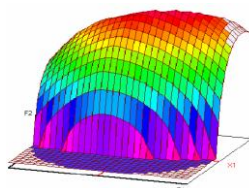




Année Universitaire : 2021-2022



Master Sciences et Techniques CAC Ageq
Chimométrie et Analyse Chimique : Application à la gestion de la qualité

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et
Techniques

**Amélioration de l'inflammabilité du produit
LocatGuard 2750 par les plans d'expériences**

Présenté par:

AIT OUGUENGAY Samira

Encadré par:

- Mme. AGOZOUL Nadia TENNECO Morocco
- Pr. CHTIQUI Hicham FST Fès

Soutenu Le 21 Juillet 2022 devant le jury composé de:

- Pr. CHTIQUI Hicham FST Fès
- Pr. HAZM Jamal Eddine FST Fès
- Pr. KANDRI RODI Adiba FST Fès

Stage effectué à : **TENNECO Morocco**

Dédicace

Je dédie ce travail

À

*Mes parents qui m'ont accordé le soutien et la confiance
durant toute la durée de mes études, sans leur soutien, ce
travail n'aurait pas vu le jour.*

À

Mes frères et sœurs : Mohamed, Rayan, Hajar et Malak.

À

*Mes professeurs qui m'ont accompagné tout au long de mon
cursus universitaire.*

À

*Mes amis et camarades pour leur présence et
encouragement continu.*

Remerciements

En préambule à ce mémoire je remercie Dieu qui m'a donné la force, le courage, la patience et l'espoir nécessaire pour compléter ce travail.

Mes profonds et sincères remerciements vont à Madame **AGOZOUL Nadia**, ingénieure méthode et industrialisation à TENNECO Morocco de m'avoir donné l'accord de travailler sur ce sujet et de m'avoir confié des responsabilités tout au long cette période de stage.

Elle a conduit ce travail avec une haute compétence et grande disponibilité malgré ses lourdes tâches quotidiennes et permanentes.

Je remercie également et Chaleureusement Monsieur **CHTIOUI Hicham**, professeur à la faculté de sciences et techniques de Fès pour la qualité de son encadrement, son orientation, le temps qu'il a bien voulu me consacrer, ainsi pour ses conseils précieux.

Je tiens à remercier aussi les membres de jury Professeur **HAZM Jamal Eddine** et Professeur **KANDRI RODI Adiba** de bien vouloir examiner et juger ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur **SEFFAJ Taoufiq**, responsable du Master CAC Ageq pour les efforts qu'il a consentis en faveur de cette formation ainsi pour la qualité de son enseignement.

Je remercie tous les professeurs du Master CAC Ageq pour leur compréhension, leur disponibilité et leur soutien qu'ils nous ont apportés afin de nous assurer une formation solide.

Mon remerciement s'adresse aussi à Monsieur **BOUHMD Yassine**, ingénieur méthode et industrialisation à TENNECO Morocco pour son suivi, ses explications, et ses conseils.

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel de TENNECO Morocco pour leur accueil et soutien continu.

Liste des abréviations

QHSE : Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement

HS : Heatsheild

BTP : Bâtiment et travaux publics

PA : Polyamide

PET : Poly-Éthylène Téréphtalate

PSA : Peugeot Société Anonyme

FR : Flame Retardant

Lexiques

Gaine : bouclier ayant la forme de l'objet qu'il protège.

Heatsheild : bouclier thermique.

Mono : fibre en mono filament c'est-à-dire constitué d'un seul fil.

Canette : cylindre recevant le fil dans les machines.

Came : face mécanique permettant de piloter le déplacement d'une pièce.

Chariot : Pièce qui déplace les cames.

Métier : Machine servant à travailler les textiles.

Tirage : Action de tirer le produit fini pour lui assurer un diamètre bien défini.

Cantre : Partie de la machine de tricotage sur laquelle est placée la bobine du fil.

Liste des figures

Figure 1 : Marché du groupe TENNECO	3
Figure 2 : Sites du groupe TENNECO dans le monde	4
Figure 3 : Organigramme de TENNECO Morocco	6
Figure 4 : Produit obtenu par le HeatShield	6
Figure 5 : Produit du tressage verre	7
Figure 6 : Produit du tressage Mono	8
Figure 7 : Produit du formage.....	8
Figure 8 : Types d'aiguilles	10
Figure 9 : Composants de l'aiguille à clapet	10
Figure 10 : La maille et ses constituants	11
Figure 11 : Étapes de la formation de la maille	11
Figure 12 : Présentation schématique du tricot chaîne	12
Figure 13 : Présentation schématique du tricot trame	13
Figure 14 : Machine du tricotage rectiligne	14
Figure 15 : Différents éléments de la machine rectiligne	14
Figure 16 : Came à noyer.....	14
Figure 17 : Passage des aiguilles sur la came	14
Figure 18 : Coupe transversale d'une machine rectiligne	15
Figure 19 : Machine du tricotage circulaire	16
Figure 20 : Capteur casse -fil.....	16
Figure 21 : Dévidoir.....	17
Figure 22 : Composants de la cabine du tricotage circulaire.....	18
Figure 23 : Bloc tension	18
Figure 24 : Tête du tricotage.....	19
Figure 25 : Cames du métier circulaire	20
Figure 26 : Produit LocatGuard 2750	21
Figure 27 : Domaine du facteur	25
Figure 28 : Domaine d'étude ou domaine expérimental	25
Figure 29 : Surface de réponse.....	26
Figure 30 : Chambre de combustion	30
Figure 31 : Diagramme d'Ishikawa du procédé de tricotage cylindrique	31
Figure 32 : Tête du tricotage après adaptation du fixateur	32
Figure 33 : Passage du fil polyester.....	33
Figure 34 : Diagramme de Pareto de la première étude	38
Figure 35 : Graphe d'influence des paramètres sur l'inflammabilité.....	42
Figure 36 : Diagramme de Pareto des effets individuels et cumulés	43

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Fiche technique de TENNECO Morocco	5
<u>Tableau 2</u> : Présentation du produit FlexWrap 3500.....	15
<u>Tableau 3</u> : Composition de LocatGuard 2750	22
<u>Tableau 4</u> : Domaine expérimental des facteurs de la première étude	33
<u>Tableau 5</u> : Matrice d'expériences du plan factoriel complet.....	34
<u>Tableau 6</u> : Résultats des essais d'inflammabilité de la première étude.....	35
<u>Tableau 7</u> : Résultats des essais de la première étude après affectation des valeurs	35
<u>Tableau 8</u> : Plan d'expérimentation avec résultats associés du plan factoriel complet	36
<u>Tableau 9</u> : Matrice d'effets avec interaction du plan factoriel complet.....	36
<u>Tableau 10</u> : Effets des facteurs du plan factoriel complet	37
<u>Tableau 11</u> : Domaine expérimental des facteurs de la deuxième étude.....	39
<u>Tableau 12</u> : Matrice d'expériences de Plackett et Burman.....	40
<u>Tableau 13</u> : Résultats des essais d'inflammabilité de la deuxième étude	40
<u>Tableau 14</u> : Résultats des essais de la deuxième étude après affectation des valeurs.....	41
<u>Tableau 15</u> : Plan d'expérimentation avec résultats associés du plan de criblage	41
<u>Tableau 16</u> : Estimation des effets du plan de criblage.....	43
<u>Tableau 17</u> : Facteurs et leurs niveaux	44
<u>Tableau 18</u> : Résultats d'essai.....	44

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur l'entreprise.....	2
I. Présentation du groupe TENNECO	3
1. Historique du groupe TENNECO:.....	3
2. Sites du groupe TENNECO :.....	4
II. Présentation de TENNECO Morocco.....	4
1. Fiche Technique.....	5
2. Organigramme	5
3. Activités de TENNECO Morocco	6
3.1. Zone Heatsheid	6
3.2. Zone de tressage.....	7
3.3. Zone de formage :.....	8
3.4. Zone de coupe :.....	8
3.5. Zone de soudage ultrason :	8
3.6. Zone de tricotage :	8
Chapitre 2 : Le tricotage.....	9
I. Tricotage.....	10
1. Définition	10
2. Eléments de base dans le processus du tricotage	10
2.1. Aiguille	10
2.2. Maille	11
3. Famille de tricots.....	12
3.1. Tricot chaîne	12
3.2. Tricot trame.....	12
II. Machine à tricoter.....	13
1. Métier rectiligne.....	13
1.1. Description.....	13
1.2. Produit du métier rectiligne.....	15
2. Métier circulaire.....	15
2.1. Les dispositifs importants dans un métier circulaire.....	16
2.1.1. A l'extérieur de la cabine	16
2.1.2. A l'intérieur de la cabine :.....	17
2.2. Description générale du tricotage sur métier circulaire	20
2.3. Produit du métier circulaire « LOCATGUARD 2750 ».....	20
2.3.1. Rappel sur les polymères.....	20
2.3.2. Composition du produit LocatGuard 2750.....	21

Chapitre 3 : Méthodologie des plans d'expériences.....	23
1. Généralités sur les plans d'expériences	24
2. Espace expérimentale.....	24
3. Surface de réponse	26
4. Modélisation mathématique	26
5. Démarche méthodologique	26
Chapitre 4 : Amélioration de l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750	28
1. Description de l'étude	29
2. Objectif de l'étude.....	29
3. Réponse étudiée	29
3.1. Définition	29
3.2. Norme D45 1333 relative au comportement à la combustion d'un véhicule.....	29
4. Mode de mesure de la réponse	30
5. Etudes effectuées.....	31
5.1. Première étude	31
5.1.1. Choix des facteurs	31
5.1.1.1. Diagramme d'Ishikawa.....	31
5.1.1.2. Description des facteurs choisis	32
5.1.2. Plan factoriel complet.....	33
5.1.2.1. Modèle mathématique postulé.....	34
5.1.2.2. Matrice d'expériences.....	34
5.1.2.3. Obtention des résultats de la réponse « inflammabilité ».....	34
5.1.2.4. Plan d'expérimentation.....	36
5.1.2.5. Analyse des résultats	36
5.1.2.6. Conclusion de la première étude :	38
5.2. Deuxième étude	38
5.2.1. Choix des facteurs	38
5.2.2. Plan de criblage	39
5.2.2.1. Modèle mathématique postulé.....	39
5.2.2.2. Matrice d'expériences.....	39
5.2.2.3. Obtention des résultats de la réponse « inflammabilité ».....	40
5.2.2.4. Plan d'expérimentation.....	41
5.2.2.5. Traitement des résultats	42
5.2.2.6. Conclusion de la deuxième étude :	43
6. Contraintes au cours du projet	44
Conclusion.....	45

Introduction générale

L'industrie automobile est l'une des industries les plus importantes au monde qui a connu une croissance rapide ces dernières années. C'est un domaine vaste, depuis la fabrication des pièces jusqu'à l'assemblage final du véhicule.

Avec ce développement dans le secteur automobile, il faut penser à la sécurité qui est l'une des préoccupations majeures des constructeurs. C'est parce qu'elle protège non seulement le véhicule mais aussi l'homme.

C'est pour cela que l'entreprise TENNECO Morocco était l'une des premiers fournisseurs mondiaux innovants et diversifiés des gaines qui offrent un excellent niveau de protection des composants qui peuvent brûler lorsqu'ils sont exposés à une source de flamme.

Dans le cadre de ce projet, nous visons à améliorer l'inflammabilité de la gaine LocatGuard 2750 obtenue par le tricotage circulaire qui ne répond pas aux exigences d'inflammabilité prédéfinies avec le client notamment la norme D45 1333 relative au comportement à la combustion d'un véhicule.

À cet effet, le présent rapport est scindé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre porte sur la présentation de l'entreprise d'accueil et ses activités.
- Le deuxième chapitre, met en évidence :
 - Premièrement des généralités sur le tricotage, ses éléments de base, ses types ainsi que les dispositifs importants du processus de tricotage.
 - Deuxièmement, présente le produit LocatGuard 2750 qui fait l'objet de cette étude.
- Le troisième chapitre sera une étude bibliographique sur les plans d'expériences.
- Le dernier chapitre, est consacré à l'amélioration de l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750 par les plans d'expériences et nous allons finir par la présentation, l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.

Chapitre 1 :

Généralités sur l'entreprise

Le présent chapitre porte sur une présentation de l'organisme d'accueil.

En première lieu, on va exposer d'une manière globale le groupe TENNECO, ses objectifs, son historique, et ses différentes locations dans le monde.

En deuxième lieu, on va présenter le site de Tanger, sa fiche technique, son organigramme ainsi que les processus de fabrication des produits.

I. Présentation du groupe TENNECO

TENNECO est le premier fournisseur au monde de solutions de protection pour les câbles, tuyaux et assemblages mécaniques.

En tant que fier concepteur et fabricant des produits, TENNECO propose une gamme complète de solutions de haute qualité destinées à protéger ou améliorer les performances du système dans un large éventail d'applications. Avec des gammes de produits dédiées axées sur la réduction des effets de l'usure mécanique, des dommages dus aux chocs et de la dégradation thermique, TENNECO peut aider à prolonger la durée de vie des composants et à réduire les coûts de service.

Avec des bureaux de vente, des centres techniques et des installations de fabrication situés dans les Amériques, en Europe, en Afrique et en Asie, TENNECO fournit des produits innovants à une large clientèle dans un certain nombre de marchés différents y compris l'automobile, l'aérospatiale, la défense et le chemin de fer, ainsi qu'une foule d'autres segments industriels et de transport [1]. Le marché de TENNECO est très diversifié et compte alors plusieurs secteurs:



L'aérospatial



L'automobile



Ferroviaire



L'électronique



Camion



Hors route



L'industriel

***Figure 1** : Marché du groupe TENNECO*

1. Historique du groupe TENNECO:

Les étapes clés de l'histoire du groupe TENNECO se décomposent de la façon suivante :

- L'histoire de TENNECO en tant qu'entité autonome a commencé en **1999**, lorsque la société actuelle a émergé d'un conglomérat composé auparavant de six entreprises : construction

navale, emballage, équipements agricoles et de construction, transport de gaz, automobile et produits chimiques.

