



HAL
open science

Etude du tissage hybride multicouche : réalisation d'une machine par une approche multiaxes synchronisés

Ramia Almohamad

► **To cite this version:**

Ramia Almohamad. Etude du tissage hybride multicouche : réalisation d'une machine par une approche multiaxes synchronisés. Autre. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2014. Français. NNT : 2014MULH8852 . tel-01388633

HAL Id: tel-01388633

<https://theses.hal.science/tel-01388633>

Submitted on 27 Oct 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANNÉE 2014

UNIVERSITÉ DE HAUTE ALSACE
ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS SUD ALSACE
LABORATOIRE DE PHYSIQUE ET MÉCANIQUE TEXTILES

THÈSE

Pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE HAUTE ALSACE

DISCIPLINE : Mécanique et Automatique

par

Ramia ALMOHAMAD

Étude du tissage hybride multicouche : réalisation d'une machine par une approche multiaxes synchronisés

Soutenance publique le 07 Mai 2014 devant le jury suivant :

Pr. Jean RENAUD	INSA – Strasbourg	Président
Pr. Didier CHAMAGNE	Université de Franche-Comté	Rapporteur
Pr. Manuel José DOS SANTOS SILVA	UBI - Portugal	Rapporteur
Dr. Mohamed DALAL	ESITH – Maroc	Examineur
Dr. Sabri MOURAD	ALBANY- Sélestat	Examineur
Pr. Jean-Yves DREAN	Université de Haute Alsace	Directeur de thèse
Dr. Gérald BARBIER	Université de Haute Alsace	Co-directeur de thèse

*À ma famille,
et plus particulièrement à Hussam*

Remerciements

Ces travaux de thèse ont été réalisés au sein du Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (*LPMT*) de L'Université de Haute Alsace (*UHA*). Je remercie le gouvernement Syrien pour son soutien sans lequel je n'aurais pu mener à bien mes études en France.

Je tiens à remercier infiniment mon Directeur de Thèse, Professeur Jean-Yves Dréan, pour ses précieux conseils, le soutien qu'il m'a apporté et la confiance qu'il a su me témoigner tout au long de ce travail.

Je voudrais également remercier mon Co-directeur de Thèse, Maître de Conférences Gérard Barbier, qui a fait preuve d'une grande patience, d'une grande disponibilité et dont les nombreuses remarques m'ont été très précieuses dans la progression de ce travail et la rédaction de ce mémoire.

Je tiens à remercier tous les membres du jury, Pr. Didier Chamagne, Pr. Manuel José Dos Santos Silva, Pr. Jean Renaud, Dr. Mohamed Dalal, et Dr. Sabri Mourad, d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je suis également très reconnaissante envers M. Gilles Kerger et M. Mathieu Goguy de Schneider Electric, pour leur aide précieuse, leurs conseils, leur disponibilité et pour toutes les informations techniques qu'ils ont pu me fournir tout au long de ce travail.

Je remercie l'ensemble du service technique, spécialement Christian Pidancier, pour ses conseils qui m'ont permis de résoudre des problèmes de conception mécanique.

Je voudrais également remercier toutes les personnes du LPMT (Agnès Schwob, Chantal Longhino...) qui m'ont apporté leur aide et leur amitié durant mon séjour au laboratoire.

Un grand merci à Anwar, pour son aide durant toutes ces années passées et pour son soutien permanent ; à Mohamed, pour son soutien et ses conseils ; à mes collègues de bureau : Foued, Antoine, Mathieu, Ahlam, Vicky, pour les bons moments partagés ainsi que pour leurs aides.

J'adresse également une pensée à tous mes collègues, en particulier : Sliman, khaldon, Wedian, Safi, Pauline, Aurélie, Bouraoui, Arman, Nabyl, Mouna,....

Je tiens à remercier affectueusement ma famille : mes parents ; mes sœurs ; mon frère ; Tulip, pour leur soutien et leurs encouragements sans faille.

Enfin, mes remerciements à mon époux, Bassel, qui m'a soutenu tout au long de ces années avec patience; à mon cher fils, Hussam, qui a passé des moments très difficiles sans moi, j'espère pouvoir rattraper mon absence dans les années futures.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I Etude bibliographique	4
1. Principe du tissage.....	5
2. Principe de la machine à tisser	7
3. Description des mécanismes fondamentaux de la machine à tisser	9
3.1. Le dérouleur de chaîne	9
3.2. Le dispositif de formation de la foule.....	10
3.2.1. Le dispositif à cames	10
3.2.2. La ratière.....	11
3.2.3. Dispositifs spécifiques de formation de la foule sur machine à lames	12
3.2.4. La mécanique Jacquard	13
3.3. Le système d'insertion de la trame	15
3.4. Le dispositif de mouvement du peigne.....	16
3.5. Le dispositif d'enroulement du tissu	18
3.5.1. L'enroulement indirect	19
3.5.2. L'enroulement direct	19
4. L'armure.....	20
4.1. Les armures fondamentales	20
4.1.1. La toile.....	20
4.1.2. Le sergé	21
4.1.3. Le satin	22
4.2. Les armures dérivées des armures fondamentales.....	22
4.3. Les tissus double-face	23
4.4. Les tissus multiples	24
4.4.1. Le tissu tubulaire	24
4.4.2. Le tissu poche.....	25
4.4.3. Le tissu lié	25
5. Conclusion.....	26
Chapitre II Structures tissées hybrides : Limites de la machine à tisser	27
1. Introduction	28

2. “ Spacer Fabrics ”	28
3. Evolution envisagée de la structure du tissu	29
4. Bilan des fonctionnalités nécessaires à la fabrication du tissu évolué	30
5. Incompatibilité des machines existantes avec la fabrication de tissus évolués.....	31
6. Evolution technologique de la machine à tisser	34
6.1. Synchronisation mécanique au sein de la machine à tisser	34
6.2. Solution de remplacement à la synchronisation mécanique	35
6.2.1. Modification de la structure de la machine à tisser	36
6.2.2. Choix de technologie d'actionneurs	36
6.2.3. Solution à apporter au problème de synchronisation.....	38
6.3. Évolution vers une synchronisation électronique	39
6.3.1. Principe d'une synchronisation électronique d'axes motorisés.....	39
6.4. Amélioration de la flexibilité au sein de la machine à tisser	43
7. Conclusion.....	45
Chapitre III Analyse Fonctionnelle, Conception et réalisation	47
1. Introduction	48
2. Elaboration du cahier des charges de la machine à tisser	48
2.1. Détermination du besoin	48
2.2. Descriptif de l'environnement de la machine à tisser.....	49
3. Analyse fonctionnelle de la machine à tisser	51
4. Inventaire des solutions technologiques et justification.....	54
4.1. Inventaire des organes utilisés dans la nouvelle machine	54
4.2. Justification du choix des nouveaux organes	55
4.2.1. Organes liés à la fonction FP1.2 : former les foules.....	55
4.2.2. Organes liés à la fonction FP1.3 : insérer le fil de trame.....	55
4.2.3. Organes liés à la fonction FP1.4 : frapper la trame	55
5. Etude de la tension des fils de chaîne.....	56
5.1. Définition de la tension des fils de chaîne.....	56
5.2. Etude de la déformation lors de l'ouverture de la foule	57
5.3. Caractéristiques mécaniques des fils utilisés.....	59
5.3.1 Principe d'un essai de traction simple	59
5.3.2. Résultats issus de tests de traction simple	59
6. Conception mécanique de la nouvelle machine à tisser.....	61

6.1. Méthodologie.....	61
6.2. Conception mécanique du châssis de la machine.....	61
6.3. Conception mécanique du dérouleur de chaîne.....	63
6.4. Conception mécanique du dispositif de formation des foules.....	65
6.4.1. Principe de formation des foules.....	65
6.4.2. Conception mécanique des lames formant les foules.....	67
6.4.3. Conception mécanique des glissières pour les lames.....	68
6.4.4. Conception mécanique de la mise en mouvement des lames.....	70
6.4.4.1. Implantation générale du système d'entraînement des lames.....	71
6.4.4.2. Caractéristiques de la crémaillère.....	72
6.4.4.3. Choix du pignon.....	74
6.4.4.4. L'ensemble crémaillère (crémaillère +renfort).....	76
6.4.5. Caractéristiques de l'entraînement du pignon.....	78
6.4.5.1. Vitesse de rotation du pignon.....	78
6.4.5.2. Couple d'entraînement du pignon.....	79
6.4.6. Conception mécanique des pièces liées à l'emploi des moteurs.....	81
<i>Conception mécanique du bloc moteur-crémaillère</i>	82
6.4.7. Conception mécanique d'un guidage de l'ensemble crémaillère.....	83
6.4.8. Montage d'une lame.....	84
6.5. Conception mécanique du dispositif d'insertion de trame.....	84
6.5.1. Conception du système de présentation du fil.....	86
6.5.2. Conception du système de saisie du fil et d'insertion du fil.....	86
6.5.2.1 Conception du système de déplacement de la pince mobile.....	86
6.5.2.2. Conception de la pince mobile.....	88
6.5.3. Coupe du fil.....	89
6.6. Conception mécanique du peigne mobile.....	89
6.6.1. Conception de la structure de base du peigne.....	89
6.6.2. Conception du système d'entraînement du peigne.....	89
6.7. Conception mécanique du système d'appel du tissu.....	91
6.7.1. Conception de la pince.....	91
6.7.2. Montage du système d'entraînement de la pince.....	91
7. Conclusion.....	92
Chapitre IV Concept d'automatisation.....	94
1. Introduction.....	95

2. Rappels sur les principes d'automatisme	95
2.1. Structure d'un Système Automatisé de Production (SAP).....	95
2.2. Définition des principes d'automatisme de base	96
2.3. Évolution historique conduisant aux principes d'automatisme modernes	100
2.3.1. Apparition des automates programmables	101
2.3.2. Standardisation des liaisons RS232 et USB	102
2.3.3. Développement des TICs ou NTICS	104
2.3.4. Développement des RLI et des bus de terrain	105
2.3.5. Protocole réseau-Modèle OSI-Modèle DOD (TCP/IP).....	108
2.3.5.1. Le protocole.....	108
2.3.5.2. Le modèle OSI.....	110
2.3.5.3. Le Modèle DOD (TCP/IP)	114
2.3.6. Réseau Ethernet.....	114
2.3.7. Bus Can – Protocole CANopen.....	115
2.3.7.1. Introduction au protocole CANopen	115
2.3.7.2. Principe de fonctionnement de CANopen.....	116
2.3.7.3. Topologie du bus CAN.....	118
2.3.7.4. Communication sur le bus CAN.....	119
2.3.7.5. Format de la trame CANopen.....	121
2.3.7.6. Connexion CANmotion.....	122
2.3.8. L'introduction davantage des actionneurs électriques dans les SAP.....	123
2.3.9. L'introduction des servomoteurs Brushless dans les SAP	124
2.3.10. Développement des capteurs	124
2.3.11. Développement d'automate décentralisé ou déporté.....	125
2.3.12. Développement d'automates modernes.....	126
2.3.13. Développement d'outils de dialogue	127
2.4. Synthèse des principes d'automatismes modernes.....	128
3. Architecture du pilotage automatisé de la machine à tisser	129
4. Programmation des API	130
5. Langages Norme IEC 61131-3.....	131
6. Standardisation CODESYS.....	132
7. Somachine	133
8. Vijeo Designer.....	134
9. Conclusion.....	135

Chapitre V Automatisation de la machine à tisser	136
1. Introduction	137
2. Justification des motorisations employées	137
2.1. Choix de la motorisation pour le système de formation de la foule	137
2.1.1. Choix du servomoteur	137
2.1.2. Choix du servovariateur	140
2.2. Choix de la motorisation utilisée pour le système de peigne	141
2.3. Choix de la motorisation utilisée pour le système d'insertion.....	141
2.4. Choix de la motorisation utilisée pour le système tracteur.....	142
3. Mise en place de capteurs sur la machine	142
3.1. Capteurs de sécurité.....	142
3.1.1. Capteurs des axes linéaires.....	142
3.1.2. Capteurs de sécurité des crémaillères des lames	143
3.1.3. Raccordement des capteurs de sécurité	144
3.2. Capteurs des origines de placement des lames.....	144
3.2.1. Choix des capteurs d'origine.....	145
3.2.2. Raccordement des capteurs d'origine.....	145
4. Mise en place des boutons poussoirs sur la machine	146
4.1. Choix des boutons “ Coup de poing ”	146
4.2. Raccordement des boutons “Coup de poing”	147
4.3. Choix des boutons poussoirs (commande manuelle)	147
4.4. Raccordement des boutons poussoirs.....	147
5. Utilisation d'un automate déporté (îlot).....	148
5.1. Choix de l'automate déporté	148
5.2. Raccordement des capteurs et des boutons de l'automate déporté.....	149
5.3. Développement d'un coffret machine (centralisateur)	150
5.4. Configuration par logiciel de l'îlot déporté.....	152
6. Utilisation d'une IHM	154
7. Utilisation d'un contrôleur de mouvement.....	155
8. Variateur Lexium 32A	157
8.1. Raccordements de Lexium 32A	157
8.1.1. Circuit départ moteur.....	158
8.1.2. Connexion avec le moteur	158
8.1.3. Le circuit de commande autour du variateur	159
8.2. Configuration.....	163

9. Utilité du microordinateur	165
10. Utilisation d'un Switch Ethernet	165
11. Mise en œuvre de la structure principale de la commande de la machine	166
11.1. Justification de l'emploi d'une grille de montage	166
11.2. Développement de la grille de montage	167
11.3. Circuit de commande 24V DC général	170
12. Protection de l'appareillage.....	170
12.1. Protection générale sur la grille.....	171
12.1.1. Principe général de la protection	171
12.1.2. Schéma divisionnaire des circuits	172
12.1.3. Répartition des circuits par phase.....	172
12.1.4. Calcul du courant retenu pour chaque récepteur	173
12.1.5. Calcul des consommations par phase	175
12.1.6. Recherche du courant assigné pour la protection	175
12.1.7. Choix du disjoncteur.....	177
12.2. Protection secondaire	177
12.2.1. Protection secondaire au niveau des départs moteurs.....	178
12.2.2. Protection d'entrée des alimentations.....	178
12.2.3. Protection tertiaire en sortie des alimentations 24 V Dc	178
12.2.4. Protection dans le coffret machine et le pupitre IHM.....	179
13. Conclusion.....	179
Chapitre VI Intégration des solutions mécaniques et automatiques	138
1. Introduction	182
2. Caractéristiques des foules sur la machine à tisser développée	182
3. Réalisation de la machine à tisser	183
4. Programmation de la machine à tisser.....	187
4.1. Configuration de l'application.....	187
4.2. Programmation du contrôleur.....	188
4.2.1. La configuration du contrôleur (Modules d'E/S utilisés).....	189
4.2.2. La connexion CANmotion (CAN1)	190
4.2.3 Mise en place de la logique API.....	192
4.3. Programmation de l'IHM	202
5. Exemple de fabrication d'un tissu hybride.....	206

Conclusion Générale et Perspectives	208
Bibliographie.....	211
Annexe 1 La préparation au tissage	215
Annexe 2 La ratière	221
Annexe 3 La Jacquard	222
Annexe 4 Caractéristiques des axes z et y du biaxe de l'insertion.....	224
Annexe 5 Caractéristiques de l'axe linéaire PAS42SB150A1BAXXXS/21	227
Annexe 6 Caractéristiques techniques de moteur Brushless.....	228
Annexe 7 Légende des clés des types du servomoteur BSH.....	229
Annexe 8 Code de désignation le variateur Lexium 32	230
Annexe 9 Caractéristiques techniques de Variateur LXM32.....	231
Annexe 10 Préactionneurs commandés par le contrôleur	232
Annexe 11 Adresse topologique des variateurs Lexium 32A.....	233
Annexe 12 Organes de sécurité.....	234

