales de fabrication selon son rapport « qualité / prix ». Il sera en même temps question d'analyser le comportement de différents fils, soumis aux diverses sollicitations thermomécaniques lors de la texturation.

Aussi, les réponses et éclaircissements apportés par cette étude serviront de « guide technique » pour les entreprises nationales de texturation et leur permettront de prendre rapidement les dispositions nécessaires en cas de changements fréquents des caractéristiques physico-mécaniques des produits à texturer, ce qui contribuera à développer la « maîtrise » et la « flexibilité » de leur processus technologique.

Pour pouvoir maîtriser ces différents phénomènes, il devient nécessaire de bien assimiler certaines notions de rhéologie des fils synthétiques et aussi de transferts thermiques vers et à travers un fil synthétique.

Tout en se dotant de ces notions, qui sont d'ailleurs largement détaillées dans la partie théorique, on se propose plus précisément d'élucider la question relative à « l'influence des différents paramètres de texturation sur les propriétés du fil texturé de différents titrages. On procédera donc à la fabrication de plusieurs fils texturés de différents titrages, afin de pouvoir mettre en évidence le caractère d'influence des facteurs de texturation sur les propriétés finales des fils texturés obtenus ».

Les résultats expérimentaux exploités dans cette partie seront ceux obtenus par nos soins et ceux obtenus par des recherches antérieures. Ces résultats ont été obtenus suite à des expériences réalisées dans deux entreprises de texturation : « TEXTURFIL – El-Achour » et « POLYTEXT- Rouiba ».

III.2. METHODOLOGIE DE TRAVAIL :

Des fils texturés de différents titrages seront fabriqués selon plusieurs combinaisons de réglages de la machine, puis analysés. Ces combinaisons seront évaluées d'après leur qualité et leur coût de fabrication, afin d'en déterminer celle la plus optimale, en tenant compte de sa destination.

Pour arriver à cet objectif, les étapes suivantes ont été nécessaires :

- 1) Précision des caractéristiques des matières premières utilisées.
- 2) La fixation du type de paramètres de sortie à étudier.
- 3) La planification des expériences.
- 4) Le traitement des résultats expérimentaux.

- 5) L'interprétation des modèles mathématiques obtenus.
- 6) Conclusions.

III.2.1 Caractéristiques de la matière première utilisée :

Pour cette étude, on a procédé à la fabrication de plusieurs fils texturés de titrages différents, dont les caractéristiques de la matière première correspondante sont présentées sur le tableau 11 :

Tab.11– Caractéristiques des matières premières utilisées pour la fabrication de fils texturés de différents titrages.

	Nature du fil alimentaire (POY)	Titre du POY en deniers	Nombre de filaments	Aspect	Titre en deniers du fil texturé obtenu
01	Polyester 2GT	254	36	Blanc	150
02	Polyester 2GT	120	34	Blanc	75
03	Polyamide-6	88.2	18	Blanc	70

III.2.2 Paramètres de sortie étudiés :

Les principaux paramètres caractérisant un fil texturé sont :

- L'irrégularité du titre du fil texturé.
- L'allongement à la rupture et son irrégularité.
- La ténacité du fil texturé et son irrégularité.
- Le travail à la rupture, ou son module d'élasticité.
- La contraction à la frisure et sa stabilité.
- L'effet gonflant et sa régularité.
- Le retrait à l'eau bouillante et sa régularité.
- Le nombre de point de soudure pour le fil pincé et sa stabilité.
- L'intensité des points de soudure.

Remarque :

Certaines propriétés ne sont pas précisées pour l'ensemble des fils étudiés, cela est lié aux types d'appareils d'analyse disponibles dans l'entreprise concernée.

III.2.3 Planification des expériences :

La planification, la réalisation et le traitement des résultats ont été effectués selon le mode d'une « expérience factorielle totale (EFT) », déjà expliqué dans le paragraphe (II.1.8).

III.2.3.1 Facteurs d'entrée considérés :

Se référant aux différents articles scientifiques, on remarque que les facteurs d'entrée sont le plus souvent considérés en fonction du but recherché. Ces facteurs sont :

- Température du premier four.
- Température du second four.
- Vitesse de texturation du fil.
- Pression d'air (pour un fil pincé).
- Vitesse de rotation du mécanisme de fausse torsion et leurs combinaisons.
- Tensions du fil dans les fours et au niveau de la bobine.

Pour notre cas, on tiendra seulement compte des quatre premiers facteurs cités plus haut, car les températures des fours et la vitesse de texturation influent directement sur le comportement thermomécanique des filaments. D'autre part, la prise en compte de la vitesse exprime la variation du taux de torsion communiqué aux filaments, ainsi que la production de la machine.

III.2.3.2 Choix des intervalles de variation des facteurs d'entrée :

Ce choix est conditionné par :

- Le domaine de variation considéré.
- Le volume d'expérience en vue.
- Les possibilités de réglage de la machine.
- L'expérience pratique et les connaissances théoriques.

III.2.3.3 Matrice codée de travail pour chaque paramètre de sortie :

Lors de notre étude nous allons utiliser l'expérience factorielle totale. Donc, le nombre d'expériences est égale à 2^k (où : k est le nombre de facteurs d'entrée ; « 2 » est le nombre de niveaux ; (+1) est le niveau supérieur ; (-1) est le niveau inférieur, par rapport à un niveau (0) de base).

Tab : 12 - Matrice de travail codée pour 2, 3 facteurs.

N°	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

III.2.3.4 Matrice naturelle de travail pour chaque paramètre de sortie :

On peut voir sur le tableau ci-dessous les différentes matrices utilisées pour la texturation des fils considérés : (Tab13)

Tab 13 - Matrices de travail, pour la texturation des fils considérés.

Paramètres d'entrée considérés	Codification des facteurs d'entrée	Intervalle de variation	Niveau inférieur (-1)	Niveau de base (0)	Niveau Supérieur (+)
Polyester 150f36 deniers «texturé selon le procédé FT »					
Vitesse V (m/min)	X1	119.5	503	622.5	742
Température T (°C)	X2	10	90	200	210
Pression d'air P (bar)	X3	0.5	2	2.5	3
Polyester 75f34 deniers «texturé selon le procédé FTF »					
Température T ₁ (°C)	X ₁	10	190	200	210
Température T ₂ (°C)	X ₂	10	180	190	200
Vitesse V (m/min)	X ₃	50	450	500	550
polyamide-6 70f18 deniers					
Vitesse V (m/min)	X1	137	409	546	683
Température T (°C)	X2	10	165	175	185

III.2.4 Traitement des résultats expérimentaux :

- Pour le fil texturé PES 150f36 deniers : voir annexe 4.
- Pour le fil texturé PES 75f34 deniers : voir annexe 5.
- Pour le fil texturé PA-6 70f18 deniers : voir annexe 6.

Tab 14 - Influence des paramètres de réglages sur les propriétés du fil texturé de différents titrages.

	TYPE DE FIL TEXTURE		
	POLYESTER 150 F 36 DENIER FT PINCÉ	POLYESTER 75 F 34 DENIER FTF PINCE	POLYAMIDE-6 70 F 18 DENIER
MACHINE UTILISEE	DCS 1200 "RIETER SCRAGG"	FK-6 900 "BARMAG"	DCS 1200 "RIETER SCRAGG"
Fiche technique de la machine			
Nombres de position	216	216	216
Vitesse mécanique maximum	1200 m/min	900 m/min	1200 m/min
Dimensions (m)			
• Longueur totale	18.260	17.380	18.260
• Largeur totale	6.620	7.650	6.620
• Hauteur totale	4.100	4.250	4.100
Four primaire :			
• Type de four	Thermosiphon à demi-baie.	Thermosiphon à demi-baie.	Thermosiphon à demi-baie.
• Longueur	2.0 m	2.0 m	2.0 m
• Quantité	36	36	36
• Charge	1.48 Kw	/	1.48 Kw
• Coefficient de transfert de chaleur α	1038.88 W/m ² .°K	/	1038.88 W/m ² .°K
• Gamme de température	160°C à 250°C	/	160°C à 250°C
Unités de torsion :			
• Type	' POSITORQ 2A' à friction.	' type 7' à friction.	' POSITORQ 2A' à friction.
• Quantité	216	216	216
• Sens de torsion	Tout S, tout Z ou S et Z alternativement.	Tout S, tout Z, ou S et Z alternativement.	Tout S, tout Z ou S et Z alternativement.

<p>Four final :</p> <ul style="list-style-type: none"> Type de four Longueur Quantité Gamme de température <p>Section de réception :</p> <ul style="list-style-type: none"> Longueur de bobine Diamètre maximum Poids : bobine cylindrique/ bobine conique 75° Volume : bobine cylindrique/ bobine conique : Angles de conicité Longueur du tube de réception Alésage du tube de réception 	<p>/</p> <p>250 mm 265 mm</p> <p>/</p> <p>/</p> <p>3° ,7°, 14° ou 21° 290 mm 69.05 / 69.21(bouts simples) 57.69 / 57.99 (bouts ronds)</p>	<p>four à résistance électrique à longues doublures. 1.46 m. 9 blocs 50°C à 230°C</p> <p>250 mm 250 mm</p> <p>6/5 Kg</p> <p>11.5/ 10.1 dm3 75°</p> <p>/</p> <p>/</p>	<p>/</p> <p>250 mm 265 mm</p> <p>/</p> <p>/</p> <p>3° ,7°, 14° ou 21° 290 mm 69.05 / 69.21(bouts simples) 57.69 / 57.99 (bouts ronds)</p>
<p>Résultats expérimentaux</p>	<p>Voir annexe N°1</p>	<p>Voir annexe N°2</p>	<p>Voir annexe N°3</p>
<p>MODELES MATHEMATIQUES OBTENUS</p> <ul style="list-style-type: none"> Allongement à la rupture. Ténacité. Effet gonflant (BULK ; CC). Retrait (SBW ; CS) Nombres de points de soudure. 	<p>All=47.869 -0.0096V -11.276 P -0.111 T + 0.0038VP + 0.044PT</p> <p>Ten = 8.859 – 0.023 T - 0.01 V + 0.00005VT</p> <p>BULK=145.601- 0.042 V - 45.272 P - 0.434 T + 0.017VP + 0.174PT</p> <p>SBW =-11.196 – 0.004 V + 0.092 T +7.636 P + 0.002 VP - 0.046 PT</p> <p>NPS =142.237 - 0.0506 V</p>	<p>All =2000.18 – 9.979 T₁-11.90 T₂-3.766 V + 0.0601 T₁T₂ + 0.0191 T₁V + 0.023 T₂V – 0.000116 T₁T₂V</p> <p>Ten = 8.597- 0.017 T₁-0.061T₂ + 0.012 V + 0.00027 T₁T₂ - 0.00006 T₁V</p> <p>CC =- 98.34+ 0.304T₁+1.009 T₂-0.1324 V +0.00134 T₁V - 0.0006 T₂V- 0.0042 T₁T₂</p> <p>CS = 209.954 - 0.602T₁-0.039T₂ - 0.204 V + 0.001VT₁</p> <p>NPS = - 386.05 + 3.208T₁+2.112 T₂ + 0.5204 V – 0.015 T₁T₂ + 0.00266 T₂V</p>	<p>All = -25.736 + 0.056 V + 0.367 T - 0.00039 VT</p> <p>Ten = 3.068 + 0.001 V + 0.011 T</p> <p>BULK= 545.825 - 0.675 V - 2.717 T + 0.0037 VT</p> <p>SBW = 16.95 + 0.021 V - 0.085 T - 0.00007 VT</p> <p>--</p>

Tab. 15 - Caractère d'influence des facteurs de texturation sur les propriétés des fils texturés de différents titrages.

Effet sur → Augmentation de ↓	Allongement			Ténacité			Effet gonflant			Retrait			N.P.S			Code
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Vitesse V	↘	↘	↘	→	→	↗	↗	↗	↘	↗	↘	↗	↘	↘		1 : Polyester 150 f 36 deniers FT Pincé. 2 : Polyester 75 f 34 deniers FTF Pincé. 3 : Polyamide-6 70 f18 deniers.
Température du four T1	↘	↘	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘	→	↗		
Température du four T2		↘			↘			↘			↘			↗		
Pression d'air P	↘			→			↘			↘			→			

Tab.16 - Caractère d'influence, proposé par la firme RIETAR-SCRAGG, des facteurs de texturation (V, T) sur les propriétés des fils texturés.

Effet sur → Augmentation de ↓	Torsion	Décitex	Ténacité	Allongement	L'effet gonflant	Code
Vitesse V	→	→	→	↘	↘	→ : Pas d'effet ↗ : Augmentation
Température du four T ₁	→	→	↘	↘	↗	↗ : Légère augmentation → : Effet variable
Température du four T ₂	→	→	→	↗	↘	↘ : Diminution ↘ : Légère diminution

III.2.5 Interprétation des résultats, à partir des modèles mathématiques obtenus :

En analysant les modèles mathématiques, exprimant l'influence des facteurs de texturation sur les propriétés des fils texturés de différents titrage, on constate que (voir tab.15) :

1. Les fils texturés de différents titrages dépendent de façon différente des paramètres de texturation.
2. Le caractère d'influence des paramètres de texturation sur les propriétés des fils obtenus varie non seulement en fonction de leur grosseur, mais de leur nature aussi.
3. Les informations données par le constructeur « Rieter-Scragg », dans le catalogue de marche de la machine (tab.16), sont trop généralisées, contrairement aux nôtres qui sont plus précises sur les spécificités du comportement des fils de différents titrages et natures, lors de leur texturation.
4. L'effet variable dans le tableau présenté par « Rieter-Scragg » (tab.16) est bien explicité sur notre tableau (tab.15) par une évolution positive ou négative en fonction du titrage du fil.

CHAPITRE IV

APPRECIATION DE LA QUALITE EN TEXTURATION PAR LA METHODE DES NOMOGRAMMES ET SON EVALUATION

IV. APPRECIATION DE LA QUALITE EN TEXTURATION PAR LA METHODE DES NOMOGRAMMES ET SON EVALUATION.

IV.1. INTRODUCTION : Argumentation pratique.

La notion « qualité » pour les fils texturés fabriqués et commercialisés en Algérie est quasi inexistante. Ceci peut être expliqué par deux raisons essentielles : d'une part, une offre très faible par rapport à la demande et d'autre part, le manque de compétences techniques dans le milieu des producteurs.

Ainsi, très souvent, on remarque de la part des clients, soit l'absence totale de cahier de charges, soit des exigences se limitant au seul titrage. Ce qui constitue, en réalité, un handicap de taille pour les producteurs et aussi pour les utilisateurs de fils texturés, car les premiers portent préjudices à eux mêmes, en perdant d'abord une importante plus value lorsqu'ils vendent de la « sur-qualité », puis leur crédibilité technique lorsqu'ils vendent de la « non-qualité », alors que les deuxièmes ne sont jamais sûrs de la conformité de leur matière première (fils texturés) face aux exigences de leurs produits finis.

C'est donc pour pallier à cette absence d'outils d'appréciation de la qualité des fils texturés fabriqués au niveau de l'entreprise « Polytext », que nous nous proposons de réaliser une étude dans ce sens.

Pour atteindre cet objectif, nous allons envisager l'application d'une méthode appropriée à ce type de production, appelée « méthode des nomogrammes de gradation de la qualité ».

Cette méthode tient compte non seulement de la qualité intrinsèque du fil texturé fabriqué, mais aussi et surtout de sa destination. Cette dernière condition est nécessaire, car les fils texturés fabriqués à l'entreprise « Polytext » sont destinés pour diverses applications (tissus d'habillement, tissus d'ameublement, tapis, bonneterie).

IV.2. CONSIDERATIONS THEORIQUES :

La méthode des nomogrammes de gradation de la qualité, basée sur la détermination de l'indice de qualité de chaque paramètre \mathbf{d}_i , donne une dimension supplémentaire aux résultats obtenus, puisqu'elle permet d'établir, à l'aide de fonctions préférentielles déjà connues (délimitées dans l'intervalle]0 ;1]) (voir tab.3), le lien entre l'évolution de l'indice de qualité \mathbf{d}_z la plus proche de la réalité et chaque valeur naturelle correspondante $\mathbf{Z}(\mathbf{X}_z)$ d'une propriété donnée, par l'intermédiaire d'un indice de transfert \mathbf{y}_z et ce, tout en conservant le sens physique et normalisé de la notion « qualité ».

Pour notre cas, on va utiliser la courbe de « Homperfs », car ses propriétés plus adaptées et l'efficacité de son application ont déjà été confirmées par « E. Harrington » [28].

Cette fonction préférentielle a l'allure :

$$d_z = \exp\left[-\exp(-y_z)\right] \quad (\text{IV.1})$$

où : d_z – indice préférentiel optimisé de la qualité du $i^{\text{ème}}$ paramètre ; y_z – indice auxiliaire de transfert, correspondant à la valeur naturelle x_z du $i^{\text{ème}}$ paramètre.

Tout l'intervalle des valeurs de cette fonction préférentielle a été décomposé en une série de parcelles, exprimant chacune une certaine gradation de la qualité du matériau, d'après la caractéristique « Y » considérée.

Les gradations principales envisageables correspondent à une qualité mauvaise, une qualité satisfaisante et une qualité excellente.

A l'intérieur de ces parcelles principales, on choisit les points de base, correspondant aux valeurs limites de la qualité de chaque gradation.

D'après l'étude de « E. Harrington » [28], ces points doivent avoir respectivement les valeurs **0,37** ; **0,63** et **0,80** , tels que :

- Le point « **0,37** » est déterminé à partir de considérations mathématiques : il indique l'endroit de flexion de la courbe de la fonction (IV.1), (voir tableau N°19). Au dessous de ce point, la qualité est jugée comme « mauvaise ».
- Les points « **0,63** » et « **0,80** » indiquent respectivement la borne inférieure de la qualité « bonne » et de celle « excellente ».
- Le point « **0,80** » est déterminé d'une manière telle, que les valeurs $y_z = \ln(\ln d_z)$ forment une échelle linéaire. Ces valeurs y_z sont respectivement $\{0; 0,77; 1,53\}$, pour les trois bornes de la qualité, (voir tableau N°17).

Tab. 17 – Valeurs limites des indices de qualité « d_z » et des indices auxiliaires correspondants « y_z ».

Niveau de la gradation de la qualité	Indice préférentiel, d_z	Indice auxiliaire, y_z
Excellente	$\geq 0,80$	$\geq 1,53$
Bonne	$\geq 0,63$	$\geq 0,77$
Satisfaisante	$\geq 0,37$	≥ 0
Mauvaise	$< 0,37$	< 0

A chacune des 3 valeurs de base y_z , on fait correspondre un facteur naturel normatif x_z . Lorsque l'échelle est régulière et linéaire pour les facteurs normatifs, on aura :

$$y_z = a_0 + a_1 x_z ; \quad (\text{IV.2})$$

Dans ce cas, on doit seulement utiliser les points extrêmes inférieurs limites : « satisfaisant » et « excellent ». Pour le calcul des coefficients « a_0 » et « a_1 », on compose alors le système d'équations :

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 = a_0 + a_1 \cdot X_{\text{satis}} \\ 1,53 = a_0 + a_1 \cdot X_{\text{excl}} \end{array} \right\} ; \quad (\text{IV.3})$$

où :

a_0, a_1 – coefficient de la relation linéaire entre l'indice auxiliaire y_i et le facteur naturel x_i ;
 $X_{satis.}$, $X_{excel.}$ – valeurs normatives du facteur naturel, correspondant respectivement à la qualité «satisfaisante» et à la qualité «excellente».

La gradation avec le niveau normatif « bon » peut être exprimé par le milieu de l'intervalle [$X_{(excellent)}$; $X_{(satisfaisant)}$].

On obtient, après la résolution du système d'équations (IV.3), les deux coefficients a_0 et a_1 .

Le choix du niveau des paramètres, selon les gradations de la qualité, s'effectue pour les deux points extrêmes basiques : « satisfaisant et excellent ». Ces points sont obtenus, en consultant les documents techniques, de normalisation (ISO ; AFNOR ; GOST ; ...), ainsi que les résultats des dernières performances dans ce domaine.

Pour notre cas, pour les différents paramètres considérés du fil texturé de titrage 70f18den. en polyamide-6, les valeurs correspondant à ces deux points ont été choisies de la façon suivante :

- ◆ La valeur limite inférieure " $X_{excel.}$ " correspond à la valeur expérimentale maximale.
- ◆ La valeur limite inférieure " $X_{satis.}$ " correspond à la valeur expérimentale minimale.