- À travers diverses offres publiques, ventes, scissions et fusions à partir des années **1980**, la société a cédé toutes ses activités, laissant TENNECO Automotive comme la partie restante de la société d'origine.
- En **2005**, la société a changé son nom en TENNECO, pour mieux représenter le nombre croissant de marchés qu'elle desservait.
- TENNECO a réalisé deux acquisitions, aidant à positionner l'entreprise pour un avenir de succès continu :
 - Le premier a eu lieu le **1er octobre 2018**, lorsque TENNECO a acquis Federal-Mogul, un autre fournisseur automobile dont les racines remontent à 1899.
 - La deuxième a eu lieu le **Janvier 2019**, TENNECO a acquis Öhlins Racing, une société suédoise avec un record d'excellence de plus de 40 ans dans le développement de systèmes de suspension avancés [1].

2. Sites du groupe TENNECO :

TENNECO est présente dans plusieurs sites distribués partout dans le monde : l'Amérique, l'Asie, l'Europe, le Moyen-Orient et l'Afrique.



Figure 2 : Sites du groupe TENNECO dans le monde

II. Présentation de TENNECO Morocco

Le site TENNECO Morocco situé à Tanger (Federal-Mogul Systems Protection Morocco anciennement) a lancé ses travaux officiellement en Mai 2013, il conçoit, fabrique et

commercialise des gaines destinées à la protection de câbles électriques et d'éléments mécaniques.

1. Fiche Technique

La fiche technique de TENNECO Morocco est la suivante :

Tableau 1 : Fiche technique de TENNECO Morocco

Dénomination	TENNECO Morocco	
Création légale	Mai 2013	
Forme juridique	Société à responsabilité limitée à associé unique	
Directeur général	Hassan AKTIR	
Secteur d'activités	La fabrication et la commercialisation des gaines isolantes pour les industries automobiles.	
Produit	Gaines de protection	
Surface	5000 m ²	
Capital	5000 EUR	
Moyens humains	3 shifts	
Siège social	Zone franche d'exportation, ilot 1 lot 13 Tanger , Maroc	
Certificat	ISO 14001 V 2015 IATF 16949 V 2016	ISO 9001 V 2015 ISO 45001 V 2018
Téléphone	0539396400	
Fax	0539396411	
Site Web	www.TENNECO.com	

2. Organigramme

La structure organisationnelle du site TENNECO Morocco se compose de cinq départements qui opèrent sous la direction de Monsieur Hassan AKTIR:

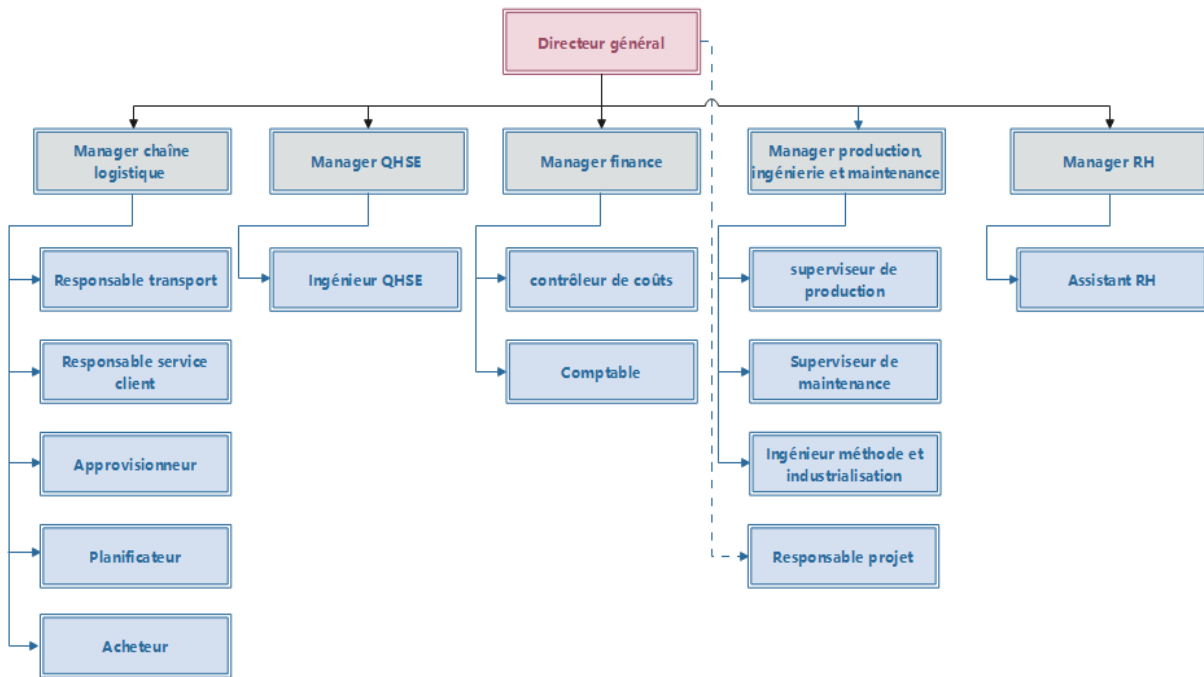


Figure 3 : Organigramme de TENNECO Morocco

3. Activités de TENNECO Morocco

L’atelier de TENNECO Morocco est composé de six zones indépendantes en termes de processus de fabrication.

3.1. Zone Heatsheild

La zone Heatsheild produit une gaine conçue à protéger les composants d’un véhicule qui se trouvent dans des zones à haute température.



Figure 4: Produit obtenu par le HeatShield

Cette zone est composée de cinq postes qui sont : découpe HS, marquage, Snapping, couture, et contrôle qualité.

❖ Découpe HS

Ce poste est composé de deux machines : une tronçonneuse et une presse.

- La tronçonneuse sert à couper le rouleau de la matière première selon la longueur désirée pour avoir des laizes qui vont être découpées par la deuxième machine.
- La presse permet de découper la laize à l'aide d'un outil de découpe qui contient la forme désirée.

❖ Marquage

Certaines pièces découpées dans le poste de découpe sont marquées par l'encre à travers une machine de marquage semi-automatique.

❖ Snapping

Dans ce poste, il y a deux machines semi-automatiques pour l'ajout des boutons mâles et femelles aux pièces découpées.

❖ Couture

Ce poste est composé de quatre machines à coudre, pour coudre les pièces coupées.

❖ Contrôle qualité

Ce poste est constitué de trois personnes qui contrôlent la qualité des pièces produites pièce par pièce. Il est instauré pour éviter la génération de tous défauts provenant des opérations manuelles comme la couture ou le snapping, et surtout car le produit donné par cette zone est critique.

3.2. Zone de tressage

Il y a deux types de tressage :

❖ Tressage verre

Cette zone est constituée de trois machines automatiques de tressage. Les gaines sont obtenues par le tressage des fibres de verres et elles sont entourées par une bande d'aluminium (**Figure 5**). Le poste est équipé de deux autres équipements, un bobinoir qui sert à enfiler les fibres de verres sur les canettes et un dévidoir qui dévide les canettes du reste de fibres de verre.

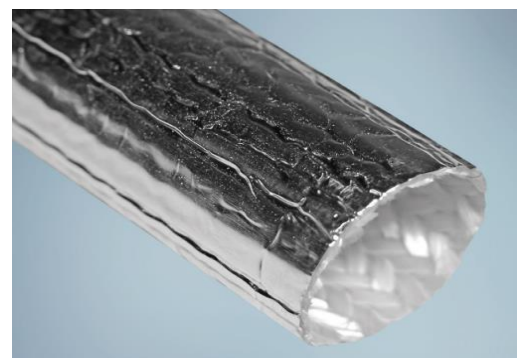


Figure 5: Produit du tressage verre

❖ Tressage Mono

Cette zone est constituée de 13 machines automatiques de tressage, elles permettent de fabriquer des gaines de protection contre la chaleur par le tressage des fibres de mono. Le poste est équipé d'un autre équipement qui est le bobinoir qui sert à enfiler les fibres de fils sur les canettes. Le produit obtenu offre une excellente protection contre l'abrasion (**Figure 6**).



Figure 6 : Produit du tressage Mono

3.3. Zone de formage :

Ce poste est composé de vingt machines automatiques et identiques de formage qui permettent de former la bande tissée de telle sorte à avoir une gaine spirale (**Figure 7**). Ces machines sont équipées aussi d'une partie pour la coupe de la gaine selon la longueur désirée.



Figure 7: Produit du formage

3.4. Zone de coupe :

Ce poste sert à couper la gaine de protection suivant la longueur désirée. Il est composé de deux machines automatiques de coupe. Certaines matières sont coupées à chaud et autres sont coupées à froid.

3.5. Zone de soudage ultrason :

Dans ce poste l'opérateur soude deux matériaux, un issu du poste coupe et l'autre du poste découpe HS, avec l'ultrason qui est une onde mécanique et élastique.

3.6. Zone de tricotage :

Le tricotage est une technique de fabrication des gaines où s'entrelacent des boucles de fils appelées mailles à l'aide d'aiguilles pour construire le tricot selon une forme bien définie. Dans cette zone on trouve trente-cinq machines devisées selon le type du tricotage désiré:

- ❖ 6 machines tricotage rectiligne
- ❖ 29 machines tricotage circulaire

Le détail du processus de tricotage sera discuté dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 :

Le tricotage

Ce chapitre, est consacré à définir le tricotage, parler sur les dispositifs importants d'une machine du tricotage et présenter le produit LocatGuard 2750 qui fait l'objet de cette étude.

I. Tricotage

1. Définition

Le tricotage est une technique qui consiste à la formation d'une étoffe appelée tricot obtenue par l'entrelacement de fils à l'aide d'**aiguilles** pour construire une série de boucles appelées **mailles** qui constituent l'élément unitaire du tricot.

2. Eléments de base dans le processus du tricotage

2.1. Aiguille

Il existe différents types d'aiguilles pour le tricotage en fonction des caractéristiques et spécificités des machines. Parmi eux, on trouve l'aiguille à bec (a), l'aiguille à clapet (b) et l'aiguille à piston (c).

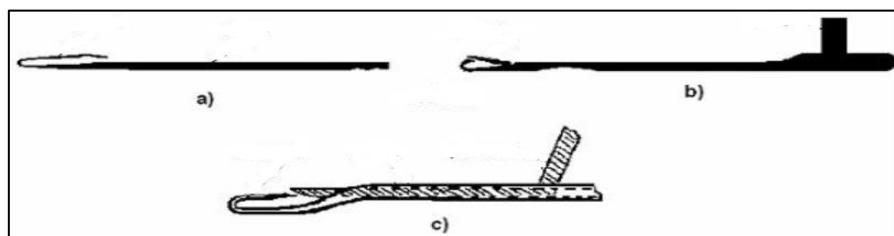


Figure 8 : Types d'aiguilles

La société TENNECO Morocco utilise l'aiguille à clapet pour le tricotage. Elle est composée d'un crochet (1) qui est une partie recourbée dans laquelle s'insère le fil pour la formation de la maille, un clapet (2) fermant le crochet pour retenir le fil, un rivet (3) qui assure la liaison corps-clapet, une tige (4) insérée dans la rainure de la fonture, un évidemmet (5) est usiné au dos de la tige de manière à éviter des efforts trop important sur le fil pendant l'étirage de la maille entre le dos de l'aiguille et la pointe du clapet, un talon (6) permettant des mouvements aux aiguilles grâce aux cames, une queue (7) donnant un soutien supplémentaire à l'aiguille [2].

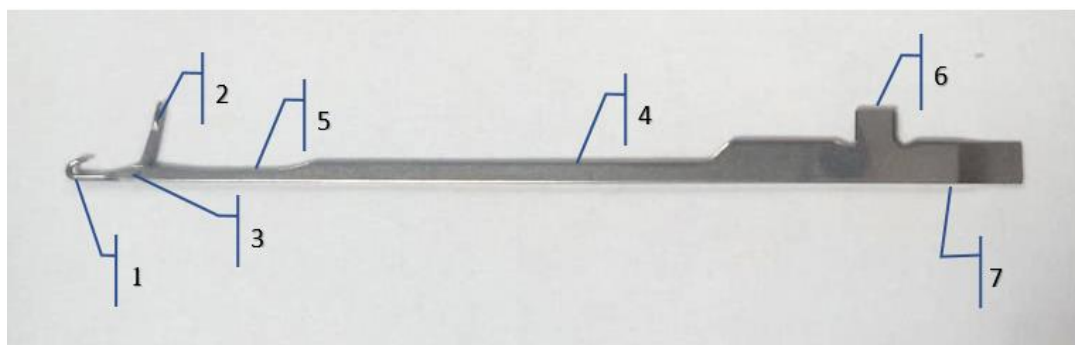


Figure 9: Composants de l'aiguille à clapet

2.2. Maille

La maille ($H + L$) est l'unité de base de la structure tricotée formée au niveau du crochet d'aiguille. Elle se compose d'une tête (H) et de deux jambes (L). À la base de chaque jambe se trouve un pied (F), qui s'engrène dans la tête de la maille formée lors du cycle de tricot précédent par l'aiguille comme le montre la **Figure 10**.

Les mailles suspendues l'une dans l'autre sont reliées entre elles par quatre croisements de fils : les points d'entrelacement. Chaque maille a deux points d'entrelacement supérieurs et deux points d'entrelacement inférieurs [3].