Table des illustrations

Figure 1 : Le principe de la machine à tisser [12]	6
Figure 2 : Les mécanismes principaux de la machine à tisser [14].....	8
Figure 3 : Horloge de la machine à tisser	9
Figure 4 : Géométrie de la foule	10
Figure 5 : Dispositif à cames (Stäubli séries 1700)[15]	11
Figure 6 : Unival 500T [15].....	12
Figure 7 : E-shed (Toyota)[16]	13
Figure 8 : Principe de commande d'une arcade	14
Figure 9 : Unival 100 [15,17].....	15
Figure 10 : Les différents principes d'insertion [12,13].....	16
Figure 11 : a) Peigne normal, b) Peigne profilé [13].....	17
Figure 12 : Les positions du peigne [4]	18
Figure 13 : Dispositif enrouleur du tissu [12]	19
Figure 14 : Armure toile	21
Figure 15 : Armure sergé 2/2.....	21
Figure 16 : Armure satin.....	22
Figure 17 : Représentation globale des dérivées des armures fondamentales [21]	23
Figure 18 : Tissu double face [21].....	24
Figure 19 : Tissu tubulaire.....	24
Figure 20 : Tissu poche [13].....	25
Figure 21 : Tissu à deux couches [13]	25
Figure 22 : a) Motif Spacer Fabrics, b) 3D Spacer Fabrics [6].....	28
Figure 23 : Structures tissées hybrides	29
Figure 24 : Horloge normale	35
Figure 25 : Courbe couple, vitesse des moteurs Brushless [32].....	37
Figure 26 : Principe d'un asservissement de position [31]	38
Figure 27 : Nouvelle horloge	40
Figure 28 : Horloge avec temps des cycles esclaves différents du maître	41
Figure 29 : Horloge avec un temps d'ouverture différent.....	42
Figure 30 : Horloge avec modification des durées d'exécution des tâches	42
Figure 31 : Changement de hauteur de lames à chaque duite	44
Figure 32 : Différentes courses du peigne à chaque duite.....	45
Figure 33 : Diagramme "bête à cornes"	48
Figure 34 : Diagramme Pieuvre de la machine à tisser	49
Figure 35 : Décomposition de FPI	52
Figure 36 : Décomposition de la FC7.....	52
Figure 37 : Diagramme FAST pour la fonction FPI	53
Figure 38 : Diagramme FAST pour la fonction contrainte FC7	54
Figure 39 : La géométrie de la foule.....	57
Figure 40 : a) Profilé 45*45, b) Les accessoires	62

<i>Figure 41 : Structure de la machine modélisée en CAO</i>	62
<i>Figure 42 : a) Dérouleur de la chaîne, b) Le cantre</i>	63
<i>Figure 43 : Tendeur à coupelles</i>	64
<i>Figure 44 : Principe de l'ouverture d'une foule dans une structure [44]</i>	65
<i>Figure 45 : Principe de formation de huit foules pour l'insertion de huit trames</i>	66
<i>Figure 46 : La lisse</i>	66
<i>Figure 47 : L'ouverture maximum de la foule</i>	66
<i>Figure 48 : Traverse de lame</i>	67
<i>Figure 49 : a) Montant de lame , b) pièces d'assemblage de cadre</i>	68
<i>Figure 50 : lame</i>	68
<i>Figure 51 : Glissière en téflon</i>	68
<i>Figure 52 : Profil de la glissière</i>	69
<i>Figure 53 : Glissière avec les cornières</i>	69
<i>Figure 54 : Dispositif des lames (vue du dessus)</i>	69
<i>Figure 55 : Système de mise en mouvement de la lame</i>	70
<i>Figure 56 : Implantation du système de mise en mouvement des lames</i>	71
<i>Figure 57 : Fiche technique de la crémaillère</i>	73
<i>Figure 58 : Caractéristiques du pignon ZG1.5-18</i>	75
<i>Figure 59 : Prolongateurs de crémaillère</i>	76
<i>Figure 60 : Profilé en U</i>	77
<i>Figure 61 : Pièces de fixation profil U- lame</i>	77
<i>Figure 62 : Moteur BSH, Réducteur GBX</i>	81
<i>Figure 63 : Encombrement moteur et réducteur</i>	81
<i>Figure 64 : Assemblage du pignon sur l'axe motorisé</i>	82
<i>Figure 65 : Bride de fixation</i>	82
<i>Figure 66 : Semelle moteur</i>	83
<i>Figure 67 : Guidage de l'ensemble crémaillère</i>	83
<i>Figure 68 : Pièces du système de guidage</i>	83
<i>Figure 69 : Schéma complet d'une lame</i>	84
<i>Figure 70 : Localisation des zones de la machine (vue dessus)</i>	85
<i>Figure 71 : Schéma du principe de l'insertion</i>	86
<i>Figure 72 : Vue du biaxe dans le plan oxyz</i>	87
<i>Figure 73 : a) Peigne, b) Peigne avec le cadre, c) Profil de montant</i>	89
<i>Figure 74 : Système linéaire [51]</i>	89
<i>Figure 75 : Positionnement de l'axe linéaire</i>	90
<i>Figure 76 : Positionnement de l'axe linéaire (vue de dessus)</i>	90
<i>Figure 77 : Pièces de liaison du peigne au chariot</i>	91
<i>Figure 78 : La pince</i>	91
<i>Figure 79 : Montage du système d'appel du tissu</i>	92
<i>Figure 80 : Décomposition primaire d'un SAP</i>	96
<i>Figure 81 : Principe d'automatisme de base</i>	97
<i>Figure 82 : Décomposition hiérarchique au sein de la commande d'un SAP</i>	98
<i>Figure 83 : Définition de la pyramide CIM [53]</i>	99
<i>Figure 84 : Exemple d'introduction des bus de terrain [61]</i>	106
<i>Figure 85 : Panel de technologies utilisées dans les bus de terrain</i>	107

<i>Figure 86 : Exemple d'introduction du réseau et protocole Ethernet TCP/IP dans la structure automatisée [62].....</i>	<i>108</i>
<i>Figure 87 : Principales topologies de réseau</i>	<i>109</i>
<i>Figure 88 : Modèle OSI - Modèle TCP/IP</i>	<i>110</i>
<i>Figure 89 : Cheminement de la donnée au travers des couches du modèle OSI</i>	<i>112</i>
<i>Figure 90 : Communication selon le protocole CANopen [71]</i>	<i>116</i>
<i>Figure 91 : Interface CANopen</i>	<i>117</i>
<i>Figure 92 : Structure de bus CAN [71]</i>	<i>119</i>
<i>Figure 93 : Signal différentiel entre Can_H et Can_L.....</i>	<i>119</i>
<i>Figure 94 : Niveaux de tension du bus CAN en vitesse de transmission basse et haute</i>	<i>119</i>
<i>Figure 95 : Format de la trame sur le bus CAN</i>	<i>121</i>
<i>Figure 96 : Développement d'un bus CANmotion autour d'un contrôleur de mouvement [50].....</i>	<i>123</i>
<i>Figure 97 : Capteurs 3 fils à sortie transistor.....</i>	<i>125</i>
<i>Figure 98 : Principes modernes d'automatismes.....</i>	<i>128</i>
<i>Figure 99 : Architecture de pilotage de la machine à tisser</i>	<i>129</i>
<i>Figure 100 : Exemple de Programme en FBD/CFC.....</i>	<i>133</i>
<i>Figure 101 : Servomotoréducteur BSH0551P31A2A.....</i>	<i>140</i>
<i>Figure 102 : Caractéristique couple / vitesse du BSH0551P31A2A.....</i>	<i>140</i>
<i>Figure 103 : Capteurs de sécurité.....</i>	<i>143</i>
<i>Figure 104 : Raccordement des capteurs de sécurité</i>	<i>144</i>
<i>Figure 105 : Principe de raccordement des capteurs Origines C_{o_i}.....</i>	<i>146</i>
<i>Figure 106 : Raccordement des AU_i sur le coffret machine</i>	<i>147</i>
<i>Figure 107 : Raccordement les boutons de commande de déplacement.....</i>	<i>148</i>
<i>Figure 108 : Structure de l'OTB</i>	<i>149</i>
<i>Figure 109 : Raccordements des capteurs et de l'OTB.....</i>	<i>149</i>
<i>Figure 110 : Structure interne du coffret machine.....</i>	<i>150</i>
<i>Figure 111 : Raccordement de l'automate en fonction du type de capteurs</i>	<i>151</i>
<i>Figure 112 : Configuration de l'ilot déporté</i>	<i>152</i>
<i>Figure 113 : Roues codeuses de l'OTB.....</i>	<i>152</i>
<i>Figure 114 : Configuration de l'adresse IP de l'OTB</i>	<i>153</i>
<i>Figure 115: IHM XBTGT5330</i>	<i>154</i>
<i>Figure 116 : Structure du contrôleur utilisé</i>	<i>155</i>
<i>Figure 117 : Chainage des Lexium 32A sur le réseau CANmotion</i>	<i>157</i>
<i>Figure 118 : Circuit départ moteur.....</i>	<i>158</i>
<i>Figure 119 : Connecteur CN2 [87].....</i>	<i>159</i>
<i>Figure 120 : Exemple d'arrêt de catégorie 0 [87].....</i>	<i>160</i>
<i>Figure 121 : Exemple d'arrêt de catégorie 1 [87].....</i>	<i>160</i>
<i>Figure 122 : Connecteur CN6 [87].....</i>	<i>161</i>
<i>Figure 123 : Exemple d'application de gestion des capteurs d'un axe linéaire</i>	<i>162</i>
<i>Figure 124 : Principe de raccordement des circuits de commande des variateurs VLi</i>	<i>163</i>
<i>Figure 125 : IHM intégrée au variateur</i>	<i>164</i>
<i>Figure 126 : Structure du Menu de l'IHM intégrée</i>	<i>164</i>
<i>Figure 127 : Partage connexion internet entre les appareils</i>	<i>165</i>
<i>Figure 128 : Pilotage de la machine à partir d'une grille de montage</i>	<i>167</i>
<i>Figure 129 : Vue globale de la grille de montage.....</i>	<i>168</i>

<i>Figure 130 : Répartition graduée de l'appareillage sur la grille de montage</i>	169
<i>Figure 131 : Circuit de commande 24V DC général</i>	170
<i>Figure 132 : Protection générale</i>	171
<i>Figure 133 : Schéma divisionnaire des dix-neuf circuits</i>	172
<i>Figure 134 : Caractéristiques des foules sur la machine à tisser</i>	182
<i>Figure 135 : Etapes de former le tissu</i>	183
<i>Figure 136 : Machine à tisser</i>	183
<i>Figure 137 : Dérouleur de chaîne</i>	184
<i>Figure 138 : Système de formation de la foule</i>	184
<i>Figure 139 : Biaxe motorisé pour le système d'insertion</i>	185
<i>Figure 140 : Système de frappe et d'appel le tissu</i>	185
<i>Figure 141 : La partie mécanique de la machine à tisser</i>	186
<i>Figure 142 : La partie automatisation de la machine à tisser</i>	186
<i>Figure 143 : Configuration sous Somachine</i>	187
<i>Figure 144 : Configuration sous Somachine</i>	189
<i>Figure 145 : Adressage des variables de sortie du module DOT12TE</i>	189
<i>Figure 146 : Définition des axes</i>	190
<i>Figure 147 : Configuration de l'axe Maitre</i>	191
<i>Figure 148 : Configuration de l'axe du peigne</i>	191
<i>Figure 149 : Configuration de l'axe de la lame 1</i>	192
<i>Figure 150 : Exemple de variables GVL</i>	193
<i>Figure 151 : Programmation de la lecture des informations en provenance de l'OTB</i>	194
<i>Figure 152 : Programmation en langage CFC de la commande d'un axe en mode manuel</i>	195
<i>Figure 153 : Programmation en langage LD des commandes Exécute (blocs de commande Motion)</i>	196
<i>Figure 154 : Programmation LD partielle pour la commande Exécute du bloc MC_Stop (la lame 1)</i>	196
<i>Figure 155 : Programmation des blocs Motion en langage CFC d'un axe en mode came</i>	198
<i>Figure 156 : Bloc de gestion de la came électronique selon un axe</i>	199
<i>Figure 157 : Exemple de profil de came programmée pour le peigne</i>	200
<i>Figure 158 : Exemple de profil de came programmée pour les lames 1 et 2</i>	201
<i>Figure 159 : Exemple d'écran de visualisation</i>	202
<i>Figure 160 : Choix des variables d'échanges entre le contrôleur et l'IHM</i>	203
<i>Figure 161 : Configuration matérielle sous Vijeo Designer</i>	203
<i>Figure 162 : Importation des variables d'échanges</i>	204
<i>Figure 163 : Page écran permettant le choix de mode de fonctionnement</i>	205
<i>Figure 164 : Affichage de l'état des capteurs</i>	205
<i>Figure 165 : Commande manuelle d'une lame</i>	206
<i>Figure 166 : Coupe en trame représentant la structure hybride</i>	207

Table des tableaux

Tableau 1: Fonctionnalités liées à la réalisation du tissu.....	30
Tableau 2: Intégration des fonctionnalités au sein de la structure de machines	31
Tableau 3: Position de la machine classique au regard de la modification des paramètres	32
Tableau 4 : Position de la machine 3D au regard de la modification des paramètres.....	33
Tableau 5: Position de la machine évoluée au regard de la modification des paramètres	33
Tableau 6 : Cahier des charges principal de la machine.....	51
Tableau 7: Organes mécaniques sur la nouvelle machine	54
Tableau 8 : Résultats du test de traction simple.....	60
Tableau 9 : La géométrie de la foule.....	60
Tableau 10 : Nombre de dents D_c' de la crémaillère en fonction de la longueur utilisée	74
Tableau 11: Caractéristiques d'un pignon type	75
Tableau 12: Caractéristiques liées à l'utilisation du pignon ZG1.5-18.....	75
Tableau 13 : Longueurs des profilées U	77
Tableau 14: Données de la force de déplacement de la lame.....	80
Tableau 15 : Caractéristiques liées à l'entraînement de'un lame avec un pignon	80
Tableau 16 : Définition et localisation des niveaux de la pyramide CIM.....	99
Tableau 17 : Caractéristiques de transfert de données de la liaison RS232.....	103
Tableau 18 : Evolution des caractéristiques des liaisons USB	103
Tableau 19 : Types de bus de terrain implanté	106
Tableau 20 : Définition des couches du Modèle OSI	111
Tableau 21 : Recommandations de longueur maximum en fonction du débit utilisé	121
Tableau 22 : Les champs avec ses valeurs de bits	122
Tableau 23 : Caractéristiques des réducteurs associé au BSH0551.....	139
Tableau 24 : Caractéristiques des servomoteurs BSH.....	141
Tableau 25 : Repérage des capteurs des axes linéaires.....	143
Tableau 26 : Repérage des capteurs de la lame i	144
Tableau 27 : Repérage des boutons sur la machine.....	146
Tableau 28 : Configuration d'usine des entrées	161
Tableau 29 : Adressage topologique	166
Tableau 30: Désignation des alimentations 24 VDC de la grille de montage	169
Tableau 31: Répartition des circuits par phase et calcul du courant total par phase	173
Tableau 32 : Désignation des alimentations Ilot déporté et IHM	179
Tableau 33 : Valeurs a et h pour les 9 lames	183
Tableau 34 : Edition de la table de la came.....	200

Introduction générale

La demande en matériaux fibreux est en très forte croissance, en particulier dans le domaine industriel. En 2013, en Europe, 27% des fibres ont été absorbées par le linge de maison, 34% par l'habillement et 38% par les applications industrielles des textiles. La croissance annuelle de cette part est de 5 à 7 % par an. Cette part et cette croissance sont dues aux qualités exceptionnelles des fibres qui par leurs petites tailles présentent peu de défaut, des propriétés mécaniques élevées, une résistance à la fatigue importante et un rapport poids/performances très favorable. A partir de ces fibres continues ou discontinues, il est possible d'élaborer un grand nombre de surfaces textiles telles que les tissus, les tricots et les non-tissés. Chacune de ces surfaces ont leurs propriétés propres et les applications particulières qui en découlent.

Au cours de ces dernières années, un grand nombre d'applications techniques ont vu le jour nécessitant des structures textiles de plus en plus complexes s'éloignant des trois structures habituelles ; les tissus, les tricots et les non-tissés. La demande se tourne vers des structures à propriétés spécifiques nécessitant la combinaison de structures différentes ou l'évolution d'une structure classique vers plus de complexité, par exemple le passage du tissage plat au tissage 3D en forme. De plus, l'introduction de fonctionnalisation dans ces structures nécessitera la mise au point de structures "hybrides" dans lesquels des éléments non textiles devront être introduits.

Le tissage, qui consiste à entrecroiser deux réseaux de fils longitudinaux (x) et transversaux (y) est une des techniques des plus versatiles. Il produit ainsi des surfaces variées dont les propriétés mécaniques peuvent être ajustées en fonction des deux directions x et y. Les tissus présentent donc un excellent rapport poids/performances.

Ces tissus sont réalisés sur des machines à tisser dont la fonction principale est d'entrecroiser selon un motif donné les fils dans la direction x (chaîne) avec les fils dans la direction y (trame). Ces machines présentent deux limitations à savoir : uniquement deux directions de fils (2D) et une synchronisation mécanique des mouvements permettent le tissage prédéfinie et figée.

Ces machines ont évolué pour permettre le tissage de structure 3D avec la possibilité d'entrecroisement dans la direction z permettant la réalisation de plusieurs couches ou structure 3D.

La synchronisation mécanique de la machine est toujours figée et ne permet pas de faire évoluer cette machine vers le tissage de structures "hybrides". Cette évolution vers des structures hybrides, incluant à la fois différents éléments textiles et mais aussi non textiles, demande à revoir complètement l'architecture de la machine, en particulier la synchronisation qui doit être plus flexible.

