

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

Université de Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الإلكترونيات

Département d'Électrotechnique



Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Électrotechnique

Domaine : Électrotechnique Filière : Électrotechnique Spécialité : Commande Électrique
Thème

Etude de métier Jacquard processus et automatisme

Présenté par :

- 1) Mr KHELIFI Mohammed Bilal
- 2) Melle. ZADI Chaima

Devant le jury :

Dr. AOUIEUR Djilali	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. YOUNES Khedidja	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Pr. YOUNES Mohammed	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant(e)

Année Universitaire 2025/2026



Dédicace

Avant tout, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes chers parents. Aucun mot ne saurait traduire l'immensité de leur amour, la grandeur de leurs sacrifices, et la ferveur de leurs encouragements. Ils ont été mon pilier inébranlable, mon refuge et ma plus grande source de force tout au long de mon parcours universitaire. Que ce travail soit le reflet de leur dévouement et une modeste source de fierté pour eux.

Je remercie du fond du cœur ma famille, qui a toujours cru en moi et constitué un soutien précieux. Un grand merci à mon frère Abdel Hadi, à mes deux sœurs Wafaa et Khadidja, ainsi qu'à mon beau-frère Noureddine pour sa générosité et son aide précieuse en me confiant son ordinateur, facilitant ainsi la réalisation de ce travail.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadreur, Monsieur Younes Mohamed, pour ses précieux conseils, sa grande disponibilité, sa patience et son accompagnement bienveillant tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation, ainsi qu'aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail.

Enfin, je remercie chaleureusement toutes les personnes qui, de près ou de loin, par un geste, un mot ou un sourire, m'ont apporté leur soutien et ont contribué à l'aboutissement de ce projet.





Remerciements

Louange à Allah le Tout-Puissant, le Clément et le Miséricordieux, qui m'a insufflé la force, la patience et la persévérance pour accomplir ce travail.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à mon honorable encadrant, le Professeur Younes Mohamed, pour sa grande disponibilité, ses précieux conseils, ses explications éclairantes et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce travail. Sa rigueur scientifique et sa bienveillance ont été pour moi une source de motivation inestimable

À ceux dont je porte le nom avec une immense fierté, à ceux qui ont été ma lueur d'espoir à chaque instant de doute...

À ma chère Mère, source infinie de tendresse et de prières, et à mon précieux Père, mon modèle et mon pilier dans cette vie. Que Dieu vous préserve, vous garde pour moi et vous accorde une longue vie pleine de santé. Le fruit de ce travail n'est que le reflet de ce que vos mains ont semé.

À mes sœurs, mes confidentes, mes complices et mon soutien infaillible : Donia, Bouchra, Fatou et Fatima... Merci d'avoir toujours été là pour moi. Une pensée toute particulière à ma sœur Fatma et à ses tendres petits poussins qui remplissent notre vie de joie.

À mes frères, ma force et ma fierté dans les moments difficiles : Seddik et Mohamed. Merci pour votre présence constante et votre soutien indéfectible.

Avant d'oublier, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à une personne dont l'aide précieuse et les explications éclairantes ont grandement illuminé le chemin de ma recherche. Un grand merci à cet esprit talentueux, natif de la wilaya de Tlemcen, Ismail Tajouri, pour sa générosité intellectuelle et son soutien technique déterminant dans l'élaboration de ce mémoire.

À vous tous, ma précieuse famille, je dédie ce succès. Vous êtes mon inspiration, mon refuge, et c'est avec vous seul que ma joie est entière.



Table des matières

Liste des Figures

Liste des tableaux

Introduction générale

Chapitre I : Histoire Technique du tissage : Les fondements mécaniques avant l'ère Jacquard	2
I.1. Introduction.....	3
I.2. Histoire et évolution du tissage.....	3
I.3. Définition du tissage et Principes Fondamentaux.....	4
I.4. L'Épopée du Textile : De la Fibre au Fil.....	4
I.5. La Préparation : (Le Cardage et le Peignage)	5
I.5.1. Le Filage (Spinning).....	5
I.5.2. La Quenouille et le Fuseau	5
I.5.3. Rouet à pédale	6
I.5.4. La Teinture	7
I.6. La Préparation du Métier : "L'Ourdissage"	7
I.6.1. Calcul mathématique	7
I.6.2. L'installation.....	7
I.7. L'Architecture des Métiers et le Rythme du Tissage Le Rythme du Tissage : La Symphonie du "Bis-Tan-Claque-Pan"	7
I.7.1. Le Bis.....	7
I.7.2. Le Tan.....	7
I.7.3. Le Claque.....	7
I.7.4. Le Pan	7
I.8. Techniques de Spécialisation et Motifs Complexes	8

I.8.1. Le Tissage des Galons : Entre Savoir-faire Technique et Vestiges Archéologiques	8
I.9. Le Sommet de l'Art : Le Métier à la Tire (Pour les motifs).....	10
I.9.1. Le Système des Lacs.....	10
I.9.2. Le Tireur de Lacs.....	10
I.10. Le Métier à Tisser : Entre Tradition et Modernité	10
I.11. Conclusion.....	12

Chapitre II : Analyse du Processus de Tissage et Système De Commande à Cartes Perforées 13

II.1. Introduction.....	14
II.2. Principes Généraux du Tissage.....	15
II.2.1. La Chaîne.....	15
II.2.2. La Trame.....	16
II.3. Le Principe	17
II.4. Cartes perforées	17
II.5. Analyse des Organes Mécaniques Traditionnels	18
II.5.1. La mécanique Jacquard (tête Jacquard).....	18
II.5.2. Le système de lecture des cartes.....	19
II.5.3. Les lisses et cadres.....	19
II.5.4. La foule.....	19
II.5.5. La navette	19
II.5.6. Le battant	19
II.5.7. Le peigne	20
II.5.8. L'ensouple	20
II.6. Nomenclature des composants.....	21
II.7. Description cycle de fonctionnement du métier Jacquard	21
II.7.1. Phase 1 : La lecture.....	21

II.7.2.	Phase 2 : L'exécution	22
II.7.3.	Phase 3 : La rotation	22
II.8.	La Révolution industrielle et diffusion mondiale	23
II.9.	Analyse Cinématique du Cycle de Fonctionnement (Détailée).....	25
II.9.1.	Phase de Présentation et de Palpage (Lecture)	25
II.9.2.	Phase de Sélection et de Verrouillage	25
II.9.3.	Phase de Levée (Formation de la Foule)	26
II.9.4.	Phase de Descente et de Remise au repos	26
II.10.	Le Système de Transmission : Le Harnais (Le Pont Mécanique).....	26
II.10.1.	1. Les Cordes d'Arcades.....	27
II.10.2.	La Planche d'Arcades.....	27
II.10.3.	Le Collet et le Corps de Harnais.....	27
II.10.4.	Les Maillons (Organe de liaison)	27
II.10.5.	Les Plombs de Rappel	28
II.11.	Conclusion.....	29
Chapitre III : Etude et modélisation de l'automatisme du métier jacquard.....		30
III.1.	Introduction	31
III.2.	Le Cycle de Tissage	31
III.3.	Étude Approfondie de l'Unité de Commande (Microcontrôleur).....	31
III.3.1.	Architecture et Composition de l'Unité.....	32
III.3.2.	Les Organes de Détection (Les Capteurs).....	33
III.4.	Composants Actionneurs (Moteurs).....	36
III.4.1.	Moteur Pas à Pas (Phase de Levée).....	36
III.4.2.	Le Moteur à Courant Continu (Phase d'Insertion).....	37
III.5.	Logique de Commande Spécifique au Jacquard	38
III.5.1.	Déclaration de Tableaux (Matrice de Motif)	38
III.5.2.	Déclaration des Variables : Des variables de type « compteur »	38

III.5.3. Traduction Binaire (Numérisation)	39
III.5.4. Le déroulement séquentiel	39
III.6. Avantages de l'Unité de Commande Électronique.....	41
III.7. Organisation d'une approche procès de tissage en métier jacquard.....	42
III.8. Conclusion.....	48

Conclusion générale

Bibliographie

Résumé

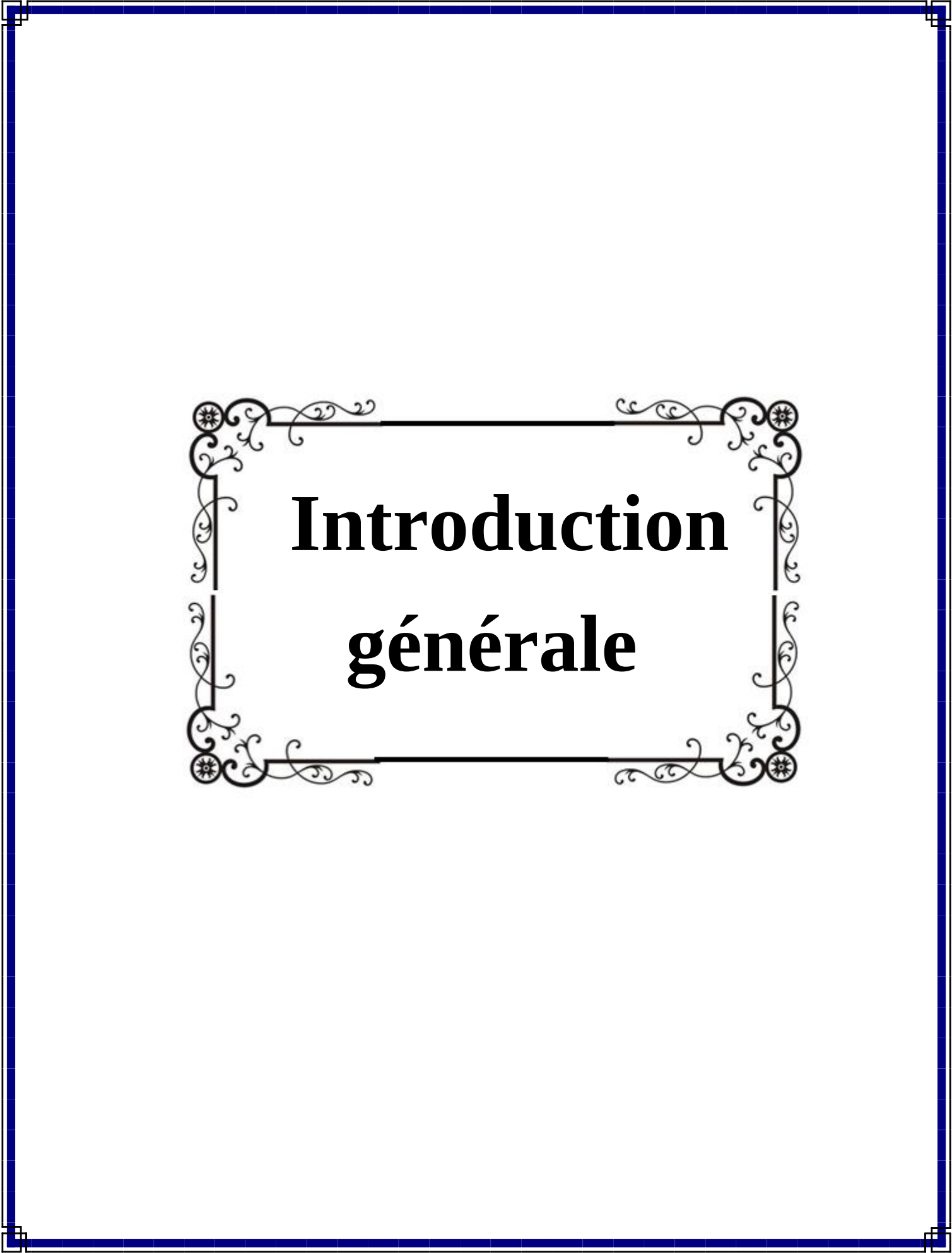
Liste des Figures

Figure 1: Fonctionnement D'un Fuseau Traditionnel pour Le Filage De La Laine [11]	6
Figure 2: Représentation d'un rouet à pédale traditionnel permettant la libération des mains de l'artisan [9]	6
Figure 3: Structure d'un métier à tisser manuel illustrant les éléments du cycle mécanique (Pédales, Navette et Battant) [14]	8
Figure 4: Le Tissage aux Tablettes: Technique Et Mise En Œuvre [11].....	9
Figure 5: Le Tissage aux Tablettes : Technique Mise en œuvre [11].....	10
Figure 6: Métier à Tisser Artisanal (Bangladesh) [13]	11
Figure 7: Tissage Artisanal (Guatemala) [13]	11
Figure 8: Architecture et Fonctionnement de la Mécanique Jacquard [15].....	14
Figure 9: Mise en place des files de chaîne sur le métier à tisser [17]	15
Figure 10: Vue Détaillée du Processus de Tissage (La Trame) [17]	16
Figure 11 : Les éléments de Commande du Mécanisme Jacquard (Carte et Cylindre) [19]	18
Figure 12: Étude Cinématique des Organes du Métier Jacquard. [21]	20
Figure 13: Organes mécaniques du bloc de sélection d'un métier Jacquard traditionnel	23
Figure 14: Schéma de montage du harnais (Le Rempotage) [26]	28
Figure 15: Brochage (Pin-out) Microcontrôleur PIC16F877A [29]	32
Figure 16: microcontrôleur PIC16F877A en boîtier DIP [31].....	32
Figure 17: Le résonateur à quartz [32].....	32
Figure 18: Principe de fonctionnement d'un interrupteur de fin course (Limit Switch) [35]	33
Figure 19: Module capteur optique à fourche (infrarouge) [37].....	34
Figure 20: Module de sélection électromagnétique (solénoïde) pour machine jacquard [39].....	35
Figure 21: Schéma de câblage du moteur pas à pas avec le driver ULN2003 [41].....	36
Figure 22: Moteur pas à pas avec sa carte de commande ULN2003 [42]	37
Figure 23 : Interface de puissance pour le contrôle bidirectionnel de moteurs CC [44]	37
Figure 24: Traduction binaire de la mise en carte [46]	39

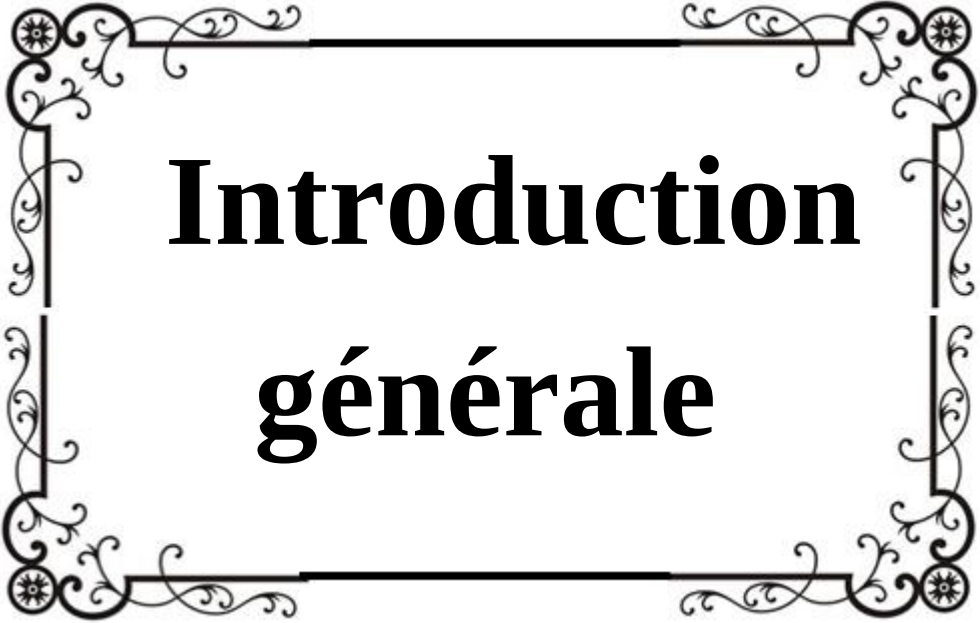
Figure 25: Organigramme général de la logique de commande du système	40
Figure 26: Un motif crée par le procès tel que : Fil de chaine de couleur jaune,	42
Figure 27: Schéma électrique global du système de commande automatisé du métier Jacquard.	44

Liste des tableaux

Tableau 1: Le système de lecture des cartes	19
Tableau 2: Tableau des cas de lecture de la carte perforée par les aiguilles.....	21
Tableau 3 : Comparaison technique et fonctionnelle des moteurs utilisés [45]	38
Tableau 4: Tableau Comparatif : Jacquard Mécanique et Électronique [48]	42

A thick blue border with a decorative corner piece at each of the four corners.

Introduction générale

A black rectangular frame with ornate, symmetrical scrollwork and floral motifs at each corner, enclosing the title text.

Introduction générale

Le tissage est l'une des activités les plus fondamentales de l'humanité. Depuis les premiers métiers manuels jusqu'aux systèmes automatisés modernes, cette technique n'a cessé d'évoluer pour répondre aux exigences croissantes de productivité et de créativité. Parmi les grandes révolutions de cette histoire, l'invention du métier Jacquard au XIX^e siècle occupe une place singulière : en codant le motif textile sur des cartes perforées, Joseph-Marie Jacquard a non seulement transformé l'industrie textile, mais a également posé les bases conceptuelles de la programmation informatique.

