

CHAPITRE 4 : LA COUTURE

1. Introduction

Après avoir apprécié dans le chapitre deux les différentes jonctions à travers leurs avantages et inconvénients, nous avons étudié dans le chapitre trois le comportement de la jonction mécanique allant de l'influence des paramètres qui composent la jonction jusqu'aux différents phénomènes pouvant être observés sur ce type de jonctions. Nous nous proposons d'explorer une nouvelle manière de joindre les deux morceaux de bande transporteuse. Cette nouvelle jonction mécanique est réalisée par couture. La couture n'a pas été utilisée pour cette application jusqu'alors, car la bande transporteuse a des dimensions bien trop importantes pour être cousue avec une machine à coudre classique. Nous pourrions utiliser une machine à coudre industrielle qui coud des matelas, mais ces machines à coudre sont trop grandes, sont indémontables et ont un encombrement de 5 à 9m². De plus, les efforts auxquels ces machines sont soumises sont extrêmement faibles à côté des efforts à supporter pour coudre la carcasse textile de la bande transporteuse. En effet, la couture engendre des déformations des pièces de la machine. Si les pièces se déforment un peu trop, la couture ne pourra être réalisée.

L'étude menée sur la jonction mécanique par agrafage a permis de mettre en évidence un certain nombre d'éléments qui vont permettre d'orienter l'étude sur la jonction innovante. Nous pouvons notamment parler de la nécessité d'un grand nombre de points d'attache, d'un serrage conséquent de la jonction, d'une grande souplesse de la jonction et d'éviter certains phénomènes de rupture de la jonction.

C'est pourquoi, l'étude menée dans ce chapitre consiste dans un premier temps à isoler les contraintes nécessaires pour la couture de la bande transporteuse. Dans un second temps, il faudra étudier la forme de la couture, les paramètres de la couture, la forme de la jonction et trouver un compromis afin que la jonction soit aussi efficace que les jonctions mécaniques actuelles. Dans un troisième temps, il s'agit de construire une nouvelle machine à coudre permettant de coudre ces jonctions suivant les contraintes du secteur minier.

2. Couture

La couture est un procédé que nous connaissons bien. Tous nos vêtements sont assemblés par couture. Les chaussures aussi sont soit collées, soit cousues. Afin de bien comprendre le challenge de ce développement, cette section présente la couture, les différents points existants, les aiguilles et le fil dont nous avons besoin pour effectuer une couture.

2.1. Historique

L'histoire de la couture peut être résumée en quelques lignes. Jusqu'au 18^e siècle, la couture se faisait à la main. À partir de 1750, les machines à coudre ont vu le jour. Aujourd'hui, la vitesse de couture a été améliorée (on atteint les 10000cp/min) tandis que le principe de couture est resté le même depuis plus de 260 ans.

2.2. Description

On peut distinguer 3 types de machine : la machine à coudre, l'automate de couture, qui réalise un travail en fonction d'une came de commande (boutonnière) et l'unité de couture, qui réalise un ensemble d'opérations d'assemblage de façon autonome (poche passepoilée). Nous ne détaillerons que la machine à coudre dans cette section.

2.2.1. La machine à coudre

La machine à coudre est composée de plusieurs parties bien distinctes. Nous pouvons citer le bâti, les éléments mécaniques, la tête et les griffes.

2.2.1.1. Le bâti de la machine à coudre

Le bâti de la machine à coudre est décrit sur la Figure 4.1 [2]. On peut néanmoins citer le plateau sur lequel le tissu est posé, la colonne dans laquelle l'entraînement est transmis, le bras qui permet de transmettre le mouvement de l'entraînement à l'aiguille et la tête à travers de laquelle l'aiguille effectue la montée et la descente. Nous pouvons noter que la longueur du bras est importante, car c'est le bras qui va supporter les efforts de l'insertion de l'aiguille dans la matière.

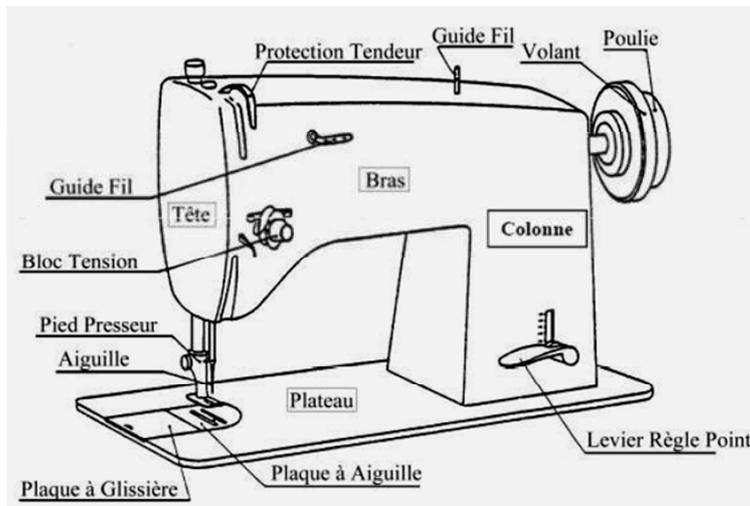


Figure 4.1. Bâti de la machine à coudre.

2.2.1.2. Les éléments mécaniques

Les éléments mécaniques sont les éléments qui vont transmettre les mouvements du moteur à l'aiguille ainsi qu'à de la canette (réserve de fil inférieure) pour effectuer la couture (Figure 4.2) [2].

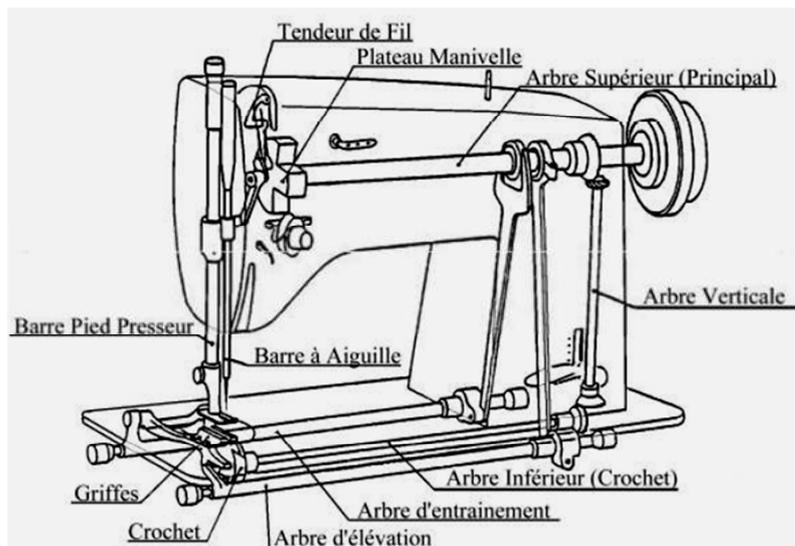


Figure 4.2. Éléments mécaniques de la machine à coudre.

2.2.1.3. La tête de la machine à coudre

C'est dans la tête de la machine à coudre que le mouvement de bielle-manivelle effectue la transformation du mouvement rotatif en mouvement de translation pour la montée et descente de l'aiguille (Figure 4.3) [2].

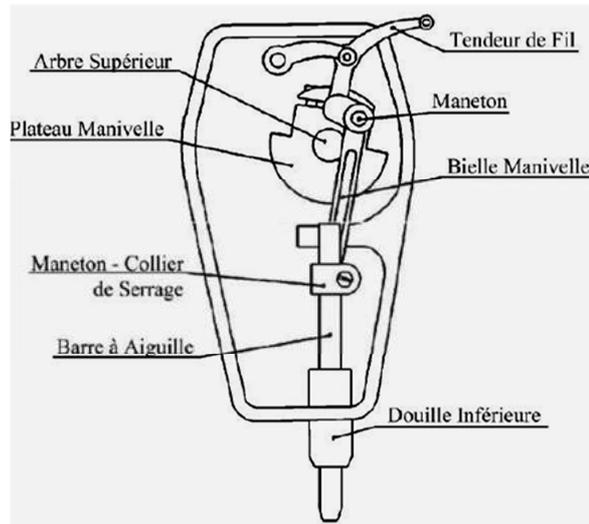


Figure 4.3. Tête de la machine à coudre.

2.2.1.4. Les griffes

Les griffes de la machine à coudre vont participer à l'entraînement du tissu sous le pied presseur. L'entraînement du tissu est un élément très important, car l'avancée du tissu est effectuée uniquement par le mouvement des griffes et des autres systèmes d'entraînement. Les griffes sont placées sous le tissu (Figure 4.4) [2].

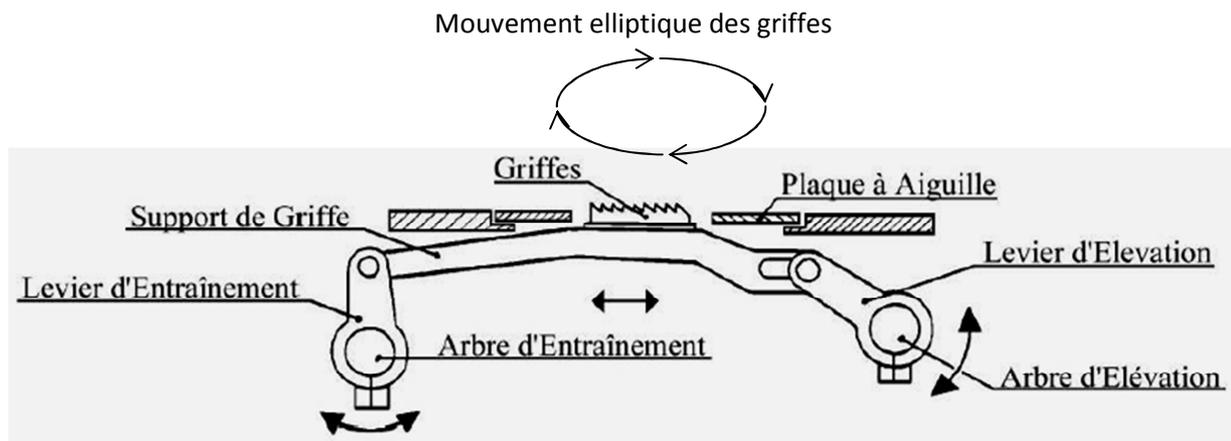


Figure 4.4. Griffes de la machine à coudre.

2.2.2. Cycle de couture

Le point de couture est la manière d'entrelacer les fils dans le tissu afin de créer des nœuds dans celui-ci. Le point de couture comporte plusieurs phases qu'il est utile de détailler.

2.2.2.1. Prise de boucle

La prise de boucle est la première phase de la formation du point de couture. Le fil supérieur est inséré à travers le tissu et le crochet prend la boucle du fil formée par l'aiguille lorsqu'elle remonte (Figure 4.5).

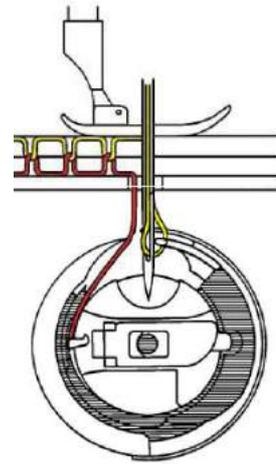


Figure 4.5. Prise de boucle.

2.2.2.2. Agrandissement de la boucle

La boucle est agrandie par le mouvement rotatif du crochet qui tire sur le fil. (Figure 4.6) [2]

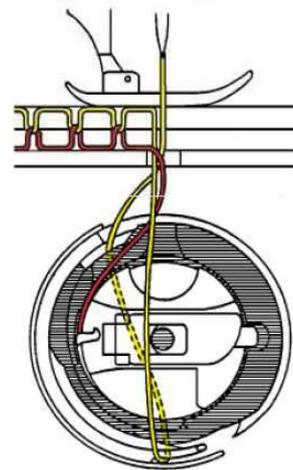


Figure 4.6. Agrandissement de la boucle.

2.2.2.3. Prise du fil de canette par la boucle

La boucle de fil fait presque le tour de la canette et prend le fil de canette en passant (Figure 4.7) [2].

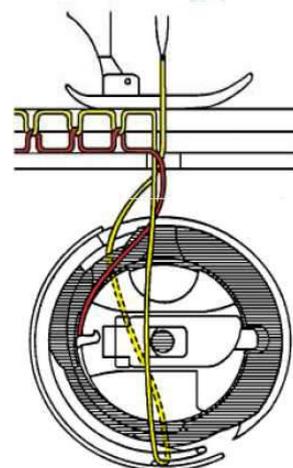


Figure 4.7. Prise du fil de canette par la boucle.

2.2.2.4. Retenue de la boucle par l'archet

Le crochet s'arrête et tient la boucle avec l'archet, la pièce mécanique qui a pris la boucle en début de cycle (Figure 4.8) [2].

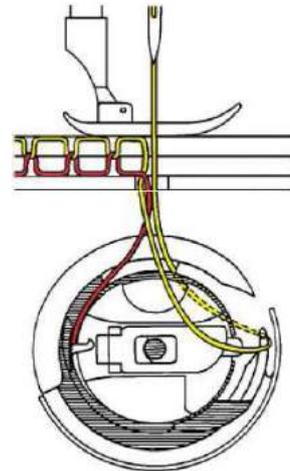


Figure 4.8. Retenue de la boucle par l'archet.

2.2.2.5. Fin du tour

Le tour se termine lorsque le fil supérieur est tiré par le tendeur de fil de la tête. La boucle se rétrécit et disparaît. Le nœud se forme et est serré avant que commence un nouveau cycle (Figure 4.9) [2].

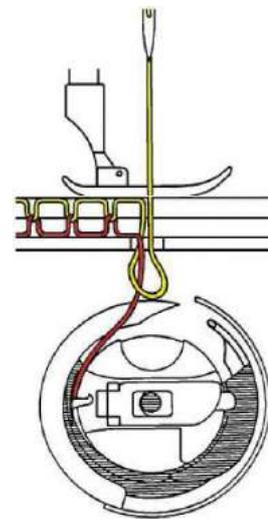


Figure 4.9. Fin du tour.

2.2.3. Formation du point

L'élément pour la réalisation du point est le crochet rotatif. C'est le crochet qui va permettre de faire le nœud avec les fils supérieur et inférieur. Le détail du crochet est présenté sur la Figure 4.10 [2].

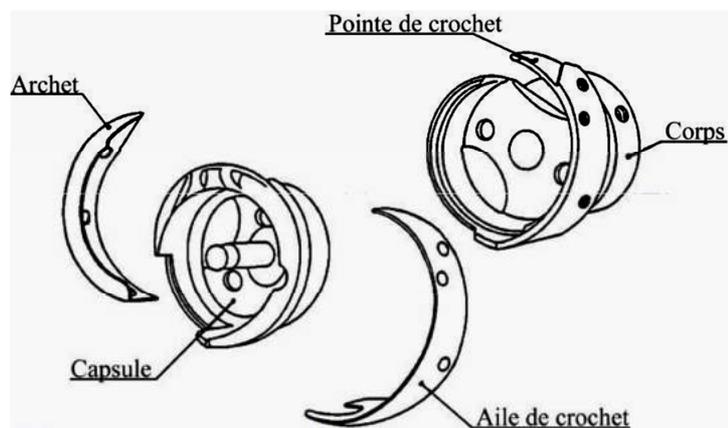


Figure 4.10. Constituants du crochet rotatif.

2.2.3.1. Passage du fil

Le passage du fil est opéré à l'aide du crochet. On peut voir le passage du fil derrière la canette (réserve inférieure du fil) sur la Figure 4.11 [2].

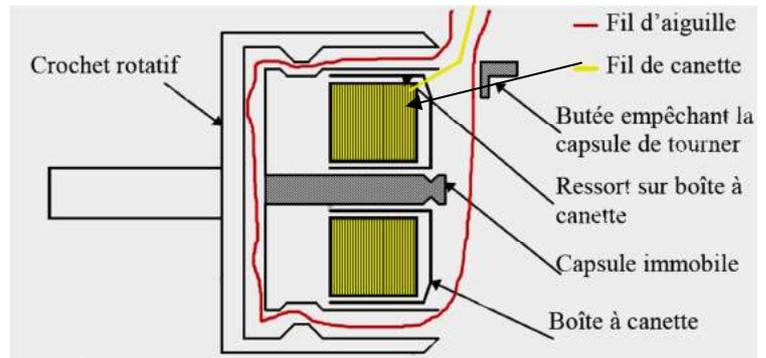


Figure 4.11. Détails du passage du fil.

2.2.3.2. Canette

La canette est une bobine de faible hauteur. C'est la réserve inférieure de fil. La longueur maximale de la couture est limitée par la capacité de fil de la canette. Elle est représentée sur la Figure 4.12 [2]. Le boîtier à canette contient un frein qui permet de régler le dévidage du fil contenu sur la canette. Cette tension du fil va être importante pour la bonne formation du point. La canette a besoin d'être remplie régulièrement.

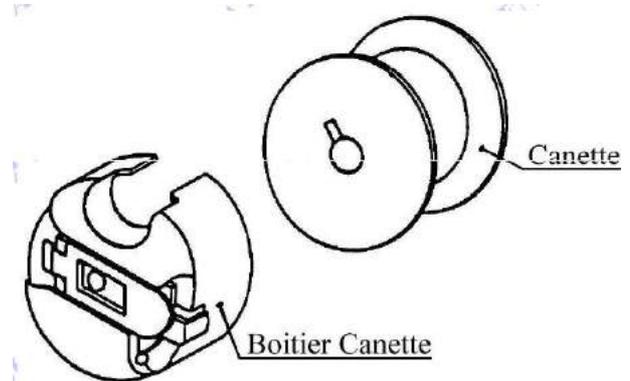


Figure 4.12. Canette.

2.2.3.3. Bloc tension

Le bloc tension est destiné au réglage de la tension du fil supérieur. La tension du fil est un paramètre très important pour la bonne formation du point. Le bloc tension est présenté sur la Figure 4.13 [2].

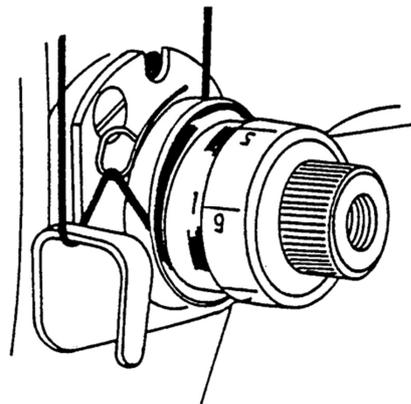


Figure 4.13. Bloc tension.

2.2.4. Les entraînements

Les entraînements de la machine sont les systèmes qui vont faire avancer le tissu sous le pied presseur pendant la couture. C'est en modifiant les réglages des entraînements que l'on peut modifier la vitesse d'avance du tissu, donc la longueur du point de couture.

2.2.4.1. Simple entraînement

Le simple entraînement est effectué uniquement avec les griffes. Il est destiné à la mise en œuvre des matières fines pour des opérations courantes de confection (Figure 4.14) [2].

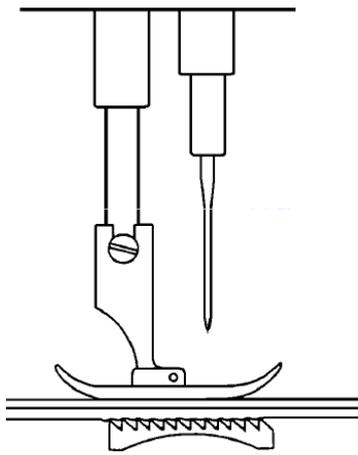


Figure 4.14. Simple entraînement.

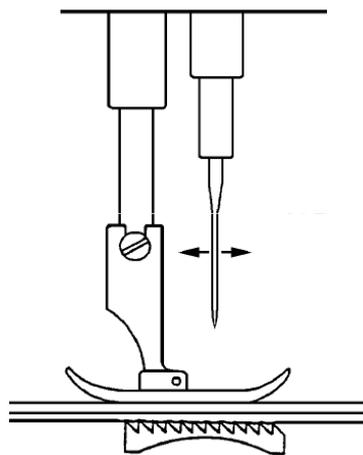


Figure 4.15. Double entraînement.

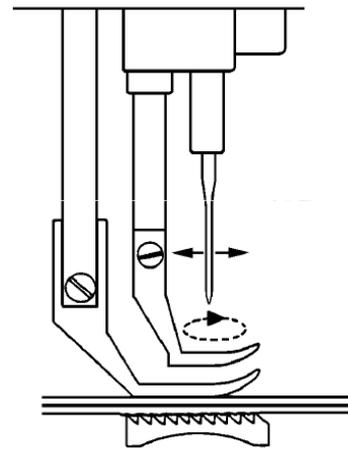


Figure 4.16. Triple entraînement

2.2.4.2. Double entraînement

Le double entraînement a la particularité d'être effectué par le doublon griffe-aiguille. C'est-à-dire que ce sont les griffes et l'aiguille (lorsqu'elle est en position basse) qui vont faire avancer le tissu. Ceci a l'avantage d'empêcher le glissement des différentes épaisseurs de tissu (Figure 4.15) [2]. Cet entraînement est utilisé pour des matières plus épaisses ou difficiles à travailler.

2.2.4.3. Triple entraînement

Le triple entraînement est opéré par une combinaison de mouvement entre l'aiguille, les griffes et le pied presseur intermédiaire. Cet entraînement est utilisé dans le cas de matières lourdes et difficiles à travailler comme le cuir (Figure 4.16) [2].

2.3. Point de couture

Il existe un grand nombre de points de couture qui sont définis d'après une norme AFNOR [3]. Elle classe les points en six catégories : les points de chaînette, faits main, noués, chaînettes à plusieurs fils, de surjet et de recouvrement. Ils sont détaillés en Annexe 12. On peut néanmoins distinguer les points intéressants pour notre étude : le point noué et le point de chaînette.

2.3.1. Le point noué 301

Le point noué est un point simple, qui comporte deux fils. Le fil supérieur de la couture est apporté par le haut et provient d'une bobine tandis que le fil inférieur est stocké dans la canette dont la capacité est limitée. Ce type de points impose des changements de canette réguliers. Les avantages et inconvénient sont détaillés dans le Tableau 4.1. La Figure 4.17 [2] présente le point noué.

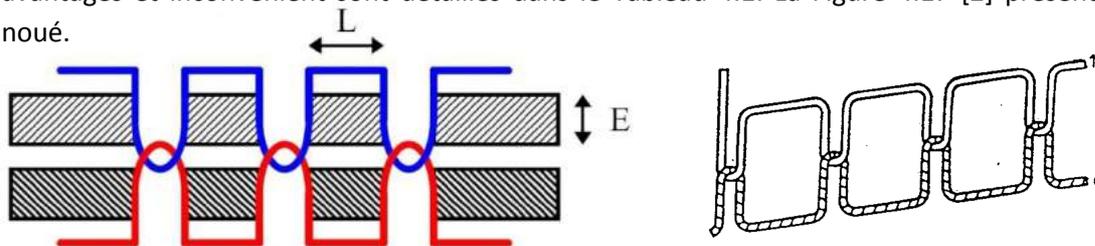


Figure 4.17. Point noué.

2.3.2. Le point de chaînette 101

Le point de chaînette ne comporte lui qu'un seul fil qui est apporté depuis une bobine. La longueur de la couture n'est dans ce cas pas limitée. Les avantages et inconvénient sont détaillés dans le Tableau 4.1. La Figure 4.18 [2] montre le point de chaînette.

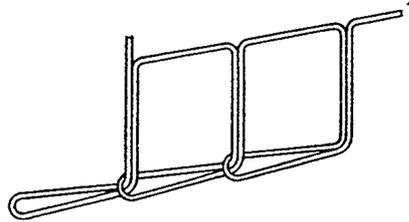


Figure 4.18. Point de chaînette.

Tableau 4.1. Avantages et inconvénients des points noué et de chaînette.

	Avantages	Inconvénients
Point noué	Aspect continu sur le tissu Bonne endurance Bonne propriété de résistance à l'abrasion	Manque d'extensibilité Usure du fil car passage intempestif dans le chas de l'aiguille (8 à 10 fois) Changements réguliers de la canette
Point de chaînette	Pas de canette Couture très élastique Se défait facilement	Grande consommation de fil La casse ou le manque d'un point entraîne le démontage de la couture La chaînette est apparente (rupture par usure)

2.4. Aiguille

L'aiguille est l'élément utilisé pour faire passer le fil au travers de la matière. C'est une pièce technique qui doit répondre à un cahier des charges sévère et dont les formes sont étudiées et calculées pour augmenter sa durée de vie et diminuer l'endommagement du fil. Il existe une multitude d'aiguilles. Elles se différencient par leur taille, leur type de points et leur qualité de finition. Ces caractéristiques vont permettent aux aiguilles de répondre aux différentes exigences des clients. Les caractéristiques des aiguilles sont également à prendre en compte pour limiter l'échauffement de la couture. En effet, si l'aiguille est mal choisie, elle pourra chauffer jusqu'au rouge dans certains cas. Les composants de l'aiguille sont détaillés sur la Figure 4.19 [2].

La désignation de l'aiguille comporte aussi d'autres informations telles que la longueur, la rigidité, la résistance à l'échauffement et la facilité de pénétration.

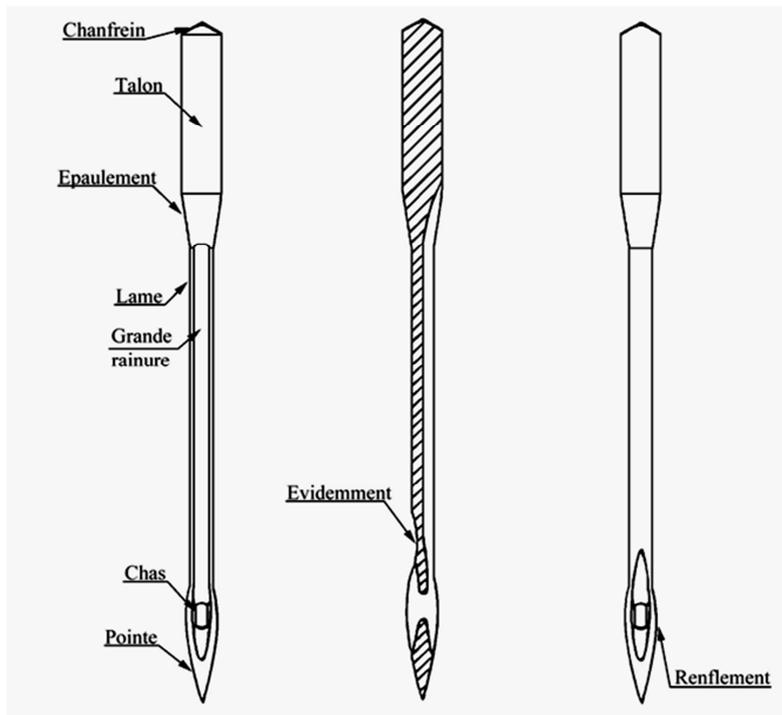


Figure 4.19. Aiguille à coudre.

2.4.1. Taille

La taille de l'aiguille va influencer sur la force nécessaire pour faire passer le fil au travers de l'étoffe. Plus le fil est gros, plus l'aiguille doit être grosse.

La taille est exprimée en $1/100^{\text{e}}$ de mm préfixée de l'indication Nm qui n'a rien à voir avec le numéro métrique du fil. Pour de la confection normale, la taille ne dépasse pas les 120 centièmes de mm. Dans le cas de matières plus importantes et plus difficiles telles que le cuir ou lorsque l'application nécessite une taille de fil trop importante, l'aiguille sera plus grosse. Aujourd'hui, la taille maximale montée sur les machines standards est de 300 centièmes de mm.

2.4.2. Type de pointes

Le type de pointes est une caractéristique à prendre en compte lorsque l'aiguille pénètre dans l'étoffe. En effet, suivant le type de pointes, l'aiguille va écarter les fils (pointe ronde) ou couper les fils ou la matière (pointe tranchante). Les pointes rondes se déclinent avec des pointes plus ou moins pointues, tandis que les pointes tranchantes existent en pointe triangulaire, sous forme de losange ou sous forme d'un couteau à double tranchant. Les différents types de pointes sont présentés en Annexe 13. Nous prendrons une pointe ronde pour limiter l'endommagement de la carcasse.

2.4.3. Type de finitions

La finition de l'aiguille est la caractéristique essentielle dont dépend la longévité de l'aiguille. En effet, le traitement thermique et le revêtement de l'aiguille vont permettre à l'aiguille de travailler plus ou moins longtemps. Le traitement thermique est réalisé sur l'âme de l'aiguille et influe sur la rigidité de cette dernière, tandis que le revêtement est déposé pour favoriser le glissement de l'aiguille dans la matière et ainsi diminuer l'usure de cette dernière. Le revêtement peut être effectué avec du phosphate, du nickel, du chrome, du téflon, de la céramique ou avec un chargement diamanté.

2.4.4. Contraintes de fonctionnement

L'aiguille est soumise à de la flexion, de la traction, de l'abrasion et de l'échauffement. Ces contraintes font de l'aiguille un élément technique à part entière. Le choix des caractéristiques de l'aiguille vont dépendre de ces contraintes en fonction de l'étoffe à coudre, de la vitesse de la machine et de la matière du fil.

2.5. Fil

C'est grâce au fil que l'assemblage va pouvoir être effectué. La résistance, la fatigue et le comportement de l'assemblage dépend directement du fil à travers ses caractéristiques : son titre, son type et sa matière.

2.5.1. Titre

Le titre du fil est lié à sa taille. Il est exprimé en tex et correspond à la masse linéique du fil en mg/m. La résistance du fil va dépendre de sa taille. En effet, plus le fil est gros, plus la résistance sera importante. Néanmoins, si la taille du fil est trop importante, il va chauffer et se détériorer plus facilement. De plus, la taille de fil va influencer sur la taille de l'aiguille et sur l'effort nécessaire pour faire passer le fil au travers de l'étoffe. On peut bloquer la machine lors de la montée de l'aiguille si le fil est trop gros. Il est important de remarquer qu'à chaque changement de taille de fil, il faut régler les freins du fil, car la tension du fil est importante pour un bon serrage de la couture.

2.5.2. Matière

La matière des fils de couture influe sur l'allongement des fils, donc de la couture. Le comportement global de la couture dépend de la matière du fil. Le coefficient de frottement du fil va favoriser ou gêner le glissement de ce dernier sur les différentes pièces mécaniques de la machine à coudre. Par conséquent, le choix de la matière du fil doit être judicieux.

2.5.3. Type de fils

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, le fil peut être formé de fibres courtes ou de multi-filaments (Annexe 3). Le comportement mécanique du fil dépend entre autre de sa torsion. En effet, c'est la torsion du fil qui lui donne sa cohésion. Pour la couture, il faut un fil qui a une bonne tenue sans avoir trop de torsion, car le fil devient trop « nerveux », c'est-à-dire qu'il s'enroule sur lui-même lorsqu'on en fait une boucle.

2.6. Échauffement de la couture

Lors de la couture, les différents éléments frottent les uns contre les autres en produisant de la chaleur. Ce phénomène chauffe l'aiguille, le tissu et le fil. La température avoisine facilement les 250°C et peut, dans certains cas, amener l'aiguille à chauffer jusqu'au rouge. L'échauffement est une des causes principales d'une mauvaise couture. C'est pourquoi, il faut l'éviter au maximum. L'échauffement produit :

- Un affaïssement (diminution de section) du fil,
- La fusion et la casse du fil,
- La fripure (frisage artificiel) du fil,
- L'endommagement de la couture,
- L'endommagement de l'étoffe,
- La perte de la trempe de l'aiguille.

Afin de prévenir l'échauffement, plusieurs précautions sont à prendre :

- Vérifier le réglage de la machine,
- Utiliser le fil le plus petit possible,
- Utiliser une aiguille à chas arrondi et âme renforcée,
- Utiliser le type d'aiguille et la finition appropriés,
- Utiliser un fil naturel ou un fil synthétique à âme et à extérieur coton,
- Utiliser un fil lubrifié,
- Utiliser un refroidisseur d'aiguille.

2.7. Densité de la couture

Il a été prouvé que l'augmentation du nombre de passages de couture fait croître la résistance de cette couture. Néanmoins, si la densité augmente encore, la résistance de la jonction va stagner puis décroître (Figure 4.20) [2]. Ce phénomène s'explique par une phase de renfort de l'étoffe, d'où l'augmentation de résistance (phase A). Quand la densité arrive à saturation, les fils de l'étoffe se retrouve bloqués par la couture et ne peuvent plus se déplacer pour laisser la place à l'aiguille, et donc au nouveau fil. Ceci a pour conséquence l'endommagement des fils de l'étoffe par l'aiguille lorsqu'elle pénètre dans la matière. S'en suit une décroissance de la résistance de la couture (phase B), car l'endommagement devient prépondérant devant le renfort de l'étoffe.