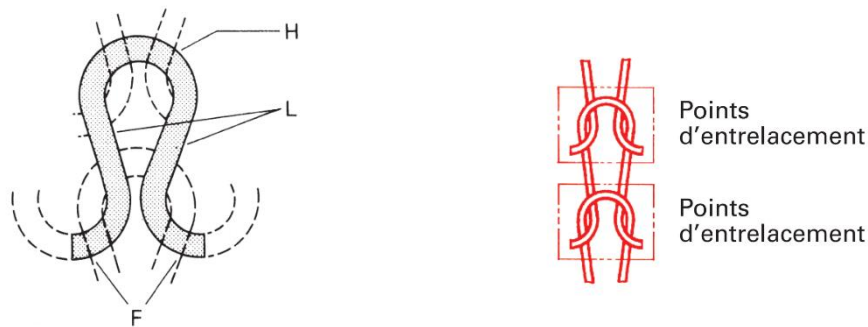


Figure 10: La maille et ses constituants

Au cours du tricotage, la formation des mailles se fait suivant une séquence bien déterminée.

La **figure 11** présente les différentes étapes de la formation de la maille :

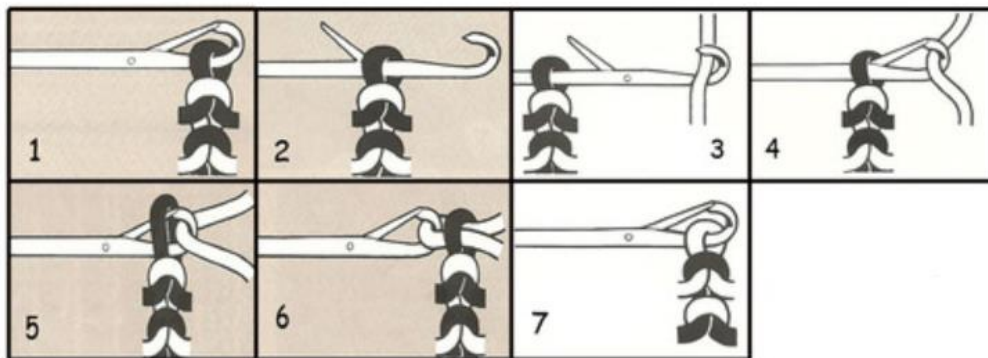


Figure 11 : Étapes de la formation de la maille

L'ancienne maille qui a été déjà formée est retenue par le crochet de l'aiguille fermé par le clapet (1). L'aiguille commence à monter en ascension. Le clapet s'ouvre par la maille qui glisse sur la tige de l'aiguille (2). Après, l'aiguille commence sa descente. L'ancienne maille glisse sous le clapet ouvert et un nouveau fil est placé au niveau du crochet de l'aiguille (3). Ensuite, la maille monte sur le clapet de l'aiguille fermé qui entraîne par son crochet le fil cueilli (4 et 5).

Le mouvement de la chute était suffisant pour que l'ancienne maille s'abatte sur la nouvelle maille formée (6). À la fin, une nouvelle maille est formée pour que le cycle recommence de nouveau (7).

3. Famille de tricots

On distingue deux grandes familles de tricots : tricot chaîne et tricot trame. Cette classification est basée sur la direction du mouvement du fil par rapport à la direction de la formation du tissu.

3.1. Tricot chaîne

Ce tricot est également appelé tricot à maille jetée. Il s'agit d'un mode du tricotage vertical puisque les fils courent dans le sens de la longueur, c'est-à-dire dans le sens de la formation du tissu [4].

Parmi les caractéristiques du tricot chaîne on trouve qu'il est:

- Difficile à démêler.
- Moins susceptible de se dégrader.
- Élastique mais conserve sa forme.

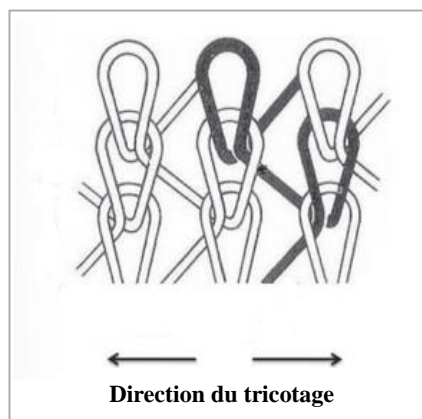


Figure 12 : Présentation schématique du tricot chaîne

3.2. Tricot trame

Ce tricot est également appelé tricot à maille cueillie. La liaison des mailles s'effectue selon une direction horizontale puisque les fils s'étendent dans le sens de la largeur ou dans le sens transversal par rapport au sens de formation du tissu pendant le tricotage. Chaque maille est réalisée successivement par bouclage du fil à travers l'ancienne maille [4].

Parmi les caractéristiques du tricot trame:

- Plus élastique par rapport au tricot chaîne.
- Facile à démêler.
- Ces boucles emprisonnent l'air et retiennent la chaleur.

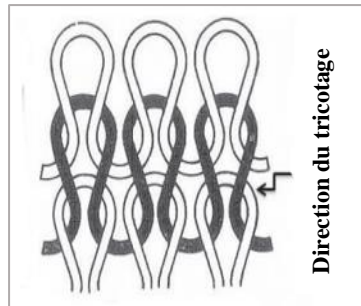


Figure 13 : Présentation schématique du tricot trame

II. Machine à tricoter

Dans l'industrie du tricotage trame, deux types de machines à tricoter sont utilisées : **rectilignes** et **circulaires**.

1. Métier rectiligne

1.1. Description

Dans une machine à tricoter rectiligne (**Figure 14**), les éléments formant les mailles sont disposés sur deux fontures opposées, qui sont des plaques métalliques garnies de rainures dans lesquelles des aiguilles, disposées en parallèle à intervalles réguliers, coulissent sur chaque fonture (**Figure 15**).

Lors du tricotage, le mouvement des aiguilles est assuré par des cames dans le chariot (**figure 16**), qui agissent sur le talon des aiguilles en effectuant des va-et-vient le long de la fonture. Cette action permet à chaque aiguille de monter et descendre pour faciliter la formation de la maille sur la longueur de la fonture (**figure 17**).

Comme illustré dans la **figure 18**, les deux lits sont en position « V » inversé. La bobine du fil sous forme de cône est placée sur le porte-bobine à l'arrière de la machine. Le fil est retiré par le haut et passe à travers des guides, un tendeur et un ressort de tension avant d'entrer dans le guide-fil. Le guide-fil se déplace avec le chariot à came sur chaque lit. Le tricot fabriqué passe entre les deux lits de fonture sous l'action d'un poids de descente. Celui-ci exerce une tension sur le tricot et est nécessaire pour empêcher le tricot de monter entre les fontures et de coincer la machine [4].

Il convient de noter que les machines rectilignes sont moins productives en raison de ce mouvement de va-et-vient du fil à travers la fonture. Cela provoque un léger retard à chaque changement de direction, qui peut devenir important sur une longue période.

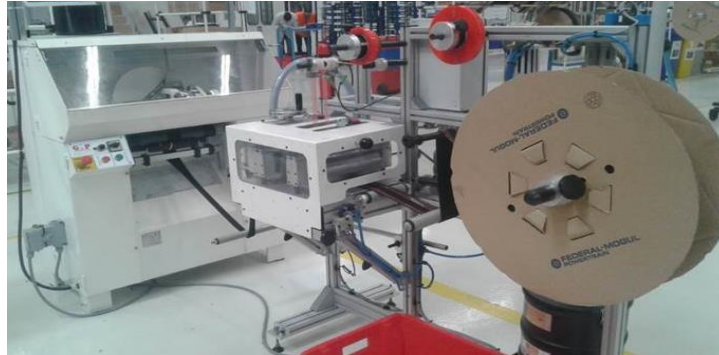


Figure 14 : Machine du tricotage rectiligne

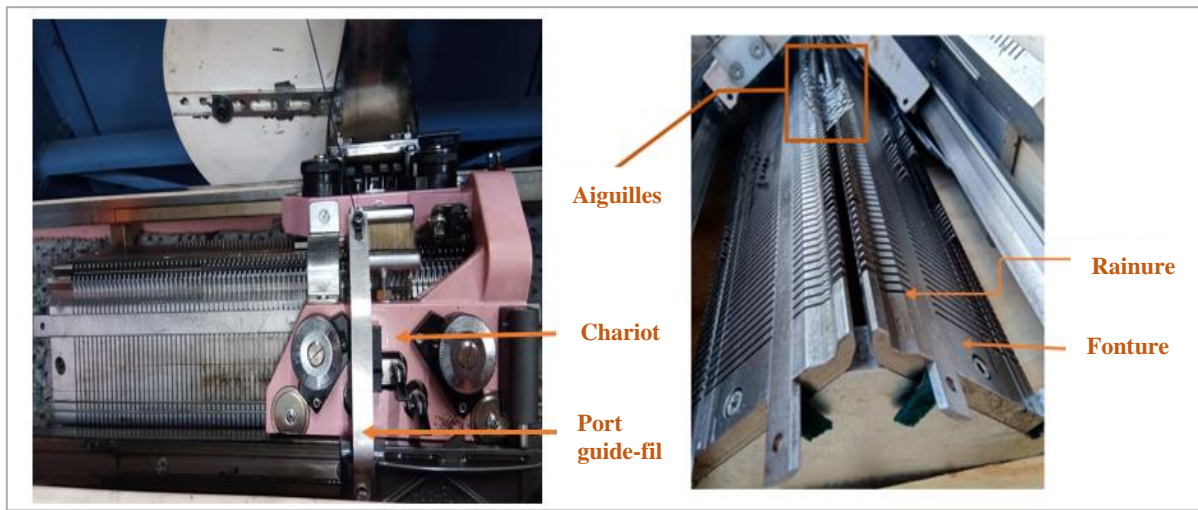


Figure 15 : Différents éléments de la machine rectiligne

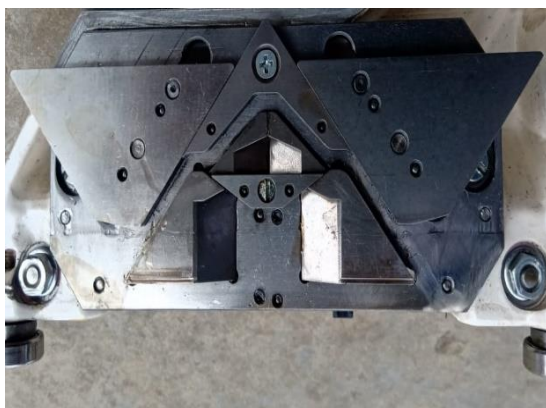


Figure 16 : Came à noyer

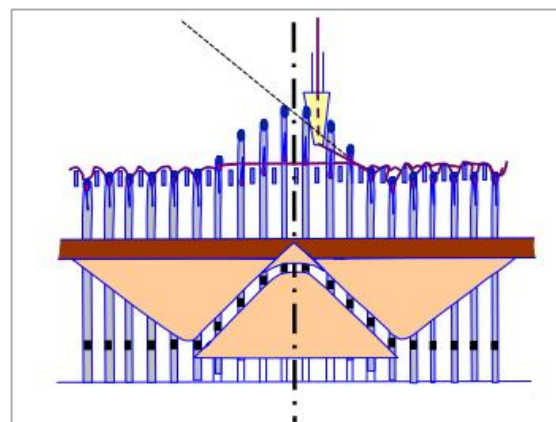


Figure 17 : Passage des aiguilles sur la came

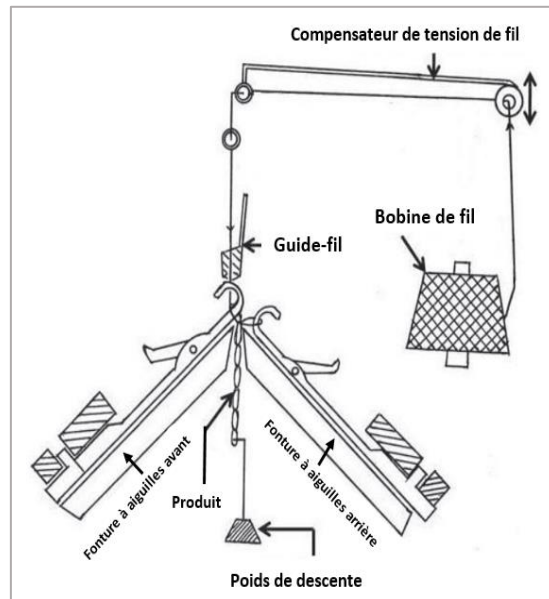



Figure 18: Coupe transversale d'une machine rectiligne

1.2. Produit du métier rectiligne

Le tableau suivant décrit le produit FlexWrap 3500 issu du tricotage rectiligne.

Tableau 2: Présentation du produit FlexWrap 3500

Produit	Description	Caractéristiques	Application
 <p>FlexWrap3500</p>	<p>une gaine flexible et enroulable qui offre diverses solutions de performance uniques pour des applications spécialisées tout en continuant à offrir un excellent niveau de protection.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Fermeture adhésive intégrée et système de repérage - Résiste à une température allant jusqu'à 150 °C 	<ul style="list-style-type: none"> -Assemblages de câbles -Protection des tubes

2. Métier circulaire

Dans les machines circulaires, les tricots réalisés sont tubulaires, légers et sans coutures. De plus, ils sont généralement constitués de petites mailles relativement denses.

Remarque :

Le principe du tricotage circulaire va être détaillé dans ce rapport puisqu'il fait l'objet de cette étude.

2.1. Les dispositifs importants dans un métier circulaire

2.1.1. A l'extérieur de la cabine

La figure ci-dessous représente les éléments importants à l'extérieur de la cabine d'un tricotage circulaire.



Figure 19 : Machine du tricotage circulaire

❖ Capteur casse-fil

Ce système permet à la machine de s'arrêter lorsque le fil se casse ou sa tension est trop faible. Il est placé le plus haut possible sur le métier. Grâce à cette disposition, lorsqu'il y a une casse de fil, la machine s'arrête pour éviter tout défaut possible.