C'est dans la continuité de cette logique d'innovation que s'inscrit le présent mémoire, qui propose de numériser et d'automatiser le processus Jacquard à l'aide d'un microcontrôleur PIC. Pour ce faire, le travail est organisé en trois chapitres progressifs : le premier retrace l'histoire technique du tissage et ses fondements mécaniques ; le second analyse en détail le système de commande à cartes perforées et les organes mécaniques du métier Jacquard ; le troisième présente la modélisation de l'automatisme électronique et la logique de commande du cycle de tissage numérique.

**I. Chapitre I : Histoire
Technique du tissage : Les
fondements mécaniques
avant l'ère Jacquard**

I.1. Introduction

Bien avant que Joseph Marie Jacquard ne révolutionne le tissage au début du XIX^e siècle, des générations d'artisans, d'ingénieurs et d'inventeurs anonymes s'étaient déjà acquittés des difficilement réalisables miracles mécaniques d'une pratique d'une extraordinairement haute complexité.

L'histoire technique du tissage n'est rien moins qu'une longue aventure humaine permanente faite de tâtonnements, d'observation, de perfectionnements progressifs qui s'étend sur plusieurs millénaires et sur tous les continents. La genèse des premiers métiers à tisser est aussi ancienne que le Néolithique, mais elle s'est jusqu'alors contentée de simples cadres de bois, sur lesquels le tisseur tend les fils de chaîne à la main.

Pour tisser, il faut en effet insérer manuellement le fil de trame : il est ainsi nécessaire de répéter ce geste des milliers de fois pour produire quelques centimètres de tissu ; ce travail tout à la fois patient et minutieux, va peu à peu s'organiser, s'institutionnaliser, s'outiller.

« Cependant chacune de ces avancées prolongeait une des limites du corps humain face à des exigences de plus en plus hautes sur la production textile ». Au cours de plusieurs siècles plusieurs innovations mécaniques fondamentales virent le jour : l'invention de la lisse et du peigne pour guider et séparer les fils, l'émergence de la foule cet interstice créé entre les fils de chaîne pour faciliter le passage de la trame, puis la navette, qui permet d'accélérer considérablement la cadence du tissage.

I.2. Histoire et évolution du tissage

Le tissage émerge dès la préhistoire, avec des vestiges de tissus en lin et laine remontant à environ 9000 av. J.-C. au Néolithique, où des fils étaient tendus entre des bâtons fixés au sol pour croiser chaîne et trame manuellement. Vers 1400 av. J.-C., les premiers métiers verticaux apparaissent, avec une chaîne tendue entre deux barres horizontales, limitant la longueur des tissus à la hauteur du métier, utilisés pour des étoffes unies ou rayées.

Au Moyen Âge, l'introduction de pédales et cadres permet au tisseur de soulever les fils de chaîne avec les pieds, libérant les mains pour la navette.

Au XVII^e siècle, Dagon invente le système « à la tire » avec des cordes verticales manipulées par un apprenti. La Révolution industrielle accélère l'évolution : en 1733, John Kay crée la navette volante propulsée mécaniquement ; en 1764, James Hargreaves développe la spinning jenny pour multiplier la production de fils.

En 1801, Joseph Marie Jacquard perfectionne un mécanisme à cartes perforées pour automatiser les motifs Jacquard, inspirant l'informatique moderne.

Au XIX^e siècle, l'électricité et la vapeur motorisent les métiers, augmentant les cadences. Aujourd'hui, les systèmes numériques et insertions automatisées (lances, jets d'air ou d'eau) permettent des vitesses jusqu'à 1200 passages de trame par minute. [1]

I.3. Définition du tissage et Principes Fondamentaux

Le tissage, véritable pilier de l'industrie textile, est un art millénaire qui marie savoir-faire ancestral et prouesses technologiques modernes pour donner vie à une infinité de tissus qui habillent notre quotidien, de la mode à l'ameublement. En entrecroisant méthodiquement les fils de chaîne, tendus dans la longueur, et les fils de trame, insérés transversalement, cette technique permet de créer des tissus aux textures et décors variés, du denim robuste au satin délicat. [1]

I.4. L'Épopée du Textile : De la Fibre au Fil

Avant d'arriver au métier à tisser, la matière brute subit une transformation méticuleuse :

- **L'Origine des Matières :**

On utilisait exclusivement des fibres naturelles.

1- Le Lin

C'est l'une des plus anciennes fibres au monde. La plante est récoltée, puis on procède au rouissage (immersion dans l'eau pendant plusieurs jours) pour que les bactéries dissolvent la "colle" naturelle (la pectose) qui retient les fibres à la tige. Une fois séché, on le broie pour en extraire la filasse. [2]

2- La Laine

Issue principalement du mouton, elle est tondue, puis triée. Elle doit être lavée pour enlever le "suint" (la graisse naturelle de la bête). On passe ensuite au cardage : avec des cardes (planches à pointes), on démêle les fibres pour former des nappes aérées prêtes à être filées. [3]

3- La Soie

Le summum du luxe. Elle provient du cocon du ver à soie (Bombyx du mûrier). Pour ne pas briser le fil unique qui peut mesurer jusqu'à 1,5 km de long, on plonge le cocon dans l'eau bouillante pour ramollir la séricine (grès) et on "dévidage" le fil pour former une soie grège d'une brillance incomparable. [4]

4- Le Coton

Plus rare en Europe avant le XVIIIe siècle, il était le trésor des Indes. Ses fibres entourent les graines de la plante. Le défi était le pincetage (séparer la fibre de la graine) avant de pouvoir le filer très finement pour obtenir des tissus légers et respirant. [5]

I.5. La Préparation : (Le Cardage et le Peignage)

Les fibres naturelles sont souvent emmêlées. On utilisait des planches garnies de pointes métalliques (les cardes) pour démêler les fibres et les mettre "dans le bon sens". Le peignage servait ensuite à retirer les dernières impuretés et les fibres trop courtes. [6]

I.5.1. Le Filage (Spinning)

Les femmes utilisaient le fuseau ou le rouet. L'enjeu était la torsion : il fallait tordre les fibres ensemble pour donner de la solidité au fil. Un fil mal tordu cassait immédiatement sur le métier à tisser. [7]

I.5.2. La Quenouille et le Fuseau

C'est l'outil ancestral le plus simple. La quenouille (un bâton attaché à la ceinture) servait de réserve de fibres. On étirait un peu de matière que l'on attachait au fuseau. En faisant tourner le fuseau dans le vide, la rotation créait la torsion nécessaire pour transformer la touffe de fibres (animales ou végétales) en un fil solide.

Le schéma suivant (Figure 1) illustre de manière détaillée ce processus de torsion manuelle, montrant comment la rotation du fuseau transforme la fibre brute en un fil cohérent et résistant. [7]

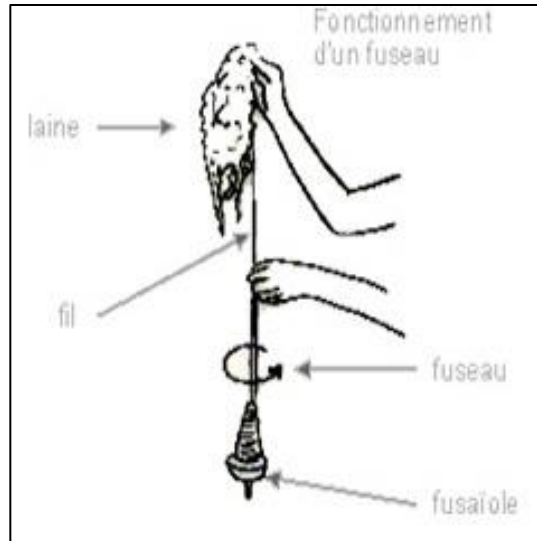


Figure 1: Fonctionnement D'un Fuseau Traditionnel pour Le Filage De La Laine [11]

I.5.3. Rouet à pédale

C'est une grande avancée technique (dessinée notamment par Léonard de Vinci). En utilisant une pédale, l'artisan libérait ses deux mains. Le fil s'enroulait alors automatiquement sur une bobine. C'était beaucoup plus productif et permettait d'obtenir un fil d'une régularité parfaite. [7]



Figure 2: Représentation d'un rouet à pédale traditionnel permettant la libération des mains de l'artisan [9]

Cette figure (2) représente une évolution technique majeure qui a permis de libérer les mains de l'artisan tout en assurant une meilleure régularité du fil. Cela a contribué à augmenter la vitesse de production et à améliorer la précision du travail manuel.

I.5.4. La Teinture

Les couleurs venaient de la nature (plantes comme la Garance pour le rouge, l'Indigo pour le bleu, ou des insectes comme la Cochenille). [8]

I.6. La Préparation du Métier : "L'Ourdissage"

On ne commence pas à tisser par hasard. Il fallait d'abord préparer la "chaîne" (les fils verticaux). [8]

I.6.1. Calcul mathématique

Pour un tissu large, il fallait parfois aligner plus de 11 200 fils de chaîne [8]

I.6.2. L'installation

Cela demandait environ 20 heures de travail rien que pour installer les fils sur le métier, les passer dans les lisses (les œillets qui permettent de les soulever) et les attacher avec une tension égale. Une tension inégale, et le tissu gondolait. [8]

I.7. L'Architecture des Métiers et le Rythme du Tissage Le Rythme du Tissage : La Symphonie du "Bis-Tan-Claque-Pan"

Le tissage manuel est une danse mécanique en quatre temps :

I.7.1. Le Bis

On appuie sur la pédale (marche). Cela écarte les fils de chaîne en deux nappes (une en haut, une en bas), créant un tunnel appelé "la foule"[7].

I.7.2. Le Tan

On repousse le battant (le cadre mobile) vers l'arrière pour bien ouvrir ce tunnel. [7]

I.7.3. Le Claque

On lance la navette (un morceau de bois poli contenant le fil de trame) à travers la foule. Elle doit traverser d'un coup sec d'une main à l'autre. [7]

I.7.4. Le Pan

On tire le battant vers soi pour frapper le nouveau fil de trame contre le tissu déjà fait. C'est ce qui donne la densité au tissu. [7]



Figure 3: Structure d'un métier à tisser manuel illustrant les éléments du cycle mécanique (Pédales, Navette et Battant) [14]

Cette figure 3 illustre les composants essentiels du métier à tisser manuel, où l'interaction entre les pédales et la navette définit le rythme du travail. Elle montre la transition mécanique nécessaire pour assurer la synchronisation des mouvements avant l'automatisation.

I.8. Techniques de Spécialisation et Motifs Complexes

I.8.1. Le Tissage des Galons : Entre Savoir-faire Technique et Vestiges Archéologiques

Au-delà des grandes pièces de tissu, l'artisanat textile ancien se distingue par la confection de bandes étroites et de lisières, appelées galons. Pour obtenir ces pièces robustes et décoratives, deux techniques principales se démarquent par leur ingéniosité : le tissage aux tablettes et le tissage à la grille. [10]

a. Le Tissage aux Tablettes (ou Plaquettes) : L'art de la torsion

C'est sans doute l'une des méthodes les plus complexes et les plus fascinantes. Contrairement au tissage classique, on utilise ici des plaquettes carrées (en bois, os, cuir ou argile) perforées à chaque angle. [10]

- Le mécanisme :

On passe un fil de chaîne dans chaque trou, soit quatre fils par tablette. En alignant par exemple dix tablettes, on manipule une chaîne de 40 fils. [10]

- Le geste :

Tout se repose sur la rotation. À chaque passage du fil de trame via la navette, on tourne les tablettes d'un quart de tour. Ce mouvement change la position des fils (deux en haut, deux en bas) et crée une torsion qui bloque la trame. [10]

- La complexité :

Avec de l'expérience, le tisserand peut varier le sens de rotation de chaque plaque individuellement pour créer des motifs géométriques d'une infinie richesse. La finesse du résultat final dépend alors directement de l'habileté préalable au filage. [11]

b. Le Tissage à la Grille

La simplicité efficace

Plus accessible mais tout aussi pratique, le tissage à la grille utilise un cadre (en bois ou en os) percé d'une alternance de fentes et de trous. [11]

- Le principe :

Les fils de chaîne passent soit par une fente, soit par un trou. En déplaçant simplement la grille de haut en bas, on crée un écartement (la foule) où l'on glisse la navette. C'est une technique idéale pour produire des galons rapidement.

Les illustrations suivantes (Figure 4 et Figure 5) mettent en lumière la mise en œuvre pratique du tissage aux tablettes. Elles permettent d'observer précisément la manipulation des plaquettes perforées et la manière dont la rotation de ces dernières crée la torsion des fils de chaîne pour emprisonner la trame, illustrant ainsi la complexité gestuelle de cette technique artisanale. [11]



Figure 4: Le Tissage aux Tablettes: Technique Et Mise En Œuvre [11]



Figure 5: Le Tissage aux Tablettes : Technique Mise en œuvre [11]

I.9. Le Sommet de l'Art : Le Métier à la Tire (Pour les motifs)

Avant que Jacquard n'invente ses cartes perforées, si on voulait tisser une fleur ou un blason, c'était un défi colossal :

I.9.1. Le Système des Lacs

On utilisait des fils d'arcade reliés à des cordes (les lacs). Chaque corde correspondait à une partie du dessin. [12]

I.9.2. Le Tireur de Lacs

Un assistant (souvent des enfants à cause de leur agilité) devait se tenir sur le côté ou au-dessus du métier. À chaque passage de navette, il devait tirer les cordes spécifiques indiquées par le maître tisserand. [12]

- La Précision :

Le tireur de lacs était le "processeur humain". S'il tirait la mauvaise corde, le motif était décalé. Pour des tissus très complexes, on pouvait avoir jusqu'à 5 tireurs pour un seul métier. [12]

I.10. Le Métier à Tisser : Entre Tradition et Modernité

Le métier à tisser est l'outil indispensable du tisserand pour donner vie au tissu. Qu'il s'agisse d'une machine imposante au cœur de l'industrie textile ou d'un dispositif manuel plus artisanal, son rôle demeure inchangé. En effet, malgré les bonds technologiques et les progrès mécaniques,

Le principe de base traverse les siècles : le métier maintient les fils de chaîne sous une tension précise, tout en orchestrant le passage perpendiculaire des fils de trame.

Au centre de ce processus, on retrouve un composant essentiel : la lisse (appelée aussi lice ou aiguille). Chaque fil de chaîne est soigneusement enfilé dans l'œillet central d'une lisse. Le travail du tisserand consiste alors à soulever ou abaisser certaines de ces lisses pour créer un espace entre deux nappes de fils de chaîne.

Cette ouverture cruciale, que l'on appelle le « pas » ou la « foule », permet à la navette de glisser et d'insérer le fil de trame au cœur de la structure. Traditionnellement conçue en fil métallique ou en ficelle, chaque lisse est montée sur des cadres (ou « lames »), eux-mêmes suspendus au harnais du métier. C'est finalement grâce à un jeu de pédales que le tisserand contrôle l'élévation ou l'abaissement de ces cadres, rythmant ainsi la création du textile.

Afin d'illustrer la persistance des savoir-faire ancestraux à travers le monde, les figures suivantes (Figure 6 et Figure 7) présentent deux exemples de métiers à tisser manuels. On peut y observer la tension rigoureuse des fils de chaîne et l'interaction directe de l'artisan avec la structure, illustrant parfaitement la complexité gestuelle nécessaire pour orchestrer le passage des fils de trame dans la 'foule'. [13]



*Figure 6: Métier à Tisser Artisanal
(Bangladesh) [13]*



Figure 7: Tissage Artisanal (Guatemala) [13]

Chaque pièce de tissu était unique. L'irrégularité imperceptible du fil fait à la main donnait au textile un reflet et une âme que les machines industrielles ne peuvent reproduire. Un vêtement n'était pas un simple objet de consommation, c'était le témoin de semaines de travail, de patience et d'une ingénierie humaine incroyable réalisée uniquement avec du bois, des cordes et des doigts agiles.

C'est sur cette base de complexité humaine que Jacquard s'est appuyé pour imaginer son système binaire (trou = fil levé / pas de trou = fil baissé), marquant le passage définitif de l'artisanat pur à l'ère de l'informatique textile.