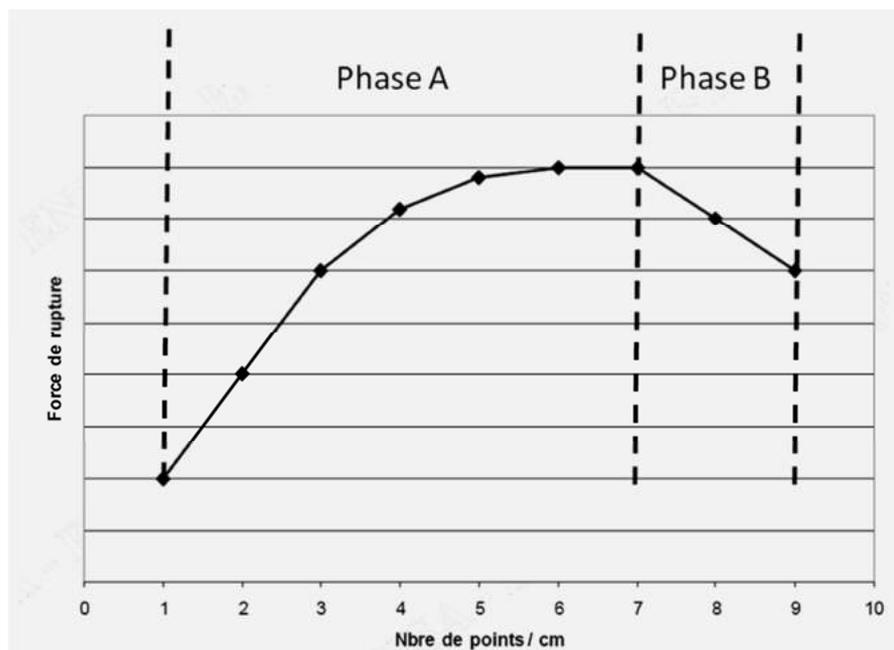


Figure 4.20. Courbe de force de rupture en fonction de la densité de la couture.

3. Jonctionnement par couture

Le jonctionnement par couture comporte plusieurs difficultés. En effet, la machine à coudre n'existe pas, la forme de l'assemblage est inconnue, le mode de revêtement ou de protection de la couture est inconnu et les paramètres de la couture sont à déterminer. Toutes ces difficultés nous poussent à les isoler afin de les résoudre.

3.1. Étapes préliminaires

3.1.1. Cahier de charges

Le cahier des charges a été réalisé avec COBRA EUROPE SA, fabricant de bandes transporteuses. La bande jonctionnée doit :

- Transmettre un effort suffisant à la traction : 60% JTSE minimum,
- (Efficacité en résistance à la traction de la jonction basée sur la résistance de la bande),
- Avoir une flexion suffisamment progressive pour résister à la fatigue en flexion suivant l'axe de la chaîne,
- Permettre une flexion suivant l'axe de la trame,
- Ne pas présenter de surépaisseur totale supérieure à 2mm après couture,
- Résister à un allongement de 3% (tambour de 450mm de diamètre pour une distance fibre neutre-extérieur de 7mm),
- Doit être compatible avec un mode de revêtement ultérieur,
- Maintenir les deux morceaux à raccorder joints : aucune ouverture pendant la traction.

3.1.2. Type des échantillons

Le caoutchouc est difficile à traverser par l'aiguille, car son coefficient de frottement est élevé. Nous préférons travailler sans le caoutchouc pour faire les essais de couture. De plus, la couture devra être protégée, donc la couture devra s'opérer sur la carcasse dont le revêtement caoutchouc est enlevé. Le revêtement sera remplacé par la suite par collage ou vulcanisation.

Par conséquent, les échantillons testés sont des morceaux de carcasse découpés. Leurs dimensions sont de 80×250mm. La longueur se situe dans le sens de la chaîne. Dans un second temps, les essais seront portés sur des bandes dont le revêtement est raboté pour effectuer des tests sur produit fini.

3.1.3. Matière du fil

La matière du fil à utiliser est très difficile à déterminer. En effet, nous pouvons dire qu'il faut transmettre des efforts de l'ordre de 1400N/mm sur la jonction. La résistance du fil doit être la plus élevée possible, sachant que nous serons limités au niveau de la taille du fil en raison des échauffements qu'induit un fil trop gros. Les fils devront avoir une haute résistance mécanique, un allongement de 3% minimum (allongement lors du passage sur le tambour) et devront résister à la température de 200°C minimum. L'ensemble des fils disponibles pour notre application est résumé dans le Tableau 4.2. En Annexe 14, on peut voir les différentes caractéristiques des fibres techniques.

Tableau 4.2. Comparatif de plusieurs matières de fil.

Matière	Marque	Resist spé th (cN/tex)	Déformation à rupture (%)	T°C ramollissement	Résistance au nœud
PA	Nylon	60	19	130	50%
PET	Dacron	50	13	170	50%
PE HM	Dyneema	330	3,8	70	50%
LCP*	VECTRAN (LCP)	210	3,3	200	50%
Aramide	KEVLAR	255	3,4	350	50%
	TWARON	225	3,3	350	30%
	TECHNORA (aramide)	245	3,4	350	30%

*LCP : Liquid Crystal Polymer

En nous appuyant sur le Tableau 4.2, nous pouvons dire que le Dyneema est à exclure. En effet, si la jonction doit passer par un cycle de vulcanisation, il sera impossible d'utiliser cette fibre car la température de ramollissement du PE est faible. Par ailleurs, les fils PET et PA semblent avoir une résistance très faible par rapport aux autres. Ils ne seront pas utilisés non plus pour la couture finale. Entre l'aramide et le Vectran (LCP), nous ne pouvons pas conclure à ce niveau, si ce n'est que le Twaron et Technora (Aramide) ont une résistance au nœud plus faible. Nous testerons par conséquent les deux.

3.2. Machine à coudre

Étant donné qu'il n'existe pas de machine à coudre correspondant à notre besoin, nous avons cherché une machine standard qui permette de coudre le renfort textile de la bande transporteuse. La machine qui peut faire face aux différentes dimensions et efforts est une machine dite lourde à triple entraînement de marque Durkopp-Adler de type 204. Nous travaillerons avec cette machine.

3.2.1. Composants de la machine

La machine est composée des éléments suivants (Figure 4.21) :

- Plateau 320 mm,
- Bobines de fil,
- Moteur Hoshing HVP 70 220 Volts,
- Dimension table 55 x 110 cm,
- Bâti hauteur réglable,
- Pédales de commande,
- Volant d'inertie.

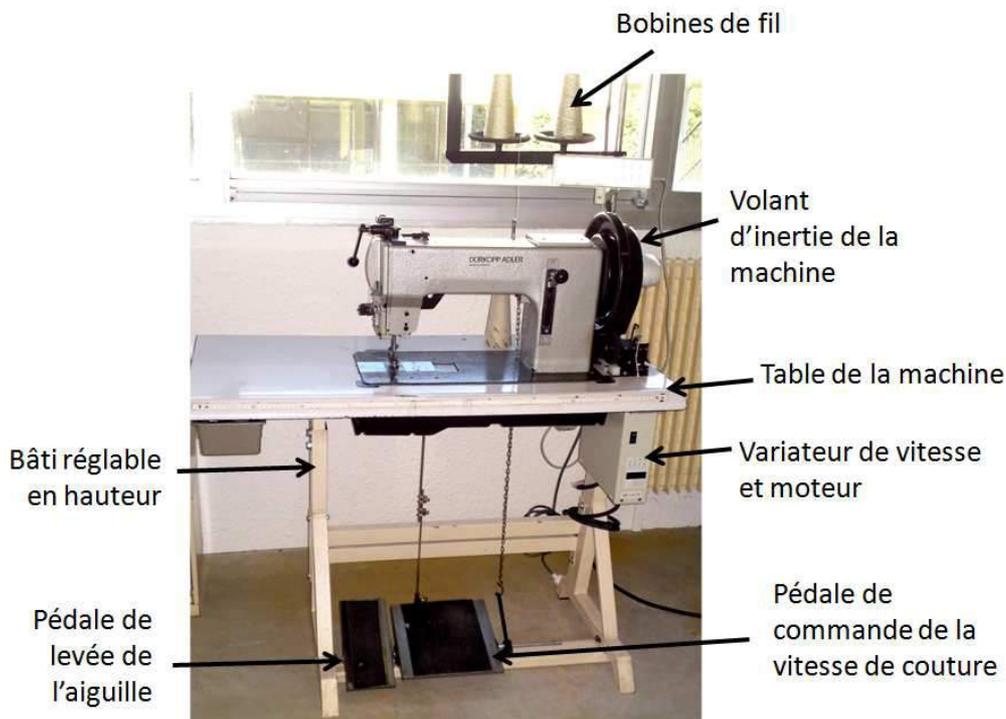


Figure 4.21. Vue d'ensemble de la machine Durkopp Adler 204.

3.2.2. Détails de la machine

La machine est équipée d'un triple entraînement (Figure 4.22), qui permet de coudre des matières lourdes. L'entraînement est effectué à l'aide du pied presseur d'avance (petit pied), de l'aiguille et des griffes.

La commande de sens avant et arrière de la machine est une commande manuelle présentée sur la Figure 4.23.



Figure 4.22. Triple entraînement.



Figure 4.23. Commande manuelle de sens de couture.

3.2.3. Caractéristiques de la machine

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Capacité canette : 35 m en 220tex,
- Longueur de point : 0 à 12 mm,
- Vitesse : 10 à 3000 points/min,
- Marche avant et arrière à commande manuelle sans ressort,
- Aiguille de 150 à 300 Nm,
- Fil jusqu'à 2 mm de diamètre (de l'ordre de 7000dtex),
- Épaisseur matière jusqu'à 15 mm avec utilisation de l'entraînement.

Avec ces caractéristiques, la machine peut coudre la bande complète (carcasse revêtue de PVC et caoutchouc) (Figure 4.24).



Figure 4.24. Couture de la bande complète.

La machine à coudre va nous permettre de développer le jonctionnement par couture avant de réaliser une machine spéciale pour effectuer cette jonction. Cette phase nécessite beaucoup de tests pour dégrossir le travail.

3.3. Forme de l'assemblage

La forme de l'assemblage est à définir. Les jonctions existantes ont un assemblage bout à bout ou en diagonale dans le cas de la jonction mécanique ou avec des dents dans le cas d'une vulcanisation. Il s'agit de déterminer de quelle manière la jonction par couture sera la plus efficace.

3.3.1. Bout à bout

La jonction bout à bout est utilisée dans le cas d'une jonction mécanique. Il s'agit donc de vérifier si le jonctionnement est viable avec ce mode d'assemblage des deux morceaux. Nous avons testé plusieurs configurations, nous ne détaillerons ici que l'essai le plus concluant.

3.3.1.1. Configuration de l'essai

Nous avons utilisé du Vectran (LCP) comme matière de fil, un polymère à cristaux liquides qui a de très bonnes propriétés mécaniques.

Tableau 4.3. Configuration de l'assemblage bout à bout.

Nb de points par unité de largeur	Longueur de point	Longueur cousue	Largeur cousue (efficace)	Sens couture	Matière fil	Titrage fil	Taille aiguille
12fils/cm	12mm	40mm	70mm	chaîne	LCP Vectran	220tex	230Nm



Figure 4.25. Couture de la jonction bout à bout.



Figure 4.26. Résultat de l'assemblage bout à bout.

Le résultat n'est pas satisfaisant ; les deux morceaux se séparent pendant l'essai de traction. Pendant l'essai, les nœuds de la couture se rompent progressivement. La JTSE obtenue est de 40%.

À l'issue de cet essai, nous avons voulu tester une densité de fil plus élevée (20fils/cm avec longueur de point de 6mm), mais nous avons eu des résultats similaires : séparation des deux morceaux et rupture des nœuds de couture. L'efficacité de la jonction (38%) nous a montré que dans cette configuration nous étions en saturation de couture : phase descendante de la courbe de la Figure 4.20. La longueur de point est trop faible et la densité trop élevée, ce qui rigidifie la structure et l'aiguille coupe les fils de l'étoffe au lieu de les séparer.

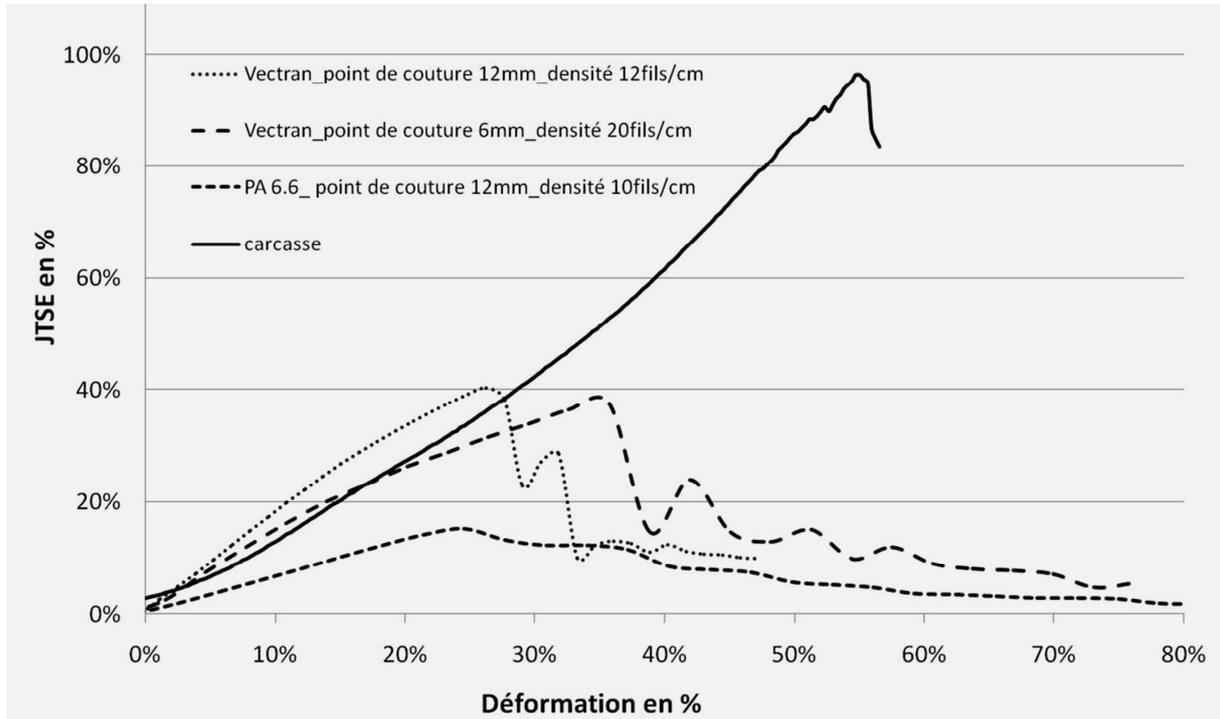


Figure 4.27. Comparaison des essais avec l'assemblage bout à bout.

Le graphique de la Figure 4.27 nous permet de dire que la matière du fil joue un rôle dans le comportement de la jonction. Globalement, le module de la jonction cousue avec du Vectran (LCP) est meilleur que celui de la jonction avec du PA 6.6. En revanche dans les trois cas, l'efficacité à la traction de la jonction est bien inférieure à celle de la carcasse seule.

3.3.1.2. Conclusion

À l'issue de ces tests, l'assemblage bout à bout ne sera pas retenu car non satisfaisant. L'ouverture de la jonction (jonction non étanche) et l'efficacité en traction nous obligent à exclure cette solution.

3.3.2. 1 Dent et diagonale

L'assemblage avec une seule dent ou avec une découpe en diagonale est aussi une possibilité. La couture a été réalisée avec du fil en PA. Nous nous sommes concentrés essentiellement sur le comportement de la jonction. La configuration est résumée dans le Tableau 4.4.

Tableau 4.4. Configuration de l'assemblage avec une dent.

Nb de points par unité de largeur	Longueur de point	Longueur cousue	Largeur cousue (efficace)	Sens couture	Matière fil	Titrage fil	Taille aiguille
10fils/cm	12mm	40mm	60mm	chaîne	PA 6.6	344tex	230Nm

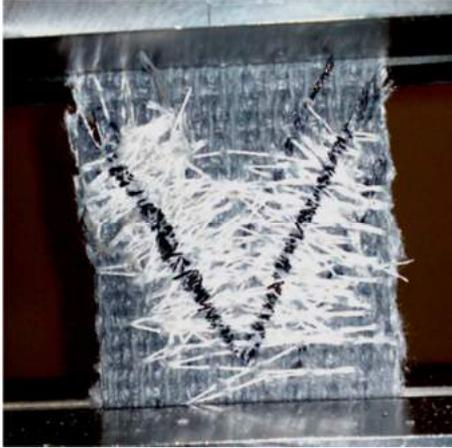


Figure 4.28. Couture de l'assemblage avec une dent.

Figure 4.29. Résultat de l'assemblage avec une dent.

La jonction s'ouvre également pour cet assemblage, c'est-à-dire qu'elle n'est plus étanche. Il y a réorganisation des fils de couture pendant la traction (Figure 4.29). On peut dire que la couture doit être orientée dans le sens de la traction.

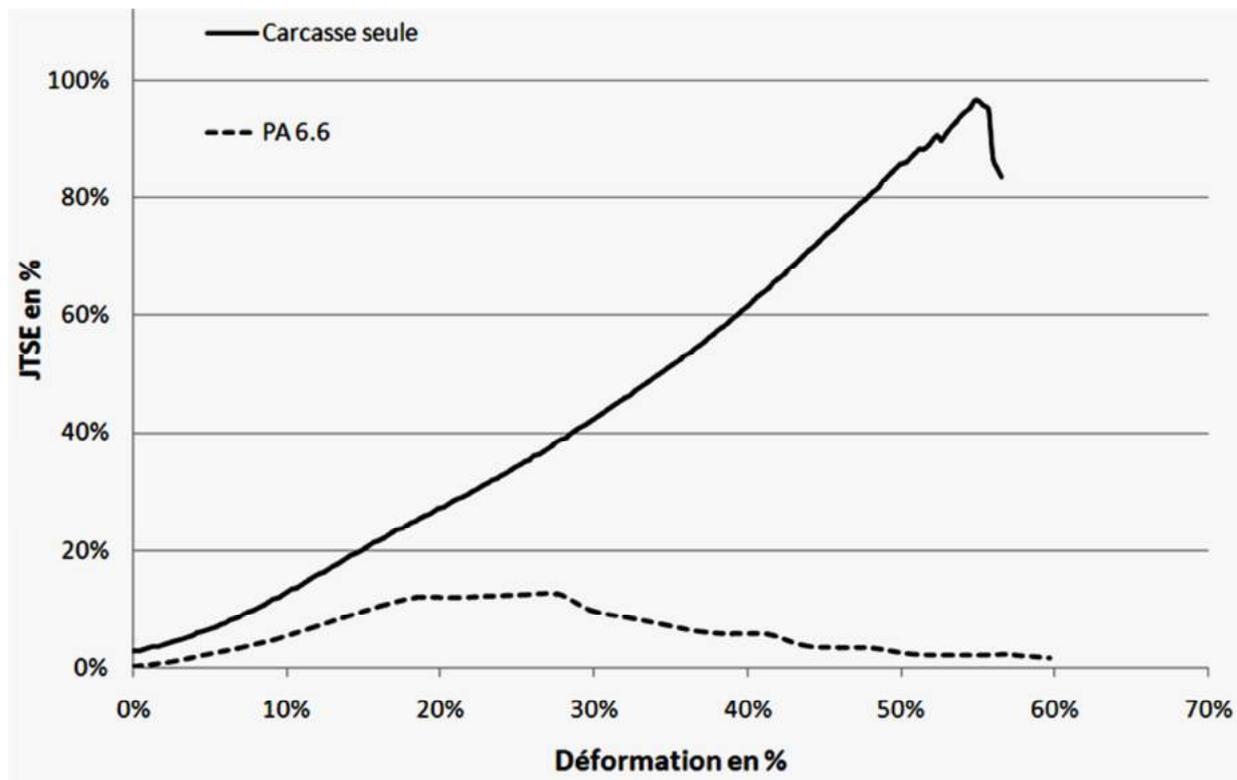


Figure 4.30. Comparaison de l'assemblage avec une dent/carcasse seule.

L'assemblage avec 1 dent semble avoir un comportement qui ne satisfait pas aux exigences. En effet, la jonction a une efficacité médiocre (13%) et elle s'ouvre très vite à cause de la réorganisation des fils pendant la traction. Cette solution d'assemblage ne sera pas retenue.

3.3.3. Dents multiples

Un assemblage avec plusieurs dents s'approche de la jonction chimique avec des dents. L'objectif est de tester plusieurs configurations de fil, d'angle de couture et de densité de couture afin de voir si ce mode d'assemblage apporte une meilleure satisfaction que les deux autres assemblages testés. Pour cela, nous avons dans un premier temps défini des paramètres de dents (Tableau 4.5).

Tableau 4.5. Paramètres constitutifs des dents.

Nombre dent	Longueur dent	Largeur dent	Largeur carcasse
4	100mm	20mm	80mm

3.3.3.1. Configuration de l'essai

La configuration de l'essai est résumée dans le Tableau 4.6.

Tableau 4.6. Configuration n°2 de l'assemblage avec quatre dents.

Nb de points par unité de largeur	Longueur de point	Longueur cousue	Largeur cousue (efficace)	Sens couture	Matière fil	Tirage fil	Taille aiguille
20fils/cm	5mm	90mm	65mm	trame	Vectran	330tex	230Nm

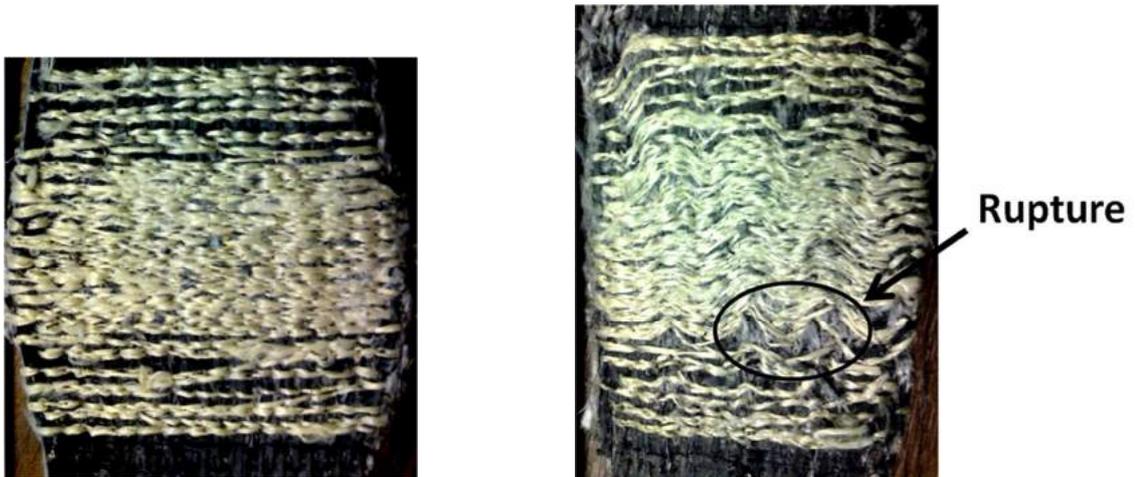


Figure 4.31. Couture de l'assemblage à quatre dents. Figure 4.32. Résultat de l'assemblage à quatre dents.

La Figure 4.31 présente la couture de l'échantillon. Nous avons mis une densité de couture plus élevée au centre pour renforcer la jonction. On remarque que lorsque la densité de couture est élevée (20fils/cm) et la longueur de point faible, il y a formation de ventres de part et d'autre de la couture. Ceci est dû à l'ajout de matière au sein de la largeur de la carcasse. Il faudra en revanche étudier ce phénomène pour comprendre son influence sur l'efficacité de la jonction.

En s'appuyant sur la Figure 4.32, nous pouvons remarquer que la rupture s'est produite juste en dessous de l'augmentation de la densité. On peut en conclure que la densité semble avoir une forte influence sur l'efficacité de la jonction. De plus, la JTSE est de 51%. Nous ne voyons pas d'ouverture non plus pour cet essai. Ce type d'assemblage semble être prometteur.

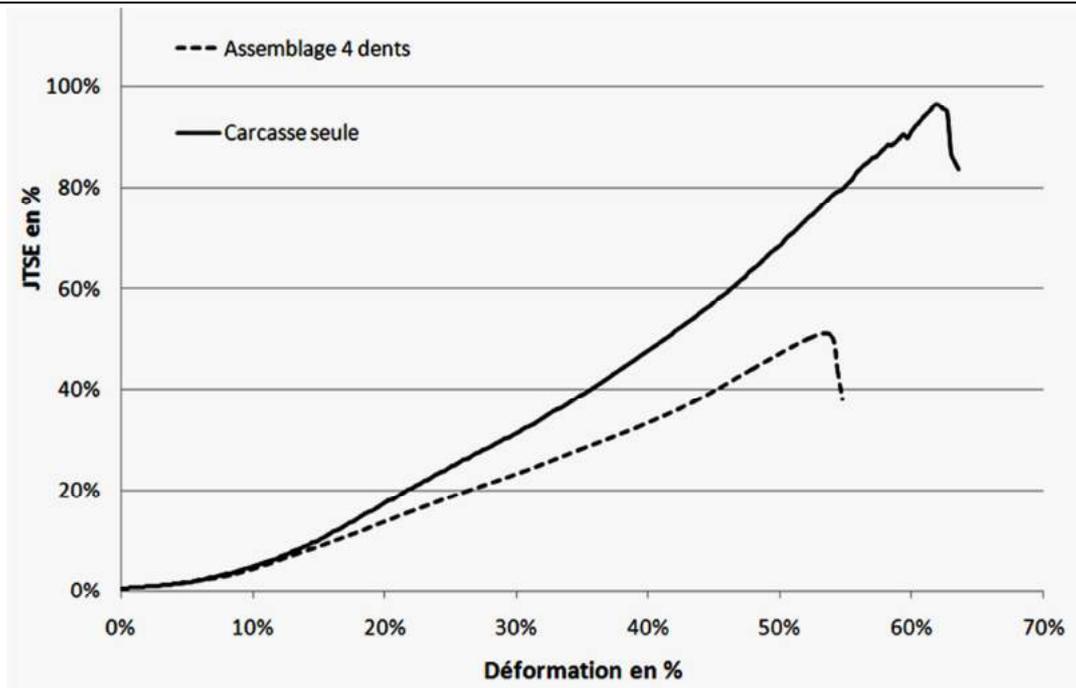


Figure 4.33. Comparaison de l'assemblage avec quatre dents/carcasse seule.

En observant le graphique de la Figure 4.33, nous pouvons dire la jonction avec des dents multiples semble avoir un comportement similaire à celui de la carcasse seule. Nous décidons de poursuivre l'étude sur la jonction par couture avec le mode d'assemblage par dents.

3.3.4. Mode de découpe des échantillons

Les échantillons doivent être découpés en fonction de l'assemblage choisi. Nous avons essayé plusieurs procédés de découpe : le couteau, la scie circulaire, le cutter, le cutter rotatif et la scie à ruban. Dans le cas d'un assemblage avec des dents, le procédé le plus précis et le plus reproductible s'est avéré être le cutter rotatif (Figure 4.34). En adaptant un cutter rotatif, nous sommes arrivés à l'utiliser pour découper la carcasse textile (Figure 4.35).



Figure 4.34. Cutter rotatif.



Figure 4.35. Carcasse découpée avec des dents.

3.3.5. Longueur de la jonction

Le choix des dents étant effectué, nous devons définir une longueur de jonction. Si nous nous fondons sur la jonction à dents vulcanisée, il faudrait faire des dents de plus de 1m de long. Nous avons décidé de prendre ce paramètre comme étant un paramètre à définir.

3.3.6. Conclusion

Nous pouvons donner plusieurs remarques à l'issue de ce qui précède :

- Le meilleur mode d'assemblage est composé de dents de 20×100mm,
- La découpe la plus adaptée est celle au cutter rotatif,
- La longueur de bande cousue est à définir,
- La résistance à la traction dépend de la manière de coudre,
- Le comportement à la traction est satisfaisant avec les dents,
- La couture doit être homogène pour éviter des endroits fragilisés,
- La rigidité de la carcasse est augmentée avec la couture,
- Il faut trouver un compromis entre la couture sens trame et sens chaîne,
- L'angle des dents semble influencer sur la transmission de l'effort,
- La longueur des dents influe sur la longueur de bande cousue,
- Le type de fils influe sur l'allongement de la jonction, sa rigidité et son épaisseur,
- La taille de l'aiguille influe sur la taille des trous et donc sur la fragilisation de la carcasse,
- Son type de pointes influe sur la fragilisation de la carcasse,
- La longueur des points influe sur le serrage de la couture et donc sur la rigidité de la jonction,
- La densité de point influe sur la rigidité, la résistance et la fragilisation de la jonction.

3.4. Mode de revêtement

Le mode de revêtement est aussi un problème à résoudre. En effet, afin de coudre correctement, il faut d'abord peler le caoutchouc pour ne laisser que la carcasse textile. Après avoir cousu les deux morceaux à joindre, il est nécessaire de recouvrir la couture afin de la protéger (Figure 4.36). Il existe deux possibilités pour revêtir la jonction : le collage et la vulcanisation.

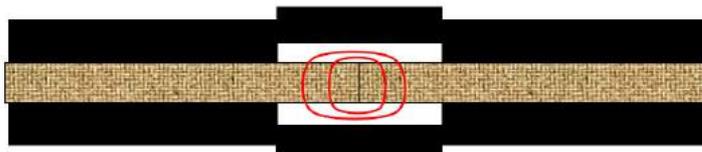


Figure 4.36. Revêtement de la jonction cousue.

3.4.1. Collage

Le collage de la jonction consiste à coller à froid une bande de caoutchouc cuit sur la partie cousue afin de protéger cette dernière. L'avantage de ce procédé est qu'il n'y a pas besoin de presse. En revanche, le collage nécessite du temps avant redémarrage.

3.4.2. Vulcanisation

La vulcanisation consiste à poser une feuille de caoutchouc cru sur la partie cousue et d'effectuer un cycle de vulcanisation à l'aide d'une presse. L'avantage de ce procédé est qu'il permet d'avoir une bande où l'on ne voit pas la jonction, cependant, la vulcanisation nécessite d'assembler sur place une petite presse de la longueur de la partie cousue.

3.4.3. Conclusion

Le mode de revêtement sera décidé par la suite avec le fabricant de bandes qui effectuera des tests pour définir lequel des deux modes de revêtement est le plus efficace.

3.5. Paramètres de la couture

Comme nous l'avons vu dans cette section, la jonction par couture est un problème complexe. La partie qui est la plus difficile à résoudre, est la détermination des paramètres de la couture. En effet, la couture comporte les paramètres de la machine, du fil, du mode d'assemblage et de la manière de coudre. L'étude sur la couture et la situation a permis d'isoler les paramètres quantifiables à déterminer pour effectuer la couture (Figure 4.37) :

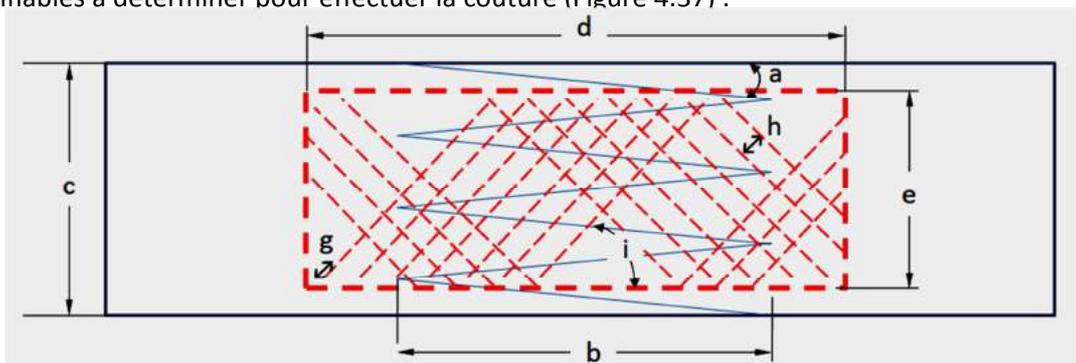


Figure 4.37. Paramètres quantifiables de la jonction cousue.

- | | | |
|-------------------------------------|---|------------------------------------|
| a) L'angle de la dent (°) | e) La largeur de la couture (mm) | h) La densité de couture (fils/cm) |
| b) La longueur de la dent (mm) | f) La taille de l'aiguille (Nm) | i) L'angle de couture (°) |
| c) La largeur de l'échantillon (mm) | g) La longueur du point de couture (mm) | j) Le titre du fil (tex) |
| d) La longueur de la couture (mm) | k) Le type du fil (Type) | |

Ces paramètres sont à déterminer pour arriver à une jonction par couture optimale et surtout afin de pouvoir conclure sur la faisabilité d'une telle jonction. L'efficacité de la jonction sera calculée avec la largeur cousue (e) qui correspond à la largeur efficace.

D'autres paramètres peuvent être considérés pour la couture : le serrage du fil sur la machine, le coefficient de frottement du fil, l'échauffement de l'aiguille et la température de la matière. Ces paramètres peuvent être quantifiables, mais difficilement maîtrisables. Il se peut que dans la suite de l'étude il soit nécessaire de prendre en compte l'un ou plusieurs de ces paramètres.