Cette flexibilité ne pourra être obtenue qu'en architecturant la machine autour d'un système automatisé à base d'un contrôleur de mouvement et d'un système multiaxes motorisés.

Ce type d'architecture apportera de la souplesse quant à la programmation des mouvements de la machine à tisser et en particulier la possibilité de reprogrammer la synchronisation de la machine à chaque entrecroisement autorisant ainsi le tissage aussi bien de structures conventionnelles que de structures complexes hybrides non encore obtenues à ce jour.

Le mémoire résume l'ensemble du travail en vue de la réalisation d'une telle machine à tisser en petite largeur.

Le mémoire se compose de six chapitres précédés d'une introduction et suivis d'une conclusion.

Le chapitre 1 décrit l'ensemble de la machine à tisser en faisant ressortir les fonctions principales. Une attention particulière est portée à la synchronisation des différents mouvements nécessaires à la réalisation des fonctions. Ce chapitre se termine par l'exposé des entrecroisements les plus courants ainsi que par la description de quelques structures complexes.

Le chapitre 2 décrit les limitations de la machine à tisser en vue de réaliser des structures complexes. Il en ressort qu'il est nécessaire de redéfinir l'ensemble de la structure de la machine pour la rendre adaptable à la réalisation de nouvelles structures.

Le chapitre 3 fournit une analyse fonctionnelle détaillée de la machine à tisser à partir du cahier des charges que nous avons défini pour réaliser des structures hybrides. A partir de ce travail, la conception des différents éléments mécaniques a été possible ainsi que la réalisation.

Le chapitre 4 concerne l'automatisation de la machine. Après un rappel sur le concept d'automatisation développée au sein des machines modernes, l'architecture du pilotage de la machine a pu être exposée. Ce pilotage est assuré au moyen de l'introduction de réseau de communication de type bus de terrain.

L'ensemble s'articule autour d'un contrôleur de mouvement gérant différents axes motorisées via le bus de terrain CANmotion. Les développements des différents appareils et les outils de programmations reposent sur les différentes normalisations reconnues et mises en œuvre par les OEM.

Le chapitre 5 justifie précisément le choix et l'emploi des différents composants de l'automatisation à savoir, les moteurs, le contrôleur, l'Interface-Homme-Machine (IHM) et la structure du pilotage. Cette dernière est composée de trois entités ; une dédiée à la communication (pupitre IHM) ; à l'instrumentation (coffret automate déporté, capteurs) et à la structure de la commande (contrôleur, circuits de commande et de puissance des départs moteurs). Les aspects concernant la protection des circuits terminent ce chapitre.

Le chapitre 6, dernier chapitre de ce mémoire, présente la réalisation de la machine par l'intégration des solutions mécaniques et électroniques décrites précédemment.

Ce type de machine ne peut pas fonctionner sans le développement de programmes robustes du contrôleur de mouvement et l'IHM. Ce développement suit une méthodologie rigoureuse fondée sur l'utilisation d'outils logiciels liés à ces types d'appareils, s'appuyant sur l'utilisation de langages de haut niveau normalisés.

Les programmes développés permettent de gérer le fonctionnement cyclique de la machine et par le biais de cames électroniques programmables, de contrôler précisément les mouvements de la machine à tisser ainsi que, leur synchronisation vis-à-vis d'une axe maître défini (virtuel au réel).

Un tel développement permet de reprogrammer aisément chaque cycle de la machine avec l'aide de l'IHM. La versatilité ainsi obtenue permettra de tisser tous types de structures, entrecroisant 3 directions, ces 3 directions pouvant être totalement indépendants l'une de l'autre.

ANNÉE 2014

Chapitre I

Etude bibliographique

1. Principe du tissage

Le tissu est une étoffe formée par l'entrecroisement de fils de chaîne et de trame, le procédé de tissage de base est illustré sur la *Figure 1*. Les fils de chaîne sont disposés dans le sens longitudinal de la machine à partir d'une source de fils et les fils de trame dans le sens transversal [1].

Il existe un grand nombre de manière d'entrecroiser les deux types de fils. Le mode d'entrecroisement s'appelle "l'armure" et détermine la structure du tissu. Le fil et le choix de l'armure déterminent les propriétés finales du tissu comme par exemple l'apparence et les propriétés mécaniques [2,3].

En se rapportant aux équipements déjà utilisés pour fabriquer les tissus standards, des tissus plus complexes peuvent être fabriqués, comme par exemple les tissus multicouches qui ont des trames dans le sens de l'épaisseur, reliant les couches entre elles.

En se fondant sur les tissus classiques et les tissus multicouches, il est possible de concevoir des tissus complexes dits "tissus 3D". Dans ces structures complexes, des fils lient l'ensemble de la structure dans le sens de l'épaisseur, le sens z. Cette épaisseur z n'est pas négligeable par rapport aux autres dimensions. Ces tissus sont donc entrecroisés et liés dans le sens x (longitudinal), y (transversal) et z (vertical) [4,5,6].

La réalisation de ces structures complexes nécessite l'utilisation d'un grand nombre de couches de chaîne dans un contrôle précis d'un grand nombre de fils dans les différentes directions. Ceci augmente de fait le coût et la difficulté de fabrication de ce type de structure.

Ainsi, ces structures seront plutôt utilisées pour des applications techniques. La classification de ces différents tissus peut être fondée sur le mécanisme de formation de la foule (angle formé par les nappes des fils inférieures et supérieures), le processus de tissage, la géométrie, et les entrecroisements de fils [5,7,8].

La classification suivante peut être proposée [9,10] :

1. le processus de tissage classique en 2D est conçu pour entrecroiser deux ensembles orthogonaux de fils (chaîne et trame). Ceci produit un tissu 2D entrecroisé sur un dispositif de tissage classique ;

2. le processus de tissage classique en 2D est conçu pour entrecroiser deux ensembles orthogonaux de fils (chaîne et trame) avec un ensemble supplémentaire de fils de chaîne qui fonctionnent en tant que liage traversant l'épaisseur ou le sens z. C'est ce qu'on appelle aussi tissage multicouches ;
3. le processus de tissage 2D classique en utilisant trois ensembles de fils (chaîne de base, chaîne de poils et trame de poils) pour fabriquer des tissus à poils, appelés tissus velours ou tissus 2,5D ;
4. le processus de tissage 3D est conçu pour entrecroiser au moins trois ensembles orthogonaux de fils. Cet entrecroisement en x, y et z produit des structures 3D. Ces structures sont réalisées sur une machine à tisser classique transformée.

Toutefois, avant d'expliquer les différentes parties de la machine à tisser, il faut noter que les fils sortants du processus de fabrication (filature) ont besoin d'autres opérations avant d'être utilisés sur la machine à tisser pour les raisons suivantes [1,11]:

- la fabrication des fils et les processus liés au tissage ne sont pas compatibles mécaniquement ;
- les processus ne peuvent pas être physiquement reliés parce que la vitesse de fabrication de fil est beaucoup plus haute que le taux de consommation de fil de chaîne, et beaucoup plus faible que le taux de consommation de fil de trame.

Les opérations nécessaires avant le tissage (bobinage, ourdissage, encollage, rentrage) s'appellent la préparation au tissage. Ces opérations sont décrites dans l'annexe 1.

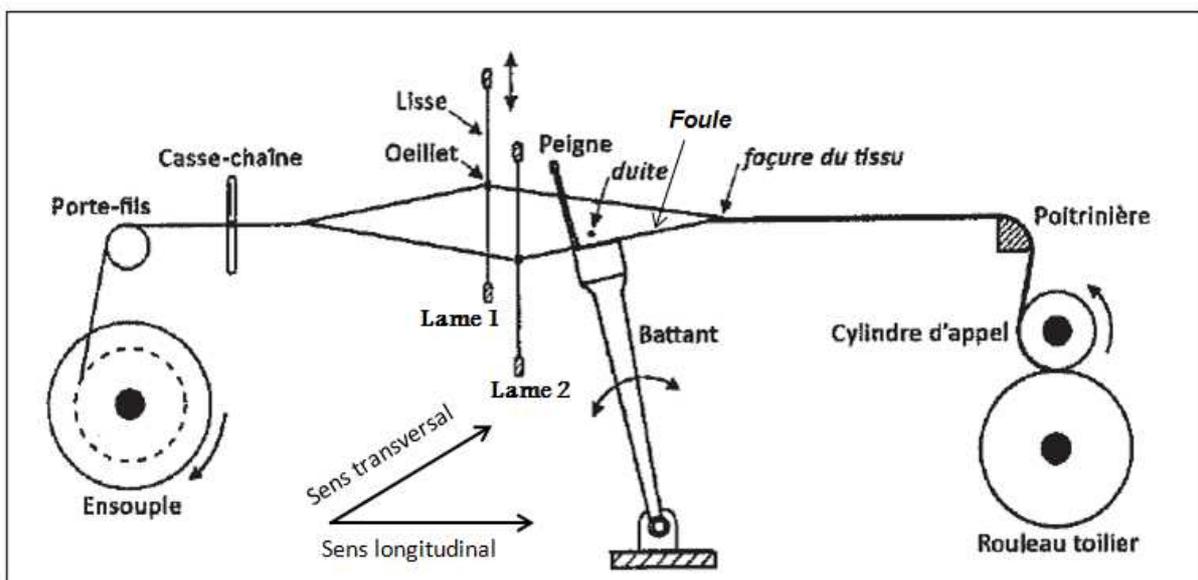


Figure 1 : Le principe de la machine à tisser [12]

2. Principe de la machine à tisser

Le processus principal du tissage est illustré dans la *Figure 1*. Les fils de chaîne qui s'étendent dans le sens longitudinal de la machine, sont alimentés à partir d'une source. Cette source peut être soit formée des fils individuels situés sur une porte-bobine (un cantre), soit d'un ou plusieurs rouleaux sur lesquels la quantité nécessaire de fil est pré-enroulée (une ou plusieurs ensouples) [13]. Ensuite, les fils de chaîne traversent un système de barres d'embarrage (dans le cas où la source serait un cantre) et un porte-fils (dans le cas où la source serait une ensouple) dans le but de maintenir leur positionnement relatif, leur alignement ainsi qu'une tension homogène sur tous les fils.

Ultérieurement, chaque fil de chaîne est :

- passé dans un mécanisme de casse-chaîne qui est destiné à arrêter la machine dès lors qu'une rupture de l'un des fils de chaîne est détectée ;
- enfilé dans un mécanisme de levée. Ce mécanisme peut être entraîné par une commande mécanique ou une commande électronique. Il permet de lever chaque fil individuellement (mécanique Jacquard) ou un groupe de fils simultanément (mécanique à cames ou ratière) ;
- passé dans l'une des dents du peigne qui fait un mouvement de va-et-vient pour plaquer la dernière trame (duite) insérée contre la façade du tissu.

Ensuite, le tissu passe sur le cylindre d'appel qui en tournant, provoque l'avancée régulière du tissu. Le pas de cette avancée est réglable et est donné par le régulateur de duitage (inverse du pas). À la fin de ce processus, le tissu est stocké sur le rouleau toilier qui sert de réserve pour le tissu.

Quel que soit le type de tissage envisagé, il y a cinq mécanismes essentiels à la réalisation du tissage (ils seront détaillés ultérieurement) [14] (*Figure 2*) :

- le dérouleur de chaîne (A);
- le dispositif de formation de la foule (B) ;
- le système d'insertion de trame (C);
- le dispositif de frappe - battant + peigne (D);
- les dispositifs d'appel, le régulateur de duitage et l'enrouleur (F).

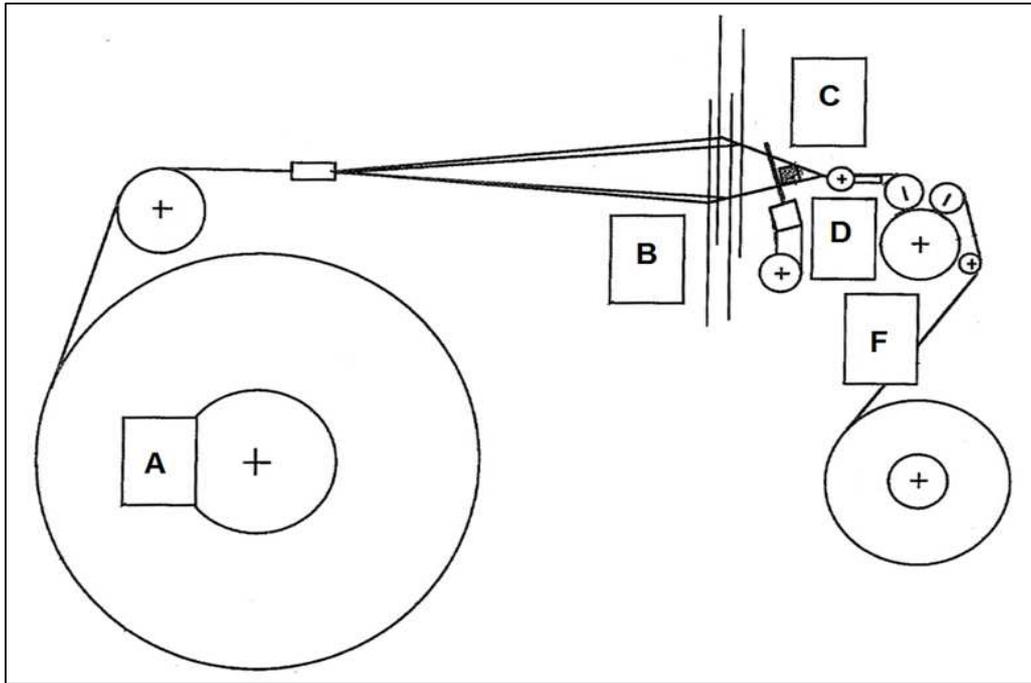


Figure 2 : Les mécanismes principaux de la machine à tisser [14]

En général, ces mécanismes sont pilotés par un seul moteur afin de faciliter la synchronisation des différents mouvements. L'ordre de succession des différentes opérations nécessaires pour accomplir un cycle complet de tissage est schématisé par la *Figure 3*. Elle représente ces opérations et le temps nécessaire en fonction du nombre de degré de rotation de l'arbre moteur (arbre principale). Un cycle complet de tissage correspond à 360° est appelé horloge de la machine à tisser.

Ce temps peut varier selon :

- le type de machine à tisser ;
- le principe d'insertion ;
- le type de frappe du peigne.

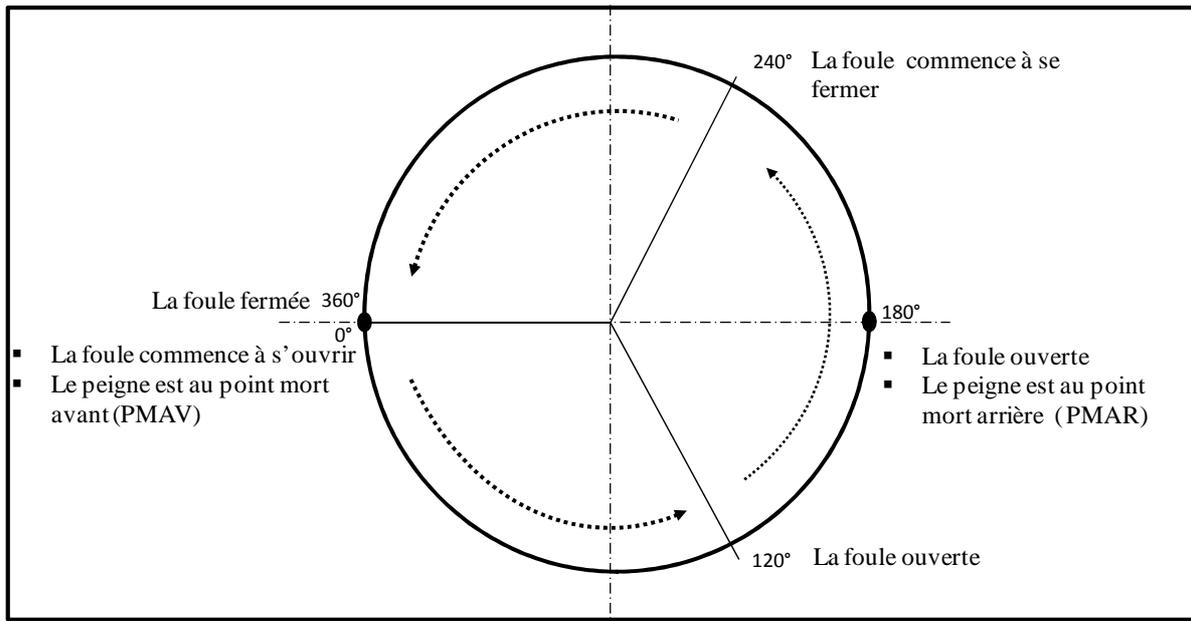


Figure 3 : Horloge de la machine à tisser

Cette horloge représente :

- l'ordre de déroulement des différentes opérations nécessaires pour réaliser un tissu ;
- le temps fixé pour chaque opération en fonction du nombre de degré de rotation de l'arbre moteur.