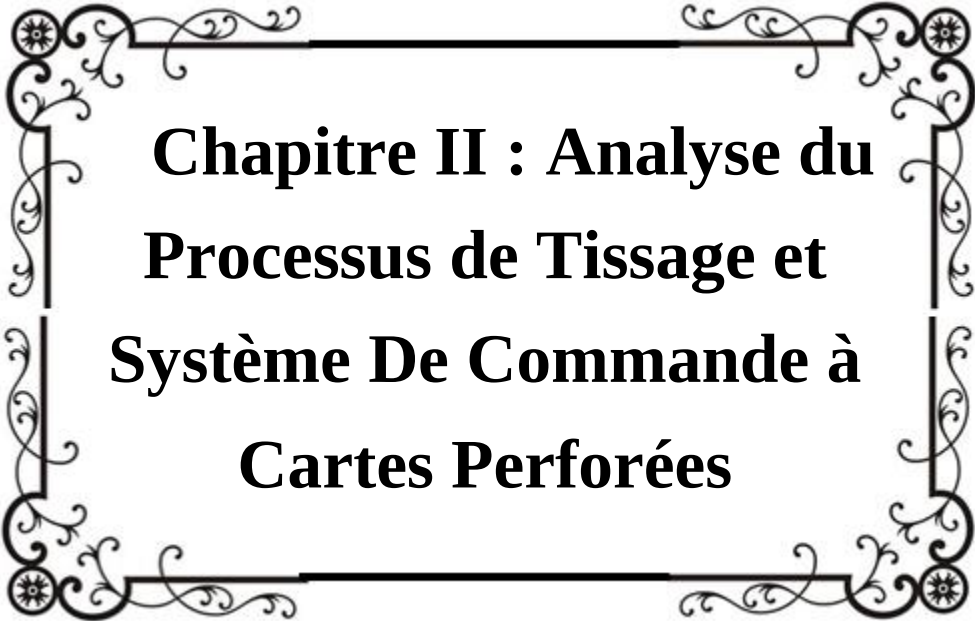
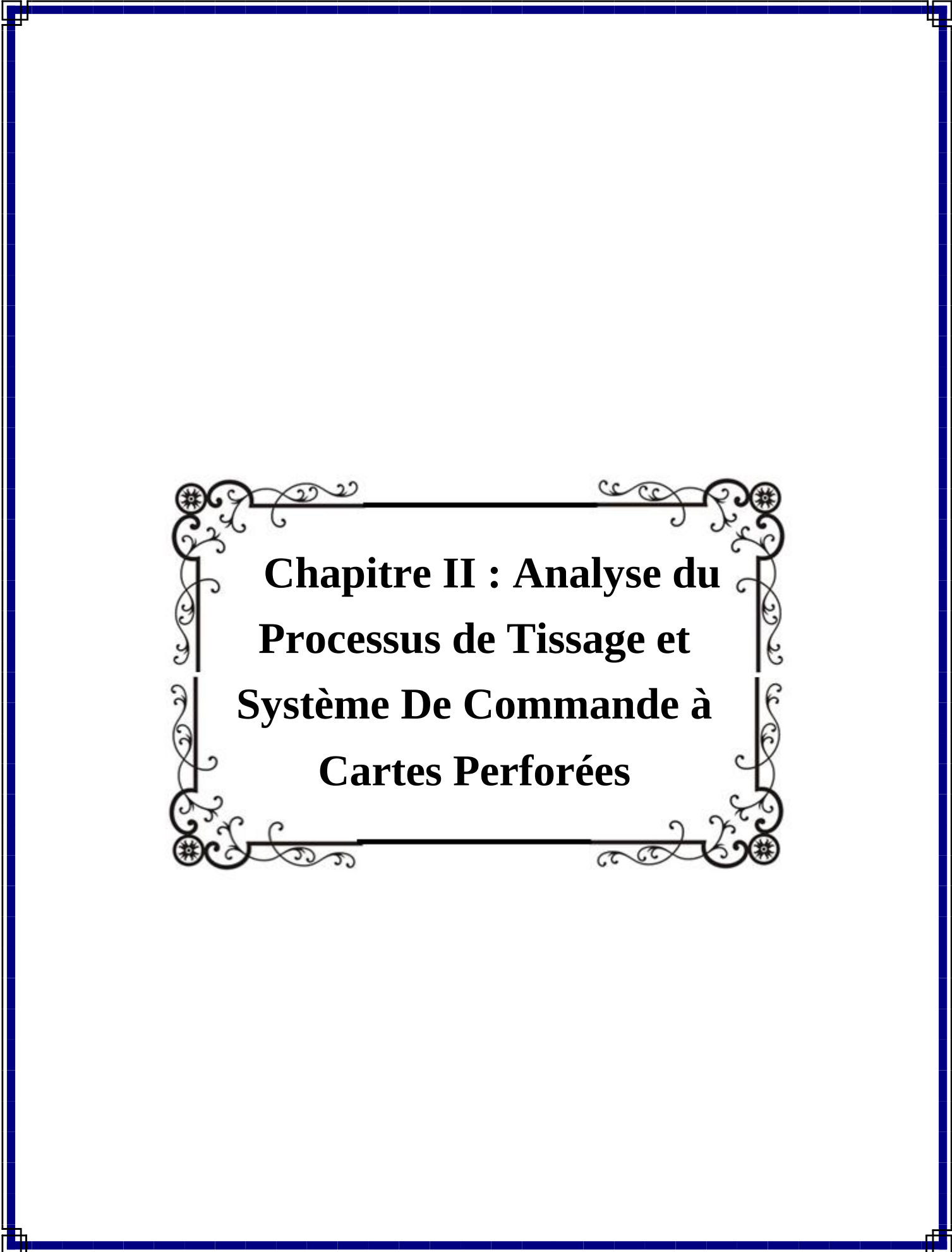
I.11. Conclusion

Le tissage apparaît ainsi comme une technique fondamentale qui a accompagné l'évolution des sociétés humaines depuis des millénaires. À partir d'un principe simple d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame, il a donné naissance à une grande diversité de tissus, répondant à des besoins à la fois pratiques, esthétiques et culturels.

Au fil du temps, les différentes étapes de transformation des fibres, du filage jusqu'au tissage, ont été perfectionnées grâce à l'ingéniosité humaine. Les outils et les métiers à tisser ont évolué, passant de dispositifs entièrement manuels à des machines de plus en plus complexes, capables de produire rapidement des textiles variés et sophistiqués. Malgré cette évolution technologique, les principes de base du tissage restent inchangés.

Ainsi, ce chapitre met en évidence que le tissage n'est pas seulement une technique de production, mais aussi un savoir-faire ancien qui relie tradition et modernité. Il constitue un domaine où se rencontrent l'histoire, la technique et la créativité humaine.

En guise de transition, après avoir exploré les fondements mécaniques et les techniques ancestrales du tissage dans ce premier chapitre, nous consacrerons le chapitre suivant à l'étude du système Jacquard. Nous analyserons comment cette innovation a révolutionné la production textile en introduisant les prémices de l'automatisme et de la programmation.



Chapitre II : Analyse du Processus de Tissage et Système De Commande à Cartes Perforées

II.1. Introduction

Le présent volet de notre étude se focalise sur l'exploration attentive du l'art du tissage et de celui de la commande mécanique par cartes perforées. On se s'efforcera d'abord, en détail, d'analyser les principes élémentaires de l'entrelacement des fils de chaîne et de trame. Puis, nous tenterons à la lumière de leur mouvement ingénieux de mettre en lumière la trouvaille de Joseph-Marie Jacquard. Au travers de l'étude de cette même mécanique, nous parviendrons à faire la démonstration de la manière dont la possibilité d'une sélection physique a permis d'atteindre de tels motifs textiles, marquant ainsi une étape décisive dans l'histoire de la mécanique de haute horlogerie.

- **Contexte de l'étude**

Le tissage Jacquard est l'art du tissage réalisé de manière perfectionnée qui, tout en s'affranchissant autant que possible du travail manuel, a profondément transformé le monde des étoffes riches en ornements.

En effet, depuis des millénaires, le tissage est l'opération qui consiste à entrelacer habilement les fils de chaîne avec les fils de trame au moyen d'un métier à tisser, chaque fil trouvant une place préalablement déterminée grâce à des outils tels que le peigne et la navette.

Ce principe fut révolutionné au XIXe siècle par Joseph-Marie Jacquard, qui mit au point un système à cartons perforés permettant de tisser des étoffes à motifs complexes sans intervention humaine directe. Née à Lyon — ville des soyeux — cette invention permit non seulement d'accélérer le travail dans les ateliers, mais constitua également le point de départ de l'ensemble du processus d'automatisation textile, ouvrant la voie aux technologies d'aujourd'hui.

Nous présentons tout d'abord son histoire ainsi que son fonctionnement, avant d'envisager les voies d'application de la technique. [15]



Figure 8: Architecture et Fonctionnement de la Mécanique Jacquard [15]

Cette image (figure 8) montre la transformation du métier Jacquard au fil du temps. À gauche, on observe un ancien métier Jacquard (vers 1801), entièrement mécanique, utilisant des cartes perforées pour contrôler le levage des fils et créer des motifs. Ce système représentait une grande innovation à son époque, car il permettait d'automatiser le tissage complexe.

À droite, on voit un métier Jacquard moderne, beaucoup plus rapide et précis, fonctionnant avec des technologies électroniques et informatiques. Il remplace les cartes perforées par des systèmes numériques, ce qui permet de produire des tissus plus complexes avec une meilleure efficacité.

II.2. Principes Généraux du Tissage

Ce procédé de tissage par enchevêtrant est connu sous le nom de tissage, et les fils qui se présentent dans diverses orientations sont désignés comme fils de chaîne et de trame. [16]

II.2.1. La Chaîne

Les fils de chaîne sont disposés parallèlement à la lisière du tissu, c'est-à-dire dans le sens de la longueur. Tendus verticalement sur le métier à tisser, ils confèrent au tissu sa tension et sa structure de base. En ce sens, ils constituent l'ossature même du tissu tissé. [16]



Figure 9: Mise en place des files de chaine sur le métier à tisser [17]

Cette image (figure 9) met en lumière le travail minutieux d'un artisan utilisant un métier à tisser manuel pour entrelacer les fils. On y observe le mouvement des mains guidant la navette à travers la chaîne pour créer progressivement une pièce de tissu unique. Ce geste ancestral témoigne d'un savoir-faire technique où la précision et la patience sont essentielles pour obtenir un motif régulier.

a. Le rôle de La Chaîne

- Les fils de chaîne forment l'élément fondamental de la construction du tissu. Il s'agit des fils verticaux du métier à tisser, autour desquels les fils de trame s'entrelacent de manière à constituer la structure solide du tissu.
- Les fils de chaîne génèrent une texture et un motif vertical. En accord avec les bords du tissu, l'arrangement et les teintes des fils de chaîne peuvent contribuer à la création de textures verticales, y compris des motifs plus sophistiqués comme les rayures.
- Les propriétés du tissu sont influencées par les fils de chaîne. Les fils de chaîne fortement tendus apportent un support structurel au tissu, renforçant sa robustesse générale, son maintien leur tenue et sa résistance aux plis. Ils influencent également quelque peu le tombé du tissu, puisqu'une tension plus relâchée dans la chaîne autorise une meilleure souplesse. [16]

II.2.2.La Trame

On désigne aussi les fils de trame sous le nom de trame ou trame de remplissage. Il s'agit essentiellement des fils qui sont disposés de manière horizontale et perpendiculaire aux bords, courant parallèlement à la largeur du tissu. Ils se croisent au-dessus et en dessous des fils de chaîne afin de constituer la structure du tissu. Les fils de trame sont plus aisément perceptibles à la surface du tissu que les fils de chaîne. [17]



Figure 10: Vue Détaillée du Processus de Tissage (La Trame) [17]

Cette image (figure 10) nous plonge au cœur du métier, là où l'artisan manipule avec agilité les navettes pour entrelacer les fils de trame. On y voit des bobines de couleurs vives, comme le jaune et le bleu, prêtes à dessiner les rayures du tissu sous l'œil attentif du créateur. Chaque

mouvement du battant vient serrer la matière, exigeant une synchronisation parfaite entre la force physique et la délicatesse du geste. C'est un bel hommage au travail manuel, où chaque passage de trame donne vie à une pièce unique et authentique.

a. Le rôle de la trame

- **Création du motif** : C'est l'entrecroisement précis de la trame avec les fils de chaîne qui donne naissance aux dessins et aux décors complexes caractéristiques du Jacquard.
- **Couleur et texture** : Le fil de trame apporte la couleur aux motifs et façonne le relief ainsi que le toucher du tissu.
- **Liaison des fils** : La trame lie et maintient les fils de chaîne entre eux, en s'insérant sagement selon le guidage physique des cartons perforés.
- **Densité du tissu** : Le nombre de passages de la trame par centimètre détermine le serrage, le poids et la qualité globale de l'étoffe. [17]

L'opération fondamentale est la formation de la "foule" (l'ouverture entre les fils de chaîne).

II.3. Le Principe

La formation de la foule (l'ouverture des fils) s'opère par le jeu régulier des fils qui se lèvent et s'abaissent. Ce mouvement, autrefois manuel, devient automatique grâce à la mécanique Jacquard. Une force circulaire est transformée en un va-et-vient continu, permettant d'actionner les crochets et les aiguilles sans relâche. C'est cette cadence répétée qui assure la régularité du tissage, même pour les ouvrages les plus pesants. [18]

II.4. Cartes perforées

Le système à cartes perforées constitue le cerveau mécanique du métier Jacquard. Chaque carte correspond à une ligne du motif à tisser : la présence ou l'absence de perforations détermine la sélection des fils de chaîne à soulever. Ce procédé permet de mémoriser et de reproduire mécaniquement des dessins complexes avec une précision constante. [19]



Figure 11 : Les éléments de Commande du Mécanisme Jacquard (Carte et Cylindre) [19]

Ces deux images (figure 11) illustrent la parenté entre les cartons du métier Jacquard et les systèmes de guidage mécanique. On y voit d'un côté les cartons perforés qui dictent le dessin au métier, et de l'autre, une plaque gravée selon le même principe ingénieux de 'vides' et de 'pleins'. Cette méthode, qui permettait autrefois de créer des motifs d'une grande complexité, témoigne du génie des artisans du XIXe siècle. Leur savoir-faire a ainsi ouvert la voie à la précision mécanique que nous connaissons aujourd'hui.

II.5. Analyse des Organes Mécaniques Traditionnels

II.5.1. La mécanique Jacquard (tête Jacquard)

C'est le cerveau du métier elle est placée au-dessus du métier et contrôle le mouvement des fils de chaîne.

a. Composants principaux

- **Le Cylindre** : Pièce rotative porte les cartons perforés et avance à chaque coup de trame. [20]
- **Les Aiguilles** : Tiges métalliques horizontales Palpent le carton. Si l'aiguille rencontre un trou, elle avance. [20]
- **Les Crochets** : reliés aux aiguilles. Si l'aiguille avance, le crochet s'accroche au "griffe" (le cadre mobile) et monte. [20]
- **La griffe(ou couteau)** : barre mobile qui monte et descend, entraînant les crochets sélectionnés. [20]

II.5.2. Le système de lecture des cartes

Tableau 1: Le système de lecture des cartes

Organe	Rôle
Carte perforée.	Sert à guider mécaniquement les aiguilles pour choisir les fils à lever.
Aiguille.	Détecter la présence ou absence de trou.
Crochet.	Transmet le mouvement vers le haut.
Arcades.	Fils reliant les crochets aux lisses.

II.5.3. Les lisses et cadres

- **La lisse** : petite pièce métallique avec un œillet central dans lequel passe un fil de chaîne.
- **Le cadre de lisses** : structure portant plusieurs lisses.
- **Rôle** : lever ou abaisser les fils de chaîne pour former la foule. [21]

II.5.4. La foule

- C'est l'espace en V créé entre les fils de chaîne levés et ceux restés bas.
- La navette passe dans cet espace pour déposer le fil de trame.
- La foule est le moment clé de la formation du tissu. [22]

II.5.5. La navette

- Contient la canette (bobine de fil de trame).
- Projetée d'un côté à l'autre du métier dans la foule.
- Traditionnellement en bois, de forme fuselée.
- Propulsée par le battant. [22]

II.5.6. Le battant

- Organe oscillant portant le peigne.
- Tasse (pousse) le fil de trame déposé pour le serrer contre le tissu déjà formé.
- Cadence le rythme du tissage. [22]

II.5.7. Le peigne

- Série de lamelles métalliques très serrées.
- Guide et espace les fils de chaîne régulièrement.
- Contribue au serrage de la trame lors du coup de battant. [22]

II.5.8. L'ensouple

- Ensouple arrière : grand cylindre sur lequel est enroulée la chaîne.
- Ensouple avant (porte-tissu) : enroule le tissu fabriqué au fur et à mesure.
- Le dévidage et l'enroulement sont synchronisés mécaniquement. [22]

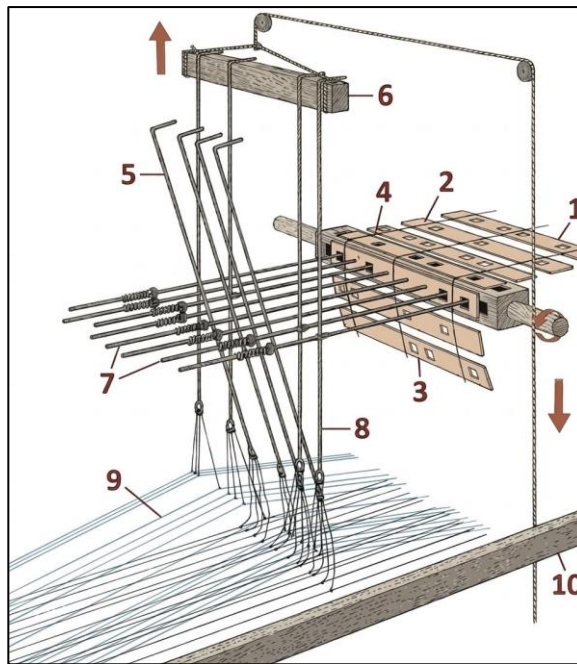


Figure 12: Étude Cinématique des Organes du Métier Jacquard. [21]

Ce schéma (figure 12) nous plonge dans les coulisses d'une invention qui a changé le monde: le système Jacquard. On y découvre comment de simples aiguilles (7) "lisent" les trous des cartons perforés (1, 2) pour soulever les fils de chaîne (9) au bon moment. C'est une véritable chorégraphie mécanique où chaque perforation devient un ordre précis, permettant de créer des motifs complexes avec une facilité déconcertante. En rendant ce geste mécanique, Jacquard n'a pas seulement révolutionné le textile, il a aussi inventé, sans le savoir, un système de commande ingénieux qui allait transformer l'industrie.

