

Remerciement :

Je remercie tous d'abord ALLAH pour me donner la santé, la volonté, le courage et l'espoir qui m'ont aidé à accomplir ce travail.

Mon **papa**, ma **maman** c'est grâce à vous, vos sacrifices, vos efforts et vos prières que je suis là, merci n'est jamais suffisant, qu'Allah vous gardes et protèges.

A mes frères et sœurs : **Mohamed, Nadia, Abdelhak** et **Nardjiss** ; vous êtes une partie de moi, merci pour les souvenirs, les fou rires, et les bons moments que vous m'avez offert, j'apprécie votre existence et je remercie Allah d'être votre sœur.

Nesrine, tu es aussi ma sœur mais je ne t'ai pas mentionné avec les autres parce que tu es assez spéciale et unique comme étant une sœur, une amie, et même une maman par fois, tu étais toujours là pour moi ; j'ai l'honneur de dire que cette fille est ma sœur, merci pour l'amour inconditionnel.

A **Salim HAMMAR** ; c'est garce à toi et à CreatiVum que je suis devenue une personne confiante, courageuse, et audacieuse ; je suis fière de te connaître et d'avoir rejoint le CreatiVum.

A toute personne qui a passé par ma vie un jour et qui a laissé une belle empreinte : **Hanifa Yasmine MEKDED, Houria SI BOUAZZA, Soumia GACEM, Sid Ahmed MOKHTAR, Sid Ahmed GUENNOUNA, Islem BOUTCHICHA, Nesrine DEGDEG** et **Khadidja SEFRAOUI**; je vous remercie du fond du cœur pour tous moment de qualité que j'ai vécu à votre présence.

Un spécial remerciement à ma chère amie **Hanane MAHIDA** que j'ai eu l'honneur de la connaître purement par coïncidence ; merci d'être toujours présente à mes côtés.

Mr **Fouad MALIKI**, notre deuxième père, merci d'avoir donné une merveilleuse image d'un enseignant, d'un leader et d'un chef de filière ; je suis tellement fière de vous compter parmi les miens ; merci d'être simplement une bonne âme qui donne sans attendre le feedback.

Un grand remerciement à l'entreprise TAYAL pour le bon accueil et l'orientation durant toute la période du stage sous la supervision du Mr **Younes ZEKRI**.

A toute personne qui m'a aidé au sein de l'entreprise : **Fatma RABAHALLAH**, **Bohra BOUNADER**, **Adel KADDAR**, **Redouane MOUSSA**, et **Charaf SELMANI** ; j'avais de la chance de vous connaître ; merci infiniment pour votre soutien et votre aide.

Un spécial remerciement à Mr **Housseyn KAHOUADJI** pour ses efforts fournis durant mes préparations pour le thème du master.

Dédicace :

Avec l'expression de ma reconnaissance et ma gratitude, je dédie ce travail à la personne qui a travaillé dure, qui a sacrifié avec son temps et ses efforts pour réussir ce projet malgré tous les obstacles...

A moi-même, je suis tellement fière de toi Madjda ; de te voir là où tu es.

Fière de ton courage malgré la peur, ta passion malgré les obstacles et ton ambition malgré les difficultés, et j'en suis sûre qu'après cinq ans je serai plus fière de toi.

Personne ne mérite cette dédicace à part toi ; car tu m'as poussé, motivé et inspiré pour aller jusqu'au bout afin de réaliser mes rêves.

Résumé :

Autant que des ingénieurs en génie industriel ; notre rôle principal est de chercher le bon fonctionnement, l'amélioration de la performance des systèmes de production et le développement de la qualité du service afin de garantir la pérennité, la meilleure réputation et la bonne image de l'entreprise donc nous avons décidé de jouer sur l'optimisation des produits chimiques utilisés par l'atelier de l'INDIGO au sein de l'entreprise TAYAL –SPA- afin d'atteindre les objectifs mentionnés précédemment à l'aide des méthodes qu'on a étudié durant.

Nous sommes conscients du poids et de l'importance économique du TAYAL par rapport au marché national et international, donc des grands efforts sont fourni dans ce travail pour être à la hauteur des attentes.

Mots clés : Optimisation, performance, qualité, TAGUCHI.

Abstract:

As industrial management and logistics engineers, our main role is to look for the best functioning, the improvement of the production systems performance and the development of the service's quality in order to guarantee the sustainability; the best reputation and the good image of the company so we have decided to establish develop a new optimization method for the consumption of chemical products used in the unit of INDIGO of TAYAL –SPA- Company in order to reach the goals mentioned before using methods that we have already learned during our career as students.

We are aware of the economic weight and importance of TAYAL for the national and international market, so huge efforts are made during this work to be at the level of expectations.

Keywords: Optimization, performance, quality, TAGUCHI.

ملخص

كمهندسين في مجال الهندسة الصناعية، مسؤوليتنا الاولى تحسين أداء انظمة الانتاج وترقية جودة الخدمة من أجل ضمان حسن السمعة والصورة وديمومة الانتاج.

قررنا تطبيق نظرية للاقتصاد في استعمال المواد الكيماوية على مستوى وحدة الصباغة وذلك بمساعدة المناهج والطرق التي صادفناها خلال مشوارنا الدراسي من اجل الوصول الى هذه الاهداف في مؤسسة تايلال للألبسة النسيجية والتي تعتبر العرق النابض للاقتصاد الوطني .

الكلمات المفتاحية: التحسين، الاداء، النوعية، تاغوشي.

TABLE DES MATIERES :

Table des matières

Remerciement :	1
Dédicace :	3
Résumé :	4
TABLE DES MATIERES :	5
Liste des figures :	7
Liste des tableaux :.....	8
1. Introduction :	12
2. Présentation de l'entreprise :	12
3. Processus de production : TAYAL importe la matière première de plusieurs pays : Espagne ; Grèce ; Slovénie ; Brésil ; Portugal ; France ; USA.	13
3.1. Stockage :	14
3.2. Unités de Filature (3 et 4) :.....	15
3.3. Unités du Tissage (8 et 9) :.....	20
3.4. Préparation et teinture :	22
3.5. Tricotage (unité 6) :.....	31
3.6. Teinture (unité 11) :.....	33
4. Conclusion :.....	36
Chapitre 2 :	37
La méthode TAGUCHI	37
Introduction :.....	38
1. Motivation :	38
2. La méthode du TAGUCHI :	39
2.1. Historique et méthodologie :	39
2.2. Les avantages de la méthode TAGUCHI :	42
2.3. Les domaines d'application de la méthode TAGUCHI :.....	42
3. Les plans d'expériences : c'est une méthode d'expérimentation basée sur le principe suivant : au lieu de réaliser un grand nombre d'essais en ne faisant varier qu'un seul paramètre à la fois, et il fait varier en parallèle tous les autres paramètres. (3)	42
3.1. L'apport du taguchi aux plans d'expériences :.....	45
3.2. A quoi sert un plan d'expériences ? :	45
3.3. La démarche d'élaboration d'un plan d'expérience :	47
3.4. La démarche expérimentale d'un plan d'expérience :.....	49
4. Conclusion :.....	50

Chapitre 3 :	51
Application de la méthode	51
TAGUCHI sur « INDIGO »	51
1. Introduction :	52
2. Motivations :	52
3. Réalisation :	53
3.1. La formalisation du problème :	53
3.2. La sélection des paramètres :	53
3.3. Fixation des niveaux des paramètres :	54
3.4. Elaboration du plan d'expérience :	54
3.5. Plan d'expériences par la méthode TAGUCHI :	60
3.6. Définition de l'influence de chaque paramètre :	62
4. Conclusion :	66
Conclusion générale	67
BIBLIORAOHIE :	69

Liste des figures :

Chapitre 1 :

Figure 1. 1: Cycle de création de l'entreprise TAYAL SPA (3).....	13
Figure 1. 2 : Les étapes de production dans l'entreprise TAYAL –SPA– (1)	14
Figure 1. 3: L'entrepôt (2) de l'entreprise TAYAL SPA (1).....	15
Figure 1. 4: Blow Room (1)	16
Figure 1. 5 : Machine de cardage. (1).....	16
Figure 1. 6 : Banc d'étirage 01. (1)	17
Figure 1. 7 : Peigneuse. (1).....	17
Figure 1. 8 : Banc à broche (1).....	18
Figure 1. 9 : Ring Spinning. (1).....	18
Figure 1. 10 : Bobinage. (1).....	19
Figure 1. 11 : processus du fil Carded/Combed	19
Figure 1. 12 : processus du fil Carded.....	20
Figure 1. 13 : processus du fil Open End	20
Figure 1. 14 : Tissage	21
Figure 1. 15 : types des armures.....	22
Figure 1. 16 : préparation des tissus pour le tissage.....	23
Figure 1. 17 : BALL WARPING (Ourdissage). (1)	24
Figure 1. 18 : processus de la teinture (rope dyeing) (6).....	24
Figure 1. 19 : creel (7).....	25
Figure 1. 20 : prétraitement -box1- (7).....	25
Figure 1. 21 : pré rinçage. (7).....	26
Figure 1. 22 : post rinçage. (7)	26
Figure 1. 23 : dyeing machine (Box 6 – Box 13). (7).....	27
Figure 1. 24 : zone d'oxydation. (7).....	28
Figure 1. 25 : STEAMER. (7).....	28
Figure 1. 26 : DRYER 1. (7)	29
Figure 1. 27 : DRYER 2. (7)	29
Figure 1. 28 : Schéma de la machine REBEAMING.	31
Figure 1. 29 : Unité 6 (1).....	32
Figure 1. 30 : Système de l'unité « Kniting ». (1).....	33
Figure 1. 31 : Machine de teinture (1).....	34
Figure 1. 32 : Machine de Séchage. (1).....	35
Figure 1. 33 : Machine de Sanforisage. (1)	36

Chapitre 2 :

Figure 2. 1 : schéma du four.....	39
Figure 2. 2 : l'environnement d'un système (2)	46

Liste des tableaux :

Tableau 3. 1 : Les niveaux des paramètres de l'article 1.....	54
Tableau 3. 2 : La matrice des permutations pour le plan d'expérience complet.	56
Tableau 3. 3 : plan d'expérience complet.....	59
Tableau 3. 4 : La matrice des permutations par TAGUCHI de l'article 1.....	61
Tableau 3. 5 : Le plan d'expérience par TAGUCHI de l'article 1.	61
Tableau 3. 6 : moyenne des niveaux des paramètres de l'article.	62
Tableau 3. 7 : calcul de l'influence.	63
Tableau 3. 8 : matrice de calcul du rapport Signal/Bruit.....	63
Tableau 3. 9 : Tableau de la vitesse.....	64
Tableau 3. 10 : Tableau de l'alimentation.	64
Tableau 3. 11 : Tableau de la concentration.....	64
Tableau 3. 12 : Tableau du PH.	65

Introduction générale

Dans un contexte d'optimisation des ressources, les managers de l'entreprise sont contraints de faire appel à des méthodes simple et efficace leur permettant de trouver des solutions optimales, rapides et rentables. Ces méthodes sont principalement basées sur des modèles mathématiques, des approches d'analyse multicritères ou des plans d'expériences qui permettent de prédire une réponse en fonction de facteurs de variabilité suivant un modèle précis.

Un plan d'expérience est une suite ordonnée d'essais où chacun permet d'obtenir un résultat suivant un ou plusieurs paramètres d'entrées. L'une des méthodes les plus utiliser et la méthode de TAGUCHI, qui se distingue par une réduction importante du nombre d'essais, tout en gardant une bonne précision. Ce projet de master est réalisé au sein de l'entreprise TAYAL – SPA–, plus précisément l'atelier INDIGO et consiste à optimiser la quantité des produits chimiques utilisés dans la teinture du fil du tissu denim. Ce problème est résolu en utilisant la méthode TAGUCHI qui permet d'obtenir une solution satisfaisante tout en respectant certaines contraintes. Cette méthode est basée sur des plans d'expériences réduits et vise à minimiser les coûts d'achat des produits utilisés tout en gardant la meilleure qualité du produit fini qui est le fil teinté.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre est dédié à la présentation de l'entreprise TAYAL SPA avec une explication détaillée des produits fabriqués, du cycle de production et de la stratégie actuelle de gestion de l'entreprise.

Le deuxième chapitre est consacré à l'explication des différentes étapes de la méthode TAGUCHI ; son principe de fonctionnement ainsi que son impact sur le rendement de l'entreprise.