3. Description des mécanismes fondamentaux de la machine à tisser

Comme mentionné précédemment, il y a cinq mécanismes de base qui sont essentiels pour le tissage : le dérouleur de chaîne, le dispositif de formation de la foule, le système d'insertion de trame, le système de frappe, l'appel et l'enroulement du tissu.

3.1. Le dérouleur de chaîne

Ce mécanisme alimente la machine à tisser par une nappe de fils de chaîne au taux requis et à tension constante. La source de ces fils est soit un porte-bobines (un cantre) qui alimente la machine par des fils individuels, soit un ou plusieurs rouleaux (ensouples) sur lesquelles les fils sont pré-enroulés.

Le dérouleur de chaîne est constitué des parties suivantes : la réserve de fils, le dispositif de délivrance et de régulation de la tension.

3.2. Le dispositif de formation de la foule

La formation de la foule est le mouvement de certains fils de chaîne vers le haut et de certains vers le bas pour former un angle entre les deux nappes de fils afin que le fil de trame soit inséré. Cet angle s'appelle "la foule". Avant l'insertion du prochain fil de trame, la nappe de chaîne doit être réarrangée selon le motif demandé (armure) [13].

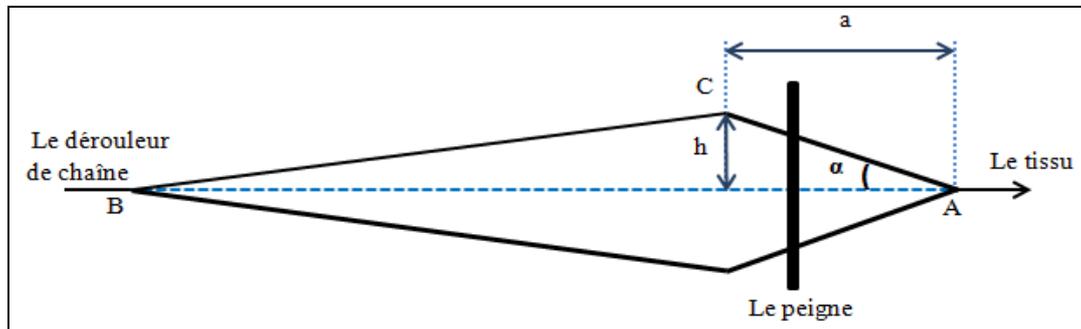


Figure 4 : Géométrie de la foule

Les conditions nécessaires pour l'ouverture de la foule sont déterminées par la nature du vecteur et le mouvement du peigne. Selon la *Figure 4*, qui montre la géométrie d'une foule symétrique, la demi-hauteur de la foule est donnée par :

$$h = a \tan \alpha \quad (\text{I.1})$$

Avec :

- h : demi-hauteur de foule ;
- a : distance entre la lisse et la façade du tissu ;
- α : l'angle de demi-ouverture de foule.

Les dispositifs de formation de la foule peuvent être divisés en trois catégories : la mécanique à cames, la ratière, la mécanique Jacquard.

3.2.1. Le dispositif à cames

Ce dispositif est constitué de plusieurs cames montées sur un arbre. Cet arbre est relié à l'arbre du moteur de la machine à tisser. La rotation de chaque came, grâce à son profil, permet de monter et descendre une lame sur laquelle sont montées les lisses. Un système de came typique peut gérer des motifs de tissage ayant jusqu'à 10 lames. Une paire de cames est suffisante pour tisser la toile (tissu simple).

Ce type de dispositif de formation de foule (peu coûteux) permet d'avoir une vitesse relativement élevée. Mais, il a deux inconvénients majeurs [13] :

- la difficulté de réglage : chaque fois qu'on a besoin de changer l'armure du tissu, il faut remplacer les cames en retirant l'arbre à cames. Le choix de la came dépend de l'évolution du fil selon l'armure désirée (la définition de l'armure sera expliquée § 4) ;
- la limitation du nombre de cadres qu'il peut commander et le nombre de duites par rapport à l'armure (8 duites au rapport). C'est pourquoi il est réservé au tissage des armures de base.

La *Figure 5*, montre un exemple de ce type de dispositif (la mécanique d'armure fondamentale Stäubli série 1700), qui est adaptée au tissage des différentes armures de base.

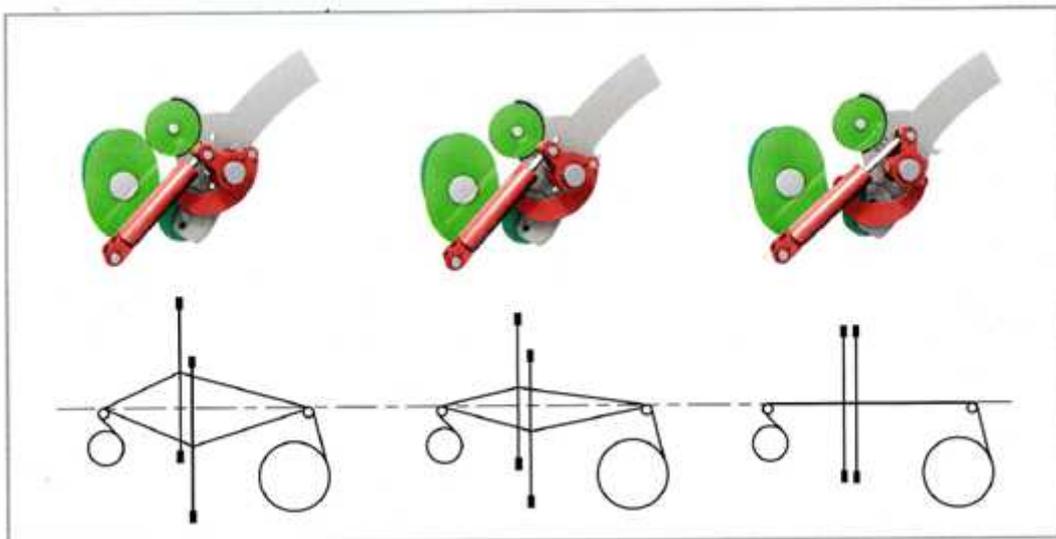


Figure 5 : Dispositif à cames (Stäubli séries 1700) [15]

3.2.2. La ratière

Les ratières, dispositifs plus complexes peuvent être considérés comme des systèmes à cames ou à excentriques programmables.

Ainsi, la ratière se compose de :

- la partie puissance ;
- la partie sélection.

La puissance qui permet de lever les cadres provient de la machine à tisser, ce qui garantit aussi la synchronisation.

La partie sélection, dispositif électronique, envoie la bonne information afin d'assurer la transmission de la puissance au bon cadre en fonction de l'armure à réaliser.

Il existe deux types de ratières :

- les négatives où les lames sont ramenées en position basse par des dispositifs de rappel à ressorts;
- les positives où la commande des lames se fait dans les deux sens.

Ces dispositifs sont décrits dans l'*annexe 2*.

3.2.3. Dispositifs spécifiques de formation de la foule sur machine à lames

Outre les ratières décrites précédemment, des systèmes spécifiques pouvant être qualifiés de "ratières à moteur" tels que l' "Unival 500" de Staubli ou le "E-shed" de Toyota. Ils ont été développés pour répondre à des besoins spécifiques de vitesses ("E-shed" sur la machine à tisser JAT710 de Toyota) ou de charges ("Unival 500" sur Alpha de Schönherr).

Dans l'Unival 500T (*Figure 6*), chaque lame de la machine à tisser est commandée individuellement par son propre moteur. Cette méthode est particulièrement adaptée à la production de tissus techniques très lourds. Sur ce dispositif, il est possible d'atteindre 56 lames.



Figure 6 : Unival 500T [15]

Sur la machine rapide Toyota JAT710 (Figure 7), chaque lame est pilotée par un servomoteur qui permet de contrôler la hauteur de la foule et le temps nécessaire pour lever / descendre la lame.

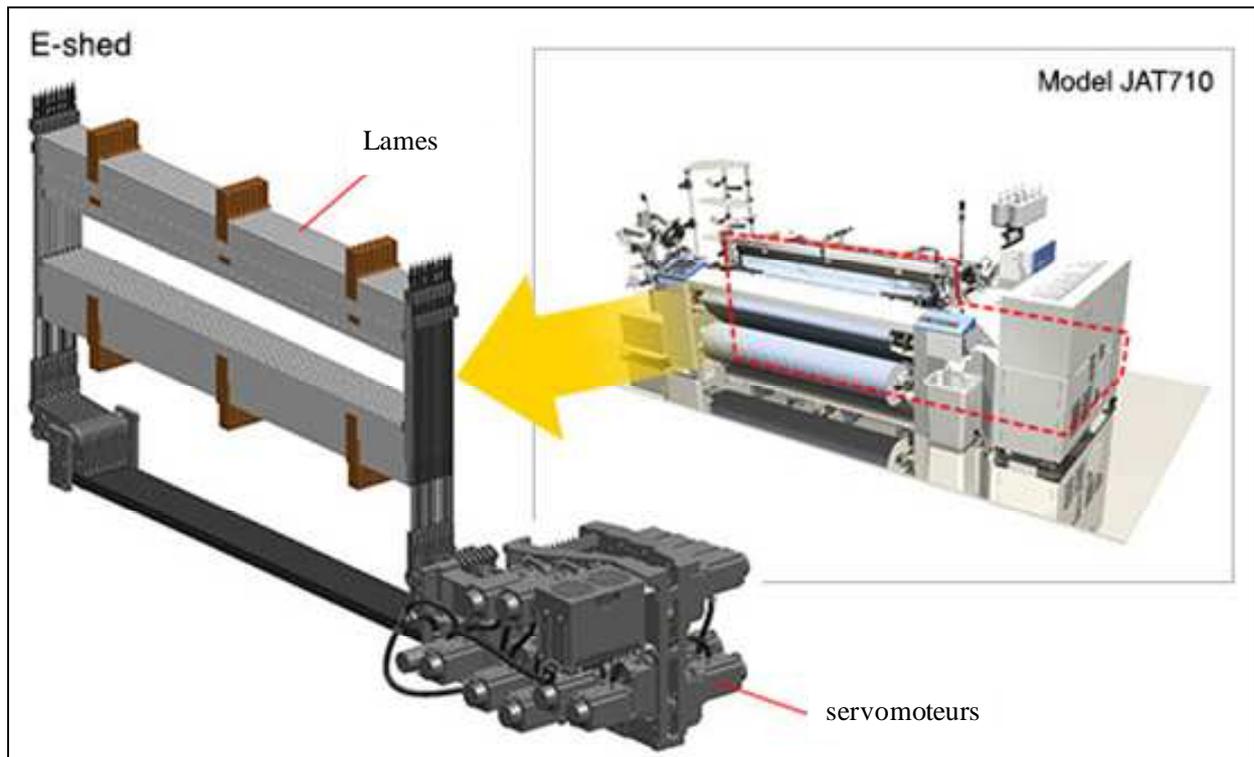


Figure 7 : E-shed (Toyota)[16]

3.2.4. La mécanique Jacquard

Pour le tissage traditionnel, les fils de chaîne réalisant le même liage sont regroupés sur la même lame. Pour des raisons techniques, les constructeurs limitent ce nombre de lames à 28, la conséquence immédiate étant bien entendu la limitation en taille des armures.

En revanche, la mécanique Jacquard permet la commande individuelle des fils de chaîne, ce qui donne la possibilité de réaliser des motifs quasiment illimités en taille et beaucoup plus élaborés, en particulier pour les applications techniques.

Cette mécanique permet de commander individuellement jusqu'à 2×12000 arcades à partir d'une commande électronique, avec un nombre quasi illimité de duites au rapport.

En revanche, il s'agit d'un dispositif complexe, plus cher et plus lent que la ratière. Il est placé en superstructure au-dessus de la machine à tisser.

La mécanique Jacquard, comme la ratière, est constituée de deux fonctions principales :

- la partie puissance : permet d'actionner les lisses ;
- la partie sélection : permet de connecter ou déconnecter les arcades de la partie puissance.

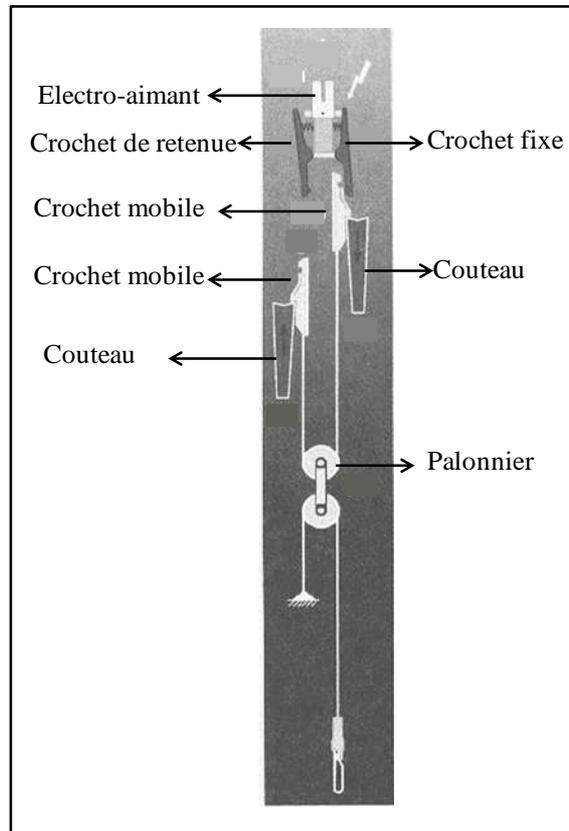


Figure 8 : Principe de commande d'une arcade

La *Figure 8* présente le principe de commande d'une seule arcade, où on peut voir qu'il y a deux couteaux reliés à l'arbre principale de la machine à tisser. Ces deux couteaux sont animés d'un mouvement de va-et-vient. Le palonnier est relié à la lisse par l'arcade.

La sélection d'un pris ou d'un laissé se fait par la retenue ou non du crochet de sélection par le crochet de retenue. L'*annexe 3* décrit en détail le fonctionnement de ce type de Jacquard électronique.

Pour répondre à la demande du développement croissant de structures tissées de plus en plus complexes, les constructeurs de mécaniques Jacquard ont développé un système permettant de configurer l'ensemble des paramètres de tissage pour chaque fils et ceci à chaque duite.

Par exemple, sur l'Unival 100 développé par Stäubli (*Figure 9*), les mouvements individuels des fils de chaîne sont commandés par des actionneurs (moteur). Chaque actionneur est

identifié individuellement et communique directement avec un contrôleur. Ce type de mécanique Jacquard permet de commander de 512 à 15360 fils.

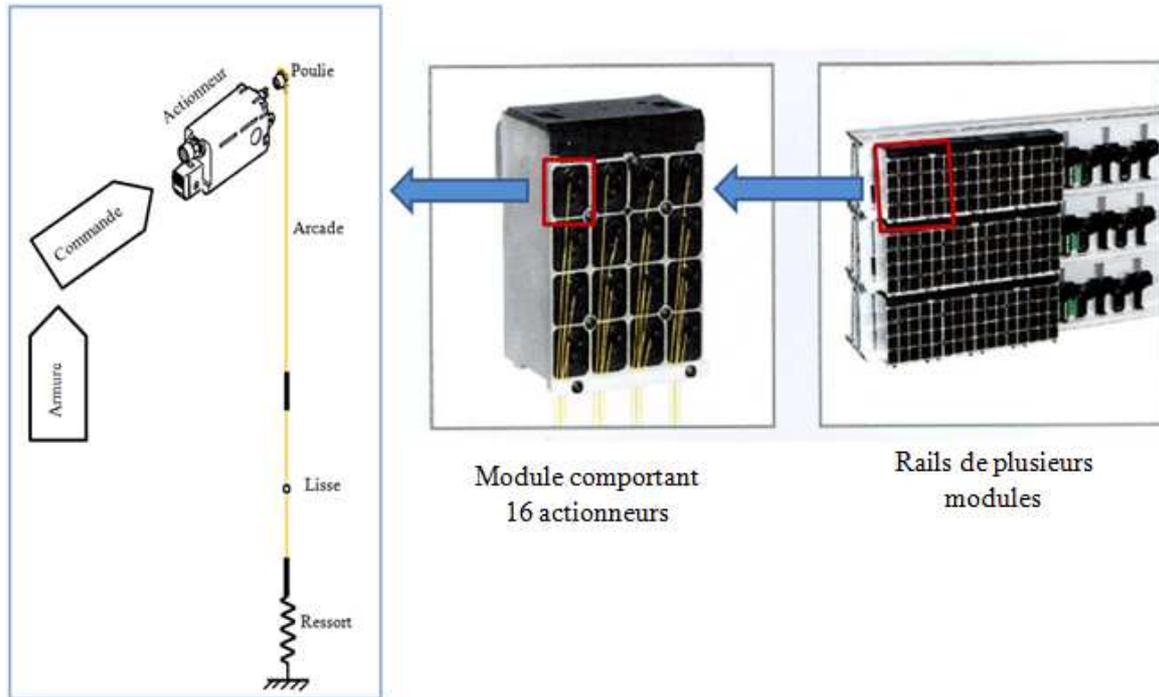


Figure 9 : Unival 100 [15, 17]

3.3. Le système d'insertion de la trame

Après chaque changement de la foule, un ou plusieurs fils de trame sont inséré(s) à travers la foule grâce à ce système.