Ta 18 - les valeurs excellente, satisfaisante, et bonne pour les différents paramètres

Gradation de la qualité	Allongement à la rupture (%)	Ténacité (gr/d)	Effet gonflant "BULK" (%)	Retrait à l'eau bouillante "SBW" (%)
Excellente " $X_{excel.}$ "	35,09	5,93	73,59	4,18
Satisfaisante " $X_{satis.}$ "	28,44	5,38	49,80	8,72
Bonne " X_{bonne} " « $X_{bonne} = \frac{X_{excel} + X_{satis}}{2}$ »	31,76	5,65	61,69	6,45

Ainsi, d'après le système d'équations (IV.3), on peut déterminer les équations de transfert pour les différents paramètres ; on trouve :

1. Allongement : $y_A = - 6,54 + 0,23X$
2. Ténacité : $y_{Tr} = - 14,97 + 2,78X$
3. Effet gonflant : $y_{BULK} = - 3,20 + 0,06X$
4. Retrait à l'eau bouillante : $y_{SBW} = 2,94 - 0,34X$

Pour déterminer l'indice de qualité « d_z » d'une valeur X_z d'un $i^{\text{ème}}$ paramètre du produit, on doit suivre les étapes suivantes :

- On introduit la valeur de X_z dans l'équation de transfert et déterminer " y_z ".
- On introduit la valeur de y_z obtenue dans la formule de l'indice de qualité (IV.1), puis on calcule l'indice de qualité " d_z ".

Exemple pour une valeur de l'allongement $A = 30,39\%$:

- $y_A = -6,54 + 0,23X$; et $X = 30,39\%$; donc :
- $y_A = -6,54 + 0,23 \cdot 30,39 = 0,58$.
- En introduisant la valeur trouvée de $y_A = 0,58$ dans la formule de d_z (IV.1), on obtient :

$$d_z = \exp [-\exp (-0,58)] = 0,57$$

On doit répéter ce calcul pour toutes les valeurs obtenues X_z de l'allongement, dans l'intervalle considéré, pour trouver leur indice de qualité d_z correspondant, ce qui demande beaucoup de temps, même avec l'utilisation de l'outil informatique, surtout si le domaine étudié est très large et le nombre de paramètres est important.

L'existence d'une méthode graphique nous permet d'éviter tous ces longs calculs et de déterminer plus rapidement les indices d_z par simple lecture sur un nomogramme.

IV.3. EXPLOITATION GRAPHIQUE DE LA METHODE DE GRADATION DE LA QUALITE D'UN PRODUIT, A L'AIDE DE NOMOGRAMMES « Xy_d ».

La méthode analytique, examinée ci-dessus, de détermination de l'indice de qualité d_z correspondant à une valeur X_z du paramètre Y , peut être exploitée sous forme graphique [28], en élaborant des nomogrammes trifactoriels « x, y, d ».

Cette méthode graphique permet d'arriver aux résultats finaux plus rapidement et de donner une vision générale de l'évolution des valeurs de l'indice de qualité d_z correspondant à l'ensemble des valeurs X_z du domaine étudié, grâce à l'élaboration d'un nomogramme de la qualité pour chaque propriété du produit.

De plus, ces nomogrammes nous montrent clairement les délimitations des différentes gradations de la qualité (mauvaise ; satisfaisante ; bonne ; excellente).

Ceci est très important, car on peut, par simple lecture sur un nomogramme, localiser la plage des valeurs que peut prendre une propriété donnée du produit sans changer sa gradation.

Ces nomogrammes sont construits dans l'ordre suivant :

1. On trace deux axes perpendiculaires O_d et O_y .
2. On reproduit sur l'axe O_d les valeurs de l'indice préférentiel d_z , dans un domaine de 0 à 1, avec un intervalle de 0,1, à une échelle (1 mm / 0,01).
3. On reproduit sur l'axe O_y les valeurs de la variable de transfert y_z , dans un domaine de (-2) à (+5), avec un intervalle égal à 1, à une échelle (1 mm / 0,05).

4. On construit la courbe de la fonction préférentielle $d_z = \exp.(-\exp.-y_z)$, d'après les données du tableau 3, dans la partie supérieure du nomogramme.

Tab.19 – Valeurs tabulaires de la fonction « $d_z = \exp. [-\exp. (-y_z)]$ »

y_z	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
d_z	0,00	0,01	0,07	0,19	0,37	0,54	0,69	0,80	0,87	0,92	0,95	0,98	0,99

5. On souligne sur le nomogramme les zones des quatre gradations de la qualité, d'après les valeurs extrêmes des paramètres d_z et y_z (voir tab.19).

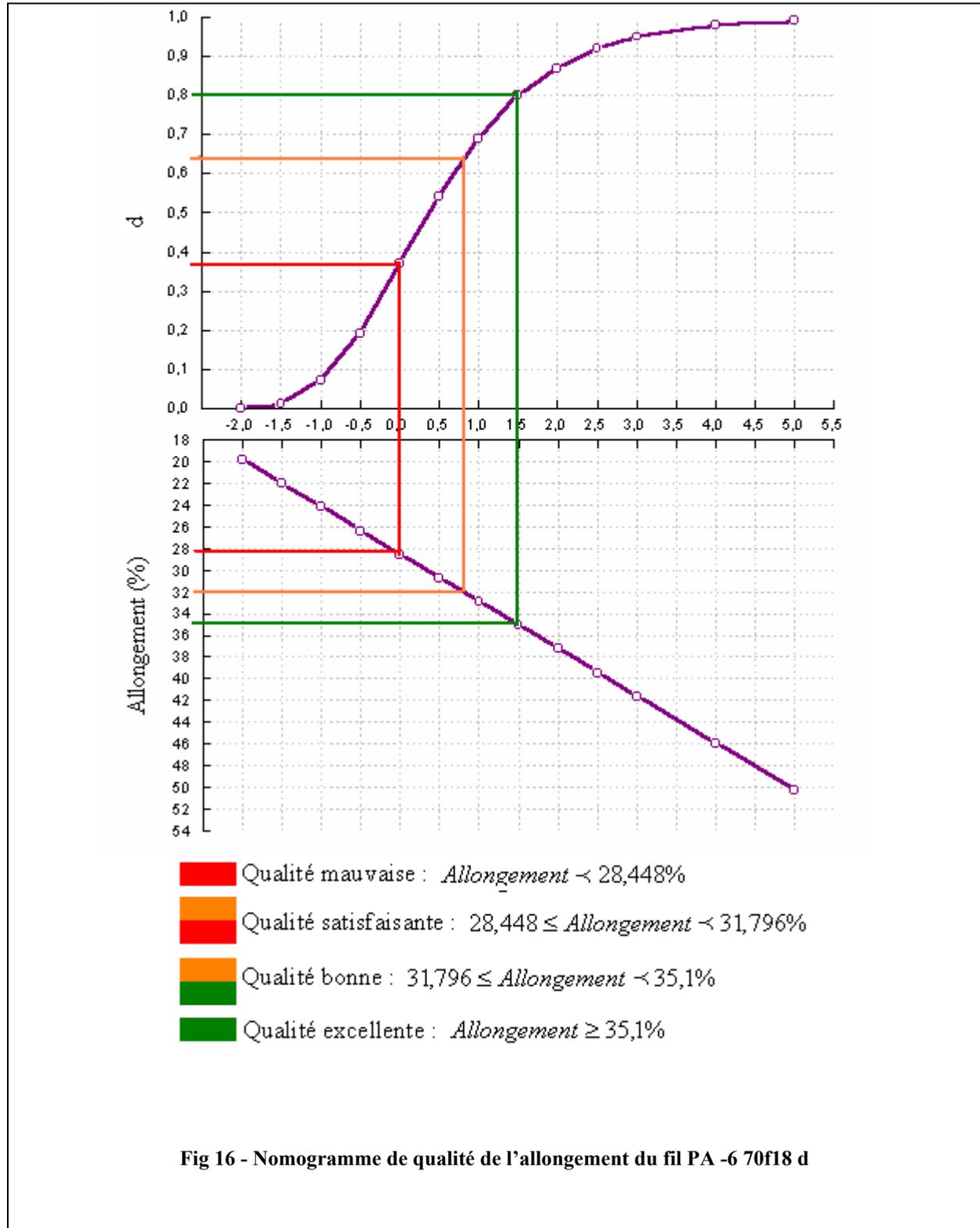
6. L'axe x des valeurs naturelles du paramètre considéré doit être le prolongement vertical vers le bas de l'axe des indices de qualité Od. Cet axe forme donc avec l'axe Oy la moitié inférieure du nomogramme.

7. Les échelles, selon les axes Od et Oy, doivent rester invariables, alors que l'échelle selon l'axe OX peut changer, car elle est à chaque fois précisée, en fonction des valeurs de chaque paramètre mesurable.

8. On trace dans le plan XOy la droite $y = f(X)$ trouvée d'après le système d'équation (IV.3).

9. Finalement, à partir de chaque valeur X_z , on fait une première projection horizontale sur la droite $y_z = f(x_z)$, puis une deuxième projection verticale sur la courbe $d_z = f(y_z)$, où on trouve le point d_z exprimant la valeur correspondante de l'indice de qualité.

Pour notre cas, les nomogrammes de qualité des propriétés étudiées du fil texturé fabriqué sont représentés à l'aide des figures 16 ; 17 ; 18 ; 19.



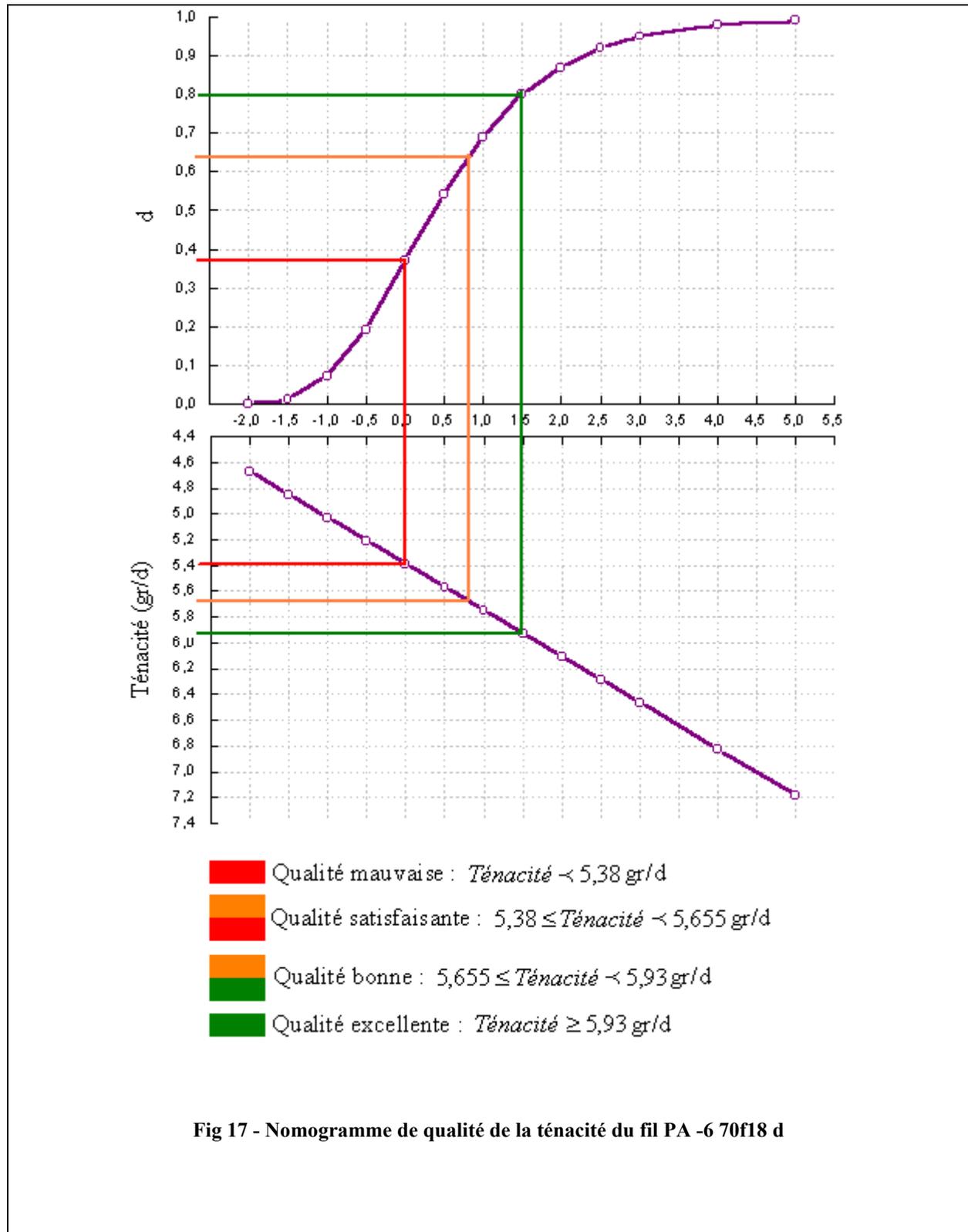


Fig 17 - Nomogramme de qualité de la ténacité du fil PA -6 70f18 d

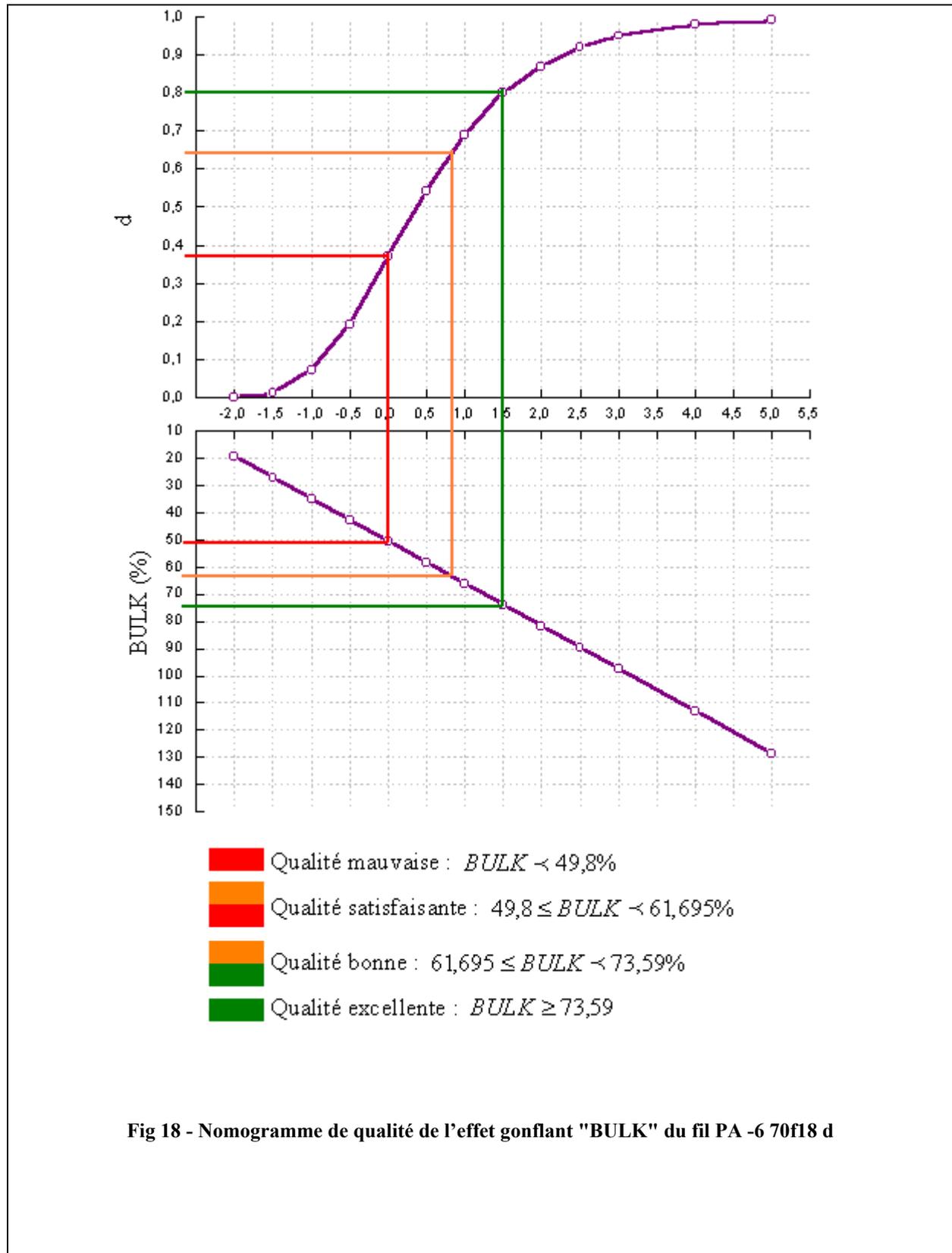


Fig 18 - Nomogramme de qualité de l'effet gonflant "BULK" du fil PA -6 70f18 d

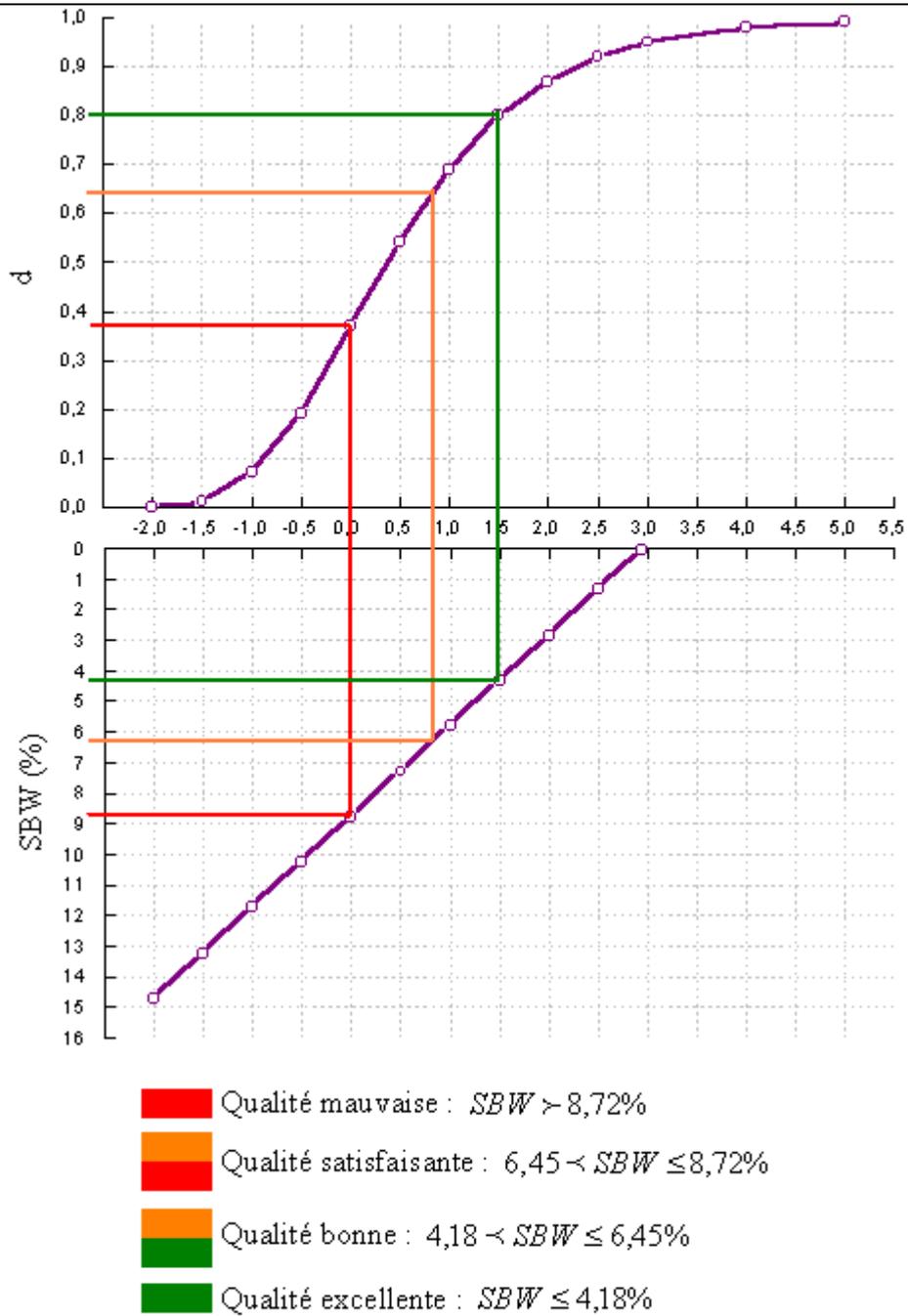


Fig 19- Nomogramme de qualité du retrait à l'eau bouillante "SBW" du fil PA -6 70f18 d

Discussion :

- ◆ L'élaboration d'un nomogramme pour une $i^{\text{ème}}$ propriété est une opération facile et rapide à exécuter, puisqu'il ne s'agit finalement que de déterminer l'équation de la droite $y_z = f(X_z)$, puis la tracer sur la partie inférieure du nomogramme. La partie supérieure, représentant la courbe $d_z = f(y_z)$, étant toujours identique.
- ◆ La détermination de la qualité de n'importe quelle valeur X_z d'une propriété considérée Y_i se fait rapidement par simple lecture sur le nomogramme.
Exemple : Pour une valeur quelconque du retrait égale à 8%, on peut rapidement trouver la valeur correspondante de sa qualité satisfaisante, égale à 0.45 (fig.19).
- ◆ Le nomogramme de qualité d'une propriété donnée permet de porter un jugement sur la qualité de cette propriété uniquement, indépendamment des autres.
Aussi, son intérêt primordial est d'avoir toujours sous les yeux la variation admissible de la valeur X_z pour un même niveau (gradation) de qualité exigée.