Le troisième chapitre présente le cas d'application réalisé au sein de TAYAL –SPA- qui consiste à appliquer la méthode TAGUCHI sur la chaine de production de l'atelier « INDIGO ». Cette méthode va nous permettre de définir les niveaux des paramètres appropriés pour optimiser les quantités des produits chimiques afin de réduire les coûts d'achat de ces derniers. Les résultats obtenus sont présentés et analysés montrant l'efficacité de l'approche utilisée.

Chapitre 1 :
Présentation de l'entreprise
TAYAL –SPA-

1. Introduction :

Le marché algérien du textile est presque vierge car la majorité des produits vient de l'importation.

L'entreprise TAYAL est parmi les rares complexes au monde qui fabrique le fil, le tissu ; et les vêtements prêt à porter à la fois.

Dans ce chapitre on va rentrer plus aux détails, les produits fabriqués, les différentes unités de production, et les processus du fonctionnement pour chaque atelier.

2. Présentation de l'entreprise :

L'algérienne des industries textiles TAYAL, S.P.A est une entreprise textile située à SIDI KHETTAB, RELIZANE, en Algérie, elle est établie depuis novembre 2013.

C'est un partenariat entre INTERTAY (filiale du groupe turc « TAY » qui a plus de 40 ans d'expérience dans le domaine textile) et les entreprises algériennes :

C & H group

E.P.E TEXALG

MADAR Holding.

La superficie totale de l'entreprise est de 2, 500,000 m², dont une partie de 1, 000,000 m² est déjà réalisée et fonctionnelle sur laquelle une superficie de plus de 330.000 m² est couverte sous forme de 30 blocs. (1)

C'est une des rares complexes complètement intégrés dans le monde, commençant du fil jusqu'au prêt à porter en consommant une quantité de coton estimée à 40,000 tonnes annuellement. (1)

L'entreprise a commencé la production en mars 2018 ; 4 mois après et jusqu'à la fin de l'année ; TAYAL a exporté 750 tonnes de ses produits.

La qualité de ses produits a poussé une augmentation de la valeur des exportations de 313 % en 2019 ; et 145 % de plus en 2020. (2)

TAYAL a un potentiel de production de 36 000 tonnes de fil, 50 millions de mètres de tissu, 5000 tonnes de tricot et jusqu'à 30 millions de pièces de prêt-à-porter par an.

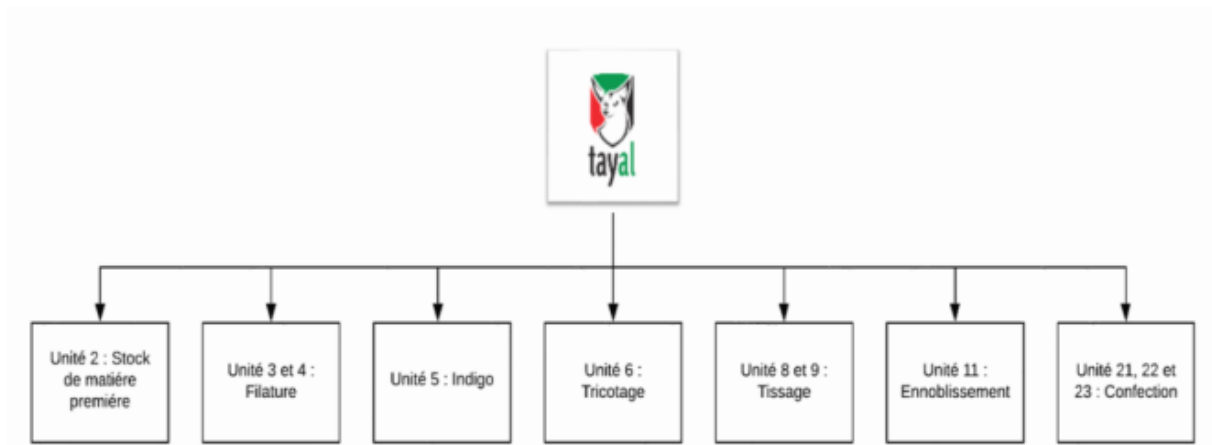


Figure 1. 1: Cycle de création de l'entreprise TAYAL SPA (3)

TAYAL contient autres unités comme : la restauration, le logement, l'administration, bloc de formation, unité de l'énergie, unité du traitement des eaux... etc.

3. Processus de production : TAYAL importe la matière première de plusieurs pays : Espagne ; Grèce ; Slovaquie ; Brésil ; Portugal ; France ; USA.

Ces pays ont une très bonne qualité de fibre que ce soit naturelle ou artificielle ; le but de TAYAL est de :

- Fournir un bon produit (fils, tissu, prêt à porter).
- Acquérir la confiance du client.
- Garder l'existence dans le marché international.

Le produit dès qu'il arrive à l'entreprise il passe par l'unité 1 (la porte d'entrée) pour les procédures de réception et de vérification.

Cette figure représente les étapes de la production en commençant par le stockage des matières premières (coton, lycra, polyester...) dans l'unité 2.

La filature est la deuxième étape de la production qui se passe au niveau des unités 3 et 4 qui fonctionnent en parallèle ; cette étape sert à transformer le coton en différents types du fil ;

En arrivant vers l'unité 5 pour la teinture du fil, puis les unités du tissage (6,8 et 9) pour obtenir deux types de tissus : tricoté et tissé.

La fin de la production est la teinture du tissu et la confection de prêt à porter. (1)

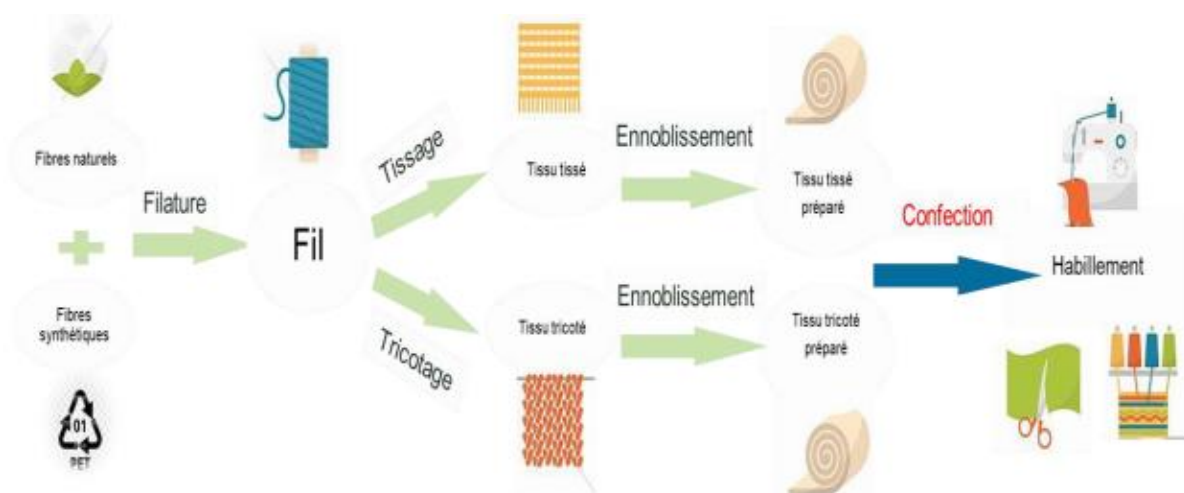


Figure 1. 2 : Les étapes de production dans l'entreprise TAYAL –SPA– (1)

Par la suite on va détailler chaque étape mentionnée en dessus ;

3.1. Stockage :

C'est l'unité 2 ; elle sert à vérifier le coton en termes de qualité à l'aide de son laboratoire et le stocker pour l'alimentation des unités de filature (3 et 4).



Figure 1. 3: L'entrepôt (2) de l'entreprise TAYAL SPA (1)

3.2. Unités de Filature (3 et 4) :

Pour bien comprendre le processus de la filature ; on doit parler de quelques notions de base tous d'abord ;

3.2.1. Le fil :

C'est l'état des fibres rassemblées d'une manière torsadées ou non afin d'être utilise pour créer des ouvrages plus solides. (1)

3.2.2. La filature :

C'est l'ensemble des opérations de transformation des fibres naturelles ou synthétiques en différents types de fils. (3)

3.2.2.1. Nettoyage :

Le nettoyage des fibres se fait par enlever le maximum de corps indésirables.



Figure 1. 4: Blow Room (1)

3.2.2.2. Cardage :

C'est l'opération du brossage des flocons de fibres d'une façon mécanique ; elle permet de paralléliser les fibres et d'éliminer les dernières impuretés. Pour avoir à la fin un ruban de fibres bien régulier.



Figure 1. 5 : Machine de cardage. (1)

3.2.2.3. L'étirage :

C'est une étape complémentaire du cardage ; elle permet de bien paralléliser les fibres et de régulariser la grosseur du ruban de fibres. (1)



Figure 1. 6 : Banc d'étirage 01. (1)

3.2.2.4. Le peignage :

À ne pas confondre avec le cardage ; ce n'est pas une étape obligatoire mais supplémentaire pour la production du fil d'une qualité supérieure ; l'opération du peignage permet de former un ruban de fibres longues. (4)



Figure 1. 7 : Peigneuse. (1)

3.2.2.5. ROVING (banc a broche) :

Le produit livré par les machines itinérantes s'appelle Roving. La mèche est un brin de fibre de moindre nombre que celui d'un ruban. Il a également une petite touche pour garder les fibres ensemble. Il est enroulé sur un emballage adapté à l'alimentation des machines à filer « RING ».

(1)



Figure 1. 8 : Banc à broche (1)

3.2.2.6. RING Spinning :

La machine RING FRAME a pour fonction de :

- Tirer la mèche pour atteindre la finesse voulue.
- Tordre le brin projeté pour former un fil avec une résistance bien précise.
- Enrouler le fil torsadé sur la bobine pour un stockage et un transport approprié. (1)



Figure 1. 9: Ring Spinning. (1)

3.2.2.7. Le bobinage (CONE WINDING) :

C'est la dernière étape de la filature. Elle sert à enroulé le fil pour former un lien entre les derniers éléments de la fabrication du fil et le premier élément du processus de fabrication du tissu. (1)

L'unité de filature assure la fabrication de 4 types de fils : Open End, Carded, Combed, Compact ; qui ont différentes qualités, en se basant sur son processus de fabrication.



Figure 1. 10: Bobinage. (1)

L'unité de filature assure la fabrication de 4 types de fils : Open End, Carded, Combed, Compact ; qui ont différentes qualités, en se basant sur son processus de fabrication.