II.6. Nomenclature des composants

- 1) **Chaîne de cartes perforées** : La suite de cartons dictant le motif. [23]
- 2) **Carte perforée (en position)** : La carte présentée aux aiguilles.
- 3) **Perforation (Trou)** : Le passage ou l'arrêt de l'aiguille. [23]
- 4) **Cylindre (Prisme)** : Support rotatif qui présente la carte face aux aiguilles. [23]
- 5) **Crochets (Hooks)** : Tiges verticales qui soulèvent les fils de chaîne. [23]
- 6) **La Griffe (Couteau)** : Cadre mobile qui monte et descend pour entraîner les crochets sélectionnés. [23]
- 7) **Aiguilles horizontales** : Aiguilles de palpation qui testent la présence de trous dans la carte. [23]
- 8) **Arcades (Cordes de harnais)** : Fils reliant les crochets aux lisses du métier. [23]
- 9) **Fils de chaîne (Warp threads)** : Les fils de textile qui forment le tissu. [23]
- 10) **Bâti (Cadre)** : Structure fixe de la machine. [23]

II.7. Description cycle de fonctionnement du métier Jacquard

Le cycle complet se décompose en 3 phases successives qui se répètent à chaque passage de trame. [24]

II.7.1.Phase 1 : La lecture

C'est la phase de la lecture du dessin, la mécanique Jacquard interroge la carte perforée.

Déroulement :

- La carte perforée est plaquée contre le cylindre (prisme).
- Les aiguilles horizontales avancent simultanément vers la carte. [24]
- Deux cas se présentent :

Tableau 2: Tableau des cas de lecture de la carte perforée par les aiguilles

Situation	Mécanisme	Résultat
Trou présent	L'aiguille passe à travers	Le crochet reste en position haut (actif)
Pas de trou	L'aiguille est repoussée	Le crochet est dévié (inactif)

II.7.2.Phase 2 : L'exécution

C'est la phase de mouvement, les ordres lus sont traduits en actions sur les fils de chaîne. [24]

Déroulement :

a. Sélection des crochets

- Les crochets actifs (aiguille passée dans le trou) s'accrochent à la griffe montante
- Les crochets inactifs restent en dehors de la griffe. [24]

b. Levée sélective des fils

- La griffe monte et entraîne uniquement les crochets sélectionnés
- Via les arcades et les lisses, les fils de chaîne correspondants sont levés
- Les autres fils restent en position basse. [24]

c. Formation de la foule

- L'écartement entre fils hauts et fils bas crée la foule (espace en V)
- La foule est maintenue ouverte pendant toute la phase d'exécution. [24]

d. Passage de la navette

- La navette traverse la foule de gauche à droite (ou droite à gauche)
- Elle dépose le fil de trame sur toute la largeur du tissu. [24]

e. Coup de battant

- Le battant bascule vers l'avant.
- Le peigne serre le fil de trame contre le tissu déjà formé.
- La foule se referme. [24]

II.7.3.Phase 3 : La rotation

C'est la phase de progression la mécanique avance à la carte suivante. [24]

Déroulement :

- Le cylindre (prisme) pivote d'un quart de tour (ou fraction selon le type de mécanique).
- La carte utilisée s'écarte du cylindre.
- La carte suivante vient se positionner face aux aiguilles.
- Le système est prêt pour un nouveau cycle de lecture. [24]

Synchronisation :

- La rotation est synchronisée mécaniquement avec le battant.
- Elle s'effectue pendant le retour du battant (entre deux coups).
- Le timing est crucial pour éviter toute erreur de sélection. [24]

II.8. La Révolution industrielle et diffusion mondiale

L'adoption du métier Jacquard marqua une étape majeure de l'industrialisation du textile grâce à la mécanisation du contrôle des fils, il devint possible de produire des tissus complexes de manière plus rapide, régulière et économique

Le système se diffusa très rapidement dans les manufactures de Lyon, haut lieu de la soierie puis dans tout l'Europe et au-delà.

L'introduction du jacquard contribua aussi à la modernisation de l'industrie textile :

- il augmenta considérablement la productivité.
- Réduisit le besoin en main-d'œuvre manuelle.
- Permis d'obtenir une qualité de reproduction de motifs inégalée.

Ce mécanisme fut l'un des premiers exemples de programmation mécanique où une série d'instruction (les cartes perforées) déterminait le comportement d'une machine cette logique inspira plus tard le développement de la mécanographie et des premiers ordinateurs au XIX^e et XX^e siècles. [25]

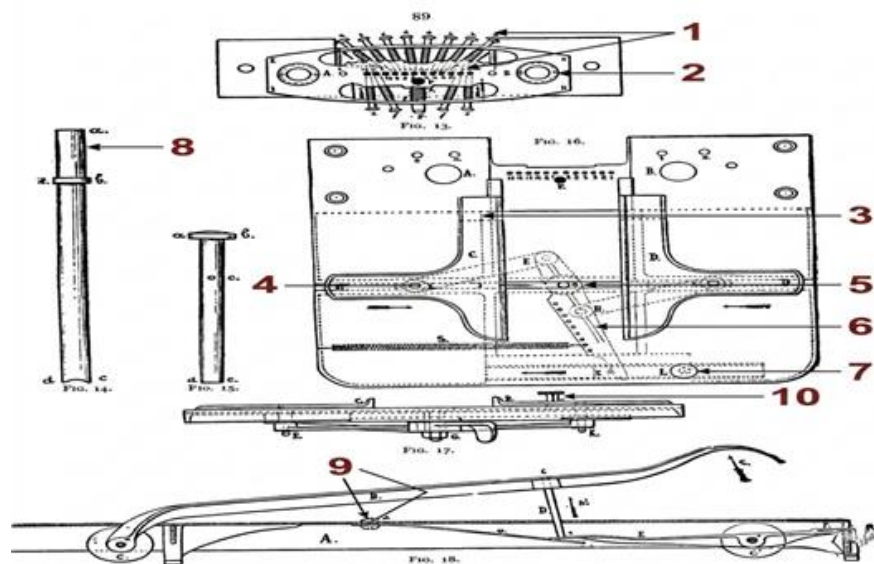


Figure 13: Organes mécaniques du bloc de sélection d'un métier Jacquard traditionnel

Ce document (figure 13) nous plonge dans les archives de l'ingénierie, dévoilant les pièces de précision qui font battre le cœur d'une machine complexe. On y découvre des schémas détaillés de ressorts, de leviers et de tiges numérotés, tous conçus pour s'emboîter dans une chorégraphie mécanique parfaite. Ces dessins d'époque montrent comment chaque petit composant transforme un simple mouvement en une action automatique et précise. C'est un hommage fascinant au savoir-faire préindustriel, où la géométrie et la rigueur permettaient déjà de créer des outils capables de répéter des tâches avec une exactitude quasi humaine.

- 1) **Aiguille de détection** : Sa fonction est d'entrer (ou non) dans un trou de la carte perforée pour lire le motif. [26]
- 2) **Guidage rotatif** : Il assure l'alignement parfait du boîtier d'aiguilles lors du contact avec le cylindre. [26]
- 3) **Curseur de sélection (C.)** : Une pièce mobile qui se déplace latéralement pour orienter la sélection vers le bon groupe de crochets. [26]
- 4) **Biellette de liaison** : Elle transmet et synchronise le mouvement entre les différentes parties du mécanisme de sélection. [26]
- 5) **Levier de commande** : Il transforme le mouvement mécanique en une action de sélection précise pour chaque ligne de la carte. [26]
- 6) **Ressort de rappel (S.)** : Sa fonction est de ramener le mécanisme à sa position initiale (Retour à l'état initial) après chaque cycle de lecture. [26]
- 7) **Roulette de guidage** : Elle facilite le mouvement fluide et réduit la friction lors du déplacement des pièces de sélection. [26]
- 8) **Tige d'aiguille** : C'est le corps de l'aiguille qui transmet la pression du carton vers le crochet vertical. [26]
- 9) **Pivot d'articulation** : Le point central de rotation qui permet au grand levier de soulever toute la charge des fils. [26]
- 10) **Boulon d'arrêt / Pivot** : Il fixe et limite la course du levier pour assurer que l'ouverture du "pas" (la foule) soit constante. [26]

II.9. Analyse Cinématique du Cycle de Fonctionnement (Détailée)

Le cycle de fonctionnement d'une mécanique Jacquard est un mouvement périodique synchronisé avec la rotation de l'arbre principal du métier à tisser. On peut diviser ce cycle en quatre phases cinématiques distinctes : [26]

II.9.1.Phase de Présentation et de Palpage (Lecture)

Dans cette phase, l'information passe du support (carton) vers le système de sélection (aiguilles). [26]

- **Mouvement du Cylindre** : Le cylindre (prisme) effectue un mouvement de translation horizontale vers la boîte à aiguilles. [26]
- **Le Palpage** : Chaque aiguille horizontale possède une extrémité qui vient "tâter" la surface du carton. [26]
- **Si un trou est présent** : L'aiguille pénètre dans la perforation. Elle se maintient en position de repos. Le ressort de rappel n'est pas comprimé. [26]
- **Si le carton est plein** : La surface rigide du carton pousse l'aiguille. Celle-ci effectue une translation horizontale (généralement de 10 à 20 mm), comprimant son ressort de rappel. [26]
- **Résultat** : Le passage ou l'arrêt de l'aiguille est détermine l'état mécanique (Aiguille au repos ou Aiguille déplacée). [26]

II.9.2.Phase de Sélection et de Verrouillage

Cette phase lie le mouvement horizontal des aiguilles au mouvement vertical des crochets. [26]

- **Interaction Aiguille-Crochet** : Chaque aiguille traverse un crochet vertical via une boucle. [26]
- **Désalignement Géométrique** : Position "Trou" (SÉLECTIONNÉ) : Le crochet reste parfaitement vertical. Sa tête (le bec) se trouve exactement dans l'alignement vertical du couteau. [26]
- **Position "Plein" (ÉJECTÉ)** : L'aiguille, en reculant, force le crochet à s'incliner. La tête du crochet est alors décalée hors de la zone de prise du couteau. [26]
- **Sécurité** : À ce stade, la sélection est verrouillée par la pression maintenue du cylindre contre les aiguilles. [26]

II.9.3.Phase de Levée (Formation de la Foule)

C'est la phase de travail où l'énergie mécanique est transmise aux fils. [26]

- **Ascension de la Griffe** : Le cadre des couteaux (la griffe) commence sa montée verticale. [26]
- **Accrochage** : Les couteaux remontent et rencontrent les têtes des crochets restés verticaux. Ils les "embarquent" dans leur mouvement ascendant. [26]
- **Mouvement de la Foule** : En montant, les crochets tirent les arcades du harnais, soulevant les fils de chaîne. [26]
- On obtient alors deux nappes de fils : les fils levés (ceux correspondant aux trous) et les fils restés en bas (ceux poussés par le carton plein). [26]
- **L'Insertion** : C'est durant le point culminant de cette phase (l'ouverture maximale) que la navette passe pour insérer le fil de trame. [26]

II.9.4.Phase de Descente et de Remise au repos

Cette phase prépare la machine pour le coup suivant : [26]

- **Mouvement Descendant** : La griffe redescend. Les crochets sont libérés de la tension des couteaux. [26]
- **Rappel Gravitaire** : Les plombs situés au bas du harnais exercent une force de traction vers le bas, forçant les fils, les arcades et les crochets à reprendre leur position initiale (position basse). [26]
- **Dégagement et Rotation** : Le cylindre s'écarte horizontalement de la boîte à aiguilles. [26]
- Grâce à un mécanisme de cliquet (appelé "Le carre"), le cylindre tourne de 90° (un quart de tour). [26]
- Cette rotation présente la nouvelle face du cylindre portant la prochaine carte perforée. [26]
- **Fin de Cycle** : Le système est prêt pour une nouvelle phase de palpation. [26]

II.10. Le Système de Transmission : Le Harnais (Le Pont Mécanique)

Le harnais est l'ensemble des organes qui transmettent le mouvement de sélection verticale, généré par la mécanique Jacquard (en haut), jusqu'aux fils de chaîne (en bas) sur le métier à tisser. C'est un système de transmission par liens flexibles qui doit garantir une précision rigoureuse. [12]

II.10.1. 1. Les Cordes d’Arcades

Chaque crochet de la mécanique est relié à une ou plusieurs cordes appelées Arcades.

- **Fonction** : Elles transmettent la force de levée. Si un motif se répète plusieurs fois sur la largeur du tissu, un seul crochet peut commander plusieurs arcades (système de répétition mécanique). [12]
- **Propriétés** : Elles doivent être inextensibles et résistantes au frottement, car elles subissent des milliers de cycles de tension/détente. [12]

II.10.2. La Planche d’Arcades

C’est une planche horizontale fixe, percée d’une multitude de trous disposés selon un plan de perçage. [12]

- **Rôle de guidage** : Elle sert à répartir les arcades provenant de la mécanique (souvent étroite) vers toute la largeur du tissu (beaucoup plus large). [12]
- **Fonction de peigne** : Elle maintient chaque arcade à sa position exacte pour éviter tout emmêlement ou frottement entre les cordes, garantissant que chaque fil de chaîne reste indépendant. [12]

II.10.3. Le Collet et le Corps de Harnais

C’est la partie intermédiaire où les arcades se rejoignent. [12]

- **L’œil de jonction (Le Collet)** : C’est le point d’attache entre le crochet et l’arcade. [12]
- **Le réglage de la hauteur** : L’ouvrier doit régler la longueur de chaque arcade pour que tous les fils de chaîne soient parfaitement alignés à l’horizontale au repos (formation de la ligne de "pas"). [12]

II.10.4. Les Maillons (Organe de liaison)

Au milieu de chaque corps de harnais se trouve un Maillon (une petite pièce ovale en acier ou en verre). [12]

- **Le passage du fil** : Le fil de chaîne passe à l’intérieur de l’œil du maillon. [12]
- **Pièce d’exécution** : Lorsque l’arcade monte, le maillon soulève physiquement le fil de chaîne pour créer l’ouverture (la foule) permettant le passage de la trame. [12]

II.10.5. Les Plombs de Rappel

Comme nous sommes dans une mécanique traditionnelle (sans ressorts de rappel modernes), chaque arcade est lestée à son extrémité inférieure par un Plomb. [12]

- **Fonction** : Assurer la descente rapide du fil et du crochet dès que le couteau de la griffe relâche la pression. [12]
- **Force de rappel** : La masse du plomb doit être calculée pour vaincre les forces de frottement et la tension du fil de chaîne. C'est la seule force qui garantit la fermeture du "pas" (la position basse). [12]

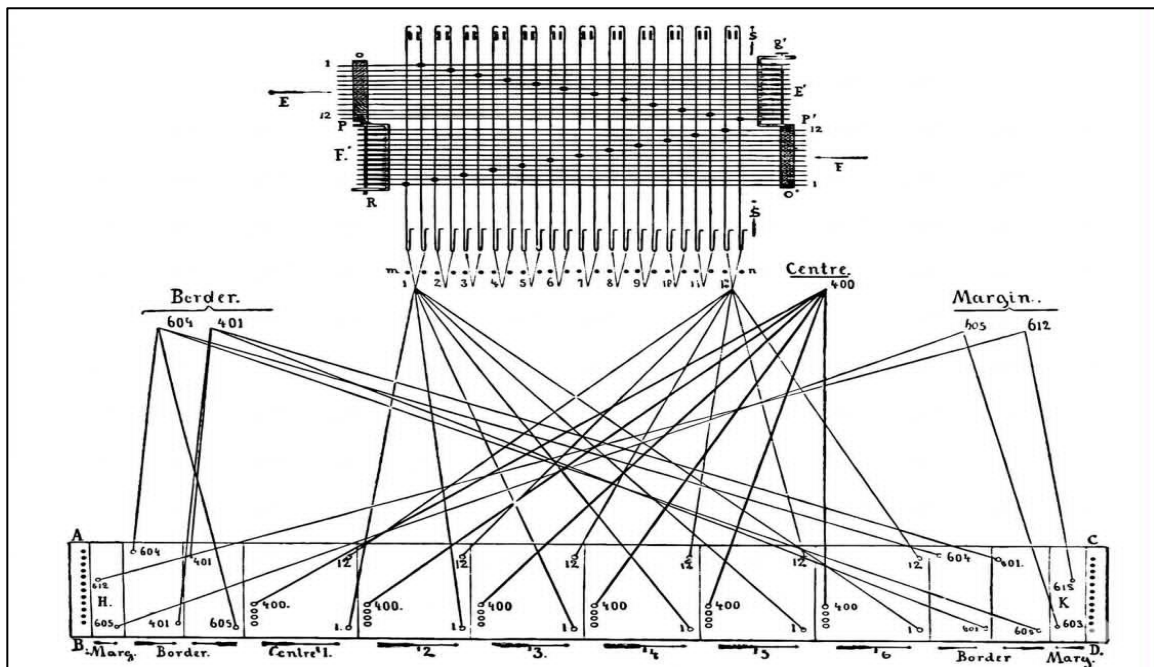


Figure 14: Schéma de montage du harnais (Le Rempotage) [26]

Ce schéma technique (figure 14) illustre l'ordonnancement complexe du harnais, où chaque corde d'arcade est disposée avec une rigueur géométrique pour commander le levage des fils. Cette organisation méthodique permet de répartir les ordres issus des cartons perforés sur toute la largeur de la chaîne, garantissant ainsi la précision du dessin et la symétrie des motifs. Ce système de commande mécanique représente l'excellence de l'automatisme industriel du XIXème siècle, permettant d'obtenir une régularité de tissage et une complexité de reproduction jusqu'alors inégalées.