3.6. Conclusion

Plusieurs difficultés du jonctionnement par couture ont été étudiées et les paramètres de la couture ont pu être identifiés. Nous avons notamment dû déterminer la forme de l'assemblage, le mode de revêtement et enfin définir les paramètres de la couture. Il est à présent nécessaire d'évaluer l'influence de ces paramètres.

Par ailleurs, les coutures sont réalisées manuellement, elles comportent par conséquent des défauts relatifs à l'opérateur : densité de couture moyenne, trajectoires de la couture non précises et découpe de la jonction imparfaite. Il convient de vérifier l'influence du mode opératoire sur le résultat de la couture.

4. Réalisation de la jonction

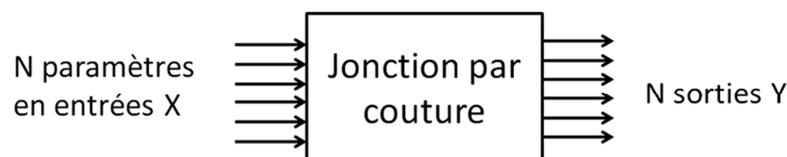
La jonction par couture comporte plusieurs paramètres dont il faut connaître les valeurs optimales afin d'atteindre une jonction cousue optimisée. Il faudrait tester chaque paramètre pour en évaluer l'influence. En raison des 11 paramètres, il faudrait faire au minimum 11^2 (=121) essais pour vérifier les interactions entre les paramètres. De plus, il faudrait faire 5 répétitions minimum de ces essais pour être plus fiable. Ce qui revient à effectuer 605 essais. Ce nombre d'essais est très élevé et il est donc nécessaire d'optimiser le nombre d'essais à effectuer au moyen d'un plan d'expériences.

4.1. Protocole

Lorsque le nombre de paramètres est élevé ou lorsque les essais nécessitent beaucoup de temps, il est utile d'utiliser un plan d'expériences.

4.1.1. Principe

Le plan d'expérience (PE) est une méthode statistique qui permet de diminuer le nombre d'essais afin de réduire les délais et les coûts tout en maintenant la précision et la fiabilité des mesures expérimentales [26], [27] et [16]. La méthode du PE permet d'évaluer l'influence des paramètres sans tester toutes les combinaisons de l'expérimentation. Dans notre cas, le PE permettra de mettre rapidement en évidence les paramètres les plus influents sur la jonction cousue. Ce système d'expérimentation est particulièrement utile lorsque le système apparaît comme une boîte noire à cause de la complexité des interactions entre les différents paramètres (Figure 4.38).



Chaque sortie peut être fonction d'un ou de plusieurs paramètres d'entrée :

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

Figure 4.38. Représentation de la jonction par couture.

4.1.2. Principe de construction du plan d'expériences

Le PE est basé sur le processus d'acquisition des connaissances. On peut ainsi comprendre qu'avant d'attaquer le PE, il faut bien réfléchir à la définition des paramètres et aux informations recherchées.

4.1.3. Niveaux de paramètres

Le nombre de niveaux correspond aux différentes valeurs d'un paramètre qui seront testées. Par exemple, si l'on décide de tester 3 niveaux sur un paramètre qui est une longueur, on testera ces 3 longueurs (par exemple 50, 100 et 150mm). Pour les paramètres que nous avons définis, il s'agit de définir deux niveaux afin de construire le PE. Les différents niveaux sont obtenus par déduction de l'étude du jonctionnement par couture ou par choix d'après la faisabilité des niveaux. Néanmoins, pour favoriser l'évaluation de l'influence des paramètres, il s'agit de prendre les niveaux les plus éloignés possibles en fonction des limites physiques.

Le domaine expérimental comprenant les différents niveaux des paramètres du PE est présenté sur le Tableau 4.7 . Les niveaux bas sont représentés par des -1 et les niveaux hauts par des +1.

Tableau 4.7. *Domaine d'expérimentation d'un plan d'expériences.*

Paramètres	Nbre Niveau	Niveaux
X_1	2	-1
		+1
X_2	2	-1
		+1
...	2	-1
		+1
X_n	2	-1
		+1

4.1.4. Type de plans

Étant donné la grande diversité de plans qui existent, nous ne présenterons que les plans que nous allons utiliser.

4.1.4.1. Plan factoriel

Le plan factoriel, qui est appelé aussi plan complet, est le plan le plus simple à construire. Il consiste à étudier systématiquement tous les paramètres en réalisant toutes les combinaisons possibles. Dans notre cas, cela revient à tester pour deux niveaux 2^{11} combinaisons (=2048). Ce plan donne ainsi toutes les interactions entre tous les paramètres.

Nous n'utiliserons pas ce plan, car le nombre d'essais est prohibitif. En effet, chaque test demande environ deux à trois heures de travail. Il faudrait plusieurs années pour réaliser ce plan.

4.1.4.2. Plan fractionnaire minimal

Le plan fractionnaire minimal est basé sur le principe du plan factoriel, mais il ne contient aucune étude d'interactions. On se contente de faire les essais nécessaires à l'évaluation des effets principaux des paramètres sur la sortie.

4.1.4.3. Plan fractionnaire

Le plan fractionnaire est un plan intermédiaire entre le plan factoriel et le minimal. Il comprend en effet le plan factoriel minimal en ajoutant des combinaisons qui permettent l'étude de seulement certaines interactions. Ces interactions sont en général choisies par l'expérimentateur en fonction des besoins. Néanmoins, il faut faire attention, l'interprétation des effets d'interactions entre plusieurs paramètres n'est pas simple physiquement.

4.1.5. Modèle du plan d'expériences

Le modèle du PE définit la relation entre les sorties et les entrées du PE. Il dépend non seulement du nombre de paramètres et de niveaux, mais encore du type de plan choisi. Mathématiquement, cela s'écrit en forme d'un polynôme.

Dans le cas de l'étude de l'influence de 5 paramètres X_n sur la sortie Y , le modèle basé sur le plan factoriel minimal peut s'écrire de la manière suivante :

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

Avec les coefficients b_n qui représentent l'influence des paramètres sur la sortie Y . Il faudrait donc réaliser au moins 6 combinaisons.

Le modèle basé sur le plan factoriel complet comprenant l'étude de l'influence de 5 paramètres X_n sur la sortie Y peut s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{12}(X_1X_2) + b_{13}(X_1X_3) + b_{14}(X_1X_4) + b_{15}(X_1X_5) + b_{23}(X_2X_3) \\ & + b_{24}(X_2X_4) + b_{25}(X_2X_5) + b_{34}(X_3X_4) + b_{35}(X_3X_5) + b_{45}(X_4X_5) + b_{123}(X_1X_2X_3) + b_{124}(X_1X_2X_4) \\ & + b_{125}(X_1X_2X_5) + b_{234}(X_2X_3X_4) + b_{245}(X_2X_4X_5) + b_{235}(X_2X_3X_5) + b_{345}(X_3X_4X_5) + b_{134}(X_1X_3X_4) \\ & + b_{145}(X_1X_4X_5) + b_{135}(X_1X_3X_5) + b_{1345}(X_1X_3X_4X_5) + b_{2345}(X_2X_3X_4X_5) + b_{12345}(X_1X_2X_3X_4X_5) \end{aligned}$$

Le modèle basé sur un plan factoriel fractionnaire comprenant l'étude de l'influence de 5 paramètres X_n et de certaines interactions sur la sortie Y peut s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{12}(X_1X_2) + b_{23}(X_2X_3) + b_{15}(X_1X_5) \\ & + b_{45}(X_4X_5) + b_{234}(X_2X_3X_4) + b_{235}(X_2X_3X_5) + b_{1345}(X_1X_3X_4X_5) + b_{2345}(X_2X_3X_4X_5) \end{aligned}$$

Attention, le choix des interactions à exclure n'est pas simple. En effet, nous pouvons exclure des interactions si leur effet principal est très faible devant celui des autres paramètres, mais même cela pourrait entraîner des erreurs.

4.1.6. Synthèse

Dans une démarche cohérente, nous avons décidé de réaliser deux plans d'expériences. Le premier plan concerne l'ensemble des paramètres pour en déterminer les plus influents. Le second PE sera affiné et seuls les paramètres les plus influents seront testés.

4.2. Plan d'expérience 1

4.2.1. Test de la matière

L'essai de traction de la carcasse seule va nous permettre d'évaluer une référence d'effort pour notre PE. L'éprouvette est coupée en haltère suivant la chaîne et testée en traction.

La partie centrale de l'haltère testée mesure 20mm de largeur sur 50mm de longueur. L'éprouvette avant le test peut être observée sur la Figure 4.39 et rompue après le test sur la Figure 4.40.



Figure 4.39. Haltère de carcasse en test.

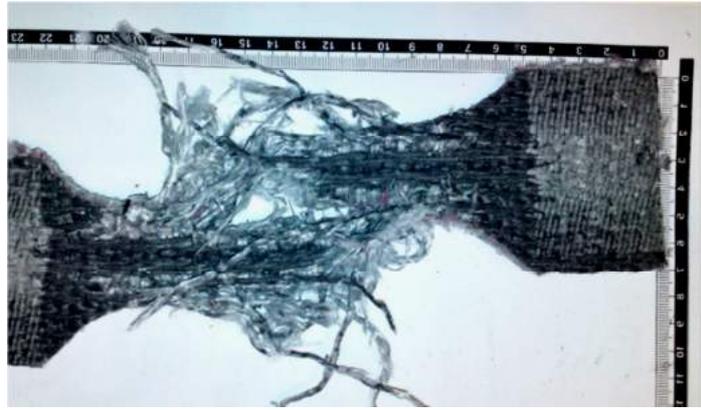


Figure 4.40. Haltère de carcasse rompue.

Nous avons fait 3 répétitions : la carcasse a résisté à 95% en moyenne de la traction nominale de la bande (26.5kN contre 28kN nominale pour une largeur efficace de 19,5mm).

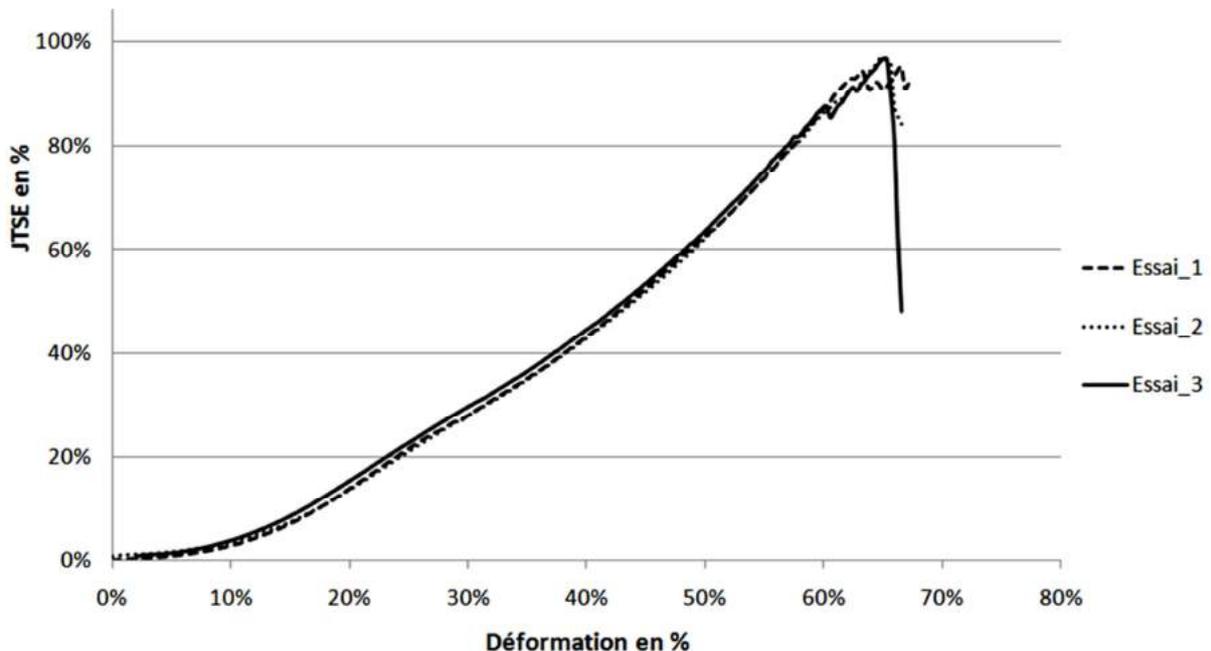


Figure 4.41. Courbe de traction de la carcasse seule.

4.2.2. Préparation du plan

Nous avons choisi pour le premier PE de tester l'influence individuelle de chacun des onze paramètres de la couture : choix du plan minimal. Nous obtenons donc un modèle comme suit :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11}$$

Ensuite, nous avons défini le nombre de niveaux qui seront testés. Afin de ne pas avoir un plan trop grand, nous avons choisi de rester à deux niveaux. Nous avons dans ce cas un PE qui comporte 12 essais. Nous testerons 2 répétitions, donc nous aurons à tester 24 échantillons cousus. Le domaine d'expérience est représenté avec le Tableau 4.8. Pour les longueur et largeur de couture, nous avons choisi de les définir en fonction respectivement de la longueur de dents et de la largeur de l'échantillon. Cela nous permet d'avoir au final 4 niveaux pour ces paramètres.

Tableau 4.8. *Domaine d'expérimentation du plan d'expériences 1.*

	Paramètres	Nbre Niveaux	Niveaux
X ₁	Angle des dents	2	5,7°
			19,3°
X ₂	Longueur des dents	2	50 mm
			100 mm
X ₃	Largeur de l'échantillon	2	35 mm
			70 mm
X ₄	Longueur de la couture	2	Longueur dent + 0mm
			Longueur dent + 40mm
X ₅	Largeur de la couture	2	Largeur échantillon - 40 mm
			Largeur échantillon - 20 mm
X ₆	Taille de l'aiguille	2	200Nm
			230Nm
X ₇	Longueur du point de couture	2	6 mm
			12 mm
X ₈	Densité de la couture	2	5 fils/cm
			10 fils/cm
X ₉	Angle de la couture	2	0°
			45°
X ₁₀	Titre du fil	2	167 tex
			330 tex
X ₁₁	Type de fils	2	Vectran (LCP)
			Technora (Aramide)

Une fois défini le nombre de niveaux, nous avons utilisé le logiciel NEMRODW (logiciel de construction et d'analyse du PE) qui propose le plan d'expérimentation (Tableau 4.9). Le PE est défini dans le Tableau 4.10.

Tableau 4.9. Matrice d'expériences du plan d'expériences 1 à deux répétitions.

N°Exp	angle dent	Longueur dent	largeur échantillon	longueur couture	largeur couture	taille aiguille	longueur point	densité couture	angle couture	Titre fil	Type fil
1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
2	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1
3	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
4	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1
5	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
6	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1
7	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
8	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
9	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
10	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1
11	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
12	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1
13	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
14	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
15	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
16	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1
17	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
18	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
19	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
20	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1
21	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
22	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
23	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
24	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tableau 4.10. Plan d'expériences 1.

N°Exp	angle dent	Longueur dent	largeur échantillon	longueur couture	largeur couture	taille aiguille	longueur point	densité couture	angle couture	Titre fil	Type fil
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	19,3°	100mm	50mm	long_dent +40mm	larg_ech -20mm	230Nm	6mm	5 fils/cm	0°	330 Tex	Vectran
2	5,7°	100mm	70mm	long_dent +0mm	larg_ech -20mm	230Nm	12mm	5 fils/cm	0°	167 Tex	Technora
3	19,3°	50mm	70mm	long_dent +40mm	larg_ech -40mm	230Nm	12mm	10 fils/cm	0°	167 Tex	Vectran
4	5,7°	100mm	50mm	long_dent +40mm	larg_ech -20mm	200Nm	12mm	10 fils/cm	45°	167 Tex	Vectran
5	5,7°	50mm	70mm	long_dent +0mm	larg_ech -20mm	230Nm	6mm	10 fils/cm	45°	330 Tex	Vectran
6	5,7°	50mm	50mm	long_dent +40mm	larg_ech -40mm	230Nm	12mm	5 fils/cm	45°	330 Tex	Technora
7	19,3°	50mm	50mm	long_dent +0mm	larg_ech -20mm	200Nm	12mm	10 fils/cm	0°	330 Tex	Technora
8	19,3°	100mm	50mm	long_dent +0mm	larg_ech -40mm	230Nm	6mm	10 fils/cm	45°	167 Tex	Technora
9	19,3°	100mm	70mm	long_dent +0mm	larg_ech -40mm	200Nm	12mm	5 fils/cm	45°	330 Tex	Vectran
10	5,7°	100mm	70mm	long_dent +40mm	larg_ech -40mm	200Nm	6mm	10 fils/cm	0°	330 Tex	Technora
11	19,3°	50mm	70mm	long_dent +40mm	larg_ech -20mm	200Nm	6mm	5 fils/cm	45°	167 Tex	Technora
12	5,7°	50mm	50mm	long_dent +0mm	larg_ech -40mm	200Nm	6mm	5 fils/cm	0°	167 Tex	Vectran

4.2.3. Expérimentation

L'expérimentation consiste à l'exécution du PE. Il comprend la découpe des échantillons, la couture des échantillons et les tests de traction suivant le PE défini précédemment. Chaque essai a donc une configuration de paramètre unique parmi les autres essais. Par ailleurs, nous avons réalisé l'ensemble de l'expérimentation avec un ordre aléatoire par rapport au PE afin de diminuer les risques d'erreurs dues à une dérive d'essais chronologiques.

4.2.3.1. Découpe des échantillons

Pour préparer les échantillons, il faut compter une heure pour découper des dents fines et donc nombreuses. Il existe au niveau de la découpe 8 (2³) configurations différentes. Dans le PE, les autres différences seront marquées sur les paramètres de la couture.

Tableau 4.11. Schéma de la découpe.

Largeur_50_Dents_100_Angle_5,7°	Largeur_50_Dents_50_Angle_5,7°
Largeur_50_Dents_100_Angle_19,3°	Largeur_50_Dents_50_Angle_19,3°
Largeur_70_Dents_100_Angle_5,7°	Largeur_70_Dents_50_Angle_5,7°
Largeur_70_Dents_100_Angle_19,3°	Largeur_70_Dents_50_Angle_19,3°

La découpe est effectuée à l'aide du cutter rotatif. Nous obtenons donc deux échantillons coupés d'après les 12 configurations définies par le PE. Des exemples d'échantillons découpés sont présentés sur la Figure 4.42.

Afin de valider la faisabilité des découpes, nous avons préféré assembler les échantillons a avec les b et vice versa.



Figure 4.42. Exemple d'échantillons du plan d'expériences 1 découpés.

4.2.3.2. Couture des échantillons

4.2.3.2.1. Préparation du fil

Les fils utilisés sont des multi filaments préparés au sein de notre laboratoire. Nous avons utilisé du Vectran (Liquid Crystal Polymer de KURARAY) et du Technora (Aramide de TEIJIN), deux fils composés de fibres à haute résistance mécanique. Les fils fournis par les constructeurs ont trop peu de torsion, il a donc fallu les tordre d'avantage. Nous sommes partis de 1670 dtex pour en former 2 titrages différents pour chaque type de fils.

Voici les fils obtenus en Technora (Aramide):

- 2×1670dtex tordus en Z à 190 tr/m = 3500dtex
- 1670dtex tordu en Z à 270 tr/m = 1770dtex

Voici les fils obtenus en Vectran (LCP):

- 2×1670dtex tordus en Z à 190 tr/m = 3687dtex
- 1670dtex tordu en Z à 270 tr/m = 1812dtex

Les fils ainsi obtenus ont un meilleur comportement pour la couture. En effet, la formation de la boucle pendant le cycle de formation du nœud de couture nécessite un fil avec une bonne formabilité. De plus, si le fil n'a pas de bonne cohésion, le crochet a tendance à s'insérer au milieu du fil, au lieu de prendre tout le fil pour former le nœud.

4.2.3.2.2. Couture

La couture est effectuée sur la machine à coudre décrite précédemment. Les échantillons découpés de la Figure 4.42 ont été cousus et sont présentés sur la Figure 4.43. Les coutures ont été réalisées suivant le PE. Le fil en Vectran (LCP) a une couleur claire, tandis que le Technora (Aramide) a une couleur foncée. Nous pouvons néanmoins constater que la couture n'est pas parfaite et que la matière se déforme pendant la couture. Ceci est produit par l'insertion de fil dans la matière.

La couture a nécessité un traçage préalable de la zone de couture ainsi que des trajectoires à suivre. Les densités de couture sont évaluées en moyenne. Lorsque l'angle de couture est à 45°, la densité est répartie sur les deux diagonales.

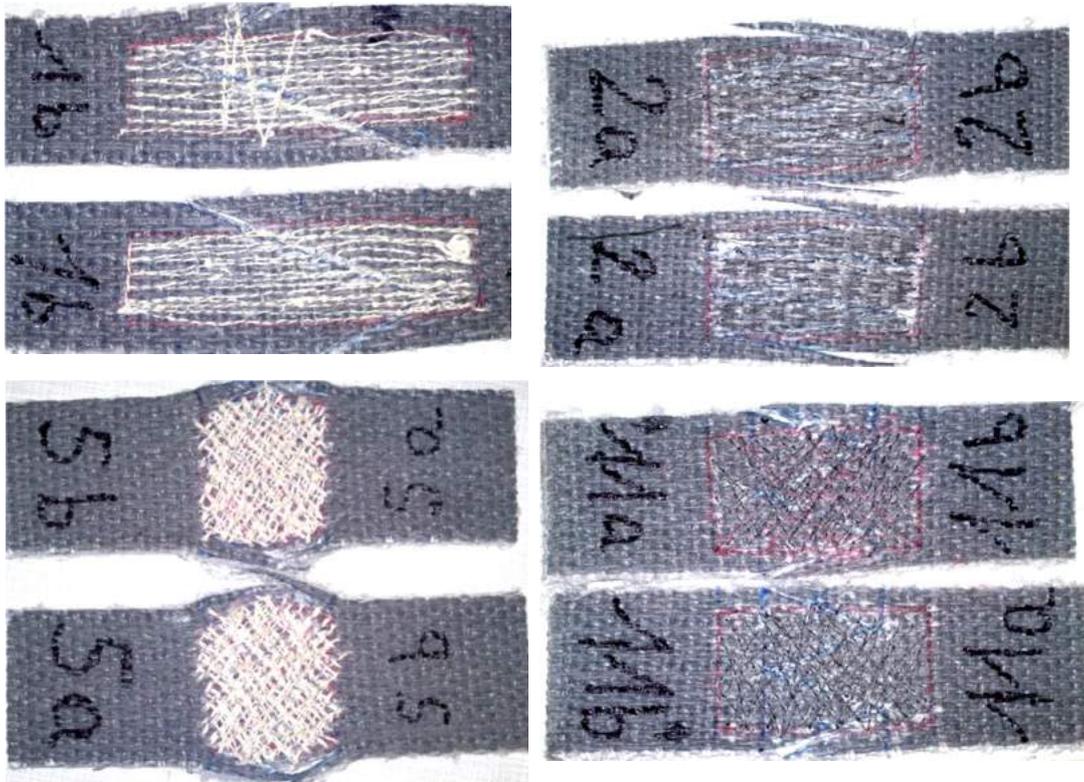


Figure 4.43. Échantillons du plan d'expériences 1 cousus.

4.2.3.3. Tests de traction

Une fois que tous les échantillons ont été cousus, ils ont pu être testés en traction sur une machine de traction avec mors auto serrant. Ces mors permettent d'avoir un serrage des points d'attaches des échantillons sur la machine qui adaptent le serrage en fonction de la déformation de l'échantillon pendant l'essai. Nous sommes limités par la machine à une largeur de 70mm. La machine de traction est présentée sur la Figure 4.44. La vitesse de traction est de 40mm/min.

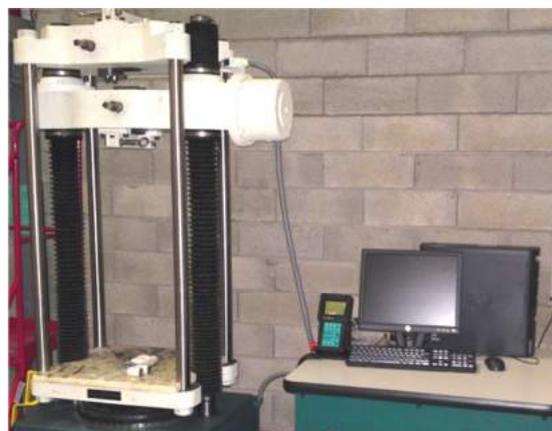


Figure 4.44. Machine de traction hydraulique.

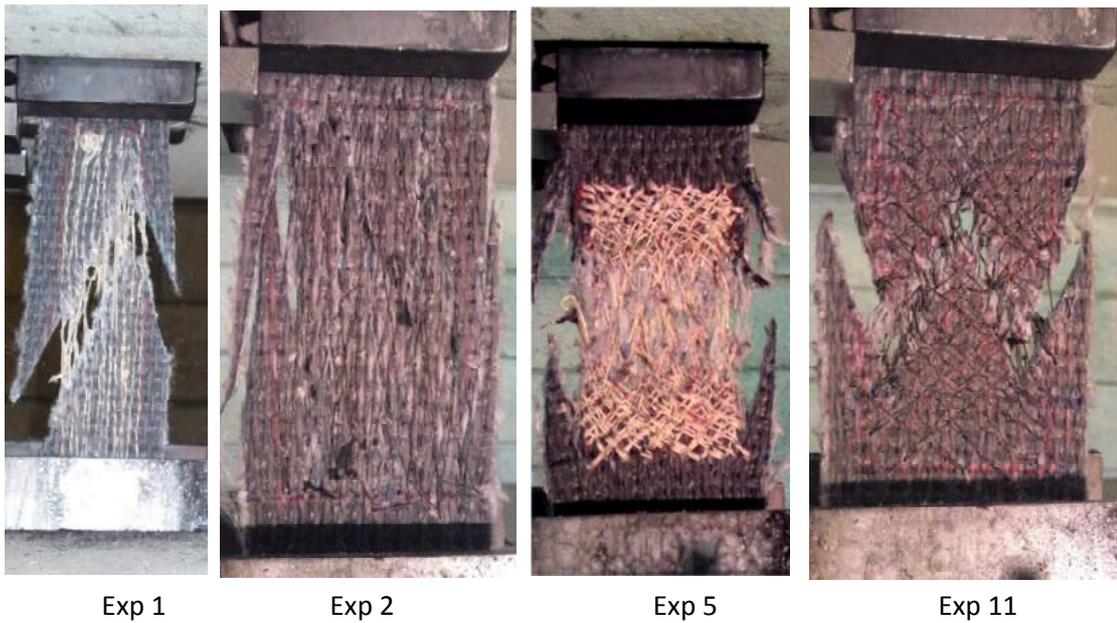


Figure 4.45. Traction des échantillons.

4.2.3.4. Résultats

Nous avons étudié l'influence des paramètres sur l'efficacité en traction de la jonction. La variable de sortie est donc la JTSE. Les résultats sur la JTSE sont présentés dans le Tableau 4.12. On peut voir les courbes des deux essais de la configuration 4 qui a le meilleur résultat sur la Figure 4.46.

Tableau 4.12. Résultats en traction des essais.

JTSE		largeur	JTSE		largeur
1A	10%	30	7A	14%	30
1B	10%	30	7B	15%	30
2A	16%	50	8A	7%	10
2B	11%	50	8B	6%	10
3A	11%	30	9A	9%	30
3B	11%	30	9B	8%	30
4A	34%	30	10A	16%	30
4B	33%	30	10B	16%	30
5A	16%	50	11A	9%	50
5B	18%	50	11B	9%	50
6A	5%	10	12A	2%	10
6B	6%	10	12B	2%	10

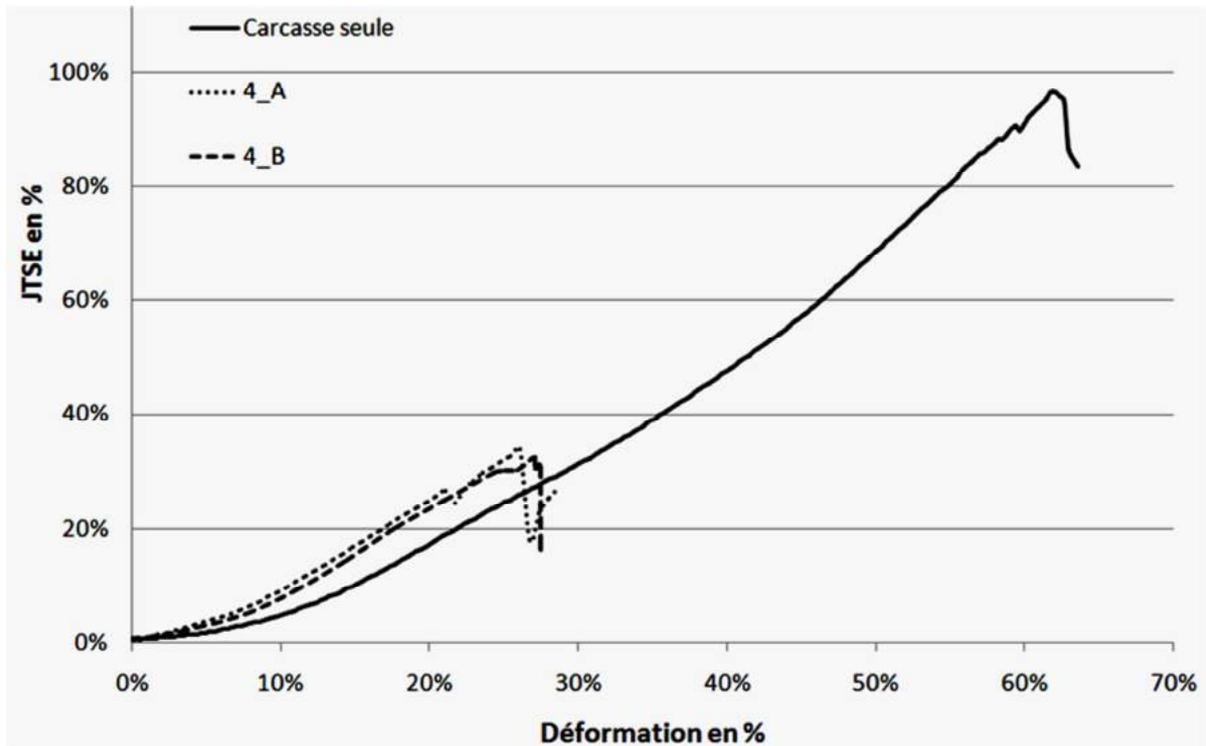


Figure 4.46. Courbes de traction de la configuration n°4.

La courbe de traction de la configuration 4 nous montre que le comportement en traction de la jonction est similaire à celui de la carcasse seule. En revanche, pour les échantillons cousus, la rupture est plus rapide.

Après l'étude sur l'efficacité de la jonction, nous avons relevé l'effet des variations des paramètres sur la JTSE. Le Tableau 4.13 présente les effets des paramètres. Nous pouvons constater que seuls trois paramètres sont prépondérants : l'angle des dents, la largeur de la couture et la densité de couture. On peut alors classer les paramètres par influence sur la sortie JTSE.

Tableau 4.13. Influence des paramètres sur la JTSE et représentation graphique des coefficients.

Nom	Coefficient	t.exp.	Signif. %
b0	25,958	45,23	< 0,01 ***
Angle_dent	-6,708	-11,69	< 0,01 ***
Long_dent	2,858	4,98	0,0358 ***
Larg_ech	2,392	4,17	0,136 **
Long_cout	2,042	3,56	0,394 **
Larg_cout	9,586	16,7	< 0,01 ***
Taille_aig	-1,303	-2,27	4,08 *
Long_point	2,314	4,03	0,172 **
Dens_cout	10,131	17,65	< 0,01 ***
Angle_cout	4,219	7,35	< 0,01 ***
Titre_fil	1,225	2,13	5,2
Type_fil	-4,764	-8,3	< 0,01 ***

4.2.3.4.1. Paramètres prépondérants

D'après le Tableau 4.13, on peut constater que trois paramètres sont prépondérants :

- **La densité de la couture** doit être importante, dans la limite de la surcharge de la couture qui endommagerait la carcasse plus qu'elle ne la renforcerait. (ici 10 fils/cm)
- **La largeur de la couture** doit être la plus importante possible en fonction de la largeur de l'échantillon, ce qui reste logique. (ici largeur éch – 20mm)
- **L'angle des dents** doit être faible, ce qui donne une dent de faible largeur. (ici 5,7°)

4.2.3.4.2. Paramètres importants

- **Le type de fils** : le Vectran (LCP) semble meilleur que le Technora (Aramide).
- **L'angle de la couture** en diagonale apporte plus de cohésion à la jonction. On préférera alors un angle à 45°.
- **La longueur des dents** doit être grande. Il semble que la dent longue est plus favorable. (ici 100 mm)

4.2.3.4.3. Paramètres à ne pas négliger

- **La largeur de l'échantillon** doit être grande, ce qui semble logique. (ici 70 mm)
- **La longueur du point** doit être grande. Les essais préliminaires nous ont permis de constater que le point de 12mm laisse effectivement plus de liberté aux fils de l'étoffe, ce qui limite l'endommagement de la carcasse textile.
- **La longueur de la couture** doit être grande. La cohésion de la jonction semble être meilleure. (ici long éch + 40mm)

4.2.3.4.4. Paramètres de faible importance

- **La taille de l'aiguille** devrait être de taille réduite. La tendance dans ce plan n'est que très faiblement marquée entre 200Nm et 230Nm.
- **Le titre du fil** ne semble pas avoir d'importance. Ceci peut s'expliquer par le fait que ce n'est pas la résistance du fil qui est importante dans les configurations du PE 1, mais plutôt la manière de coudre.