Figure 20 : Capteur casse-fil

❖ Dévidoir

Le dévidoir est un détecteur assurant une tension constante au fil en polyamide lors de son passage.



Figure 21: Dévidoir

❖ Interrupteur vitesse de rotation

La vitesse de rotation de la tête du tricotage est assurée par un interrupteur qui règle la vitesse de rotation de la tête du tricotage.

❖ Régulateur de tirage

Il permet de régler le tirage du produit pour avoir un tricot de diamètre bien défini selon la taille souhaitée.

2.1.2. A l'intérieur de la cabine :

La figure suivante représente les éléments importants à l'intérieur de la cabine d'un tricotage circulaire.

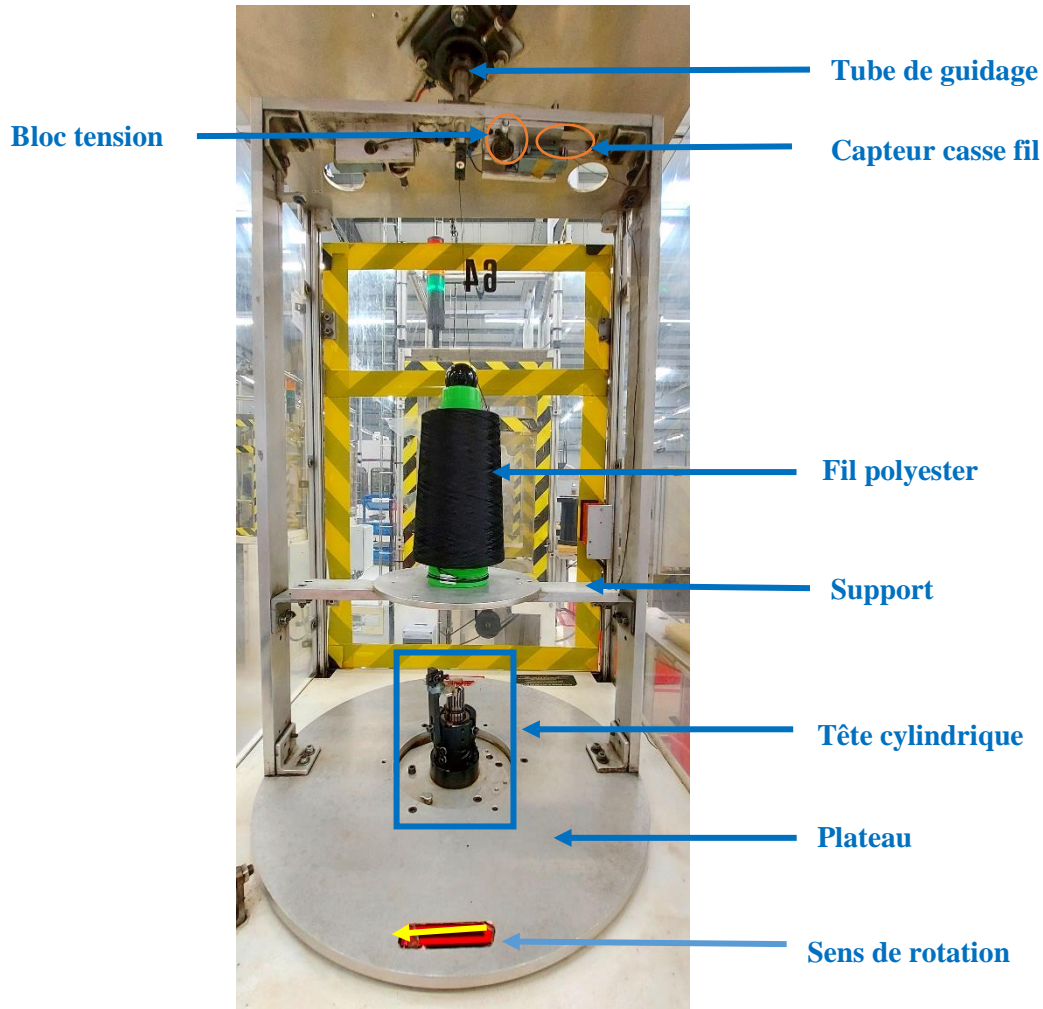


Figure 22: Composants de la cabine du tricotage circulaire

❖ **Bloc tension**

Le bloc tension aide à appliquer une tension constante au fil en polyester pendant le tricotage. Il est constitué de deux rondelles liées à un ressort de compression qui permet de pincer plus ou moins le fil. Le réglage de la tension est effectué par un écrou fileté.

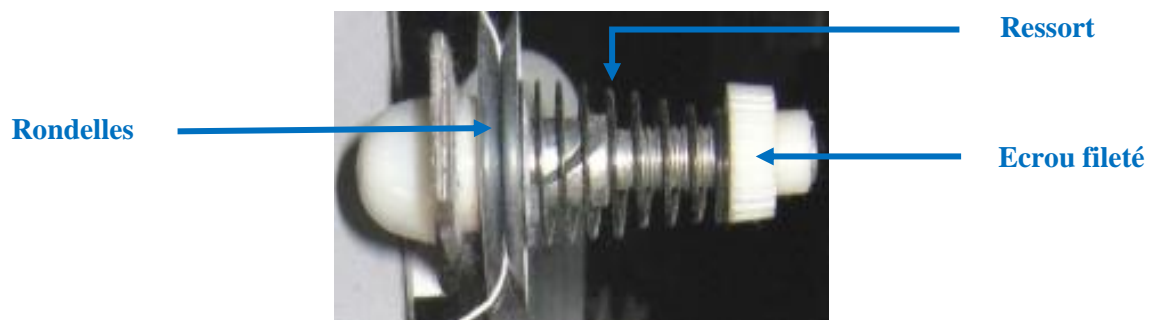


Figure 23 : Bloc tension

❖ La tête du tricotage

C'est la partie importante de la machine circulaire disposée au centre d'un plateau. Elle contient un guide-fil par lequel traverse les deux types de fils polyester et polyamide. On trouve aussi au niveau du support guide-fil une brosse qui assure une meilleure ouverture et fermeture du clapet de l'aiguille sans blocage.

Comme son nom l'indique, les aiguilles sont disposées verticalement le long du périmètre de la fonture circulaire qui contient des rainures parallèles. Cette disposition est appelée aiguilles de cylindre. Le mouvement de rotation est continu ce qui permet de faire tourner les cames d'ascension et de chute qui assurent le mouvement des aiguilles comme illustré dans la **Figure 25**.

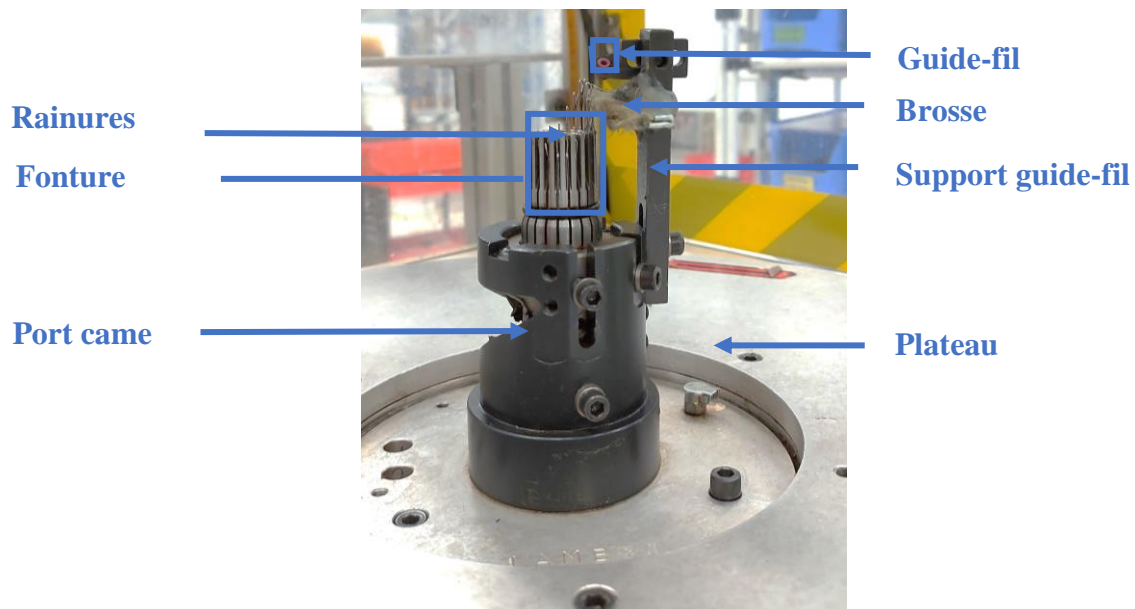


Figure 24 : Tête du tricotage

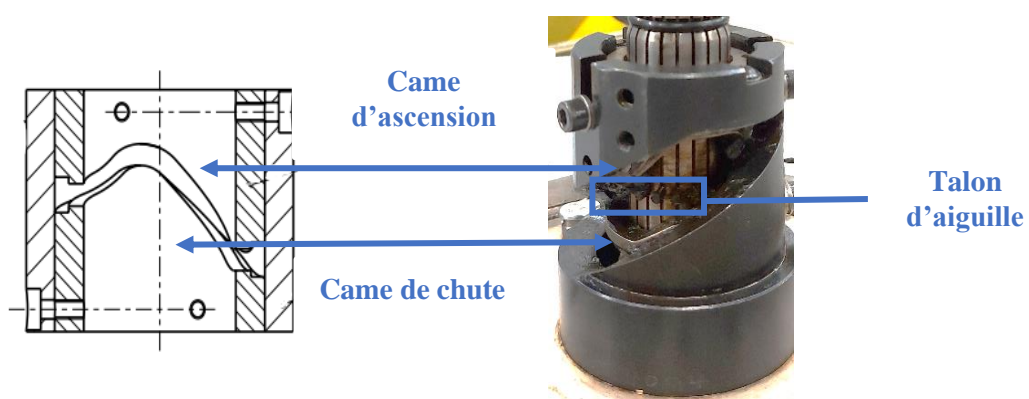


Figure 25: Cames du métier circulaire

2.2. Description générale du tricotage sur métier circulaire

Pour obtenir le produit fini, on suit le processus décrit ci-dessous :

Une bobine fixe du fil polyamide et placée à l'extérieur de la cabine se déroule dans le sens des aiguilles d'une montre. Elle est supportée par un cantre permet de dévider le fil qui traverse un capteur de casse fil extérieur. Ensuite, le fil passe par un dévidoir et entre dans la cabine à travers un tube de guidage puis il parcourt des anneaux en céramique qui aident à éviter son endommagement.

La deuxième bobine intérieure du fil polyester est posée sur un support permettant à cette dernière de tourner autour de lui-même. Le fil polyester passe par un capteur casse fil intérieur puis par un bloc tension.

Les deux types de fils se rencontrent au niveau d'une tête du tricotage changeable permettant d'obtenir un produit fini de différentes tailles.

Par la suite, un système de tirage permet de tirer le tricot produit pour lui assurer un diamètre bien défini selon la taille souhaitée. À la fin, le tricot va passer par un système de trancannage pour être enroulé par une bobine cylindrique.

2.3. Produit du métier circulaire « LOCATGUARD 2750 »

2.3.1. Rappel sur les polymères

L'industrie automobile est le troisième secteur consommateur de polymères après l'emballage et le BTP [5] à cause de leur grande liberté dans la conception des pièces durables, ils sont résistants à l'abrasion et aux vibrations et contribuent surtout à la sécurité des véhicules. De plus, ils offrent un meilleur rapport qualité-prix grâce à la possibilité de pouvoir réaliser, souvent en une seule opération un produit fini [6].

Le Polymère est un mélange de macromolécule constitué d'un enchainement d'un grand nombres d'unités de répétition appelés monomères unies par des liaisons covalentes. Il est préparé par deux grands procédés : la polymérisation en chaine et la polycondensation [7].

- La polycondensation par laquelle les monomères ayant au moins deux groupes fonctionnels se condensent les unes aux autres avec élimination de petites molécules telles que H₂O.

- La polyaddition par laquelle une molécule est ajoutée sur un centre actif porté par la chaîne macromoléculaire en cours de croissance sans aucune élimination de petites molécules.

Les polymères sont classés souvent selon leurs propriétés thermomécaniques [8]. Citons :

- **Polymères thermoplastiques**, qui fondent lorsqu'ils sont chauffés, deviennent solides lorsqu'ils sont refroidis et peut-être refondus ou moulés après refroidissement. Alors, on dit que la transformation est réversible.
- **Les polymères thermodurcissables**, qui ne peuvent être mis en œuvre qu'une seule fois et qui deviennent résistants à la température car les liaisons de valence dans le polymère se réticulent pour former des liaisons chimiques tridimensionnelles. Alors, on dit que la transformation est irréversible.
- **Les élastomères**, qui peuvent être étirés de leur longueur d'origine et reprendre leur forme initiale sans déformation.

2.3.2. Composition du produit LocatGuard 2750

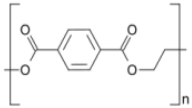
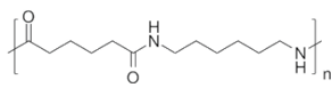
LocatGuard 2750 est une gaine tubulaire dédiée à la protection des tubes PA, en particulier des conduites de carburant, contre l'abrasion et les coupures.