Conclusions :

1. La qualité de chaque paramètre peut être divisée en quatre gradations, (tab.20) :

Tab.20 – Gradations de la qualité des paramètres considérés, selon leurs valeurs naturelles.

Gradations de la qualité	Paramètres			
	Allongement	Ténacité	BULK	SBW
Excellente	$\geq 35,09$	$\geq 5,93$	$\geq 73,59$	$\leq 4,18$
Bonne	$\geq 31,765$	$\geq 5,655$	$\geq 61,695$	$\leq 6,45$
Satisfaisante	$\geq 28,44$	$\geq 5,38$	$\geq 49,8$	$\leq 8,72$
Mauvaise	$< 28,44$	$< 5,38$	$< 49,8$	$> 8,72$

2. Les nomogrammes permettent d'avoir une vision globale claire et rapide sur l'évolution de la qualité de chaque paramètre, ainsi que son passage d'une gradation à l'autre.

IV.4. CONSIDERATIONS SUPPLEMENTAIRES A ENVISAGER, LORS DE L'EMPLOI DE LA METHODE DES NOMOGRAMMES DE QUALITE.

Les propriétés d'un fil texturés sont multiples (ténacité, allongement, retrait, effet gonflant, régularité, ...). Aussi, exprimer la qualité en fonction d'une seule de ses propriétés est évidemment irrationnel. Pour exprimer sa qualité en considérant toutes ses propriétés ainsi que sa destination, il devient nécessaire de résoudre deux problèmes essentiels :

1. La prise en compte de l'ordre d'importance des propriétés du produit en fonction de sa destination.

Cette première condition peut être résolue par l'utilisation d'une méthode statistique très élaborée [31], connue sous le nom de « méthode de l'expertise », permettant de faire correspondre un coefficient de pondération (d'importance) γ_i à chaque $i^{\text{ème}}$ propriété du produit fabriqué en fonction de sa destination.

2. La possibilité de réunir un ensemble de propriétés, ayant des unités de mesure différentes, dans un seul indice global, qui puisse garder le sens physique et se rapprocher au maximum de l'appréciation générale des utilisateurs.

Dans un premier temps, l'application de la méthode des nomogrammes de gradation de la qualité a permis d'avoir une vision claire et rapide sur l'évolution de la qualité de chaque propriété d'un produit, ainsi que son passage d'une gradation à l'autre. Mais on remarque, que jusqu'à présent, l'application de cette méthode ne nous a pas permis de déterminer la qualité globale du produit étudié.

A cet effet, il est nécessaire d'adjoindre à la méthode principale (élaboration de nomogrammes établissant la correspondance entre chaque valeur X_z d'une propriété donnée et son indice de qualité d_z respectif) les deux autres méthodes auxiliaires mentionnées plus haut, qui permettent de déterminer :

- ◆ Le coefficient de pondération (d'importance) de chaque propriété, en fonction de la destination du produit.
- ◆ L'indice global de la qualité du produit, qui doit tenir compte des indices de qualité de toutes les propriétés considérées de ce produit.

IV.4.1 Détermination des coefficients de pondération de chaque propriété du produit [31].

Pour la détermination du degré d'importance de chaque paramètre d'un fil texturé, à l'aide de son indice de pondération γ_i , on doit en premier lieu faire appel à un nombre suffisant d'experts, qui auront la tâche de classer tous les paramètres considérés selon leur ordre d'importance dans l'appréciation de la qualité de ce fil, en fonction de sa destination.

Pour notre étude, le nombre d'experts sollicités est égal à $n=10$; ce sont des enseignants à l'université de Boumerdès, spécialistes dans le domaine textile, ainsi que des producteurs et utilisateurs de fils texturés.

Le coefficient pondéral (γ_i) de chaque paramètre est déterminé d'après la formule :

$$\gamma_i = (100/S_i) / \sum_{i=1}^n (100/S_i)$$

où : S_i – somme des rangs du $i^{\text{ème}}$ paramètre, après 5 corrections correspondantes, (voir tableau 3).

Par l'application de cette méthode, on a dressé le tableau (21), où est représentée la série de calculs successifs, à la fin desquels sont précisées les valeurs obtenues des coefficients pondéraux, correspondant aux paramètres considérés du fil texturé étudié, en fonction de sa destination.

Méthodologie à suivre :

- 1). Précisez le nombre d'experts [(m) ; j= (1, m)].
- 2). Précisez les (n) paramètres mentionnés sur la fiche d'enquête [(y_i ; i = (1, n)].
- 3). Le paramètre le plus important doit être classé par chaque expert à l'aide du rang R = 1.
- 4). Pour chaque expert la somme des rangs doit être identique :

$$\sum_{i=1}^n R_{ji} = 0.5 * n(n+1) = \text{const}$$

Si cette condition n'est pas satisfaisante, il faut faire les corrections nécessaires.

- 5). on calcul la somme des rangs (verticalement) :

$$S_{Pi} = \sum_{i=1}^m R_{ji} ; \quad \text{avec } (p = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

Verticalement p = 0. On vérifie avec l'égalité : $\sum_{i=1}^n S_i = 0.5.m.n.(n+1) = m \sum_{i=1}^n R_{ij}$

Où : S_i montre l'estimation commune des experts ; S_{i min} correspond au paramètre le plus apprécié.

- 6). on calcul la somme moyenne des rangs pour tous les paramètres :

$$S_{0m} = \sum_{i=1}^n S_{0i} / n = 0.5.m.(n+1) .$$

- 7). On détermine les grandeurs $(S_{0i} - S_{0m})$ et $(S_{0i} - S_{0m})^2$.

- 8). On détermine les indices de similitude : (pour certains paramètres classés au même rang plusieurs fois par les experts).

$$T_j = \sum_{i=1}^n (t_{ij}^3 - t_{ij}) / 12$$

Où : u – nombre de similitudes dans la j^{ème} ligne ; T_j : nombre de rangs identiques dans chaque similitude de la j^{ème} ligne.

- 9). On calcule : $\sum_{j=1}^u T_j$.

10). On détermine les coefficients de concordance des experts :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - S)^2}{[m^2 \cdot (n^3 - n) / 12 - m \sum_{j=1}^m T_j]}$$

Pour chaque expert la somme des rangs R_i de tous les n paramètres doit être identique.

11). On vérifie l'importance du coefficient de concordance à l'aide du critère de X^2

$$X_{cal}^2 = W \cdot m \cdot (n - 1)$$

Si $X_{cal}^2 \succ X_t^2$; alors la valeur de W est significative.

La valeur tabulaire de X_t^2 dépend de probabilité P et du degré de liberté ($f = n - 1$)

Si $X_{cal}^2 \prec X_t^2$; alors il faut exclure du tableau les valeurs incertaines.

12). On représente la partie du tableau X^2 correspondante.

13). On remplace les valeurs de S_i par leur position (classement) dans un ordre croissant :

S_i^{\max} Sera classée en position $1 = R(S_i^{\min})$.

S_i^{\min} Sera classée en position $n = R(S_i^{\max})$

Sur le tableau on les représentera par : $R(S_i)$, tel que :

$$R(S_{\min}) = 1 ; R(S_i) ; R(S_{\max}) = n.$$

14). On trouve le module des différences (pour chaque expert et pour chaque rang):

$$\Delta R_{ji} = |R_{ji} - R(S_{0i})|.$$

15). On calcule la somme des : $\Delta R_{ji} = \sum_{i=1}^n \Delta R_{ji}$

Où : $\sum_{i=1}^n \Delta R_{ji}$ dévoile l'écart maximal des rangs des paramètres donnés par le $j^{\text{ème}}$ expert, par rapport à la

somme des rangs de tous les experts.

Ainsi, c'est les valeurs de ce $j^{\text{ème}}$ expert qui sont douteuses et qu'il faut donc éliminer de cette expertise.

Généralement, si $W \prec 0.5$, l'annulation de valeurs anormales (proposées par un expert) devient évidente, car cela exprime une concordance insuffisante entre les avis des différents experts.

16). on détermine alors les indices définitifs sommaires $S_{li} : S_{li} = S_{0i} - \sum R_{ij}^{él}$

Où : $\sum R_{ij}^{él}$ - Somme des rangs à éliminer pour le $i^{\text{ème}}$ paramètre.

Lorsque un seul expert est éliminé, on aura : $S_{li} = S_i - R_{i\text{éliminé}}$ (Pour chaque paramètre)

17). on calcule : $\sum_{i=1}^n S_{li}$

18). On détermine la somme moyenne : $S_{mk} = \sum_{i=1}^n S_{li} / n$.

19). On calcule $S_{1i} - S_{m1}$ puis $(S_{1i} - S_{m1})^2$ et aussi $\sum_{i=1}^n (S_{1i} - S_{m1})^2$.

20). On recalcule $\sum T_j$ (après avoir éliminé les valeurs des experts écartés).

21). On détermine le nouveau coefficient de concordance W (et on vérifie s'il est significatif à l'aide du critère X^2 et si $W \geq 0.5$).

- Si la signification est prouvée, on peut continuer à partir du point 26.
- Sinon, on passe au point 22 :

22). On répète les calculs de 13 puis 15, puis 16 à 24, en remplaçant S_{1i} par S_{2i} (S_{pi} par $S_{(p+1)i}$).

23). On répète les calculs de 13 puis 15, puis 16 à 23 en remplaçant S_{2i} et S_{3i} (S_{pi} par $S_{(p+1)i}$).

- Si la signification est prouvée, on peut continuer à partir du 26.
- Sinon, on passe au point 24 :

24). On détermine les coefficients pondéraux pour chaque paramètre :

$$\gamma_i = (100/S_i) / \sum_{i=1}^n (100/S_i)$$

25). On classe l'importance des paramètres, d'après leur coefficient pondéral (par ordre décroissant)

$\gamma_i = \gamma_{\max}$ Correspond au paramètre le plus important.

$\gamma_i = \gamma_{\min}$ Correspond au paramètre le moins important.

On peut voir sur le tableau (Tab21) ci-dessus l'arrangement des paramètres par les experts et les différents calculs :

Tab21 -Arrangement des paramètres par les experts pour la destination « Bas ».

Experts	Ténacité	Allongement	SBW	BULK	Σ
J=1	2	1	3	4	10
J=2	2	1	4	3	10
J=3	1.5	1.5	3	4	10
J=4	1.5	1.5	3	4	10
J=5	2	1	3.5	3.5	10
J=6	2	1	3.5	3.5	10
J=7	2	1	3	4	10
J=8	2.5	1	2.5	4	10
J=9	2	1	3	4	10
J=10	1	2	3.5	3.5	10
S_i	18.5	12	32.5	37	100
$S_i - S_m$	-6.5	-13	7.5	12	0
$(S_i - S_m)^2$	42.25	169	56.25	144	411.5
$R(S_i)$	2	1	3	4	10
$100/S_i$	0.5405	8.333	3.077	2.703	19.518
γ_i	0.277	0.427	0.158	0.138	1

Détermination du coefficient de concordance :

D’après le point 10, on peut déterminer le coefficient de concordance de tous les experts, vis-à-vis au classement de l’importance de chaque paramètre par rapport aux autres.

- Calcul du T_j pour chaque expert J :
 - $J=1 \Rightarrow u=0 \Rightarrow T_j=0$
 - $J=2 \Rightarrow u=0 \Rightarrow T_j=0$
 - $J=3 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= (2^3 - 2)/12 = 0.5$
 - $J=4 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= (2^3 - 2)/12 = 0.5$
 - $J=5 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= (2^3 - 2)/12 = 0.5$
 - $J=6 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= (2^3 - 2)/12 = 0.5$
 - $J=7 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= 0$
 - $J=8 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= (2^3 - 2)/12 = 0.5$
 - $J=9 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= 0$
 - $J=10 \Rightarrow u=1 \Rightarrow T_j= (2^3 - 2)/12 = 0.5.$

- Calcul des coefficients de concordance W :

$$W = \sum_{i=1}^n (S_i - S)^2 / [m^2 \cdot (n - 1) / 12 - m \sum_{j=1}^m T_j] = W = 411.5 / [10^2 \cdot (4^3 - 4) / 12 - 10 \cdot (3)] = 0.8755.$$

- Vérification de l’importance du coefficient de concordance à l’aide du critère de X^2

$$X_{cal}^2 = W \cdot m \cdot (n - 1) = 0.8755 \cdot 10 \cdot (4 - 1) = 26.2659$$

$$X_{t}^1(4-1; 0.05) = 7.81$$

Si $X_{cal}^2 < X_t^2$, alors le coefficient de concordance W est significatif et il existe une étroite concordance entre les experts dans l’arrangement des paramètres selon leur importance.

Selon les valeurs obtenues de γ_i , on peut disposer les propriétés étudiées, du fil texturé considéré, selon leur ordre d'importance :

- Premier :** L'allongement à la rupture, avec $\gamma_2 = 0,427$.
- Deuxième :** La ténacité, avec $\gamma_1 = 0,277$.
- Troisième :** Le retrait, avec $\gamma_3 = 0,158$.
- Quatrième :** L'effet gonflant, avec $\gamma_4 = 0,138$.

IV.4.2 Détermination de l'indice global de la qualité du produit étudié, en fonction de sa destination.

A l'aide des indices relatifs de la qualité « Q_i », ou des indices absolus « d_i », correspondant à chaque $i^{\text{ème}}$ paramètre, on peut déterminer les indices complexes de qualité K (critère de qualité) pour chaque variante de fil texturé :

$Q_i = X_i / X_{ib}$ - pour les paramètres positifs ; $Q_i = X_{ib} / X_i$ - pour les paramètres négatifs ; X_i, X_{ib} – respectivement, valeurs effective et basique du $i^{\text{ème}}$ indice de qualité (les valeurs basiques représentent les meilleurs indices parmi ceux comparés) ; $d_i = \exp. [- \exp. (- y_i)]$ - indice de qualité absolu du $i^{\text{ème}}$ paramètre; $y_i = a_0 + a_1 \cdot X_i$ - coefficient de transfert entre X_i et d_i .

L'ensemble des propriétés principales Y_i ainsi que leur coefficient de pondération étant déterminés, le passage du paramètre naturel X_i vers son indice de qualité d_i étant considéré de la manière la plus effective, on peut arriver à la détermination directe du critère complexe (global) de la qualité de chaque produit :

$$K = F \left[d_i = f (X_i) ; \gamma_i \right] .$$

Un critère complexe (global) de la qualité doit satisfaire aux exigences suivantes :

- 1). Il doit croître d'une façon monotone, lorsque la qualité croît.
- 2). Il doit être limité en bas et en haut :
 en haut : $\lim_{x_i \rightarrow \infty} K = \lim_{x_i \rightarrow \infty} F [d_i , \gamma_i] = A$;
 en bas : $\lim_{x_i \rightarrow -\infty} K = \lim_{x_i \rightarrow -\infty} F [d_i , \gamma_i] = B$.
- 3). En fonction de sa destination, le produit étudié doit avoir des propriétés bien définies, correspondant à un certain niveau optimal de la qualité, dont le dépassement devient qualitativement inutile.
- 4). La qualité ne doit pas descendre en dessous de son seuil minimal admissible et ce, quelle que soit la valeur de l'indice de qualité obtenue.

- 5). La condition $0 \leq K < 1$ doit être satisfaite, lorsque le critère de qualité s'exprime positivement entre 0 et 1, ce qui rend possible la comparaison de plusieurs objets selon le degré de leur rapprochement au niveau supérieur de la qualité.
Dans le cas contraire, on ne peut comparer, d'après les valeurs du critère, que les objets de même nature, ce qui diminue le domaine de son application.
- 6). Le critère de qualité (global) doit se rapprocher plus de la plus mauvaise valeur des indices de qualités absolus regroupés. Ce qui garantit l'impossibilité de compenser l'insuffisance de certaines propriétés par le l'augmentation (dépassement) des autres, et de ce fait diminuer le risque du consommateur (probabilité de surestimer une production de mauvaise qualité).

Les trois différents indices complexes de qualité, à l'aide desquels il est possible d'estimer la qualité des divers matériaux comparés, sont [28] :

- ◆ **Indice complexe arithmétique moyen :**

$$K_A = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot \gamma_i}{\sum_{i=1}^n \gamma_i}.$$

Inconvénient de K_A : Lors de la présence de faibles indices absolus de qualité d_i , il peut s'avérer exagérément grand, suite aux autres indices absolus élevés.

- ◆ **Indice complexe harmonique moyen :**

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{\sum_{i=1}^n (\gamma_i / d_i)}.$$

Inconvénient de K_H : Aucun indice absolu de la qualité d_i ne doit être nul. L'emploi de grandeurs inverses, variant entre 0 et 1, peut altérer les résultats obtenus.

- ◆ **Indice complexe géométrique moyen :**

$$K_G = \left(\prod_{i=1}^n d_i^{\gamma_i} \right)^{1 / \sum_{i=1}^n \gamma_i}.$$

Inconvénient de K_G : Aucun indice absolu de la qualité d_i ne doit être nul.

Discussion :

En examinant les inconvénients de chaque critère de qualité K , l'utilisation du critère géométrique K_G est plus rationnelle est efficace, car :

- ◆ Il réagit plus sensiblement à la diminution du moindre indice de qualité d_i et beaucoup plus faiblement à son augmentation.
- ◆ Il fait diminuer le risque d'une surestimation de la qualité par les consommateurs.

IV.4.3 Détermination du critère géométrique global de qualité K_G d'un fil texturé.

En tenant compte des explications avancées plus haut, la qualité globale d'un produit est plus efficacement appréciée à l'aide du critère géométrique.

Ainsi, l'expression générale de ce critère a l'allure suivante :

$$K_G = \exp \left\{ - \sum_{i=1}^n \gamma_i \left[\exp - (a_{0i} + a_{1x} x_i) \right] \right\}$$

Il est plus pratique de calculer K_G à travers son logarithme :

$$\lg K_G = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \lg d_i = k \Rightarrow K_G = 10^k$$

Ce calcul est plus facilement réalisé à l'aide d'un tableau (voir tab.22).

Tab 22- Calcul de l'indice de qualité géométrique « K_G ».