Il y a trois grands principes d'insertion de la trame, ce qui permet de différencier l'ensemble de la machine à tisser (Figure 10) :

- la trame déposée par un vecteur portant une réserve de trame (métier à tisser à navette) ;
- la trame tirée par le vecteur à travers la foule à partir d'une réserve de trame placée à l'extérieur de la machine (machine de tissage à projectiles, machine à lances, machine à jet d'eau et à jet d'air) ;
- la trame insérée par un dispositif basé sur l'inertie de la trame (au stade de prototype).

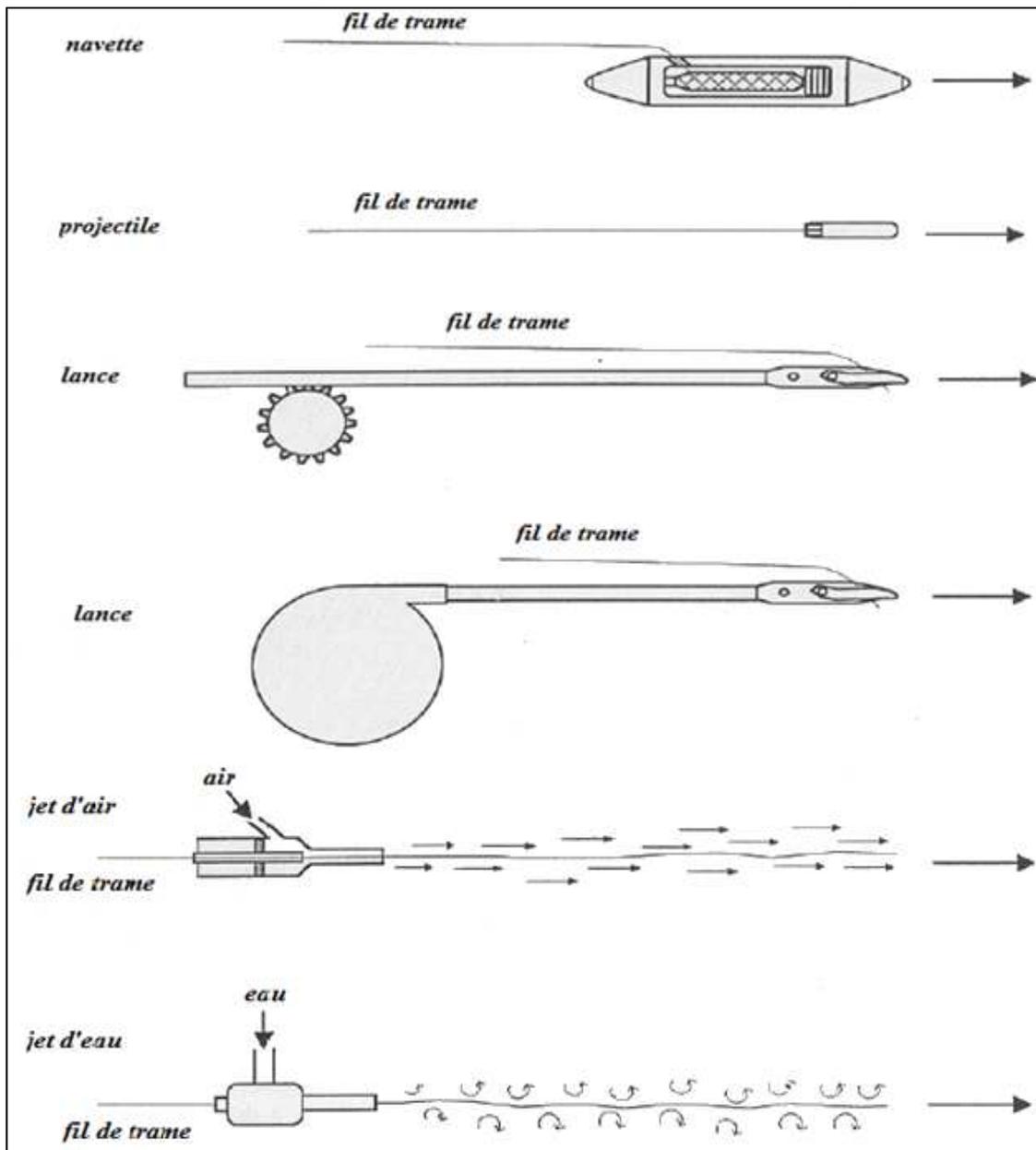


Figure 10 : Les différents principes d'insertion [12,13]

3.4. Le dispositif de mouvement du peigne

Après l'insertion du fil de la trame, le fil se trouve relativement loin de sa position finale, la façade de tissu. C'est parce que le dispositif d'insertion ne peut pas physiquement être très proche de l'angle d'ouverture de la foule. Pour laisser la place pour la nouvelle trame, l'ancienne doit être amenée à sa position finale par la frappe, à travers les nappes de chaîne, au moyen d'un peigne (Figure 11).

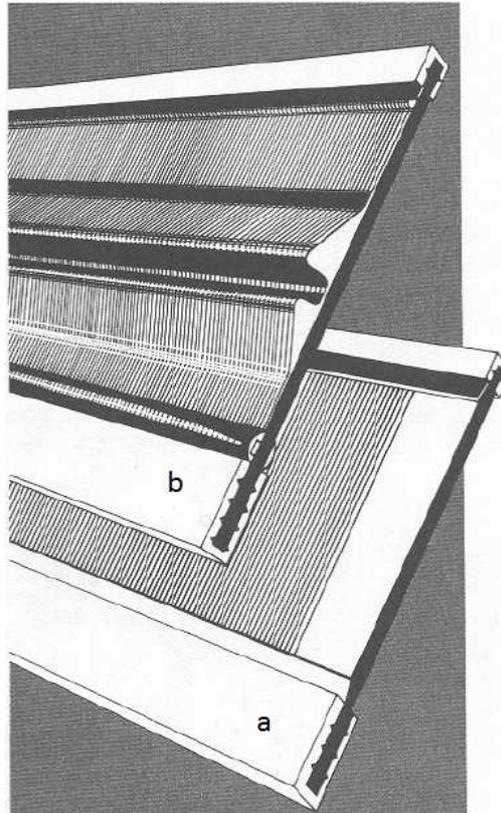


Figure 11 : a) Peigne normal, b) Peigne profilé [13]

Le peigne est composé de plusieurs barres métalliques plates (*Figure 11-a*), insérées dans un cadre. Ces barres sont espacées entre elles par des espaces uniformes (dents) qui correspondent à l'espacement entre les fils de chaîne dans le tissu. Le peigne est également utilisé pour contrôler la densité de fils de chaîne dans le tissu. On peut rentrer un ou plusieurs fils de chaîne dans une dent de peigne. Ce nombre de fils dépend de la densité de fils de chaîne dans le tissu. En plus de ses rôles classiques, dans les machines à tisser à jet d'air, le peigne sert également de guidage. Pour cela, les dents ont un profil spécial de sorte à former, sur l'avant du peigne, un cylindre ouvert (*Figure 11-b*). La duite doit constamment rester dans ce canal, même pendant la frappe.

Pour effectuer son rôle, le peigne est monté sur un battant qui permet de faire un mouvement de va-et-vient. Sur un tour de la machine à tisser, le peigne se déplace du PMAV (Point Mort Avant, façade du tissu) au PMAR (Point Mort Arrière, proche de la première lame) (*Figure 12-b*) permettant ainsi le passage du vecteur et de la duite (*Figure 12-c*), puis revient du PMAR au PMAV (*Figure 12-d*), frappant ainsi la duite sur la façade du tissu (*Figure 12-a*).

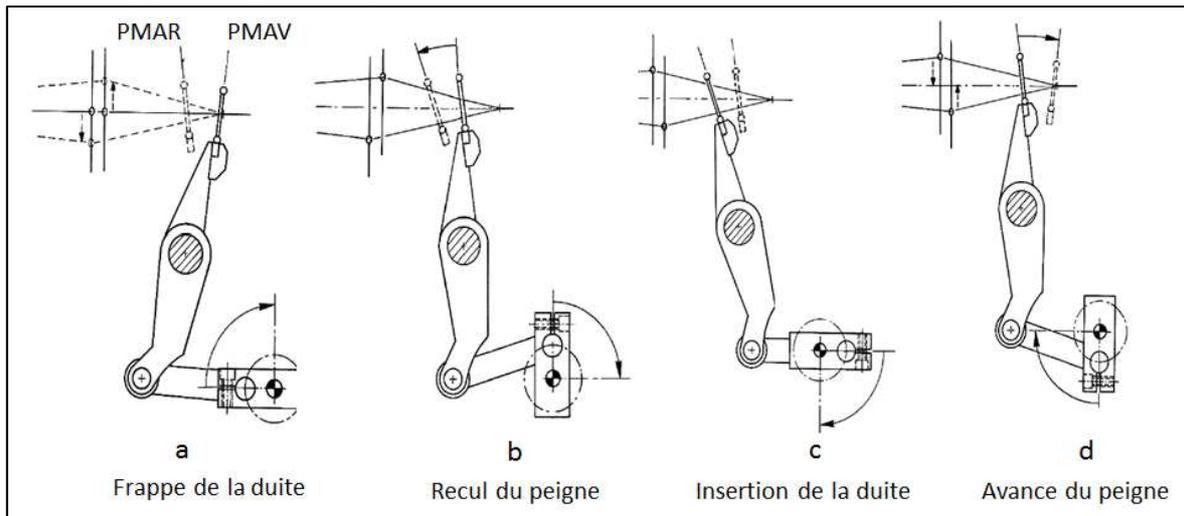


Figure 12 : Les positions du peigne [4]

La frappe du peigne contre la façade du tissu entraîne une augmentation de la tension de la chaîne et une diminution de la tension du tissu.

3.5. Le dispositif d'enroulement du tissu

Une fois la duite frappée, le tissu est formé et il doit être avancé d'une valeur prédéfinie afin que la position de la façade ne varie pas. Cette valeur d'avance a est définie par l'inverse du duitage (nombre de duites/cm) :

$$a = \frac{1}{D} \quad (I.2)$$

Cette valeur est constante et fixe pour chaque insertion.

Le dispositif d'appel a les fonctions principales suivantes :

- avancer régulièrement le tissu ;
- empêcher le glissement du tissu sur le dispositif.

Le tissu formé suit généralement l'un ou l'autre des deux chemins suivants. Le dispositif d'enroulement direct (*Figure 13-a*), indirect (*Figure 13-b*).

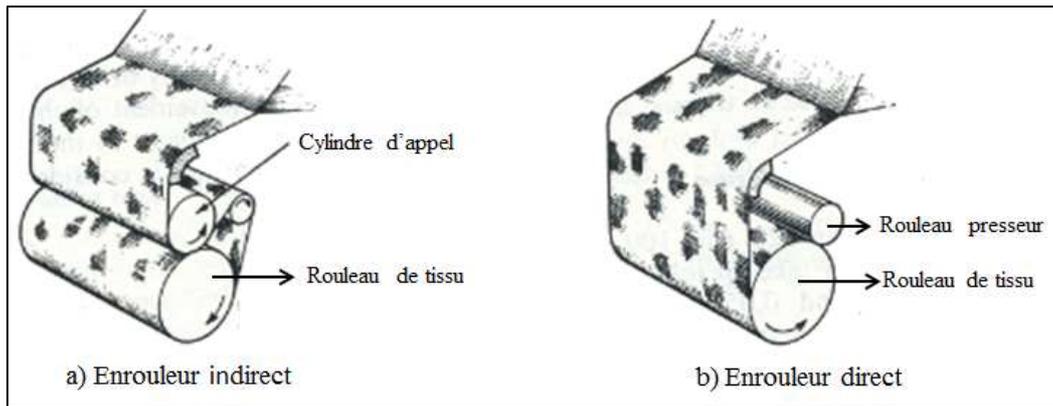


Figure 13 : Dispositif enrouleur du tissu [12]

Ce type de dispositif est bien adapté pour les tissus classiques et les tissus techniques de faible à moyenne rigidité. Toutefois, ces dispositifs ne sont pas adaptés aux tissus de forte rigidité interdisant l'enroulement. Pour ce type de structure, un système de "tracteur à plat" sera nécessaire.

3.5.1. L'enroulement indirect

La *Figure 13-a* montre que le tissu formé passe sur un cylindre d'appel avant de s'enrouler sur le rouleau de tissu. Ce rouleau est entraîné par son frottement avec le cylindre d'appel. L'avantage le plus important de cette méthode est la possibilité de couper le tissu fabriqué et d'enlever le rouleau de tissu sans arrêter la machine à tisser.

3.5.2. L'enroulement direct

Le mouvement représenté à la *Figure 13-b* est appelé l'enrouleur direct. Dans cette méthode, le tissu est enroulé directement sur le rouleau du tissu avec un rouleau presseur.

L'entraînement du rouleau de tissu est de type négatif, ce qui permet de réduire la vitesse de rotation ainsi que d'augmenter le diamètre du tissu fabriqué sur le rouleau de tissu. Pour cette raison, les mouvements indirects sont normalement considérés comme positifs, tandis que les mouvements directs sont des mouvements négatifs.

Sur la machine de tissage, le mouvement des fils de chaîne vers le haut ou vers le bas dépend du motif demandé du tissu. Ce motif s'appelle "l'armure".

4. L'armure

Les propriétés du tissu comme son apparence, son toucher ou sa drapabilité, ainsi que le facteur de couverture et les propriétés mécaniques, dépendent du choix de l'armure.

L'armure est généralement présentée par un dessin dans lequel les colonnes représentent les fils de chaîne et les lignes représentent les fils de trame. Deux évolutions des fils de chaîne sont possibles et désignées par les deux états suivants :

- pris : passage du fil de chaîne au-dessus du fil de trame ;
- laissé : passage du fil de chaîne en-dessous du fil de trame.

Les rangées sont numérotées de bas en haut et les colonnes de gauche à droite. Chaque carreau dans le dessin représente l'entrecroisement entre un fil de chaîne et un fil de trame. Si le fil est pris le carreau sera noir (■) ou contiendra un signe, dans le cas contraire le carreau sera blanc (□) ou vide.

L'armure est définie par un nombre minimal de fils de chaîne (rapport en chaîne) et de fils de trame (rapport en trame), qui représente une période à partir de laquelle une répétition dans la structure du tissu est désormais visible. L'armure est donc le plus petit dessin suffisant pour identifier la structure de tissu.

Il existe trois armures fondamentales qui sont les plus utilisées et à partir desquelles, les techniques de transformation permettent d'obtenir une infinité d'entrecroisements.

4.1. Les armures fondamentales

Ce sont les armures qui servent de base pour tous les types d'entrecroisement qui peuvent se présenter dans le tissage. Elles sont comme indiqué au nombre de trois: la toile, le sergé et le satin.

4.1.1. La toile

C'est le motif permettant d'avoir le plus simple et le plus dense de tous les tissus. Pour la représenter, un minimum de deux fils de chaîne et deux fils de trame est nécessaire [18]. Elle est caractérisée par la disposition inverse des fils pairs et des fils impairs : chaque fil de chaîne passe alternativement au-dessus et en-dessous de chaque fil de trame (*Figure 14*). Cette armure est la plus solide et elle résiste le mieux à l'abrasion en raison de fils ondulés courts

(flottés courts) [19]. Mécaniquement, c'est l'armure la plus difficile à tisser car, lors de fabrication, tous les fils de chaîne doivent changer de face à chaque duite.