4.2.3.4.5. Meilleure configuration

Le meilleur résultat pour la JTSE a été obtenu avec la configuration 4 (Tableau 4.14). En effet, l'essai 4 a révélé une efficacité JTSE de 33%.

Tableau 4.14. Configuration de l'essai n°4.

N°Exp	angle dent	Longueur dent	largeur échantillon	longueur couture	largeur couture	taille aiguille	longueur point	densité couture	angle couture	Titre fil	Type fil
4	5,7°	100mm	50mm	long-dent+40mm	larg-ech-20mm	200Nm	12mm	10 fils/cm	45°	167 tex	Vectran

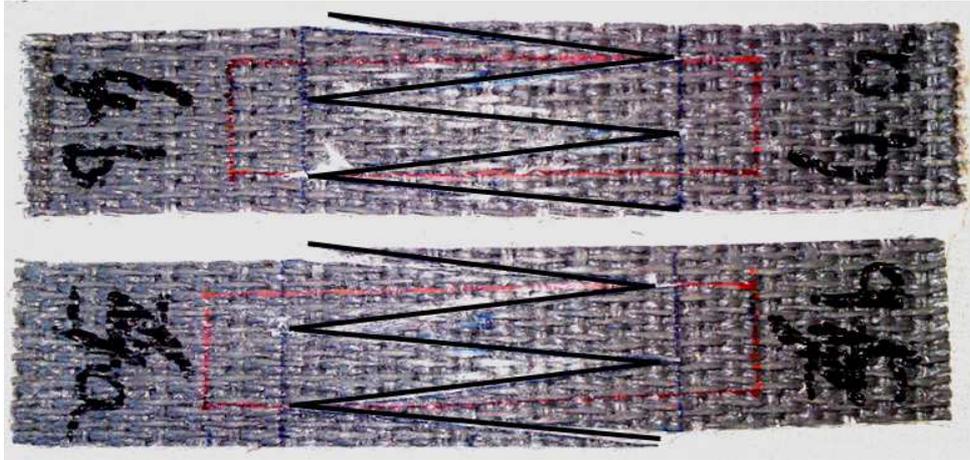


Figure 4.47. Échantillon découpé de la configuration n°4.

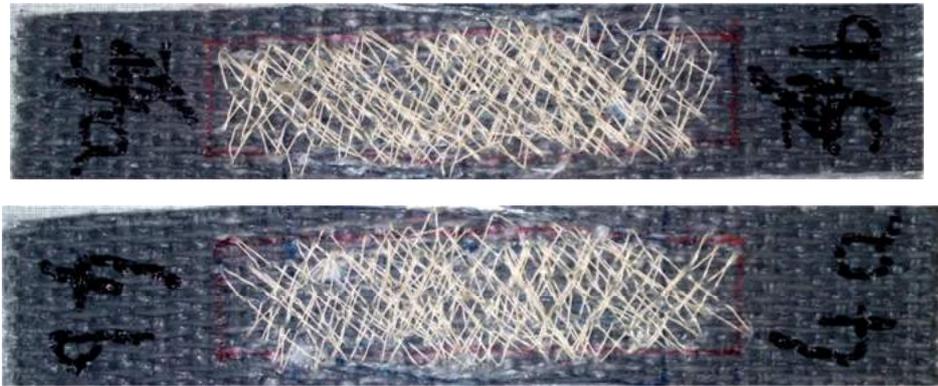


Figure 4.48. Échantillon cousu de la configuration n°4.

Nous avons obtenu des résultats très positifs avec cette configuration. En effet, la quantité de fil que contient cette jonction ne peut résister à l'effort auquel cette jonction a résisté. La jonction a résisté à 14kN contre les 10kN maximum auxquels les fils, s'ils étaient tous alignés, résisteraient théoriquement. La couture abîme les fils, ce qui devrait encore faire chuter cette valeur. Ce résultat est par conséquent très intéressant, cela veut dire que la résistance de la jonction ne dépend pas directement des fils, mais d'un combiné fil – couture – forme de l'assemblage. Cette tendance est à confirmer par la suite.

4.2.4. Conclusion

Le plan d'expériences 1 nous a permis d'isoler les paramètres les plus influents sur le jonctionnement par couture. Le PE nous a effectivement permis d'isoler la densité de couture, la longueur des dents, l'angle des dents, la largeur de la couture et l'angle de la couture. Nous avons aussi pu constater que les fils en Vectran résistent mieux que ceux en Technora (Aramide). Nous pouvons expliquer cela avec la résistance au nœud présentée dans le Tableau 4.2 qui met en évidence que le Technora (Aramide) résiste moins que le Vectran (LCP).

De plus, les essais nous ont permis de mettre en évidence que la résistance de la jonction dépend du fil, de la couture et de la forme de l'assemblage. Nous avons en conséquence les bases pour affiner le plan d'expériences et ainsi obtenir une jonction cousue avec de meilleures performances et une meilleure efficacité.

4.3. Plan d'expérience 2

L'objectif du deuxième PE est d'approfondir l'étude afin d'optimiser la jonction cousue. Par ailleurs, l'objet du deuxième plan est d'étudier les interactions entre les paramètres.

4.3.1. Préparation du plan

Nous avons choisi pour le deuxième PE de tester l'influence des paramètres les plus critiques dans le jonctionnement par couture et leurs influences combinées sur la JTSE. Le plan utilisé sera donc un plan factoriel fractionnaire.

Tout d'abord, nous avons dû sélectionner les paramètres que nous allons garder dans le plan. Pour cela, nous avons sélectionné les 5 paramètres les plus importants sur la JTSE d'après le premier PE, sachant que le choix du type de fils a été fait sur le Vectran (LCP) :

- Angle des dents
- Densité de couture
- Largeur couture
- Longueur de dent
- Angle de couture

Pour définir le modèle, nous devons partir du modèle complet comme suit :

$$\begin{aligned}
 Y = & b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{12}(X_1X_2) + b_{23}(X_2X_3) + b_{15}(X_1X_5) + b_{45}(X_4X_5) \\
 & + b_{234}(X_2X_3X_4) + b_{235}(X_2X_3X_5) + b_{1345}(X_1X_3X_4X_5) + b_{2345}(X_2X_3X_4X_5) + b_{13}(X_1X_3) + b_{14}(X_1X_4) \\
 & + b_{24}(X_2X_4) + b_{34}(X_3X_4) + b_{25}(X_2X_5) + b_{35}(X_3X_5) + b_{124}(X_1X_2X_4) + b_{134}(X_1X_3X_4) + b_{125}(X_1X_2X_5) \\
 & + b_{145}(X_1X_4X_5) + b_{123}(X_1X_2X_3) + b_{135}(X_1X_3X_5) + b_{245}(X_2X_4X_5) + b_{345}(X_3X_4X_5) + b_{12345}(X_1X_2X_3X_4X_5)
 \end{aligned}$$

Nous devons faire le choix des monômes non influents en nous appuyant sur le traitement du logiciel après expérimentation, ceci pour ne pas faire un choix aléatoire. Nous avons choisi de rester à deux niveaux sur chacun des 5 paramètres. Le domaine d'expérience est représenté avec le Tableau 4.15. Les valeurs des différents niveaux ont été choisies d'après le premier PE et en fonction des possibilités techniques.

L'angle des dents est défini autour de 5,7°. L'angle semble peu commun, mais donne des dents complètes. La densité de couture a été augmentée d'après la faisabilité et le surchargement de couture. La largeur de la couture a été augmentée afin de profiter du maximum de la largeur disponible. La longueur des dents a aussi été augmentée par rapport au premier PE, car nous pensons qu'une plus grande longueur sera favorable à l'efficacité de la jonction. L'angle de la couture a été choisi autour de la valeur de 45° du premier PE. Les autres paramètres ont été choisis par rapport au premier PE.

Tableau 4.15. Domaine d'expérimentation du plan d'expériences 2.

	Paramètres	Nbre Niveaux	Niveaux
X1	Angle dent	2	4 °
			6,6 °
X2	Densité Couture	2	10 fils/cm
			20 fils/cm
X3	Largeur couture	2	50 mm
			60 mm
X4	Longueur dents	2	100 mm
			200 mm
X5	Angle couture	2	30 °
			60 °

Après avoir défini les niveaux, nous avons également utilisé le logiciel NEMRODW qui propose la matrice du plan d'expérimentation (Annexe 15). Le PE 2 est défini dans le Tableau 4.16.

Nous avons dans notre cas 32 expérimentations à effectuer avec des 2 niveaux. Les répétitions sont contenues dans le plan d'expérimentations.

Nous avons également utilisé un ordre aléatoire pour l'exécution du plan.

Tableau 4.16. Matrice en valeur du plan d'expériences 2.

N°Exp	random	angle dent (°)	densité couture (fils/cm)	largeur couture (mm)	longueur dent (mm)	angle couture (°)
		A	B	C	D	E
1	21	4	10	50	100	30
2	23	6,6	10	50	100	30
3	17	4	20	50	100	30
4	6	6,6	20	50	100	30
5	24	4	10	60	100	30
6	11	6,6	10	60	100	30
7	31	4	20	60	100	30
8	18	6,6	20	60	100	30
9	9	4	10	50	200	30
10	22	6,6	10	50	200	30
11	26	4	20	50	200	30
12	30	6,6	20	50	200	30
13	20	4	10	60	200	30
14	12	6,6	10	60	200	30
15	1	4	20	60	200	30
16	15	6,6	20	60	200	30
17	10	4	10	50	100	60
18	3	6,6	10	50	100	60
19	7	4	20	50	100	60
20	16	6,6	20	50	100	60
21	19	4	10	60	100	60
22	8	6,6	10	60	100	60
23	29	4	20	60	100	60
24	32	6,6	20	60	100	60
25	14	4	10	50	200	60
26	28	6,6	10	50	200	60
27	4	4	20	50	200	60
28	25	6,6	20	50	200	60
29	5	4	10	60	200	60
30	2	6,6	10	60	200	60
31	27	4	20	60	200	60
32	13	6,6	20	60	200	60

4.3.2. Expérimentation

L'expérimentation comprend la découpe des échantillons, la couture des échantillons et les tests de traction suivant le PE défini précédemment.

4.3.2.1. Découpe des échantillons

Le traçage et la découpe des échantillons ont été réalisés en fonction du plan.

Il existe au niveau de la découpe 2³ configurations différentes. La découpe est effectuée à l'aide du cutter rotatif. Nous obtenons donc deux échantillons coupés d'après les 24 configurations définies par le PE. Des exemples d'échantillons découpés sont présentés sur la Figure 4.49.

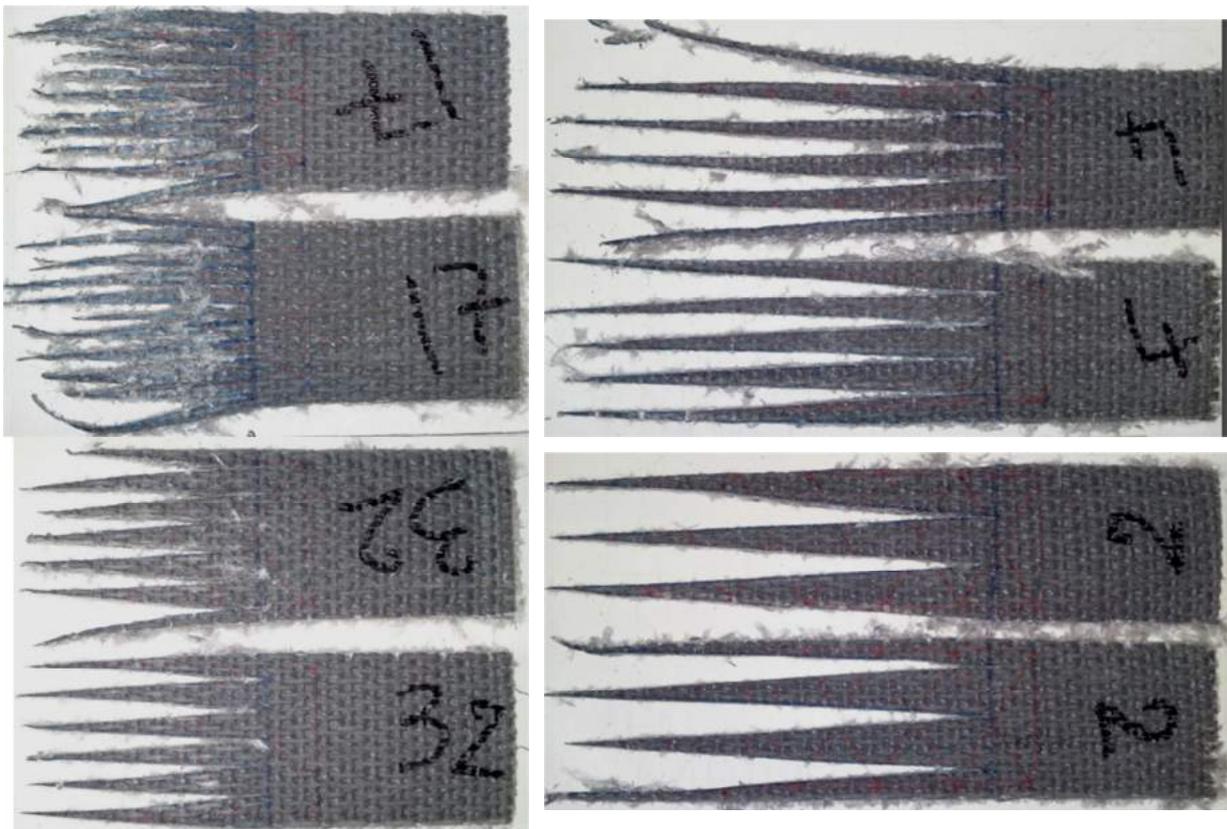


Figure 4.49. Exemple d'échantillons du plan d'expériences 2 découpés.

Comme nous le constatons sur la Figure 4.49, la découpe est difficile lorsque les dents sont très fines. En effet, lorsque l'extrémité de la dent est plus petite que le fil, la matière se détisse échantillon n°17 sur la figure). Il faudra par conséquent utiliser des dents de la taille de celles présentes sur les échantillons n°32, 2 ou 4.

4.3.2.2. Couture des échantillons

4.3.2.2.1. Préparation du fil

Le fil utilisé est du Vectran (LCP) en 1770dtex. Nous avons utilisé ce fil, car le Technora (Aramide) semble moins efficace. Cette différence provient sans doute de la résistance au nœud décrite dans le Tableau 4.2.

4.3.2.2.2. Couture

La couture est réalisée suivant le PE (Figure 4.50).

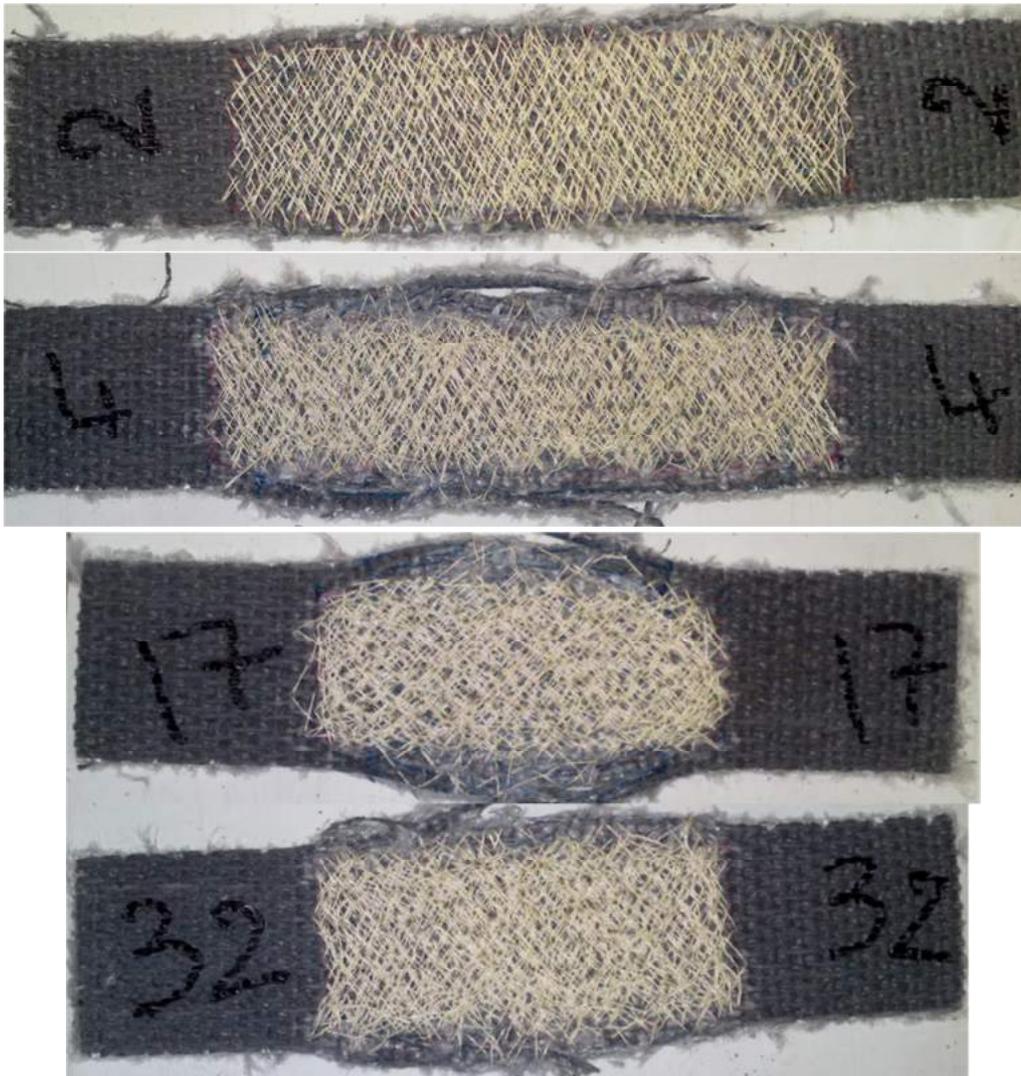


Figure 4.50. Échantillons du plan d'expériences 2cousus.

On peut constater sur la Figure 4.50 que les « ventres » sont toujours là au niveau de la couture. Ils sont d'autant plus importants que la densité est importante. Nous pouvons aussi constater que ni les trajectoires, ni les densités de couture ne sont parfaitement respectées. Ceci est dû à la couture manuelle.

Nous pouvons faire des remarques quant à la couture des échantillons :

- Il faut compter environ 3000m pour coudre sur une largeur de 1400mm (environ 40 canettes sur la machine standard)
- Il faut compter de l'ordre de 15 heures pour coudre la bande de 1400mm avec cette machine à coudre (150 à 200 coup/min, 20 fils/cm et 240mm de longueur cousue)
- La couture ne doit pas s'arrêter toujours au même endroit pour éviter de sectionner la bande
- Toutes les largeurs cousues ne correspondent pas au plan. Il faudra les corriger lors du calcul de l'efficacité

4.3.2.3. Tests de traction

Une fois les échantillons cousus, ils ont pu être testés en traction.

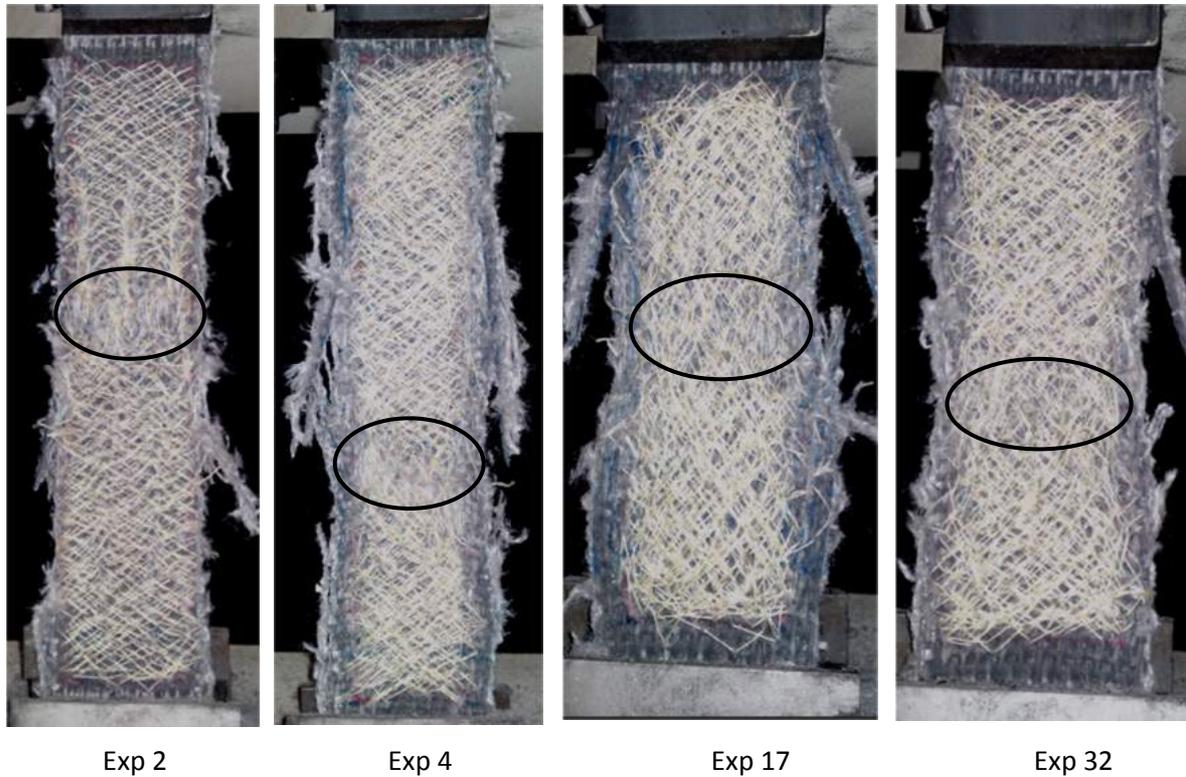


Figure 4.51. Échantillons du plan d'expériences 2 rompus après traction.

La Figure 4.51 montre des échantillons rompus en traction. On s'aperçoit que la rupture est toujours dans la partie centrale des dents dans le cas d'une densité moyenne (ici de 10 fils/cm). Cependant, la rupture se produit vers l'extrémité des dents dans le cas d'une grande densité de couture (Figure 4.52).

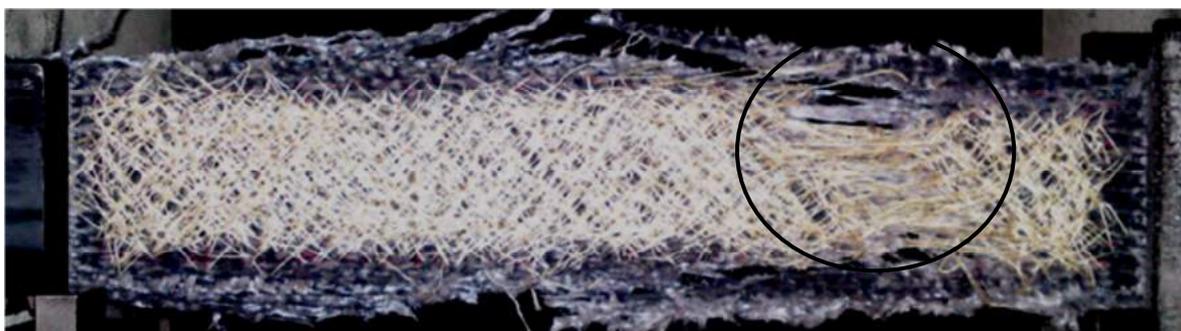


Figure 4.52. Échantillon rompu au bout des dents.

4.3.2.4. Résultats

Nous avons étudié l'influence des paramètres sur l'efficacité en traction de la jonction. La variable de sortie est donc la JTSE. Les résultats sur la JTSE sont présentés dans le Tableau 4.17.

Tableau 4.17. Résultats de la traction des jonctions obtenues.

N°Exp	random	angle dent (°)	densité couture (fils/cm)	largeur couture (mm)	longueur dent (mm)	angle couture (°)	RESULTATS (kN)	JTSE normale	largeur eff	JTSE effective
		A	B	C	D	E				
15	1	4	20	60	200	30	55	65%	60	65%
30	2	6,6	10	60	200	60	57,7	69%	60	69%
18	3	6,6	10	50	100	60	24,6	35%	50	35%
27	4	4	20	50	200	60	47,2	67%	45	75%
29	5	4	10	60	200	60	47	56%	55	61%
4	6	6,6	20	50	100	30	41,3	59%	50	59%
19	7	4	20	50	100	60	29,4	42%	45	47%
22	8	6,6	10	60	100	60	31,2	37%	55	41%
9	9	4	10	50	200	30	39,8	57%	45	63%
17	10	4	10	50	100	60	17,6	25%	45	28%
6	11	6,6	10	60	100	30	30,7	37%	55	40%
14	12	6,6	10	60	200	30	50,5	60%	55	66%
32	13	6,6	20	60	200	60	57,6	69%	55	75%
25	14	4	10	50	200	60	40,3	58%	45	64%
16	15	6,6	20	60	200	30	57	68%	55	74%
20	16	6,6	20	50	100	60	37,5	54%	45	60%
3	17	4	20	50	100	30	33	47%	45	52%
8	18	6,6	20	60	100	30	50,2	60%	55	65%
21	19	4	10	60	100	60	29,3	35%	55	38%
13	20	4	10	60	200	30	54,5	65%	55	71%
1	21	4	10	50	100	30	31,5	45%	45	50%
10	22	6,6	10	50	200	30	42,6	61%	55	55%
2	23	6,6	10	50	100	30	35,2	50%	45	56%
5	24	4	10	60	100	30	37,9	45%	50	54%
28	25	6,6	20	50	200	60	55,1	79%	45	87%
11	26	4	20	50	200	30	49,3	70%	45	78%
31	27	4	20	60	200	60	51	61%	55	66%
26	28	6,6	10	50	200	60	50,4	72%	55	65%
23	29	4	20	60	100	60	29,3	35%	60	35%
12	30	6,6	20	50	200	30	62,1	89%	60	74%
7	31	4	20	60	100	30	47,4	56%	55	62%
24	32	6,6	20	60	100	60	44,8	53%	55	58%

On s'aperçoit que les résultats sont excellents. En effet, il y a 7 expériences au dessus de 70% d'efficacité. De plus, on constate que ces 7 expériences ont une longueur de 200mm. On peut dire que la longueur des dents est un paramètre essentiel.

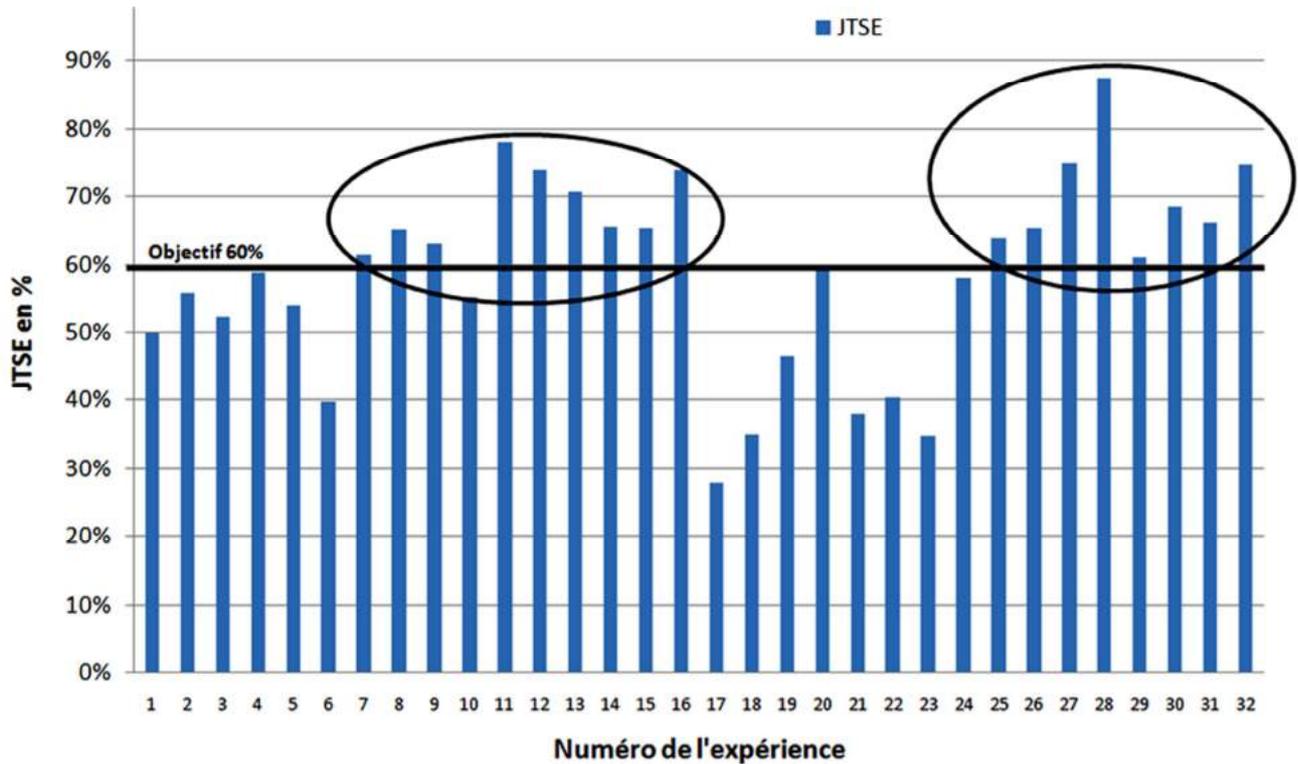


Figure 4.53. Valeur de JTSE en fonction du numéro de l'expérience.

On constate sur la Figure 4.53 que 18 des 32 configurations donnent un résultat supérieur à l'objectif qui est de 60% d'efficacité.

Tableau 4.18. Détails de la combinaison 20fils/cm et la longueur de dent de 200mm.

N°Exp	random	angle dent (°)	Densité couture (fils/cm)	Largeur couture (mm)	Longueur dent (mm)	Angle couture (°)	RESULTATS	JTSE 1400N/mm	Largeur efficace	JTSE effective 1400N/mm
11	26	4	20	50	200	30	49,3	70%	45	78%
12	30	6,6	20	50	200	30	62,1	89%	60	74%
15	1	4	20	60	200	30	55	65%	60	65%
16	15	6,6	20	60	200	30	57	68%	55	74%
27	4	4	20	50	200	60	47,2	67%	45	75%
28	25	6,6	20	50	200	60	55,1	79%	45	87%
31	27	4	20	60	200	60	51	61%	55	66%
32	13	6,6	20	60	200	60	57,6	69%	55	75%

On peut constater que les meilleurs résultats sont obtenus avec la combinaison de densité élevée et de grande longueur.

On se propose d'étudier les courbes de traction des 18 essais avec une JTSE supérieure à 60%. Les courbes de traction sont présentées sur la Figure 4.54.