Figure 26 : Produit LocatGuard 2750

Il est composé de deux fils, un en polyamide et l'autre en polyester. Il faut noter dans ce cas que pour avoir un produit avec des propriétés uniques et qui répond à des besoins spécifiques, les industriels mélangent deux ou plusieurs types de fibres. Le tableau suivant présente les différentes spécifications de chaque composant :

Tableau 3 : Composition de LocatGuard 2750 [9]

	PET	PA
Nom	Poly-Éthylène Téréphtalate	Polyamide (Nylon 6,6)
Définition	Le polyester est une fibre plastique dérivée du pétrole. Il est synthétisé grâce à un processus de polycondensation d'éthylène glycol avec de l'acide téréphtalique.	Le nylon est un polymère apparente aux matières plastiques. Ce polyamide synthétique est issu de la polycondensation de diamine et de diacide.
Formule chimique	 $(C_{10}H_8O_4)_n$	 $(C_{12}H_{22}N_2O_2)_n$
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> • Résistant • Ne froisse pas • Ne rétrécit pas • Très inflammable 	<ul style="list-style-type: none"> • Très résistant • Souvent mélangée à d'autres matières textiles pour apporter plus de solidité au produit. • Indéformable • Peu inflammable

LocatGuard 2750 est caractérisé par une :

- Résistance à des températures allant jusqu'à 125°C.
- Facilité d'installation sur les grandes longueurs car il glisse facilement sur les tubes et sa construction lui permet d'être souple.
- Excellente résistance à l'abrasion.
- Ses extrémités ne s'effilochent pas.

Le contrôle qualité effectué sur le produit LocatGuard 2750 est présenté dans l'**annexe 1**.

Chapitre 3 :

Méthodologie des plans d'expériences

Dans ce chapitre, on va parler d'une façon générale sur les notions de base des plans d'expériences.

1. Généralités sur les plans d'expériences

Face à l'intérêt croissant des entreprises pour l'amélioration de la qualité des processus ou produits fabriqués, elles ont accordé ces dernières années une grande importance à l'organisation des essais expérimentaux.

La méthodologie classique consiste à fixer le niveau de toutes les variables sauf une et mesurer la réponse du système pour les différentes valeurs de cette variable. Cette méthode est basée sur l'expertise et la compétence de l'expérimentateur, ce qui donne un nombre d'essais et de temps élevé. Aujourd'hui, en fonction des exigences des clients sur la qualité d'une part, et de la concurrence des entreprises pour réduire les coûts d'autre part, les entreprises doivent utiliser une approche scientifiquement rigoureuse appelée **plans d'expériences**.

❖ Définition

- La méthodologie des plans d'expériences correspond à une série d'essais définis à partir d'une stratégie optimale permettant la prédiction d'une réponse avec le minimum d'erreurs et un minimum d'essais sur la base d'un modèle postulé [10].
- Selon la [Norme ISO 3534-3]: Les plans d'expériences constituent essentiellement une Planification d'expériences afin d'obtenir des conclusions solides et adéquates de manière efficace et économique [10].

❖ Principe et avantages

Il a pour principe de faire varier les niveaux d'un ou plusieurs facteurs en même temps pendant chaque test. Ceci va permettre une :

- Réduction du nombre d'essai dont un gain du temps et des coûts.
- Modélisation des réponses.
- Identification des facteurs les plus influents.
- Détermination des interactions entre les facteurs.
- Optimisation facile.
- Interprétation simplifiée des résultats.

2. Espace expérimentale

L'expérimentateur qui initie une étude s'intéresse à une grandeur qu'il mesure dans chaque essai. Cette grandeur est appelée **la réponse**. La valeur de la réponse dépend de nombreuses variables. Nous utiliserons le mot **facteur** au lieu du terme "variable". La réponse dépend alors d'un ou plusieurs facteurs. Le premier facteur peut être représenté par un axe mis à l'échelle et

orienté. La valeur donnée au facteur sur lequel l'essai a été effectué s'appelle un **niveau**. Lorsqu'on étudie l'effet d'un facteur, on limite généralement sa variation entre deux bornes. La limite inférieure est le niveau bas "-1" ; la limite supérieure est le niveau haut "+1" [11].

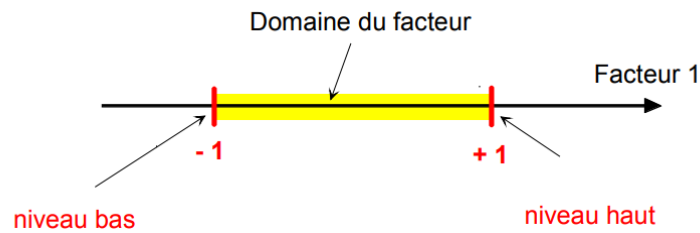


Figure 27: *Domaine du facteur*

L'ensemble de toutes les valeurs que peut prendre le facteur entre le niveau bas et le niveau haut, s'appelle le domaine de variation du facteur ou plus simplement le domaine du facteur. S'il y a un second facteur, il est représenté, lui aussi, par un axe gradué et orienté. On définit, comme pour le premier facteur, son niveau haut, son niveau bas et son domaine de variation.

Ce second axe est disposé orthogonalement au premier. On obtient ainsi un repère cartésien qui définit un espace euclidien à deux dimensions. Cet espace est appelé l'espace expérimental. Le niveau X1 du facteur 1 et le niveau X2 du facteur 2 peuvent être considéré comme les coordonnées d'un point de l'espace expérimental. Une expérience donnée est alors représentée par un point dans ce système d'axes. Un plan d'expériences est représenté par un ensemble de points expérimentaux. Le regroupement des domaines des facteurs définit le « domaine d'étude ou le domaine expérimental ». Ce domaine d'étude est la zone de l'espace expérimental choisie par l'expérimentateur pour faire ses essais. Une étude, c'est-à-dire plusieurs expériences bien définies, est représentée par des points répartis dans le domaine d'étude [11].

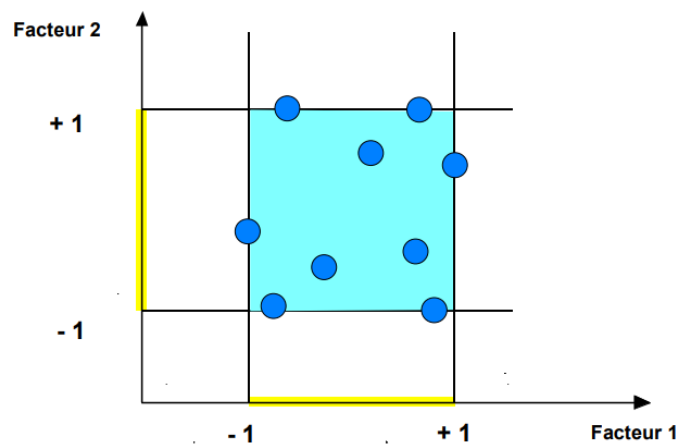


Figure 28: *Domaine d'étude ou domaine expérimental*

3. Surface de réponse

Chaque point du domaine d'étude correspond à une réponse. A l'ensemble de tous les points du domaine d'étude correspond un ensemble de réponses qui se situent sur une surface appelée surface de réponse.

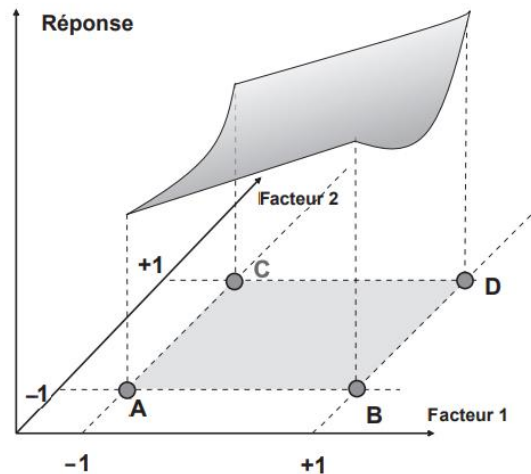


Figure 29: Surface de réponse

Généralement, seules quelques réponses sont connues, c'est-à-dire celles correspondant à des points expérimentaux réservés par l'expérimentateur. On interpole la réponse inconnue à l'aide d'un modèle mathématique pour obtenir la surface de réponse. Les points d'expériences retenus par la théorie des plans d'expériences garantissent que la forme et l'emplacement de la surface de réponse sont aussi précis que possible [12].

4. Modélisation mathématique

La modélisation mathématique consiste à trouver un modèle convenable qui permet de relier la réponse "Y" en fonction des facteurs sujets de l'étude.

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \sum a_{ii} x_i^2 + \dots$$

- y est la réponse à laquelle s'intéresse l'expérimentateur
- x_i représente un niveau du facteur i allant du 1 jusqu'à n.
- x_j représente un niveau du facteur j allant du 1 jusqu'à n.
- a_0, a_i, a_{ii}, a_{ij} sont les coefficients du modèle mathématique.

5. Démarche méthodologique

On peut résumer la mise en œuvre d'un plan d'expérience pour étudier la surface de réponse d'un système expérimental et trouver un optimum selon la procédure suivante :

- 1- Définir le problème à étudier.
- 2- Sélectionner la réponse et les facteurs contrôlables.
- 3- Définir le domaine expérimental, en fixant les niveaux des facteurs sélectionnés.
- 4- Choisir un modèle.
- 5- Choisir un plan d'expérience tenant compte des conditions propres au problème à traiter.
- 6- Réaliser les essais.
- 7- Utiliser un logiciel pour traiter les données.
- 8- Interpréter les résultats obtenus.
- 9- Sélectionner les coefficients significatifs.
- 10- Prédire les niveaux des facteurs à l'optimum.
- 11- Faire un essai complémentaire en appliquant les valeurs optimales des facteurs pour valider les conclusions.

Chapitre 4 :

Amélioration de

l'inflammabilité du produit

LocatGuard 2750

Ce chapitre, est consacré à l'étude de l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750 selon la démarche suivante:

- Déterminer les facteurs qui sont potentiellement influents sur l'inflammabilité par les plans d'expériences.
- Choisir les réglages convenables pour obtenir le type d'inflammabilité attendu.
- Donner les analyses et les résultats obtenus.

1. Description de l'étude

De nos jours, la sécurité de l'homme est devenue une nécessité dans l'industrie automobile. Les véhicules contiennent un certain nombre de composants qui peuvent brûler lorsqu'ils sont exposés à une source de flamme suffisamment importante.

La société TENNECO France est l'une des producteurs des gaines de protection de ce type de composants. Parmi ces produits on trouve la gaine LocatGuard 2750 utilisée pour protéger les tubes en polyamide dans les véhicules. Ce produit n'est pas conforme par rapport aux exigences de la norme D45 1333 relative au comportement à la combustion d'un véhicule depuis le démarrage de la production de cette gaine en 2013.

Le problème de l'inflammabilité de LocatGuard 2750 persiste encore même après le transfert du processus de fabrication au site du Maroc en Juillet 2021. Pour cela, l'équipe de l'entreprise a prévu de faire une étude expérimentale plus approfondie pour trouver l'origine de cette non-conformité.

2. Objectif de l'étude

Le but de cette étude est d'ajuster les facteurs agissant sur le processus de tricotage, de façon à améliorer la réponse visée : inflammabilité. Pour répondre à cette problématique, on va utiliser la méthodologie des plans d'expériences pour améliorer le procédé de fabrication du produit LocatGuard 2750 afin d'obtenir un produit conforme par rapport aux exigences de la norme D45 1333.

3. Réponse étudiée

3.1. Définition

La réponse choisie dans notre étude est l'**inflammabilité** qui signifie la capacité d'une matière à s'enflammer spontanément lorsqu'elle est exposée à une température élevée ou en présence d'une étincelle ou d'une flamme nue [13].

3.2. Norme D45 1333 relative au comportement à la combustion d'un véhicule

La norme D45 1333 est une norme développée par le groupe PSA Peugeot Citroën qui explique le comportement à la combustion des matériaux d'un véhicule lorsqu'ils sont exposés à des flammes et propose une méthode d'essai pour mesurer la vitesse de combustion [14].

Les entreprises qui fabriquent des produits pour le secteur automobile comme TENNECO Morocco doivent démontrer que leurs produits répondent aux normes de sécurité, incluant l'inflammabilité. À cet égard, la réponse « **inflammabilité** » est déterminée à partir d'un test fait au laboratoire de TENNECO France situé à Crépy-en-Valois, selon la norme D45 1333.

4. Mode de mesure de la réponse

Le produit LocatGuard 2750 est composé de deux types de fils :

- Fil en polyester qui est hautement inflammable.
- Fil en polyamide qui est peu inflammable.

Pour cela, il faut faire un essai pour savoir le résultat d'inflammabilité du mélange polyamide/polyester.

❖ Equipement d'essai

Chambre de combustion contenant un porte-échantillon composé de deux plaques en métal de forme U qui résiste à la corrosion et un brûleur à gaz (bec Bunsen) placé dans la chambre de combustion.

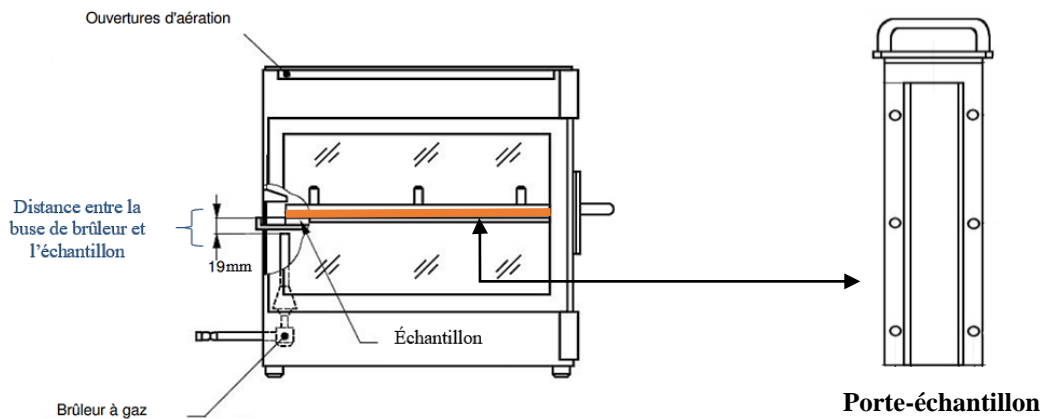


Figure 30 : Chambre de combustion

❖ Procédure

Le test d'inflammabilité est effectué sur dix échantillons du même produit LocatGuard 2750 selon les paramètres choisis:

- L'échantillon est coupé à une longueur de 356 mm.
- L'échantillon est placé d'une façon horizontale sur le porte-échantillon.
- L'extrémité de l'échantillon est enflammée à l'aide d'un bec Bunsen dont la hauteur de flamme est de 38 mm avec un temps d'application de 15 secondes après activation du premier chronométrage.
- Un deuxième chronométrage est commencé lorsque la flamme atteint le premier trait-repère situé à 38 mm le long de l'échantillon.
- Le temps nécessaire à la flamme pour progresser jusqu'à le deuxième trait-repère situé à 254 mm sur l'échantillon a été mesuré.