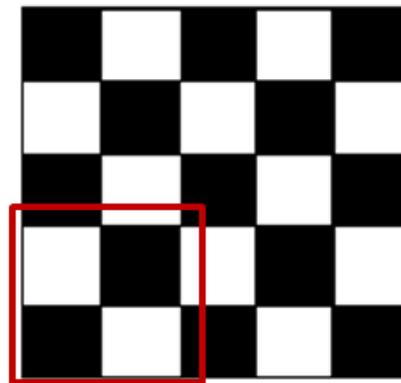


Figure 14 : Armure toile

4.1.2. Le sergé

Le sergé est obtenu en levant un fil, dans un ordre suivi, à chaque insertion de duite. Pour assurer le liage entre les fils de chaîne et de trame, à chaque duite, il y a un décrochement d'un fil, de sorte qu'il y ait également, sur chaque fil de chaîne, une trame prise et plusieurs laissés [19]. Le décrochement se fait en décalant des pris ou des laissés en passant d'un fil de chaîne au suivant ou d'une duite à la suivante. Cela donne un aspect de côtes saillantes séparées par des sillons obliques (*Figure 15*). Pour fabriquer le sergé, le montage s'effectue sur trois lames au minimum, le nombre de lames est égal au nombre de fils au rapport d'armure. Généralement, le sergé est indiqué par deux chiffres séparés par un « / ». Le premier indique le nombre de pris et le deuxième indique le nombre laissés.

Par exemple, un sergé 2/2 est un sergé dont l'armure sera composée de 4 fils de chaîne et de 4 fils de trame où 2 fils de chaîne sont pris et 2 fils sont laissés (qui peut être interprété comme deux fils vers le haut et deux fils vers le bas dans la séquence de la formation de la foule).

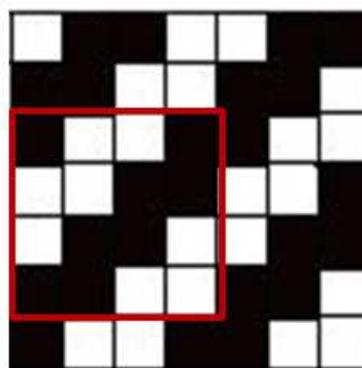


Figure 15 : Armure sergé 2/2

4.1.3. Le satin

Le satin est la troisième armure de base dans laquelle les points d'entrelacement sont disposés d'une manière similaire au sergé, mais sans présenter la ligne de sergé. Dans ce type d'armure, une série de fils couvre l'autre série en grande partie. Si ce sont les fils de chaînes qui couvrent le plus de surface de l'armure, le satin est à effet de chaîne. À l'inverse, si les fils de trame couvrent les fils de chaîne, le satin est à effet de trame [20]. Cette armure présente une surface plus ou moins brillante et souple selon les matières utilisées, La *Figure 16* montre un exemple du satin 5 effet trame de décochement 2.

Le satin est désigné par son rapport d'armure, son effet produit sur la face endroit et son décochement. Pour qu'un satin régulier soit tissable, il faut que le décochement n'ait pas de diviseur commun avec le rapport d'armure R et qu'il ne soit ni 1 ni $R-1$. Le montage s'effectue sur plusieurs lames (4 au minimum). Le nombre de lames est égal au nombre de fils du rapport d'armure.

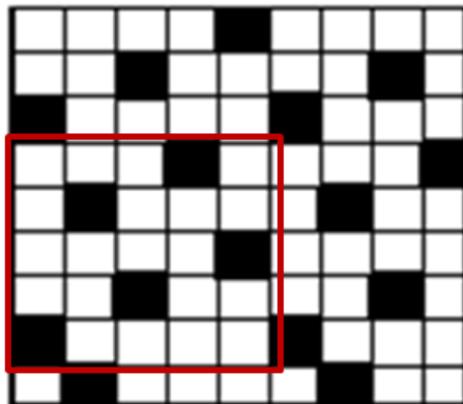


Figure 16 : Armure satin

4.2. Les armures dérivées des armures fondamentales

Les procédés de dérivation, addition, superposition, intercalation et rayonnement permettent d'obtenir de nouvelles armures à partir d'une ou de plusieurs armures de base [7].

L'utilisation d'un ou de plusieurs de ces procédés permet d'avoir un nombre quasi illimité d'armures dérivées de très grand rapport.

La *Figure 17* présente les dérivés directs à partir des armures de base.

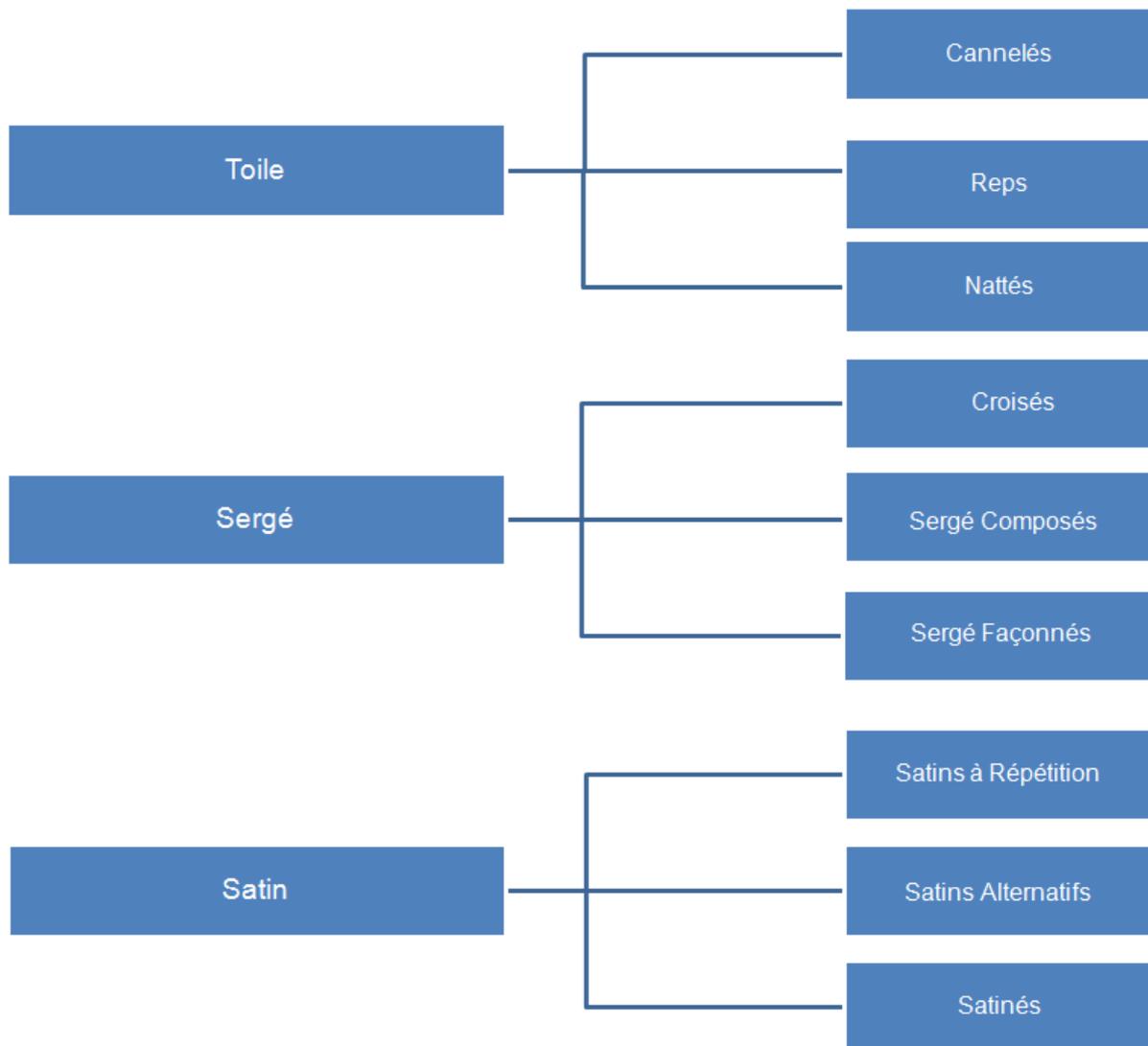


Figure 17 : Représentation globale des dérivées des armures fondamentales [21]

4.3. Les tissus double-face

Les tissus double-face présentent à l’endroit et à l’envers une armure régulièrement constituée. Ces tissus sont formés, soit d’une chaîne et de plusieurs trames, soit d’une trame et plusieurs chaînes (*Figure 18*), en présentant une armure différente sur chacune des faces. Ce tissu est obtenu en juxtaposant très étroitement deux fils voisins, l’un en effet chaîne, l’autre en effet trame, de façon à ce que l’on puisse recouvrir complètement l’un par l’autre. Pour réussir, il faut que les pris d’armure de la première face correspondent aux laissés d’armure de la deuxième face, et que les laissés d’armure de la première face correspondent aux pris d’armure de la deuxième face. Ceci s’appelle la sympathie d’armure [12].

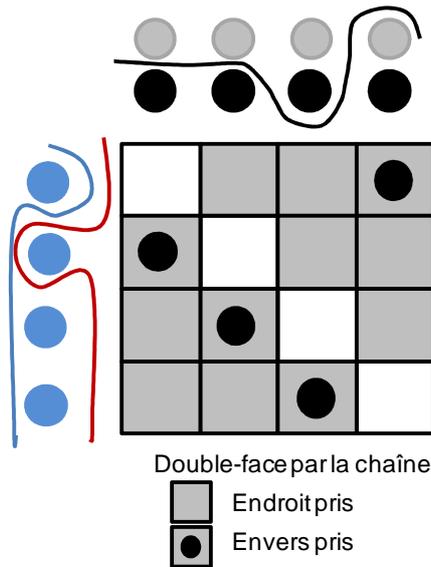


Figure 18 : Tissu double face [21]

4.4. Les tissus multiples

Ces tissus, composés de tissus superposés, sont tissés simultanément de façon à ne former qu'un seul corps dont chaque couche est formée d'une chaîne et d'une trame. Ces couches sont liées entre elles de trois façons [14,22] :

- par les lisières : « le tissu tubulaire » ;
- par interversion des tissus : « le tissu poche » ;
- par des ponts de liage nombreux et régulièrement disposée : « le tissu lié ».

4.4.1. Le tissu tubulaire

Le tissu tubulaire est un tissu à deux chaînes superposées et liées entre elles sur les côtés par une trame continue passant dans l'une des deux chaînes en allant et dans l'autre en revenant (*Figure 19*).

Le tissu tubulaire est à tisser obligatoirement sur métiers à navettes, et les différentes couches sont en général identiques quant à leur composition [14].

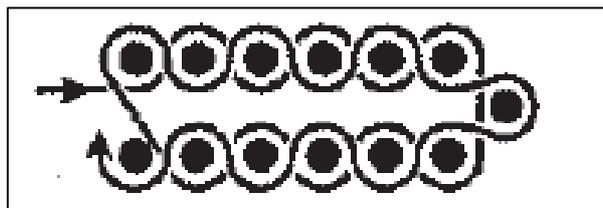


Figure 19 : Tissu tubulaire

4.4.2. Le tissu poche

Les tissus poches se composent de deux ou trois étoffes [23]. Ces étoffes diffèrent par les armures et /ou par la qualité des fils (matière, titre, couleur). Ils sont obtenus en interrompant périodiquement le tissage tubulaire par les autres armures liant deux chaînes et formant des poches de formats divers : longitudinales, transversales, damiers et quelconque. Certains coussins gonflables sont fabriqués en tissu poche, en une seule pièce (grande poche), sans avoir besoin de coutures, lesquelles présentent des points faibles dans la structure (*Figure 20*) [12][13].

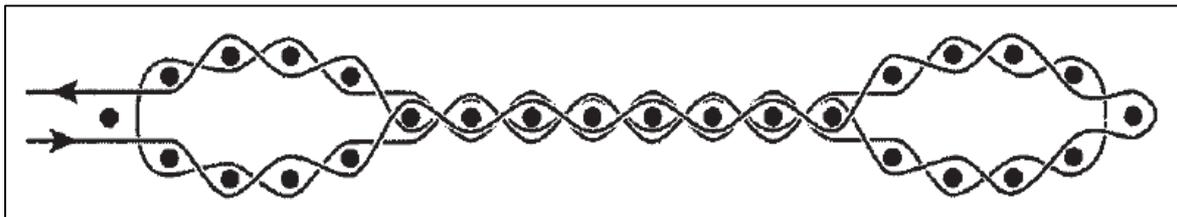


Figure 20 : Tissu poche [13]

4.4.3. Le tissu lié

Ce tissu est composé de plusieurs tissus liés par des points d'assemblage nombreux pour faire un seul tissu solide et épais (*Figure 21*). Deux méthodes d'assemblage existent : l'assemblage par ascension et l'assemblage par descension. Généralement, les points d'assemblage doivent être invisibles sur l'endroit et sur l'envers.

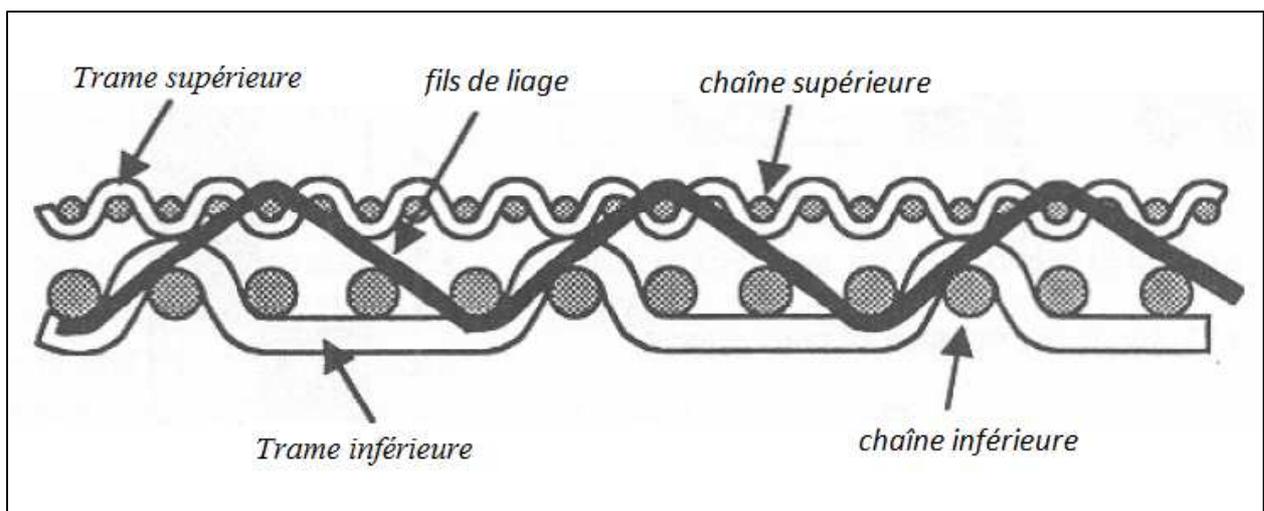


Figure 21 : Tissu à deux couches [13]

On appelle aussi ce tissu « Spacer Fabrics ». Il joue un rôle très important maintenant dans les conceptions des tissus techniques.

5. Conclusion

Les machines à tisser actuelles peuvent réaliser un grand nombre de structures différentes mais elles sont mal adaptées à la réalisation de nouvelles structures, et on peut constater l'incapacité de ces machines à réaliser des structures tissées telles que les structures hybrides par exemple, composées d'ensembles de fils de chaîne, d'ensembles de fils de trame et d'ensembles d'inserts non textiles. De ce fait, il semble nécessaire d'étudier les modifications à apporter aux différentes parties de la machine à tisser. Ces modifications sont nécessaires à la fabrication de nouvelles structures.

Nous nous proposons à travers le chapitre suivant de décrire le principe de ces tissus hybrides, non réalisés à ce jour, d'illustrer les limites des machines actuelles et d'envisager une nouvelle structure adaptée aux besoins futurs.

ANNÉE 2014

Chapitre II

Structures tissées hybrides : Limites de la machine à tisser

1. Introduction

Le but final de ce travail est de mettre au point une méthode de fabrication d'une nouvelle structure textile fondée sur celle des "Spacer Fabrics". Toutefois, cette nouvelle structure devra apporter de nouvelles fonctionnalités.

Après un inventaire de ces nouvelles fonctionnalités, on vérifiera qu'elles sont compatibles et réalisables sur les machines à tisser actuelles. Si cela n'est pas le cas, il sera nécessaire de concevoir une nouvelle machine. Pour cela, on détaillera les fonctions nécessaires à ajouter à une machine actuelle ou à défaut, on détaillera l'architecture d'un nouveau concept de machine à tisser. Cela fait d'objet du présent chapitre.

2. "Spacer Fabrics"

Dans cette structure, deux couches de tissus séparées par une distance fixe sont liées par des fils de chaîne aux propriétés spécifiques *Figure 22* [24,25,26].