N° de la variante	Nomenclature des propriétés exigées	γ_i	d_i	$\lg d_i$	$\gamma_i * \lg d_i$
1	Allongement	0.427	0.57	-0.244	-0.104
	Ténacité	0.277	0.37	-0.432	-0.119
	BULK	0.138	0.80	-0.097	-0.013
	SBW	0.158	0.63	-0.200	-0.031
$k = \lg K = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \lg d_i$		--	--	--	-0.267
$K_G = 10^k$		--	--	--	0.540
2	Allongement	0.427	0.37	-0.432	-0.184
	Ténacité	0.277	0.65	-0.187	-0.052
	BULK	0.138	0.54	-0.267	-0.037
	SBW	0.158	0.37	-0.432	-0.068
$k = \lg K = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \lg d_i$		--	--	--	-0.341
$K_G = 10^k$		--	--	--	0.456
3	Allongement	0.427	0.81	-0.091	-0.039
	Ténacité	0.277	0.55	-0.259	-0.072
	BULK	0.138	0.36	-0.444	-0.061
	SBW	0.158	0.80	-0.097	-0.015
$k = \lg K = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \lg d_i$		--	--	--	-0.187
$K_G = 10^k$		--	--	--	0.650
4	Allongement	0.427	0.52	-0.284	-0.121
	Ténacité	0.277	0.80	-0.097	-0.027
	BULK	0.138	0.47	-0.328	-0.045
	SBW	0.158	0.67	-0.174	-0.027
$k = \lg K = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \lg d_i$		--	--	--	-0.220
$K_G = 10^k$		--	--	--	0.602

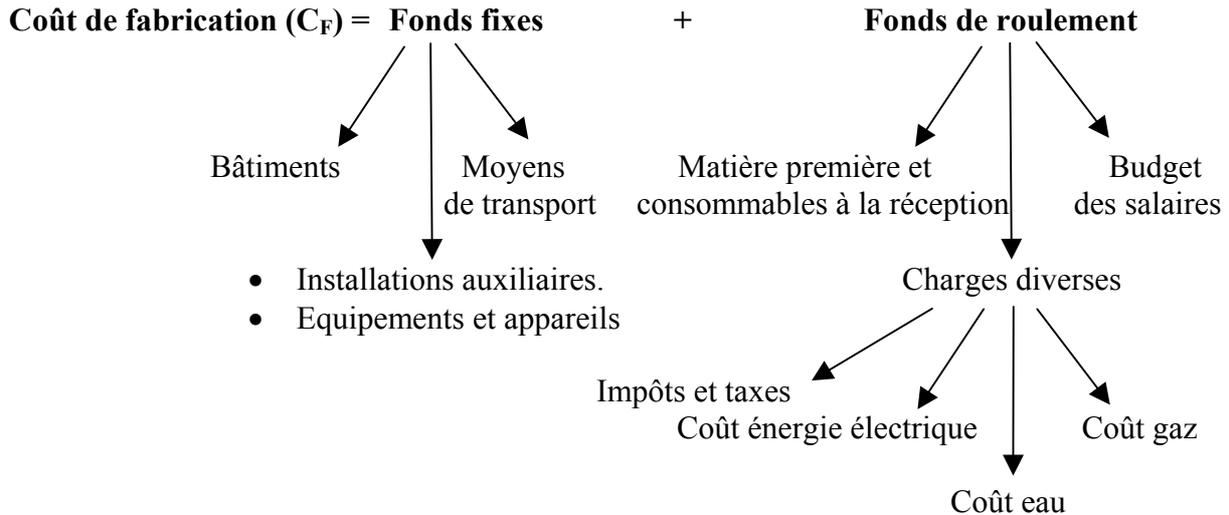
IV.5. CONCLUSIONS :

- 1). Le critère complexe géométrique de la qualité est une caractéristique à efficacité élevée pour l'appréciation du niveau de qualité globale d'un produit.
- 2). L'efficacité de ce critère est justifiée comme suit :
 - a). Il représente la fonction globale de pronostic des principales propriétés d'un produit, qui définissent sa conformité par rapport à sa destination.
 - b). Il permet de regrouper un ensemble d'indices absolus de la qualité du produit pour exprimer par une seule grandeur numérique la qualité globale de ce produit.
 - c). Il permet de faciliter et de simplifier l'analyse comparative du niveau de qualité d'un nombre important de produits différents, puisque le nombre d'indices de comparaison est réduit de 15 – 30 à 1 – 2.
- 3). L'emploi d'une fonction de pronostic, pour le passage des facteurs naturels de la qualité vers un critère, garantit à ce dernier :
 - a). Un accroissement monotone lors de l'augmentation de la qualité du produit estimé.
 - b). Une valeur naturelle non négative.
 - c). Une délimitation en bas et en haut entre 0 et 1.
- 4). L'appréciation de la qualité à l'aide de ce critère est celle qui se rapproche le plus de la perception psychométrique de la qualité chez les individus.
- 5). Le résultat final obtenu se rapproche du plus mauvais indice absolu et exclu la compensation du faible niveau de certaines propriétés par le niveau élevé de certaines autres. Ceci diminue le risque de surestimation de la part du consommateur.
- 6). La formulation du critère global à l'aide d'un ensemble de propriétés principales du produit et de leur pondération, obtenus selon l'orientation d'experts spécialisés, lui confère une grande objectivité.
- 7). Le choix des niveaux des paramètres principaux, d'après les gradations de la qualité « excellente » et « bonne », en tenant compte des meilleurs résultats obtenus et aussi de ceux souhaités, permet d'estimer les perspectives du produit du point de vue de la satisfaction des exigences qualitatives de l'individu.

IV.6. DETERMINATION DE LA VARIANTE OPTIMALE DE FABRICATION DU FIL TEXTURE PA-6 70f18 den, d'après le rapport « qualité / prix ».

IV.6.1 Considérations générales sur le coût de fabrication d'un produit.

Le coût de fabrication (C_F) d'un produit fini dépend des fonds fixes et des fonds de roulement mis en œuvre :



IV.6.2 Détermination du coût horaire (C_{HF}) de fabrication d'un fil texturé.

Le coût horaire de fabrication C_{HF} d'un fil texturé est déterminé comme la somme de:
 C_{HF} = Coût d'amortissement des fonds fixes (A) + Coût matières premières et consommables (CMPC) + Dépenses des salaires (DS) + Charges d'exploitation (CE) + Coût des pertes de production (CP).

$$\text{Soit : } C_{HF} = A + CMPC + DS + CE + CP$$

Et si on introduit les différentes charges d'exploitation dans CE, on obtient :

$$C_{HF} = A + CMPC + DS + CP + (DEL + DG + DO + IT).$$

Où: **DEL** – dépenses horaires en électricité ; **DG** – dépenses horaires en gaz ;
DO – dépenses horaires en eau ; **IT** – impôt et taxes.

Pour notre étude, lors de la fabrication des différentes variantes de fils texturés, le seul facteur qui va changer est **DEL**, car le chauffage du four à différentes températures exige des dépenses horaires différentes en électricité. On aura ainsi :

$$C_{HF} = \text{const.} + DEL$$

IV.6.3 Evaluation de la variation de la puissance électrique consommée pour les variantes considérées.

a. Détermination de la puissance maximale :

D'après la fiche technique de la machine [11], on peut avoir l'information que, pour faire varier la température de 160 °C à 250 °C, il faut dépenser une charge $Q = 1.48Kw$. Ainsi, on peut écrire :

$$P_{MAX} = \alpha.(250-160)S=1.48Kw$$

D'autre part, l'expression de la quantité de chaleur transmise au four s'écrit [1]:

$$Q = \alpha . \Delta t . S \quad (kJ)$$

Où : α - coefficient de transfert de chaleur des parois du four ; Δt - variation de la température des fours avant et après le chauffage ; S - surface chauffée du four.

De cette manière, on peut déterminer :

♦ la puissance dépensée, lorsque le four est chauffé à 165 °C :

$$P_{MAX} = \alpha.(250-160)S=1.48$$

$$P_{165} = \alpha.(165-160).S$$

$$P_{165} = \frac{1.48.(165-160)}{250-160} = 0.082Kw$$

♦ la puissance dépensée, lorsque le four est chauffé à 185 °C :

$$P_{MAX} = \alpha.(250-160)S=1.48Kw$$

$$P_{185} = \alpha.(185-160).S$$

$$P_{185} = \frac{1.48.(185-160)}{250-160} = 0.411Kw$$

b. Prix unitaire de l'énergie électrique (tarifs SONALGAZ)

- Tarif de nuit (de 21h.30 min. à 6h), soit un pourcentage horaire de 35,42 % : prix de 1 KWH d'électricité = 0.967 DA.
- Tarif de jour (de 6h à 17h), soit un pourcentage horaire de 45,83 % : prix de 1 KWH d'électricité = 1.735 DA.
- Tarif de pointe (de 17h à 21h.30min.), soit un pourcentage horaire de 18,75 % : prix KWH d'électricité = 6.512 DA.
- Prix moyen de 1 kW d'énergie électrique :
 $CME = (35,42.0,967 + 45,83.1,735 + 18,75.6.512) / 100 = 2.359 \text{ DA/KWH.}$

IV.6.4 Evaluation du coût variable de l'énergie électrique (CVE) nécessaire pour la fabrication de 1 kg de fil texturé de chaque variante, en fonction de la l'énergie thermique (température) consommée par le four.

Lorsque la température du four T et la vitesse du fil V varient d'une variante à l'autre, cela engendre une variation de l'énergie électrique dépensée par le four pour fabriquer une même quantité de fil texturé, soit 1 kg.

Comme exemple de calcul, considérons la variante lorsque la température et la vitesse installées sur la machine sont respectivement 165 °C et 409 m/min. :

♦ On calcule d'abord la production horaire P du fil texturé de 70 deniers, obtenue par une tête de la machine :

$$P = V \cdot T_D \cdot 60 / 9000 \cdot 1000 = (409 \cdot 60 \cdot 70 / 9000 \cdot 1000) = 0.191 \text{ Kg/h} ;$$

où : V – vitesse de sortie du fil texturé, (m/min.) ; T_D – titre en deniers du fil texturé fabriqué (g/9km).

♦ Sachant donc que, durant une heure, on fabrique 0.191 Kg de fil texturé 70 deniers, en consommant 0,082 KWH, trouvons la consommation nécessaire d'énergie Q_M pour la fabrication de 1 kg :

$$Q_M = 0,082 / 0,191 = 0,429 \text{ KWH/kg.}$$

♦ Calculons enfin le coût de cette énergie dépensée par le four **CVE** pour fabriquer 1 kg de ce fil texturé :

$$\text{CVE} = \text{CME} \cdot Q_M = 2.359 \cdot 0,429 = 1.012 \text{ DA/kg}$$

Tab23 - calcul du CVE pour fil texturé PA-6 70f18 deniers.

N° de la variante	Combinaisons [V (m/min) ; T (°C)]	P_T (KW)	CME (DA/KWH)	Q_M (KWH/Kg)	CVE (DA/Kg)
01	409 ; 165	0.082	2.359	0.429	1.012
02	683 ; 165	0.082	2.359	0.257	0.606
03	409 ; 185	0.411	2.359	2.152	5.076
04	683 ; 185	0.411	2.359	1.288	3.038

Discussion :

Comme cela était prévu, les résultats du tableau 23 nous montrent bien que plus la température du four augmente et la vitesse du fil diminue, plus le coût de l'énergie nécessaire au fonctionnement du four augmente (voir variante 3). Le contraire est vrai (voir variante 2).

Il est évident que ceci entraînera bien entendu un coût de fabrication maximal pour la variante 3 et minimal pour la variante 2.

IV.6.5 Détermination de la variante optimale d'après son rapport qualité / prix.

Le tableau 24 est dressé d'une façon telle à mettre en évidence les effets qualitatif et économique de chaque variante de fil texturé fabriqué.

On remarque qu'il existe 3 variantes qui ont la même qualité satisfaisante (variante 1, 2 et 4). Il est important de connaître quelle est la variante la plus rentable pour l'entreprise, c'est-à-dire, la moins chère. Ceci peut être déterminé en consultant le **CVE** obtenu de chaque variante ; ainsi on constate que :

Le calcul du rapport qualité/prix $RQP = K_G / CVE$ pour les différentes variantes, nous permet d'optimiser le processus de fabrication du fil texturé 70f18 deniers en polyamide-6, en classant celles appartenant à la même gradation de qualité d'après leur rentabilité.

Le RQP nous renseigne sur la qualité qu'on peut obtenir en dépensant 1 DA (pour l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du four).

Tab 24 – Calcul du rapport qualité/prix et classement des variantes d'après leur RQP.

N° de la variante	Combinaisons [V(m/min);T(°C)]	K_G	Gradation	Classification D'après K_G	CVE (DA/Kg)	RQP (K_G/CVE)	Classification D'après RQP
01	409 ; 165	0.540	satisfaisante	3	1,012	0,533	2
02	683 ; 165	0.456	satisfaisante	4	0,606	0,752	1
03	409 ; 185	0.650	Bonne	1	5,076	0,128	4
04	683 ; 185	0.602	satisfaisante	2	3,038	0,198	3

Pour notre cas, c'est la variante 2, dont la qualité est la moins chère.

Le RQP nous indique donc comment obtenir une qualité de fil texturé à moindre coût, mais elle ne nous indique pas le niveau de la qualité de ce fil, qui peut être connu seulement par son indice K_G .

Avec les variantes considérées, la meilleure qualité qu'est on peut obtenir est la qualité « BONNE ». Elle est obtenue avec la variante 3 , soit avec $V = 409$ m/min et $T_a = 185^\circ\text{C}$ Mais, fabriquer un fil texturé avec une telle qualité « BONNE » revient relativement beaucoup plus cher.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1) Impact de la couleur du POY sur les propriétés du fil texturé fabriqué et sur les facteurs de texturation.

A partir des histogrammes, élaborés pour chaque paramètre et du tableau d'influence des facteurs, on peut faire des déductions d'un grand intérêt concernant l'influence de la couleur utilisée du fil.

1.1. Influence sur l'allongement :

a) C'est le fil noir qui s'allonge le plus, puis le fil vert et enfin le fil blanc (fig.8). Ceci est lié au pouvoir d'absorption de chaleur de chaque fil considéré. Plus le fil absorbe de la chaleur, plus son échauffement est grand et rapide, ce qui lui permet de subir plus facilement toutes les déformations auxquelles il est soumis.

Ainsi, pour ce fil, en se tordant plus rapidement, les macromolécules et les filaments reçoivent le maximum de spires de torsion, s'enroulent plus en spirale et prennent plus l'allure d'un ressort ; d'où, une élasticité plus développée.

Le fil en question est le fil noir, car un corps noir est un absorbant parfait de la chaleur,.

b) Le caractère d'évolution de l'allongement est le même pour toutes les trois couleurs des fils considérés (tab.5).

c) L'augmentation de l'allongement est provoquée par une diminution de la vitesse ou un accroissement de la température, soit par une structure plus amorphe du polymère.

1.2. Influence sur la ténacité :

a) Le comportement des fils texturés est variable en fonction de leur couleur (fig.9).

b) Le fil blanc devient plus tenace, lorsque la vitesse ou la température augmentent au dépens respectivement de l'augmentation de ses zones cristallines ou de l'absorption d'une plus grande quantité de chaleur lui permettant d'emmagasiner un plus grand taux de torsion.

c) Le fil noir, par contre, voit sa ténacité augmenter avec la diminution de la vitesse ou de la température, entraînant respectivement un taux de torsion plus grand et une meilleure fixation de sa structure (tab.5).

1.3. Influence sur l'effet gonflant :

a) L'effet gonflant (BULK) est moindre chez le fil noir, puis le vert, alors qu'il est maximal chez le fil blanc. Le fil noir gonfle moins à cause de l'intensité de la torsion qu'il a subit, le rendant plus compact et l'empêchant de prendre du volume (fig.10).

b) Le caractère d'évolution de l'effet gonflant est le même pour toutes les trois couleurs (tab.5).

c) Le BULK augmente avec la diminution de la vitesse ou de la température, soit par une structure moins cristalline du polymère.

1.4. Influence sur le retrait :

a) On peut dire que c'est le fil blanc qui se contracte en général toujours plus, puis le vert et enfin le noir (sous l'effet de l'eau bouillante à 100 °C) (fig.11). Ceci s'explique par la forte torsion emmagasinée par le fil noir, qui lui permet de s'opposer à une déformation de

rétrécissements acquiert de faibles propriétés élastiques, en lui conférant donc une stabilité dimensionnelle.

- b) Le caractère d'évolution du retrait est respecté pour les trois couleurs (tab.5).
- c) Le retrait augmente avec l'augmentation de la vitesse et la diminution de la température, soit par une cristallisation plus prononcée du polymère.

1.5. Choix des facteurs de texturation, lors d'un changement de couleur du POY :

a) Au niveau de l'entreprise, pour texturer plusieurs couleurs d'un même POY et obtenir un fil texturé de propriétés données, il y a lieu de considérer un réglage de la machine (vitesses et températures) propre à chaque couleur, surtout dans le cas de couleurs très nuancées. Ce réglage peut être connu à l'aide de modèles mathématiques déjà déterminés, sinon en réalisant des expériences de type EFT.

b) Plus précisément, pour l'entreprise « Polytext », lors de la texturation du POY en polyamide de titrage 88.2 f18 deniers pour obtenir un fil texturé FT de titrage 70f18 deniers, il est nécessaire de tenir compte de la couleur (blanche, verte ou noire) de ce POY pour établir les réglages appropriés sur la machine à texturer. Les réglages correspondant à chaque couleur peuvent être obtenus par l'intermédiaire des modèles mathématiques précisés au paragraphe II.5.

2) Reconsidération de l'expression de la température du fil dans le four.

2.1. Prise en compte d'un nouveau coefficient A_{ij} , qui tient compte de la couleur du fil à texturer, dans l'expression déjà connue de la température du fil dans le four.

En voulant contribuer à la résolution de ce problème, on est parti des considérations théoriques et pratiques, liées au processus de texturation, qui sont les suivantes :

- Le phénomène d'échange de chaleur, entre le milieu ambiant dans le four et le fil, a déjà été analysé [1]. Il est exprimé par la formule de la température du fil T_{fil} , en fonction de son temps de séjour dans le four :

$$T_{fil} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{-(2 \cdot \alpha \cdot \tau / R \cdot c \cdot \rho)} \quad (1)$$

Où :

T_a – température du four ; T_0 – température initiale du fil ; α - coefficient de transmission de chaleur du four ; τ - temps de séjour du fil dans le four ; R – rayon du fil ; c – capacité thermique massique du fil ; ρ - masse volumique du fil.

On remarque ainsi que cette expression ne fait pas mention de l'influence de la couleur du fil à texturer.

- Le changement de la température du four T_a et de la vitesse du fil V , appliqué au sein des entreprises de texturation, influe surtout sur l'intensité de l'échange de chaleur entre le four et le fil, soit sur la température de ce dernier. Autrement dit, dans le soucis de maintenir identiques les propriétés des fils texturés, variant seulement par leur couleur, le changement de V et T se fait en réalité de manière à ce que la température du fil T_{fil} reste inchangée.

En analysant l'expression (1), on remarque que sous l'effet d'un changement de couleur du fil, lorsque la température du four T_a varie, celle du fil T_{fil} peut rester constante que si le facteur « c » (indiquant la quantité d'énergie nécessaire pour faire augmenter la température de 1 kg de fil de 1 K) est altéré.

Sur la machine à texturer « DCS 1200 », existant à l'entreprise « Polytext-Rouiba », où cette étude a été faite, le procédé de chauffage du fil est réalisé selon le procédé « avec contact » du fil contre la paroi du four, à l'aide d'un transfert de chaleur prédominant surtout par conduction, mais où les deux autres procédés de transfert de chaleur – par radiation et convection – sont aussi présents [1]. De ce fait, on pourrait alors considérer que si dans ce cas un fil de couleur différente se comporte différemment, cela ne peut être que sous l'effet d'un flux thermique surtout radiatif.

Par conséquent, on peut admettre, qu'en plus de l'énergie transmise par conduction, le four émet aussi une certaine quantité d'énergie radiative en direction du fil, sous l'action de laquelle le fil s'échauffe encore plus, mais à des degrés différents, en fonction de sa couleur.

Par exemple, si sa couleur est noire, il absorbera théoriquement toute la chaleur rayonnée, alors que si sa couleur est blanche, il la réfléchit totalement ou presque. De ce fait, la température du fil noir sera logiquement plus grande que celle du fil blanc.

Autrement dit, le calcul de la température du fil en texturation doit tenir compte de sa couleur. C'est pour cela que, pour exprimer cette influence, la formule (II.1) doit inclure un certain coefficient complémentaire, qu'on notera par « A ».

En exploitant le modèle mathématique obtenu de chaque $i^{\text{ième}}$ propriété du fil texturé, on a pu développer la formule (II.1) pour enfin arriver à l'expression finale du coefficient A_j correspondant à la $j^{\text{ième}}$ couleur :

$$A_j = \frac{R.c.\rho}{2.\alpha.\tau} \cdot \ln \left(\frac{\left(\frac{Y_{ij} - B_{02-ij}}{B_{112-ij}} \right) - T_0}{\left(\frac{Y_{ij} - B_{02-ij}}{B_{112-ij}} \right) - T_{fil}} \right) ; \quad (7)$$

où : a_0, a_1, a_2 et a_{12} – coefficients de régression dans le modèle mathématique calculé Y_{ij} du $i^{\text{ième}}$ paramètre du fil texturé, ayant la $j^{\text{ième}}$ couleur : $Y_{ij} = a_{0-ij} + T_a \cdot a_{1-ij} + V \cdot a_{2-ij} + V \cdot T_a \cdot a_{12-ij}$; V – vitesse de texturation.