• Compact /Combed :

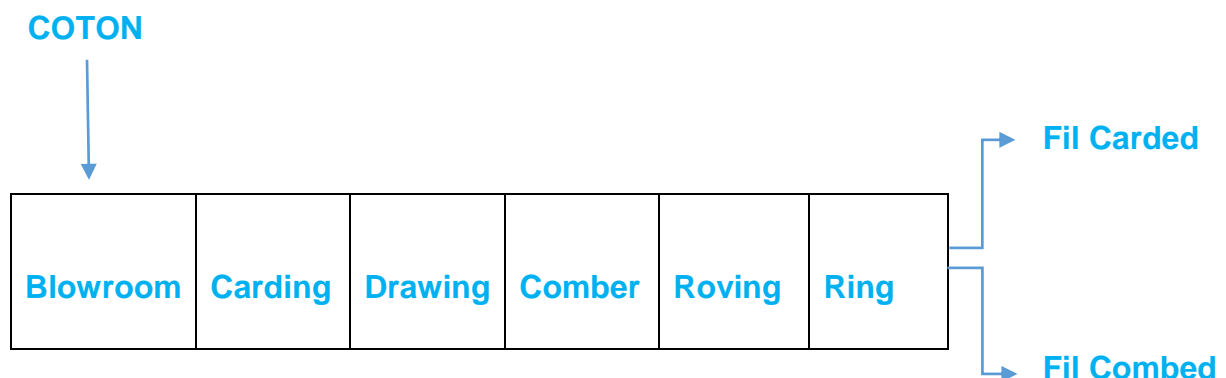


Figure 1. 11 : processus du fil Carded/Combed

• **Carded :**

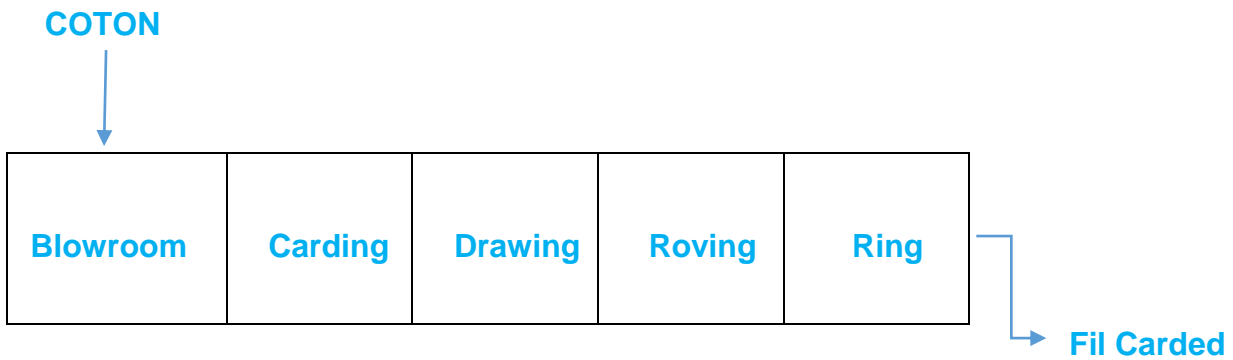


Figure 1. 12 : processus du fil Carded

• **Open-end :**

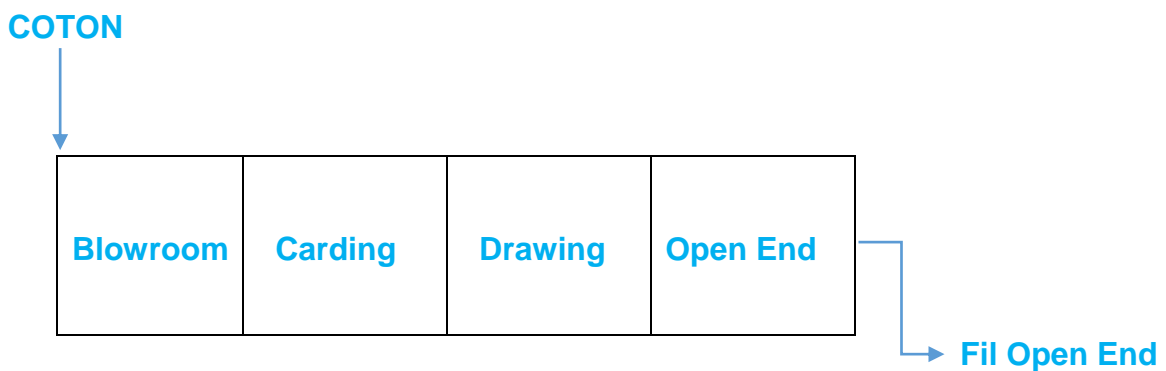


Figure 1. 13 : processus du fil Open End

3.3. Unités du Tissage (8 et 9) :

Le tissage est un procédé de production de textile dans lequel deux ensembles de fils sont entrelacés.

Les fils verticaux sont appelés fils de chaîne « Warp » (1) et les fils horizontaux sont les fils de trame « Weft » (2) ; les caractéristiques du tissu demandé sont définis par un design spécifique.

(1)

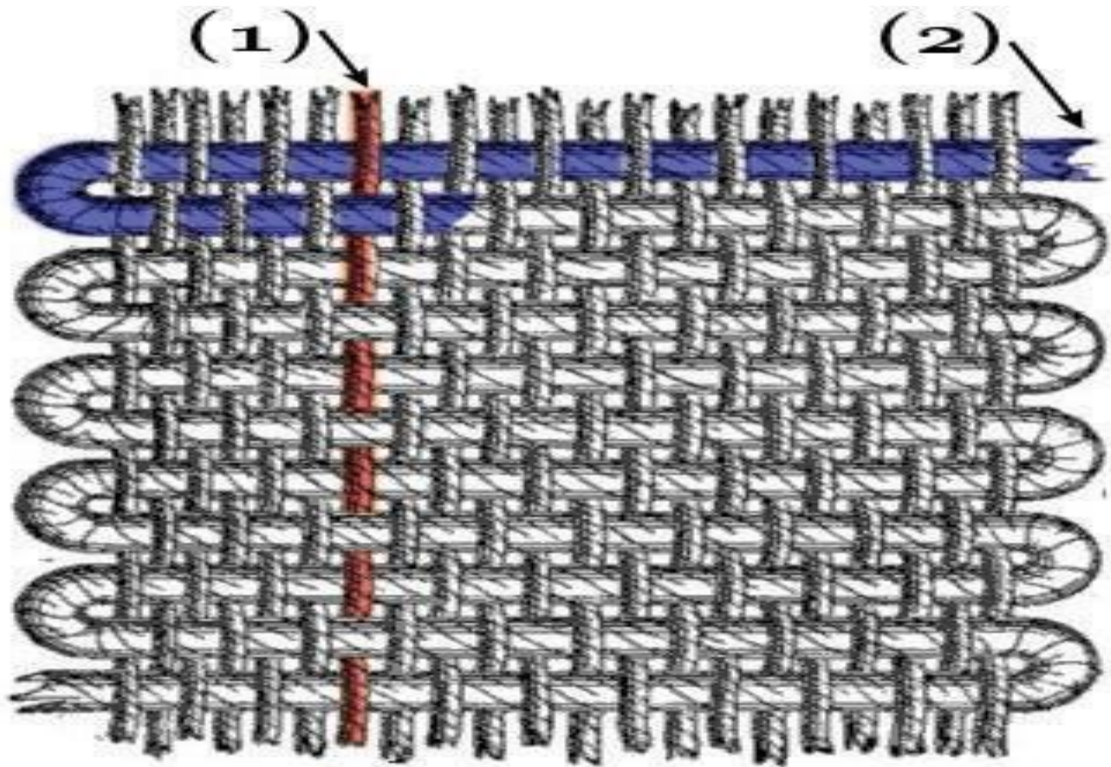


Figure 1. 14: Tissage

3.3.1. L'armure :

C'est l'entrecroisement des fils de chaîne et des fils de trame ; elle est nécessaire pour définir l'apparence d'un tissu.

Le dessin d'une armure se fait sur un papier quadrillé où les rangées verticales sont les fils de chaîne et les rangées horizontales sont les fils de trame. Chaque case sur le papier quadrillé représente l'intersection d'un fil de chaîne et d'un fil de trame.

Si la case est noire (occupée), ça veut dire que le fil de chaîne se trouve à la surface du tissu.

La majorité des produits tissés sont créés à l'aide d'une des trois armures :

- Toile
- Satin
- Sergé (1)

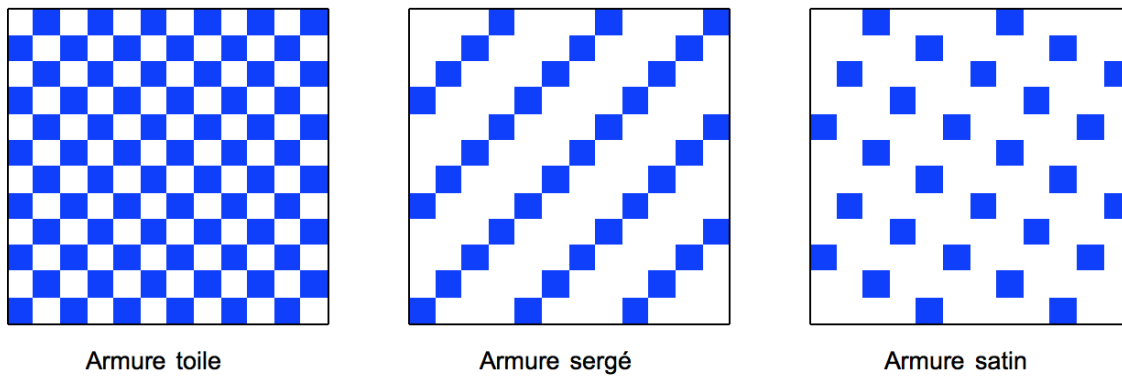


Figure 1. 15 : types des armures

3.4. Préparation et teinture :

On peut distinguer 3 types de tissus : denim, non denim et chemise.

Chaque type du tissu a une procédure de préparation du fil spéciale, ces procédures sont faites dans l'atelier 5.

Cet atelier est divisé en 5 départements :

5A : pour le « BALL WARPING »

5B : pour le « ROPE DYEING »

5C : pour le « REBEAMING »

5D : pour le SIZING.

5E : pour le stock.

Les procédures de préparation des différents types du tissu sont expliquées dans le schéma suivant :

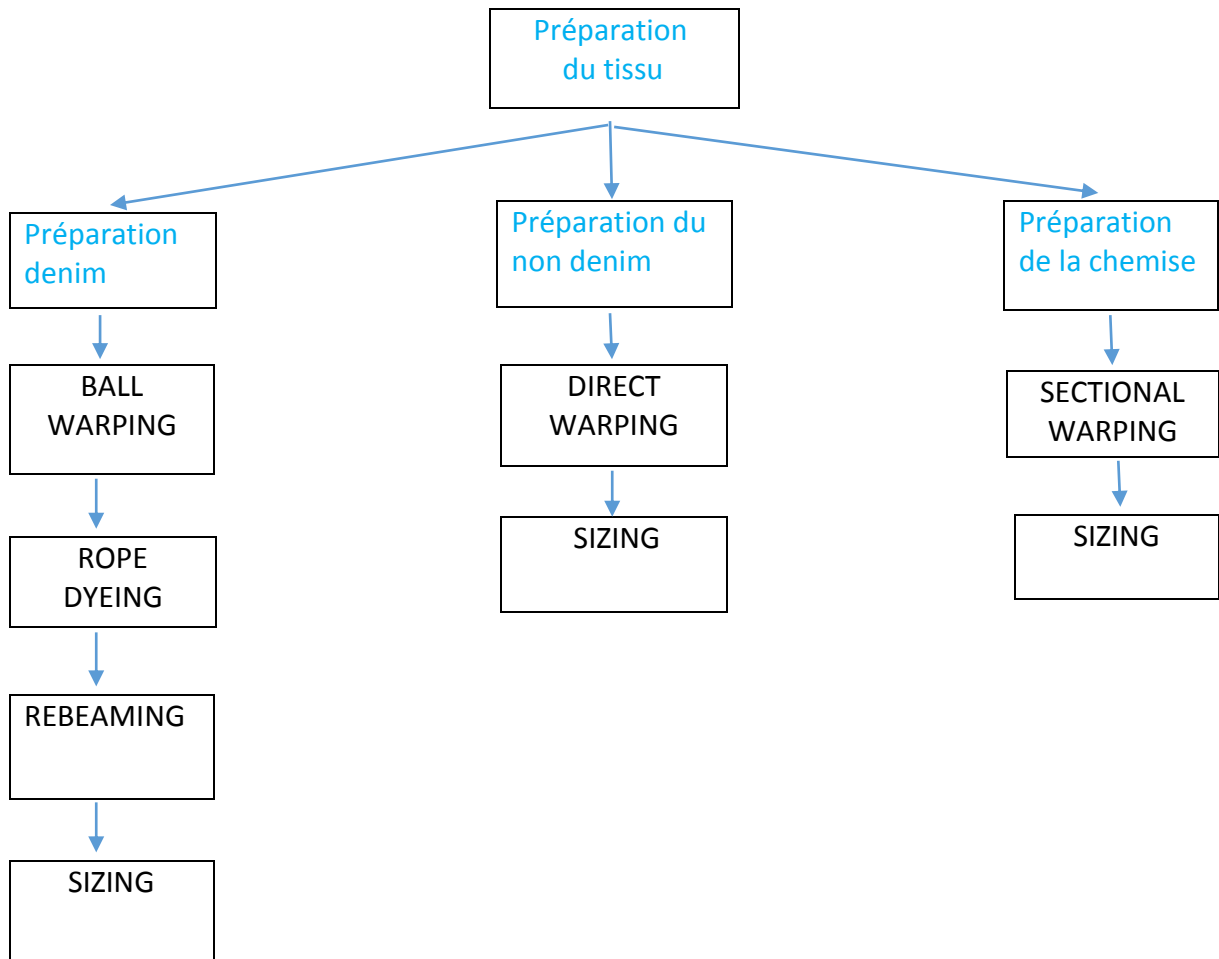


Figure 1. 16 : préparation des tissus pour le tissage.