❖ Expression des résultats

Les critères d'évaluation selon la norme D45 1333 sont comme suit:

A : l'échantillon ne brûle pas ou la flamme s'arrête immédiatement après le retrait de la flamme.

B : l'échantillon brûle, mais la flamme cesse avant d'atteindre le premier trait-repère.

C : l'échantillon brûle, mais la flamme cesse dans les 60 s après le début du chronométrage et ne s'éloigne pas de plus de 50 mm du premier trait-repère.

D : l'échantillon brûle et la flamme cesse entre les deux traits-repères.

E : l'échantillon brûle et la flamme atteint le deuxième trait-repère.

Remarque :

Dans notre étude on vise à avoir une inflammabilité de type **A** ou **B**.

5. Etudes effectuées

5.1. Première étude

5.1.1. Choix des facteurs

Afin d'évaluer les facteurs qui influent sur l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750, un diagramme d'Ishikawa a été établi.

5.1.1.1. Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa, appelé aussi diagramme en arêtes de poisson ou encore diagramme de causes et effets. C'est un outil graphique utilisé pour visualiser les causes génératrices d'un problème. Au cours de l'élaboration de ce diagramme, nous avons fait un classement des causes selon la catégorie dont elles font partie.

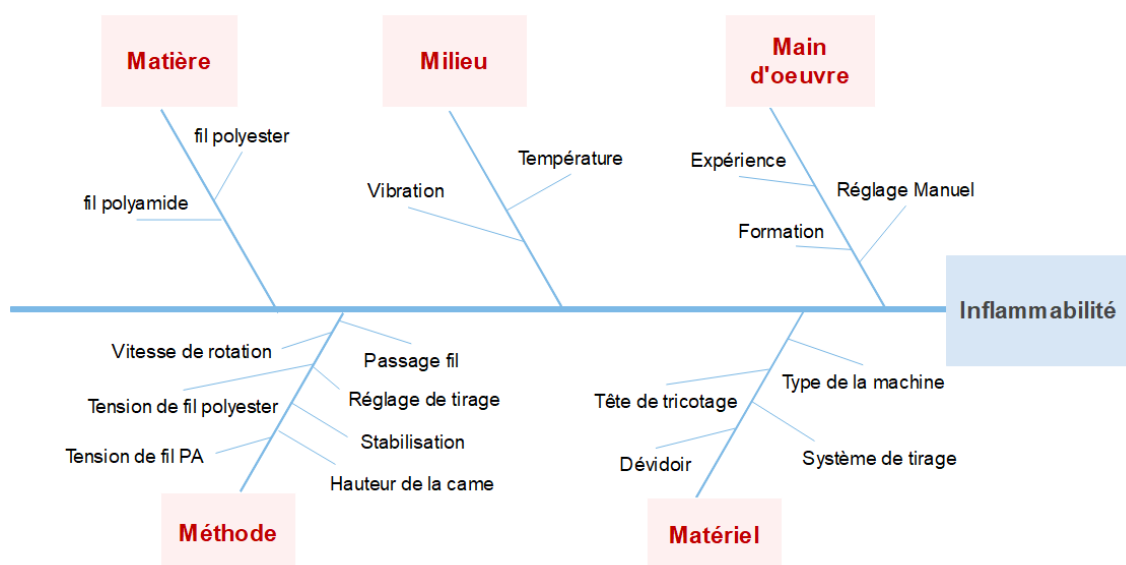


Figure 31 : Diagramme d'Ishikawa du procédé de tricotage cylindrique

Après une réunion avec les experts au sein de l'entreprise, et en tenant compte de leur savoir-faire, nous avons décidé de travailler sur les tricots du diamètre 8, et on a pu choisir 3 facteurs pour les varier :

Fil polyester, tête du tricotage et passage du fil polyester.

5.1.1.2. Description des facteurs choisis

- **Fil polyester**

Puisque le fil polyester est inflammable, on a utilisé un fil amélioré de type « **FR et ensimé** ».

→ **FR : retardateur de flamme (Flame retardant)**

Le terme retardateur de flamme comprend une variété de produits chimiques qui sont ajoutés aux matériaux manufacturés, dans notre cas le fil de polyester. Les retardateurs de flamme sont activés en présence d'une source d'inflammation et sont conçus pour empêcher ou ralentir le développement ultérieur de l'inflammation. Ils peuvent être ajoutés selon différents modes d'application. Ils peuvent être réactifs, c'est-à-dire qu'ils sont introduits par réaction dès la création de la macromolécule, ou ils peuvent être disposés sur des surfaces textiles par différentes méthodes [15].

→ **Ensimage :**

L'ensimage est une opération qui consiste à déposer sur la surface du fil une huile spécifique qui lui permette d'être protégé contre les frottements qui pourrait le fragiliser. Alors, il devient plus résistant à l'abrasion.

- **Tête du tricotage**

Pour stabiliser le tricot et éviter les vibrations au niveau des aiguilles, on a ajouté un fixateur du tricot au-dessus de la tête du tricotage.

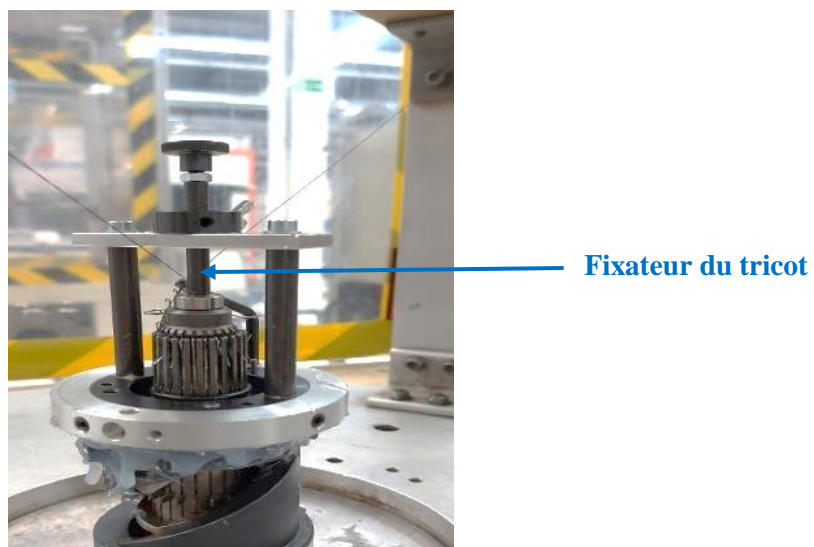


Figure 32: Tête du tricotage après adaptation du fixateur

- **Passage du fil polyester**

On a changé le passage du fil polyester (**trait vert**) qui passe à l'intérieur de la cabine de la machine du tricotage pour tendre le fil comme le montre les figures suivantes:

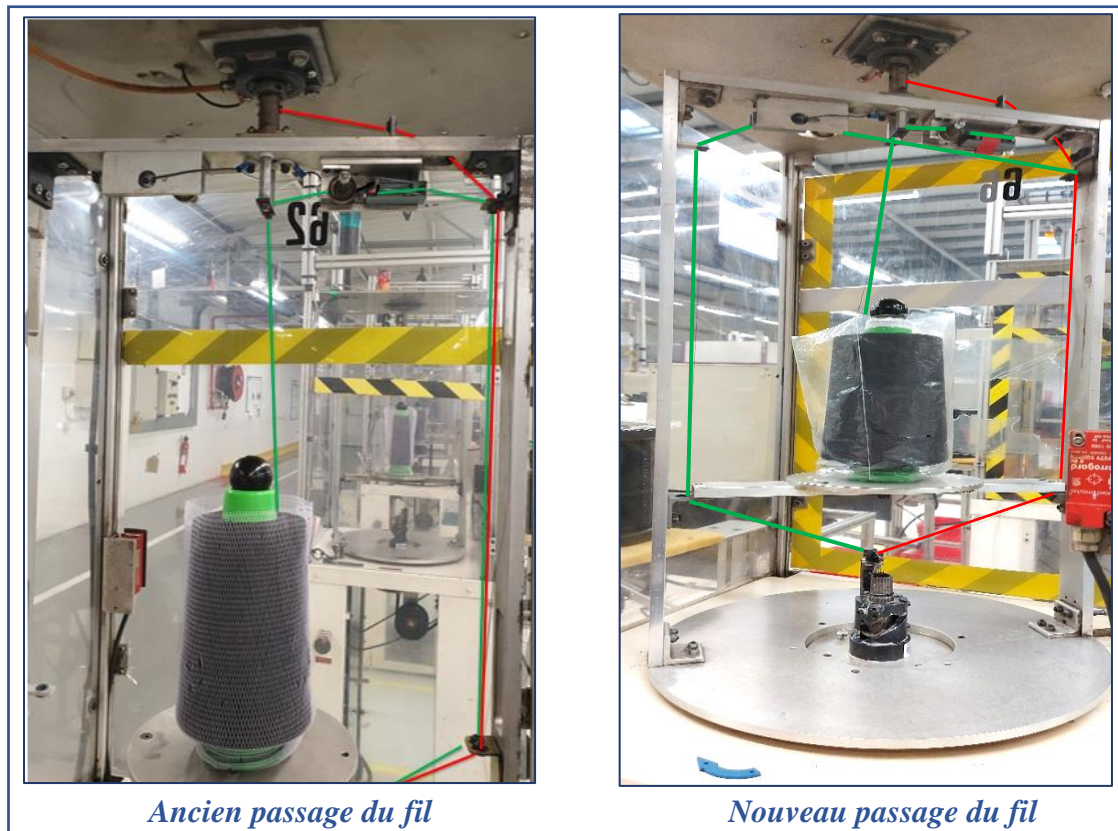


Figure 33 : Passage du fil polyester

5.1.2. Plan factoriel complet

Dans notre première étude, nous avons choisi d'appliquer le plan factoriel complet c'est-à-dire plan d'expérience à 2 niveaux par facteur.

Il est très efficace car il permet de prendre en compte l'ensemble des interactions entre les facteurs et le nombre d'expériences se calcule avec la formule suivante : $N=2^k$.

Avec : - **k** c'est le nombre de facteurs

- **2** c'est le nombre de niveaux

Le tableau suivant montre le domaine d'étude des facteurs retenus :

Tableau 4: Domaine expérimental des facteurs de la première étude

	Facteurs	Niveau (-)	Niveau(+)
X₁	Fil polyester	non FR et non ensimé	FR et ensimé
X₂	Tête du tricotage	sans fixateur	avec fixateur
X₃	Passage du fil polyester	simple	amélioré

5.1.2.1. Modèle mathématique postulé

Le modèle postulé est de premier degré avec interaction :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

Avec : b_0 : la moyenne de la réponse ; $b_1...b_3$: les effets successifs des facteurs $X_1...X_3$;

5.1.2.2. Matrice d'expériences

La matrice d'expériences se construit de la façon suivante :

- Colonne du 1^{er} facteur : alternance de -1 et +1.
- Colonne du 2^{ème} facteur : alternance de -1 et +1 de 2 en 2.
- Colonne du 3^{ème} facteur : alternance de -1 et +1 de 4 en 4.

Dans cette étude on a 3 facteurs à étudier, alors on a effectué une matrice de 8 expériences.

Le tableau suivant présente la matrice d'expériences réalisé :

Tableau 5: Matrice d'expériences du plan factoriel complet

N°Exp	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

Remarque :

Le planning de préparation des échantillons après leur tricotage pour chaque expérience de la première étude est présenté dans l'annexe 2.

5.1.2.3. Obtention des résultats de la réponse « inflammabilité »

Comme indiqué dans la procédure du test d'inflammabilité (page 29), pour chaque essai on répète le test pour 10 échantillons du même produit obtenu selon les paramètres choisis. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau 6: Résultats des essais d'inflammabilité de la première étude

N°Exp	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5	Ech 6	Ech 7	Ech 8	Ech 9	Ech 10
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	D	C	C	C	B	B	C	C	D	D
3	A	C	D	C	C	D	C	A	D	C
4	C	B	B	C	B	C	C	B	C	C
5	B	A	B	B	C	B	C	A	B	B
6	D	D	D	C	D	C	C	B	B	C
7	A	C	C	C	D	C	B	C	C	B
8	B	B	D	D	A	C	B	C	B	B

Rappelons que dans notre étude on vise à avoir une inflammabilité de type A ou B.

On voit bien d'après le **Tableau 6** illustré au-dessus que dans chaque essai il y a une variation de type d'inflammabilité pour le même produit fini. Cela nécessite d'affecter à chaque type d'inflammabilité obtenu une valeur pour mieux comparer entre les essais selon la manière suivante :

A = 8

B = 6

C = 4

D = 2

✚ Méthode de Calcul du résultat:

Pour le calcul du résultat final qui est la réponse inflammabilité, on fait regrouper le résultat de type d'inflammabilité obtenu pour chaque essai puis on le divise sur le nombre d'échantillon.