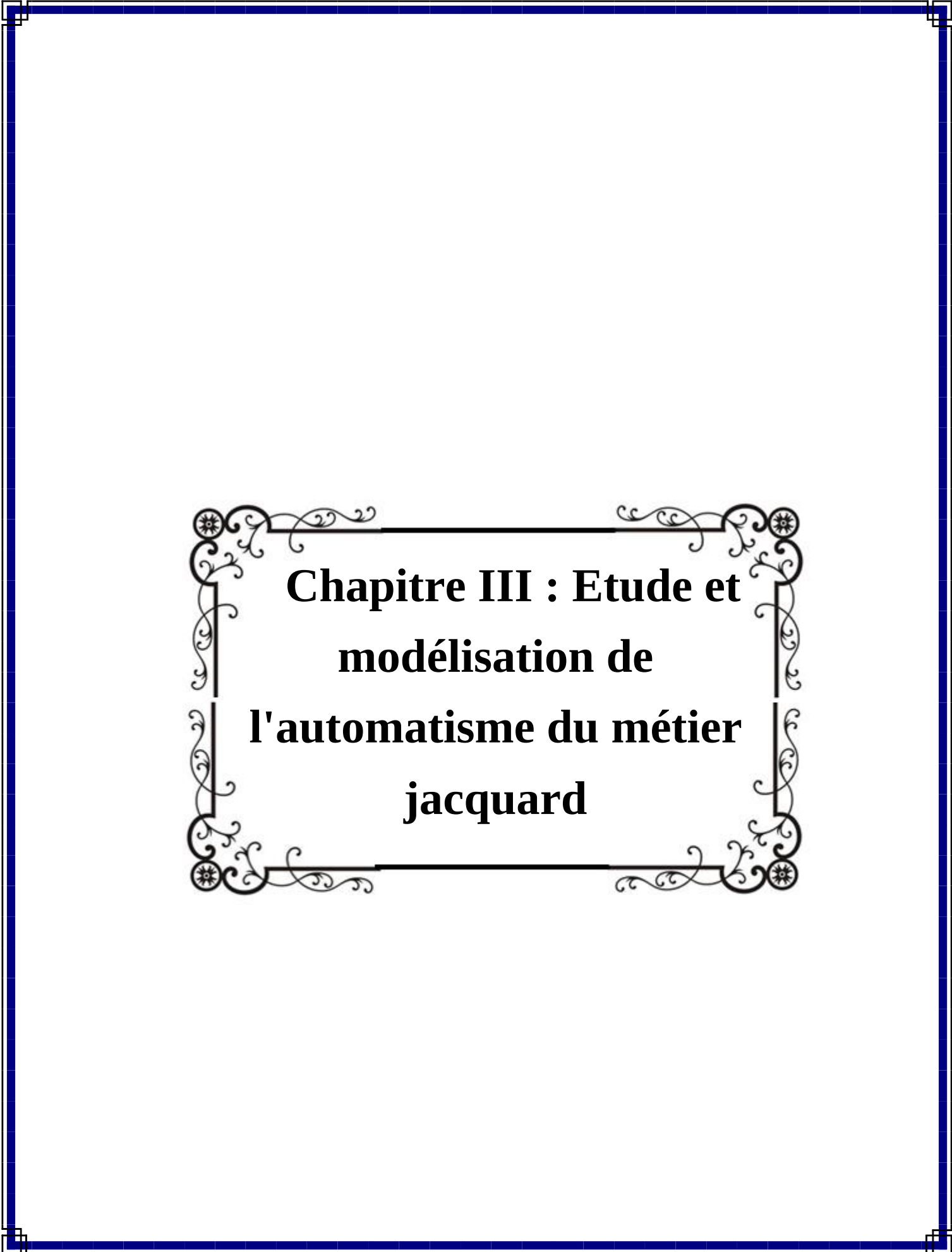
II.11. Conclusion

L'analyse technique de la mécanique Jacquard traditionnelle met en évidence l'existence d'un système automatisé complet, où le dispositif de lecture est dissocié de la force motrice. Le fonctionnement de ce mécanisme repose sur une construction mécanique rigoureuse, articulée autour de trois axes fondamentaux :

- La lecture et la sélection : opérées par le contact mécanique direct entre le cylindre et le banc d'aiguilles.
- La transmission de mouvement : assurée par l'ensemble cinématique (griffes et crochets) qui traduit la sélection en un déplacement vertical.
- L'organe d'exécution : représenté par le harnais, garantissant la levée précise de chaque fil de chaîne.

En définitive, l'ingéniosité de ce système réside dans l'application d'une logique mécanique fondée sur la présence ou l'absence de perforations. Le remplacement de l'intervention humaine par le jeu des cartons perforés assure une régularité industrielle et une précision de tissage inédites. Ce chapitre établit ainsi la mécanique Jacquard comme le premier appareil à commande automatique, où chaque trou constitue un ordre mécanique indispensable à la réalisation de motifs complexes.

La transition du carton perforé vers la commande numérique marque une étape clé dans l'automatisation textile ; nous étudierons ici comment cette logique mécanique a jeté les bases de la programmation actuelle.



Chapitre III : Etude et modélisation de l'automatisme du métier jacquard

III.1. Introduction

Ce chapitre est consacré à la modélisation technique du système de commande du métier à tisser Jacquard automatisé. Son principal objectif est de réaliser le passage du principe de tissage traditionnel dans un environnement mécatronique moderne sous contrôle d'un microcontrôleur (μC).

III.2. Le Cycle de Tissage

Le cycle de tissage se base sur les étapes fondamentales du tissage Jacquard

- **Lecture du motif (Matrice de tissage) :**

Le microcontrôleur accède à la mémoire pour lire une ligne de données représentant le motif de la trame courante.

- **Sélection et Levée sélective (Actionneurs) :**

Les signaux numériques activent les MOSFETs, qui à leur tour excitent les électro-aimants pour sélectionner les crochets. Ensuite, le Moteur Pas à Pas (piloté par ULN2003) lève les crochets sélectionnés.

- **Passage et Insertion de la trame :**

Le Moteur CC (piloté par le L293D) actionne le mécanisme d'insertion (la navette ou la pince) pour insérer le fil de trame à travers la foule.

- **Battage :**

Le peigne pousse le fil de trame contre le tissu formé.

- **Avancement et Incrémentation :**

Le tissu s'enroule, le système incrémente l'index de la matrice et se prépare pour la ligne suivante du motif. [28]

III.3. Étude Approfondie de l'Unité de Commande (Microcontrôleur)

L'unité de commande est le cerveau du système de tissage. Son rôle dépasse le simple calcul ; elle assure la synchronisation en temps réel entre le motif numérique et la mécanique de précision de la machine Jacquard. [30]

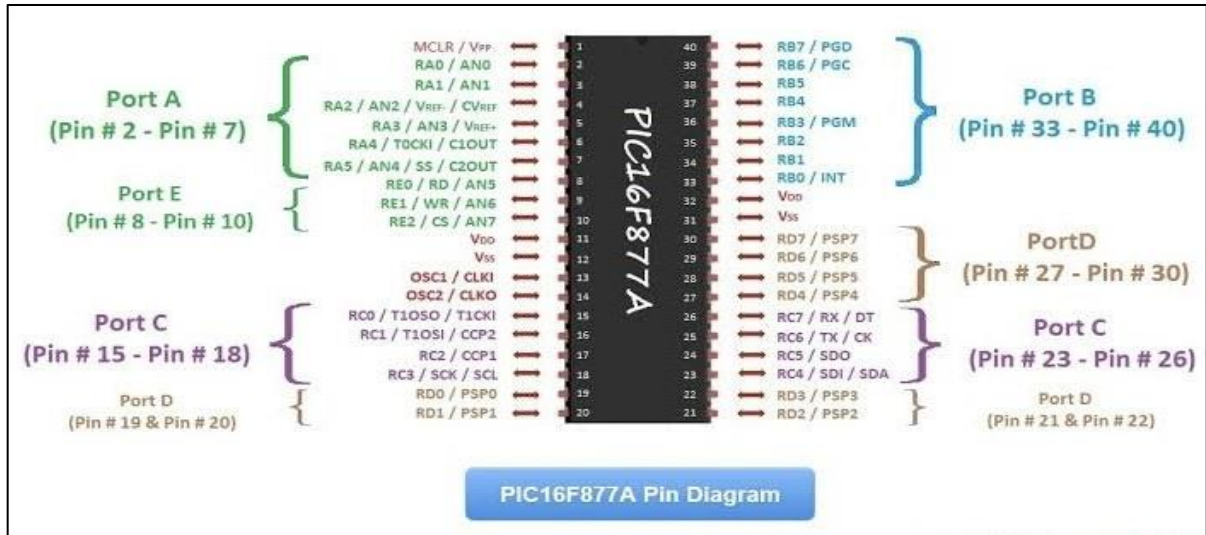


Figure 15: Brochage (Pin-out) Microcontrôleur PIC16F877A [29]

Sur la figure 15, il est représenté le brochage (Pin-out) du microcontrôleur PIC16F877A. Elle met en évidence l'organisation des 40 broches réparties en 5 ports (A, B, C, D et E). Ce diagramme est essentiel pour la phase de conception matérielle, car il permet de définir avec précision les connexions entre le CPU et les périphériques externes tels que les capteurs de position et les drivers de puissance (L293D et ULN2003).

III.3.1. Architecture et Composition de l'Unité

Nous utilisons un microcontrôleur (**de type PIC**) dont l'architecture est optimisée pour le contrôle industriel :

a. L'Unité Centrale (CPU)

Elle exécute les instructions du programme à une vitesse définie par l'oscillateur (Quartz). Chaque cycle d'instruction permet de traiter les données du motif. [30]



Figure 16: microcontrôleur PIC16F877A en boîtier DIP [31]



Figure 17: Le résonateur à quartz [32]

Le résonateur à quartz (figure 16) : est un composant qui génère le signal d'horloge (fréquence) nécessaire au fonctionnement du microcontrôleur. Il assure la synchronisation et la vitesse d'exécution des instructions du programme.

Le microcontrôleur (figure 17), assure la gestion logique du système. Grâce à ses entrées/sorties numériques et analogiques, il permet de contrôler en temps réel les actionneurs en fonction des signaux reçus.

b. Mémoire Flash (Program Memory)

Contient le code source compilé et les algorithmes de gestion du cycle de tissage.

c. Mémoire RAM (Data Memory)

Utilisée pour stocker temporairement l'état des capteurs et les variables de contrôle du cycle.

d. Les Ports d'E/S (Input/Output)

Ce sont les interfaces physiques reliant le microcontrôleur aux pré-actionneurs (MOSFET, ULN2003, L293D). [33]

III.3.2. Les Organes de Détection (Les Capteurs)

Pour interagir avec l'environnement de la machine Jacquard, le microcontrôleur utilise des capteurs connectés à ses ports d'entrées. Ces capteurs permettent de traduire les grandeurs physiques en signaux électriques. [34]

a. Capteur de position (Fin de course)

Ce dispositif mécanique est indispensable pour limiter la course d'un élément mobile. Il envoie une information logique pour arrêter le moteur dès que l'actuateur atteint sa position limite. [34]

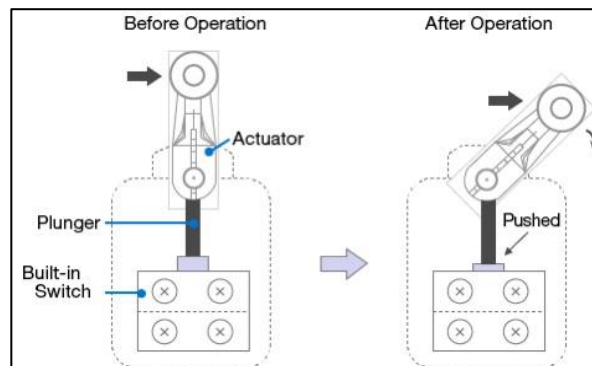


Figure 18: Principe de fonctionnement d'un interrupteur de fin course (Limit Switch) [35]

Le mode de fonctionnement de l'interrupteur fin de course (figure 18) illustre la transition entre les deux états du capteur. Dans l'état initial (Before Operation), le piston (Plunger) est relâché et le contact interne est ouvert. Lorsqu'une force mécanique est appliquée sur l'actionneur, le piston est enfoncé (After Operation), ce qui change l'état du contact électrique. Ce dispositif est essentiel pour la détection de position et la protection mécanique du système en limitant la course des éléments mobiles.

b. Capteur optique à fourche (Vitesse)

Ce capteur est utilisé pour détecter la position ou mesurer la vitesse de rotation. Il génère un signal numérique vers le microcontrôleur chaque fois qu'un obstacle coupe le faisceau infrarouge. [36]

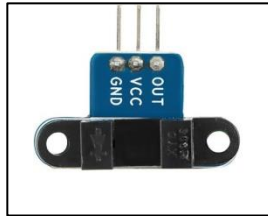


Figure 19: Module capteur optique à fourche (infrarouge) [37]

Le module capteur optique à fourche infrarouge (figure 19) se compose d'un émetteur et d'un récepteur infrarouge placés face à face. Il est utilisé pour détecter le passage d'un objet physique ou pour mesurer la vitesse de rotation d'un axe. Lorsqu'un obstacle coupe le faisceau lumineux, le capteur change l'état logique de sa sortie (OUT), envoyant ainsi une information précise au microcontrôleur pour la synchronisation du système.

c. Les Interruptions et la synchronisation

Dans la machine Jacquard, la levée des fils doit se faire à un angle de la rotation du moteur très précis. Le timing de l'interruption sera donc un des facteurs critiques :

- **L'interruption Externe (INT) :** reliée au capteur de position, elle déclenche la lecture de la ligne suivante dans les motifs, lorsque la machine est prête.
- **La configuration se fera par le registre INTCON.** L'activation du bit GIE (Global Interrupt Enable) assurera le traitement du tissage en priorité par le microcontrôleur.
- **Le registre INTCON (Interrupt Control) :** il s'agit du registre principal de gestion de l'interruption. On peut le considérer comme un « tableau de bord » dans lequel chaque bit agit comme un interrupteur qui actionne ou non la source d'interruption autorisée (ex : INT externe, timer, ...).

- **Le bit GIE (Global Interrupt Enable) :** c'est l'interrupteur général du système :
 - **Si GIE = 0 :** toutes les interruptions sont bloquées, le microcontrôleur ignore tout signal en externe.
 - **Si GIE = 1 :** le microcontrôleur autorise le traitement des interruptions dès qu'un évènement survient. [38]

La synchronisation entre la rotation du moteur et la levée de fils a lieu en "Temps Réel".

- Si je m'en remets à une boucle classique (polling), une très faible latence pourrait créer un léger décalage et fausser le dessin du tissu obtenu.
- Recourant à l'Interruption Externe (INT) avec le bit GIE, le capteur avertit le PIC16F877A quand l'arbre atteint exactement l'angle requis ; le microcontrôleur peut alors immédiatement lire la ligne suivante du motif et assurer la parfaite synchronisation du tissage.
- **Registres PORT/LAT :** Ils servent à transmettre les séquences de bits au driver ULN2003 afin de commander le moteur pas à pas, permettant ainsi une levée correcte et fluide des cadres de fils. [38]



Figure 20: Module de sélection électromagnétique (solénoïde) pour machine jacquard [39]

Le module de sélection électromagnétique (figure 20) est l'actionneur principal du système. Il reçoit les signaux de commande via les ports du microcontrôleur. Grâce à un électro-aimant intégré, il permet de sélectionner individuellement les crochets pour lever ou baisser les fils, transformant ainsi les données numériques du motif en une structure de tissu physique.