Pour déterminer les coefficients A_{BLANC} et A_{VERT} , on doit donc considérer le cas lorsque $Y_N = Y_V = Y_B$, qui n'est possible que lorsque : $T_{fil N} = T_{fil V} = T_{fil B}$; avec :

$$\begin{cases} \tau_N = \tau_V = \tau_B \\ T_{aN} \neq T_{aV} \neq T_{aB} \\ K_N \neq K_V \neq K_B \end{cases} ; \quad \text{On a ainsi trouvé que :}$$

$$\begin{aligned} A_{NOIR} &= 1 \\ A_{VERT} &= 0,372 \\ A_{BLANC} &= 0,346 \end{aligned}$$

2.2. Nouvelle expression de la température du fil dans le four.

La nouvelle expression de fil devient donc :

$$T_{\text{fil}} = T_a - (T_a - T_0) \cdot e^{- (2 \cdot \alpha \cdot \tau \cdot A_j / R \cdot c \cdot \rho)}$$

2.3. Par rapport au fil noir, les fils vert et blanc absorbent respectivement que 37,2 et 34,6 % de l'énergie thermique totale fournie.

2.4. Dans notre cas, la capacité d'absorption thermique du fil vert A_{VERT} est très rapprochée de celle du fil blanc A_{BLANC} , car la couleur verte considérée est très claire avec un aspect brillant.

2.5. Cette diminution d'absorption thermique provient essentiellement de la partie radiative de l'énergie thermique existant dans le four.

2.6. En texturation, on doit tenir compte de l'influence de ce phénomène d'absorption thermique variable en fonction de la couleur du POY, en introduisant un coefficient (noté par A dans notre cas) dans la formule (déjà existante) de la température du fil.

2.7. Pour les autres couleurs non considérées dans ce travail, il y a lieu de réaliser une étude analogue pour déterminer leur coefficient d'absorption correspondant A_j à l'aide de l'expression **(II.8)**.

2.8. L'analyse de l'évolution de la température du fil, durant son temps de passage τ dans le four, en fonction de sa couleur, a montré que **(fig. 12 ; 13 ; 14 et 15)** :

- a. Cette évolution porte un caractère logique et cohérent : le fil noir, se comportant comme un absorbeur parfait de chaleur, s'échauffant beaucoup plus et plus rapidement que les fils blanc et vert.
- b. Non seulement le fil noir s'échauffe beaucoup plus vite, mais atteint dans tous les cas la valeur préréglée de la température du four T_a : avec une vitesse de défilement minimale, il atteint T_a après avoir seulement parcouru la moitié de la longueur du four ; avec une vitesse maximale, il atteint T_a au bout du 2/3 de son parcours.
- c. Les fils blanc et vert s'échauffent beaucoup moins vite que le fil noir et n'arrivent jamais à atteindre la température désirée T_a : ils ne peuvent atteindre dans les conditions favorables qu'environ 50 % de T_a à mi-chemin et 87 % à la sortie du four.
- d. Quelle que soit la couleur du fil, sa température est moindre à la sortie du four lorsqu'on augmente sa vitesse de passage et on diminue la température du four.
- e. La couleur du fil a une grande influence sur son intensité de chauffage. Par exemple, le fil noir est plus chaud que le fil blanc de :
 - A une vitesse de $V=409$ m/min : 58.14 % en moyenne à 1/4 de son parcours, 29.23 % à la moitié, 14.59 % au 3/4 et 7.46 % à la fin de son parcours dans le four..
 - A une vitesse de $V=683$ m/min : 68.98 en moyenne à 1/4 de son parcours, 48.81 % à la moitié, 33.78 % au 3/4 et 22.12 % à la fin de son parcours dans le four.
- f. Le fil noir, s'échauffant au maximum très rapidement, acquiert ainsi une aptitude beaucoup plus importante à la déformation suite aux différentes sollicitations mécaniques qu'il subit : Face au moment de torsion, ses macromolécules ainsi que ses filaments s'enroulent en spirales plus rapidement

avec une plus grande intensité ; c'est ce qui lui permet d'emmagasiner une énergie élastique plus importante et d'augmenter sa surface de frottement inter filamentaire qui se traduisent respectivement par un allongement plus grand.

2.9. On constate, d'après le tableau 6, qu'en général, les valeurs Y_{ij}^* des paramètres, calculées d'après le modèle développé (II.9), se trouvent à l'intérieur (sinon, très proche) de l'intervalle de confiance des valeurs expérimentales moyennes des paramètres considérés.

Cependant, certaines valeurs Y_{ij}^* sont relativement loin de cet intervalle de confiance, à cause du fait, que de nombreuses suppositions ont été prises en compte lors de la détermination de l'expression (I.11) de la température du fil dans le four de texturation (**voir paragraphe I.2.2.**).

Aussi, on peut en déduire que :

- a. La méthode utilisée pour la détermination de coefficient A_j est suffisamment précise.
- b. Les valeurs obtenues du coefficient A_j , pour les différentes couleurs étudiées, sont acceptables.
- c. Le modèle développé (II.9) reflète la réalité pratique, avec un pourcentage d'erreur acceptable.
- d. La reconsidération de l'expression de la température du fil, en y introduisant le nouveau coefficient A_j (qui tient compte de l'influence de la couleur du POY), donne des résultats satisfaisants.

3) Caractère d'influence des facteurs de texturation sur les propriétés des fils texturés de nature et titrage différents.

En analysant les modèles mathématiques (page 45), exprimant l'influence des facteurs de texturation sur les propriétés des fils texturés de nature et titrage différents, on constate que (voir tab.15) :

3.1. Les fils texturés de différents titrages dépendent de façon différente des paramètres de texturation.

3.2. Le caractère d'influence des paramètres de texturation sur les propriétés des fils obtenus varie non seulement en fonction de leur grosseur, mais de leur nature aussi.

3.3. Les informations données par le constructeur « Rieter-Scragg », dans le catalogue de marche de la machine (tab.16), sont trop généralisées, contrairement aux nôtres qui sont plus précises sur les spécificités du comportement des fils de différents titrages et natures, lors de leur texturation.

3.4. L'effet variable dans le tableau présenté par « Rieter-Scragg » (tab.16) est bien explicité sur notre tableau (tab.15) par une évolution positive ou négative en fonction du titrage du fil.

4) Appréciation de la qualité en texturation.

4.1. L'élaboration d'un nomogramme de gradation de la qualité pour une propriété donnée est une opération facile et rapide à exécuter, puisqu'il ne s'agit que de déterminer l'équation de la droite $y = f(x)$, puis la tracer sur la partie inférieure du nomogramme. La partie supérieure, représentant la courbe $d = f(y)$, étant toujours identique.

4.2. La détermination de la qualité de n'importe quelle valeur X_z d'une propriété considérée Y se fait rapidement par simple lecture sur le nomogramme.

Exemple : Pour une valeur quelconque de du retrait égale à 8%, on peut rapidement trouver la valeur correspondante de sa qualité satisfaisante, égale à 0.45 (fig. 19).

4.3. Le nomogramme de qualité d'une propriété donnée permet de porter un jugement sur la qualité de cette propriété uniquement, indépendamment des autres. Aussi, son intérêt primordial, est d'avoir toujours sous les yeux la variation admissible de la valeur d'une propriété, pour un même niveau (gradation) de qualité exigée.

4.4. La qualité de chaque propriété du fil étudié (en PA 70f18 deniers) peut être divisée en quatre gradations (voir tableau ci-dessous) :

Gradations de la qualité	Propriétés			
	Allongement	Ténacité	BULK	SBW
Excellente	$\geq 35,09$	$\geq 5,93$	$\geq 73,59$	$\leq 4,18$
Bonne	$\geq 31,765$	$\geq 5,655$	$\geq 61,695$	$\leq 6,45$
Satisfaisante	$\geq 28,44$	$\geq 5,38$	$\geq 49,8$	$\leq 8,72$
Mauvaise	$< 28,44$	$< 5,38$	$< 49,8$	$> 8,72$

4.5. Les nomogrammes permettent d'avoir une vision globale claire sur l'évolution de la qualité de chaque propriété d'un fil texturé, ainsi que son passage d'une gradation à l'autre.

4.6. Pour évaluer la qualité globale d'un fil texturé en tenant compte de toutes ses propriétés qui doivent se conformer à une destination donnée, il est nécessaire de déterminer au préalable, en plus de l'indice de qualité absolu de chaque propriété d_i , le degré d'importance de cette dernière en fonction de la destination, exprimé par son coefficient de pondération γ_i .

La détermination du coefficient pondéral permet d'estimer avec précision l'importance de chaque paramètre, ce qui conduit à un calcul précis des différents indices complexes de qualité et à une distinction claire entre les variantes considérées.

4.7. Le calcul du coefficient de pondération nous permet de disposer les propriétés d'après l'ordre de leur d'importance. Ainsi, pour le fil texturé en polyamide 70f18 deniers, destiné à la fabrication de bas, l'ordre d'importance est le suivant :

- le Premier : l'allongement à la rupture, avec $\gamma_2 = 0,427$.
- le Deuxième : la ténacité, avec $\gamma_1 = 0,277$.
- le Troisième : le retrait, avec $\gamma_3 = 0,158$.
- le Quatrième : l'effet gonflant, avec $\gamma_4 = 0,138$.

4.8. Le critère complexe géométrique de la qualité est une caractéristique efficace pour l'appréciation du niveau de qualité globale d'un produit. L'efficacité de ce critère est justifiée par :

- ◆ Il représente la fonction globale de pronostic des principales propriétés d'un produit, qui définissent sa conformité par rapport à sa destination.
- ◆ Il permet de regrouper un ensemble d'indices absolus de la qualité du produit pour exprimer par une seule grandeur numérique la qualité globale de ce produit.
- ◆ Il permet de faciliter et de simplifier l'analyse comparative du niveau de qualité d'un nombre important de produits différents, puisque le nombre d'indices de comparaison est

réduit de 15 – 30 à 1 – 2. Il réagit plus sensiblement à la diminution du moindre indice de qualité d_i et beaucoup plus faiblement à leur augmentation.

- ◆ Il fait diminuer le risque d'une surestimation de la qualité par les consommateurs.

5) Coût de la qualité et détermination de la variante optimale d'un fil texturé par son rapport qualité/prix.

5.1- Comme cela était prévu, les résultats obtenus du tableau (23) nous montrent bien que plus la température du four augmente et la vitesse du fil diminue, et plus le coût de l'énergie nécessaire au fonctionnement du four augmente (voir variante 3). Le contraire est aussi vrai (voir variante 2).

Il est évident que ceci entraînera bien entendu un coût de fabrication maximal pour la variante 3 et minimal pour la variante 2.

5.2- Le tableau (24) est dressé d'une façon telle à mettre en évidence les effets qualitatif et économique de chaque variante de fil texturé fabriqué.

5.3- Il existe 3 variantes qui ont la même qualité, jugée « SATISFAISANTE » (variante 1, 2 et 4). En consultant le « Coût Variable de l'Energie » (CVE), obtenu pour chacune d'elles, on peut déterminer la variante la plus rentable pour l'entreprise, c'est-à-dire, la moins chère. Il s'agit de la variante 2, obtenue avec $V = 683\text{m/min.}$ et $T_a = 165^\circ\text{C}$

5.4- Le calcul du rapport qualité/prix $RQP = K_G / CVE$ pour chaque variante, nous renseigne sur sa qualité « fictive », qu'on peut obtenir avec 1 DA de dépenses variables pour l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement du four.

Pour notre cas, c'est la variante 2, dont la qualité est la moins chère.

Le RQP nous indique donc comment obtenir une qualité de fil texturé à moindre coût, mais elle ne nous indique pas le niveau de la qualité de ce fil, qui peut être connu seulement par son indice K_G .

5.5- Avec les variantes considérées, la meilleure qualité qu'on peut obtenir est la qualité « BONNE ». Elle est obtenue avec la variante 3, soit avec $V = 409\text{ m/min}$ et $T_a = 185^\circ\text{C}$ Mais, fabriquer un fil texturé avec une telle qualité « BONNE » revient relativement beaucoup plus cher.

Il faut dépenser 737.62 % plus en CVE (énergie variable électrique nécessaire au four), par rapport à la variante de qualité « SATISFAISANTE » la plus rentable, pour pouvoir fabriquer un fil texturé de qualité « BONNE ».

Un fil d'une telle qualité doit donc coûter plus cher.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] OUSSENKO B. A. ; Production des fils chimiques retors et texturés » : Deuxième édition Industrie Légère Moscou 1987. PP 317-323.
- [2] JOHANNES B. ; Microfilaments. Texturation fausse torsion ; L'Industrie Textile ; N°1253 – AVRIL 1994.
- [3] BOCK .g ; La texturation de filés de filaments en flux d'air-mécanisme de la formation des boucles ; International Textile Bulletin 4/81 Filature ; PP359-389.
- [4] WEINSDORFER .H ; Le tourbillonnement de fils de filaments-en alternative économique au retordage et encollage ; International Textile Bulletin Filature et Tissage/ Maille 3/93;P 82.
- [5] ATKINSON .C, WHEELER M.J ; Progrés en matière de fils texturés au jet d'air, pour tissus d'automobiles ; International Textile Bulletin Filature et Tissage/ Maille 1/96 ; PP 26-28.
- [6] WHEELER M.J ; « Machine de texturation à fausse torsion pour filés élastiques » ; International Textile Bulletin Filature et Tissage/ Maille 3/93 ; PP 104-106.
- [7] LUCKERT. H ; Fibers Synthétic Organic , Ullmann's Encyclopidia Of Industial Chemistry, A10 ; PP 543-550.
- [8] MORGENSTERN. W ; Texturation à vitesses élevées ; International Textile Bulletin 1/98 ; PP 32-35.
- [9] JIYING. L WEINDORFER. H ; Augmentation de la vitesse de texturation par un refroidissement plus efficace ; International Textile Bulletin 3/98 ; PP 43-52.
- [10] MICHEL. H ; Nouvelles applications de fils texturés par jet d'air ; International Textile Bulletin 2/91 ; PP 60-61
- [11] Manuel de la machine de texturation SDS 900 de la firme « RIETER –SCRAGG ». Disponible à « Polytext » - Rouiba.
- [12] WULFHORST .B. ; texturation et traitement des filaments ; International Textile Bulletin 4/99 ; PP 32-33.
- [13] STEIN .W ; Justification des modifications de filage sur les fils continus polyester préorientés ; International Textile Bulletin 4/81 Filature ; PP 259-267.
- [14] MEIER .K ; Aspects économiques de la fabrication de POY ; International Textile Bulletin Filature et Tissage/ Maille 3/95 ; PP 80-87
- [15] STAN .D ; Filature primaire de fibres synthétiques ; International Textile Bulletin Filature et Tissage/ Maille 4/95 ; P14.
- [16] LECLUSE. C, CARDON. T, CHRBOU. N ; Structure et propriétés des fils et fibres synthétiques ; RHONE – POULENC ; Centre technique de VINISSIEUX, 1989 ; PP15-18

-
- [17] GESCHE. P ; Poly (Téréphtalate d'éthylène) ; Technique de l'Ingénieur J6020 1994 ; PP 2151-2158.
- [18] KOPNICK. H, SCHLIDT. M ; Polyesters ; Ullmann's Encyclopidia Of Industial Chemistry, A21 ; PP 227-237.
- [19] STATTLER. H, BOBINGEN, BERG. H, KONIGSTEIN, SCHNEIDHAIN ; Polyesters ; Ullmann's Encyclopidia Of Industial Chemistry A10 ; PP279-590.
- [20] REBSDAT. S, AKTIENGESELLSCHAFT. H ; Ethylène Glycole ; Ullmann's Encyclopidia Of Industial Chemistry A10 ; PP 101-111.
- [21] GUERIN. B, TECHNIQUE DE L'INGENIEUR « Polyamides », A3360 PP1-6
- [22] LELAND. L ; Polyamides ; Ullmann's Encyclopidia Of Industial Chemistry A10 ; PP 566-574.
- [23] RITZ. J, FUCHS. H, LELAND. L ; Caprolactam ; Ullmann's Encyclopidia Of Industial Chemistry ; PP 33-40.
- [24] Manuel des machines de texturation de la firme « BARMAG ». Disponible à « Texturfil » - El Achour.
- [25] TCHERNOV. N, BESSREBREMNIKOV. N ; Les fondements de la thermique et de l'hydraulique ; Ed MIR. MOSCOU 1971 ; PP 137-171.
- [26] Soloviev A.N ; Standardisation ; Ed "Industrie légère et alimentaire" Moscou-1984 ; P 248.
- [27] Reich. R ; Concepts et méthodes pour faire évoluer la stratégie de l'entreprise , Ed MAXIMA Paris 1997.
- [28] TCHAIKOVSKAIA A.E., POLICHOUK L.V., GALIK I.S. ; Indice complexe de la qualité des matériaux textile ; Moscou- 1989, Ed " Technika", PP 64-84.
- [29] GOUPY. J ; Introduction aux plans d'expériences ; Ed DUNOD 2001 ; PP 9-34.
- [30] SCHIMMERLING. P, SISSON. J C, ZAIDI. A ; Technique et documentation LAVOISIER 1998 ; PP 55-57.
- [31] SOLOVIEV. A N ; Estimation et pronostic de la qualité des matériaux textiles ; " Industrie alimentaire et légère" MOSCOU 1984 ; PP 9-35.
- [32] MURRAY. R S ; Théorie et applications de la statistique ; Ed ERGAS A et MARCOTORCHINO J F 1974 ; P193.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Fil texturé en polyester « 150f36 deniers »

Variante N°1 : V=503m/min , T=190°C , P=2bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	147.6	19.70	635.50	35.67	4.20	110
	2	150.3	20.20	640.60	36.47	3.60	115
	3	147.6	20.70	639.07	36.61	4.22	115
Bobine N°2	4	148.5	19.90	625.20	31.80	4.80	110
	5	148.5	20.90	630.40	31.86	4.60	115
	6	148.5	20.00	627.05	33.40	4.42	120
Bobine N°3	7	147.6	19.60	636.20	35.34	4.41	120
	8	146.7	20.80	642.30	36.27	4.20	115
	9	146.7	21.17	635.86	34.84	4.40	120
\bar{X}		148.19	20.33	634.68	34.69	4.31	115.55
σ		1.23	0.57	5.94	1.89	0.33	3.9
CV		0.75	2.81	0.93	5.46	7.72	3.38
Variante N°2 : V=742m/min , T=190°C , P=2bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	146.7	19.50	605.30	31.18	4.82	105
	2	147.6	19.60	607.60	31.60	4.70	105
	3	147.6	20.90	596.52	31.31	4.33	100
Bobine N°2	4	146.7	20.80	602.20	30.38	4.82	105
	5	148.5	19.10	604.10	29.75	4.25	115
	6	147.6	19.50	596.22	31.79	5.03	120
Bobine N°3	7	146.7	18.80	618.70	37.02	4.13	115
	8	147.6	19.40	625.31	33.80	4.06	110
	9	147.6	18.80	622.48	33.40	4.14	95
\bar{X}		147.39	19.60	608.71	32.24	4.49	107.77
σ		0.66	0.76	10.87	2.20	0.60	7.94
CV		0.40	3.91	1.78	6.83	13.47	7.37
Variante N°3 : V=503m/min , T=210°C , P=2bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	149.4	19.9	637.40	35.41	4.02	115
	2	147.6	19.6	633.90	35.81	4.02	125
	3	148.5	19.8	636.04	36.49	4.03	115
Bobine N°2	4	147.6	19.3	632.36	31.66	5.01	110
	5	147.6	19.1	627.60	31.99	4.22	105
	6	148.5	18.9	630.10	34.00	4.62	110
Bobine N°3	7	145.8	18.0	623.40	34.60	4.22	125
	8	146.7	19.1	619.60	32.23	4.35	120
	9	147.6	19.55	622.55	34.13	4.32	130
\bar{X}		147.70	19.25	629.21	34.03	4.31	117.22
σ		1.05	0.57	6.31	1.74	0.32	8.33
CV		0.71	3.00	1.003	5.14	7.56	7.1