Exemple :

$$\text{Résultat final} = \frac{C+C+C+C+C+C+C+C+C+C}{\text{Nombre d'échantillon}} = \frac{4+4+4+4+4+4+4+4+4+4}{10} = 4$$

Après l'application de cette méthode, on obtient le tableau suivant après l'affectation des valeurs:

Tableau 7: Résultats des essais de la première étude après affectation des valeurs

N°Exp	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5	Ech 6	Ech 7	Ech 8	Ech 9	Ech 10	Résultat final
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,0
2	2	4	4	4	6	6	4	4	2	2	3,8
3	8	4	2	4	4	2	4	8	2	4	4,2
4	4	6	6	4	6	4	4	6	4	4	4,8
5	6	8	6	6	4	6	4	8	6	6	6,0
6	2	2	2	4	2	4	4	6	6	4	3,6
7	8	4	4	4	2	4	6	4	4	6	4,6
8	6	6	2	2	8	4	6	4	6	6	5,0

5.1.2.4. Plan d'expérimentation

En remplaçant les valeurs codées par les valeurs réelles, on obtient le plan d'expérimentation suivant avec les résultats obtenus après la réalisation des 8 essais :

Tableau 8 : Plan d'expérimentation avec résultats associés du plan factoriel complet

N°Exp	X ₁	X ₂	X ₃	inflammabilité
Unité	-	-	-	-
1	non FR et non ensimé	sans fixateur	simple	4
2	FR et ensimé	sans fixateur	simple	3,8
3	non FR et non ensimé	avec fixateur	simple	4,2
4	FR et ensimé	avec fixateur	simple	4,8
5	non FR et non ensimé	sans fixateur	amélioré	6
6	FR et ensimé	sans fixateur	amélioré	3,6
7	non FR et non ensimé	avec fixateur	amélioré	4,6
8	FR et ensimé	avec fixateur	amélioré	5

5.1.2.5. Analyse des résultats

➤ **Calcul des effets des facteurs :**

Le tableau suivant présente les facteurs et leurs interactions :

Tableau 9: Matrice d'effets avec interaction du plan factoriel complet

N°Exp	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	I	Y
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	4,0
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	3,8
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	4,2
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	4,8
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	6,0
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	3,6
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	4,6
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	5
effets	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₂₃	b ₀	

Avec :

X_1X_2 : interaction entre le fil polyester et tête du tricotage.

X_1X_3 : interaction entre le fil polyester et passage du fil polyester.

X_2X_3 : interaction entre tête du tricotage et passage du fil polyester.

$X_1X_2X_3$: interaction entre fil polyester, tête du tricotage et passage du fil polyester.

I : moyenne.

Y : réponse.

Le calcul des effets des facteurs s'effectue selon la méthode suivante :

$$b_1 = \frac{-4+3,8-4,2+4,8-6+3,6-4,6+5}{8} = -0,20$$

En procédant de la même manière, ci-dessous un tableau regroupant les valeurs des autres effets :

Tableau 10: Effets des facteurs du plan factoriel complet

Nom	Coefficient
b_0	4,50
b_1	-0,20
b_2	0,15
b_3	0,30
b_{12}	0,45
b_{13}	-0,30
b_{23}	-0,15
b_{123}	0,25

➤ **Diagramme de Pareto:**

Le diagramme de Pareto illustré dans la **Figure 34** permet d'indiquer les effets qui sont importants. IL montre les valeurs absolues des effets normalisés, en les classant de la plus élevée à la plus faible. Les effets normalisés sont des statistiques t qui évaluent l'hypothèse nulle selon laquelle l'effet est de 0. Le diagramme comprend également une ligne de référence en rouge afin d'indiquer les effets statistiquement significatifs.

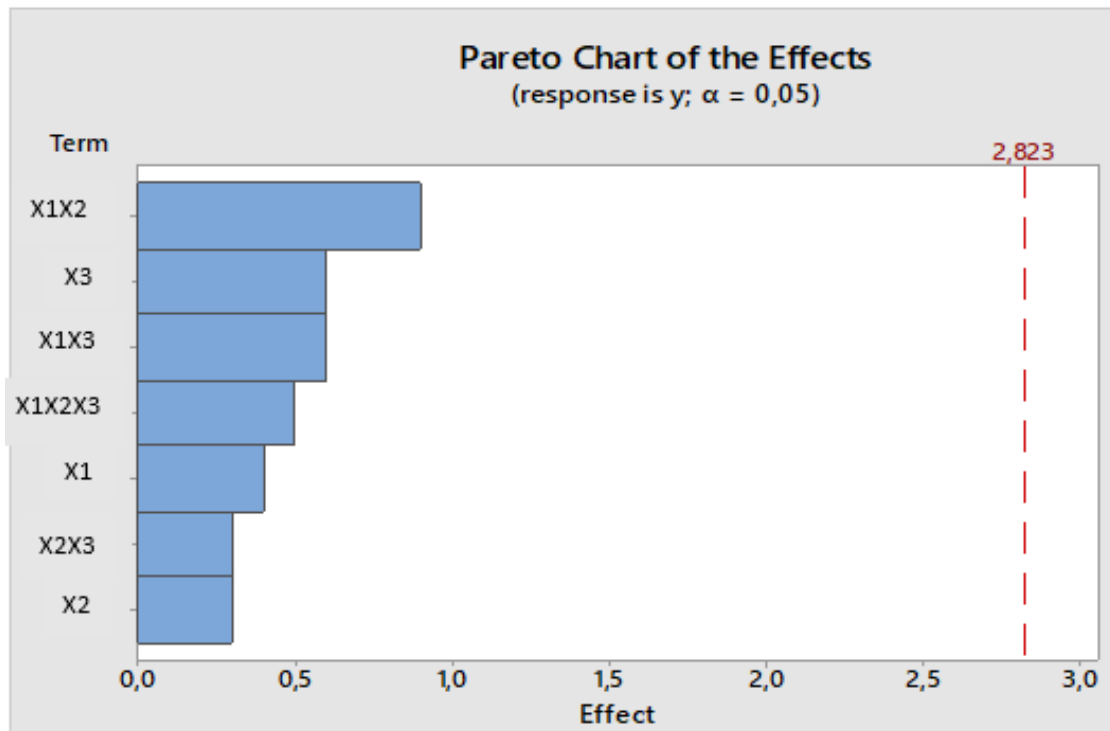


Figure 34: Diagramme de Pareto de la première étude

On voit bien d'après ce diagramme obtenu par le logiciel 'Minitab' que aucun facteur ne présente un effet significatif puisque les barres ne coupent pas la ligne de référence rouge.

5.1.2.6. Conclusion de la première étude :

À travers le tableau 6 des résultats des essais de l'inflammabilité de la première étude, il est clair que les résultats ne sont pas satisfaisants vis-à-vis à nos attentes puisqu'il y a une grande variation de type d'inflammabilité obtenu. Cependant, et afin d'être sûr, on a élaboré un diagramme de Pareto qui a confirmé aussi ce qui a été obtenu dans le tableau.

5.2. Deuxième étude

Comme nous n'avons pas pu dans la première étude obtenir les facteurs influents sur notre réponse « inflammabilité », on a réalisé une deuxième étude plus approfondie pour trouver les facteurs qui sont potentiellement influents sur l'inflammabilité.

5.2.1. Choix des facteurs

Après une réunion avec les experts au sein de l'entreprise, on a pu choisir 5 facteurs en se basant sur la première étude et ce qui a été réalisé historiquement:

Fil polyester, vitesse de rotation, tension du fil PA, stabilisation et passage du fil polyester.

Pour mieux comprendre la signification de ces facteurs, voici une description de chacun d'eux :

- **Vitesse de rotation**

C'est le nombre de tour de rotation de la tête de tricotage par minute.

- **Tension du fil PA**

Comme indiqué dans les dispositifs importants dans un métier circulaire à l'extérieur de la cabine dans le deuxième chapitre, la tension du fil en polyamide est assurée par le dévidoir. La différence entre le produit fini selon la tension choisie est la suivante :

- Tension = 0 g : Le dévidoir est désactivé, alors le fil ne rencontre plus de résistance, donc il est détendu.
- Tension = 30 g : Le dévidoir est activé, alors le fil rencontre plus de résistance, donc il est tendu.

- **Stabilisation**

A l'aide d'une machine de stabilisation, l'échantillon sera exposé à une température.

Remarque :

La description du fil polyester et du passage du fil polyester est déjà détaillée dans la première étude (**pages 32 et 33**).

5.2.2. Plan de criblage

Le plan choisi dans cette étude est le plan de criblage de Plakett et Burman. Il est conçu pour déterminer les facteurs les plus influents sur une réponse donnée. C'est un plan à deux niveaux, qui utilise pour le calcul la matrice Hadamard, qui a un nombre d'expériences N, multiple de 4. Le tableau suivant montre les niveaux des facteurs choisis :

Tableau 11: Domaine expérimental des facteurs de la deuxième étude

	Facteurs	Unité	Niveau (-)	Niveau(+)
X ₁	Fil polyester	-	non FR et non ensimé	FR et ensimé
X ₂	Vitesse de rotation	tr/min	230	540
X ₃	Tension du fil PA	g	0	30
X ₄	Stabilisation	°C	160	255
X ₅	Passage du fil polyester	-	Simple	amélioré

5.2.2.1. Modèle mathématique postulé

Le modèle postulé est de premier degré sans interaction :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5$$

Avec : b₀: la moyenne de la réponse ; b₁...b₅ : les effets successifs des facteurs X₁...X₅

5.2.2.2. Matrice d'expériences

Dans cette étude on a 5 facteurs à étudier, alors on choisit une matrice de 8 expériences.

Le tableau suivant présente la matrice d'expériences réalisé :

Tableau 12: Matrice d'expériences de Plackett et Burman

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

Remarque :

Le planning de préparation des échantillons après leur tricotage pour chaque expérience de la deuxième étude est présenté dans l'annexe 3.

5.2.2.3. Obtention des résultats de la réponse « inflammabilité »

Comme indiqué dans la procédure de test d'inflammabilité, pour chaque essai on répète le test pour 10 échantillons du même produit obtenu selon les paramètres choisis. Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivants :

Tableau 13: Résultats des essais d'inflammabilité de la deuxième étude

N°Exp	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5	Ech 6	Ech 7	Ech 8	Ech 9	Ech 10
1	B	A	B	B	C	C	C	B	A	B
2	B	B	B	A	B	B	A	B	B	B
3	B	B	A	B	B	B	B	B	B	B
4	A	A	B	A	A	A	B	A	A	A
5	C	C	C	C	C	C	C	D	D	C
6	B	B	B	C	B	C	B	C	C	C
7	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
8	D	D	D	C	D	C	C	C	C	C

En procédant de la même méthode du calcul détaillé dans la première étude (page 36), on affecte à chaque type d'inflammabilité obtenu une valeur pour mieux comparer entre les essais selon la manière suivante :

A = 8

B = 6

C = 4

D = 2

On obtient le tableau suivant :

Tableau 14: Résultats des essais de la deuxième étude après affectation des valeurs

N°Exp	Ech 1	Ech 2	Ech 3	Ech 4	Ech 5	Ech 6	Ech 7	Ech 8	Ech 9	Ech 10	Résultat final
1	6	8	6	6	4	4	4	6	8	6	5,8
2	6	6	6	8	6	6	8	6	6	6	6,4
3	6	6	8	6	6	6	6	6	6	6	6,2
4	8	8	6	8	8	8	6	8	8	8	7,6
5	4	4	4	4	4	4	4	2	2	4	3,6
6	6	6	6	4	6	4	6	4	4	4	5,0
7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8,0
8	2	2	2	4	2	4	4	4	4	4	3,2

5.2.2.4. Plan d'expérimentation

En appliquant cette manière de calcul sur les 8 essais, le plan d'expérimentation quand va utiliser pour le traitement des résultats par la suite devient :

Tableau 15 : Plan d'expérimentation avec résultats associés du plan de criblage

N°Exp	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	inflammabilité
Unité	-	tr/min	g	°C	-	-
1	FR et ensimé	540	30	160	amélioré	5,8
2	non FR et non ensimé	540	30	255	simple	6,4
3	non FR et non ensimé	230	30	255	amélioré	6,2
4	FR et ensimé	230	0	255	amélioré	7,6
5	non FR et non ensimé	540	0	160	amélioré	3,6
6	FR et ensimé	230	30	160	simple	5,0
7	FR et ensimé	540	0	255	simple	8,0
8	non FR et non ensimé	230	0	160	simple	3,2

5.2.2.5. Traitement des résultats

Le traitement des résultats dans notre étude est effectué à l'aide du logiciel ``Nemrodw``

➤ Graphe des effets :

Il nous permet de visualiser l'influence de chaque facteur sur la réponse sous la forme d'un diagramme en bâtons. La surface de chaque bâton est proportionnelle à la valeur de l'effet de ce facteur sur la réponse, c'est-à-dire plus la surface de bâton est grande plus l'effet du facteur sur la réponse est important.

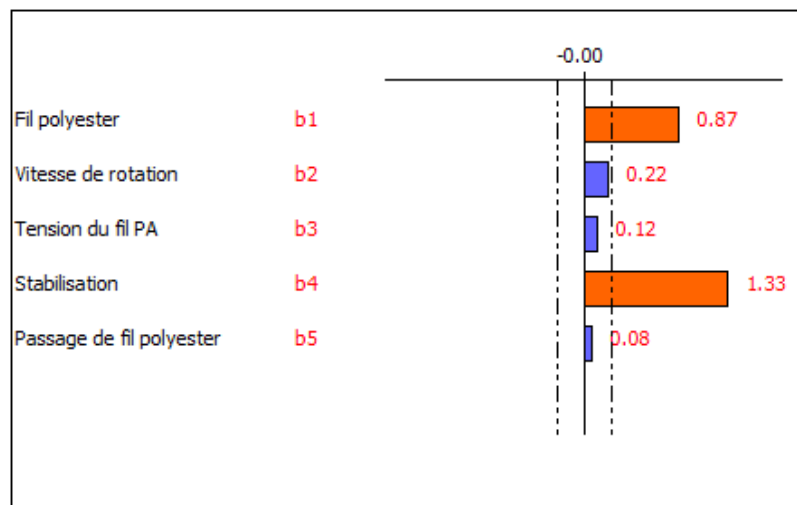


Figure 35: Graphe d'influence des paramètres sur l'inflammabilité

D'après le graphe illustré dans la figure 35, on remarque que :

- La stabilisation et le fil polyester ont une grande influence sur la réponse, ils représentent une influence positive sur l'inflammabilité.
- La vitesse de rotation, tension du fil PA, et le passage du fil polyester ont un effet positive faible.