III.4. Composants Actionneurs (Moteurs)

Au sein du système de machine Jacquard automatisée, les composants actionneurs transforment les sources d'énergie électrique (provenant des signaux de commande) en travail mécanique pour reproduire des mouvements complexes du tissage, nous utilisons des moteurs de deux types distincts :

III.4.1. Moteur Pas à Pas (Phase de Levée)

Ce moteur permet d'entraîner le mouvement vertical des fils de chaîne.

- **Rôle** : Il assure la levée parfaite en hauteur des crochets que les électro-aimants sélectionnent.
- **Justification technique** : l'utilisation ici d'un moteur pas à pas est justifiée parce qu'il peut sans avoir besoin de capteur de position complexe en boucle fermée, assurer un positionnement angulaire extrêmement précis,
- **Commande** : il est piloté par le circuit intégré ULN2003 qui fait office d'interface de puissance afin d'amplifier les courants de sortie du PIC pour commander les bobinages du moteur. [40]

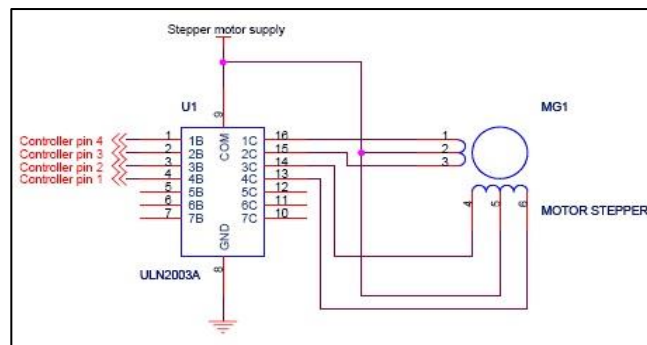


Figure 21: Schéma de câblage du moteur pas à pas avec le driver ULN2003 [41]

Le schéma présenté sur la figure (21) est l'interface de commande d'un moteur pas à pas unipolaire. Le circuit intégré ULN2003A, composé d'un réseau de transistors Darlington, agit comme un amplificateur de courant. Il permet de convertir les signaux de faible puissance provenant du microcontrôleur (Pins 1 à 4) en impulsions de forte puissance capables d'exciter séquentiellement les bobines du moteur pour générer un mouvement rotatif précis.



Figure 22: Moteur pas à pas avec sa carte de commande ULN2003 [42]

Le moteur pas à pas présenté sur la figure (22) est utilisé pour obtenir un positionnement angulaire précis. Il est piloté par le microcontrôleur via le module ULN2003, qui sert d'interface de puissance pour commuter les bobinages du moteur.

III.4.2. Le Moteur à Courant Continu (Phase d'Insertion)

Ce moteur est celui qui assure également le déplacement horizontal du fil de trame à travers la foule.

- **Rôle** : Il fait fonctionner le mécanisme d'insertion (navette ou pince servant à passer le fil de trame).
- **Justification technique** : On recherche de la vitesse et un couple constant (Par opposition au moteur pas à pas) pour un passage rapide et fluide du fil.
- **Commande** : Le moteur est commandé via un pont en H L293D permettant de contrôler non seulement le démarrage et l'accélération mais aussi le sens de rotation du moteur, si nécessaire. [43]

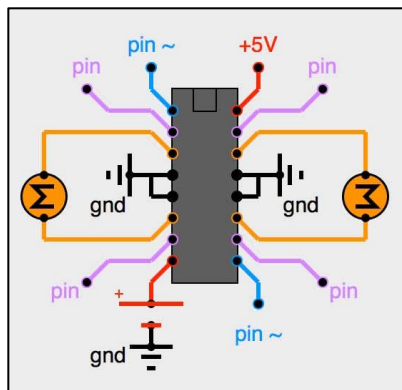


Figure 23 : Interface de puissance pour le contrôle bidirectionnel de moteurs CC [44]

Le circuit intégré L293D présenté sur la Figure 23, est raccordé aux actionneurs et aux différentes pins d'alimentation puissance et pins de commande. Les broches d'entrée (Input) reçoivent les signaux MLI (PWM) du microcontrôleur pour piloter les sorties (Output) reliées aux moteurs, permettant ainsi de contrôler leur vitesse et leur sens de rotation.

Tableau 3 : Comparaison technique et fonctionnelle des moteurs utilisés [45]

Caractéristique	Moteur Pas à Pas	Moteur à courant Continu
Fonction Principale	Assure la Levée Précise des crochets et des fils.	Assure l'Insertion rapide de a trame (Navette).
Interface de Puissance	Circuit intégré ULN2003.	Pont en H L293D
Type de commande	Impulsions numériques (Séquences de pas).	Modulation de largeur d'impulsion(PWM) ou tension élevé
Avantage Technique	Précision de positionnement angulaire sans capteur.	Grande vitesse de rotation et couple d démarrage élevé.
Précision	Très élevée (contrôle par angle de pas)	Modérée (dépend de la régulation de vitesse).
Rôle dans l'automatisme	Synchronisation de la hauteur de la foule	Rapidité du passage du fil à travers la foule.

III.5. Logique de Commande Spécifique au Jacquard

Le point qui fait la force de cet appareil, c'est le passage du "carton perforé" à la « matrice numérique » :

III.5.1. Déclaration de Tableaux (Matrice de Motif)

Le motif de tissage est d'abord enregistré sous forme de tableaux de données. Un octet de ce tableau représente une ligne de fils de chaîne.

III.5.2. Déclaration des Variables : Des variables de type « compteur »

Sont utilisées pour suivre l'étape de la trame et indexer le tableau de motif de façon séquentielle. [47]

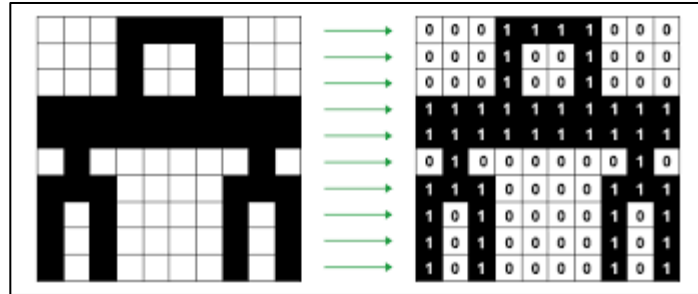


Figure 24: Traduction binaire de la mise en carte [46]

Sur la figure (24), le dessin textile (Motif) est traité comme une grille de pixels. Chaque case de cette grille représente une intersection précise entre les fils de chaîne et les fils de trame.

- **Le concept** est clair l'image visuelle est transmuée en une matrice de données, chaque point correspondant à une unité d'information basique.

III.5.3. Traduction Binaire (Numérisation)

Phase au cours de laquelle l'image est convertie en langage informatique. Le microcontrôleur PIC16F877A n'analysant que des signaux électriques, le motif est retranscrit en matrices binaires (0/1) :

- **Le bit «1» (case noire)** : signifie état logique HAUT (5V) et commande l'activation du solénoïde de l'électro-aimant qui soulève le fil de chaîne.
- **Le bit «0» (case blanche)** : signifie état logique BAS (0V), le moteur est inactif, le fil ne se soulève pas.

Exemple de conversion :

- **Motif** : [noir, blanc, noir, blanc]
- **Binaire** : 1010
- **Hexadécimal** : 0*0A. [47]

III.5.4. Le déroulement séquentiel

Le déroulement séquentiel de cette logique de commande «allant de la lecture de la matrice numérique jusqu'à l'exécution du cycle de tissage »est illustré par l'organigramme suivant Figure(25).

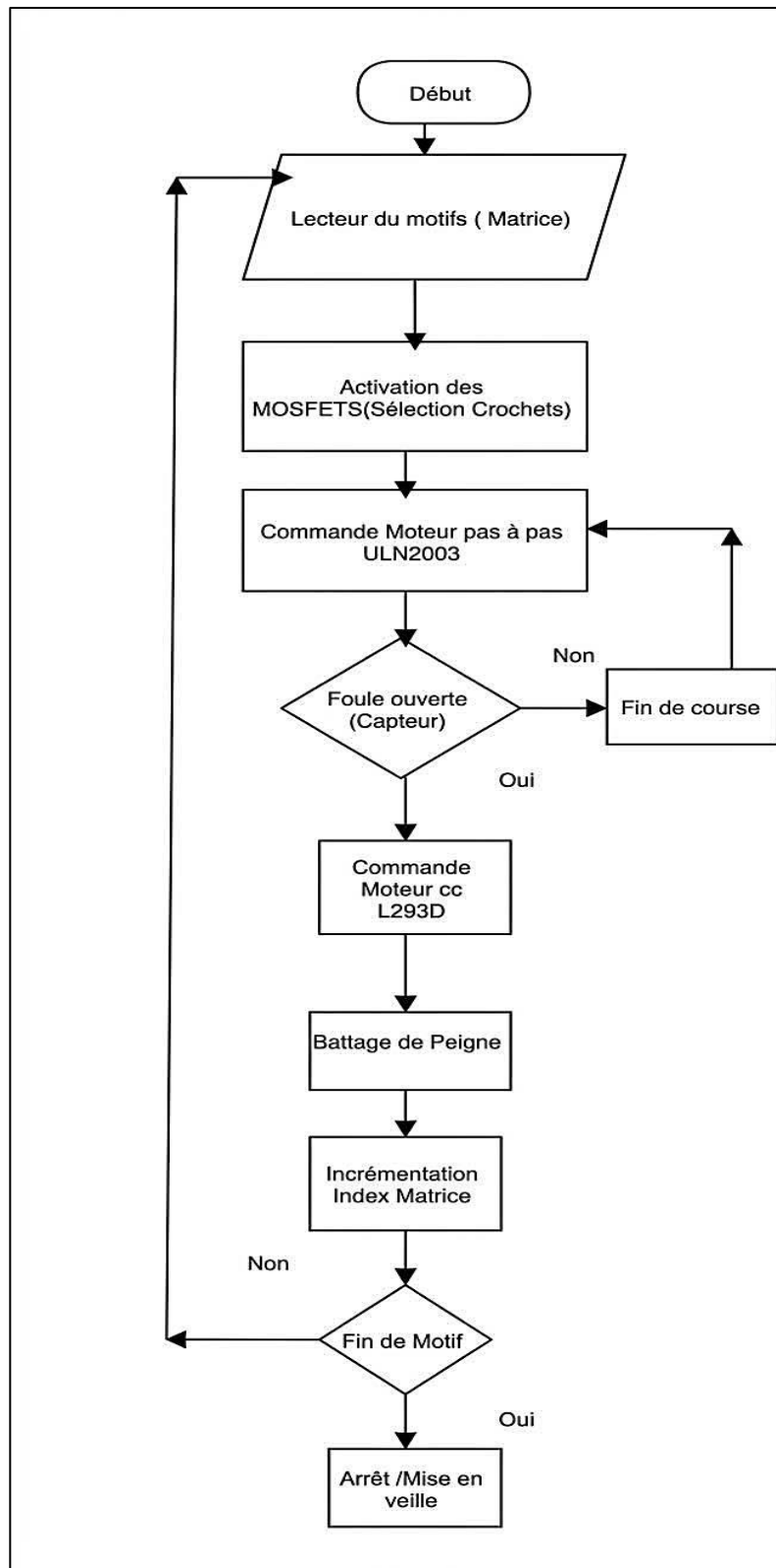


Figure 25: Organigramme général de la logique de commande du système

- **Début** : Mise en marche du système et réinitialisation des variables.
- **Initialisation** :
 - Configuration des registres du PIC (ex : TRIS = 0 pour les sorties et TRIS = 1 pour les entrées/capteurs).
 - Activation des interruptions globales (GIE = 1).
- **Lecture du Motif** : Le microcontrôleur accède à la mémoire pour lire la ligne actuelle de la matrice numérique.
- **Sélection (Crochets)** : Envoi des signaux numériques vers les MOSFETs pour exciter les électro-aimants sélectionnés.
- **Levée** : Le microcontrôleur envoie des impulsions au driver ULN2003 pour piloter le moteur pas à pas afin de lever les fils.
- **Vérification** : Lecture du capteur de fin de course pour vérifier si la levée est terminée.
- **Insertion de la trame** : Activation du moteur CC via le L293D pour le passage de la navette.
- **Battage** : Mouvement mécanique du peigne pour serrer le fil de trame.
- **Incrémentation** : Mise à jour de l'index de la matrice pour passer à la ligne suivante du motif.
- **Fin du Motif** :
 - Si Non : Retour à l'étape de lecture du motif.
 - Si Oui : Arrêt du système ou retour au début.

III.6. Avantages de l'Unité de Commande Électronique

L'intégration de cette unité de commande permet :

- **Flexibilité** : Changement de motif instantané par simple modification du tableau logiciel.
- **Précision** : Élimination des erreurs de lecture mécanique liées à l'usure des cartons.
- **Fiabilité** : Grâce à l'utilisation des MOSFETs, la commutation des électro-aimants est rapide et sans usure mécanique.

Tableau 4: Tableau Comparatif : Jacquard Mécanique et Électronique [48]

Caractéristique	Jacquard Mécanique	Jacquard Électronique
Commande du Motif	Cartes Perforées	Ordinateur / Microcontrôleur
Avantages	Robuste et Autonome	Rapidité, Flexibilité, Motifs illimités, Programmation Facile.
Inconvénients	Motifs Figés, Lourdeur, lenteur.	Plus Couteux, nécessite un entretien électronique spécialisé.

III.7. Organisation d'une approche procès de tissage en métier jacquard

À l'égard de l'étude faite dans les trois chapitres focalisés sur le métier Jacquard, nous terminerons cette étude par exemple de tissage selon ce métier Jacquard. L'exemple de tissage consiste à utiliser des fils de chaîne de couleur jaune et des fils de trames avec 3 couleurs (gris, rouge vert), pour donner la configuration montrée dans la figure 26.

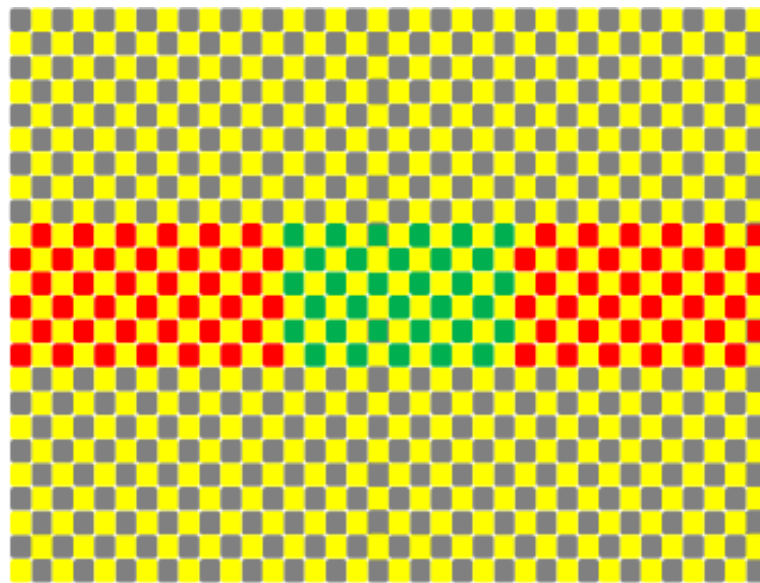


Figure 26: Un motif crée par le procès tel que : Fil de chaîne de couleur jaune, fils de trame noir, rouge et vert

Le système de commande pour réaliser cette configuration s'appuie sur les éléments suivants :

- 1) unité de commande microcontrôleur.
- 2) l'engage de programmation C sur le logiciel mikropic pro.
- 3) les actionneurs : moteur pas à pas ; moteur à courant continue ; électroaimant.
- 4) les prés actionneurs : driver ULN2003A ; L293D ; mosfet.
- 5) les capteurs : des fins de course.

Les actionneurs :

- Actionneur 1 : moteur pas à pas servant à remonter les fils de chaîne.
- Actionneur 2 : est un électroaimant servant à heurter la navette, la déplaçant de la droite vers la gauche.
- Actionneur 3 : est un électroaimant servant à heurter la navette, la déplaçant de la gauche vers la droite.
- Actionneur 4 : un moteur courant continu servant à tendre le fil de trame.
- Actionneur 5-6 : un moteur pas à pas servant à actionner le peigne et recharger.
- Actionneur 7 : un moteur pas à pas servant à sélectionner la navette mise en service.
- Actionneur 8 : moteur pas à pas servant à avancer la partie tissée hors au niveau de l'espace de l'action de la peigne.