ANNEXE 1
Suite1

Variante N°4 : V=742m/min , T=210°C , P=2bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	147.6	20.3	663.40	31.00	4.40	105
	2	146.7	19.5	667.80	31.06	4.00	105
	3	147.6	19.6	666.10	31.00	4.40	110
Bobine N°2	4	146.7	18.4	642.30	30.86	4.60	100
	5	147.6	18.7	639.70	30.46	4.60	105
	6	146.7	19.2	641.50	31.06	4.40	105
Bobine N°3	7	145.8	19.6	648.20	30.52	4.41	95
	8	145.8	19.7	654.70	30.00	4.80	105
	9	145.8	20.8	646.20	30.00	4.80	105
\bar{X}		146.7	19.53	652.20	30.73	4.49	103.88
σ		0.78	0.73	11.11	0.35	0.24	4.16
CV		0.53	3.76	1.7	1.17	5.49	4.01
Variante N°5 : V=503m/min , T=190°C , P=3bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	148.5	20.7	623.70	29.61	3.83	115
	2	149.4	19.4	625.20	29.67	3.45	125
	3	148.5	19.0	623.60	30.56	3.80	115
Bobine N°2	4	149.4	18.8	617.40	27.64	4.04	120
	5	148.5	19.2	613.30	30.64	4.83	115
	6	150.3	18.8	614.20	28.97	4.62	115
Bobine N°3	7	147.6	19.3	613.70	30.50	4.04	120
	8	147.6	19.0	610.20	32.00	4.82	115
	9	146.7	18.7	611.10	29.00	5.00	125
\bar{X}		148.5	19.21	616.93	29.84	4.27	118.33
σ		1.10	0.60	5.8	1.26	0.55	4.33
CV		0.74	3.16	0.94	4.21	12.85	3.65
Variante N°6 : V=742m/min , T=190°C , P=3bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	147.6	19.9	602.30	34.40	5.20	105
	2	147.6	19.5	592.40	33.46	4.80	105
	3	147.6	20.3	596.20	32.26	5.01	100
Bobine N°2	4	148.5	19.6	588.70	30.72	6.02	110
	5	147.6	19.5	590.30	33.46	6.01	110
	6	147.6	19.6	591.40	32.80	6.00	100
Bobine N°3	7	147.6	19.9	624.40	30.80	5.80	95
	8	146.7	19.3	620.30	28.51	5.62	100
	9	146.7	20.9	621.60	32.79	5.63	100
\bar{X}		147.50	19.83	603.06	32.13	5.56	102.77
σ		0.54	0.49	14.84	1.81	0.45	5.06
CV		0.36	2.50	2.46	5.65	8.24	4.93

ANNEXE 1
Suite 2

Variante N°7 : V=503m/min , T=210°C , P=3bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	148.5	19.4	645.40	35.61	3.83	115
	2	148.5	19.5	642.20	35.81	3.82	110
	3	147.6	20.2	643.10	35.28	3.62	115
Bobine N°2	4	146.7	18.9	652.30	29.86	4.60	120
	5	147.6	19.3	647.70	31.59	3.82	120
	6	147.6	19.0	648.40	29.57	4.42	115
Bobine N°3	7	147.6	19.6	623.10	31.59	4.02	115
	8	146.7	19.4	622.80	32.44	1.65	120
	9	146.7	19.75	621.60	34.34	4.81	115
\bar{X}		147.49	19.45	638.51	32.89	3.84	116.11
σ		0.78	0.38	12.37	2.43	0.4	3.33
CV		0.47	1.99	1.93	7.41	11.89	2.87
Variante N°8 : V=742m/min , T=210°C , P=3bar							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	BULK (%)	S.B.W (%)	N.P.S
Bobine N°1	1	148.5	21.00	650.10	33.46	4.03	110
	2	147.6	21.20	654.40	35.88	4.03	100
	3	147.6	20.80	652.60	37.09	4.03	110
Bobine N°2	4	146.7	19.80	644.40	31.98	4.45	105
	5	147.6	20.90	645.10	33.06	5.04	100
	6	146.7	19.20	647.20	34.47	4.63	100
Bobine N°3	7	146.7	19.70	647.20	32.45	4.03	105
	8	146.7	19.90	643.60	30.18	4.22	100
	9	145.8	19.48	645.30	30.19	4.42	110
\bar{X}		147.09	20.22	647.76	33.19	4.32	104.44
σ		0.88	0.75	3.79	2.35	0.35	4.63
CV		0.53	3.71	0.58	7.08	8.13	4.44

ANNEXE 2 : Fil texturé en polyester « 75f34deniers »

Variante N° 1 : T1=190°C		T2=180°C			V=450m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	76.25	25.0	300	72	3.8922	1.8962	82.2051
	2	76.22	24.8	300	72	3.8000	1.7000	81.1578
	3	76.15	24.8	300	72	3.9960	1.9980	82.5000
Bobine N°2	4	76.33	25.6	310	71	3.8828	2.1912	83.3720
	5	76.36	26.0	300	71	3.9840	1.9920	85.0000
	6	76.34	25.8	310	71	3.7886	1.7946	84.2105
Bobine N°3	7	75.78	25.6	300	73	3.8844	1.9920	84.6153
	8	75.78	25.4	300	73	3.8844	1.9920	82.2051
	9	75.98	25.8	310	73	3.8805	1.9900	82.0512
\bar{X}	76.13	25.42	303.33	72	3.8881	1.9490	83.0350	
σ	0.22	0.45	5	1	0.069	0.140	1.323	
CV	0.28	1.77	1.650	138	1.787	7.188	1.593	
Variante N° 2 : T1=210°C		T2=180°C			V=450m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	75.25	26.0	310	82	7.1713	4.3824	81.9444
	2	76.22	26.3	320	83	7.1784	4.3868	81.9444
	3	76.15	26.6	312	82	7.0929	4.1958	81.6901
Bobine N°2	4	76.33	25.8	300	81	6.0696	3.5820	80.3278
	5	76.36	25.8	307	83	6,2811	3.6889	80.9523
	6	76.34	26.0	305	82	6,0817	3.5892	81.9672
Bobine N°3	7	75.78	26.2	309	82	6,9651	4.1791	80.0000
	8	75.98	26.2	310	82	6,9721	4.1832	80.0000
	9	75.79	26.4	310	81	6,8862	39920	81.1594
\bar{X}	76.13	26.14	309.22	82	6,744	4.019	81.109	
σ	0.22	0.27	5.403	0.70	0,463	0.323	0.834	
CV	0.28	1.03	1.747	0.85	6,879	8.044	1.028	
Variante N° 3 : T1=190°C		T2=200°C			V=450m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	76.51	23.0	300	81	2.3916	0.8968	85.7142
	2	76.45	21.6	279	80	2.3928	0.8973	83.3333
	3	76.54	22.0	282	83	2.3904	0.8964	83.3333
Bobine N°2	4	76.22	23.4	278	80	2.5896	0.9960	80.7692
	5	76.13	23.0	301	81	2.6892	1.0956	85.1851
	6	76.27	23.6	292	82	2.4950	0.9980	84.0000
Bobine N°3	7	75.98	23.0	284	82	2.5948	0.9980	80.7692
	8	75.93	23.4	291	80	2.5948	0.9980	84.6153
	9	75.79	23.4	292	83	2.5974	0.9990	84.6153
\bar{X}	76.20	22.93	298.77	81.33	2.5262	0.9750	83.5920	
σ	0.26	0.68	8.526	1.22	0.112	0.066	1.780	
CV	0.34	2.96	2.952	1.50	4.434	6.830	2.130	

ANNEXE 2
Suite 1

Variante N° 4 : T1=°C		T2=°C			V=450 m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	75.74	27.0	279	85	4.1916	2.0958	78.5700
	2	75.88	27.28	320	85	4.7904	2.5948	81.2500
	3	75.79	27.56	300	84	4.6906	2.5950	78.7234
Bobine N°2	4	76.53	26.04	310	84	3.7962	1.7982	78.9473
	5	76.30	26.0	309	85	3.6852	1.6932	78.3783
	6	76.33	26.48	313	85	3.6889	1.6949	81.0810
Bobine N°3	7	76.09	26.92	315	85	3.9880	1.9940	82.5000
	8	76.12	26.9	314	86	3.8922	1.9960	79.4871
	9	76.39	26.9	314	85	3.8883	1.9940	79.4871
\bar{X}	76.13	25.80	308.22	85	4.067	2.050	79.8240	
σ	0.28	0.82	12.245	0.6	0.412	0.339	1.442	
CV	0.36	7.08	3.972	0.7	10.129	16.556	1.806	
Variante N° 5 : T1=190°C		T2=180°C			V=550m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	75.90	26.6	310	69	4.5862	2.4925	82.6086
	2	75.82	26.8	310	68	4.4900	2.3952	82.2222
	3	75.81	26.6	300	67	4.4900	2.3952	80.0000
Bobine N°2	4	76.34	26.2	300	68	4.2749	3.7848	82.5396
	5	76.36	26.4	310	67	6.1630	3.7773	82.2580
	6	76.28	26.4	310	69	6.2749	3.8844	82.5396
Bobine N°3	7	75.78	26.6	310	68	5.3677	3.1809	85.1851
	8	75.69	26.8	310	67	5.2736	3.1884	84.9056
	9	75.60	26.6	300	67	5.2788	3.1872	84.9056
\bar{X}	75.95	26.55	306.66	68	5.1330	3.1428	83.0182	
σ	0.29	0.19	5	0.83	0.735	0.603	1.687	
CV	0.38	0.73	1.630	1.22	14.321	19.1955	2.032	
Variante N° 6 : T1=210°C		T2=180°C			V=550m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	75.89	25.82	320	78	11.4314	7.0576	83.4783
	2	75.77	24.2	300	79	11.9403	7.4626	84.1667
	3	75.85	24.8	315	78	11.8408	7.3631	83.1935
Bobine N°2	4	76.34	24.8	300	78	10.5472	6.2686	82.0754
	5	76.48	25.6	318	77	10.4477	6.1691	80.8523
	6	76.31	25.2	316	79	11.9403	6.3001	84.1667
Bobine N°3	7	76.27	25.0	315	77	10.4373	6.1630	81.9047
	8	76.19	24.8	300	78	10.3379	6.1636	81.7307
	9	76.21	24.8	306	78	10.3379	6.1636	81.7307
\bar{X}	76.14	25.0	310	78	11.028	6.5679	82.588	
σ	0.24	0.48	8.411	0.70	0.7381	0.557	1.191	
CV	0.31	1.92	2.713	0.89	6.672	8.483	1.442	

ANNEXE 2
Suite2

Variante N° 7 : T1=190°C		T2=200°C			V=550m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	75.86	22.4	280	83	2.7972	0.9990	82.1428
	2	75.94	26.0	310	84	2.9940	1.2974	83.3333
	3	76.51	24.2	290	84	2.9910	1.1964	83.3333
Bobine N°2	4	76.04	25.8	290	82	2.8971	1.2987	82.7558
	5	76.07	26.0	292	82	2.8971	1.2987	79.3103
	6	76.13	26.0	292	81	2.8940	1.1976	80.0000
Bobine N°3	7	76.27	26.0	310	82	2.8971	1.0989	82.7586
	8	76.45	25.8	297	80	2.9910	1.2974	83.3333
	9	76.47	25.8	298	82	2.9000	1.2000	82.7586
\bar{X}	76.08	25.33	295.44	82	2.9170	1.2090	82.1910	
σ	0.30	1.24	9.709	1.30	0.064	0.105	1.499	
CV	0.39	4.89	3.286	1.58	2.209	8.687	1.823	
Variante N° 8 : T1=210°C		T2=200°C			V=550m/min			
Nombre d'essais	Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (CN)	N.P.S	CC (%)	CM (%)	CS (%)	
Bobine N°1	1	75.69	23.2	310	85	7.4850	4.5908	81.3333
	2	75.63	23.0	310	84	7.3778	4.3868	82.4324
	3	75.61	22.2	308	84	3.4626	4.4776	81.3333
Bobine N°2	4	76.10	21.6	294	86	5.8648	3.3797	79.6610
	5	76.18	22.0	290	87	5.5721	3.1840	80.3571
	6	76.16	21.8	291	87	6.2624	3.6779	79.3650
Bobine N°3	7	75.90	23.6	300	87	6.9651	4.3781	81.4284
	8	75.97	23.2	298	87	6.9582	4.3737	81.4285
	9	75.90	22.8	300	87	6.9513	4.3694	81.4285
\bar{X}	75.90	22.6	300,11	88	6.7665	4.0908	80.9741	
σ	0.22	0.71	7.780	1.45	0.7052	0.5274	0.9809	
CV	0.28	3.14	2.592	1.64	10.4219	12.8939	1.2114	

ANNEXE 3 : Fil texturé en polamide-6 « 70f18 deniers »

Fil blanc

Variante N°1 : V=409m/min , T=165°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	29.8	368.12	5.31	71.86	6.27
	2	69.3	30.6	383.33	5.53	73.11	6.11
	3	69.3	29.9	371.13	5.35	72.38	6.65
Bobine N°2	4	69.4	32.0	391.61	5.71	75.3	6.51
	5	69.3	31.3	360.08	5.21	73.17	6.30
	6	69.3	32.3	374.30	5.42	75.56	6.72
Bobine N°3	7	68.4	31.5	357.17	5.17	72.96	6.70
	8	69.3	30.7	368.37	5.34	74.62	6.50
	9	69.3	30.8	371.46	5.38	73.37	6.50
\bar{X}		69.1	30.98	371.06	5.38	73.59	6.47
σ		0.39	0.86	10.78	0.16	1.28	0.21
CV		0.57	2.78	2.90	3.04	1.74	3.23
Variante N°2 : V=683m/min , T=165°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	68.4	27.9	367.27	5.37	57.89	8.50
	2	68.4	28.1	391.13	5.72	57.69	9.11
	3	68.4	28.9	409.19	5.98	56.39	8.31
Bobine N°2	4	68.4	29.7	402.23	5.88	60.85	9.12
	5	68.4	28.2	378.72	5.53	59.43	8.92
	6	68.4	27.5	370.22	5.41	56.97	8.28
Bobine N°3	7	69.3	29.2	383.79	5.53	58.09	9.11
	8	69.3	28.7	396.92	5.73	55.87	9.11
	9	69.3	27.8	400.16	5.77	55.37	8.11
\bar{X}		68.7	28.44	388.85	5.66	57.61	8.73
σ		0.45	0.72	14.71	0.21	1.73	0.42
CV		0.65	2.55	3.78	3.70	3.01	4.85
Variante N°3 : V=409m/min , T=185°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	72	35.6	383.17	5.32	50.90	4.44
	2	72	33.7	391.31	5.43	51.12	3.47
	3	72	34.4	422.16	5.86	50.30	4.44
Bobine N°2	4	72	36.2	380.13	5.30	49.69	4.64
	5	72	35.1	396.56	5.53	47.06	4.05
	6	71.1	34.6	407.52	5.68	48.78	4.65
Bobine N°3	7	71.1	35.8	393.76	5.54	46.62	3.68
	8	71.1	34.5	399.18	5.61	52.73	4.46
	9	71.1	35.9	410.07	5.77	51.01	3.86
\bar{X}		71.6	35.09	398.2	5.56	49.80	4.18
σ		0.47	0.84	13.35	0.19	1.99	0.43
CV		0.66	2.39	3.35	3.44	3.99	10.40

ANNEXE 3 :
Suite1

Variante N°4 : V=683m/min , T=185°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	29.8	396.95	5.75	52.01	6.05
	2	69.3	31.5	418.25	6.06	53.97	5.90
	3	68.4	31.8	411.70	5.97	54.09	5.73
Bobine N°2	4	69.3	29.7	424.12	6.12	55.26	5.87
	5	69.3	31.3	406.19	5.86	55.24	6.05
	6	69.3	30.1	400.86	5.78	54.28	5.71
Bobine N°3	7	69.3	29.7	425.47	6.16	54.34	6.46
	8	69.3	28.9	413.98	6.00	55.33	6.64
	9	68.4	30.8	391.85	5.68	54.27	5.89
\bar{X}		69.1	30.39	409.93	5.93	54.31	6.03
σ		0.39	0.98	11.85	0.17	1.01	0.32
CV		0.57	3.25	2.89	2.88	1.87	5.28

Fil vert

Variante N°1 : V=409m/min , T=165°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	40.25	422.28	6.12	61.94	6.47
	2	69.3	39.94	433.36	6.28	62.55	6.07
	3	68.4	40.74	419.48	6.08	59.31	7.08
Bobine N°2	4	69.3	40.34	416.76	6.04	61.13	6.47
	5	68.4	39.7	430.25	6.24	61.94	6.47
	6	69.3	41.28	403.27	5.84	59.71	6.68
Bobine N°3	7	68.4	40.93	425.73	6.17	60.44	6.29
	8	69.3	40.56	458.31	6.64	59.59	6.32
	9	69.3	41.30	393.15	5.70	59.88	7.13
\bar{X}		69.0	40.56	422.51	6.12	61.05	6.55
σ		0.45	0.56	18.52	0.27	1.06	0.35
CV		0.65	1.38	4.38	4.38	1.74	5.40
Variante N°2 : V=683m/min , T=165°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	33.25	367.49	5.28	54.16	7.66
	2	69.3	34.98	409.12	5.88	56.22	8.43
	3	70.2	35.03	373.86	5.37	56.82	7.53
Bobine N°2	4	70.2	34.60	394.63	5.67	59.31	8.09
	5	69.3	35.21	378.17	5.43	56.34	8.04
	6	69.3	34.02	411.09	5.91	56.88	7.69
Bobine N°3	7	70.2	34.68	392.54	5.64	59.39	8.08
	8	69.3	33.94	385.19	5.53	58.87	8.46
	9	69.3	35.42	399.89	5.75	57.20	7.50
\bar{X}		69.6	34.57	390.22	5.60	57.24	7.94
σ		0.45	0.70	15.27	0.22	1.70	0.36
CV		0.64	2.04	3.91	3.95	2.97	4.59

ANNEXE 3 :
Suite2

Variante N°3 : V=409m/min , T=185°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	72	42.02	385.20	5.35	48.56	3.24
	2	72	41.38	361.24	5.02	48.66	3.43
	3	72	42.66	409.16	5.68	48.97	3.42
Bobine N°2	4	72	40.90	396.00	5.50	48.35	3.64
	5	72	41.24	386.54	5.37	47.62	3.64
	6	72	40.56	405.46	5.63	48.79	3.863
Bobine N°3	7	72.9	41.45	382.47	5.29	49.16	4.05
	8	72	40.9	397.38	5.49	49.28	3.87
	9	72	42.00	367.51	5.08	48.87	4.06
\bar{X}		72.1	41.45	387.88	5.38	48.7	3.68
σ		0.3	0.66	16.13	0.23	0.50	0.28
CV		0.42	1.60	4.16	4.19	1.02	7.83
Variante N°4 : V=683m/min , T=185°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	68.4	35.32	382.26	5.54	51.10	4.83
	2	69.3	34.60	364.43	5.28	51.21	4.84
	3	69.3	36.04	400.09	5.80	51.99	4.44
Bobine N°2	4	69.3	35.66	384.19	5.52	51.10	5.23
	5	69.3	34.86	376.86	5.41	51.30	4.80
	6	70.2	36.46	391.52	5.62	52.95	4.48
Bobine N°3	7	69.3	35.1	380.02	5.46	50.50	4.46
	8	69.3	36.04	366.56	5.27	48.09	4.22
	9	70.2	34.16	393.48	5.65	51.83	4.88
\bar{X}		69.4	35.36	382.25	5.51	50.95	4.68
σ		0.54	0.76	12.05	0.17	1.16	0.30
CV		0.78	2.14	3.15	3.14	2.27	6.58

Fil noir :

Variante N°1 : V=409m/min , T=165°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	68.4	41.75	385.12	5.63	52.53	5.47
	2	68.4	45.30	405.27	5.92	55.94	5.53
	3	68.4	45.19	412.07	6.02	52.42	6.05
Bobine N°2	4	69.3	42.90	386.19	5.62	56.82	5.70
	5	68.4	43.87	401.14	5.84	56.91	5.08
	6	69.3	43.43	393.56	5.73	56.39	5.47
Bobine N°3	7	69.3	43.00	403.93	5.85	51.12	5.11
	8	69.3	41.69	401.17	5.81	56.41	4.88
	9	68.4	44.73	368.65	5.34	56.27	5.26
\bar{X}		68.8	43.54	395.23	5.75	54.97	5.39
σ		0.47	1.35	13.35	0.20	2.27	0.35
CV		0.69	3.11	3.38	3.49	4.13	6.6

ANNEXE 3 :
Suite3

Variante N°2 : V=683m/min , T=165°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	39.80	365.09	5.22	45.76	6.85
	2	69.3	41.65	382.12	5.47	42.37	7.03
	3	70.2	38.82	373.98	5.35	45.65	6.66
Bobine N°2	4	69.3	38.90	380.65	5.49	47.38	7.66
	5	69.3	40.10	367.14	5.30	47.48	6.64
	6	69.3	41.93	368.63	5.34	45.36	6.85
Bobine N°3	7	69.3	38.7	354.75	5.14	46.69	7.21
	8	69.3	39.90	380.11	5.51	47.48	6.64
	9	68.4	42.96	368.36	5.34	45.76	6.65
\bar{X}		69.3	40.30	371.20	5.36	45.99	6.91
σ		0.45	1.53	8.91	0.12	1.60	0.34
CV		0.65	3.79	2.40	2.32	3.48	4.98
Variante N°3 : V=409m/min , T=185°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	45.17	383.12	5.53	48.27	3.05
	2	69.3	43.93	401.27	5.79	50.80	3.21
	3	69.3	43.23	396.47	5.33	51.42	3.45
Bobine N°2	4	69.3	45.50	369.73	5.36	48.89	3.23
	5	69.3	43.89	393.11	5.70	50.71	3.26
	6	68.4	42.73	384.00	5.56	49.89	3.63
Bobine N°3	7	69.3	43.90	379.92	5.48	51.41	3.02
	8	69.3	42.50	367.13	5.30	54.34	3.43
	9	69.3	44.52	404.71	5.84	51.72	4.05
\bar{X}		69.2	43.93	386.61	5.54	50.82	3.36
σ		0.30	1.02	13.28	0.20	1.77	0.32
CV		0.43	2.32	3.43	3.59	3.48	9.51
Variante N°4 : V=683m/min , T=185°C							
Nombre d'essais		Titre (denier)	ALL (%)	R.RUP (gr)	TENACITE (gr/d)	BULK (%)	S.B.W (%)
Bobine N°1	1	69.3	38.30	365.18	5.25	43.46	4.22
	2	70.2	39.53	382.24	5.49	45.47	4.22
	3	69.3	40.28	373.8	5.37	47.97	4.05
Bobine N°2	4	69.3	41.62	389.13	5.59	44.35	4.43
	5	69.3	42.08	363.75	5.23	45.96	4.23
	6	70.2	38.67	370.41	5.32	47.96	4.06
Bobine N°3	7	69.3	41.80	392.34	5.69	44.85	4.44
	8	68.4	40.84	366.14	5.31	46.18	4.42
	9	69.3	41.47	363.49	5.27	45.07	4.62
\bar{X}		69.4	40.51	374.05	5.39	45.69	4.29
σ		0.54	1.40	11.19	0.16	1.52	0.19
CV		0.78	3.45	2.99	3.01	12.92	4.44

ANNEXE 4 – Détermination des modèles mathématiques.