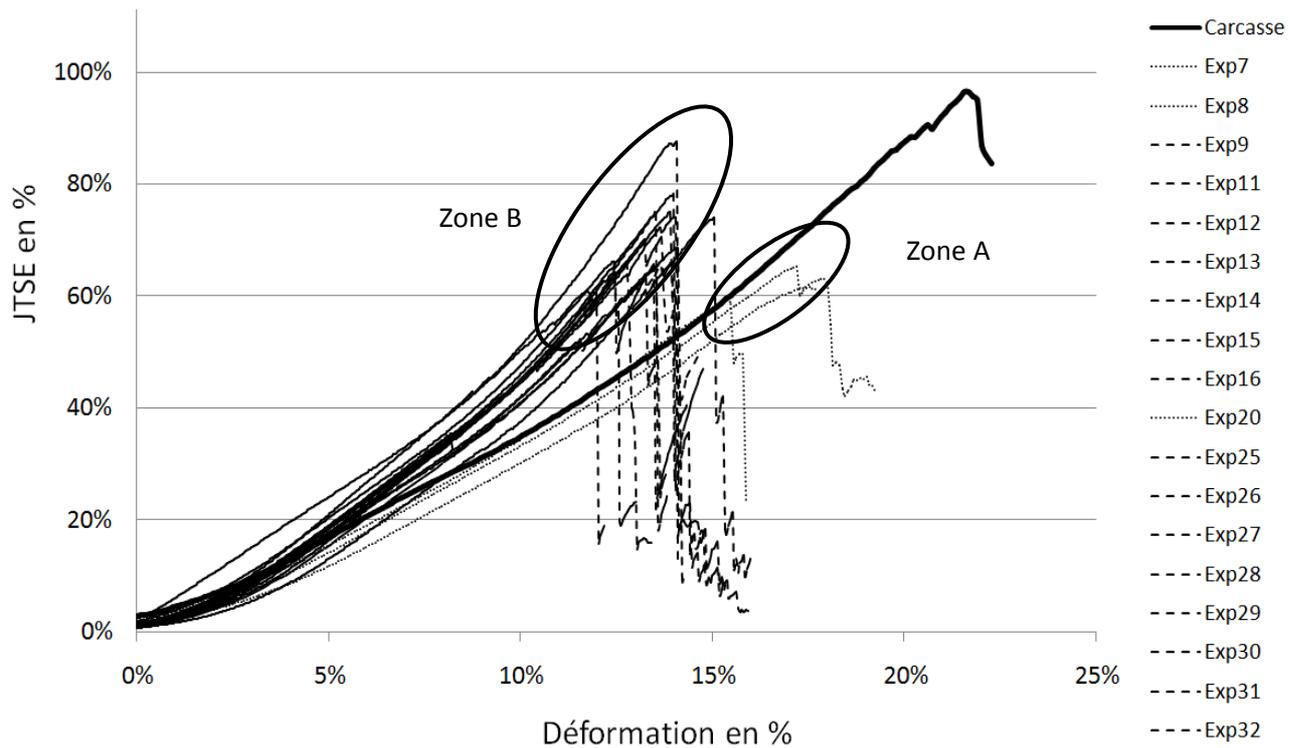


Figure 4.54. Courbes des meilleures configurations du plan 2

Les courbes de traction nous montrent que le comportement en traction de la jonction est relativement similaire à celui de la carcasse seule. En effet, globalement, les courbes des différences expériences ont la même évolution que la courbe de référence de la carcasse.

Les courbes de la zone A (Exp7, 8 et 20) représentent des configurations avec des dents de 100mm de longueur. Nous pouvons constater que le module est proche de celui de la carcasse seule. On peut dire que la longueur des dents a une influence sur le module de la jonction.

La zone B met en évidence des échantillons avec un module plus important que l'échantillon de référence (carcasse testée sans jonction).

Nous constatons par ailleurs que la déformation de la jonction cousue est moins importante que celle de la carcasse seule. Ceci s'explique par le rajout des fils dont l'allongement à la rupture est de 3%.

Après l'étude sur l'efficacité de la jonction, nous avons relevé l'effet des variations des paramètres sur la JTSE. Le Tableau 4.19 présente les effets des paramètres.

Comme annoncé lors du choix du type de plans, le choix des interactions a été réalisé après l'expérimentation. En effet, à la suite des résultats, le logiciel nous a permis d'écarter les monômes qui ne sont pas influents.

Le modèle devient fractionnaire :

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_{12}(X_1X_2) + b_{23}(X_2X_3) + b_{15}(X_1X_5) + b_{45}(X_4X_5) + b_{234}(X_2X_3X_4) + b_{235}(X_2X_3X_5) + b_{1345}(X_1X_3X_4X_5) + b_{2345}(X_2X_3X_4X_5)$$

Tableau 4.19. Influence des paramètres sur la JTSE et représentation graphique des coefficients.

Nom	t.exp.	Signif. %
b ₀	79,59	< 0,01 xxx
angle_dent b ₁	2,23	3,67 ×
densité_couture b ₂	7,94	< 0,01 xxx
largeur_couture b ₃	-0,42	68
longueur_dent b ₄	14	< 0,01 xxx
angle_couture b ₅	-3,58	0,219 xx
b ₁₂	3,44	0,298 xx
b ₂₃	-1,87	7,5
b ₁₅	2,9	0,919 xx
b ₄₅	3,72	0,162 xx
b ₂₃₄	-2,05	5,2
b ₂₃₅	-2,58	1,82 ×
b ₁₃₄₅	-0,59	56,6
b ₂₃₄₅	3,01	0,732 xx

Nous pouvons constater que seuls deux paramètres sont prépondérants : la longueur des dents et la densité de couture, mais le plus influents est la longueur de dents. Nous pouvons remarquer que la longueur de dents est un paramètre que nous pouvons augmenter à souhait, la jonction n'en serait que meilleure. Néanmoins, la jonction par couture doit avoir une longueur réduite pour pouvoir être compétitive avec les autres jonctions. Nous resterons sur 200mm maximum.

En ce qui concerne la densité de couture, nous avons observé pendant l'étude de cette nouvelle jonction que trop de densité défavorise l'efficacité de la jonction. Il serait utile d'augmenter la densité, sachant que la valeur de densité optimale pour être sur le maximum de la courbe de la Figure 4.20 p.100 doit être déterminée. Par ailleurs, il faut rappeler que plus la densité est élevée, plus la température de l'aiguille sera élevée.

En revanche, les trois autres paramètres ne semblent pas avoir beaucoup d'effet sur la JTSE. Effectivement, les effets des paramètres ne sont que moyennement significatifs. Cependant, nous pouvons remarquer que l'efficacité est meilleure pour un angle de 30° (contre 60°).

Par ailleurs, les combinaisons présentées ont une influence du même ordre que les trois paramètres les moins influents.

4.3.2.4.1. Meilleure configuration

Le meilleur résultat pour la JTSE a été obtenu avec la configuration n°28 (Tableau 4.20). En effet, l'essai 28 a révélé une efficacité JTSE de 87%.

Tableau 4.20. Configuration de l'expérience n°28.

N°Exp	random	angle dent (°)	densité couture (fils/cm)	largeur couture (mm)	longueur dent (mm)	angle couture (°)	RESULTATS (kN)	largeur eff	JTSE effective
28	25	6,6	20	50	200	60	55,1	45	87%

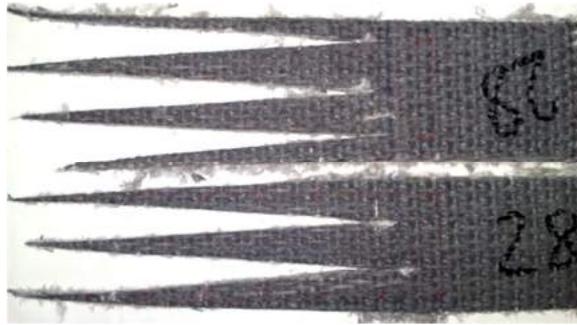


Figure 4.55. Échantillon de l'expérience n°28 découpé.

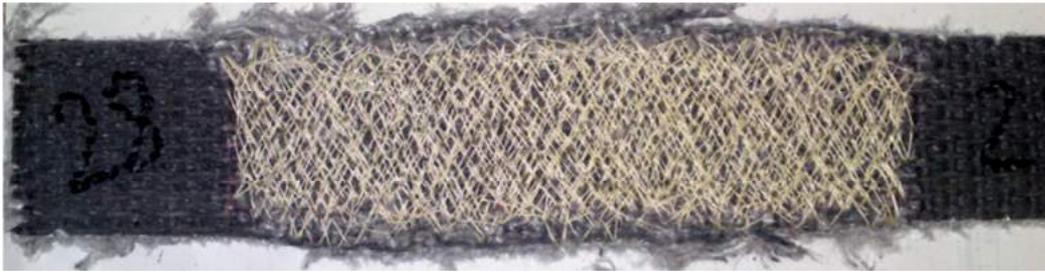


Figure 4.56. Échantillon de l'expérience n°28 cousu.

Cette configuration nous permet de confirmer notre premier avis concernant l'efficacité de la jonction cousue. La quantité de fil que contient l'échantillon devrait résister à 31kN alors que la jonction résiste à 55kN. Le fil que contient l'échantillon bloque les dents et ce n'est pas le fil seul qui est sollicité pendant la traction.

4.3.3. Conclusion

Le deuxième plan nous a permis d'affiner les recherches quant à l'influence des paramètres sur l'efficacité de la jonction. La jonction a pu être optimisée et une efficacité de 87% a été obtenue. Le PE a révélé 18 configurations avec une efficacité supérieure à l'objectif de 60%.

De plus, nous avons pu mettre en évidence plusieurs phénomènes présents lors de la couture. Notamment la formation de « ventres » de chaque côté de l'échantillon, ce qui est dû à l'augmentation de matière présente dans la carcasse. La couture ne doit pas toujours s'arrêter au même endroit, car les perforations répétées de l'aiguille en un même point endommagent sérieusement la carcasse. Les points doivent par conséquent s'arrêter avant ou après la limite du cadre de la couture dessiné sur l'échantillon.

Par ailleurs, nous avons pu constater que les deux paramètres les plus influents sont la longueur des dents et la densité de couture. La longueur est le paramètre prépondérant. L'efficacité de la jonction serait encore augmentée avec une longueur plus grande, mais nous nous limiterons à 200mm, pour des raisons de compétitivité de la jonction parmi celles qui existent déjà, car la couture prend du temps. La densité de couture est un paramètre à optimiser pour avoir une efficacité maximale de la jonction cousue.

Nous avons également pu constater que les jonctions cousues avaient un module d'élasticité plus important que la carcasse seule. En revanche, la déformation à rupture est diminuée du fait du rajout de fils avec un très faible allongement de rupture.

À la suite de ce plan d'expériences, les essais sur la bande complète peuvent être réalisés.

4.4. Essais sur bande complète

Les essais sur bande complète nécessitent le pelage du revêtement. En effet, la bande doit être désolidarisée de son revêtement caoutchouc. Ensuite, l'échantillon passe par les mêmes étapes que ceux du PE.

4.4.1. Pelage du revêtement

Le pelage du revêtement a été réalisé avec un cutter (Figure 4.57). L'épaisseur obtenue est de l'ordre de 10mm.

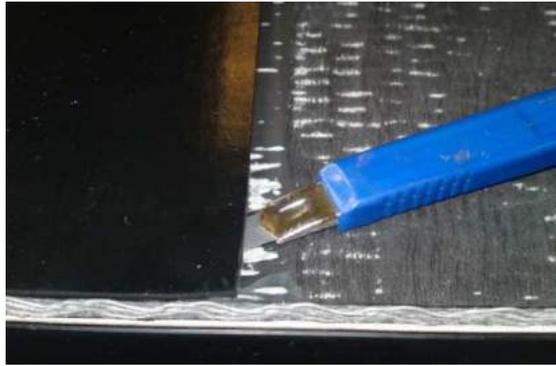


Figure 4.57. Pelage de l'échantillon de bande transporteuse.

4.4.2. Découpe des dents

Nous avons choisi de faire deux coupes différentes (Figure 4.58 et Figure 4.59) pour supprimer un effet de symétrie de la jonction.



Figure 4.58. Dents symétriques.



Figure 4.59. Dents décalées.

4.4.3. Couture des échantillons

La couture des échantillons est faite suivant la configuration décrite dans le Tableau 4.21.

Tableau 4.21. Configuration de couture.

Angle dent	Longueur dent	Largeur échantillon	Longueur couture	Largeur couture	Taille aiguille	Longueur point	Densité couture	Angle couture	Titre fil	Type fil
7°	200mm	100mm	240mm	75mm	230	12mm	25 fils/cm	30°	170 tex	Vectran

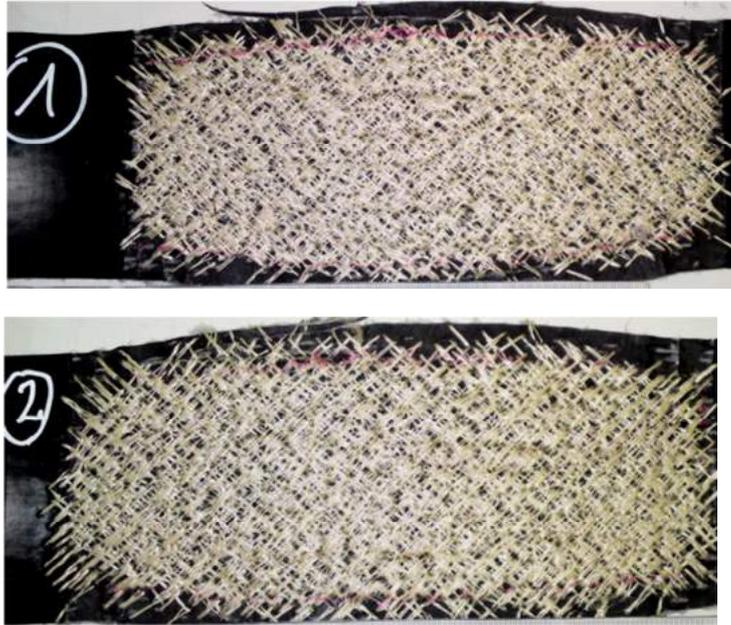


Figure 4.60. Échantillons de bande transporteuse cousus.

On s'aperçoit que les ventres des côtés des échantillons sont encore présents. Si on regarde l'ensemble des essais effectués, on se rend compte que ces ventres ne dépassent pas deux centimètres de largeur de chaque côté de la matière. L'épaisseur mesurée au niveau de la couture ne dépasse pas les 2mm de surépaisseur, en relation avec le cahier des charges de la couture.

4.4.4. Tests de traction

Les tests de traction ont été réalisés dans l'entreprise COBRA à Luxeuil sur une machine de traction hydraulique Lloyd de 100kN avec mors à serrage hydraulique (Figure 4.61).



Figure 4.61. Machine de traction de COBRA.

4.4.5. Résultats



Figure 4.62. Jonctions cousues rompues.

Dans les deux cas, on observe sur la Figure 4.62 que la rupture s'est produite aux extrémités des dents. Le reste de la jonction semble intact. Cela veut dire qu'il faut améliorer la couture à ces endroits pour augmenter l'efficacité de la jonction.

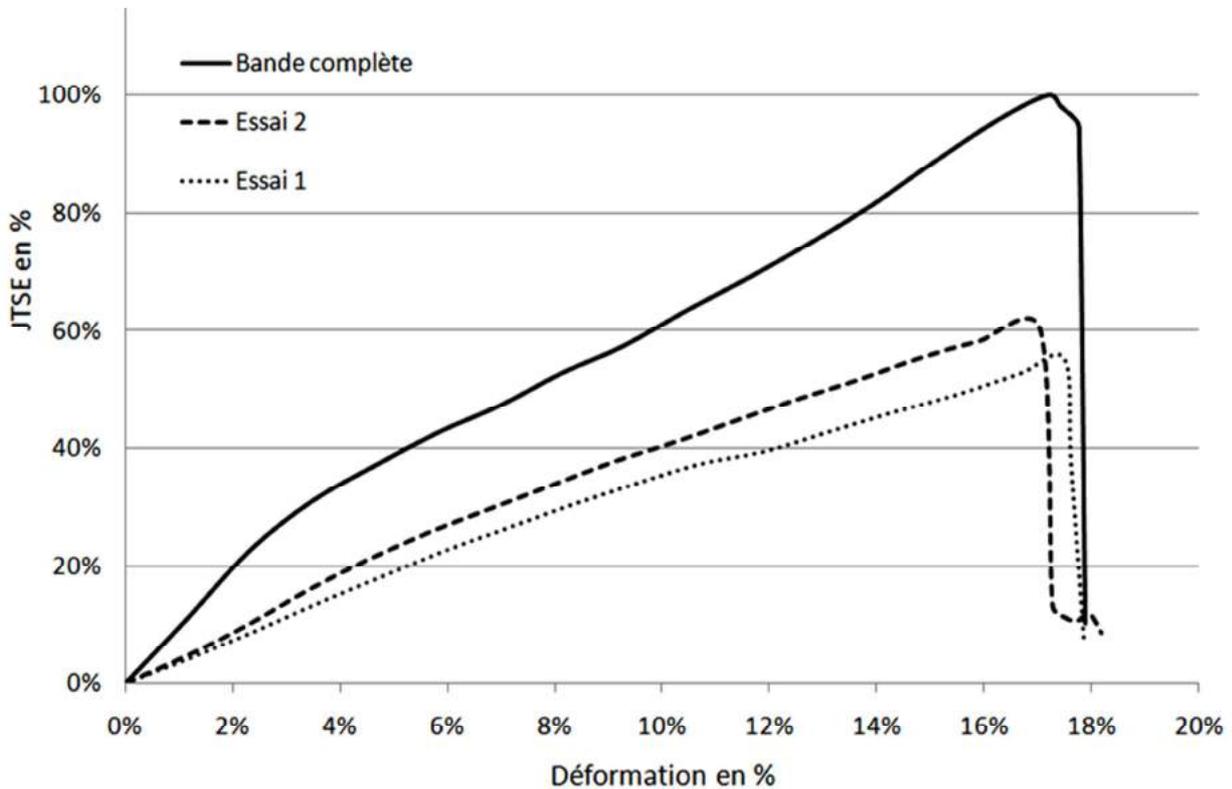


Figure 4.63. Courbe de traction des jonctions cousues.

On peut voir sur la Figure 4.63 que les jonctions ont un comportement similaire à la bande transporteuse. En effet, on retrouve les différentes phases de la courbe : phases élastique, visqueuse et plastique, cependant moins prononcées.

Nous avons obtenu des efficacités respectives de 55 et 60%, ce qui est plus faible que pour les configurations du PE, mais qui est positif pour des premiers essais sur la bande complète.

Par ailleurs, on peut distinguer les deux configurations de découpe. En effet les dents décalées (échantillon 2) semblent avoir une meilleure efficacité que les dents symétriques. Cette hypothèse est à approfondir.

Enfin, la déformation à la rupture est du même ordre que celle de la bande complète. On a donc un comportement à la traction très satisfaisant.

4.4.6. Conclusion

Les tests de couture réalisés sur la bande complète ont permis de vérifier la faisabilité de la couture sur la matière pelée de son caoutchouc. Nous avons pu constater que la matière est plus rigide. Par conséquent, l'échauffement de la matière est plus important qu'avec la carcasse seule. Cet échauffement apporte une facilité pour l'insertion de l'aiguille (ramollissement de la matière). Cependant, la vulcanisation par laquelle est passée la bande l'a rendue plus compacte ce qui rend la couture plus difficile.

Les jonctions réalisées par couture ont eu une efficacité maximale de 60%. Cette efficacité est de l'ordre de notre objectif de départ, sachant que la couture nécessite encore des améliorations. Nous pouvons en conclusion considérer le jonctionnement par couture de la bande transporteuse viable et très prometteur.

4.5. Étude du comportement à l'usage

Afin de valider le comportement dynamique de la jonction, nous avons réalisé des échantillons en haltère destinés à être tester sur un banc dynamique spécialement conçu pour le test des jonctions (Figure 4.64). Le banc est équipé d'une bande de 12m de longueur sur laquelle est attachée une jonction à tester. Le principe du banc est de faire tourner la bande avec une tension réglée suivant le test. Cet essai permet d'avoir plusieurs informations essentielles pour la validation de la jonction par couture.

Effectivement, nous pouvons dans un premier temps observer le comportement de la couture en fatigue après un certain nombre de cycles de flexions dans les deux sens (le banc comporte 4 flexions dans un sens et 2 dans l'autre sens). On pourra notamment vérifier que la jonction ne se détériore pas au niveau de la couture.

Ensuite, la résistance de la jonction peut être évaluée en réglant la tension de fonctionnement du banc.

Enfin, la jonction pourra être testée en traction après un ou plusieurs cycles de fonctionnement de la bande.



Figure 4.64. Banc d'essai dynamique.

4.5.1. Caractéristiques du banc dynamique

Le banc dynamique a les caractéristiques suivantes :

- 6 tambours avec un diamètre de 400mm imposant 4 flexions dans un sens et 2 dans l'autre sens,
- La vitesse de rotation est de 5s par tour,
- La tension nominale d'essai est de 10% de la résistance nominale en traction de la bande à tester,
- La tension est appliquée à l'aide de vérins,
- La longueur de la bande que le banc peut contenir est de 12m.

4.5.2. Préparation des échantillons

Les échantillons ont été découpés en haltère avec des dents dans la même configuration que précédemment (Tableau 4.22).

Tableau 4.22. Configuration de couture.

Angle dent	Longueur dent	Largeur échantillon	Longueur couture	Largeur couture	Taille aiguille	Longueur point	Densité couture	Angle couture	Titre fil	Type fil
7°	200mm	100mm	240mm	75mm	230	12mm	25 fils/cm	30°	170 tex	Vectran



Figure 4.65. Échantillons de bande transporteuse en haltère.

4.5.3. Couture des échantillons

Les échantillons ont été cousus de la même manière que précédemment (Figure 4.66).

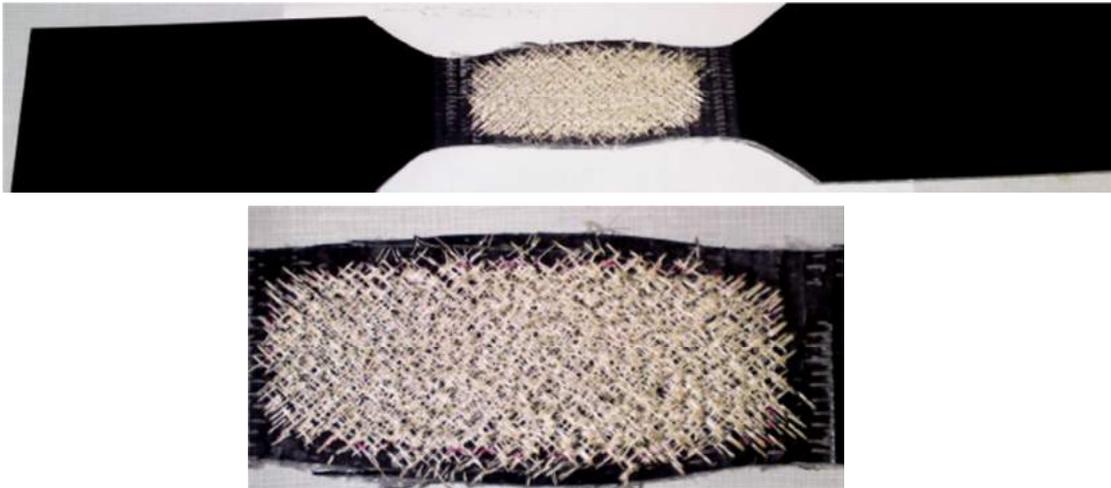


Figure 4.66. Échantillons de bande transporteuse cousus.

4.5.4. Revêtement

Le revêtement a été réalisé par l'entreprise COBRA. La première étape a été d'enrober la couture avec de la pâte PVC pour faire le lien avec le caoutchouc pendant la vulcanisation. On peut voir les fils de couture en surface sur la Figure 4.67.

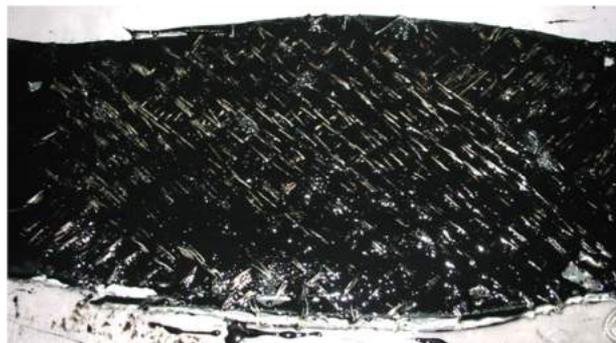


Figure 4.67. Couture enrobée de pâte PVC.

La deuxième étape a été de vulcaniser l'échantillon après l'avoir recouvert de feuilles de caoutchouc cru. On obtient ainsi une bande homogène et avec les fils de couture protégés (Figure 4.68).



Figure 4.68. Jonction revêtue de caoutchouc.

4.5.5. Jonctionnement des échantillons

Le jonctionnement de l'échantillon est nécessaire pour le fixer à la bande du banc d'essai dynamique. Le jonctionnement a été réalisé avec deux jonctions mécaniques avec agrafes aux deux extrémités de l'échantillon (Figure 4.69). Ce type de jonctionnements a l'avantage dans notre situation de nous permettre de tester plusieurs échantillons avec le banc. En cas de casse, on pourra refaire le jonctionnement mécanique par agrafage.



Figure 4.69. Échantillon jonctionné mécaniquement pour essai sur la banc dynamique.

4.5.6. Résultats

Le premier essai sur le banc dynamique a été réalisé avec une tension nominale de fonctionnement de la bande de 5% par rapport à la résistance nominale de la bande, ce qui représente 7000N sur les 100mm de largeur de la partie cousue.

La bande a fonctionné avec la tension de 5% pendant une semaine (soit 907 200 flexions). Rien n'a été remarqué de particulier. La partie jonctionnée par couture semble s'être légèrement allongée. La jonction a résisté aux différents efforts. Nous pouvons dire que la jonction par couture a de l'avenir. En effet, les premières heures de fonctionnement sont critiques pour la jonction en essai. Les six flexions sévères toutes les cinq secondes fatiguent beaucoup la jonction. Or, la jonction a tenu une semaine, ce qui est très positif (cela représente plus de 2,5 années sur site)

La deuxième phase d'essai a été de faire fonctionner le banc à une tension de 10% de la résistance en traction nominale de la bande. La jonction a tenu 72heures (soit 388 800 flexions) avant que les jonctions mécaniques ne lâchent (cela représente 1,1 année sur site).

La jonction a fonctionné environ 3,5 années, ce qui est vraiment très positif pour un premier essai.

4.5.7. Conclusion

L'étude du comportement dynamique de la jonction par couture nous permet de dire que la jonction par couture a une bonne tenue et qu'elle résiste mieux que la jonction mécanique (dont la largeur est deux fois plus importante que celle de la jonction cousue). En effet, les systèmes d'agrafages de la jonction testée ont fatigué bien avant que la jonction cousue ne rompe. Nous pouvons envisager de réaliser d'autres tests et surtout à plus grande échelle.

5. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'étudier une jonction innovante réalisée par couture. Nous avons pu mettre en évidence que la couture, procédé bien connu, est difficile à maîtriser en raison de la complexité de sa mise en œuvre sur bande transporteuse. En effet, nous nous sommes confrontés à plusieurs problèmes qu'il a fallu résoudre : les machines existantes ne sont pas conçues pour réaliser une jonction, l'assemblage des deux morceaux de bande transporteuse est à définir, le mode de revêtement n'est pas connu et enfin la couture comporte de nombreux paramètres dont il faut connaître l'influence sur la jonction.

Par ailleurs, nous avons souligné le fait qu'effectuer une couture nécessite d'abord de définir les éléments qui la décrivent. Ces éléments sont le type de points de couture, le type de fils et le type d'aiguille. Ces caractéristiques de la couture sont essentielles pour commencer l'étude de la couture sur la carcasse textile.

Ensuite, l'influence des paramètres de couture nécessite d'être évaluée. Ceci a été fait pour l'ensemble des onze paramètres qui composent une couture. Ces paramètres doivent être classés et optimisés pour atteindre une jonction optimale par couture. Les paramètres concernent la découpe des échantillons qui dépend du mode d'assemblage : la longueur des dents et l'angle des dents par rapport à l'axe de la bande. Ils concernent aussi la couture : la densité de couture, la longueur de la couture, la longueur du point de couture et la largeur de la couture ainsi que l'angle de couture qui définit sa trajectoire par rapport à l'axe longitudinal de la bande. Les paramètres concernent également les caractéristiques de l'aiguille et du fil : taille et type. Ces paramètres ont été évalués à l'aide d'expériences menées d'après des plans d'expériences.

Le premier plan d'expériences nous a permis de trier les paramètres d'après leur influence sur l'efficacité en traction de la jonction JTSE. Nous avons pu dégager cinq paramètres prépondérants : la longueur des dents, la densité de couture, l'angle de couture, l'angle des dents et la largeur de la couture. L'efficacité maximale en traction de la jonction obtenue a été de 33%.

Le deuxième plan d'expériences nous a permis d'affiner l'évaluation des influences. Nous avons pu constater que les deux paramètres critiques étaient la longueur des dents et la densité de couture. La longueur de dent sera fixée à 200mm maximum et la densité optimale sera à déterminer, limitées respectivement par la longueur de la jonction cousue et la saturation de couture produisant un endommagement de la carcasse. Le plan a révélé 18 configurations au dessus de l'objectif de 60% et a atteint un maximum de 87% pour la JTSE.

Enfin, la couture a été testée sur la bande complète dont le meilleur résultat atteint les 60% pour la JTSE. Pour ce test, nous avons dû peler le caoutchouc qui revêt la carcasse textile pour effectuer la couture.

Finalement, la jonction par couture a été testée sur un banc dynamique pour observer son comportement dynamique et valider la jonction en fatigue. La jonction résiste très bien dans des conditions très sévères par rapport à une utilisation normale sur site.

Ce chapitre nous permet de dire que la jonction par couture est prometteuse. La jonction nécessite d'être approfondie, mais donne un bel espoir à ce type de jonctions. L'étude devra être poursuivie à l'aide d'une machine à coudre spéciale adaptée aux mines de fond. À terme, la machine devra pouvoir coudre une bande d'une largeur de 2000mm et être montée sur le site du client.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif de ce travail a été de comprendre les mécanismes de rupture dans la jonction mécanique par agrafage des bandes transporteuses utilisée couramment dans les mines de fond, d'apporter des éléments pour l'optimisation de la jonction et de proposer une nouvelle manière de jonctionner ces bandes transporteuses.

Pour ce faire, la bande transporteuse a été analysée dans un premier chapitre. La première partie décrit les éléments constitutifs de la bande transporteuse : le renfort textile qui transmet les efforts et le revêtement caoutchouc qui protège le renfort. La deuxième partie détaille les différentes étapes nécessaires à la fabrication de la bande transporteuse ainsi que les paramètres qui caractérisent le renfort textile de la bande. Le tissage du renfort textile et le cycle de fabrication de la bande transporteuse ont également été examinés. La dernière partie concerne les conditions de fonctionnement de la bande transporteuse. Plusieurs aspects ont été étudiés tels que l'environnement et les contraintes de fonctionnement de la bande transporteuse. La résistance au feu, à la température et la propriété d'antistatisme sont les différentes contraintes environnementales qui caractérisent le revêtement de la bande transporteuse. Par ailleurs, les chocs, la traction, les flexions et la compression que la bande doit subir font d'elle un composite à haute performance.

Une bonne compréhension des jonctions existantes sur les bandes transporteuses a été nécessaire afin de pouvoir envisager l'étude du comportement de l'une d'entre elles. C'est pourquoi, le deuxième chapitre expose les jonctions existantes qui se différencient par leur mode de réalisation soit par voie chimique, soit par l'ajout de pièces mécaniques. Ce chapitre a permis de mettre en évidence les avantages et les inconvénients des différentes jonctions. Les jonctions chimiques offrent de bons résultats en résistance et en longévité (respectivement 75% de la résistance nominale de la bande transporteuse et de 2 à 5 ans), mais sont relativement longues à être mises en place, de 12 à 24h. En revanche, les jonctions mécaniques ont un temps de réalisation réduit, de 4 à 6h. Deux jonctions mécaniques peuvent être distinguées : la jonction par agrafage et la jonction dite « Super Screw ». La première a une résistance réduite (60% de la résistance nominale de la bande transporteuse) tandis que la résistance de la deuxième est du même ordre que les jonctions chimiques (75% de la résistance nominale de la bande transporteuse). Le type de jonctionnement utilisé par l'utilisateur dépend de ses besoins et des coûts. D'où l'enjeu de notre travail : améliorer la jonction mécanique en termes de résistance et proposer une nouvelle solution pour satisfaire les utilisateurs, en termes de rapidité de jonctionnement et de résistance.

L'étude du comportement mécanique de la jonction mécanique par agrafage a été nécessaire pour améliorer cette dernière. Le chapitre trois détaille les différentes étapes qui ont permis de proposer une optimisation de la jonction. D'abord, une analyse bibliographique a permis de mettre en évidence le comportement visco-élasto-plastique de la bande transporteuse, ainsi que ses différentes caractéristiques mécaniques. Ensuite, le développement et l'utilisation d'un montage expérimental original a permis d'étudier l'influence des paramètres constitutifs de la jonction mécanique par agrafage sur l'efficacité de la jonction. Les agrafes sont remplacées par des tiges en acier. L'étude a été limitée à la carcasse textile, âme de la bande transporteuse qui transmet les efforts. La différence de comportement de la jonction par agrafage entre la carcasse textile et la bande complète a été néanmoins observée. L'analyse a révélé que l'utilisation de la carcasse seule engendre une efficacité moindre. Les tests sont par conséquent plus sévères que sur la bande complète.

D'autres essais ont permis de conclure que la distribution des tests réalisés avec le montage expérimental suivait une loi Normale et que les variations des mesures étaient dues principalement aux variations de la matière ainsi qu'aux erreurs de positionnement lors des essais.

Les différents paramètres de la jonction mécanique par agrafage ont été déterminés. Le montage expérimental a été conçu pour reproduire la jonction mécanique et permettre la modification de ces paramètres. L'étude de l'influence des paramètres sur l'efficacité de la jonction a par conséquent pu être menée. L'efficacité de la jonction a été évaluée grâce à un indicateur original appelé JTSE (Junction Tensile Strength Efficiency). Une première étude avec une rangée de tiges a permis de classer les paramètres par ordre d'influence sur l'efficacité de la jonction. On trouve, par ordre d'influence décroissant : profondeur d'insertion des tiges, le nombre de tiges, le diamètre des tiges, le serrage de la jonction et enfin la largeur de l'échantillon.