➤ Diagramme de Pareto :

Le diagramme de Pareto est un graphique représentant l'importance de différentes causes sur un phénomène. Il est connu aussi sous le nom de loi des 80/20 c'est-à-dire que 20% des causes expliquent 80% d'effets.

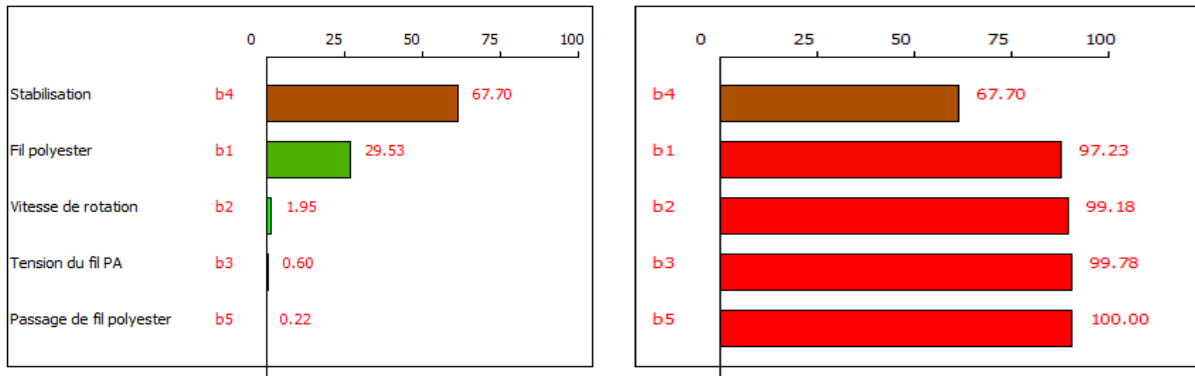


Figure 36 : Diagramme de Pareto des effets individuels et cumulés

Selon le diagramme de Pareto illustré dans la **Figure 36**, on peut confirmer ce qui a été donné par le graphe des effets puisqu'il montre que les facteurs les plus influents sont la stabilisation et le fil polyester. Ces deux facteurs expliquent environ 97,23% du phénomène étudié.

➤ **Table d'estimation des effets :**

Tableau 16: Estimation des effets du plan de criblage

Nom	Coefficient	t. student exp.	P-value %
b0	5.73	102.41	< 0.01
b1	0.87	15.65	0.406
b2	0.22	4.02	5.7
b3	0.12	2.24	15.5
b4	1.33	23.70	0.178
b5	0.08	1.34	31.2

Selon le tableau d'estimation des effets, les facteurs significatifs (P-value<5%) sont :

b1 = Le fil polyester

b4 = Stabilisation

Donc le modèle polynomial obtenu est le suivant :

$$Y = 5,73 + 0,87 * X_1 + 1,33 * X_4$$

5.2.2.6. Conclusion de la deuxième étude :

D'après les résultats du plan de criblage, on a pu déterminer les facteurs influents sur notre réponse inflammabilité.

Au niveau de l'industrie, on a préparé 5 produits finis de LocatGuard 2750 de taille 08 avec les réglages qui ont donné un bon résultat d'inflammabilité. Le tableau suivant résume les facteurs et leurs niveaux :

Tableau 17: Facteurs et leurs niveaux

	Facteurs	Niveau
X ₁	Fil polyester	FR et ensimé
X ₂	Vitesse de rotation	540 tr/min
X ₃	Tension du fil PA	0g
X ₄	Stabilisation	255°C
X ₅	Passage du fil polyester	simple

Résultat :

Le tableau suivant regroupe les résultats obtenus :

Tableau 18: Résultats d'essai

Produits	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10
1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
2	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A
3	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A
4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
5	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A

À la lumière des expériences précédentes et leurs résultats donnés dans le **Tableau 18**, on peut conclure qu'on a pu améliorer l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750.

6. Contraintes au cours du projet

Parmi les contraintes rencontrées au cours du stage :

- Les essais d'inflammabilité s'effectuent par le laboratoire de TENNECO France.
- L'obtention des résultats des échantillons envoyés prend au moins un mois.

Conclusion

Dans le cadre du projet de fin d'études avec l'équipe TENNECO Morocco, on s'est intéressé à l'amélioration de l'inflammabilité de la gaine LocatGuard 2750 obtenu par le processus du tricotage circulaire.

On a répertorié les différents facteurs susceptibles d'influencer sur l'inflammabilité du produit par les plans d'expériences.


Notre choix s'est porté premièrement sur le plan factoriel complet après la détermination des trois facteurs pour les varier : fil polyester, tête du tricotage et passage du fil polyester.

Les résultats de ce plan n'étaient pas satisfaisants vis-à-vis à nos attentes puisqu'on a obtenu comme résultat d'inflammabilité les types C et D.

Pour cela, on a réalisé une deuxième étude plus approfondie pour trouver les facteurs qui sont influents sur l'inflammabilité. À cet égard, on a pu choisir cinq facteurs (Fil polyester, vitesse de rotation de la tête du tricotage, tension du fil PA, stabilisation et passage du fil polyester) et pour organiser les essais on a travaillé avec un plan de criblage qui a abouti à réduire le nombre des facteurs de cinq à deux facteurs (Fil polyester et stabilisation).

Ceci a permis de proposer et d'essayer un réglage qui a donné des résultats très encourageants. Alors on peut dire que pour assurer un bon type d'inflammabilité c'est-à-dire de type A ou B, il faut travailler avec un fil polyester amélioré autrement dit traité par un retardateur de flamme et ensimé, garder la vitesse de rotation de la tête du tricotage à 450 tr/min pour augmenter la cadence de la production, éviter de changer le passage du fil polyester, désactiver le dévidoir qui change la tension du fil en polyamide, et finalement garder la température de stabilisation à 255°C.

Annexe 1

 <h1 style="text-align: center; margin: 0;">GAMME DE CONTROLE</h1>	<p style="text-align: center;">Date : 02/07/2021</p> <hr/> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">TNG-QI-GAM-R3-28</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">ind A</p> <p style="text-align: right; font-size: 0.8em;">Page 46/59</p>
--	--

Emetteur : I.HASSANI Service : Qualité Visa : <i>Signature électronique</i>	Vérification : Y.KOUTOUN Service : Qualité Visa : <i>Signature électronique</i>	Approbation : S.ELHAMMOUMI Service : Manager Qualité Visa : <i>Signature électronique</i>
---	---	---

TRICOTAGE CYLINDRIQUE LAMB LG 27XX

1 - Domaine d'application

Cette gamme s'applique au produit LG27XX.

2 - contrôle réalisé par le service fabrication

Elément à contrôler	Valeur	Instrument	Fréquence du contrôle
Aspect	Conforme selon la défautèque	Visuel	<ul style="list-style-type: none"> A 100%
Nombre de maille	TNG-QI-MCQ-R3-31 Sintercontrol/FI	Compte maille	<ul style="list-style-type: none"> 1/D 1/R -1/Ra Milieu et fin bobine
Poids	TNG-QI-MCQ-R3-29 Sintercontrol	Balance n°20-**	<ul style="list-style-type: none"> 1/D 1/R -1/Ra Milieu et fin bobine
Diamètre	TNG-QI-MCQ-R3-28 Sintercontrol	Mandrin n°15-** mandrins Conique + PAC	<ul style="list-style-type: none"> 1/D 1/R -1/Ra Milieu et fin bobine Début, milieu et fin cops

Les contrôles effectués sont consignés sur sintercontrol et si problème utiliser la carte de contrôle TNG-QF-R3-25

Annexe 2

Planning de préparation des échantillons de la première étude

N° essai	Réglages des facteurs			N° de la machine	Date de préparation des échantillons	Date d'obtention des résultats
	Fil polyester	Tête du tricotage	Passage du fil polyester			
1	non FR et non ensimé	sans fixateur	simple	491_0732	21-03-2022	15-04-2022
3	non FR et non ensimé	avec fixateur	simple	491_0732	22-03-2022	15-04-2022
5	non FR et non ensimé	sans fixateur	amélioré	491_0732	25-03-2022	15-04-2022
7	non FR et non ensimé	avec fixateur	amélioré	491_0732	01-04-2022	15-04-2022
2	FR et ensimé	sans fixateur	simple	491_0732	04-04-2022	02-05-2022
6	FR et ensimé	sans fixateur	amélioré	491_0732	04-04-2022	02-05-2022
4	FR et ensimé	avec fixateur	simple	491_0732	04-04-2022	02-05-2022
8	FR et ensimé	avec fixateur	amélioré	491_0732	05-04-2022	02-05-2022

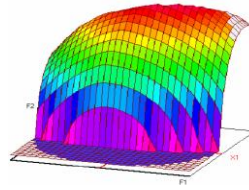
Annexe 3

Planning de préparation des échantillons de la deuxième étude

N° essai	Réglages des facteurs					N° de la machine	Date de préparation des échantillons	Date d'obtention des résultats
	Fil polyester	Vitesse de rotation	Tension du fil PA	Stabilisation	Passage du fil polyester			
2	non FR et non ensimé	540	30	255	simple	491_0732	09-05-2022	13-06-2022
3	non FR et non ensimé	230	30	255	amélioré	491_0732	09-05-2022	13-06-2022
5	non FR et non ensimé	540	0	160	amélioré	491_0732	11-05-2022	13-06-2022
8	non FR et non ensimé	230	0	160	simple	491_0732	11-05-2022	13-06-2022
4	FR et ensimé	230	0	255	amélioré	491_0732	12-05-2022	13-06-2022
7	FR et ensimé	540	0	255	simple	491_0732	12-05-2022	13-06-2022
4	FR et ensimé	230	30	160	simple	491_0732	13-05-2022	13-06-2022
1	FR et ensimé	540	30	160	amélioré	491_0732	13-05-2022	13-06-2022

Bibliographie

- [1] <https://www.TENNECOsp.com/> (consulté le 25 Mars 2022)
- [2] David J. Spencer, ,In Woodhead Publishing Series in Textiles,Knitting Technology (Third Edition),Woodhead Publishing,2001, p. 38.
- [3] A. CORBEIL JEAN-CLAUDE, Le visuel dictionnaire thematique definitions 3e edition, QUEBEC-AMERIQUE, 2004, , p. 456.
- [4] Sadhan Chandra Ray,Fundamentals and Advances in Knitting Technology,Woodhead Publishing India,2012, pp. 12-13.
- [5] PlasticsEurope- Association of plastics manufacturers 2008
- [6] Maurice Reyne, Aspects technico-économiques de l'utilisation des plastiques, Techniques de l'Ingénieur, traité Plastiques et Composites, Doc AM 3 020, p 2.
- [7] <https://www.aquaportail.com/definition-2464-polymere.html> (consulté le 10 Mai 2022)
- [8]<https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Classification-des-polymeres-page-2.html> (consulté le 10 Mai 2022)
- [9] <https://www.lesoptimistes.fr> (consulté le 25 Mai 2022)
- [10] Pierre Dagnelie, Journal de la société française de statistique : La planification des expériences : choix des traitements et dispositif expérimental, N° 1-2, 2000, p 8.
- [11] Goupy Jacques, Les plans d'expériences, Revue Modulad,2006, p. 75.
- [12] Lee Creighton, Goupy Jacques, Introduction aux plans d'expériences 3^{ème} édition, Paris, DUNOD, 2006, p. 12.
- [13] Organisation maritime internationale, Manuel sur la pollution chimique, Section 1, Evaluation et intervention, Londres 1999, p 47.
- [14] <https://www.eurolab.net> (consulté le 1 juin-2022)
- [15] Claire Negrell-Guirao, Bernard Boutevin, Rodolphe Sonnier, Laurent Ferry et José-Marie Lopez-Cuesta, Magasine l'actualité chimique : L'utilisation des retardateurs de flamme dans le domaine textile, N°360-361, février-mars 2012, p59



Master ST CAC Ageq

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: AIT OUGUENGAY Samira

Année Universitaire : 2021/2022

Titre: Amélioration de l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750 par les plans d'expériences.

Résumé

Avec l'équipe TENNECO Morocco, on a été amené à trouver une solution d'un problème déjà existant au site de l'entreprise à la France, à savoir le problème de l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750. En effet, ce produit ne répond pas aux exigences de la norme D45 1333 relative au comportement à la combustion d'un véhicule.

On a été censé de faire une étude sur les différents facteurs qui peuvent influencer sur l'inflammabilité en utilisant les plans d'expériences.

Au terme de ce travail, on a déterminé les facteurs contrôlant l'inflammabilité du produit LocatGuard 2750 à citer : le type du fil polyester et la stabilisation par l'utilisation d'un plan de criblage. Ceci nous a conduit à choisir le réglage des facteurs qui a donné des résultats satisfaisants à partir du plan de criblage pour travailler avec lui à savoir : fil polyester amélioré, vitesse de rotation de la tête du tricotage égale à 540 tr/min, passage du fil polyester non amélioré, dévidoir désactivé et finalement température de stabilisation adaptée à 255°C.

Mots clés: Plans d'expériences, inflammabilité, protection, automobile, polymères.