FIL PES 150 F 36 deniers					
	Allongement All	Ténacité Ten	Le gonflant 'BULK'	Le retrait à l'eau bouillante 'SBW'	Le nombre de point de soudure 'NPS'
• Le nombre de variante N :	N= 8	N= 8	N= 8	N= 8	N= 8
• Le nombre de répétition m :	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3
• Vérification de la reproduction des expériences : 'Critère de COCHRANE' ○ Valeur tabulée du critère de COCHRANE : $G_t = \{p = 0.95, N, \gamma = m - 1\}$ ○ Valeur calculée du critère de COCHRANE : $G_c = \frac{\sigma_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^m \sigma_u^2}$ Si $G_c < G_t$, l'expérience est reproductible.	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.264 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.3467 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.255 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.3614 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.279 < G_t$ donc l'expérience est reproductible
• Calcul des coefficients de régression : ○ $b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{N}$ ○ $b_i = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu}}{N}$ ○ $b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu} \cdot X_{ju}}{N}$ ○ $b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu} \cdot X_{ju} \cdot X_{ku}}{N}$	$b_0 = 19.678$ $b_1 = 0.118$ $b_2 = -0.065$ $b_3 = 0.0001$ $b_{12} = 0.145$ $b_{13} = 0.230$ $b_{23} = 0.222$ $b_{123} = -0.108$	$b_0 = 4.3475$ $b_1 = 0.005$ $b_2 = 0.1$ $b_3 = -0.017$ $b_{12} = 0.062$ $b_{13} = -0.005$ $b_{23} = 0.025$ $b_{123} = -0.027$	$b_0 = 32.421$ $b_1 = -0.366$ $b_2 = -0.154$ $b_3 = -0.404$ $b_{12} = -0.284$ $b_{13} = 1.009$ $b_{23} = 0.869$ $b_{123} = -0.209$	$b_0 = 4.468$ $b_1 = 0.241$ $b_2 = -0.234$ $b_3 = 0.076$ $b_{12} = -0.071$ $b_{13} = 0.154$ $b_{23} = -0.231$ $b_{123} = -0.084$	$b_0 = 110.758$ $b_1 = -6.043$ $b_2 = -0.346$ $b_3 = 0.346$ $b_{12} = 0.209$ $b_{13} = -0.764$ $b_{23} = 0.209$ $b_{123} = 1.181$
• Vérification de la signification statistique de chaque coefficient de régression : 'Critère de STUDENT' ○ Valeur tabulée du critère de STUDENT: $t_{st} = \{p = 0.95, \gamma = N \cdot (m - 1)\}$	$t_{st} = 1.746$	$t_{st} = 1.746$	$t_{st} = 1.746$	$t_{st} = 1.746$	$t_{st} = 1.746$

<p>○ Valeur calculée du critère de STUDENT :</p> $t_{sc}(b_i) = \frac{ b_i }{\sigma(b_i)}$ <p>○ $\sigma(b_0)$</p> <p>○ $t_{sc}(b_0)$</p> <p>○ $t_{sc}(b_i)$</p> <p>○ $t_{sc}(b_{ij})$</p> <p>○ $t_{sc}(b_{ijk})$</p> <p>Si $t_{sc} > t_{st}$, le coefficient est significatif.</p>	<p>$\sigma(b_0) = 0.097$</p> <p>$t_{sc}(b_0) = 202.9 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_1) = 1.216 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_2) = 0.67 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_3) = 0.001 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{12}) = 1.495 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{13}) = 2.371 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{23}) = 2.29 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{123}) = 1.11 < t_{st}$</p>	<p>$\sigma(b_0) = 0.016$</p> <p>$t_{sc}(b_0) = 271.8 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_1) = 0.312 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_2) = 6.25 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_3) = 1.09 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{12}) = 3.906 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{13}) = 0.312 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{23}) = 1.56 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{123}) = 1.72 < t_{st}$</p>	<p>$\sigma(b_0) = 0.016$</p> <p>$t_{sc}(b_0) = 86.68 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_1) = 0.978 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_2) = 0.412 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_3) = 1.080 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{12}) = 0.759 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{13}) = 2.938 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{23}) = 2.32 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{123}) = 0.56 < t_{st}$</p>	<p>$\sigma(b_0) = 0.068$</p> <p>$t_{sc}(b_0) = 65.71 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_1) = 3.544 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_2) = 3.441 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_3) = 1.080 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{12}) = 1.044 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{13}) = 2.264 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{23}) = 3.40 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{123}) = 1.23 < t_{st}$</p>	<p>$\sigma(b_0) = 0.483$</p> <p>$t_{sc}(b_0) = 159.4 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_1) = 8.69 > t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_2) = 0.50 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_3) = 0.50 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{12}) = 0.30 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{13}) = 1.10 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{23}) = 0.30 < t_{st}$</p> <p>$t_{sc}(b_{123}) = 1.70 < t_{st}$</p>
<p>• Modèle mathématique codé « y » : après élimination des coefficients non significatif :</p> $y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \dots + b_{12}.x_{12} + b_{13}.x_{13} + \dots + b_{123}.x_{123} + \dots$	$y = 19.678 + 0.230 x_1 x_3 + 0.222 x_2 x_3$	$y = 4.347 + 0.1 x_2 + 0.062 x_1 x_2$	$y = 32.421 + 1.009 x_1 x_3 + 0.869 x_2 x_3$	$y = 4.468 + 0.241 x_1 - 0.234 x_2 + 0.154 x_1 x_3 - 0.231 x_2 x_3$	$y = 110.758 - 6.043 x_1$
<p>• Vérification de l'adéquation du modèle mathématique 'Critère de FISHER' :</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de FISHER :</p> $F_t = \{p = 0.95, \gamma_1, \gamma_2\}$ <p>○ Valeur calculée du critère de FISHER :</p> $F_C = \frac{\sigma_1^2(y)}{\sigma_2^2(y)}$ <p>tel que :</p>	<p>$F_t\{0.95 ; 5 ; 16\} = 2.85$</p> <p>$F_C = 5.44$</p>	<p>$F_t\{0.95 ; 16 ; 5\} = 4.604$</p> <p>$F_C = 2.187$</p>	<p>$F_t\{0.95 ; 16 ; 5\} = 4.604$</p> <p>$F_C = 4.693$</p>	<p>$F_t\{0.95 ; 3 ; 16\} = 3.239$</p> <p>$F_C = 1.366$</p>	<p>$F_t\{0.95 ; 16 ; 6\} = 3.922$</p> <p>$F_C = 3.097$</p>

$\sigma_1^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N \sigma_u^2(y)}{N}$ $\sigma_2^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - y_{uc})^2}{N - Z_S}$ <p>Si $F_c < F_t$, le modèle est adéquat.</p>	$\sigma_1^2(y) = 0.225$ $\sigma_2^2(y) = 1.224$ $F_c < F_t$ donc le modèle est adéquat	$\sigma_1^2(y) = 0.0061$ $\sigma_2^2(y) = 0.0028$ $F_c < F_t$ donc le modèle est adéquat	$\sigma_1^2(y) = 3.35$ $\sigma_2^2(y) = 0.714$ $F_c < F_t$ donc le modèle est adéquat	$\sigma_1^2(y) = 0.112$ $\sigma_2^2(y) = 0.153$ $F_c < F_t$ donc le modèle est adéquat	$\sigma_1^2(y) = 11.582$ $\sigma_2^2(y) = 3.74$ $F_c < F_t$ donc le modèle est adéquat
<p>• Modèle mathématique y à l'échelle naturelle « Y »</p> $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_{12} \cdot X_{12} + B_{13} \cdot X_{13} + \dots + B_{123} \cdot X_{123} + \dots$	All=47.869 -0.0096V -11.276 P -0.111 T + 0.0038VP + 0.044PT	Ten =8.859 - 0.023 T - 0.01 V + 0.00005VT	BULK=145.601 - 0.042 V - 45.272 P - 0.434 T + 0.017VP + 0.174PT	SBW =-11.196 - 0.004 V + 0.092 T +7.636 P + 0.002 VP - 0.046 PT	NPS =142.237 - 0.0506 V

ANNEXE 5 – Détermination des modèles mathématiques.

FIL PES 75 f34 deniers					
	Allongement	Ténacité	Contraction de la frisure	Stabilité de la frisure	Le nombre de point de soudure
	All	Ten	'CC'	'CS'	'NPS'
• Le nombre de variante N :	N= 8	N= 8	N= 8	N= 8	N= 8
• Le nombre de répétition m :	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3
<p>• Vérification de la reproduction des expériences : 'Critère de COCHRANE'</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de COCHRANE : $G_t = \{p = 0.95, N, \gamma = m - 1\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de COCHRANE : $G_c = \frac{\sigma_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^m \sigma_u^2}$ Si $G_c < G_t$, l'expérience est reproductible.</p>	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.29 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.4174 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.33 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.34 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.5157$ $G_c = 0.60 < G_t$ donc l'expérience est reproductible
<p>• Calcul des coefficients de régression :</p> <p>○ $b_0 = \sum_{u=1}^n \overline{y_u} / N$</p> <p>○ $b_i = \sum_{u=1}^N \overline{y_u} \cdot X_{iu} / N$</p> <p>○ $b_{ij} = \sum_{u=1}^N \overline{y_u} \cdot X_{iu} \cdot X_{ju} / N$</p> <p>○ $b_{ijk} = \sum_{u=1}^N \overline{y_u} \cdot X_{iu} \cdot X_{ju} \cdot X_{ku} / N$</p>	$b_0 = 25.13$ $b_1 = -0.001$ $b_2 = -0.65$ $b_3 = -0.18$ $b_{12} = 0.21$ $b_{13} = -1.14$ $b_{23} = -0.18$ $b_{123} = -0.58$	$b_0 = 4.06$ $b_1 = 0.055$ $b_2 = -0.062$ $b_3 = 0.005$ $b_{12} = 0.027$ $b_{13} = -0.03$ $b_{23} = -0.007$ $b_{123} = -0.017$	$b_0 = 5.37$ $b_1 = 1.76$ $b_2 = -1.31$ $b_3 = 1.08$ $b_{12} = -0.42$ $b_{13} = 0.67$ $b_{23} = -0.30$ $b_{123} = -0.08$	$b_0 = 82.03$ $b_1 = -0.92$ $b_2 = -0.396$ $b_3 = 0.15$ $b_{12} = -0.326$ $b_{13} = 0.51$ $b_{23} = -0.21$ $b_{123} = 0.13$	$b_0 = 79.33$ $b_1 = 3.58$ $b_2 = 4.42$ $b_3 = -0.75$ $b_{12} = -1.5$ $b_{13} = 0.17$ $b_{23} = 1.33$ $b_{123} = 0.08$
• Vérification de la signification statistique de chaque coefficient de régression : 'Critère de STUDENT'					

<p>○ Valeur tabulée du critère de STUDENT: $t_{st} = \{p = 0.95, \gamma = N.(m - 1)\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de STUDENT : $t_{sc}(b_i) = \frac{ b_i }{\sigma(b_i)}$</p> <p>○ $\sigma(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_i)$</p> <p>○ $t_{sc}(b_{ij})$</p> <p>○ $t_{sc}(b_{ijk})$</p> <p>Si $t_{sc} > t_{st}$, le coefficient est significatif.</p>	<p>$t_{st} = 1.746$</p> <p>$\sigma(b_0) = 0.097$ $t_{sc}(b_0) = 257.9 >$ $t_{sc}(b_1) = 0.009 <$ $t_{sc}(b_2) = 6.627 >$ $t_{sc}(b_3) = 1.916 >$ $t_{sc}(b_{12}) = 2.12 >$ $t_{sc}(b_{13}) = 11.74 >$ $t_{sc}(b_{23}) = 1.89 >$ $t_{sc}(b_{123}) = 5.2 >$</p>	<p>$t_{st} = 1.746$</p> <p>$\sigma(b_0) = 0.0146$ $t_{sc}(b_0) = 278.1 >$ $t_{sc}(b_1) = 3.767 >$ $t_{sc}(b_2) = 4.28 >$ $t_{sc}(b_3) = 0.34 <$ $t_{sc}(b_{12}) = 1.88 >$ $t_{sc}(b_{13}) = 2.05 >$ $t_{sc}(b_{23}) = 0.51 <$ $t_{sc}(b_{123}) = 1.20 <$</p>	<p>$t_{st} = 1.746$</p> <p>$\sigma(b_0) = 0.099$ $t_{sc}(b_0) = 54.44 >$ $t_{sc}(b_1) = 17.87 >$ $t_{sc}(b_2) = 13.31 >$ $t_{sc}(b_3) = 10.89 >$ $t_{sc}(b_{12}) = 4.24 >$ $t_{sc}(b_{13}) = 6.75 >$ $t_{sc}(b_{23}) = 3.07 >$ $t_{sc}(b_{123}) = 0.9 <$</p>	<p>$t_{st} = 1.746$</p> <p>$\sigma(b_0) = 0.217$ $t_{sc}(b_0) = 377.1 >$ $t_{sc}(b_1) = 4.218 >$ $t_{sc}(b_2) = 1.82 >$ $t_{sc}(b_3) = 0.69 <$ $t_{sc}(b_{12}) = 1.51 <$ $t_{sc}(b_{13}) = 2.33 >$ $t_{sc}(b_{23}) = 0.98 <$ $t_{sc}(b_{123}) = 0.6 <$</p>	<p>$t_{st} = 1.746$</p> <p>$\sigma(b_0) = 0.161$ $t_{sc}(b_0) = 491.6 >$ $t_{sc}(b_1) = 22.20 >$ $t_{sc}(b_2) = 27.37 >$ $t_{sc}(b_3) = 4.65 >$ $t_{sc}(b_{12}) = 9.29 >$ $t_{sc}(b_{13}) = 1.03 <$ $t_{sc}(b_{23}) = 8.26 >$ $t_{sc}(b_{123}) = 0.51 <$</p>
<p>• Modèle mathématique codé « y » : après élimination des coefficients non significatif : $y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + \dots + b_{12}.x_{12} + b_{13}.x_{13} + \dots + b_{123}.x_{123} + \dots$</p>	<p>$y = 25.13 - 0.65 x_2 - 0.18x_3 + 0.21 x_1x_2 - 1.14 x_1x_3 - 0.18 x_2x_3 - 0.58 x_1x_2x_3$</p>	<p>$y = 4.06 + 0.055x_1 - 0.027x_2 + 0.027 x_1x_3 - 0.03 x_1x_3$</p>	<p>$y = 5.37 + 1.76 x_1 - 1.31x_2 + 1.08x_3 - 0.42 x_1x_2 + 0.67 x_1x_3 - 0.30 x_2x_3$</p>	<p>$y = 82.03 - 0.92 x_1 - 0.396x_2 + 0.51x_1x_3$</p>	<p>$y = 79.33 - 3.58x_1 + 4.42 x_2 - 0.75x_3 - 1.50 x_1x_2 + 1.33 x_2x_3$</p>
<p>• Vérification de l'adéquation du modèle mathématique 'Critère de FISHER' :</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de FISHER : $F_t = \{p = 0.95, \gamma_1, \gamma_2\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de FISHER : $F = \sigma_1^2(y)$</p>	<p>$F_t\{0.95; 16; 1\} = 246.64$</p>	<p>$F_t\{0.95; 16; 3\} = 8.6923$</p>	<p>$F_t\{0.95; 16; 1\} = 246.4639$</p>	<p>$F_t\{0.95; 16; 4\} = 5.8441$</p>	<p>$F_t\{0.95; 16; 2\} = 19.433$</p>

$F_C = \frac{\sigma_1^2(y)}{\sigma_2^2(y)}$ <p>tel que :</p> $\sigma_1^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N \sigma_u^2(y)}{N}$ $\sigma_2^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N (\overline{y_u} - y_{uc})^2}{N - Z_s}$ <p>Si $F_C < F_t$, le modèle est adéquat.</p>	$F_C = 191.666$ $\sigma_1^2(y) = 0.23$ $\sigma_2^2(y) = 0.0012$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat	$F_C = 5.1$ $\sigma_1^2(y) = 0.0051$ $\sigma_2^2(y) = 0.001$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat	$F_C = 2.875$ $\sigma_1^2(y) = 0.23$ $\sigma_2^2(y) = 0.08$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat	$F_C = 2.969$ $\sigma_1^2(y) = 1.14$ $\sigma_2^2(y) = 0.384$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat	$F_C = 4.5$ $\sigma_1^2(y) = 0.63$ $\sigma_2^2(y) = 0.14$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat
<p>• Modèle mathématique à l'échelle naturelle « Y » :</p> $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_{12} \cdot X_{12} + B_{13} \cdot X_{13} + \dots + B_{123} \cdot X_{123} + \dots$	$All = 2000.18 - 9.979 T_1 - 11.90 T_2 - 3.766 V + 0.0601 T_1 T_2 + 0.0191 T_1 V + 0.023 T_2 V - 0.000116 T_1 T_2 V$	$Ten = 8.597 - 0.017 T_1 - 0.061 T_2 + 0.012 V + 0.00027 T_1 T_2 - 0.00006 T_1 V$	$CC = -98.34 + 0.304 T_1 + 1.009 T_2 - 0.1324 V + 0.00134 T_1 V - 0.0006 T_2 V - 0.0042 T_1 T_2$	$CS = 209.954 - 0.602 T_1 - 0.039 T_2 - 0.204 V + 0.001 V T_1$	$NPS = -386.05 + 3.208 T_1 + 2.112 T_2 + 0.5204 V - 0.015 T_1 T_2 + 0.00266 T_2 V$

ANNEXE 6 – Détermination des modèles mathématiques.