Cette étude a été confortée par des essais avec plusieurs rangées de tiges. Les résultats ont mis en évidence que l'ajout de rangées supplémentaires a pour conséquence une augmentation de l'efficacité de la jonction. Par ailleurs, l'espace entre deux rangées a une influence sur la déformation à la rupture de la jonction. Plusieurs phénomènes de rupture ont été observés et ont permis d'optimiser les paramètres de la jonction.

Par la suite, une étude de la déformation de la carcasse au niveau de la jonction a été menée par photoélasticimétrie. Cette étude a permis de mettre en évidence les phénomènes de déformations de la carcasse textile pendant la charge. De plus, la propagation des efforts dans la carcasse a pu être observée en fonction du nombre de tiges insérées. Le nombre de tiges sur une rangée a été optimisé en fonction de la largeur de l'échantillon pour garantir une bonne efficacité de la jonction.

À l'issue de cette étude, une jonction garantissant une efficacité optimale a été présentée.

En conclusion, ce chapitre a permis de comprendre les différents phénomènes présents dans la jonction mécanique par agrafage et de mettre en évidence les éléments à prendre en compte pour concevoir la jonction innovante. Il faut tout d'abord dire que certains phénomènes de rupture sont à éviter : les fils de chaîne sectionnés, le peignage des fils de trame et le peignage des fils de chaîne. Par ailleurs, la jonction innovante devra être souple et homogène pour éviter des concentrations de contraintes. Enfin, la jonction innovante devra comporter un grand nombre de points d'attache et être bien serrée pour garantir une bonne efficacité.

Le dernier chapitre a permis d'étudier une jonction innovante réalisée par couture. Nous avons pu observer que la couture, bien qu'étant un procédé connu, est difficile à maîtriser en raison de la complexité de sa mise en œuvre sur la bande transporteuse. N'existant pas actuellement de machine pour réaliser de telles coutures, la couture a dû être validée avec une machine standard sur des échantillons de taille réduite. Le comportement du jonctionnement bout à bout par couture n'étant pas satisfaisant, il est ressorti de l'étude du profil de rabouillage qu'une découpe sous forme de dents semblait la plus efficace.

Par ailleurs, la couture comporte plusieurs paramètres dont il fallait étudier l'influence sur l'efficacité de la jonction : la longueur de dents et l'angle des dents par rapport à l'axe de la bande, la densité de couture, la longueur de la couture, la longueur du point de couture et la largeur de la couture ainsi que l'angle de couture qui définit sa trajectoire par rapport à l'axe longitudinal de la bande, la taille de l'aiguille, le type de fil et le titre du fil.

Ces paramètres ont dû être classés et optimisés pour atteindre une jonction optimale par couture. L'influence des paramètres a été estimée à l'aide d'un premier plan d'expériences. Cinq paramètres prépondérants ont pu être dégagés : la longueur des dents, la densité de couture, l'angle de couture, l'angle des dents et la largeur de la couture.

Un deuxième plan d'expériences a permis d'affiner l'évaluation de l'influence de ces paramètres. Nous avons pu constater que les deux paramètres critiques étaient la longueur des dents et la densité de couture. La longueur optimale des dents a pu être déterminée tandis que la densité de couture est à affiner en fonction de la saturation qu'elle engendre sur la matière qui peut endommager la carcasse. Le plan a révélé 18 configurations au dessus de l'objectif d'efficacité de 60% de résistance nominale de la bande transporteuse et a atteint une efficacité maximale de 87%.

Ensuite, le jonctionnement par couture a été testé sur la bande complète, carcasse recouverte de caoutchouc, dont la meilleure efficacité a atteint les 60%. La jonction par couture a été finalement testée sur un banc dynamique pour observer son comportement à l'usage. La jonction résiste très bien dans des conditions extrêmement sévères par rapport à une utilisation normale sur site. Elle a résisté à l'équivalent de trois ans de sollicitations. À l'issue des résultats en traction et de l'étude du comportement dynamique sur banc d'essais, on peut dire que la jonction par couture est prometteuse.

Les éléments mis en évidence lors de l'étude sur la jonction mécanique nous ont permis d'orienter l'étude sur la jonction innovante. En effet, nous avons par exemple préféré un grand nombre de point d'attache avec un fil de résistance plus faible. Nous avons fait attention au serrage de la couture qui agit sur le serrage de la jonction, donc sur son efficacité. Par ailleurs, nous avons fait attention à bien répartir la couture sur l'ensemble de la jonction afin d'éviter des points faibles. Enfin, la couture a été réalisée pour éviter les phénomènes indésirables tels que le sectionnement des fils de chaîne.

En conclusion de ce travail de thèse, nous pouvons dire que la jonction mécanique par agrafage a nécessité de longues études pour arriver à comprendre ses différents phénomènes de rupture. Nous avons montré qu'il était possible d'améliorer la jonction mécanique, mais des études supplémentaires permettraient d'explorer d'autres configurations afin de diminuer les concentrations de contraintes sur les bords de la jonction. Il reste également à déterminer l'espace optimal entre deux rangées. De plus, une étude sur la déformation locale des tiges permettrait de perfectionner la jonction. Enfin, une étude quantitative par photoélasticimétrie permettrait de compléter l'étude du comportement de la jonction.

En outre, le développement de la nouvelle jonction par couture doit être poursuivi. En effet, les différents essais nous ont montré que la jonction est viable et qu'elle satisfait aux exigences requises. Les premiers essais sur le banc dynamique ont permis d'avoir un premier aperçu sur le comportement à l'usage de la jonction par couture. Il s'agirait à présent de réaliser un plan d'expérimentation sur le banc dynamique afin de pouvoir évaluer la durée de vie et la résistance de la jonction après une utilisation prolongée. Alors, la conception et la réalisation d'une machine à coudre spéciale pourront être entreprises afin de réaliser la jonction sur site. Une pré-étude de la machine à coudre est en cours.

Le développement de la jonction cousue devra être poursuivie sur les autres produits renforts textiles tels que le straight warp (produit avec la chaîne droite) ou la bande multi-plies. Ces types de jonctions amènent d'autres défis qui aboutiront à la rédaction d'autres brevets. La couture devra aussi être réalisée dans des conditions industrielles telles que dans des environnements atmosphère explosive, dans le fond des mines, dans les carrières avec un environnement poussiéreux, etc. Plusieurs industries sont concernées par ce type de jonction : les sablières, les mines, les sucreries, les cimenteries, les usines de fabrication de tuiles, les usines d'incinérations, etc. Certaines industries ont des conditions de fonctionnement extrêmement sévères et seront très intéressées par ce mode de jonctionnement plus fiable et plus durable.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. **ADANUR S.**, *Handbook of Weaving*, ed. CRC Press, 2001, 436p.
- [2]. **ADOLPHE D.**, *Cours de typologie des machines à coudre*, ENSISA, Mulhouse, France
- [3]. **AFNOR**, *Points de couture et types de points, partie 6 illustrations des types de points*, NF G 05-002, 1982, 31p.
- [4]. **AMAR K., MOHANTY M. M.**, Lawrence, T., D., *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*, ed. CRC Press, 2005, 875p.
- [5]. **BALEY C.**, *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites*, Ed Techniques Ingénieur, N 2 220, 12p.
- [6]. **BOISSE P., BORR M., BUET K., CHEROUAT A.**, *Finite element simulations of textile composite forming including the biaxial fabric behaviour*, *Composites Part B* **28B** (1997), pp. 453–464
- [7]. **BOUBAKER B. B., B. HAUSSY, GANGHOFFER J.F.**, *Modèles discrets de structures tissées: Analyse de stabilité et de drape*, *C.R. Academy of Sciences Paris t* **330** (2002), pp. 871–877.
- [8]. **BOUBAKER B. B., HAUSSY B., GANGHOFFER J.F.**, *Un modèle discret du couplage entre les fils dans une structure tissée*, *C.R. Academy of Sciences Paris t* **331** (2003), pp. 295–302.
- [9]. **CAMPBELL F. C.**, *Manufacturing processes for advanced composites*, ed. Elsevier Inc., 2004, p. 309-312, 517p.
- [10]. **CHAUMETTE X.**, *Tissus pour un siècle de mode: les textiles et les modes féminines en France au XXème siècle*, Ed. Lafon, 2002, 95p.
- [11]. **CHEROUAT A., BILLOËT J.L.**, *Mechanical and numerical modelling of composite manufacturing processes deep-drawing and laying-up of thin pre-impregnated woven fabrics*, *Journal of Materials Processing Technology* **118** (2001), pp. 460–471.
- [12]. **CLEVINGER J. T.**, *Method of splicing round baler belts*, Brevet 5 415 913, 16 mai 1995.
- [13]. **COLOMBAN PH., HERRERA RAMIREZ J.M., PAQUIN R., MARCELLAN A., BUNSELL A.**, *Micro-Raman study of the fatigue and fracture behaviour of single PA66 fibres: Comparison with single PET and PP fibres*, *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 73, Issue 16, November 2006, Pages 2463-2475
- [14]. **COKER E. G., FILON L.N.G.**, *A treatise on Photoelasticity*, Cambridge University Press, London, 1930, 720p.

-
- [15]. **COMPAGNON P., D'AUZAC J.**, *Le caoutchouc naturel : biologie, culture, production*, Ed. Masionneuve & Larose, 1986, 595p., 317p.
- [16]. **DAGNELIE P.**, *Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse de leurs résultats*, Presses Agronomiques de Gembloux, 2003, 397p.
- [17]. **DALLY J. W., RILEY W. F.**, *Experimental stress analysis*, ed McGraw-Hill, 1978, 571p.
- [18]. **DAVIDS W.G.**, Finite-element analysis of tubular fabric beams including pressure effects and local fabric wrinkling, *Finite Elements in Analysis and Design* **44** (2007), pp. 24–33.
- [19]. **DOERLER MESURES**, Cours de photoélasticité, théorie de la photoélasticimétrie, Vishay.
- [20]. **DURVILLE D.**, *Finite element simulation of the mechanical behaviour of textile composites at the mesoscopic scale of individual fibers*, Recent Advances in Textile Membranes and Inflatable Structures, E. Oñate and B. Kröplin (Eds.), Springer, pp. 15–34, 2008.
- [21]. **DURVILLE D.**, *A Finite Element Approach of the Behaviour of Woven Materials at Microscopic Scale*, J.-F Ganghoffer, F. Pastrone (Eds.): Mech. of Microstru. Solids, Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics 46, pp.39-46, 2009.
- [22]. **FOURNÉ F.**, *Synthetic fibers: machines and equipment*, manufacture, properties, ed. Hanser, USA, 1999, 885p.
- [23]. **FROCHT M. M.**, *Photoelasticity*, Volume 1, Ed. John Wiley, 1941, 523p.
- [24]. **FUNG W.**, *Coated and laminated textiles*, ed. Woodhead Publishing, 2002, 402p.
- [25]. **GOERNER D.**, *Woven structure and design Part 1 Simple Structure*, ed Wira Technology Group, Leeds, 1986, 146p.
- [26]. **GOUPY J.**, *Introduction aux plans d'expériences*, Ed. Dunod, 3e éd., 2006, 293p.
- [27]. **GOUPY J.**, *Plans d'expériences*, Techniques de l'Ingénieur, 10 sept 1997, 26p., réf PE 230.
- [28]. **GU H., ZHILI Z.**, *Tensile behavior of 3D woven composites by using different fabric structures*, Materials & Design, Volume 23, Issue 7, October 2002, Pages 671-674.
- [29]. **HARROCKS A. R., ANAND S. C.**, *Handbook of technical textiles*, ed. CRC Press, 2000, 559p., p.179-183.
- [30]. **HETÉNYI M.**, *Handbook of experimental stress analysis*, Ed. Wiley 1 Sons Inc., 1947, 1077p., ISBN-0471382140.
- [31]. **JESSE W. R.**, *Endless Conveyor or Elevator*, Brevet 470 918. 15 mars 1892.
- [32]. **KOHKAR N.**, *3D-weaving and noobing: characterization of interlaced and non-interlaced 3D fabric forming principles*, ed. Chalmers tekniska högsk., 1997, 37 p.

-
- [33]. **LORD P. R., MOHAMED M. H.**, *Weaving: Conversion of yarn to fabric*, ed. Crafts & Hobbies, USA, 1982, 368p.
- [34]. **MANSOUR E.**, *Splicing procedure Depreux solid woven belt*, 2007, 18p.
- [35]. **MANSOUR E.**, *Méthodes de jonctionnement Depreux pour bandes multi-plis caoutchouc noir*, 2010, 12p.
- [36]. **MINISTERE DE L'AIR**, *Actes de colloque international de mécanique*, Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'air, Issue 261 et 263, Ed. SDIT, France, 1930, OCLC 637887505, disponible à la bibliothèque de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale, Délémont, Suisse.
- [37]. **NAUMAN S., BOUSSU F., LEGRAND X., KONCAR V.**, *Geometrical Modeling of 3D Interlock fabric*, Proceedinds of 13th European Conference on Composite Materials, June 2-5 2008
- [38]. **OELSNER G. H.**, *A handbook of weaves*, ed. Crafts & Hobbies, 1952, USA.
- [39]. **PETITET G., BARQUINS M.**, *Matériaux caoutchouteux: morphologies, formulations, adhérence, glissance et usure*, ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2008, 447p.
- [40]. **PIEZEL B.**, *Comportement et analyse multiéchelle d'un composite à renfort tissé tridimensionnel*. Thèse ParisTech. Paris : ENS des mines de Paris, 2010, 268 p. Thèse confidentielle
- [41]. **PIRARD A.**, *La Photoélasticité*, Ed. Dunod, 1947, 419p.
- [42]. **POZZA G.**, *Les Fibres synthétiques: principes de fabrication, teinture et apprêts*, ed. Sodiep, 111p.
- [43]. **REIS D., VIAN B., BAJON C.**, *Le monde des fibres*, Ed. Belin, Paris, 2006, 351p.
- [44]. **ROBERTS M. J., SAUL. K.**, *Belting*, 4 427 107, 24 janvier 1984.
- [45]. **SCHINDLER W. D., HAUSER, P., J.**, *Chemical finishing of textiles*, ed. Woodhead Publishing, textile Institute, Manchester, England, 2004, 213p.
- [46]. **SERRURE L.**, *Atlas de 4000 armures*, ed. L'industrie textile, Paris, 1977, 600p.
- [47]. **SEN A. K.**, *Coated textiles: principles and applications*, ed. CRC Press, 2007, 236p.
- [48]. **SHANG Z., SHUONG V. H.**, *Modeling of 3D angle interlock woven fabric composites*, J. Thermoplastic Composite Materials, vol. 16 (1), pp 45-46, 2003.
- [49]. **SINOIMERI A.**, *Contribution à l'étude du comportement mécanique des étoffes par méthodes énergétiques : cas de l'armure toile*. Thèse de doctorat. Université de Haute Alsace: Mulhouse, France, 1993, 207 p., bibl.: 46 réf., No : 93 MULH 0299.
- [50]. **STANTON W.**, *Device for Unloading Grain from Ships*. Brevet 8452. 15 Octobre 1878.
- [51]. **STECKER P.**, *The fashion design manual*, ed. Palgrave Macmillan Australia, 1996, 294p.

- [52]. **STOLZ H.**, *Connecting strip for conveyor belts*, Brevet 4 315 349, 16 février 1982.
- [53]. **STOLZ H.**, *Convector for conveyor belting*, Brevet 4 653 156, 31 mars 1987.
- [54]. **TARFAOUI M.**, *Modélisation du comportement mécanique des structures tissées par la méthode des éléments finis : cas de la toile et du sergé*, Thèse de doctorat, Université de Haute Alsace, Mulhouse, France, 1999, 229p., No : 99 MULH 0552.
- [55]. **THOMPSON V.H.**, *Conveyor belt system*, Brevet 6 672 451 B1, 6 janvier 2004.
- [56]. **WHITNEY T.J., CHOU T.W.**, *Modeling of 3-D angle-interlock textile structural composites*. *J Compos Mater* **23** (1989), pp. 890–911.
- [57]. **ZARROUK Z., DUPRE J.-C., JARNY S., MONNET P., VALLE V.**, *Détermination de contraintes par mesures de biréfringence : Application à la rhéométrie de fluides thixotropes*, 11e Congrès Francophone de Techniques Laser, CFTL 2008, Futuroscope, 16–19 septembre 2008.
- [58]. **ZENINA A., DUPRÉ J. C., LAGARDE A.**, *Separation of isochromatics and isoclinics patterns of a slice optically isolated in a 3D photoelastic medium*, *European Journal of Mechanics*, Vol.18, p. 633-640, 1999.

REFERENCES INTERNET

Toutes les références ont été vérifiées le 25 septembre 2010.

- [url 1] http://www.phoenix-cbs.com/pages/world-records/fastest/fastest_fr.html
- [url 2] http://www.phoenix-cbs.com/pages/world-records/longest/longest_fr.html
- [url 3] <http://fr.academic.ru/dic.nsf/frwiki/178356>
- [url 4] http://www.phoenix-cbs.com/pages/world-records/strongest/strongest_fr.html
- [url 5] http://www.phoenix-cbs.com/pages/world-records/highest-capacity/highest-capacity_fr.html
- [url 6] http://www.phoenix-cbs.com/pages/products/textile/uniflex/uniflex_fr.html
- [url 7] <http://www.naturalfibres2009.org/fr/fibres/index.html>
- [url 8] <http://www.transco.tm.fr>
- [url 9] <http://www.gbtp.com.au/media/news/fabricCoatingPlant/fabricCoatingPlant3.jpg>
- [url 10] [http://www.mlt-eu.com/multiside/PDF/Superscrew-Montage_\(F\).pdf](http://www.mlt-eu.com/multiside/PDF/Superscrew-Montage_(F).pdf)
- [url 11] <http://www.logismarket.fr/ip/caljan-rite-hite-systemes-d-impression-pose-d-etiquettes-pour-ligne-de-convoyage-automatisee-systemes-d-impression-pose-d-etiquettes-pour-ligne-de-convoyage-automatisee-445224-FGR.jpg>
- [url 12] http://www.phoenix-cbs.com/pages/products/special-belts/phoenopipe/phoenopipe_fr.html
- [url 13] http://www.phoenix-cbs.com/pages/products/steel-cord/phoenocord/phoenocord_fr.html
- [url 14] [http://www.mlt-eu.com/multiside/PDF/Waterbag_\(F\).pdf](http://www.mlt-eu.com/multiside/PDF/Waterbag_(F).pdf)
- [url 15] http://www.mlt-eu.com/multiside/lief_superscrew.php?sprache=F
- [url 16] http://img.alibaba.com/photo/108290575/conveyor_belt_fasteners_plate_hawk_jackson_oval_type.jpg
- [url 17] <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/conveyor-belt-fasteners-and-splicing-equipment-790/belt-conveyor-61756.html>
- [url 18] http://www.afmindustries.com/products/images/splice_JPG.jpg
- [url 19] <http://100associes.free.fr/Expo4/ExpoTemp4.html>
- [url 20] <http://sarajevojepii.up.pt/ENGLISH/YOUNG%20TEACHER/MASA/pictures/multifilament.png>
- [url 21] <http://www.barry.ca/publication/rt-technical-properties-of-synthetic-fibres-oct-08.pdf>

ANNEXES

SOMMAIRE DES ANNEXES

Annexe 1.	Les différents types de bandes transporteuses.....	158
1.	<i>Les bandes à renfort textile</i>	<i>158</i>
2.	<i>Bandes à renfort acier</i>	<i>158</i>
3.	<i>Utilisations des bandes transporteuses.....</i>	<i>159</i>
Annexe 2.	Les différentes familles d’armures textiles	161
1.	<i>Armure</i>	<i>161</i>
2.	<i>Toile.....</i>	<i>161</i>
3.	<i>Sergé.....</i>	<i>161</i>
4.	<i>Satin</i>	<i>161</i>
Annexe 3.	Le fil	163
1.	<i>Le fil</i>	<i>163</i>
2.	<i>Le fil formé de multi filaments continus</i>	<i>163</i>
3.	<i>Le fil formé de fibres discontinues.....</i>	<i>164</i>
4.	<i>La torsion des fils.....</i>	<i>164</i>
Annexe 4.	Les matières des fibres	165
1.	<i>Les fibres naturelles.....</i>	<i>165</i>
2.	<i>Les fibres chimiques.....</i>	<i>166</i>
Annexe 5.	Les caractéristiques techniques du renfort textile	170
Annexe 6.	Les tissus complexes.....	171
1.	<i>Tissu complexe avec angle</i>	<i>171</i>
2.	<i>Tissu complexe orthogonal.....</i>	<i>171</i>
3.	<i>Tissu complexe couche à couche</i>	<i>171</i>
Annexe 7.	Les enroulements des bandes transporteuses.....	172
Annexe 8.	Les systèmes d’agrafage	173
1.	<i>Les systèmes d’agrafage légers.....</i>	<i>173</i>
2.	<i>Les systèmes d’agrafage lourds</i>	<i>177</i>
Annexe 9.	Les configurations d’agrafage.....	179
Annexe 10.	Haltère normalisé d’essai de traction.....	180
Annexe 11.	Carte de contrôle et de surveillance	181
Annexe 12.	Classes de point de couture.....	182
1.	<i>Le point de chaînette (classe 100).....</i>	<i>182</i>
2.	<i>Le point fait main (classe 200).....</i>	<i>183</i>

3.	<i>Le point noué (classe 300)</i>	183
4.	<i>Le point de chaînette à plusieurs fils (classe 400)</i>	183
5.	<i>Le point de surjet (classe 500)</i>	183
6.	<i>Le point de recouvrement (classe 600)</i>	183
Annexe 13.	Type de pointes des aiguilles	184
Annexe 14.	Comparaison des matières de fils techniques	185
Annexe 15.	Matrice d'expérience du plan 2	187
Annexe 16.	Détails de l'influence des paramètres	188
1.	<i>Interaction angle couture/angle dents</i>	188
2.	<i>Interaction angle couture/longueur dents</i>	188
3.	<i>Interaction largeur couture/angle couture</i>	189
4.	<i>Interaction largeur couture/longueur dents</i>	189

Annexe 1. Les différents types de bandes transporteuses

1. Les bandes à renfort textile

Les bandes transporteuses à renfort textile sont utilisées dans la plupart des applications de convoyages par bande transporteuse. Il y a les bandes mono-pli et les bandes multi-plis. Les renforts textiles apportent des avantages en termes de souplesse en flexion au passage des tambours.

1.1. Bandes mono-pli

Les bandes mono-pli sont formées d'une seule couche de renfort textile (Figure A.1) [url 8]. L'effort transmis peut aller jusqu'à 3150N/mm en traction nominale chez COBRA SA [url 8]. L'avantage de ce type de bandes est qu'il est très résistant aux déchirures.

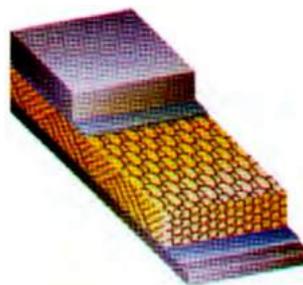


Figure A.1. Bande mono-pli.

1.2. Bandes multi-plis

Les bandes multi-plis sont formées de plusieurs couches de renfort textile séparées par du caoutchouc anti feu (Figure A.2) [url 8]. L'effort transmis peut aller jusqu'à 2500N/mm en traction nominale chez COBRA SA [url 8]. L'avantage de ce type de bandes est qu'il est relativement facile à fabriquer.

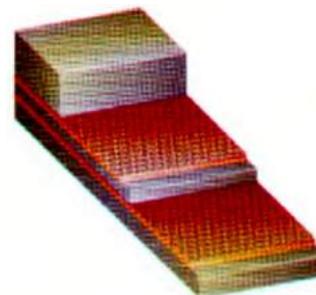


Figure A.2. Bande multi-plis.

2. Bandes à renfort acier

Les bandes à renfort en acier sont utilisées dans des cas où les efforts transmis sont plus importants et où les conditions sont plus difficiles. L'utilisation d'un renfort en acier permet de fabriquer une bande plus large, donc avec une plus grande capacité. Les avantages de ce type de renforts sur la bande transporteuse sont multiples. Effectivement, la bande transporteuse a une excellente capacité à se mettre en auge, car les câbles métalliques sont dans le sens de la longueur de la bande. De plus, la résistance à la rupture de la bande est nettement supérieure à celle renforcée par un textile. Ensuite, le jonctionnement obtenu sur ce type de renforts est plus solide que celui du renfort textile. Cependant, le principal inconvénient de ce type de bandes transporteuses est que la résistance à la déchirure dans le sens longitudinal est bien plus faible que celle d'une bande renforcée par un textile. Un exemple de bande transporteuse à renfort acier est présenté sur la Figure A.3 [url 13].

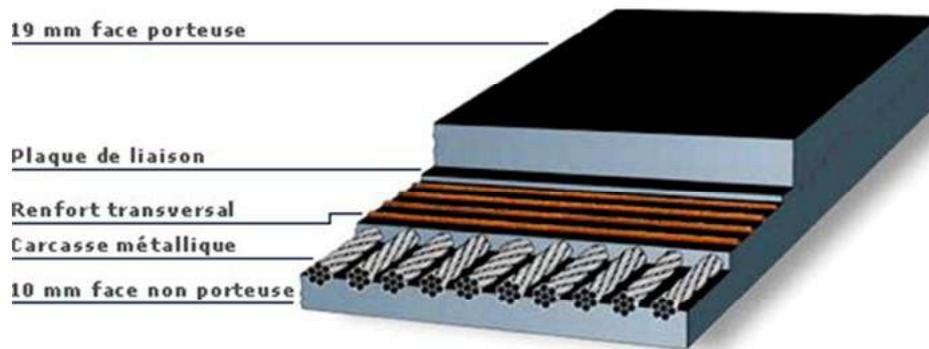


Figure A.3. Exemple de bande transporteuse à renfort acier.

3. Utilisations des bandes transporteuses

La bande transporteuse peut être utilisée dans différentes configurations. En effet, il existe la bande qui fonctionne à plat, la bande qui fonctionne en auge et celle qui fonctionne sous forme de tube. Toutes ces configurations sont décrites dans les points suivants.

3.1. Bandes plates

Les bandes plates sont utilisées dans le transport de matière non granuleuse ou des objets solides (Figure A.4) [url 8] et [url 11]. La bande ne travaillera qu'en traction axiale, flexion axiale et compression.



Figure A.4. Exemples de bandes plates : tri de déchets et convoyage de marchandise.

3.2. Bandes en auge

Les bandes en auge vont être utilisées dans les transports de matières granuleuses, par exemple dans les mines, les gravières, etc. (Figure A.5) [url 8]. Ces bandes seront soumises à une flexion transversale en plus des autres sollicitations.



Figure A.5. Exemples de bandes en auge : convoyage de pulpe et convoyage de charbon.

3.3. Bandes tubulaires

Les bandes tubulaires (Figure A.6) [url 12] et [url 8] sont utilisées dans le cas de convoyage de matière liquide ou visqueuse. Elles peuvent aussi être le moyen de transport dans le cas d'un site à très forte pente (jusqu'à 45°). Dans ce cas, elles permettent de réduire la longueur du convoyeur. Elles offrent également des avantages environnementaux, car le convoyage de la matière est fermé, donc la matière transportée est à l'abri de toute pollution extérieure, ou inversement. Elles offrent également l'avantage de pouvoir transporter de la matière chaude (160°C maxi). Ces bandes sont composées en général d'un renfort textile.

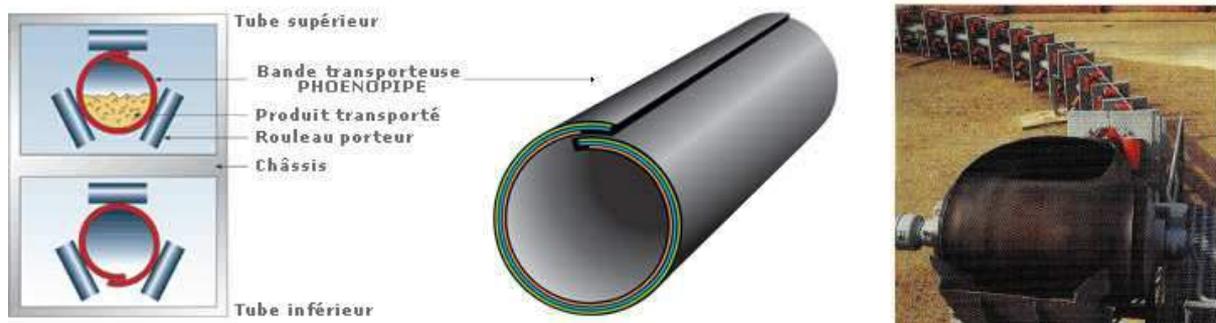


Figure A.6. Bande tubulaire.

Annexe 2. Les différentes familles d'armures textiles

1. Armure

L'armure définit le motif élémentaire d'entrecroisement des fils de chaîne et trame que l'on reproduit à l'infini pour former le tissu. Il existe trois familles d'armure : la toile, le sergé et le satin. Le changement de l'armure d'un tissu va permettre de modifier les aspects techniques ou esthétiques du tissu. L'armure est souvent représentée par un dessin avec des cases noires et blanches définissant les fils de chaîne et de trame respectivement pris ou laissés vu du dessus du tissu. Les fils de chaîne sont représentés sur la ligne verticale et les fils de trame sur la ligne horizontale.

2. Toile

La toile est l'armure la plus simple sur laquelle est basée la plupart des tissus d'habillement et d'applications techniques. Elle est formée par un entrecroisement d'un fil de chaîne et un fil de trame (Figure A.7 [url 19], Figure A.10 [43] et Figure A.11 [43]).

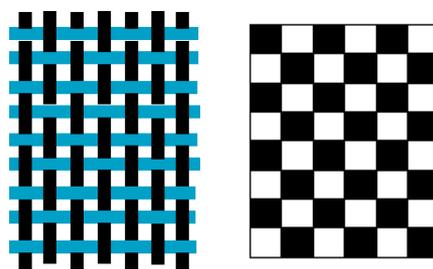


Figure A.7. Armure toile.

3. Sergé

Le sergé est caractérisé par une côte dans le sens de la diagonale de l'armure. Celui-ci présente une rigidité plus faible que la toile, donc une conformabilité plus aisée (Figure A.8 [url 19]). Le sergé est couramment utilisé pour le célèbre jean (Figure A.10) [43].

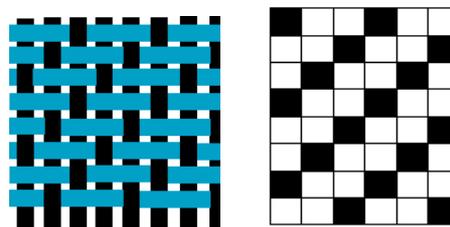


Figure A.8. Armure sergé.

4. Satin

Le satin présente des flottés de longueur importante (Figure A.9 [url 19] et Figure A.10 [43]). Il en résulte donc d'une part une faible apparition des points de liage (effet brillant) et d'autre part une très faible rigidité en cisaillement faisant du satin l'armure la plus conformable.

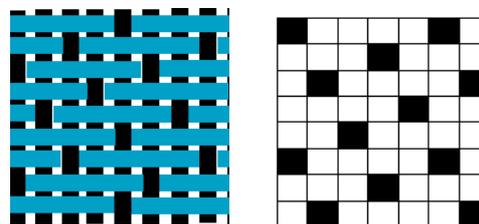


Figure A.9. Armure satin.