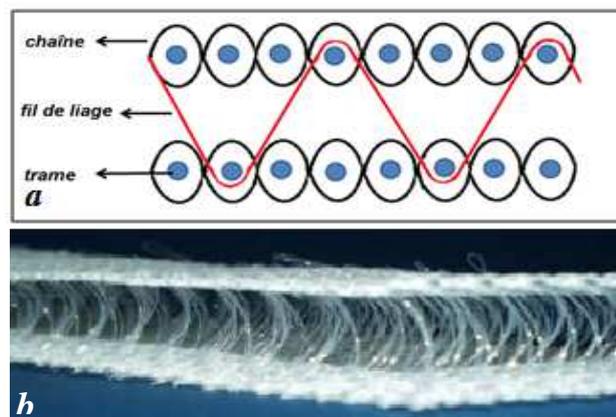


Figure 22 : a) Motif Spacer Fabrics, b) 3D Spacer Fabrics [6]

La structure des "Spacer Fabrics" joue un rôle de plus en plus important dans les constructions de tissus techniques, en raison d'une meilleure rigidité (par rapport au poids) comparée à d'autres types de constructions. Cette structure est utilisée dans des applications de haute technologie (automobile, aéronautique,...) en raison de meilleures propriétés mécaniques comme sa haute résistance aux sollicitations (traction, déchirement,..) [4,27,28,29].

De plus, le type d'armure utilisé et le processus de fabrication influent sur la rigidité en fonction du nombre d'entrecroisements des fils de chaîne et de trame.

Trois directions principales concernant le tissu “Spacer Fabrics” sont assignées à un système de coordonnées (x, y et z). L’axe x représente la direction longitudinale du tissu, l’axe y représente la direction transversale et l’axe z représente la direction verticale du tissu.

Les formes proposées en trois dimensions se composent de deux tissus tissés simultanément et d’un fil de liage dans la direction z. Ce fil assure le liage entre les deux couches et donne en même temps l’épaisseur au tissu.

3. Evolution envisagée de la structure du tissu

Nous nous fixons l’objectif de réaliser un tissu plus résistant et moins déformable qu’un “Spacer Fabrics” classique. Pour cela, nous envisageons d’insérer des trames non textiles ou des objets (inserts) entre les deux couches, dans la structure “Spacer Fabrics”, ou d’autres systèmes ou traitements pour obtenir une rigidité accrue.

Nous décrivons ici une structure de tissu double couches.

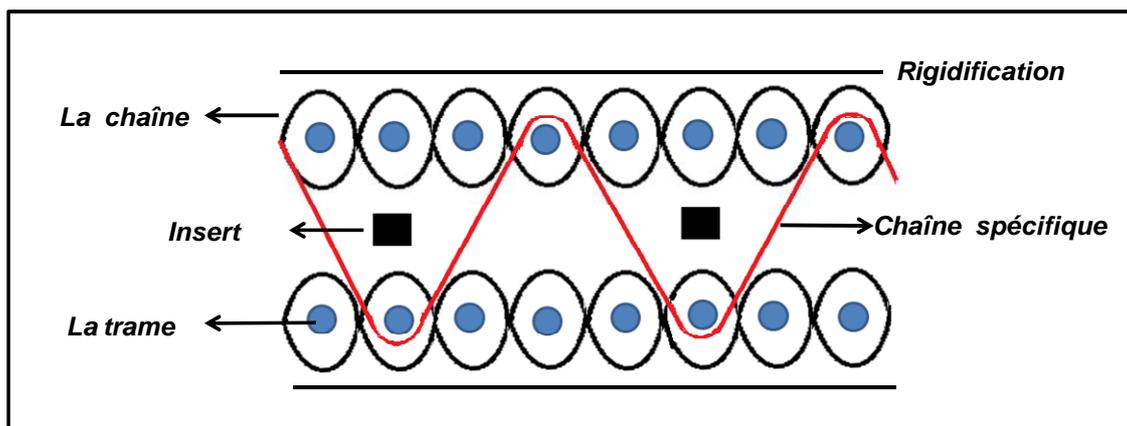


Figure 23 : Structures tissées hybrides

La Figure 23 montre les fils de trame, constituant les deux couches, les fils de chaîne, les fils de liaison inter-couches et les inserts. Les inserts peuvent être de nature autre que le fil de tissage (fil métallique, plastique, tubes, tuyaux) conduisant à l’obtention de structures de tissus hybrides. La structure finale du tissu pourra être à plusieurs couches (multicouches).

Un des objectifs également envisagé serait de s’orienter vers la possibilité d’utiliser un fil de liaison spécifique rigidifiable entre les couches du tissu. En utilisant ce fil, nous obtiendrons un tissu résistant tout en conservant sa légèreté, ce qui offre de nombreux avantages par rapport aux constructions traditionnelles. La rigidification ponctuelle assurera une bonne

cohésion. Avec ces propriétés, ce tissu pourra être utilisé dans des applications industrielles où le gain de poids est recherché.

Afin d'augmenter la flexibilité dans la fabrication du tissu, nous nous sommes imposés une contrainte supplémentaire. Elle consiste à pouvoir changer facilement la gamme de produits, ceci par l'action simple sur un maximum de paramètres.

4. Bilan des fonctionnalités nécessaires à la fabrication du tissu évolué

La structure de tissu envisagée conduit à la réalisation d'un certain nombre de tâches nécessaires pour mener à bien sa fabrication. On retrouve naturellement les fonctionnalités rencontrées dans la technique "Spacer Fabrics" mais également celles liées à l'évolution donnée à la structure du tissu. Les principales fonctionnalités nécessaires à l'élaboration du tissu sont résumées au sein du *Tableau 1* dans lequel a été précisé l'organe mécanique qui est, ou serait lié, à chaque fonctionnalité.

Tableau 1: Fonctionnalités liées à la réalisation du tissu

<i>Fonctionnalité</i>	<i>Mécanisme</i>
Alimentation de la chaîne	Cantre
Alimentation de la trame	Bobine
Insertion de la trame	Lance et Pince
Frappe de la trame	Peigne
Avance du tissu	Tracteur
Formation des foules	Lames
Réalisation multicouches	Lames
Mise en place du fil de liaison	Lame
Insertion de l'insert	*
* : à développer	

La mise en place de toutes ces fonctionnalités devra s'effectuer en gardant à l'esprit la possibilité de faire évoluer le produit fini, c'est-à-dire la capacité de pouvoir modifier (cela de

la manière la plus rapide et indépendante possible) les paramètres du tissu. Ceci impose alors que les principaux paramètres au sein de ces fonctionnalités soient ajustables.

Toutes ces considérations nous amènent à conclure quant à la nécessité d'employer une machine spécifique.

5. Incompatibilité des machines existantes avec la fabrication de tissus évolués

La flexibilité demandée à la machine, impose des contraintes importantes quant au développement des nouvelles fonctionnalités à mettre en place au sein de la machine.

Par ailleurs, cette flexibilité souhaitée impose des contraintes vis-à-vis des fonctionnalités déjà présentes dans les structures de machines existantes qui pour certaines, condamnent leur usage car elles ne peuvent répondre favorablement à ces contraintes.

Ceci nous amène donc à réfléchir au fait de réutiliser une structure de machine existante et de la faire évoluer avec des technologies disponibles ou existantes, ou bien d'envisager l'étude et la réalisation complète d'une nouvelle machine.

C'est pourquoi nous allons passer en revue les principales structures de machines et voir comment elles intègrent les différentes fonctionnalités précédemment inventoriées. Le *Tableau 2* résume cette étude.

Tableau 2: Intégration des fonctionnalités au sein de la structure de machines

	La machine classique	La machine 3D	Machine évoluée
Dérouleur de chaîne	oui	oui	oui
Dispositif de formation d'une seule foule	oui	oui	oui
Système d'insertion d'une seule trame	oui	oui	oui
Peigne	oui	oui	oui
Enrouleur de tissu	oui	oui	oui
Dispositif de formation de plusieurs foules	non	oui	oui
Système d'insertion de plusieurs trames	non	oui	oui
Système de fonctionnalisation	non	non	oui
Système d'insertion d'un insert non textile	non	non	oui

Nous nous sommes concentrés sur trois types de machine :

- la machine à tisser conventionnelle ;
- la machine à tisser 3D (multicouches, Spacer Fabrics,...) ;
- la machine à tisser évoluée à réaliser (adaptée au tissu recherché).

Ceci permet de déduire les fonctions spécifiques à intégrer dans la nouvelle machine à tisser. Mais avant cela, il est bon de positionner ces structures de machines par rapport aux contraintes liées à la flexibilité (respect du cahier des charges imposé en matière de contrôle multi-paramètres).

La liste suivante non exhaustive donne les principaux paramètres sur lesquels il est demandé de pouvoir agir, afin de changer la gamme du produit fini. Ceci nous servira de base de comparaison.

- la hauteur des foules ;
- la course du peigne ;
- le cycle du peigne ;
- la durée d'insertion ;
- ...

Le souhait exigé est de pouvoir agir le plus indépendamment possible sur chacun de ces paramètres sans affecter les autres.

Les *Tableau 3*, *Tableau 4* et *Tableau 5* présentent l'adaptation possible des structures des machines actuelles par rapport aux fonctions demandées.

Tableau 3: Position de la machine classique au regard de la modification des paramètres

<i>La machine classique</i>		
	Modification	Remarques
La hauteur de foule	très limitée	liée à la mécanique (came ou ratière) - changement peu pratique - avant démarrage
La course du peigne	non	liée à la mécanique (construction mécanique)
Le cycle du peigne	non	liée à la mécanique
Durée d'insertion	non	liée à la mécanique

Le *Tableau 3* montre la rigidité de la machine classique où les fonctionnalités sont dépendantes de la came ou de la ratière. Le changement de profil de la came mécanique peut s'effectuer manuellement mais s'avère fastidieux et contraignant. Cela implique une quasi-impossibilité de pouvoir modifier simplement le moindre paramètre.

Tableau 4 : Position de la machine 3D au regard de la modification des paramètres

<i>La machine 3D</i>		
	Modification	Remarques
La hauteur de foule	oui	si mécanique Unival (Stäubli)
La course du peigne	non	liée à la mécanique
Le cycle du peigne	non	liée à la mécanique
Durée d'insertion	non	liée à la mécanique

La machine 3D offre la possibilité de changer la hauteur de foule et les paramètres liés à la foule dans le cas d'une technologie Unival. Pour les autres cas, la machine demeure peu flexible.

Tableau 5: Position de la machine évoluée au regard de la modification des paramètres

<i>La machine évoluée</i>		
	Modification	Remarques
La hauteur de foule	oui	solutions technologiques à définir
La course du peigne	oui	solutions technologiques à définir
Le cycle du peigne	oui	solutions technologiques à définir
Durée d'insertion	oui	solutions technologiques à définir

Contrairement aux deux premières structures, la machine que nous souhaitons développer devrait permettre la modification rapide des paramètres cités.

Le principal inconvénient des deux premières machines est la synchronisation mécanique des fonctions, où les divers mécanismes sont en liaison directe avec l'arbre à cames (synchronisation mécanique).

L'étude de ces tableaux montre bien l'impact de ces contraintes liées à la variabilité des paramètres envisagés et motive le choix de construire une machine destinée aux tissus évolués

en repensant l'ensemble de la structure de celle-ci, sans conserver la structure de machines existantes.

6. Evolution technologique de la machine à tisser

Nous venons de voir que les structures des machines existantes ne sont pas dans la capacité d'évoluer simplement, ou de s'adapter rapidement, afin de répondre favorablement à la fabrication des nouveaux tissus que nous souhaitons développer. La raison en est la rigidité apportée par les mécanismes synchronisant l'ensemble des tâches.

Le but est donc de pouvoir découpler les différents mécanismes de l'arbre moteur principal tout en conservant la synchronisation et de contrôler indépendamment chaque mécanisme.

Les progrès apparus ces dernières années dans le développement de la mécatronique nous amène à réfléchir à l'introduction davantage d'électronique numérique dans les machines, pour réaliser des nouvelles tâches ou encore, améliorer le déroulement des tâches existantes au sein des machines avec plus de souplesse.

La synchronisation étant le point crucial du métier à tisser nous allons revoir en quoi consiste cette synchronisation et voir comment il est possible de migrer d'une synchronisation mécanique vers une synchronisation électronique. La finalité serait d'intégrer dans la structure de la machine des outils modernes d'entraînement, de contrôle, de commande intelligente, de technique de traitement de l'information et des communications, tout cela en respect avec les règles de sécurité pour les utilisateurs.

6.1. Synchronisation mécanique au sein de la machine à tisser

Cette synchronisation est présente systématiquement dans les structures existantes.

Tous les mécanismes que l'on peut trouver sur une machine à tisser doivent être [13,30] :

- parfaitement chronométrés et fixés pour assurer un ordre régulier des séquences de fonctionnement ;
- synchronisés entre eux selon l'horloge du métier à tisser (*Figure 24*).

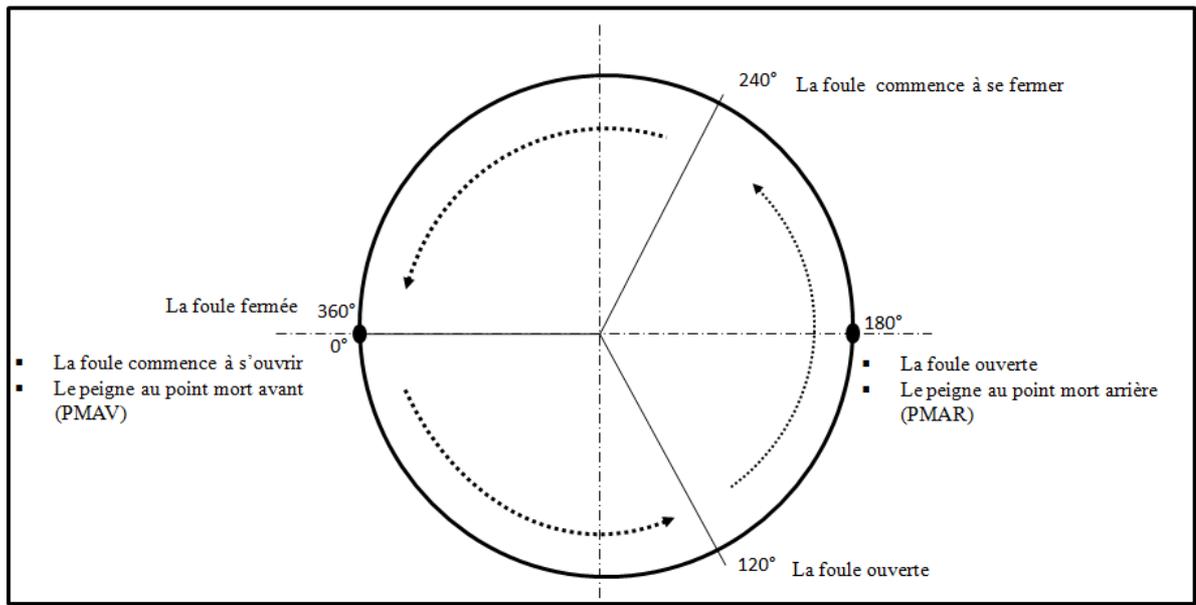


Figure 24 : Horloge normale

Grâce à cette horloge, la succession des tâches séquentielles (liées aux divers mécanismes) se déroule de manière bien définie et avec des durées d'exécution calibrées en rapport avec le profil et la vitesse de rotation des cames commandant les différents mouvements.

Le profil de ces cames montées sur l'axe moteur principal de la machine fixe la séquence de mouvement des mécanismes au sein de l'horloge. Une fois les cames montées sur l'arbre, les mouvements des mécanismes sont fixés et demeurent figés. C'est ainsi que la montée ou la descente d'une lame est de course donnée. De plus, la vitesse de rotation de l'arbre principal fixe la vitesse de déplacement des divers mécanismes associés aux cames.

La synchronisation se matérialise par la présence d'un axe motorisé maître et des mécanismes rendus esclaves de celui-ci par le biais de la mécanique. Le moindre mouvement de ce maître entraîne la rotation des cames, et indirectement le mouvement unique des mécanismes (via le profil des cames). Dans le cas où l'on a besoin de changer le profil des cames (pour un changement de course d'un mécanisme, par exemple), cela s'avère contraignant. En effet, cela nécessite des arrêts plus ou moins long de production et des interventions lourdes. Cela traduit la rigidité de cette synchronisation mécanique et apporte une contrainte importante dans le souhait de pouvoir faire évoluer la gamme de produit fini.

6.2. Solution de remplacement à la synchronisation mécanique

Le but recherché serait de pouvoir conserver la synchronisation des tâches mais avec un découplage des divers mécanismes par rapport à l'axe principal. Chaque mécanisme serait

actionné indépendamment, c'est-à-dire en faisant appel le moins possible à des liaisons mécaniques entre chacun d'entre eux.

6.2.1. Modification de la structure de la machine à tisser

S'agissant de mécanismes en mouvement, la nécessité d'associer un dispositif d'entraînement à chacun s'avère la solution à retenir. Mécaniquement, cela élimine en premier lieu cette liaison entre les divers mécanismes et offre la possibilité d'intervenir au sein d'un seul mécanisme à la fois, ce qui rendait déjà le système plutôt rigide à la base.