Nous allons expliquer par la suite chaque étape de préparation en détail :

3.4.1. La préparation de fil pour le tissu denim :

Le mot denim veut dire un tissu de couleur bleue (jean) ; la préparation du fil pour le denim passe par 4 étapes :

3.4.1.1. BALL WARPING (ourdissage) :

Cette étape a pour but de changer la forme du fil pour quelle sera appropriée dans la machine de la teinture (l'étape suivante) ; la forme initiale du fil est une bobine de petite taille ; la forme finale sera une ensouple (beam) avec des dimensions plus grandes.

Les bobines de fil sont installées dans un support appelé un cantre. Ou le nombre de bobines, le nombre de fils et le nombre de répétitions des sections de fils seront déterminés avant le démarrage de cette opération. (1)



Figure 1. 17: BALL WARPING (Ourdissage). (1)

3.4.1.2. ROPE DYEING (teinture) :

La teinture du fil se fait dans la partie B de l'atelier 5 qui s'appelle « INDIGO », ce mot signifie la couleur bleue qui prend son nom de la fleur « indigotine »

Le fil teinté dans cette étape c'est le fil de chaîne (Warp) avec différentes couleurs (bleu « indigo », noir, gris) tous dépend du client.

L'INDIGO contient deux chaînes de production en parallèle (ils font exactement le même travail) ;

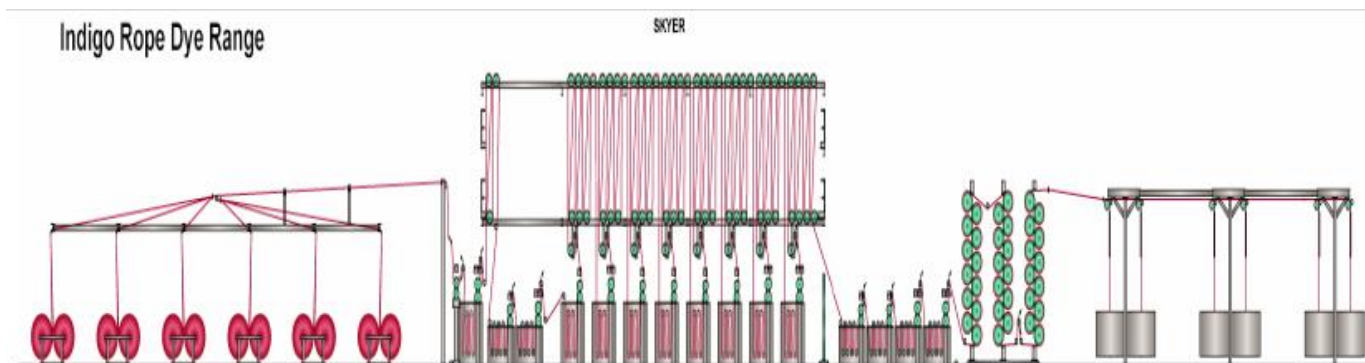


Figure 1. 18 : processus de la teinture (rope dyeing) (6)

Chaque chaîne est composée de :

Une partie d'installation de fil ; elle contient trois couloirs (creel) avec une capacité de 12 beams chaque un, donc la première étape est de mettre en place les ensouples obtenues du BALL WARPING dans les couloirs.



Figure 1. 19 : creel (7)

18 box qui font un travail différent.

Pré traitement « Box1 » : c'est un processus de neutralisation qui se fait à l'aide d'une solution de soude caustique pour solidifier le fil et minimiser l'absorption de la teinture.



Figure 1. 20 : prétraitement -box1- (7)

Le rinçage : 9 box sont réservés pour cette opération qui sert à optimiser la valeur du PH ;

4 Box pour le pré rinçage (Box 2 – Box 5).

5 Box pour le post rinçage (Box 14 – Box 18).



Figure 1. 21 : pré rinçage. (7)



Figure 1. 22 : post rinçage. (7)

Teinture (DYEING) : 8 Box sont réservés pour cette opération (Box 6 – Box 13) ;

Trois opérations peuvent être faites à travers ces box :

- Pré traitement + INDIGO DYEING.
- Pré traitement + SULPHER DYEING.
- SULPHER DYEING + INDIGO DYEING.



Figure 1. 23 : dyeing machine (Box 6 – Box 13). (7)

Zone d'oxydation : l'oxydation est nécessaire pour le développement de la teinture de l'INDIGO. L'oxygène permet de savoir la couleur vrai de la teinture sur le fil ; si le couleur n'est pas la même que celle du client ; il y aura des modifications des concentrations dans les box.



Figure 1. 24 : zone d'oxydation. (7)

STEAMER : cette machine a pour objectif de fixer la couleur sur le fil.



Figure 1. 25 : STEAMER. (7)

Séchage (DRYER) : cette partie contient 2 machines de séchage :

La première contient 28 cylindres avec 2 températures différentes.

La deuxième contient 30 cylindres avec 3 températures différentes.



Figure 1. 26 : DRYER 1. (7)

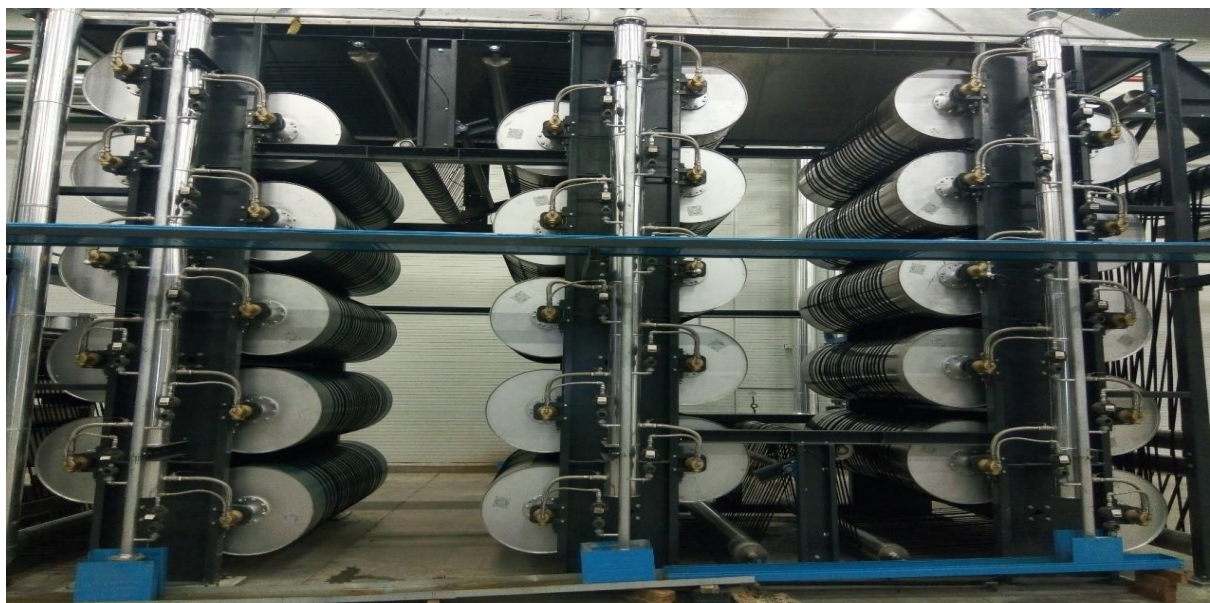


Figure 1. 27 : DRYER 2. (7)

Contrôle de la qualité :

Pour maintenir la qualité de teinture et la couleur exacte souhaitée par le client, le suivi est obligatoire tout au long du processus et pour ce faire il existe toute une procédure à suivre :

- 1/ Incorporer les solutions dans le flocon installé dans l'appareil.
- 2/ Allumer l'appareil de titration « Methrom » à travers le bouton principal de l'unité centrale du pc.
- 3/ Ouvrir la source du gaz de nitrogène à l'aide de la vanne principale du gaz de nitrogène et la vanne transparente qui se trouve dans l'appareil.
- 4/ prélever un échantillon de la préparation de teinture et l'injecter dans l'appareil de titration chaque 15 minutes à l'aide d'un bécher.
- 5/ Appuyer sur (entrée) pour démarrer l'opération automatique afin de déterminer les concentrations.
- 6/ Prélever un échantillon du fil teinté afin de le comparer aux échantillons de la référence à chaque 1000m de fil produit.

Test PH :

- 1/ Prélever un échantillon de teinture chaque 15 minutes.
- 2/ Mettre le bécher sous l'électrode puis mettre la teinture de don.
- 3/ Le résultats s'affiche sur l'écran du PH mètre.

Test MV : pour la couleur noire ;

La même procédure que le test PH. (5)

3.4.1.3. REBEAMING (Re-faisceau) :

Cette étape est une préparation pour l'étape suivante ; elle sert à modifier l'alignement des fils teintés à la fin de l'opération du « rope dyeing » par tirer les cordes de hors des bacs de stockage vers un dispositif de guidage afin de les démêler. (1)

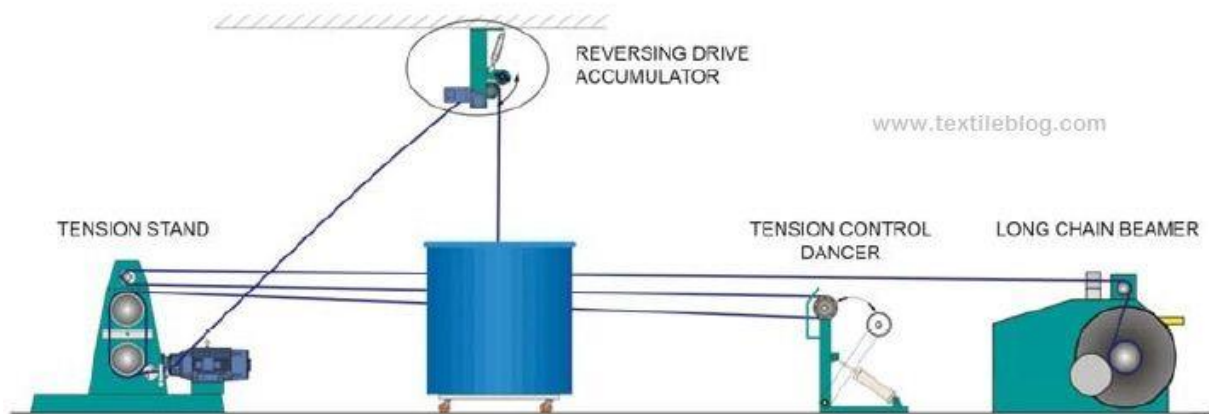


Figure 1. 28 : Schéma de la machine REBEAMING.

3.4.1.4. SEIZING :

Le principal objectif du SIZING est de protéger les fils de chaîne avec un revêtement afin de les solidifier et réduire l'abrasion qui aura lieu pendant l'opération de tissage d'une part et la pilosité d'une autre part. (1)

3.4.2. Non Denim/Chemise Préparation :

Pour les tissus non denim et chemise, les fils de chaîne et de trame ne sont pas teintés donc ils passent par un processus appelé « BEAM WARPING », ce processus maintient les fils sous forme de feuille ouverte et enroule les fils parallèlement sur un cylindre un peu plus large que celle du tissu denim. Après ils passent par la machine du SIZING pour la fixation. (1)

3.5. Tricotage (unité 6) :

Le tricotage est une technique de fabrication des étoffes où s'entrelacent des boucles de fils appelées maille à l'aide d'aiguilles (à clapet ou à bec).

3.5.1. Machine de tricotage :

Cette unité porte plusieurs machines, chaque machine est affectée à un seul type de produit.

Une machine de tricotage est caractérisée par les paramètres suivants :

- Système : le nombre de bobines pour que la machine puisse fonctionner.
- Diamètre du cylindre de la machine ; calculé en inches.
- Gauge « Fine » : le nombre d'aiguille sur 1 inch.



Figure 1. 29 : Unité 6 (1)

Le tableau ci-dessous détail les différents systèmes de l'unité du tricotage (knitting).