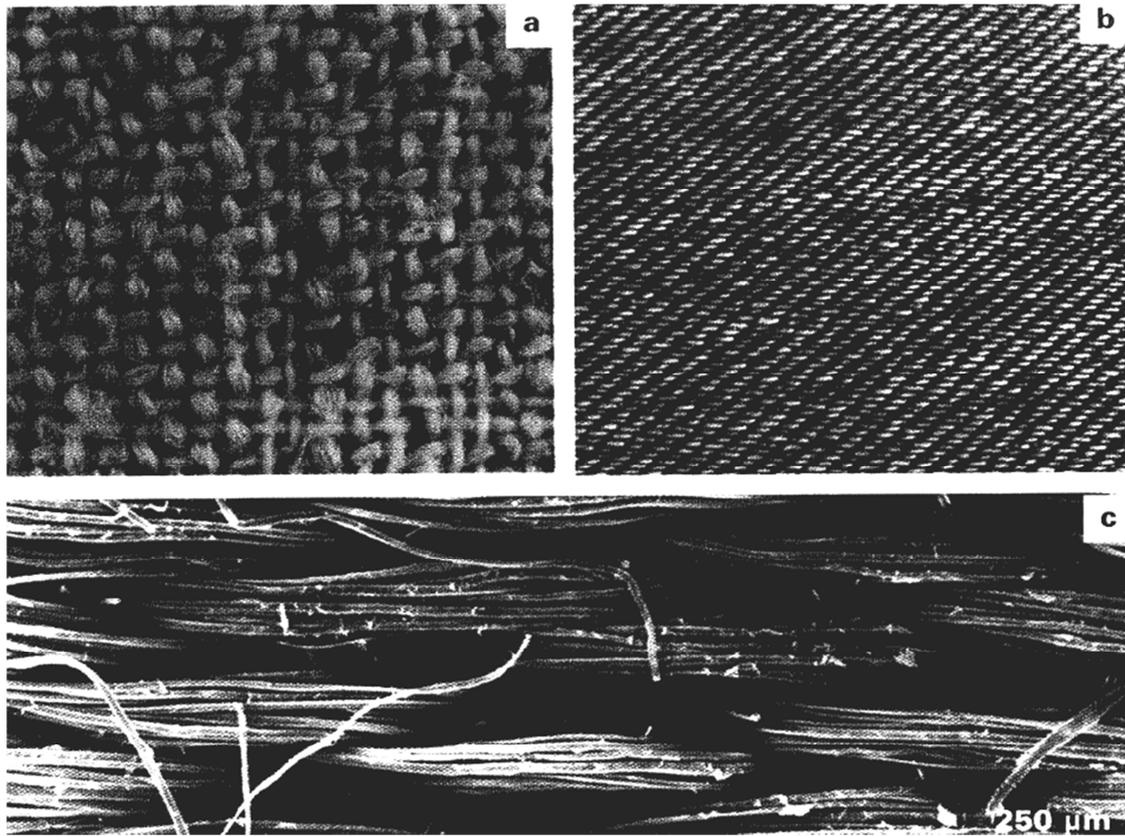


Figure A.10. Exemple de tissu d'armure toile (a), sergé (b) et satin (c).



Figure A.11. Image microscopique d'un tissu toile.

Annexe 3. Le fil

1. Le fil

Il existe deux types de fil. En effet, en fonction de l'application finale du fil, la composition ne va pas être la même. Sur la Figure A.12 [43], on peut distinguer un fil formé de nombreuses fibres longues et continues que l'on appelle filament et un autre fil formé de nombreuses fibres courtes et discontinues, appelé filé de fibres.

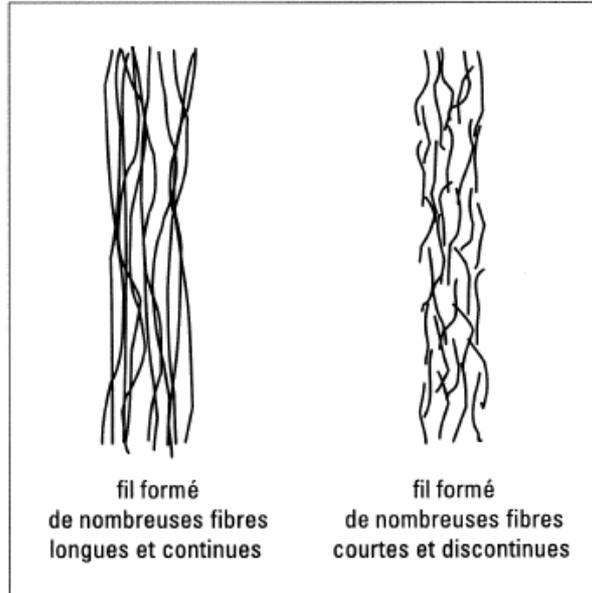


Figure A.12. Deux types de fils.

2. Le fil formé de multi filaments continus

Les fils multi-filaments sont composés d'un grand nombre de filaments. Ces fils de multi-filaments sont formés de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de filaments. L'avantage de ces fils est que l'on peut les utiliser avec très peu de torsion. La Figure A.13 [url 20] présente quelques exemples d'applications. Le premier fil est composé de multi filaments droits. Le deuxième et le troisième fils sont composés de plusieurs fils multi filaments tressés ensemble. Enfin, le dernier fil est composé de plusieurs fils multi filaments torsadés ensemble formant un fil plus important. Enfin, les filaments peuvent être d'origine chimique ou animale comme la soie.



Figure A.13. Fils multi-filaments.

3. Le fil formé de fibres discontinues

Les fibres discontinues peuvent être synthétiques ou naturelles. Les fibres naturelles ont une longueur naturellement courte (quelques centimètres), mais les fibres chimiques sont coupées pour en faire des fibres courtes. Les fils sont obtenus par retordage des fibres. La cohésion du fil obtenu est due au frottement inter fibre et à la torsion du fil. L'avantage de ce genre de fibres, c'est que la résistance des fils en fatigue est largement augmentée.

4. La torsion des fils

Les fils peuvent être torsadés. En effet, la cohésion d'un fil est obtenue par sa torsion. Dans le cas d'un fil multi-filament, la torsion va éviter que le fil s'ouvre. En revanche, dans le cas d'un fil formé de fibres discontinues et courtes, la cohésion du fil est directement liée à sa torsion. Effectivement, c'est le frottement inter-fibre qui donne au fil sa cohésion et sa résistance. C'est pourquoi, la torsion est un paramètre des plus importants pour un fil. Il existe deux sens de torsion : la torsion en S et la torsion en Z. Comme on peut l'observer sur la Figure A.14 [43] on peut réaliser des assemblages de plusieurs fils par la torsion, qu'ils soient multi-filaments ou formé de fibres courtes. On appelle les fils ainsi obtenus des retors. Ils peuvent être simples ou dits câblés, lorsqu'ils sont formés par des torsions successives. On peut remarquer que dans le cas de torsions successives, on change de sens de torsion à chaque étape.

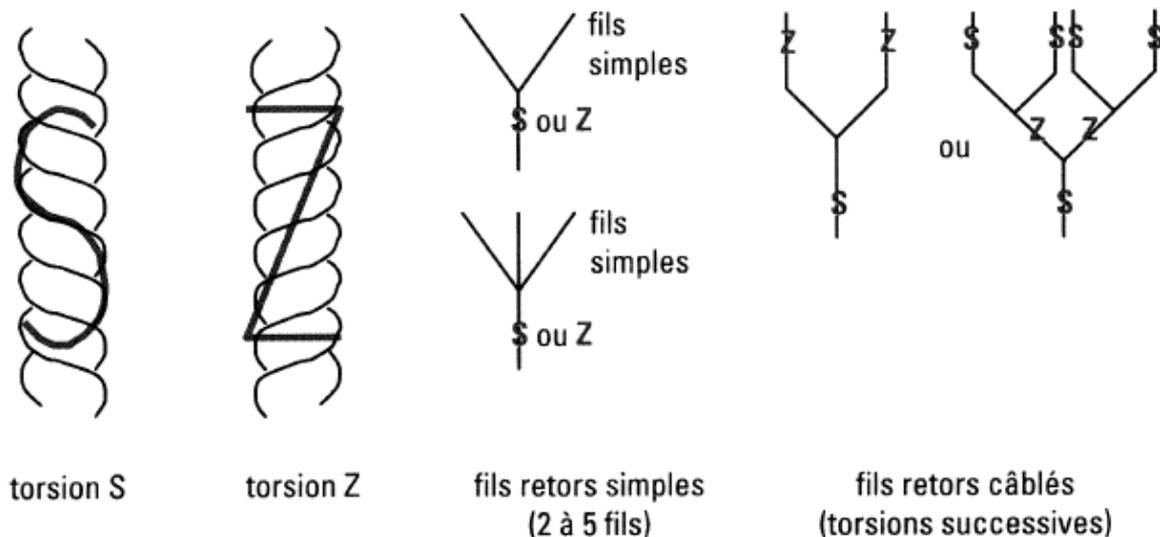


Figure A.14. Torsion des fils.

Annexe 4. Les matières des fibres

Il existe deux grandes familles de fibres : les fibres de source naturelle et les fibres de source chimique. Les fibres naturelles sont issues des végétaux ou des animaux, tandis que les fibres chimiques sont obtenues par voie chimique. Sur la Figure A.15 [43], on peut distinguer les fibres synthétiques qui sont lisses et les fibres animales qui présentent des écailles.

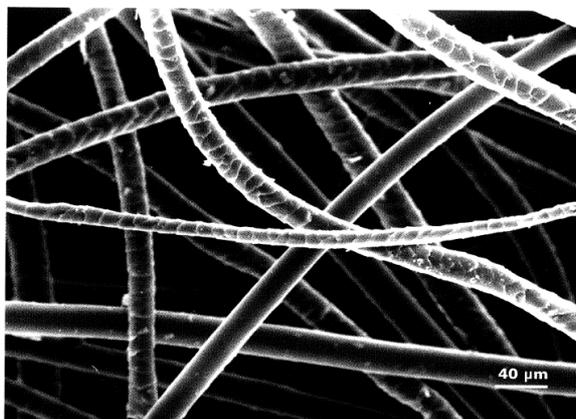


Figure A.15. Différence entre les fibres naturelles et les filaments : laine/polyamide.

1. Les fibres naturelles

Les fibres naturelles proviennent des végétaux comme le lin, le coton, le chanvre, la fibre de coco, la fibre de bambou... Les fibres naturelles ont la particularité d'être extrêmement complexes. On peut le constater sur la Figure A.16 [43]. Les fibres végétales nécessitent souvent un long cheminement pour se trouver sous la forme d'une bobine de fil (Figure A.17) [43]. Les fibres animales proviennent des animaux. On peut citer par exemple les vers à soie qui fabriquent des fils de soie, les araignées qui fabriquent les toiles ou tout simplement la laine, qui provient des poils des animaux comme le mouton ou le yack.

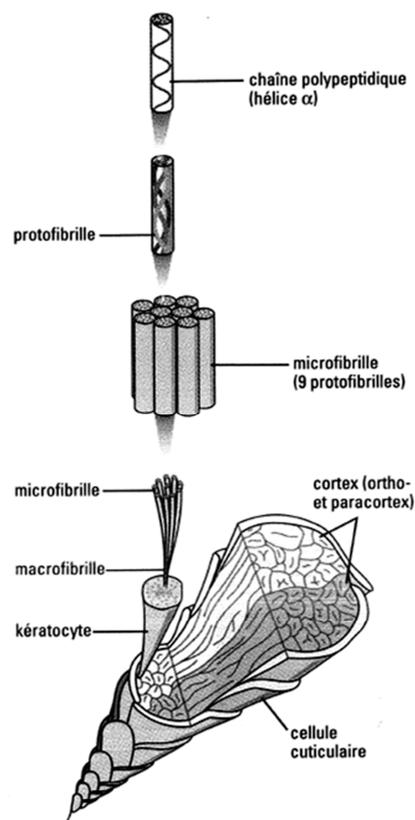


Figure A.16. Exemple de fibre naturelle : laine.

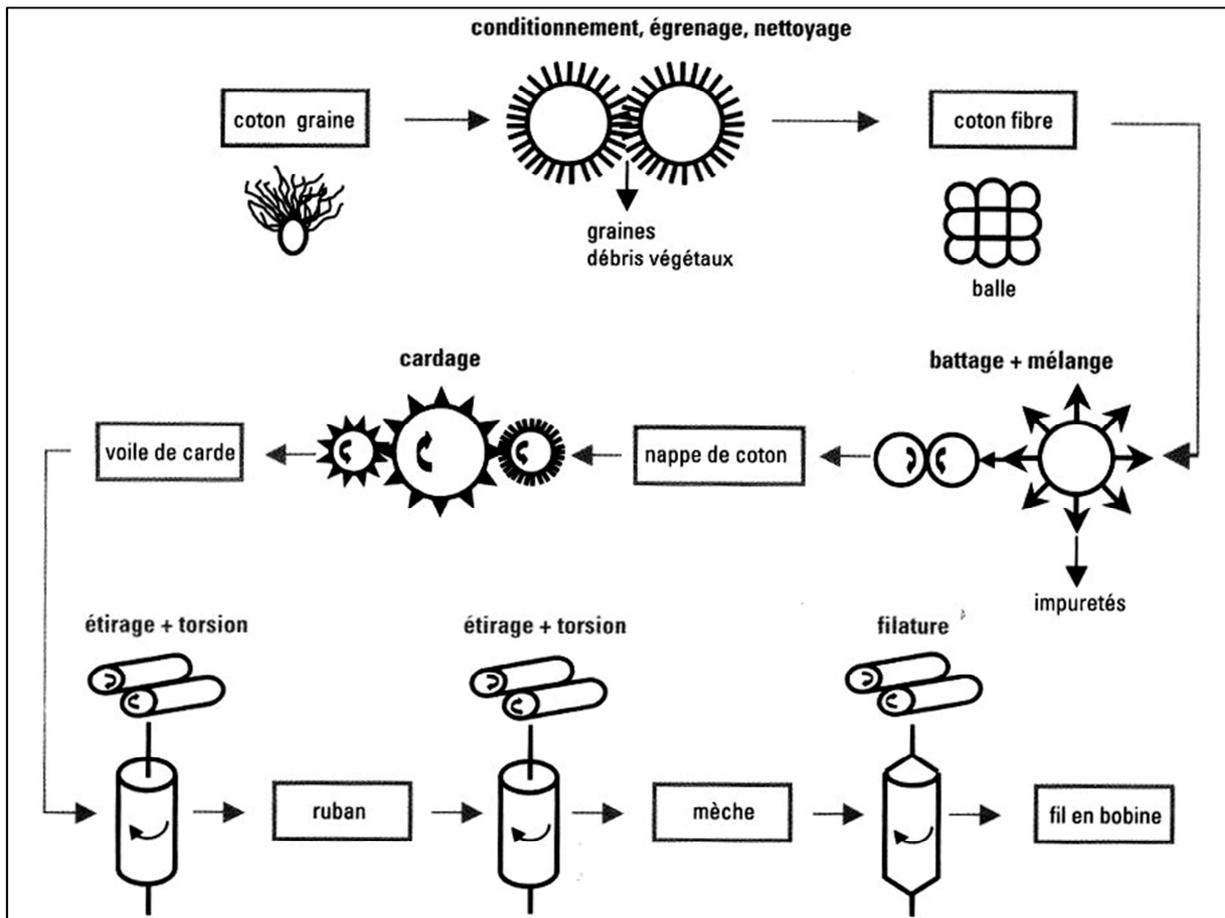


Figure A.17. Exemple de conditionnement de fibre naturelle : le coton.

2. Les fibres chimiques

Les fibres chimiques sont toutes celles qui sont obtenues par voie chimique. On peut distinguer deux classes de fibres chimiques : les fibres synthétiques et les fibres artificielles

2.1. Les fibres synthétiques

Les fibres synthétiques résultent de la polymérisation de monomères spécifiques (Figure A.18) [43]. Elles sont fabriquées essentiellement pour leurs propriétés techniques particulières. En effet, les fibres synthétiques peuvent avoir des propriétés mécaniques et chimiques bien plus importantes que les fibres naturelles. Elles ont l'avantage d'avoir une longueur « infinie ». Elles ont aussi l'avantage d'avoir une grande régularité, car fabriquées sur mesure. On peut ainsi créer différentes sections de fibres (Figure A.19) [43]. La section de la fibre agit sur ses propriétés : brillance, adhérence, isolation, capillarité...

Quatre familles de fibres synthétiques sont très courantes en textile : les polyamides, les polyesters, les polyvinyliques et les polyacryliques.

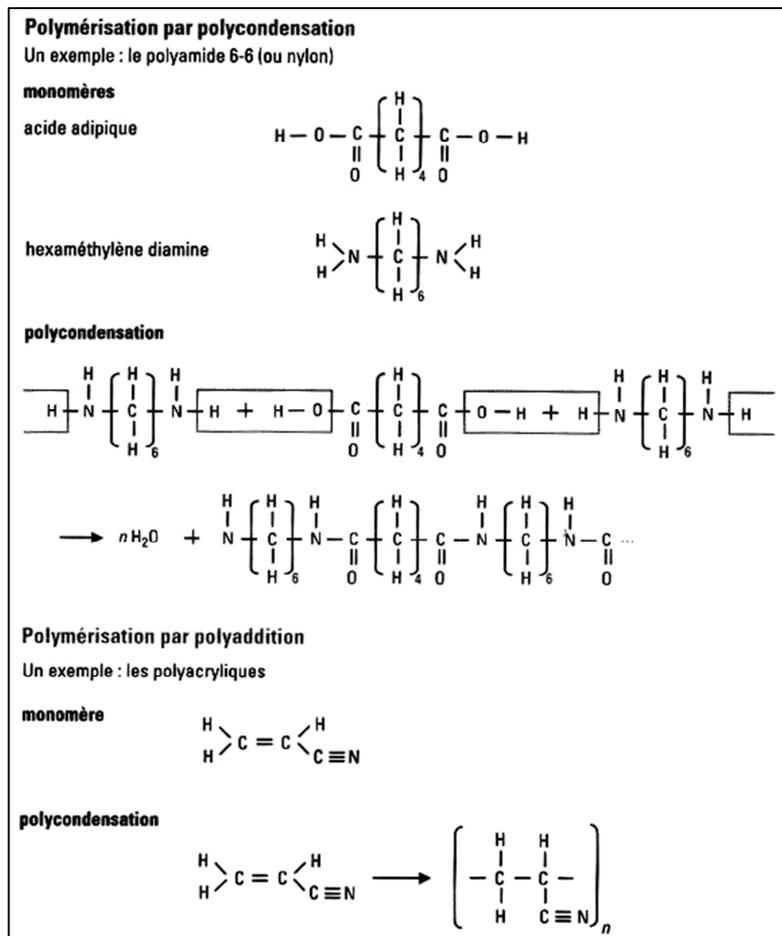


Figure A.18. Fabrication des fibres synthétiques.

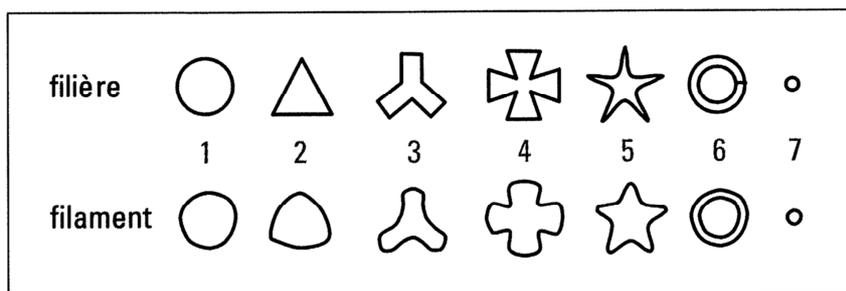


Figure A.19. Filières pour filage des fibres synthétiques et filaments respectivement obtenus.

2.2. Les fibres artificielles

Les fibres artificielles sont obtenues par traitement chimique de fibres animales (protéines) ou végétales (cellulose).

La matière la plus utilisée pour créer des fibres artificielles est la cellulose, extrait végétal du bois. Cependant, des fibres peuvent être fabriquées à l'aide des protéines extraites du lait ou des plantes oléagineuses.

La fibre artificielle la plus connue est la viscose (Figure A.20) [43].

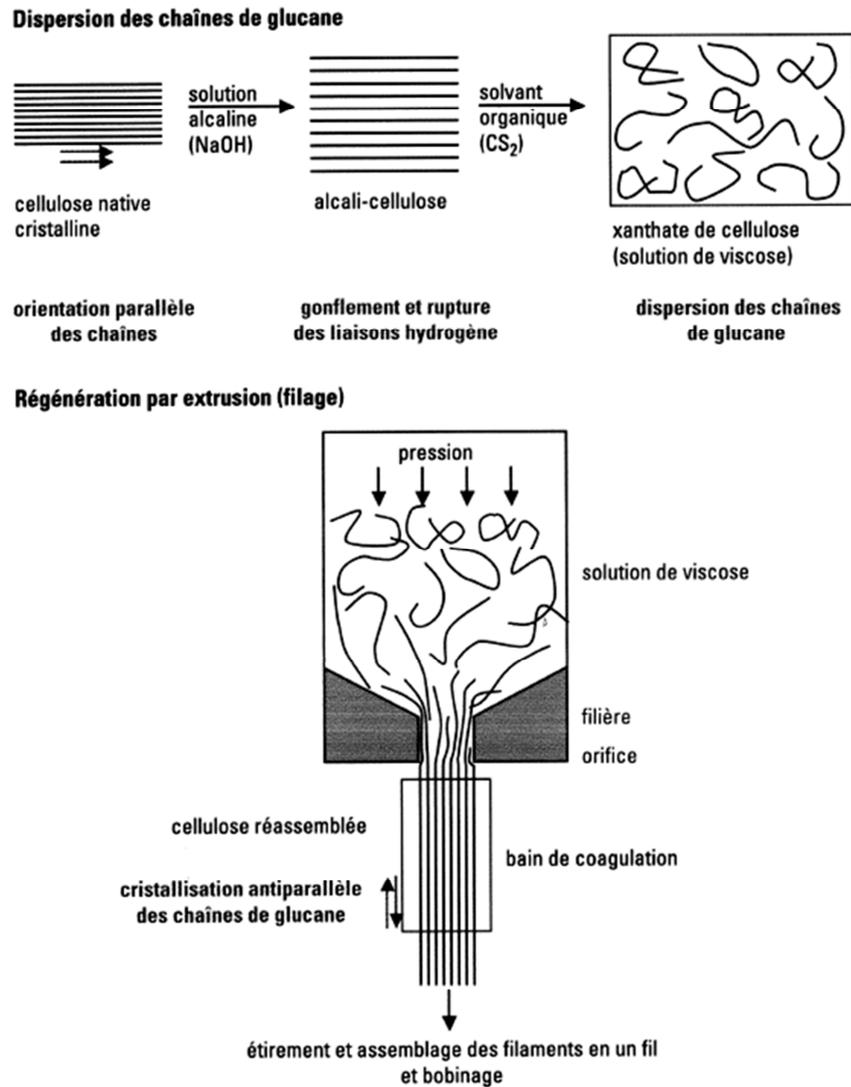


Figure A.20. Fabrication de la viscose.

2.3. Le filage des fibres chimiques

Toutes les fibres chimiques sont obtenues par filage. Suivant les fibres fabriquées, différents procédés de filages peuvent être utilisés (Figure A.21) [43].

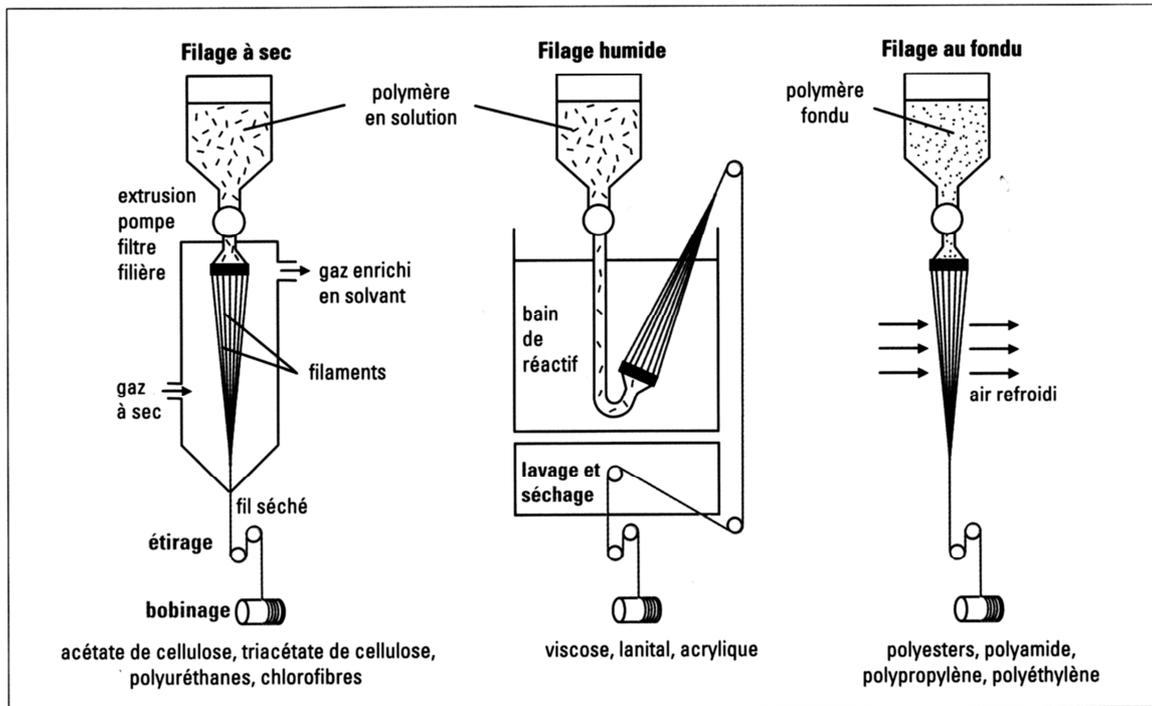


Figure A.21. Voies du filage par extrusion.

Annexe 5. Les caractéristiques techniques du renfort textile

Tableau A. 1. Spécification du renfort textile E-B-P/B 1400/1.

SPECIFICATION		Client : Recherche		
Type / Type :	E-B-P/B 1400/1 avec trame 1400x4t140hrt+2 cot 14	Code Nr :		
		Position :		
		Date / Date :	07/12/2007	
Designation	Dim	specifications		
		mini		max
Pourcentage matière /Material percentage	%			
Chaîne / Warp:	Polyester	100%E		
Trame / Weft:	Polyamide 6.6 et coton	80%P et 20%B		
Matelas / Covering war	Coton	100%B		
Titre / Title :	dtex			
Chaîne / Warp:		1100x12 t1W70		
Trame / Weft:		1400x4t140hrt+2 coton 14		
Matelas / Covering warp		coton 14x6		
Torsion / Twist :	Tr/m			
Chaîne / Warp:		55 S		
Trame / Weft:		70 S		
Matelas / Covering warp		80 S		
Armure / Pattern		4-3-2-83		
Compte fils / Number of ends :	F/dm			
Chaîne / Warp:		235	238+/-3	241
Trame / Weft:		78	80 +/- 2	82
Matelas / Covering warp		58	60+/-2	62
Resistance à la Rupture retors / Yarn tensile strength	N			
Chaîne / Warp:		> 1050	> 1050	
Trame / Weft:		> 900	> 900	
Allongement à la rupture retors / Yarn elongation at break	%			
Chaîne / Warp:		10%	15+/-5	20%
Trame / Weft:		15%	20 +/-5	25%
Résistance à la force max tissu / Fabric theoretical tensile strength:	N/5cm			
Chaîne / Warp:		> 2400	> 2400	
Trame / Weft:		> 720	> 720	
Embavage /Crimp	%			
Chaîne / Warp:		12	15+/-3	18
Trame / Weft:		1,5	3+/-1,5	4,50
Matelas / Covering warp		6	8+/-2	10
Epaisseur / Thickness	mm	7,5	8,5+/-1	9,50
Poids / weight	g/m ²	5100	5300+/-200	5500

Annexe 6. Les tissus complexes

1. Tissu complexe avec angle

Dans le tissu complexe à angle, les fils de chaîne entrecroisent tout le tissu avec un angle qui dépend de l'armure. Le renfort est donc réparti suivant trois directions : le sens chaîne, le sens trame, et suivant l'angle du fil traversant l'ensemble du tissu. On peut le voir sur la Figure A.22 [9] en indice (a). On parle de tissu complexe 3D ou interlock 3D.

2. Tissu complexe orthogonal

Dans le tissu complexe orthogonal, en plus des fils de chaîne et de trame, d'autres fils renforcent le tissu en traversant ce dernier d'une manière verticale pour former des lacets. On peut le voir sur la Figure A.22 [9] en indice (d).

3. Tissu complexe couche à couche

Dans le tissu complexe de couche à couche, il n'y a que deux types de fils formant le renfort. En effet, les fils de chaîne entrecroisent plusieurs couches de fils de trame, avec un angle qui dépend de l'armure. En indice (b) de la Figure A.22 [9], on peut voir un entrecroisement entre 3 couches, tandis qu'en indice (c), le tissu complexe de couche à couche comporte un entrecroisement de deux couches seulement. On parle dans ces deux cas de tissu complexe 2,5D ou interlock 2,5D, car il n'y a pas de présence de fils de chaîne horizontaux.

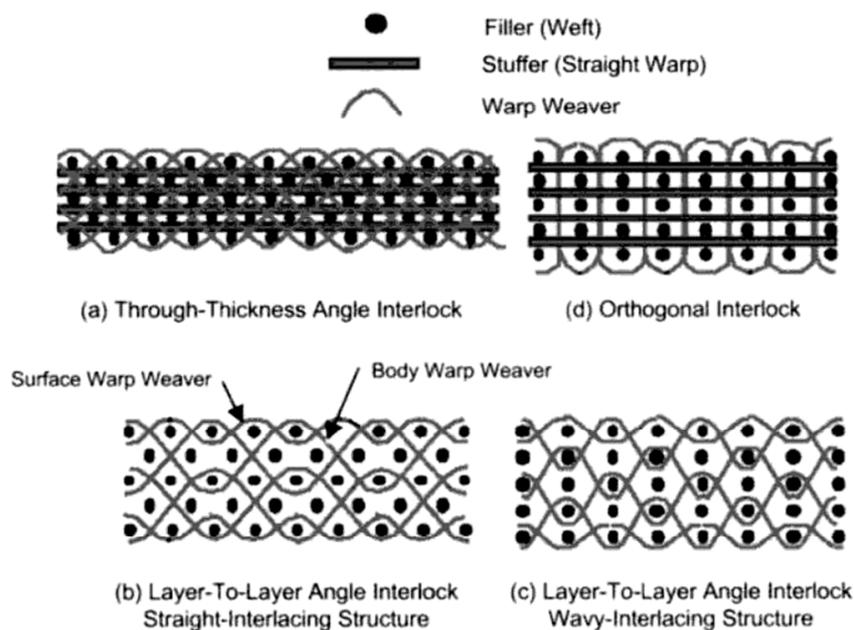


Figure A.22. Dessins de tissus complexes

Annexe 7. Les enroulements des bandes transporteuses

Afin de pouvoir minimiser le nombre de jonctions, les bandes sont enroulées avec le maximum de longueur. Cela est limité suivant le mode de transport et la situation finale de la bande. La capacité de manutention étant limitée dans les mines de fond, il sera plus difficile de transporter et d'installer des rouleaux de bande très lourde. La longueur de la bande peut aller jusqu'à 300m maximum en raison des contraintes de poids et de diamètre des rouleaux. Les différentes configurations de bobinage possibles sont présentées sur les figures ci-dessous [url 8]. Attention, les enroulements présentés peuvent contenir un ou des plis de bandes dans le rouleau.



Figure A.23. Rouleaux de bande.

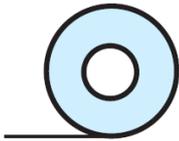


Figure A.24. Une seule bobine.

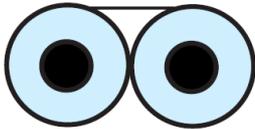


Figure A.25. Cassette de deux bobines avec la fin à l'intérieur.

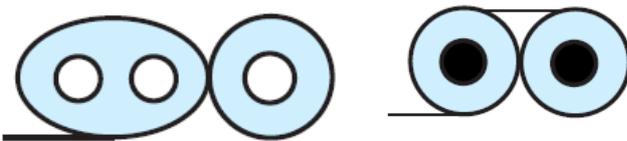


Figure A.26. Cassette de bobines enroulées avec la fin à l'extérieur.

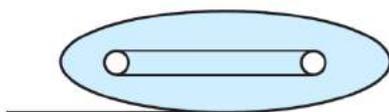


Figure A.27. Une bande enroulée d'une manière ovale.

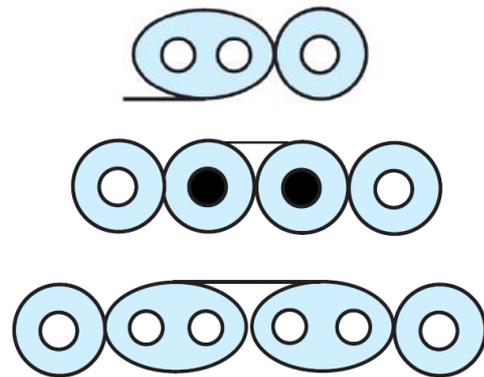


Figure A.28. Cassettes de bobines avec deux bouts à l'extérieur.

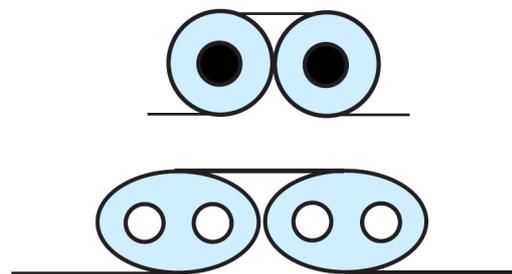


Figure A.29. Une bande enroulée pour former quatre bobines

Annexe 8. Les systèmes d'agrafage

Les systèmes d'agrafage sont des charnières fixées sur les deux bouts de bandes à jonctionner et sont liées par un axe (Figure A.30) [url 17]. Ces systèmes sont couramment utilisés lorsque la bande doit être fréquemment allongée ou démontée. Les systèmes d'agrafage sont nombreux. Effectivement, chaque fabricant essaye de fournir un système d'agrafage répondant au besoin. C'est pourquoi, chaque fournisseur a des produits se distinguant de ceux de son concurrent par des dimensions ou des astuces pour augmenter la résistance de l'agrafage ou pour diminuer son coût. Les systèmes peuvent être classés en deux types au sein desquels sont les systèmes d'agrafage légers et les lourds.