FIL BLANC PA-6 70f 18 deniers				
	Allongement	Ténacité	Le gonflant 'BULK'	Le retrait à l'eau bouillante 'SBW'
• Le nombre de variante N :	N= 4	N= 4	N= 4	N= 4
• Le nombre de répétition m :	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3
<p>• Vérification de la reproduction des expériences : 'Critère de COCHRANE'</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de COCHRANE : $G_t = \{p = 0.95, N, \gamma = m - 1\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de COCHRANE :</p> $G_c = \frac{\sigma_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^m \sigma_u^2}$ <p>Si $G_c < G_t$, l'expérience est reproductible.</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.571 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.417 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.350 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.510 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>
<p>• Calcul des coefficients de régression :</p> <p>○ $b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{N}$</p> <p>○ $b_i = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu}}{N}$</p> <p>○ $b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu} \cdot X_{ju}}{N}$</p>	<p>$b_0 = 31.225$</p> <p>$b_1 = -1.81$ $b_2 = 1.51$</p> <p>$b_{12} = -0.54$</p>	<p>$b_0 = 5.63$</p> <p>$b_1 = -0.16$ $b_2 = 0.11$</p> <p>$b_{12} = 0.02$</p>	<p>$b_0 = 58.82$</p> <p>$b_1 = -2.87$ $b_2 = -6.77$</p> <p>$b_{12} = 5.12$</p>	<p>$b_0 = 6.35$</p> <p>$b_1 = 1.08$ $b_2 = -1.25$</p> <p>$b_{12} = -0.1$</p>
<p>• Vérification de la signification statistique de chaque coefficient de régression : 'Critère de STUDENT'</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de STUDENT: $t_{st} = \{p = 0.95, \gamma = N \cdot (m - 1)\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de STUDENT :</p> $t_{sc}(b_i) = \frac{ b_i }{\sigma(b_i)}$	<p>$t_{st} = 1.86$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>

<ul style="list-style-type: none"> ○ $\sigma(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_i)$ ○ $t_{sc}(b_{ij})$ <p>Si $t_{sc} > t_{st}$, le coefficient est significatif.</p>	$\sigma(b_0) = 0.1689$ $t_{sc}(b_0) = 184.87 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 10.71 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 8.97 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 3.19 > t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.016$ $t_{sc}(b_0) = 351.87 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 10 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 6.87 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 1.25 < t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.32$ $t_{sc}(b_0) = 183.81 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 8.97 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 21.16 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 16 > t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.05$ $t_{sc}(b_0) = 127 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 21.6 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 25 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 2 > t_{st}$
<p>• Modèle mathématique codé « y » : après élimination des coefficients non significatif :</p> $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_{12} \cdot x_{12} + b_{13} \cdot x_{13} + \dots + b_{123} \cdot x_{123} + \dots$	$y = 31.225 - 1.81 x_1 + 1.51 x_2 - 0.54 x_1 \cdot x_2$	$y = 5.63 - 0.16 x_1 + 0.11 x_2$	$y = 58.820 - 2.868 x_1 - 6.775 x_2 + 5.120 x_1 \cdot x_2$	$y = 6.35 + 1.08 x_1 - 1.25 x_2 - 0.1 x_1 \cdot x_2$
<p>• Vérification de l'adéquation du modèle mathématique 'Critère de FISHER' :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Valeur tabulée du critère de FISHER : $F_t = \{p = 0.95, \gamma_1, \gamma_2\}$ ○ Valeur calculée du critère de FISHER : $F_C = \frac{\sigma_1^2(y)}{\sigma_2^2(y)}$ <p>tel que :</p> $\sigma_1^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N \sigma_u^2(y)}{N}$ $\sigma_2^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N (\overline{y_u} - y_{uc})^2}{N - Z_s}$ <p>Si $F_c < F_t$, le modèle est adéquat.</p>		$F_t\{0.95 ; 1 ; 8\} = 5.32$ $F_C = 1.767$ $\sigma_1^2(y) = 0.003$ $\sigma_2^2(y) = 0.0053$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat		
<p>• Modèle mathématique à l'échelle naturelle « Y »</p> $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_{12} \cdot X_{12} + B_{13} \cdot X_{13} + \dots + B_{123} \cdot X_{123} + \dots$	$All = -25.74 + 0.056 V + 0.367 T - 0.00039 VT$	$Ten = 3.068 + 0.001 V + 0.011 T$	$BULK = 545.825 - 0.675 V - 2.717 T + 0.0037 VT$	$SBW = 16.95 + 0.021 V - 0.085 T - 0.00007 VT$

FIL VERT PA-6 70f 18 deniers				
	Allongement	Ténacité	Le gonflant 'BULK'	Le retrait à l'eau bouillante 'SBW'
• Le nombre de variante N :	N= 4	N= 4	N= 4	N= 4
• Le nombre de répétition m :	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3
• Vérification de la reproduction des expériences : 'Critère de COCHRANE' ○ Valeur tabulée du critère de COCHRANE : $G_t = \{p = 0.95, N, \gamma = m - 1\}$ ○ Valeur calculée du critère de COCHRANE : $G_c = \frac{\sigma_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^m \sigma_u^2}$ Si $G_c < G_t$, l'expérience est reproductible.	$G_t = 0.7679$ $G_c = 0.59 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.7679$ $G_c = 0.46 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.7679$ $G_c = 0.43 < G_t$ donc l'expérience est reproductible	$G_t = 0.7679$ $G_c = 0.7615 < G_t$ donc l'expérience est reproductible
• Calcul des coefficients de régression : ○ $b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{N}$ ○ $b_i = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu}}{N}$ ○ $b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu} \cdot X_{ju}}{N}$	$b_0 = 37.985$ $b_1 = -3.02$ $b_2 = 0.42$ $b_{12} = -0.025$	$b_0 = 5.65$ $b_1 = -0.1$ $b_2 = -0.21$ $b_{12} = 0.16$	$b_0 = 54.44$ $b_1 = -0.43$ $b_2 = -4.61$ $b_{12} = 1.56$	$b_0 = 5.71$ $b_1 = 0.60$ $b_2 = -1.53$ $b_{12} = -0.1$
• Vérification de la signification statistique de chaque coefficient de régression : 'Critère de STUDENT' ○ Valeur tabulée du critère de STUDENT: $t_{st} = \{p = 0.95, \gamma = N \cdot (m - 1)\}$ ○ Valeur calculée du critère de STUDENT : $t_{sc}(b_i) = \frac{ b_i }{\sigma(b_i)}$	$t_{st} = 1.86$	$t_{st} = 1.86$	$t_{st} = 1.86$	$t_{st} = 1.86$

<ul style="list-style-type: none"> ○ $\sigma(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_i)$ ○ $t_{sc}(b_{ij})$ <p>Si $t_{sc} > t_{st}$, le coefficient est significatif.</p>	$\sigma(b_0) = 0.10$ $t_{sc}(b_0) = 379.8 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 30.2 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 4.2 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 0.25 < t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.023$ $t_{sc}(b_0) = 245.65 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 4.35 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 9.13 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 6.95 > t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.16$ $t_{sc}(b_0) = 340.25 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 2.69 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 28.81 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 9.75 > t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.05$ $t_{sc}(b_0) = 114.2 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 12 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 30.6 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 2 > t_{st}$
<p>• Modèle mathématique codé « y » : après élimination des coefficients non significatif :</p> $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_{12} \cdot x_{12} + b_{13} \cdot x_{13} + \dots + b_{123} \cdot x_{123} + \dots$	$y = 37.98 - 3.02 x_1 + 0.42 x_2$	$y = 5.65 - 0.1 x_1 - 0.21 x_2 + 0.16 x_1 \cdot x_2$	$y = 54.44 - 0.43 x_1 - 4.62 x_2 + 1.56 x_1 \cdot x_2$	$y = 5.71 + 0.6 x_1 - 1.53 x_2 - 0.1 x_1 \cdot x_2$
<p>• Vérification de l'adéquation du modèle mathématique 'Critère de FISHER' :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Valeur tabulée du critère de FISHER : $F_t = \{p = 0.95, \gamma_1, \gamma_2\}$ ○ Valeur calculée du critère de FISHER : $F_C = \frac{\sigma_1^2(y)}{\sigma_2^2(y)}$ <p>tel que :</p> $\sigma_1^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N \sigma_u^2(y)}{N}$ $\sigma_2^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N (\overline{y_u} - y_{uc})^2}{N - Z_s}$ <p>Si $F_C < F_t$, le modèle est adéquat.</p>	$F_{t\{0.95; 8; 1\}} = 238.9$ $F_C = 1.0425$ $\sigma_1^2(y) = 0.13$ $\sigma_2^2(y) = 0.1247$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat			
<p>• Modèle mathématique à l'échelle naturelle « Y » :</p> $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_{12} \cdot X_{12} + B_{13} \cdot X_{13} + \dots + B_{123} \cdot X_{123} + \dots$	$All = 42.66 - 0.022 V + 0.042 T$	$Ten = 20.88 - 0.021 V - 0.085 T + 0.00012 VT$	$BULK = 245.80 - 0.203 V - 1.085 T + 0.0011 VT$	$SBW = 23.12 + 0.01 V - 0.114 T - 0.000073 VT$

FIL NOIR PA-6 70f 18 deniers				
	Allongement	Ténacité	Le gonflant 'BULK'	Le retrait à l'eau bouillante 'SBW'
• Le nombre de variante N :	N= 4	N= 4	N= 4	N= 4
• Le nombre de répétition m :	m= 3	m= 3	m= 3	m= 3
<p>• Vérification de la reproduction des expériences : 'Critère de COCHRANE'</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de COCHRANE : $G_t = \{p = 0.95, N, \gamma = m - 1\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de COCHRANE :</p> $G_c = \frac{\sigma_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^m \sigma_u^2}$ <p>Si $G_c < G_t$, l'expérience est reproductible.</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.7626 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.5625 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.3993 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>	<p>$G_t = 0.7679$</p> <p>$G_c = 0.60 < G_t$ donc l'expérience est reproductible</p>
<p>• Calcul des coefficients de régression :</p> <p>○ $b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n \bar{y}_u}{N}$</p> <p>○ $b_i = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu}}{N}$</p> <p>○ $b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u \cdot X_{iu} \cdot X_{ju}}{N}$</p>	<p>$b_0 = 42.07$</p> <p>$b_1 = -1.665$ $b_2 = 0.15$</p> <p>$b_{12} = -0.045$</p>	<p>$b_0 = 5.52$</p> <p>$b_1 = -0.15$ $b_2 = -0.04$</p> <p>$b_{12} = 0.05$</p>	<p>$b_0 = 49.37$</p> <p>$b_1 = -3.53$ $b_2 = -1.11$</p> <p>$b_{12} = 0.96$</p>	<p>$b_0 = 4.99$</p> <p>$b_1 = 0.61$ $b_2 = -1.16$</p> <p>$b_{12} = -1.15$</p>
<p>• Vérification de la signification statistique de chaque coefficient de régression : 'Critère de STUDENT'</p> <p>○ Valeur tabulée du critère de STUDENT : $t_{st} = \{p = 0.95, \gamma = N \cdot (m - 1)\}$</p> <p>○ Valeur calculée du critère de STUDENT :</p> $t_{sc}(b_i) = \frac{ b_i }{\sigma(b_i)}$ <p>○ $\sigma(b_0)$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>	<p>$t_{st} = 1.86$</p>

<ul style="list-style-type: none"> ○ $t_{sc}(b_0)$ ○ $t_{sc}(b_i)$ ○ $t_{sc}(b_{ij})$ <p>Si $t_{sc} > t_{st}$, le coefficient est significatif.</p>	$\sigma(b_0) = 0.17$ $t_{sc}(b_0) = 145.57 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 57.61 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 5.19 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 1.55 < t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.018$ $t_{sc}(b_0) = 306.67 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 8.33 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 2.22 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 2.78 > t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.36$ $t_{sc}(b_0) = 137.14 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 9.80 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 3.08 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 2.67 > t_{st}$	$\sigma(b_0) = 0.05$ $t_{sc}(b_0) = 99.8 > t_{st}$ $t_{sc}(b_1) = 12.2 > t_{st}$ $t_{sc}(b_2) = 23.2 > t_{st}$ $t_{sc}(b_{12}) = 3 > t_{st}$
<p>• Modèle mathématique codé « y » : après élimination des coefficients non significatif :</p> $y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_{12} \cdot x_{12} + b_{13} \cdot x_{13} + \dots + b_{123} \cdot x_{123} + \dots$	$y = 42.07 - 1.665 x_1 + 0.15 x_2 - 0.045 x_1 \cdot x_2$	$y = 5.52 - 0.15 x_1 - 0.04 x_2 + 0.05 x_1 \cdot x_2$	$y = 49.37 - 3.53 x_1 - 1.11 x_2 + 0.96 x_1 \cdot x_2$	$y = 4.99 + 0.61 x_1 - 1.16 x_2 - 0.15 x_1 \cdot x_2$
<p>• Vérification de l'adéquation du modèle mathématique 'Critère de FISHER' :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Valeur tabulée du critère de FISHER : $F_t = \{p = 0.95, \gamma_1, \gamma_2\}$ ○ Valeur calculée du critère de FISHER : $F_C = \frac{\sigma_1^2(y)}{\sigma_2^2(y)}$ <p>tel que :</p> $\sigma_1^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N \sigma_u^2(y)}{N}$ $\sigma_2^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N (\overline{y_u} - y_{uc})^2}{N - Z_s}$ <p>Si $F_C < F_t$, le modèle est adéquat.</p>	$F_{t\{0.95; 8; 1\}} = 238.9$ $F_C = 1.32$ $\sigma_1^2(y) = 0.3475$ $\sigma_2^2(y) = 0.263$ $F_C < F_t$ donc le modèle est adéquat			
<p>• Modèle mathématique y à l'échelle naturelle « Y »</p> $Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_{12} \cdot X_{12} + B_{13} \cdot X_{13} + \dots + B_{123} \cdot X_{123} + \dots$	$All = 46.08 - 0.012 V + 0.015 T$	$Ten = 10.30 - 0.007V + 0.024 T + 0.000036VT$	$BULK = 149.81 - 0.150 V - 0.495T + 0.0007 VT$	$SBW = 12.10 + 0.024V - 0.056T - 0.00011 VT$

ANNEXE 7 :

- **Calcul des intervalles de confiance des moyennes pour le fil en polyamide-6 f18 deniers pour différentes couleurs considérées, différentes variante:**

Pour la détermination des intervalles de confiance des différents paramètres pour les différentes combinaisons considérées on a [32]:

$$\overline{X} - \xi \leq \overline{X} \leq \overline{X} + \xi$$

Tel que :

$$\xi : \text{est l'erreur de confiance absolue } \xi = t_{St} \cdot \frac{S}{\sqrt{m-1}}.$$

La valeur du critère du STUDENT tabulée est appréciée grâce à sa probabilité P, P= 0.95 et au degré de liberté $\gamma : \gamma = m - 1$

$$t_{St} \{p = 0.95; \gamma = m - 1 = 2\} = 2.92$$

- **Pour le fil blanc :**

N° de variante	La valeur moyenne ' \overline{X} '	La variance 'S'	L'erreur de confiance absolue $\xi = t_{St} \cdot \frac{S}{\sqrt{m-1}}$	L'intervalle de confiance $\overline{X} - \xi \leq \overline{X} \leq \overline{X} + \xi$
Allongement				
1	30.98	0.88	1.82	$29.16 \leq \overline{X} \leq 32.80$
2	28.44	0.14	0.29	$28.15 \leq \overline{X} \leq 28.73$
3	35.09	0.44	0.91	$34.18 \leq \overline{X} \leq 36.00$
4	30.39	0.62	1.28	$29.11 \leq \overline{X} \leq 31.67$
Ténacité				
1	5.38	0.07	0.15	$5.23 \leq \overline{X} \leq 5.53$
2	5.66	0.04	0.10	$5.56 \leq \overline{X} \leq 5.76$
3	5.56	0.07	0.14	$5.42 \leq \overline{X} \leq 5.70$
4	5.93	0.02	0.04	$5.89 \leq \overline{X} \leq 5.97$
Effet gonflant 'BULK'				
1	73.59	1.11	2.29	$71.30 \leq \overline{X} \leq 75.88$
2	57.61	1.34	2.77	$54.84 \leq \overline{X} \leq 60.38$
3	49.80	1.16	2.39	$47.41 \leq \overline{X} \leq 52.19$
4	54.30	0.84	1.73	$52.57 \leq \overline{X} \leq 56.03$
Retrait à l'eau bouillante 'SBW'				
1	6.47	0.11	0.23	$6.24 \leq \overline{X} \leq 6.70$
2	8.72	0.07	0.14	$8.58 \leq \overline{X} \leq 8.86$
3	4.18	0.23	0.47	$3.71 \leq \overline{X} \leq 4.65$
4	6.03	0.26	0.54	$5.49 \leq \overline{X} \leq 6.57$

ANNEXE 7

Suite 1

- Pour le fil vert :

N° de variante	La valeur moyenne ' \bar{X} '	La variance 'S'	L'erreur de confiance absolue $\xi = t_{St} \cdot \frac{S}{\sqrt{m-1}}$	L'intervalle de confiance $\bar{X} - \xi \leq \bar{X} \leq \bar{X} + \xi$
Allongement				
1	40.58	0.33	0.68	$39.90 \leq \bar{X} \leq 41.26$
2	34.54	0.13	0.27	$34.27 \leq \bar{X} \leq 34.81$
3	41.42	0.56	1.15	$40.27 \leq \bar{X} \leq 42.57$
4	34.38	0.28	0.58	$34.8 \leq \bar{X} \leq 35.96$
Ténacité				
1	6.12	0.07	0.14	$5.98 \leq \bar{X} \leq 6.26$
2	5.60	0.08	0.17	$5.43 \leq \bar{X} \leq 5.77$
3	5.38	0.09	0.19	$5.19 \leq \bar{X} \leq 5.57$
4	5.51	0.04	0.08	$5.43 \leq \bar{X} \leq 5.59$
Effet gonflant 'BULK'				
1	61.05	0.18	0.37	$60.68 \leq \bar{X} \leq 61.42$
2	57.07	0.74	1.53	$55.54 \leq \bar{X} \leq 58.60$
3	48.70	0.43	0.89	$47.81 \leq \bar{X} \leq 49.59$
4	50.95	0.70	1.45	$49.50 \leq \bar{X} \leq 52.40$
Retrait à l'eau bouillante 'SBW'				
1	6.50	0.04	0.08	$6.42 \leq \bar{X} \leq 6.58$
2	7.94	0.07	0.15	$7.79 \leq \bar{X} \leq 8.09$
3	3.68	0.31	0.64	$3.04 \leq \bar{X} \leq 4.32$
4	4.68	0.15	0.31	$4.37 \leq \bar{X} \leq 4.99$

- Pour le fil noir :

N° de variante	La valeur moyenne ' \bar{X} '	La variance 'S'	L'erreur de confiance absolue $\xi = t_{St} \cdot \frac{S}{\sqrt{m-1}}$	L'intervalle de confiance $\bar{X} - \xi \leq \bar{X} \leq \bar{X} + \xi$
Allongement				
1	43.54	0.48	0.99	$42.55 \leq \bar{X} \leq 44.53$
2	40.30	0.21	0.43	$39.87 \leq \bar{X} \leq 40.73$
3	43.93	0.25	0.52	$43.41 \leq \bar{X} \leq 44.45$
4	40.51	1.03	2.13	$38.38 \leq \bar{X} \leq 42.64$
Ténacité				
1	5.75	0.10	0.21	$5.54 \leq \bar{X} \leq 5.96$
2	5.36	0.02	0.04	$5.32 \leq \bar{X} \leq 5.40$
3	5.59	0.08	0.17	$5.42 \leq \bar{X} \leq 5.76$
4	5.39	0.03	0.06	$5.33 \leq \bar{X} \leq 5.45$

ANNEXE 7
Suite 2

Effet gonflant 'BULK'				
1	54.97	1.57	3.24	$51.73 \leq \bar{X} \leq 58.21$
2	45.99	1.21	2.50	$43.49 \leq \bar{X} \leq 48.49$
3	50.82	1.45	2.99	$47.83 \leq \bar{X} \leq 53.81$
4	45.69	0.36	0.74	$44.95 \leq \bar{X} \leq 46.43$
Retrait à l'eau bouillante 'SBW'				
1	5.39	0.30	0.62	$4.77 \leq \bar{X} \leq 6.01$
2	6.91	0.12	0.25	$6.66 \leq \bar{X} \leq 7.16$
3	3.36	0.13	0.27	$3.09 \leq \bar{X} \leq 3.63$
4	4.29	0.17	0.35	$3.94 \leq \bar{X} \leq 4.64$