Fabric type	System	Diameter (inch)	Gauge (pouce)	Total machine
Tubular single jersey	48	15	28	3
Tubular single jersey	51	16	28	5
Tubular single jersey	57	18	28	4
Tubular single jersey	63	20	28	2
Tubular single jersey	96	30	28	6
Tubular single jersey	96	30	22	2
Open Width single jersey	102	32	28	10
Tubular three thread	102	32	20	4
Ribana	72	34	18	2
Ribana	76	36	20	4
Interlock	108	34	20	2
Jaquart	54	34	20	2
jaquart	82	34	16	2

Figure 1. 30 : Système de l'unité « Kniting ». (1)

3.5.2. Types de machines :

Machine rectilignes :

- Collar
- Cuff

Machine circulaire :

Single jersey: Supreme, Piquet, Two thread, three thread.

Double jersey : Ribana, jacquard, interlock. (1)

3.6. Teinture (unité 11) :

Cette unité est pour la teinture du tissu et la finition ; elle fonctionne en suivant les étapes ci-dessous :

3.6.1. L'ennoblissement :

3.6.1.1. Blanchiment :

Cette étape permet d'éliminer : les graisses, les cires, les huiles d'ensimage, l'encollage, etc. Sachant que l'unité « 11 C » contient deux machines de préparation pour le tissu « tubulaire » et « open width ».

3.6.1.2. Teinture :

La partie de la teinture dans cette unités contient 16 machines différenciée par leurs capacités (de 25 Kg jusqu'au 1200 Kg).



Figure 1. 31 : Machine de teinture (1)

3.6.1.3. Lavage.

3.6.2. Squeezing machine (Machine à essorer) :

La machine à essorer est pour but d'extraire l'eau du tissu teint en le pressant pour l'éliminer partiellement.

3.6.3. Le séchoir (dryer) :

Le séchoir est utilisé pour éliminer l'eau résiduelle du en appliquant la chaleur



Figure 1. 32 : Machine de Séchage. (1)

3.6.4. Le sanforisage :

Le sanforisage des tissus à mailles est effectué à plusieurs fins et peut varier en fonction des besoins spécifiques de chaque client. Ce processus est nécessaire pour empêcher les tissus de rétrécir après leur fabrication.



Figure 1. 33 : Machine de Sanforisage. (1)

A la fin, il y a un contrôle de qualité pour définir le degré de qualité de tissu.

Les tissus tissés (denim et non denim) suivent presque les mêmes procédures de teintures que celles du tissu tricoté

3.6.5. La confection :

La confection est la transformation de tissu en vêtement prêt-à-porter.

4. Conclusion :

Notre visite à TAYAL –SPA– nous a permis de découvrir le fonctionnement de la production, les techniques et les machines utilisées et même le flux interne en termes des matières premières par rapport à chaque unité.

Cette découverte va nous aider à déterminer les anomalies qui existent au sein de l'entreprise pour pouvoir proposer une solution.

Chapitre 2 :

La méthode TAGUCHI

Introduction :

Le monde industriel cherche maintenant l'amélioration et l'optimisation de la chaîne de production ; cette optimisation sert à faire des mesures, des analyses, et planifier des actions pour améliorer la performance. (1)

A l'aide de l'optimisation, l'entreprise peut comprendre et gérer aussi les processus de production.

Cette compréhension permet d'augmenter la productivité, réduire les temps de production et donc les délais de livraison également, améliorer la capacité de production et garantir une meilleure qualité.

L'entreprise dans ce cas va avoir la chance de réfléchir à des plans d'expansion pour l'avenir.

Ce concept nous a inspiré, et on a décidé de l'appliquer au sein du TAYAL, plus précisément au niveau de l'unité 5 dans la partie INDIGO là où le fil est teinté.

1. Motivation :

Lors de notre visite de l'INDIGO ; on a détecté quelques anomalies qui ont influencé le rendement de l'entreprise d'une façon générale, parmi ces anomalies :

La surconsommation des produits chimiques.

Le gaspillage de ces produits (une quantité importante est jetée après chaque production).

Sachant que la majorité des produits chimiques utilisés dans la teinture sont importés donc ça implique un coût très élevé et une durée assez longue pour les obtenir (problèmes logistiques).

Notre objectif principal dans ce cas est d'**OPTIMISER LA CONSOMMATION** des produits chimiques pour :

- Améliorer l'efficacité de la chaîne de production.
- Réduire les **délais** et les **coûts** de production
- Améliorer la performance et le rendement
- Optimiser l'utilisation de l'énergie et préserver l'environnement. (1)

On a déjà parlé du processus de l'unité INDIGO dans le premier chapitre ; et après notre étude et nos analyses on a choisi une méthode d'optimisation qui s'appelle **TAGUCHI** pour atteindre nos objectifs.

2. La méthode du TAGUCHI :

2.1. Historique et méthodologie :

Cette méthode a été créée par Docteur TAGUCHI ; c'est un japonais diplômé du « Kiryu technical college » et docteur en sciences à l'université de Kyushu.

- L'histoire a commencé dans la fabrique Ina Seito ; avant ils avaient des fours chauffés au bois, alimentés manuellement pendant toute la durée de la cuisson et concernant la qualité il y avait pas de problème.
- En 1953 l'usine acheta un four tunnel chauffé au fuel pour 2 millions de dollars.
- Dès que le four a été mis en service ; les tuiles placées sur la périphérie de l'empilement ne cuisaient pas de façon uniforme et sortaient du four à des largeurs très variées dont la moyenne atteignait la limite supérieure de tolérance ce qui entraînait un taux de rebut très important.
- D'autre part, les tuiles placées au centre de l'empilement étaient beaucoup plus régulières et leur moyenne conforme à la cote spécifiée.

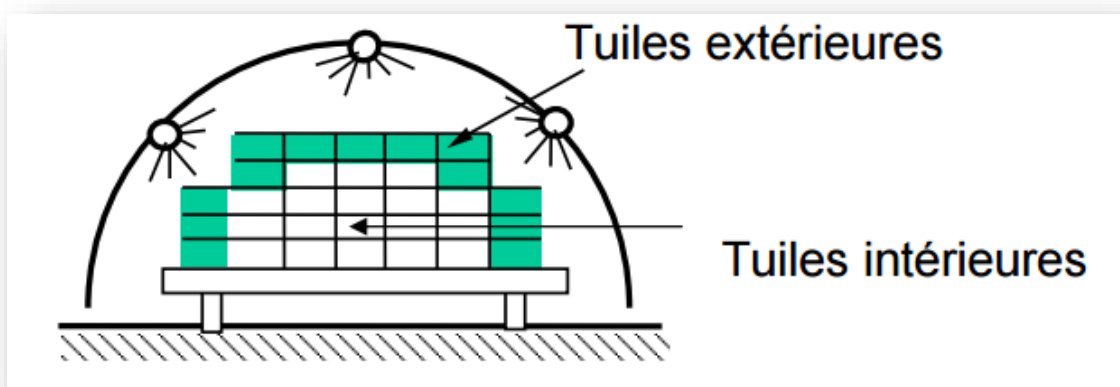


Figure 2. 1 : schéma du four.

- La première solution qu'ils avaient proposé c'est de modifier le four tunnel, mais le budget était lourd pour l'entreprise.
- C'est là où Les dirigeants de l'entreprise ont décidé de consulter **le Docteur Taguchi** et utiliser ses techniques pour résoudre ce problème.
- **Taguchi** a fait une séance du brainstorming avec l'équipe du travail et ils ont définis 7 facteurs qui peuvent avoir un effet sur les dimensions des tuiles avec deux niveaux chacun.

Facteurs à tester	Niveau 1	Niveau 2
A : quantité de pierre à chaux	5 %	1 % (actuel)
B : Granulométrie des additifs	Grossière (actuelle)	fine
C : Quantité d'agglomérant	43 %	53 % (actuel)
D : Type d'agglomérant	nouveau	actuel
E : Lot de chargement	1300	1200 (actuel)
F : Quantité de rebroyé	0 % (actuel)	4 %
G : Quantité de feldspath	5 %	0 % (actuel)

Tableau 2. 1 : Facteurs qui peuvent influencer les dimensions des tuiles.

Ces facteurs semblaient sans aucun rapport avec le problème à résoudre ; Taguchi a proposé un plan d'expériences comportant seulement 8 essais au lieu des milliers selon le plan factoriel suivant :

<i>N essai</i>	<i>Facteurs testés</i>							<i>Résultats de l'essai</i>
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	
<i>1</i>	1	1	1	1	1	1	1	<i>R1</i>
<i>2</i>	1	1	1	2	2	2	2	<i>R2</i>
<i>3</i>	1	2	2	1	1	2	2	<i>R3</i>
<i>4</i>	1	2	2	2	2	1	1	<i>R4</i>
<i>5</i>	2	1	2	1	2	1	2	<i>R5</i>
<i>6</i>	2	1	2	2	1	2	1	<i>R6</i>
<i>7</i>	2	2	1	1	2	2	1	<i>R7</i>
<i>8</i>	2	2	1	2	1	1	2	<i>R8</i>

Tableau 2. 2 : le tableau proposé par taguchi.

D'après le tableau précédent on peut observer deux choses :

- Chacun des essais est effectué avec une combinaison différente des niveaux des facteurs.
- Chaque niveau de chaque facteur est combiné à chaque niveau des autres facteurs, et ce, un nombre égal de fois.

Le résultat de chacun des essais serait exprimé par le : **pourcentage de tuiles situées en dehors des tolérances admises.**

Donc il est important de choisir un critère qui se mesure facilement.

Après avoir calculé les pourcentages ; chaque facteur est définis par son niveau approprié afin de régler le problème des rebuts sans que celui de l'hétérogénéité de la température à l'intérieur du four n'ait trouvé de réponse.

Il faut noter que c'est possible d'éliminer des effets parasites sans en supprimer la cause. (2)

La méthode TAGUCHI a été introduite aux Etats-Unis à partir de 1983, puis au Canada et en Grande Bretagne à partir de 1986, et enfin en France et en Espagne...

Donc cette stratégie est opposée : car au lieu d'éliminer les facteurs parasites (température, pression, hygrométrie...), la méthode sert à minimiser leur impact ; par l'identification des combinaisons de paramètres qui réduisent les effets des causes, sans les attaquer directement.

Il faut noter aussi que l'étape la plus délicate dans cette approche est Le choix correct des facteurs sur lesquels la méthode se base ; car elle nécessite une très grande expérience industrielle.

2.2. Les avantages de la méthode TAGUCHI :

- Réduction du nombre d'essais ;
- Possibilité d'étudier un grand nombre de facteurs ;
- Détection des interactions entre facteurs ;
- Possibilité de modéliser les résultats ;
- La bonne précision de détermination des résultats (2)

2.3. Les domaines d'application de la méthode TAGUCHI :

Parmi les applications les plus classiques on peut citer :

Dans le domaine de la conception des produits :

- test des configurations de base
- choix des matières utilisés pour l'amélioration du fonctionnement
- détermination des tolérances de fonctionnement d'un produit.

Dans la conception et l'amélioration des processus de production :

- diminution du pourcentage de défectueux dans une ligne de production.
- diminution de la variabilité d'une machine ;
- choix des outillages. (2)

3. Les plans d'expériences : c'est une méthode d'expérimentation basée sur le principe suivant : au lieu de réaliser un grand nombre d'essais en ne faisant varier qu'un seul paramètre à la fois, et il fait varier en parallèle tous les autres paramètres. (3)

L'étude d'un plan complet consiste à étudier toutes les combinaisons possibles des facteurs choisis dans l'expérience.

On note ce plan X puissance K ce qui signifie que cette expérimentation concerne un système comportant **K facteurs à X niveaux**

On distingue plusieurs types des plans d'expériences :

- **PLANS FACTORIELS COMPLETS A DEUX NIVEAUX :**

Ces plans possèdent un nombre de niveaux limité à deux pour chaque facteur. Toutes les combinaisons de niveaux sont effectuées au cours de l'expérimentation. Ces plans peuvent être utilisés indistinctement pour les variables continues et pour les variables discrètes.

A titre d'exemple des plans factoriels à deux niveaux ; on cite :

Plans factoriels à k facteurs à 2 niveaux

On peut augmenter le nombre de facteurs. L'espace expérimental possède autant de dimensions qu'il y a de facteurs.

Un plan comportant k facteurs à deux niveaux est noté 2^k .

- Le k en exposant signifie qu'il y a k facteurs étudiés.

- Le 2 indique le nombre de niveaux par facteur.