Les capteurs :

- FC1 : fin course signalant la montée des fils de la chaînes paire.
- FC2 : fin course signalant la montée des fils de la chaînes impaire.
- FC3 : fin course signalant l'arrivée de la navette du côté gauche
- FC4 : fin course signalant l'arrivée de la navette du côté droite
- FC5 : fin de course signalant le fil de trame est tendu
- FC6 : fin de course signalant l'aboutissement de la frappe du peigne contre le fil de trame tissé
- FC7 : fin de course signalant le retour du peigne

Drivers des moteurs pas à pas :

- Driver 1 : ULN2003 à alimentation gérée par le pic 1, servant l'actionneur 1.
- Driver 5-6 : ULN2003 à alimentation gérée par le pic 2, servant l'actionneur 5-6.
- Driver 7 : ULN2003 à alimentation gérée par le pic 2, servant l'actionneur 7.
- Driver 8 : ULN2003 à alimentation gérée par le pic 1, servant l'actionneur 8.

Action à tendre le fil de trame :

Moteur est situé à l'arrivée de la navette. Une fois la partie rotative se place dans le stator le FC4 ferme le contact d'alimentation de du moteur. Cette rotation sert à tendre le fil de trame. Cette tension du fil de la trame ouvre le contact FC5, permettant l'ouverture du circuit d'alimentation.

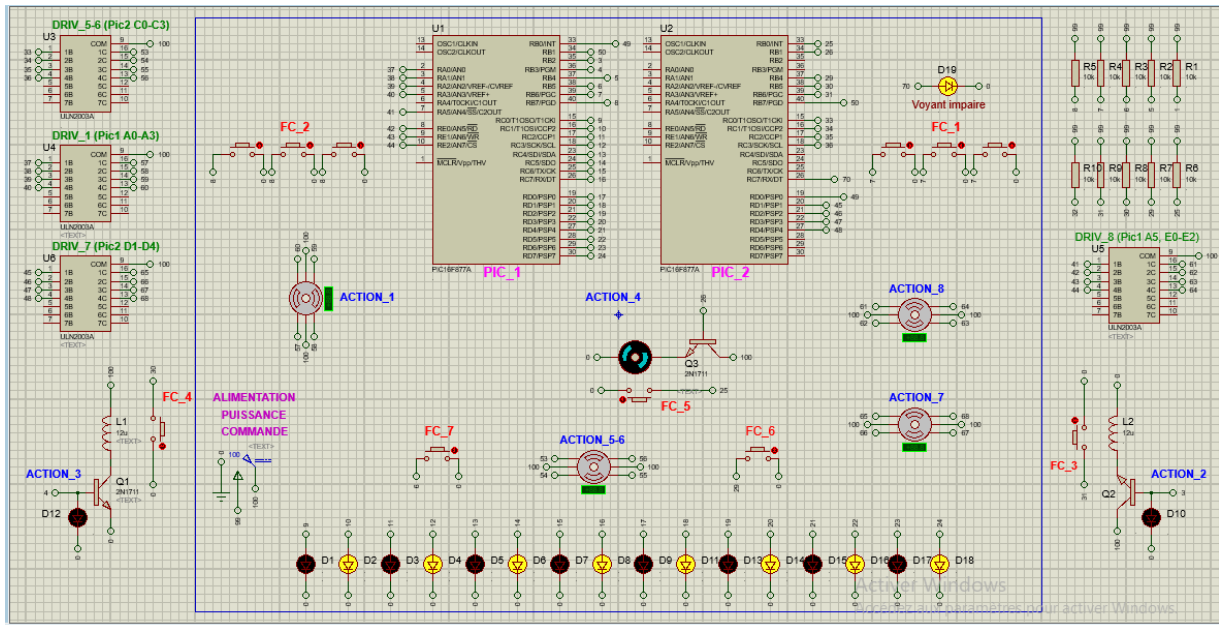


Figure 27: Schéma électrique global du système de commande automatisé du métier Jacquard

Tableau de connectivité des PIC :

Le circuit de commande contient deux PIC 16F877A, le premier est master le deuxième est esclave.

PIC 16F877A : MASTER		
Port	Pin du Port	Fonctions remplies par le Processus
PortC configuré en sortie	b0 ; b1 ; b2 b3 ; b4 ; b5 b6 ; b7	Chaque pin actionne l'intrusion ou non du fil avec l'ensemble impaire ou l'ensemble paire

PortD configuré en sortie	b0 ; b1 ; b2 b3 ; b4 ; b5 b6 ; b7	Chaque pin actionne l'intrusion ou non du fil avec l'ensemble impaire ou l'ensemble paire
---------------------------	---	---

PortE + PortA configuré en sortie	(A) : b5 (E) b1, b2, b3	Contrôle un moteur pas à pas à travers un ULN 2003 (Driver_8) ayant pour fonction de retirer la partie tissée du champ de travail en avançant le roulement du produit fini.
PortA configuré en sortie	b0 ; b1 b2 ; b3	Contrôle un moteur pas à pas à travers un ULN 2003 (Driver_2) ayant pour action de soulever les fils de trame sélectionnés

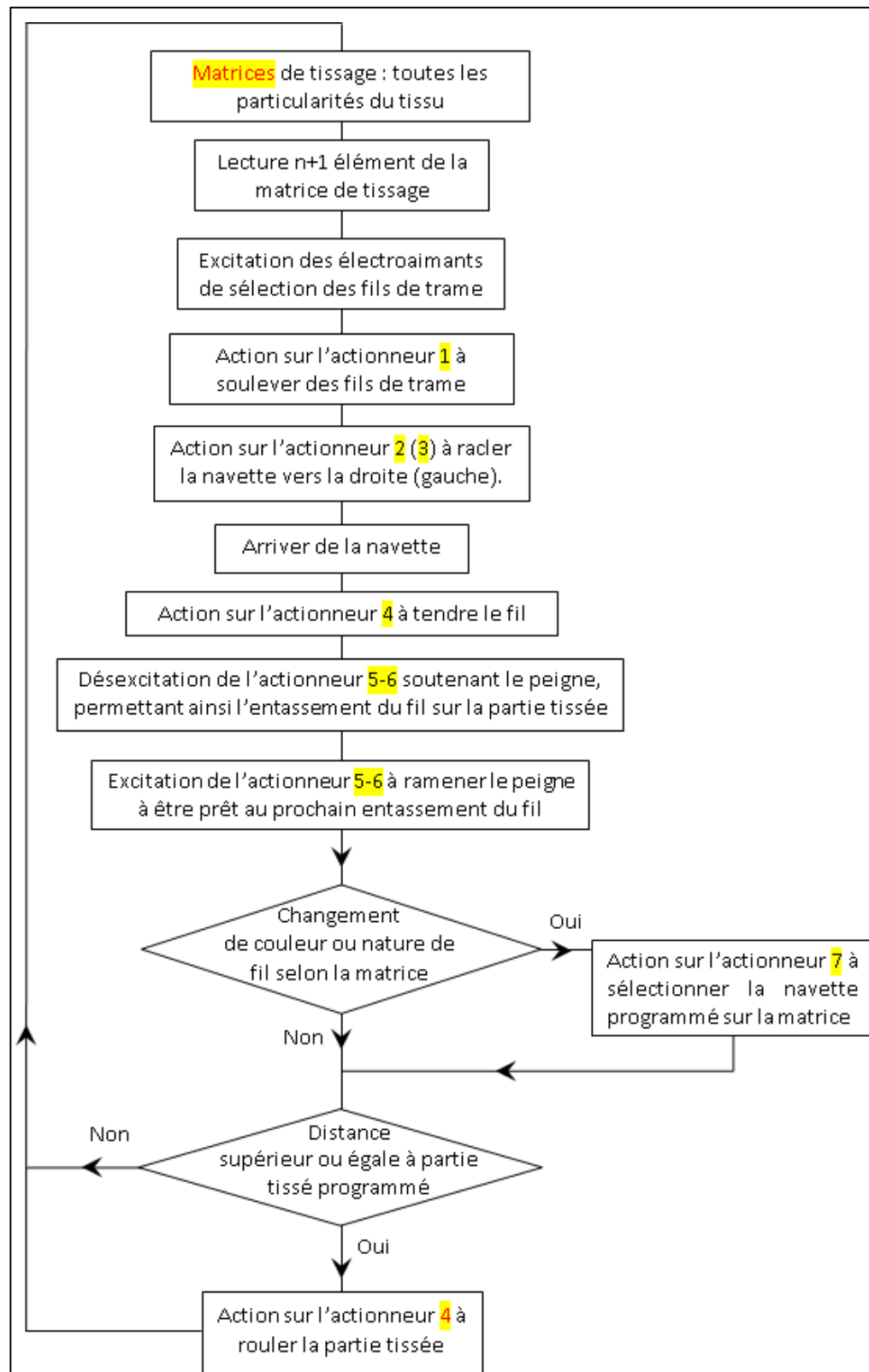
Pins PortB configuré en sortie	b1	Signalant le retour du peigne au PIC2
	b2	Action sur électroaimant éjectant de la gauche vers la droite
	b3	Action sur électroaimant éjectant la navette de la droite vers gauche
	b4	
Pins PortB configuré entrée	b0	
	b5	Lire le retour du peigne (FC7)
	b6	Lire l'arrivée de l'ensemble impaire (FC1)
	b7	Lire l'arrivée de l'ensemble paire (FC2)

PIC 16F877A : SLAVE		
Port	Pin du Port	Fonctions remplies par le Processus
PortC configuré en sortie	b0 ; b1 ; b2 ; b3	Contrôle un moteur pas à pas à travers un ULN 2003 (Driver_3) ayant pour action libérer la peigne puis la recharger
	b7	Témoignage sur la polarité des fils de trame soulevé

PortD configuré en sortie	b1 ; b2 ; b3 ; b4	Contrôle un moteur pas à pas à travers un ULN 2003 (Driver_7) ayant pour action changement de navette
---------------------------	----------------------	---

Pins PortB configuré en sortie	b1	Action sur le moteur de détention du fil de trame
	b2	
	b3	
Pins PortB configuré entrée	b0	Lire la fin de la détente du fil lié à la navette (réceptivité : FC5)
	b4	Lire l'arrivée du peigne à condenser le tissage (réceptivité : FC6)
	b5	Lire l'arrivée de la navette vers la gauche (réceptivité : FC4)
	b6	Lire l'arrivée de la navette vers la droite (réceptivité : FC3)
	b7	Ordre du PIC1 vers PIC2 à changer de navette

Organigramme de commande



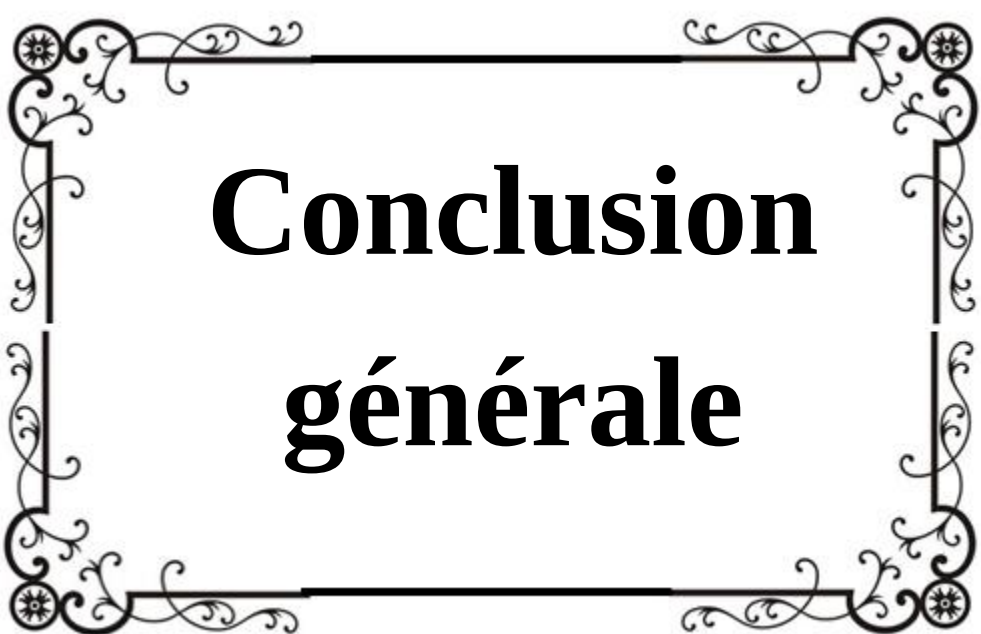
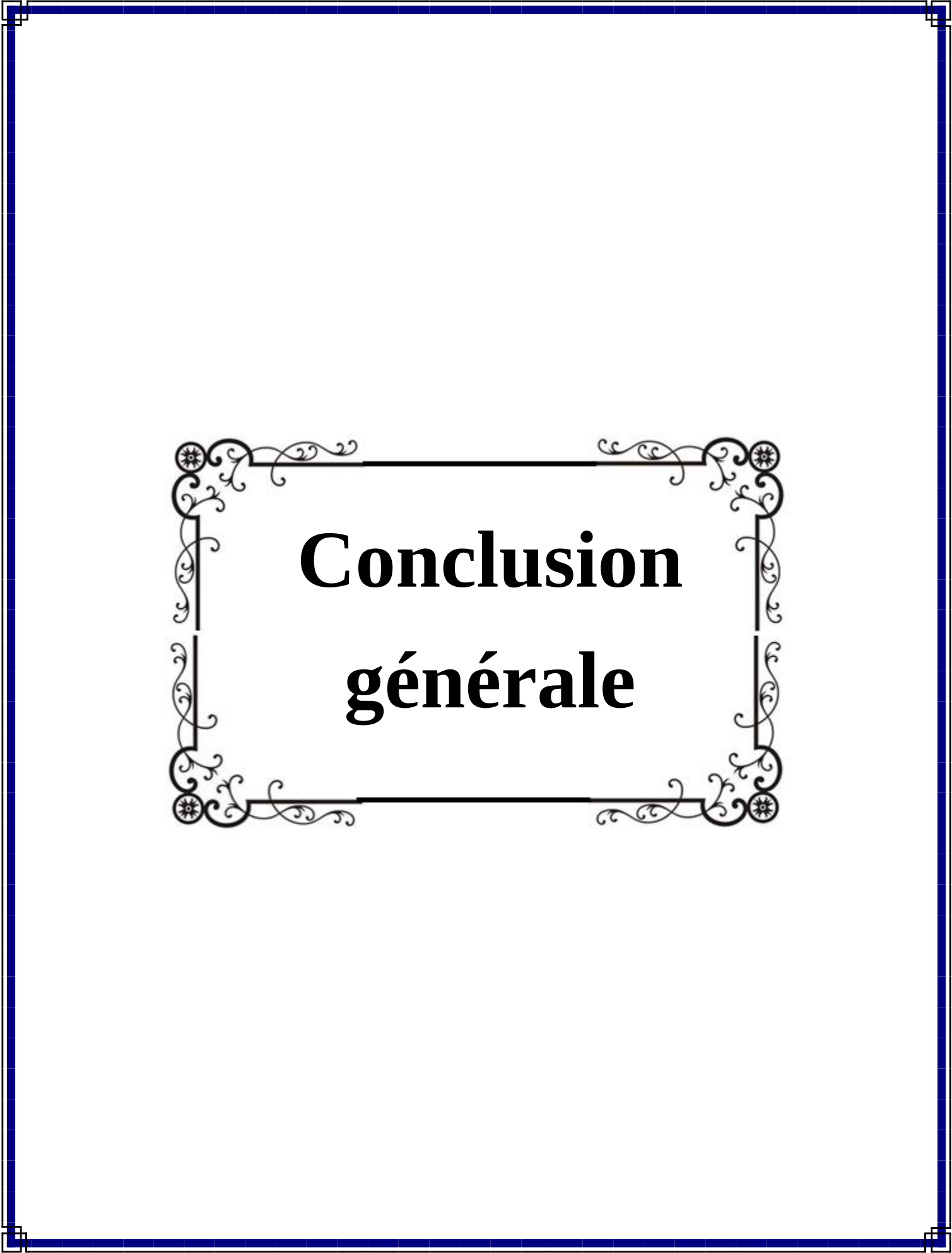
III.8. Conclusion

En conclusion, ce troisième chapitre a permis de concrétiser la transition entre le mécanisme traditionnel de Jacquard et les technologies de l'automatisme moderne. Grâce à l'étude approfondie de l'unité de commande et à la mise en œuvre d'un GRAFCET de coordination rigoureux, nous avons démontré qu'il est possible de numériser le processus de tissage avec une précision accrue.

L'intégration du microcontrôleur, programmée sous l'environnement

MikroC Pro for PIC, assure une gestion fluide des différents actionneurs : la sélection sélective gérée par les MOSFETs, la levée précise assurée par le moteur Pas à Pas et l'insertion de trame réalisée par le moteur CC. Cette architecture électronique permet non seulement de s'affranchir des contraintes physiques liées aux anciens cartons perforés, mais offre également une flexibilité totale dans la création et la modification de motifs complexes.