Figure A.30. Système de charnière de jonctionnement mécanique.

1. Les systèmes d'agrafage légers

Les systèmes d'agrafage légers sont utilisés pour des bandes de taille réduite. Ces systèmes légers ont une résistance inférieure à 500N/mm. Ils sont attachés à la bande par agrafage, par rivetage ou par pinçage avec des crochets.

1.1. Charnière plate avec agrafes

Ce système de charnière est attaché avec des agrafes sur la bande. Les agrafes sont insérées via un marteau ou un outil mécanique. Le système fonctionne avec un câble en acier qui est inséré au milieu des deux bouts à joindre (Figure A.31 [url 8] et Figure A.32 [url 17]). Ce type de jonctionnements est monté sur des bandes de 3 à 6mm d'épaisseur.



Figure A.31. Charnière plate avec agrafes.



Figure A.32. Système de charnière plate avec agrafage.

1.2. Charnière plate avec rivets



Figure A.33. Charnière plate avec rivets.

Ce système de charnière est le même que précédemment. La fixation sur la bande, elle en revanche, est effectuée avec des rivets insérés avec un marteau (Figure A.33 [url 17] et Figure A.34 [url 17]). L'axe de liaison a 7mm de diamètre maximum.

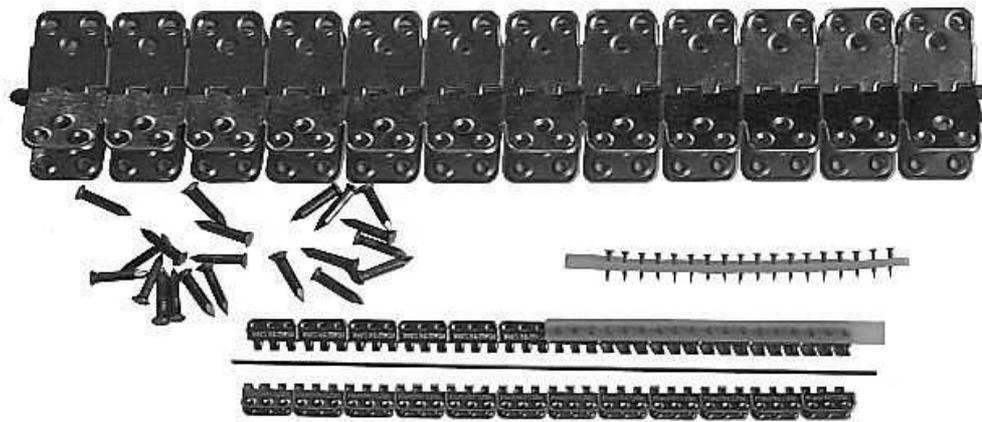


Figure A.34. Système de charnière plate avec rivetage.

1.3. Charnière plate avec vis

Ce système de jonctionnement mécanique est similaire à celui avec rivets. Néanmoins, les rivets sont remplacés par des vis dans ce cas (Figure A.35) [url 17].



Figure A.35. Charnière plate avec vis.

1.4. Charnière plate avec crochets

Ce système a le même principe de fonctionnement que les précédents, mis à part le procédé de fixation de la charnière sur la bande qui est ici composé de crochets (Figure A.36) [url 17].

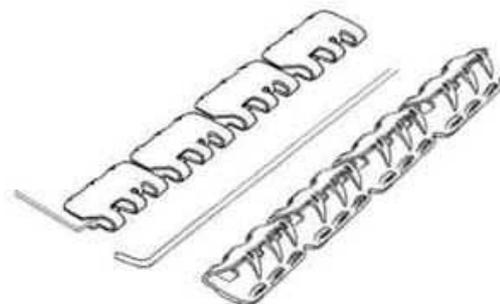


Figure A.36. Charnière plate avec crochets.

1.5. Charnière lacet acier



Figure A.37. Charnière à lacets en acier.

Ce système de jonctionnement est aussi un système charnière, mais la fixation sur la bande est sous forme de lacet (Figure A.37 [url 8] et Figure A.38 [url 17]). Le laçage s'effectue avec un outil spécifique. Ce système peut être monté sur des bandes jusqu'à 11mm d'épaisseur.

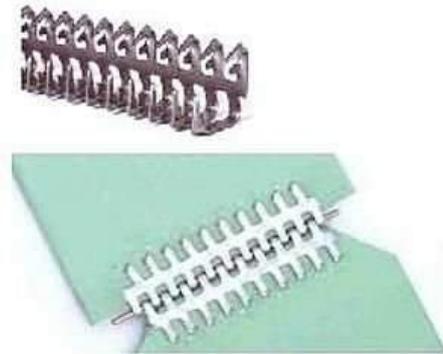


Figure A.38. Système de charnière à lacets.

1.6. Charnière crochets

Ces crochets [12] sont fermés sur la bande et le système fonctionne comme une charnière (Figure A.39 [url 8] et Figure A.40 [url 17]).

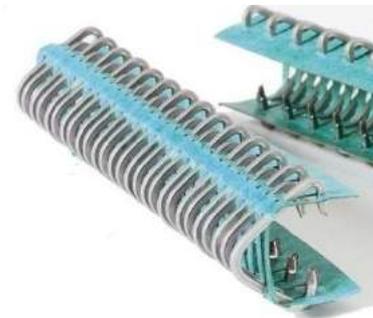


Figure A.39. Charnière crochets.



Figure A.40. Système de charnière à crochets.

1.7. Système rigide à rivets



Figure A.41. Système rigide à rivets.

Ce système de jonctionnement ne comporte pas de charnière. C'est un système rigide qui est fixé avec des rivets sur chaque bout à jonctionner (Figure A.41) [url 17].

1.8. Système rigide à vis

Ce système de jonctionnement ne comporte pas de charnière, mais est composé de petites plaquettes avec des crochets maintenant les deux bouts de bande par vissage (Figure A.42 [url 16] et Figure A.43 [url 17]).



Figure A.42. Plaquettes pour système rigide à vis.



Figure A.43. Système rigide à vis.

2. Les systèmes d'agrafage lourds

Les systèmes d'agrafage lourds sont similaires au système léger, mais sont essentiellement attachés par des agrafes. Ce sont aussi des systèmes charnières.

2.1. Charnières plates à agrafes

Les charnières plates à agrafes sont des systèmes de jonctionnement qui sont composés de petits éléments fixés sur les deux bouts de bandes avec des agrafes. On peut voir que les agrafes sont insérées en zigzag (Figure A.44) [url 8]. Ce système peut résister jusqu'à un effort de 1400N/mm et peut être monté sur une bande de 6 à 12mm d'épaisseur. Les agrafes sont insérées avec un marteau ou un outil spécifique (Figure A.45) [url 17].



Figure A.44. Charnière plates à agrafes.



Figure A.45. Outil d'insertion des agrafes pour jonctionnement mécanique.

2.2. Charnières rigides à agrafes

Les systèmes de jonctionnement à charnières rigides à agrafes sont composés d'éléments avec deux agrafes implantées à une distance du bord fonction de l'effort à transmettre (Figure A.46) [url 17].

2.2.1. Agrafes en quinconce

Les charnières avec agrafage en quinconce ont la particularité d'avoir les éléments insérés en quinconce (Figure A.47) [url 8]. Ces charnières permettent de transmettre un effort maximal de 1750N/mm. Ce système peut être monté sur des bandes de 6 à 16mm d'épaisseur.



Figure A.47. Éléments d'agrafage lourd avec agrafes en quinconce.

2.2.2. Agrafes en ligne

Le système de charnière rigide à agrafe en ligne est similaire à celui avec les agrafes en quinconce. La seule particularité est que les agrafes sont insérées en ligne (Figure A.48 [url 8] et Figure A.49 [url 8]). Ceci a comme avantage que l'effort transmis est supérieur. En effet, l'effort transmis maximal est de l'ordre de 3500N/mm, ce qui représente le double de la disposition en quinconce.

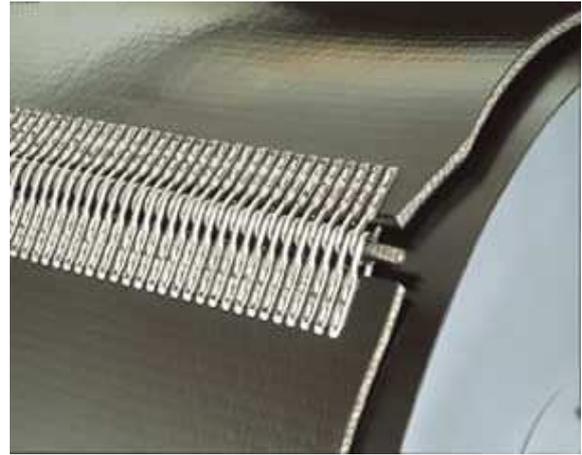


Figure A.46. Charnière rigide à agrafes.



Figure A.48. Éléments d'agrafage lourd avec agrafes en ligne.



Figure A.49. Charnière avec agrafes en ligne.

Annexe 9. Les configurations d'agrafage

Tableau A. 2. Résistance à la traction de différents systèmes d'agrafage

Source COBRA EUROPE SA

		MARS-06		MARS-06		MARS-06		MARS-06		
		U38	U37	2002/26	2003/33	2003/33	2003/33	T10/28	T14/28	T12
Essais de Résistance à l'agrafage avec différents systèmes d'agrafage sur PVNI 1400/1 - 3+2 ep 15										
Longueur du crampon (mm)		31.5	27.5	27	33	33	33	48	55	52
Longueur de la charnière (mm)		56	49	47	56	56	56	13.4	13.4	13.4
Nombre d'agrafes / 100mm		14.3	14.3	13.4	12.5	12.5	12.5	2.6	2.6	2.5
Diamètre des agrafes (mm)		2.6	2.4	2.3	2.8	2.8	2.8	Oui	Oui	Non
Agrafes décalées		Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
Distance entre les deux pointes d'une agrafe (mm)		12.6	13	10.8	14	14	14	9.6	9.6	14
Pénétration de la bande dans la charnière (mm)		31.5	29.5	22 et 27	31	31	31	20 et 25	24 et 29	
Matériel utilisé		Machine Mato " Luft U37 / U39 "	Machine Mato " Luft U37 / U39 "	Manuel (marteau)	Manuel (marteau)	Machine GORO " H-matic "	Machine GORO " H-matic "	Machine Goro Titan 10 Titan T14	Machine Goro Titan 10 Titan T14	
Revêtement enlevé		Non	Oui 2,5mm P	Oui 2,5mm P	Non	Non	Non	Oui 2,5mm P	Non	
Résultats obtenus	N/mm	1076	995	832	1014	971	973	811	895	
	N/mm	1062	981	849	1005	1015	973	778	878*	
	N/mm	1089	1015	847	974	991	986	784	930	
Moyenne	N/mm	1069	997	843	998	992	977	791	901	
Pourcentage	%	76	71	60	71	71	70	56	64	

Nota: Toutes les mesures sont à ± 1 mm; la pénétration dans la bande à ± 2 mm
* : ouverture de l'agrafe

Annexe 10. Haltère normalisé d'essai de traction

Source [40]

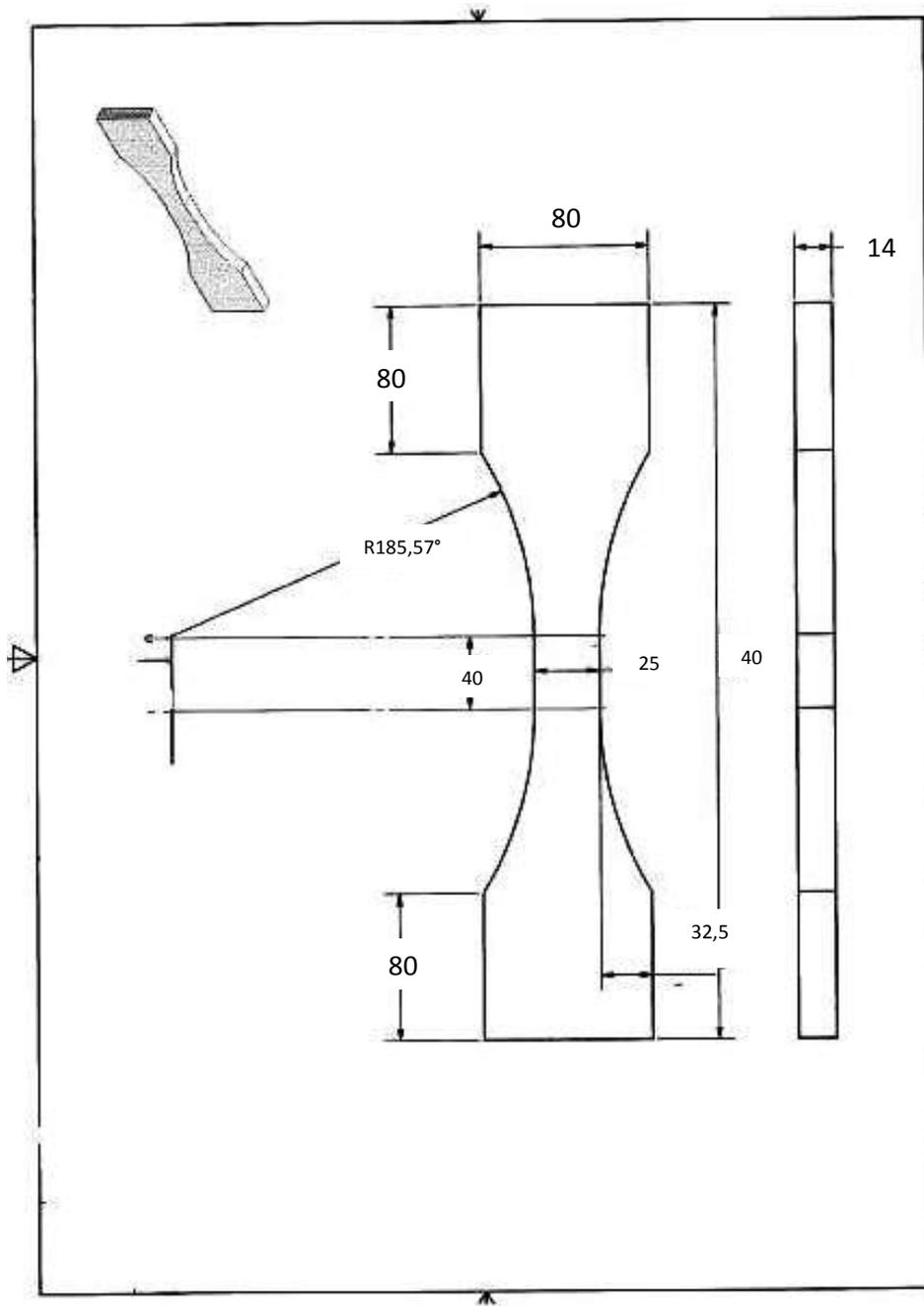


Figure A.50. Dessin de l'haltère normalisé pour essai de traction

Annexe 11. Carte de contrôle et de surveillance

La Figure A.51 présente la carte de contrôle et de surveillance des échantillons 35 échantillons de référence. Elle est utilisée pour les évaluations d'influence de l'orthogonalité trame/chaîne et de pré-perçage.

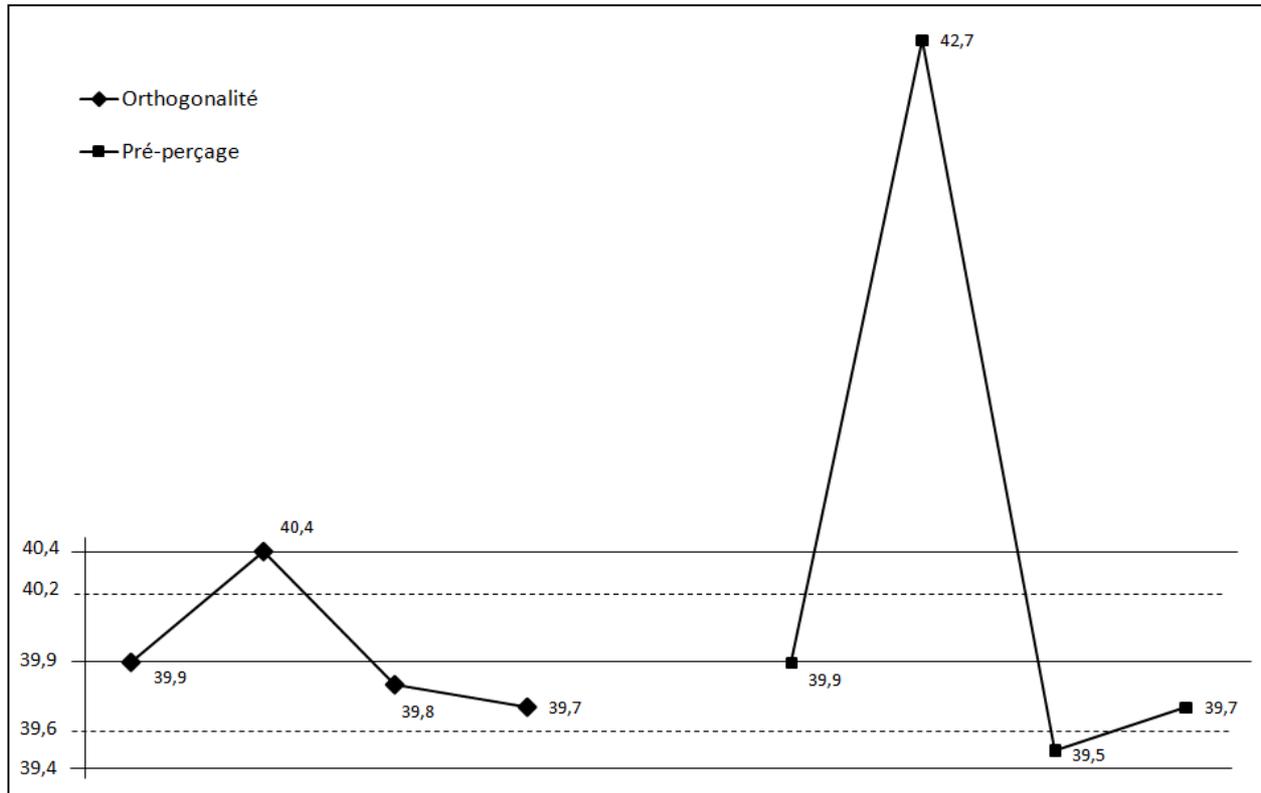


Figure A.51. Carte de contrôle et de surveillance.

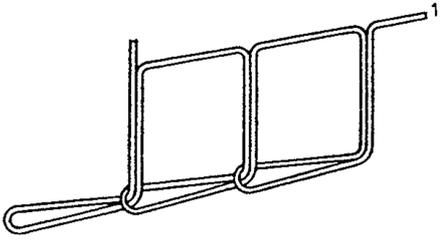
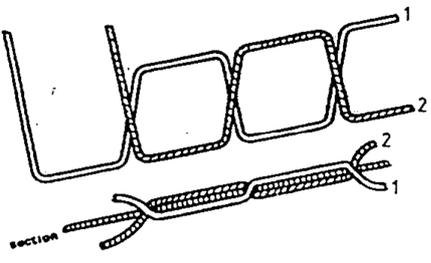
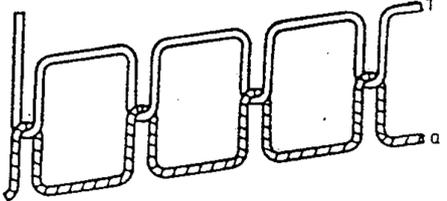
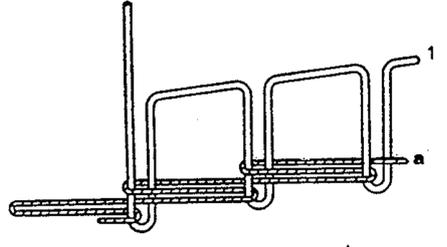
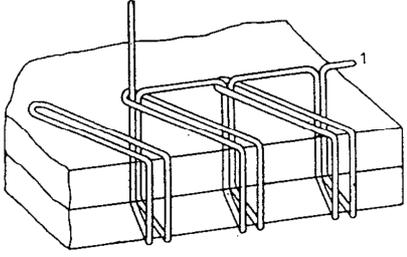
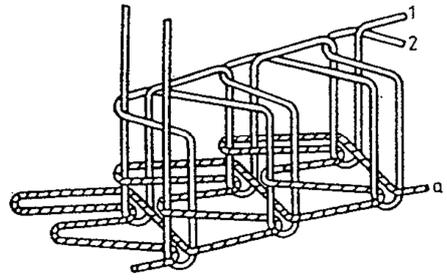
Annexe 12. Classes de point de couture

Cette partie est basée sur un cours de typologie de machines à coudre de l'ENSISA à Mulhouse dispensé par M. Dominique ADOLPHE et les images viennent de la norme AFNOR 05-002 [3]

1. Le point de chaînette (classe 100)

Le point de chaînette est utilisé pour de l'assemblage de pièces textiles (Tableau A. 3). Il a l'avantage de ne comporter qu'un seul fil, donc la longueur de la couture n'est pas limitée. Le plus grand inconvénient pour ce type de points est que la couture se défait s'il y a rupture de fil. Il faut alors recommencer la couture.

Tableau A. 3. Classes des différents points de couture.

 <p>Point de chaînette 101</p>	 <p>Point manuel, type sellier 201</p>
 <p>Point noué 301</p>	 <p>Point de chaînette à plusieurs fils 401</p>
 <p>Point surjet 501</p>	 <p>Point de recouvrement 601</p>

2. Le point fait main (classe 200)

Cette classe fait répertoire de tous les points faits main que nous pouvons trouver (Tableau A. 3).

3. Le point noué (classe 300)

Le point noué est un point d'assemblage qui est composé de deux fils. La longueur de la couture est limitée par la réserve de fil de la canette (Tableau A. 3).

4. Le point de chaînette à plusieurs fils (classe 400)

Le point de chaînette à plusieurs fils est similaire à ceux de la classe 100. L'avantage de cette classe est qu'il y a moins d'usure de fil qui passe par le chas de l'aiguille. Cependant, la consommation de fil est très vite excessive (Tableau A. 3).

5. Le point de surjet (classe 500)

Le point surjet sert à protéger le bord des pièces de tissu notamment pour empêcher le délaminage du tissu lors des mouvements. Il comporte au moins 2 fils. (Tableau A. 3)

6. Le point de recouvrement (classe 600)

Le point de recouvrement est un point d'assemblage qui a la particularité de ne pas imposer une surépaisseur car il n'y a pas d'empilement de tissu. On coud les tissus bord à bord (Tableau A. 3).

Annexe 13. Type de pointes des aiguilles

Le Tableau A. 4 présente différents types de pointes d'aiguilles et provient d'une brochure de la marque TRIUMPH NEEDLES CORP.

Tableau A. 4. Différents types de pointes des aiguilles.

尖點形狀 TIP FIGURE	針點 POINT	記號 SYMBOL	說明 DESCRIPTION	其它記號 OTHER SYMBOL
		SPI	特尖 slim set point	SHASPI RS R-SPI S-SET
		R	一般尖頭 normal point	SET
		STU	大角度尖頭 heavy blunt round point	H SET R-STU STUB
		KN	超小圓頭 extra light ball point	RG Q
		SES	小圓頭 light ball point	J BALL SIN NYR FFG BPL L BALL
		SUK	中圓頭 medium ball point	B BALL LAC FG BPM S M BALL
		SKF	大圓頭 extra heavy ball point	CAL G SKU H BALL
		SKL	特殊圓頭 special point for knitted	SKL
		CL	左旋護線槽尖頭 left twist groove at point	CL
		CR	右旋護線槽尖頭 right twist groove at point	CR
		D	三角刀尖 triangular point	TRI
		DI	鑽石刀尖 diamond point	DIA
		LR	左斜切型刀尖 reverse twist point	RTW NRTW B2RS
		LL	右斜切型刀尖 twist point	TW
		PCL	橫切型附左旋護線槽刀尖 wedge point with left twist groove	NW (TW GR)
		S	直切型刀尖 cross point	CR
		SW	寬嘴直切型刀尖 extra wide cross point	BS

Annexe 14. Comparaison des matières de fils techniques

Cette annexe présente les principales caractéristiques de matières techniques (Tableau A. 5 et Tableau A. 6 [url 21])

Tableau A. 5. Caractéristiques des principales fibres.

	Polyester HT	Polyamide	Vectran®	Dyneema®	Aramide	Polyéthylène	Polypropylène	Zylon®
Caractéristiques des principales fibres	Difficilement inflammable	Difficilement inflammable N'entretient pas la combustion	Difficilement inflammable Autoextinction sans gouttelette de fusion	SK75 S'enflamme difficilement	Ne brûle pas Se dégrade à 500°	Ne s'enflamme pas. Fond en boules	S'enflamme difficilement. Fond en boules	Ne brûle pas Se dégrade à 650°
Résistance U.V	Très bonne	Bonne	Faible	Très bonne	Faible	Bonne	Bonne	Faible
Résistance Abrasion	Bonne	Très bonne	Très bonne	Très bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Très bonne
Densité	1,38	1,12	1,4	0,97	1,44	0,95	0,91	1,56
Allongement à la force maxi	15%	20%	3%	3,5%	5%	18%	15%	2,50%
Allongement à 75% de la force maxi	8%	15%	2,2%	2,5%	3%	12%	11%	1,80%
Point de fusion	260°	220°	330°	147°	-	130°	160°	-
Point de ramollissement	220°	170°	-	110°	-	80°	120°	-
Résistance aux :	+++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
- Acides	++	+++	+++	+++	+++	++	++	++
- Solvants	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
- Micro-organismes	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Sensibles aux :	Alcalis forts, certains phénols, acétate de benzile, Nitro benzène	Acides minéraux, formique et acétiques concentrés, certains phénols.	Acides chlorhydrique, formique, sulfurique ; Ethanol, soude Pentafluorophenol	-	Acides minéraux concentrés	Hydrocarbures Chloré chaud	Se dissout dans solvants chlorés à haute température aux composés aromatiques	U.V.

Tableau A. 6. Propriétés techniques de fibres synthétiques.

Material	High Modulus Polyethylene	High Modulus Polyester	High Modulus Polyamide	PBO	Polyester	Polyamide	Polypropylene	Spleitex
Trade Names	Dyneema® Spectra®	Vectran®	Technora® Twaron®, Kevlar®	Zylon®	Dacron®, Trevira®	Nylon, Perlon®	PP Multi-filament	Hempex®
Tenacity in g/den	38	23	22-28	37	9	8-6	5-8	5-6
Tenacity in daN/mm²	360	230	250-400	Ca. 400	110	90-95	50-75	50-55
Elongation at Break	3,80%	3,30%	3,40%	2,8%	10-17%	18-24%	13-17%	14-17%
Specific Gravity in g/cm³	0,97	1,4	1,44-1,45	1,52	1,40	1,14	0,91	0,91
Modulus in daN/mm²	10 500	10 000	13 000 15 000	18 000	1 000 1 500	25 350	50 500	400
Melting Point in °C	140 - 150°C	280-330°C	Carbonisation at 500°C does not burn or melt	Carbonisation at 650°	225-240°C	215-260°C	165-175°C	165-175°C
Resistance to short-term heat in °C	70°C	200°C	350°C	500°C	170°C	130°C	80°C	80°C
UV-Resistance	Excellent	Limited	Limited	Limited	Excellent	Good	Sufficient	Excellent
Resistance to Alkalis	Excellent	Excellent	Predominantly good	Excellent	Good at room temp.	Good at low concentration	Excellent	Excellent
Resistance to Acids	Excellent	Excellent	Predominantly good	Good	Predominantly good	Predominantly good	Excellent	Excellent
Resistance to Petroleum Based products	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Excellent	Excellent
Resistance to bleaches - solvents	Excellent	Excellent	Poor in bleach. Excellent solvent resistance	unknown	Excellent	Will bleach. Degrades in mineral acids & oxidizing agents. Insoluble in organic solvents	Excellent	Excellent
Creep	Creeps at high loads	Immeasurable	Hardly measurable	Immeasurable	Hardly measurable	Slight creep und. Load	At high loads	At high loads
Residual Knot Strength	~ 50%	~ 50%	~ 30%	~ 50%	~ 50%	~ 50%	~ 50%	~ 50%

Annexe 15. Matrice d'expérience du plan 2

Tableau A. 7. Matrice d'expérience du plan 2.

N°Exp	angle dent	densité couture	longueur couture	longueur dent	angle couture
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
9	-1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	-1
11	-1	1	-1	1	-1
12	1	1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	-1
14	1	-1	1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	-1
17	-1	-1	-1	-1	1
18	1	-1	-1	-1	1
19	-1	1	-1	-1	1
20	1	1	-1	-1	1
21	-1	-1	1	-1	1
22	1	-1	1	-1	1
23	-1	1	1	-1	1
24	1	1	1	-1	1
25	-1	-1	-1	1	1
26	1	-1	-1	1	1
27	-1	1	-1	1	1
28	1	1	-1	1	1
29	-1	-1	1	1	1
30	1	-1	1	1	1
31	-1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1

Annexe 16. Détails de l'influence des paramètres

La dépendance de l'influence d'un paramètre A sur un paramètre B nous permet de dire qu'il y a interaction entre ces deux paramètres. Cependant, si la dépendance est négligeable, il n'y a pas d'interaction entre ces deux paramètres.

1. Interaction angle couture/angle dents

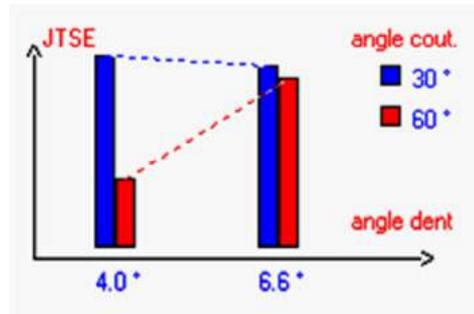


Figure A.52. Interaction angle de couture/angle de dents.

La Figure A.52 nous permet de dire qu'il y a interaction entre ces deux paramètres. En effet, l'influence de l'angle des dents sur la JTSE dépend des valeurs de l'angle de couture. Quand ce dernier est de 60°, l'effet de l'angle des dents sur la JTSE est fort. En revanche, la dépendance est très peu marquée lorsque l'angle de la couture est de 30°.

2. Interaction angle couture/longueur dents

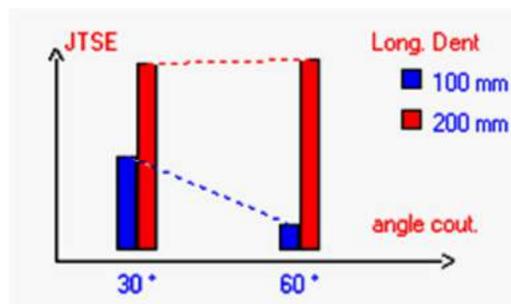


Figure A.53. Interaction angle de couture/longueur des dents.

On s'aperçoit en regardant la Figure A.53 que l'influence de l'angle des dents sur la JTSE est dépend de la longueur des dents lorsqu'elle est de 100mm. En revanche, l'influence de l'angle de couture sur la JTSE est très peu dépendante de la longueur des dents lorsqu'elle est de 200mm.

On peut par conséquent dire qu'il y a interaction entre l'angle de couture et la longueur des dents.

3. Interaction largeur couture/angle couture

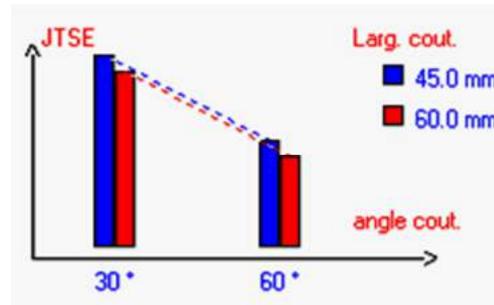


Figure A.54. Interaction largeur de couture/ angle de couture.

Sur la Figure A.54, on peut constater que l'influence de l'angle de couture sur la JTSE ne dépend pas de la largeur de l'échantillon. Il n'y a donc aucune interaction entre ces deux paramètres.

4. Interaction largeur couture/longueur dents

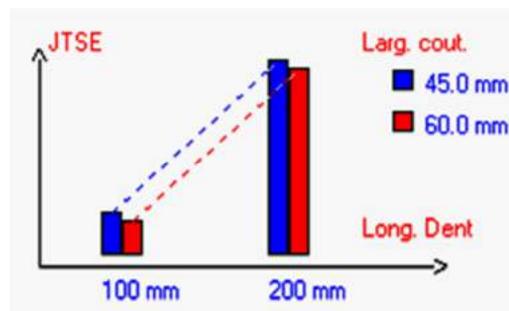


Figure A.55. Interaction largeur de couture/longueur des dents.

En observant la Figure A.55, on peut remarquer qu'il n'y a pas d'interaction entre la largeur de couture et la longueur des dents. Effectivement, l'influence de la longueur des dents sur la JTSE n'est pas dépendante de la largeur de couture.