On remarquera que cette notation indique également le nombre d'essais à réaliser. Ce nombre devient rapidement très important. Pour seulement 7 facteurs, il faudrait exécuter 128 essais. Pour diminuer le nombre des essais en conservant la possibilité d'étudier tous les facteurs, les plans factoriels fractionnaires à deux niveaux ont été introduits.

- **PLANS FACTORIELS FRACTIONNAIRES A DEUX NIVEAUX 2^{k-q}**

Les plans factoriels fractionnaires sont des plans factoriels qui permettent d'étudier tous les facteurs mais dont le nombre d'essais est réduit par rapport aux plans factoriels complets. Un plan factoriel fractionnaire à 2 fois moins, ou 4 fois moins ou 2^q fois moins d'essais que le factoriel complet correspondant.

A la fin d'un plan factoriel fractionnaire, on a un système de n équations à p coefficients inconnus avec p plus grand que n. On ne sait pas résoudre un tel système. Comme on ne peut pas augmenter le nombre d'équations, il faut diminuer

le nombre d'inconnues. On y arrive en utilisant un artifice : on regroupe les coefficients de telle manière qu'il y ait n inconnues. On résout donc un système de n équations à n groupes de coefficients. On appelle ces groupes de coefficients, des contrastes ou des alias et on dit que les coefficients sont aliasées dans les contrastes.

Il existe d'autres plans à deux niveaux cités par la suite :

- **Les Plans de Koshal :**

Ils sont des plans qui permettent de déterminer uniquement les effets principaux des facteurs. On ne peut pas évaluer les interactions, Le modèle mathématique est :

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i$$

Ces plans, peu connus, sont très pratiques pour dégrossir un problème. Ils offrent l'avantage de donner directement l'effet des facteurs. Ils forment le début d'un plan factoriel qu'il est toujours loisible de compléter pour obtenir un plan complet ou fractionnaire.

Les plans de Rechtschaffner :

Les plans de Rechtschaffner sont des plans factoriels fractionnaires simplifiés qui permettent de déterminer les effets des facteurs et les interactions d'ordre deux. Toutes les autres interactions sont supposées nulles avant même l'expérimentation. Le modèle mathématique adopté au départ de l'étude est donc :

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j$$

Les plans de Plackett et Burmann :

Les matrices de calcul des plans de Plackett et Burman [5] sont des matrices d'Hadamard. C'est-à-dire des matrices ayant 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 lignes etc. Elles permettent donc des expérimentations ayant un nombre d'essais intermédiaire de celui des plans factoriels qui, eux, ont seulement 2^k lignes (4, 8, 16, 32, etc...).

Les plans de Plackett et Burman sont le plus souvent saturés. Le modèle mathématique est alors un modèle sans interaction analogue à celui des plans de

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i$$

Les tables de TAGUCHI :

Les Tables de TAGUCHI [6] sont des plans de Plackett et Burman dans lesquels on a remplacé +1 par 1 et -1 par 2. Les noms des plans ont également été traduits. Le plan 23 est la Table L8 et le plan 24 est la Table L16. Le plan de 12 essais, appelé Table L12, est un plan de Plackett et Burman. A l'origine ces plans étaient utilisés avec un modèle sans interaction. Aujourd'hui, certaines personnes leur appliquent les résultats et les principes de la théorie classique.

3.1. L'apport du taguchi aux plans d'expériences :

Le docteur TAGUCHI a mis au point une solution originale permettant, à partir de quelques tables standard, de résoudre facilement la plupart des problèmes industriels en matière de plans d'expériences.

L'utilisation de ces plans permet de réduire les essais à réaliser pour identifier les coefficients d'un modèle, et aussi aider à la conception et à l'industrialisation du produit, ainsi qu'à la résolution de problèmes complexes d'optimisation (réglages) lors de la production du produit. Il s'intègre donc parfaitement dans la démarche qualité.

Les tables standards de Taguchi considèrent que les interactions entre deux facteurs (d'ordre 2) sont négligeables sauf les interactions qui sont parfaitement identifiées.

Les interactions d'ordre 2 non considérées seront supposées comme nulles. Les interactions d'ordre supérieur à 2 seront négligeables. (2)

3.2. A quoi sert un plan d'expériences ? :

Dans tous les secteurs d'activité d'une entreprise, l'ingénieur est sensé de comprendre comment réagit un système en fonction des différents facteurs qui sont peuvent le modifier. Pour étudier

l'évolution du processus, il mesure une réponse, et, à travers différents essais, il établit des relations de cause à effet entre les réponses et les différents facteurs.

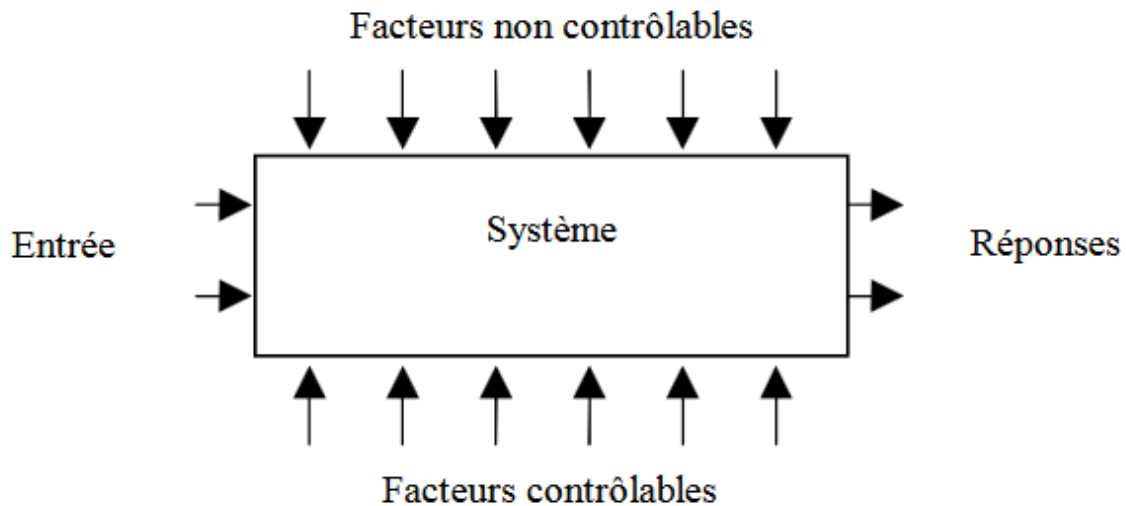


Figure 2. 2 : l'environnement d'un système (2)

3.2.1. Définition d'un facteur :

C'est une variable, ou un état, qui agit sur le système étudié.

Il existe deux types de facteurs :

- continu (température, mesure d'une longueur).
- discret (marque de l'outil, robinet ouvert ou fermé).

Parmi les facteurs, on distinguera :

- les facteurs contrôlables qui dépendent directement du choix du technicien (choix d'un matériau d'une pression...).
- les facteurs non contrôlables qui varient indépendamment des choix du technicien (conditions climatiques, environnement d'utilisation...);
- les facteurs d'entrées telles que la matière première dans un processus de fabrication.

Noter qu'il n'est pas simple de réaliser ces relations entre les réponses et les facteurs, surtout s'il existe des interactions entre ces facteurs ; mais les plans d'expériences permettent de réaliser ce type de relations, en minimisant le nombre d'expériences et maximisant la précision du résultat en même temps. (2)

3.2.2. Définition d'une réponse :

C'est la grandeur qu'on mesure pour connaître l'effet des facteurs sur le système étudié.

Il existe deux types de réponse :

- quantitatif (poids d'une pièce, dispersion sur 30 pièces...).
- qualitatif (impression de chaud et froid, présence ou non de coulure).

Les réponses quantitatives sont en général plus faciles à traiter.

3.2.3. Définition d'un niveau de facteur :

Un facteur peut avoir plusieurs niveaux ; ces niveaux indiquent les valeurs qu'un facteur prend durant les essais.

Par exemple, si le facteur "volume" a deux niveaux : 1L, 5L, il prendra au cours des essais, soit la valeur 1L, soit la valeur 5L.

3.3. La démarche d'élaboration d'un plan d'expérience :

3.3.1. ÉTAPE 1 : « Formaliser le problème »

Poser la question : est-ce un dysfonctionnement en termes de produit ou du processus, un taux de rebut important, une performance insuffisante... ?

Définir une ou plusieurs réponses pour quantifier l'objectif à atteindre

Après la définition des réponses ; on doit connaître :

- Que mesure-t-on ?
- comment les mesurer ?
- Où le fait-on ?

- Quand le fait-on ?

Les mesures peuvent être :

- une grandeur quantitative (une longueur, un poids...).
- un pourcentage (un taux de rebut ...).
- un classement.
- une cotation (un démerite ...).

3.3.2. ETAPE 2 : « sélectionner les paramètres »

- recenser tous les paramètres possibles à l'aide de différentes méthodes diagramme causes-effet (Ishikawa), ADMEC, ...).
- sélectionner les paramètres qui influent le plus pour l'étude.
- pour chacun des paramètres retenus, choisir le nombre de modalités et leurs valeurs.
- sélectionner les interactions les plus influentes.

3.3.3. Etape 3 : « construire le plan »

L'avantage du plan d'expériences c'est qu'il minimise le nombre des combiner entre les modalités et les paramètres. Le nombre de paramètres et d'interactions permettent de trouver le plan le mieux efficace pour résoudre le problème étudié.

3.3.4. Etape 4 : « réaliser les essais »

En se basant sur le plan d'expériences déjà établie ; on reproduit les combinaisons sur le produit ou le processus et c'est obligatoire de réaliser tous les essais prévus.

3.3.5. Etape 5 : « analyser les résultats »

Il existe deux analyses complémentaires :

L'analyse graphique :

Elle permet de donner une représentation simple des résultats et de visualiser l'influence des paramètres et de leurs interactions sur le processus ou le produit.

L'analyse statistique :

Cette analyse :

- Complète l'analyse graphique ;
- Donne une force statistique aux résultats obtenus.
- Évalue la contribution de chaque paramètre à la variation globale de la réponse.

3.3.6. Etape 6 : « conclure »

Cette dernière étape sert à faire la synthèse des résultats obtenus et à décider des actions à entreprendre. (3)

3.4. La démarche expérimentale d'un plan d'expérience :

La démarche expérimentale reste la méthode principale d'acquisition des connaissances dans le monde industriel.

De façon automatique, l'ingénieur fonde sa démarche sur des essais, après il vérifie ses hypothèses en fonction des résultats obtenus.

Son objectif principal est généralement d'augmenter la productivité et l'efficacité de ses essais. Pour cela, il doit :

- Réduire le nombre des expériences.
- Avoir des résultats précis.
- mettre en évidence des phénomènes secondaires comme des interactions entre facteurs.

Cette démarche devra fournir des résultats faciles à interpréter et à présenter à des spécialistes qu'à des non-spécialistes.

Il existe plusieurs interrogations dans ce domaine ; par exemple :

- quelle est la meilleure stratégie d'essais à suivre pour arriver rapidement aux résultats attendus ?
- Est-ce qu'il existe une stratégie meilleure que d'autre ?
- quel est le nombre minimum d'essais qui doivent être réalisés pour aboutir aux résultats ?
- ne peut-on pas éviter de réaliser des essais inutiles ?
- comment améliorer la précision de mes résultats ?

La méthode des plans d'expériences apporte une méthodologie capable de répondre à ces questions.

Cette méthodologie aide à atteindre une meilleure connaissance du système observé par un minimum d'essais et un maximum de précision.

4. Conclusion :

Ce chapitre a été dédié à l'optimisation en utilisant la méthode TAGUCHI exprès car c'est l'outil qu'on a choisi pour résoudre le problème qu'on a détecté au sein de l'entreprise.

Nous sommes passés par tous les éléments qui peuvent nous aider à bien comprendre cette démarche afin de l'appliquer correctement.

La méthode TAGUCHI permet de minimiser le nombre d'essais qui implique une réduction en termes de coût et une diminution en termes de délai aussi.

C'est deux éléments sont les plus importants pour la réussite et la pérennité de chaque entreprise.

Chapitre 3 :
Application de la méthode
TAGUCHI sur « INDIGO »

1. Introduction :

L'amélioration de la performance des systèmes de production est devenue l'objectif principal dans le monde industriel car elle influence la rentabilité et le profit de l'entreprise.