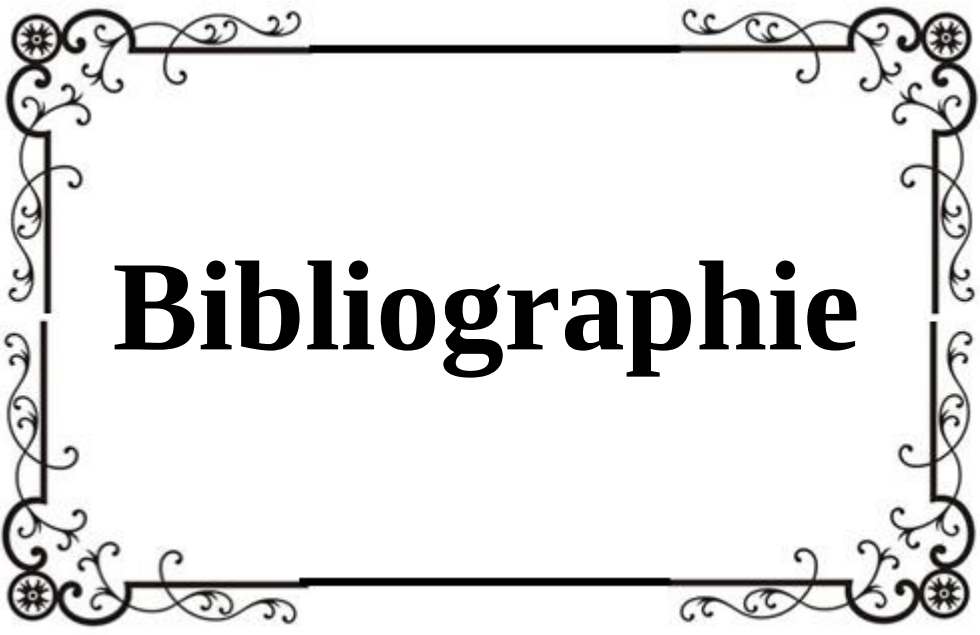
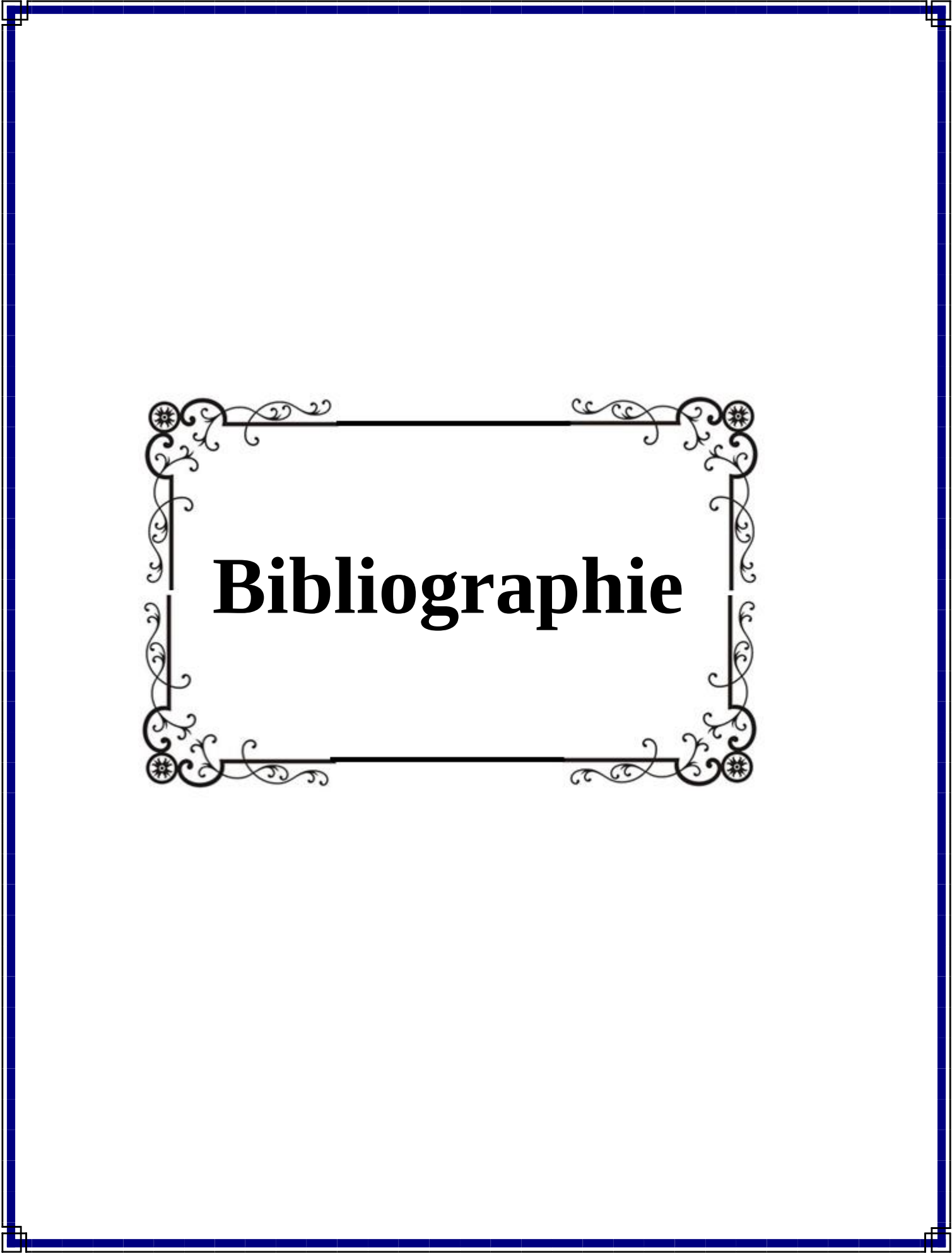
Les résultats obtenus lors de la simulation confirment que la logique de commande répond parfaitement aux exigences de synchronisation du cycle de tissage. Cette étape de validation est essentielle, car elle constitue le socle technique nécessaire avant de passer à la phase de réalisation matérielle du prototype.



Conclusion générale

Ce mémoire a conduit une exploration progressive du tissage Jacquard, depuis ses origines historiques jusqu'à sa transposition en un système de commande électronique moderne. L'étude des fondements mécaniques du métier traditionnel a mis en évidence la logique binaire « trou ou pas de trou » qui préfigure déjà les principes des circuits numériques. La modélisation du système de commande basé sur un microcontrôleur PIC a ensuite démontré qu'il est possible de remplacer la matrice de cartes perforées par un tableau de données logiciel, offrant ainsi une flexibilité totale dans la création des motifs sans aucune intervention mécanique.

Les résultats de simulation valident la logique de synchronisation développée et confirment la faisabilité technique de l'approche. Ce travail illustre ainsi comment la maîtrise des fondements historiques d'un système constitue le point de départ de toute innovation pertinente. En perspective, la réalisation matérielle du prototype et l'intégration d'une interface homme-machine représentent les prochaines étapes naturelles vers une industrialisation complète de ce système Jacquard de nouvelle génération.



Bibliographie

- [1] Louise Lemieux Bérubé, Ed. Saint Martin, «Le tissage créateur», <https://textileaddict.me/quest-ce-que-le-tissage>, 09/2025.
- [2] Stéphane Thebaut, «La maison France 5», <https://share.google/PW6NOTKZZqs14Zepr> , 4 janvier 2012.
- [3] Elsa Laurent, <https://textileaddict.me/la-laine-une-fibre-naturelle-ancestrale/>, 25 octobre 2018.
- [4] Musée de la soie, «Les 4 étapes : du cocon à l'étoffe», <https://www.musee-soie.com/le-musee/etapes-transformation-soie-sericiculture-filature-moulinage-tissage>, (s.d).
- [5] Klorane Botanical Foundation, «Le Cotonnier», <https://www.kloranebotanical.foundation/la-botanique/fiches-plantes/le-cotonnier>, (s.d).
- [6] Audrey, « Le coton : histoire et procédé de fabrication », <https://www.gralon.net/articles/materiel-et-consommables/materiels-industriels/article-le-coton--histoire-et-procede-de-fabrication-1898.htm>, Gralon, 19 août 2008.
- [7] Jaspe Couture, «Le fil et son histoire », https://www.jaspecouture.com/blogs/jaspecouture/le-fil-et-son-histoire?srsId=AfmBOooqYxrL8nKYlogJOl80vQ7_bxdsiCIF8Fd29pT2zjsr5v3YjvGx, s.d.
- [8] Wikipédia, «Ourdissage», <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ourdissage>, 16 septembre 2025.
- [9] Alamy, «Machine à filer la laine – banque d'images », Alamy Images, <https://share.google/rLd4AyY3IEYLhwx8k>, s.d.
- [10] Morin Dominique, «Le tissage aux tablettes (Tablet Weaving)», <https://www.archeologies.net/recherches/le-tissage-aux-tablettes-tablet-weaving.html>, 10 mars 2018.
- [11] Musée des Temps Barbares, «Le tissage : du filage au tissage», <https://www.museedestempsbarbares.fr/larcheologie-experimentale/le-tissage-du-filage-au-tissage/>, s.d.
- [12] Bernard Tassinari, «La soie à Lyon : de la Grande Fabrique aux textiles du XXIe siècle», Lyon, Éditions Lyonnaises d'Art et d'Histoire, 2005, p 255.
- [13] Wikipédia, Métier à tisser, https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tier_%C3%A0_tisser, 2026.
- [14] Métier à tisser Méta, « Métier pliable 70 cm – métier à tisser », Métier pliable 70 cm largeur de tissage, s.d.

- [15] Louise Lemieux Bérubé, « Le tissage créateur », <https://textileaddict.me/le-tissage-jacquard/>, Ed. Saint Martin , 09/2025.
- [16] G.Goux, «technologie de tissage uni et façonnés», https://www2.cs.arizona.edu/patterns/weaving/books/gg_loom_1.pdf, lycée technique Lyon, s.d.
- [17] Soie de Chine, « À savoir absolument ! Le guide ultime de la chaîne et de la trame », <https://sino-silk.fr/cha%C3%A9ne-et-trame/>, 25 septembre 2026.
- [18] François BOUSSU, Mathieu DECRETTE, « Tissage industriel : technologies et paramètres », <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/procedes-textiles-42572210/tissage-industriel-technologies-et-parametres-n4641/formation-de-la-foule-principe-et-technologies-n4641niv10003.html>, 10 mars 2024.
- [19] Wikipédia, « Carte perforée », https://fr.wikipedia.org/wiki/Carte_perfor%C3%A9e, 22 janvier 2026.
- [20] Wikipédia, « Métier Jacquard», https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9tier_Jacquard, 12 mars 2026.
- [21] POSSELT, E.A, «The Jacquard Machine Analyzed and Explained», Philadelphia, Pa., Pennsylvania, 1887.
- [22] Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI), « Classification Internationale des Brevets (CIB) : Schéma de la sous-classe D03 (Tissage) », https://www.wipo.int/ipc/itos4ipc/ITSupport_and_download_area/20130101/pdf/scheme/full_ipc/fr/d03.pdf, 2013.
- [23] Travail-industrie, « Le métier à tisser Jacquard : le premier pas de l'humanité vers la programmation », <https://travail-industrie.com/blog/article-titre/metier-tisser-jacquard-premier-pas-humanite-programmation>, 03/05/2026.
- [24] Louise Lemieux Bérubé, Ed. Saint Martin « Le tissage créateur », <https://textileaddict.me/le-tissage-jacquard/>, 09/2025.
- [25] Ouedraogo, « Explication du Jacquard - 2. Scribd », <https://fr.scribd.com/document/931598820/Explication-Du-Jacquard-2>, (s.d).
- [26] POSSELT, E.A, «The Jacquard machine analyzed and explained: with an appendix on the preparation of Jacquard cards», Philadelphia, Pa., Pennsylvania, 1887.

- [27] GRASSOT, P., « La mécanique Jacquard et les machines à lire les dessins »
<https://share.google/EOP1hhPxQxouEVb4b>, 1890.
- [28] Faris Ouedraogo, « Fonctionnement du métier à tisser Jacquard », <https://share.google/fXcGmgnP7jjhn3ZKH>, Scribd, 2024.
- [29] Syed Zain Nasir, Introduction to PIC16F877a», <https://share.google/8GkVxexvq0aDPmHEs>, 20 juin 2017.
- [30] Pr. A. Zugari, <https://share.google/UPE0pYaJtWKjqZsz5>, Filière GM2 (Génie Mécanique), Université de formation (via Scribd), 2016 / 2017.
- [31] Amazon, «Electronic Spices 4MHz Electronic Quartz Crystal Oscillators D400a6 Through Hole 2 Pins», https://www.amazon.in/Electronic-Spices-Crystal-Oscillators-Through/dp/B0BHJ4PX4F#immersive-view_1777897480565, (s.d).
- [32] PNGImg, Microcontroller PNG, <https://pngimg.com/image/97571>, (s.d).
- [33] Belmabrouk, «architecture des ordinateurs», université des sciences et de la technologie d'oran, 2021-2022.
- [34] Mohamed Abdelli, « Fonctionnement des capteurs de fin de course », Pôle des Sciences et de la Technologie, <https://share.google/4B0NeygYKwzGHB4Yg>, 2021.
- [35] Omron, «What is a Limit Switch? », <https://share.google/LjEO466YaSHxgze5B>, (s.d).
- [36] L'équipe technique de la société Lextronic, « Fourches optiques », Lextronic, <https://www.lextronic.fr/fourches-optiques-10455>, 2001 à 2025.
- [37] Amazon, «IR Infrared Slotted Optocoupler Sensor Module», <https://www.amazon.com/EC-Buying-Optocoupler-Measuring-Interrupter/dp/B0CHDRF497>, (s.d).
- [38] Nabil Benamra, « Gestion des interruptions système », <https://share.google/VLh1rpBbyTprJRLbX>, 2019.
- [39] Made-in-China, « Accessoires de machine à filer Usine de fabrication de métier à tisser Jacquard Mbj3 Capteur de trame », https://fr.made-in-china.com/co_goodfore/product_Spinning-Machine-Accessories-Jacquard-Loom-Manufacturing-Plant-Mbj3-Weft-Sensor_uoisroesy.html, (s.d).
- [40] kollmorgen, « Qu'est-ce qu'un moteur pas-à-pas ? », <https://share.google/ylILyKll1Hcld36E3>, 2011,
- [41] Oxakhil, « Driving Stepper motor using ULN2003a IC <https://share.google/TlwG4rCJOkK09tDOT>, 2011.

- [42] Hobby Components Ltd. (n.d.), «Stepper motor and ULN2003 driver board», <https://hobbycomponents.com/motors-and-servos/813-stepper-motor-and-uln2003-driver-board>, s.d.
- [43] Christian, Commande de moteur à courant continu <https://share.google/J4MZnQIt9efEegfwG> , 2017.
- [44] Arduino Forum users. (n.d.), «Arduino Discourse CDN <https://europe1.discourse-cdn.com/arduino/original/4X/8/8/3/883fb1bfb2440b492dce3566adb3f1513745ec56.png>.
- [45] Limon Robotik, «Différence entre un moteur pas à pas et un moteur à courant continu», <https://www.limonrobot.com/fr/difference-entre-un-moteur-pas-a-pas-et-un-moteur-a-courant-continu>, 2024.
- [46] BBC Bitesize, «Representing images», <https://share.google/etAwHZt9jiaMs8NhL> 2026.
- [47] William Watson, «Advanced textile design», London [etc.] Longmans, Green and co, London, 1913.
- [48] Shovon, I., «Jacquard Mechanisms: Design and Timeline », <https://share.google/OGJtlJao2LJpCFJTn>, 2024.

IV. Résumé

Ce mémoire traite de l'automatisation du métier à tisser Jacquard, un système mécanique du XIXe siècle reposant sur une logique binaire à cartes perforées, considéré comme l'un des précurseurs de l'informatique moderne. À travers une approche alliant histoire technique, analyse mécanique et conception électronique, nous avons modélisé et simulé un système de commande à base de microcontrôleur PIC16F877A capable de reproduire et d'améliorer le fonctionnement du métier Jacquard traditionnel, ouvrant ainsi la voie à sa réalisation sous forme de prototype intelligent.

الملخص

يتناول هذا المذكرة أتمتة نول جاكوار النسيجي، وهو نظام ميكانيكي يعود إلى القرن التاسع عشر يعتمد على منطق ثنائي بواسطة البطاقات المثقبة، ويُعدّ من أبرز السلائف التاريخية للإعلام الآلي. من خلال مقارنة تجمع بين التاريخ التقني والتحليل الميكانيكي والتصميم الإلكتروني، قمنا بنمذجة ومحاكاة منظومة تحكم مبنية على المتحكم الدقيق PIC16F877A، قادرة على إعادة إنتاج وتحسين أداء النول التقليدي، مما يفتح الطريق نحو تحقيقه في شكل نموذج أولي ذكي.