Cette approche vise à trouver l'excellence opérationnelle car elle répond à une qualité de service où les coûts doivent être minimisés tout en développant une démarche de production appropriée.

(1)

L'optimisation est une des démarches utilisées dans ce domaine ; et c'est ce qu'on a choisi pour améliorer la performance de l'atelier qu'on a étudié.

Dans ce chapitre, nous allons établir les plans d'expériences et les développer par la méthode du « TAGUCHI » pour optimiser l'utilisation des produits chimiques utilisés dans la teinture de fil du tissu de type «Denim ».

2. Motivations :

Lors de notre visite de l'INDIGO (atelier de teinture du fil pour le tissu denim) ; Nous avons détecté quelques anomalies qui ont influencé le rendement de l'entreprise d'une façon générale, parmi ces anomalies :

- La surconsommation des produits chimiques ;
- Le gaspillage de ces produits (une quantité importante est jetée après chaque production). Sachant que la majorité des produits chimiques utilisés dans la teinture sont importés, cela implique un coût très élevé et une durée assez longue pour les obtenir (problèmes logistiques).

Notre objectif principal dans ce cas est d'**OPTIMISER LA CONSOMMATION** des produits chimiques pour :

- Améliorer l'efficacité de la chaîne de production ;
- Réduire les **délais** et les **coûts** de production ;
- Améliorer la performance et le rendement.

Nous avons déjà expliqué le principe de fonctionnement de cette méthode ; qui est basé sur des **plans d'expériences**. Nous présentons en ce qui suit l'application de cette méthode en utilisant les données réelles de l'atelier.

3. Réalisation :

3.1. La formalisation du problème :

Minimiser la quantité du produit chimique consommée tout en respectant la contrainte de la couleur. (Si elle n'est pas obtenue ; l'évaluation de la consommation ne sert à rien).

Pour illustrer notre cas pratique, nous avons choisi un article teinté en bleu.

La matière première de cet article est le fil non teinté et les produits chimiques, et le produit fini sera le fil teinté.

3.2. La sélection des paramètres :

C'est l'étape la plus délicate dans le travail ; il faut bien définir les paramètres pour obtenir des résultats utiles qui peuvent nous aider à atteindre l'objectif fixé dès le début.

Après un « **brainstorming** » avec l'équipe de l'atelier et en se basant sur leur expérience ; nous avons choisi les paramètres qui peuvent avoir une influence sur la performance, à savoir :

Pour le premier article (bleu) :

- La vitesse ;
- L'alimentation ;
- La concentration ;
- Le PH.

Le premier paramètre représente la vitesse avec laquelle le fil passe dans la machine de la teinture ; si la vitesse a une petite valeur alors le fil absorbe une grande quantité de teinture car il va rester longtemps dans le box.

Le deuxième paramètre représente le débit avec lequel les box sont alimentés ; car il existe une partie d'alimentation pour les box qui s'appelle « kitchen » ; si le débit a une grande valeur la consommation des produits chimiques sera grande aussi.

Le troisième paramètre concerne la recette préparée dans les box. Une grande concentration implique une grande consommation.

Le PH est un paramètre qui influence l'absorption des produits chimiques par le fil ; une grande valeur du PH implique une grande absorption.

3.3. Fixation des niveaux des paramètres :

Chaque paramètre peut avoir plusieurs niveaux (valeur), nous avons choisi trois niveaux pour chaque paramètre :

	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
La vitesse (m/min)	25	26	27
L'alimentation (l/min)	0.20	0.22	0.24
La concentration (g/l)	1.1	1	1.2
PH	11.80	12	12.20

Tableau 3. 1 : Les niveaux des paramètres de l'article 1.

3.4. Elaboration du plan d'expérience :

Dans le cas d'un plan d'expériences complet, en considérant quatre paramètres et trois niveaux on aura un nombre d'expériences égal à : $3^4 = 81$ essais (Voir tableau 3.2, les valeurs du tableau représentent le niveau de chaque facteur)

Essai	Vitesse	Alimentation	Concentration	PH
1	1	1	1	1
2	1	1	1	2
3	1	1	1	3
4	1	1	2	1
5	1	1	2	2
6	1	1	2	3
7	1	1	3	1
8	1	1	3	2
9	1	1	3	3
10	1	2	1	1
11	1	2	1	2
12	1	2	1	3
13	1	2	2	1
14	1	2	2	2
15	1	2	2	3
16	1	2	3	1
17	1	2	3	2

18	1	2	3	3
19	1	3	1	1
20	1	3	1	2
21	1	3	1	3
22	1	3	2	1
23	1	3	2	2
24	1	3	2	3
25	1	3	3	1
26	1	3	3	2
27	1	3	3	3
28	2	1	1	1
29	2	1	1	2
30	2	1	1	3
31	2	1	2	1
32	2	1	2	2
33	2	1	2	3
34	2	1	3	1
35	2	1	3	2
36	2	1	3	3
37	2	2	1	1
38	2	2	1	2
39	2	2	1	3
40	2	2	2	1
41	2	2	2	2
42	2	2	2	3
43	2	2	3	1
44	2	2	3	2
45	2	2	3	3
46	2	3	1	1
47	2	3	1	2
48	2	3	1	3
49	2	3	2	1
50	2	3	2	2
51	2	3	2	3
52	2	3	3	1
53	2	3	3	2
54	2	3	3	3
55	3	1	1	1
56	3	1	1	2
57	3	1	1	3
58	3	1	2	1
59	3	1	2	2
60	3	1	2	3
61	3	1	3	1
62	3	1	3	2

63	3	1	3	3
64	3	2	1	1
65	3	2	1	2
66	3	2	1	3
67	3	2	2	1
68	3	2	2	2
69	3	2	2	3
70	3	2	3	1
71	3	2	3	2
72	3	2	3	3
73	3	3	1	1
74	3	3	1	2
75	3	3	1	3
76	3	3	2	1
77	3	3	2	2
78	3	3	2	3
79	3	3	3	1
80	3	3	3	2
81	3	3	3	3

Tableau 3. 2 : La matrice des permutations pour le plan d'expérience complet.

Ces permutations permettent d'obtenir tous les cas possibles qu'on peut avoir avec ces niveaux de paramètres.

En suivant la valeur de chaque niveau de paramètre ; on a obtenu le plan d'expérience de l'article 1 :

Essai	Vitesse (M/min)	Alimentation (L/Min)	Concentration (G/L)	PH	Quantité consommée (Litres)	Objectif
1	25	0,2	1	11,8	96,000	Couleur atteinte
2	25	0,2	1	12	96,000	
3	25	0,2	1	12,2	96,000	
4	25	0,2	1,1	11,8	96,000	
5	25	0,2	1,1	12	96,000	
6	25	0,2	1,1	12,2	96,000	
7	25	0,2	1,2	11,8	96,000	

8	25	0,2	1,2	12	96,000	
9	25	0,2	1,2	12,2	96,000	
10	25	0,22	1	11,8	105,600	
11	25	0,22	1	12	105,600	
12	25	0,22	1	12,2	105,600	
13	25	0,22	1,1	11,8	105,600	
14	25	0,22	1,1	12	105,600	
15	25	0,22	1,1	12,2	105,600	
16	25	0,22	1,2	11,8	105,600	
17	25	0,22	1,2	12	105,600	
18	25	0,22	1,2	12,2	105,600	
19	25	0,24	1	11,8	115,200	
20	25	0,24	1	12	115,200	
21	25	0,24	1	12,2	115,200	
22	25	0,24	1,1	11,8	115,200	
23	25	0,24	1,1	12	115,200	
24	25	0,24	1,1	12,2	115,200	
25	25	0,24	1,2	11,8	115,200	
26	25	0,24	1,2	12	115,200	
27	25	0,24	1,2	12,2	115,200	
28	26	0,2	1	11,8	92,308	
29	26	0,2	1	12	92,308	
30	26	0,2	1	12,2	92,308	
31	26	0,2	1,1	11,8	92,308	
32	26	0,2	1,1	12	92,308	
33	26	0,2	1,1	12,2	92,308	
34	26	0,2	1,2	11,8	92,308	
35	26	0,2	1,2	12	92,308	

36	26	0,2	1,2	12,2	92,308	
37	26	0,22	1	11,8	101,538	
38	26	0,22	1	12	101,538	
39	26	0,22	1	12,2	101,538	
40	26	0,22	1,1	11,8	101,538	
41	26	0,22	1,1	12	101,538	
42	26	0,22	1,1	12,2	101,538	
43	26	0,22	1,2	11,8	101,538	
44	26	0,22	1,2	12	101,538	
45	26	0,22	1,2	12,2	101,538	
46	26	0,24	1	11,8	110,769	
47	26	0,24	1	12	110,769	
48	26	0,24	1	12,2	110,769	
49	26	0,24	1,1	11,8	110,769	
50	26	0,24	1,1	12	110,769	
51	26	0,24	1,1	12,2	110,769	
52	26	0,24	1,2	11,8	110,769	
53	26	0,24	1,2	12	110,769	
54	26	0,24	1,2	12,2	110,769	
55	27	0,2	1	11,8	88,889	
56	27	0,2	1	12	88,889	
57	27	0,2	1	12,2	88,889	
58	27	0,2	1,1	11,8	88,889	
59	27	0,2	1,1	12	88,889	
60	27	0,2	1,1	12,2	88,889	
61	27	0,2	1,2	11,8	88,889	Couleur atteinte
62	27	0,2	1,2	12	88,889	

63	27	0,2	1,2	12,2	88,889	
64	27	0,22	1	11,8	97,778	
65	27	0,22	1	12	97,778	
66	27	0,22	1	12,2	97,778	
67	27	0,22	1,1	11,8	97,778	
68	27	0,22	1,1	12	97,778	
69	27	0,22	1,1	12,2	97,778	
70	27	0,22	1,2	11,8	97,778	
71	27	0,22	1,2	12	97,778	
72	27	0,22	1,2	12,2	97,778	
73	27	0,24	1	11,8	106,667	
74	27	0,24	1	12	106,667	
75	27	0,24	1	12,2	106,667	
76	27	0,24	1,1	11,8	106,667	
77	27	0,24	1,1	12	106,667	
78	27	0,24	1,1	12,2	106,667	
79	27	0,24	1,2	11,8	106,667	
80	27	0,24	1,2	12	106,667	
81	27	0,24	1,2	12,2	106,667	

Tableau 3. 3 : plan d'expérience complet.

3.4.1. Interprétation des résultats :

La quantité consommée est calculée comme suit :

$$\text{Quantité consommée} = (\text{longueur du fil} / \text{vitesse}) * \text{alimentation}$$

Cette formule dépend seulement de la vitesse et l'alimentation comme paramètres mais l'obtention de la couleur impose une valeur spécifique de la concentration et du PH. Nous pouvons trouver la même quantité consommée pour deux combinaisons, sauf que l'obtention

de la couleur n'est pas garantie ; car la valeur de la concentration et du PH ne sont pas les mêmes.

A l'aide du plan d'expériences complet ; nous avons obtenu une valeur minimale de la quantité consommée qui est égale à **88.889Litres**.

Ils existent **8** combinaisons qui donnent cette valeur ; mais en respectant la contrainte de l'obtention de la couleur ; il y a une seule combinaison optimale avec les niveaux suivants :

Vitesse = 27 mètre/min ; Alimentation = 0.2 L/ min ; 1.2 G/L ; 11.8 (PH).

Cette combinaison va nous permettre d'avoir une réduction en termes de produits chimiques qui implique des coûts optimaux. De plus, l'augmentation de la vitesse implique une réduction du temps de cycle, ce qui permet de minimiser le délai de livraison pour les clients.

3.5. Plan d'expériences par la méthode TAGUCHI :

La méthode TAGUCHI présente l'avantage de réduire le nombre d'essais à 9 seulement dans notre cas.

Pour réduire le nombre de combinaisons, TAGUCHI a proposé que chaque niveau de chaque **facteur** soit confronté à tous les niveaux des autres **facteurs** et dans des proportions égales. Il a proposé une liste de matrices qui dépend du nombre de paramètres considéré et du nombre de niveaux de chaque paramètre.

Dans notre cas, nous allons utiliser la matrice L9 (voir tableau 3.4) proposée par TAGUCHI (4 paramètres à 3 niveaux)

Essais	Vitesse	Alimentation	Concentration	Volume
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2

8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tableau 3. 4 : La matrice des permutations par TAGUCHI de l'article 1.

En suivant cette matrice ; le plan d'expérience par TAGUCHI est représenté par le tableau suivant :

	Vitesse	Alimentation	Concentration	PH	Objectif
Essai 1	25,00000	0,20000	1,10000	11,80000	96,00000
Essai 2	25,00000	0,22000	1,00000	12,00000	105,60000
Essai 3	25,00000	0,24000	1,20000	12,20000	115,20000
Essai 4	26,00000	0,20000	1,00000	12,20000	92,30000
Essai 5	26,00000	0,22000	1,20000	11,80000	101,50000
Essai 6	26,00000	0,24000	1,10000	12,00000	110,80000
Essai 7	27,00000	0,20000	1,20000	12,00000	88,90000
Essai 8	27,00000	0,22000	1,10000	12,20000	97,80000
Essai 9	27,00000	0,24000	1,00000	11,80000	106,70000

Tableau 3. 5 : Le plan d'expérience par TAGUCHI de l'article 1.

3.5.1. Choix de la meilleure combinaison :

Dans la suite de ce travail nous noterons Vitesse 1, Vitesse 2 et Vitesse 3 la valeur moyenne de la quantité consommée lorsque le paramètre « Vitesse » est respectivement au niveau 1, 2 et 3. Nous faisons pareil pour les trois paramètres restants.

Nous aurons alors par exemple :

$$- \text{Alimentation 2} = (105.6 + 101.5 + 97.8) / 3 = 101.6333$$

Le tableau ci-dessous présente les moyennes des consommations par paramètre :

Paramètre	Valeur	Moyenne
Vitesse 1	25	105,60000
Vitesse 2	26	101,53333
Vitesse 3	27	97,80000
Alimentation 1	0,2	92,40000
Alimentation 2	0,22	101,63333
Alimentation 3	0,24	110,90000
Concentration 1	1,1	101,53333
Concentration 2	1	101,53333

Concentration 3	1,2	101,86667
PH 1	11,8	101,40000
PH 2	12	101,76667
PH 3	12,2	101,76667

Tableau 3. 6 : moyenne des niveaux des paramètres de l'article.

Pour chaque paramètre, nous choisissons les niveaux qui offrent la plus petite valeur de la moyenne calculée (La consommation minimale).

La meilleure combinaison par la méthode TAGUCHI nous donne :

Vitesse = 27 m/min	Alimentation = 0.2 L/min	Concentration = 1 ou 1.1 g/L	PH = 11,8
---------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	------------------

Cette combinaison donne une consommation optimale mais elle ne vérifie pas la contrainte de la couleur.

3.6. Définition de l'influence de chaque paramètre :

Dépendant de l'objectif, il existe trois façons de calculer l'influence de chaque paramètre sur la réponse (dans notre cas, la réponse représente la quantité consommée). Le tableau suivant présente ces trois méthodes.

Rapport signal/bruit	Objectif de l'expérience	Formules du rapport signal/bruit
Préférer plus grand (Larger is the better)	Maximiser la réponse	$S/B = -10 * \log\left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n}\right)$
Préférer plus petit (Smaller is the better)	Minimiser la réponse	$S/B = -10 * \log\left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}\right)$

Préférer nominal	Cibler la réponse et baser le rapport signal/bruit sur les moyennes et les écarts types	$S/B = 10 * \log\left(\frac{\bar{Y}^2}{s^2}\right)$ Avec : s : l'écart type \bar{Y} : la Moyenne des valeurs mesurées
-------------------------	---	---

Tableau 3. 7 : calcul de l'influence.

Une fois le ratio S/B calculé pour chaque essai, il faut suivre les étapes ci-dessous :

- 1) Calculer la moyenne de ce ratio pour chaque niveau de facteur ;
- 2) Calculer la différence absolue entre les moyennes de chaque niveau de facteur (Dans le cas où il y'a plus de trois paramètres, nous prendrons en considération l'étendue de ces moyennes) ;
- 3) Classer du plus grand au plus petit la différence trouvée ;
- 4) Le facteur classé premier sera le facteur qui aura le plus d'influence sur la réponse (Dans notre cas, la réponse est la quantité consommée).

Dans notre cas nous allons utiliser la formule $S/B = -10 * \log\left(\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}\right)$ pour la suite de nos calculs.

Vitesse	Alimentation	Concentration	Ph	Objectif	S/b
25,00000	0,20000	1,10000	11,80000	96,00000	-3,96454
25,00000	0,22000	1,00000	12,00000	105,60000	-4,04733
25,00000	0,24000	1,20000	12,20000	115,20000	-4,12290
26,00000	0,20000	1,00000	12,20000	92,30000	-3,93040
26,00000	0,22000	1,20000	11,80000	101,50000	-4,01293
26,00000	0,24000	1,10000	12,00000	110,80000	-4,08908
27,00000	0,20000	1,20000	12,00000	88,90000	-3,89780
27,00000	0,22000	1,10000	12,20000	97,80000	-3,98068
27,00000	0,24000	1,00000	11,80000	106,70000	-4,05633

Tableau 3. 8 : matrice de calcul du rapport Signal/Bruit.

3.6.1. La vitesse :

Vitesse	Moyenne	Max	Min	Différence
Vitesse 1	-4,04493	-3,97827	-4,04493	0,06666
Vitesse 2	-4,01081			
Vitesse 3	-3,97827			

Tableau 3. 9 : Tableau de la vitesse.

Pour la vitesse ; nous avons calculé la moyenne de S/B pour chaque niveau ; le coefficient de l'influence représente la différence entre le maximum et le minimum de la moyenne de S/B.

Application numérique :

Moyenne de la vitesse 1 = $(-3.96454 - 4.04733 - 4.12290) / 3 = -12.13568 / 3 = -4.04$

Coefficient de l'influence = max – min = $-3.97827 + 4.04493 = 0.06666$

Les coefficients des autres paramètres sont calculés de la même manière :

3.6.2. L'alimentation :

Alimentation	Moyenne	Max	Min	Différence
Alimentation 1	-3,93092	-3,93092	-4,08944	0,15852
Alimentation 2	-4,01365			
Alimentation 3	-4,08944			

Tableau 3. 10 : Tableau de l'alimentation.

3.6.3. La concentration :

Concentration	Moyenne	Max	Min	Différence
Concentration 1	-4,01143	-4,01121	-4,01143	0,00022
Concentration 2	-4,01135			
Concentration 3	-4,01121			

Tableau 3. 11 : Tableau de la concentration.

3.6.4. Le PH :

PH	Moyenne	Max	Min	Différence
PH 1	-4,01127	-4,01127	-4,01140	0,00014
PH 2	-4,01140			
PH 3	-4,01133			

Tableau 3. 12 : Tableau du PH.

3.6.5. Interprétation des résultats :

L'alimentation est le paramètre qui influence le plus le résultat obtenu, puisqu'il possède la plus grande valeur. Cela signifie qu'il est nécessaire de maintenir la valeur donnée par la meilleure combinaison de TAGUCHI.

Le deuxième paramètre qui a un impact sur les résultats est « la vitesse » avec un coefficient de 0.0666. Le niveau de ce paramètre doit aussi rester inchangé.

La concentration et le PH n'ont pas un grand impact sur les expériences. De ce fait, les valeurs de ces paramètres peuvent être modifiées afin d'améliorer les résultats obtenus.

Donc on peut changer la valeur du **PH** ou de la **concentration** pour améliorer la combinaison précédente afin d'avoir la consommation minimale et respecter la contrainte d'obtention de la couleur à la fois.

La combinaison calculée :

Vitesse = 27 m/min	Alimentation = 0.2 L/min	Concentration = 1 ou 1.1 g/L	PH = 11,8
---------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	------------------

La combinaison améliorée est :

Vitesse = 27 m/min	Alimentation = 0.2 L/min	Concentration = 1,2 g/L	PH = 11,8
---------------------------	---------------------------------	--------------------------------	------------------

Nous avons changé la valeur de la concentration pour obtenir la meilleure combinaison qui donne une consommation de 88.88 L et respecte la contrainte d'obtention de la couleur.

4. Conclusion :

Nous avons effectué un plan d'expérience complet (81 essais) afin de déduire la meilleure consommation possible du produit INDIGO permettant d'atteindre la couleur désirée. Les résultats obtenus nous ont donné une consommation de 88.89 litres avec les valeurs des paramètres (vitesse : 27/ alimentation : 0.2/ concentration : 1.2 / PH : 11.8).

En utilisant la méthode TAGUCHI ; le nombre d'expérience a été réduit de 81 à 9 seulement, nous avons obtenu le même résultat en changeant les paramètres qui ont moins d'influence sur les essais (concentration) et c'est l'objectif de cette méthode.

Ceci dit, dans le cas d'expérience pour d'autres produits ; il suffit d'utiliser la méthode TAGUCHI au lieu d'un plan d'expérience complet qui est généralement très coûteux.

Conclusion générale

Nombreuse sont les entreprises qui utilisent des méthodes d'optimisation afin d'améliorer leurs performances, ces méthodes permettent souvent de mieux utiliser une ressource, réduire des coûts, augmenter des gains ou minimiser les quantités des matières utilisées et de l'énergie consommée.

Dans ce contexte, ce projet s'inscrit dans la stratégie de développement de l'entreprise TAYAL SPA et avait comme principal objectif la minimisation des quantités des produits utilisés pour la coloration du fil au sein de l'atelier INDIGO. Pour ce faire, nous avons utilisé l'une des méthodes les plus réputé dans les plans d'expérience à savoir la méthode TAGUCHI.

L'objectif principal de cette méthode est de réduire le nombre d'essais à effectuer afin de trouver la meilleure combinaison des paramètres de l'atelier INDIGO permettant de minimiser les quantités des différents produits chimiques utilisés dans la coloration du fil et par conséquent les différents coûts tout en atteignant la couleur désirée.

Les résultats obtenus sont très encourageants, et montrent l'efficacité de la méthode TAGUCHI. Les valeurs obtenues pour les différents paramètres nous ont permis d'utiliser une quantité optimale des produits chimiques et d'atteindre la couleur désirée.

Le résultat obtenu montre que l'entreprise peut se contenter aux expériences de la méthode TAGUCHI pour avoir une consommation optimale pour n'importe quelle couleur de fil.

BIBLIORAOHIE :

1. dépôt DSpace / MANAKIN. *planification de production des tissus teintés de l'entreprise TAYAL SPA*. [En ligne] [Citation : 21 Mai 2022.] http://thesis.essa-tlemcen.dz/handle/STDB_UNAM/226.
2. tjarapro. *TAYAL SPA - l'algerienne des industries textiles*. [En ligne] [Citation : 21 Mai 2022.] <https://tjarapro.com/ad/tayal-s-p-a-lalgerienne-des-industries-textiles/>.
3. [En ligne] http://thesis.essa-tlemcen.dz/handle/STDB_UNAM/226.
4. LAROUSSE . *dictionnaire de francais larousse*. [En ligne] [Citation : 21 Mai 2022.] <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/filature/33691>.
5. Peignage- WIKIPEDIA. *WIKIPEDIA*. [En ligne] [Citation : 22 Mai 2022.] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Peignage>.
6. [En ligne] <http://garmentswashing.blogspot.com/2014/04/denim-dyeing.html>.
7. TAYAL SPA - Document interne de l'entreprise .
8. que est ce que l'optimisation de la production . *tibco.com*. [En ligne] <https://www.tibco.com/fr/reference-center/what-is-production-optimization>.
9. H.A, KAHOUADJI. Chapitre 3 : les plans d'experiences - introduction à la méthode taguchi-. *2020/2021*. tlemcen , GEE faculté de la technologie : s.n.
10. pillet, Maurice. *les plans d'expériences par la mthode taguchi* . 2011.
11. le plan d'experience. *eMarketing.fr*. [En ligne] [Citation : 02 juin 2022.] <https://www.e-marketing.fr/Thematique/academie-1078/fiche-outils-10154/Le-plan-d-experience-324909.htm>.
12. CHASSAING, Jean-Claude CHAUVEAU / Jean-Paul. *Introduction à la méthode des plans d'expériences par la méthode taguchi*.

13. Qu'est ce que la performance industrielle . *blog.fr-techteam.com*. [En ligne] [Citation : 11 Juin 2022.] <https://blog.fr-techteam.com/definition-performance-industrielle-des-pme>.