Cependant, cette solution ne règle pas à elle seule le problème lié au souhait de pouvoir changer les paramètres. En effet selon le choix des actionneurs utilisés dans la mise en mouvement des mécanismes, le type de source d'énergie (électrique, pneumatique, hydraulique) liée au type d'actionneurs choisis (moteurs, vérins,...), la mécanique demeure encore présente et continue de rendre rigide le système. La solution réside alors dans le pilotage de l'actionneur.

L'emploi de nouveaux actionneurs conduit nécessairement à l'emploi de dispositifs de pilotage, mais également de dispositifs de contrôle associés aux actionneurs, pour permettre de faire varier leur fonctionnement (par exemple la vitesse d'un moteur) et, a posteriori, agir sur le mécanisme (vitesse de déplacement du mécanisme).

Il va falloir tout d'abord définir le type d'énergie envisagée, pour choisir les actionneurs et leurs périphériques de pilotage.

6.2.2. Choix de technologie d'actionneurs

Après réflexion, la technologie électrique semble la plus apte à convenir pour plusieurs raisons. Tout d'abord, l'arbre à cames initialement utilisé est entraîné par un moteur électrique. La première réflexion serait de conserver la même technologie. Dans ce cas, il est inutile d'introduire d'autres sources d'énergie et de développer des circuits (pneumatiques ou hydrauliques) encombrants et nécessitant de l'entretien. De plus, les mouvements des mécanismes correspondent à des axes de translation. Dans le domaine de la robotique, des industries textiles, ou encore mécanique, ..., les servomoteurs électriques ont largement fait leurs preuves depuis plusieurs années lorsqu'il s'agit de mettre en place des commandes d'axes numériques. De fiabilité importante et offrant de bonnes dynamiques (accélérations,

décélérations), ils permettent de répondre favorablement aux exigences du monde industriel [31].

De plus avec des technologies de moteurs “Brushless” par exemple, il est possible de développer des couples et des vitesses adaptés aux contraintes de diverses applications industrielles, notamment dans le textile. Par ailleurs les procédés de pilotage et de contrôle de ces moteurs sont aujourd’hui matures.

Les caractéristiques de ces moteurs sont telles que l’on peut fonctionner dans des plages de vitesse où les caractéristiques de couple restent invariantes, permettant ainsi de déplacer un mobile à masse constante (la levée ou la descente de lame) à différentes vitesses.

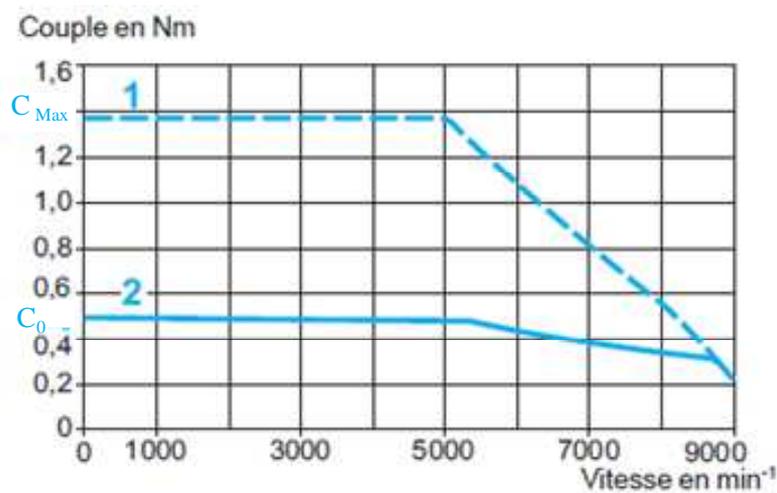


Figure 25 : Courbe couple, vitesse des moteurs Brushless [32]

Sur la Figure 25 on peut observer les caractéristiques couple en fonction de la vitesse des moteurs “Brushless”, pour deux valeurs de tension différentes. On aperçoit le maintien d’un couple quasi constant pendant une plage de vitesse donnée, ce qui permet, dans notre étude, de faire varier la vitesse des mécanismes en conservant les mêmes efforts. Néanmoins, le couple ne peut être conservé au-delà d’une certaine vitesse (limite de vitesse).

Les courbes 1 et 2 donnent les caractéristiques en service intermittent ou continu du moteur. Ces courbes limites sont généralement fournies par les constructeurs pour chaque moteur, ce qui permet de bien les choisir par rapport aux besoins de l’application.

Enfin, on peut voir que la plage de vitesse où le couple demeure constant est relativement importante. C’est la raison pour laquelle on qualifie souvent ce moteur de “moteur couple” ou à “fort couple”.

Au regard de notre application, l'emploi de ces moteurs et de leur environnement (variateurs de vitesse) permet de fixer les paramètres d'un mécanisme, comme la hauteur de levée d'une lame et sa vitesse de déplacement, indépendamment de tout autre mécanisme.

En revanche, subsiste le problème de la synchronisation des divers mécanismes. Nous allons voir comment régler ce problème.

6.2.3. Solution à apporter au problème de synchronisation

L'évolution et les progrès constants des technologies en matière de pilotage des moteurs (et cela grâce aux développements d'architecture à base de microprocesseurs rapides) ont permis de mettre en place des solutions technologiques répondant favorablement à l'exécution de tâches rapides.

Dans le cas d'un servomoteur, il est nécessaire de connaître quasi instantanément (en temps réel) la position de l'arbre moteur. La présence d'un capteur monté en bout d'arbre, (*Figure 26*) interfacé avec le variateur, permet d'assurer la mise en rotation et le positionnement du moteur.

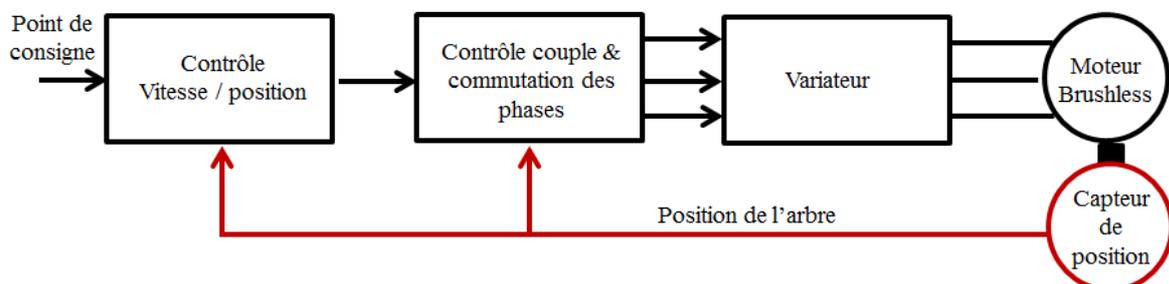


Figure 26 : Principe d'un asservissement de position [31]

Le rôle du variateur de vitesse est, en pratique, de piloter le moteur par le biais d'un d'asservissement en position. Il permet ainsi, par l'ajustement de paramètres liés à des correcteurs intégrés dans la boucle d'asservissement, de modifier la dynamique des moteurs (accélération, décélération) pour offrir des réponses à des sollicitations rapides.

La commande de ces moteurs est considérée comme une tâche rapide pour obtenir un positionnement précis. Ce type de technologie est fort courant et bien maîtrisé aujourd'hui.

Au sein de la machine étudiée, la synchronisation des divers mécanismes pourrait être liée à l'implantation d'une synchronisation entre les axes contrôlés de chacun des mécanismes. Cela

nécessiterait le développement d'une tâche rapide de contrôle des différents axes par rapport à un axe maître.

On retrouverait ainsi la similitude avec la synchronisation mécanique. Dans ce cas, nous serions en présence d'une synchronisation électronique. Le succès de la synchronisation dépendra de la qualité et des performances de l'outil numérique implanté sur la machine, et gérant cette synchronisation.

6.3. Évolution vers une synchronisation électronique

Notre choix de structure s'est orienté vers l'utilisation d'un système motorisé multiaxes, c'est-à-dire l'utilisation d'un servomoteur pour chaque mécanisme et au développement d'une synchronisation électronique.

Nous avons abandonné l'idée d'utiliser d'autres formes de technologie comme le pneumatique ou l'hydraulique pour des raisons pratiques déjà énoncées, ainsi que pour des problèmes liés à la dynamique du système où le traitement de la synchronisation doit être rapide. En effet cette synchronisation doit se matérialiser par une réponse des mécanismes selon une horloge fixée et cela le plus rapidement possible. Par définition l'emploi de systèmes électriques réagissent plus rapidement aux sollicitations que des systèmes pneumatiques ou encore hydrauliques.

6.3.1. Principe d'une synchronisation électronique d'axes motorisés

L'introduction de divers servomoteurs pour piloter chacun des mécanismes au sein des machines industrielles est une solution technologique en voie d'implantation depuis quelques années par les constructeurs de machines. Le choix de s'orienter vers cette solution technologique a été motivé par les nombreux progrès réalisés sur les variateurs de vitesse (associés à ces moteurs) dans le domaine de l'informatique industrielle, des réseaux ou bus de terrain et de l'électronique de puissance. Aujourd'hui, de nombreux fabricants sur le marché proposent des structures de variateurs intelligents où le positionnement et les réglages des vitesses sont bien maîtrisés et très précis.

La tâche essentielle de la commande de la machine à tisser est la synchronisation des divers mécanismes. Dans la machine classique, cette synchronisation conduit au déplacement de ces divers mécanismes par rapport à l'arbre moteur principal muni de cames mécaniques. Dans notre solution envisagée, les axes motorisés assurant le mouvement des mécanismes sont à

synchroniser par rapport à un axe principal, selon le principe d'axes *Esclaves* suivant le *Maître*.

Dans les deux types de machines, la synchronisation permet l'exécution séquentielle des diverses tâches au sein de la machine (ouverture / fermeture des foules, insertion de trame, frappe du peigne, ...). Dans les machines standards, l'utilisation de profils de cames mécaniques fixe le déroulement de ces séquences de fonctionnement. Dans le cas de la machine évoluée, la définition et l'introduction de cames électroniques (numériques) dans l'outil de pilotage de la machine aura pour but de les mettre en œuvre de manière similaire.

Dans le domaine du tissage, on utilise le plus souvent un outil qui est l'horloge de tissage (*Figure 24*). Cet outil, graphique, permet de fixer les temps d'exécution des différentes tâches par rapport au mouvement du peigne, pris comme référence.

Les nouveautés apportées par notre solution seront multiples. Tout d'abord, elle permet de choisir un nouvel axe comme référence, donc une nouvelle horloge.

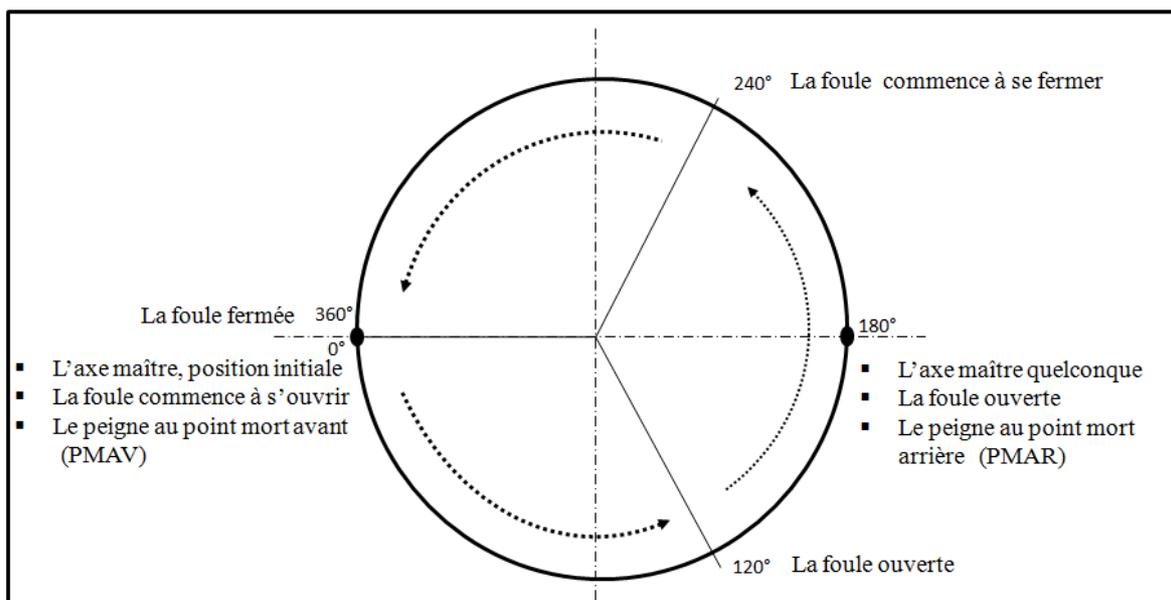


Figure 27 : Nouvelle horloge

Cet axe de référence sera considéré comme l'axe Maître (sur lequel est basée la nouvelle horloge). Les *Figure 24* et *Figure 27* montrent la différence entre l'horloge classique et la nouvelle horloge. Comme nous l'avons rappelé, dans le cas d'une machine existante, l'axe de référence est lié le plus souvent à la position du peigne en début de cycle, soit le Point Mort Avant (PMAV) choisi comme 0° pour l'horloge. Dans le cas de la machine évoluée l'axe Maître pourra être choisi comme étant celui du peigne, par similitude à ce qui est développé

dans la machine classique (*Figure 24*). Mais il peut être choisi également différemment et cela de manière quelconque, en introduisant la notion d'esclave à l'axe du peigne. Dans ce cas, tous les axes des mécanismes de la machine s'avèrent être des esclaves. Sur la *Figure 27* nous avons présenté une nouvelle horloge basée sur un axe Maître, équivalente à celle d'une machine classique où l'axe du peigne est associé à l'évolution du Maître.

La *Figure 28* montre un cas où l'axe du peigne est devenu directement esclave du Maître choisi, avec un temps de cycle différent de celui du Maître. Nous avons ici choisi un temps de cycle d'horloge fixé au double de celui du Maître.

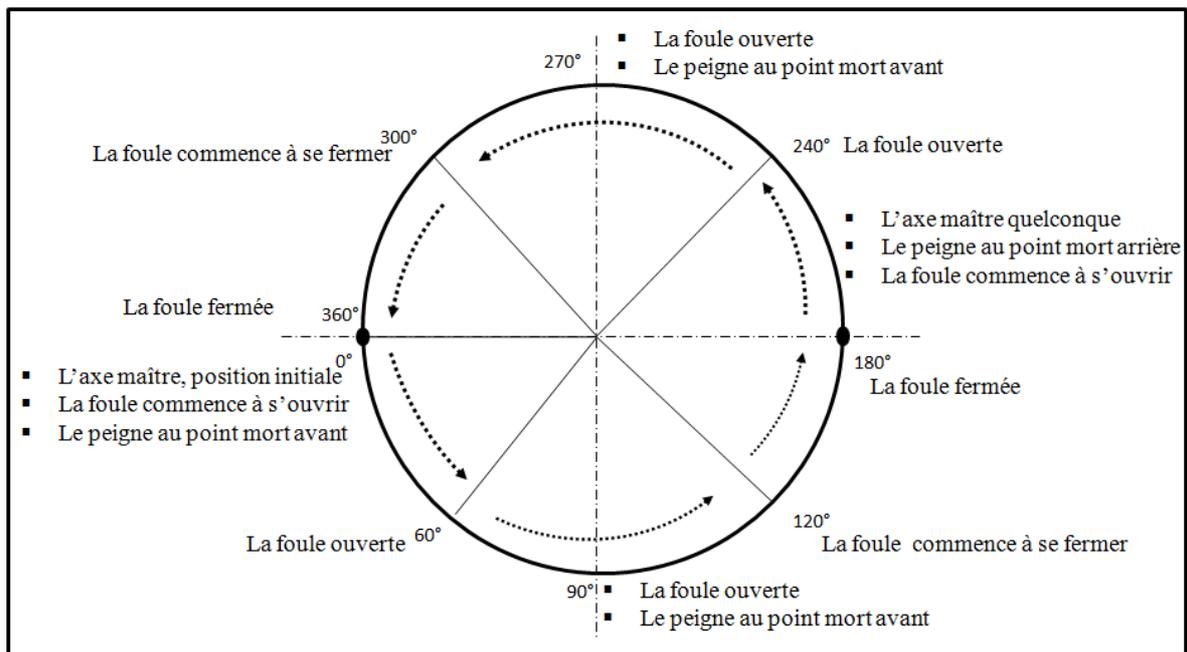


Figure 28 : Horloge avec temps des cycles esclaves différents du maître

On assiste alors pendant la durée d'exécution du cycle du maître, à un cycle du peigne (soit une avancée et un recul) avec des durées d'exécution, d'ouverture/fermeture de foules ou d'insertion, identiques pour les deux cycles.

Une des nouveautés apportées est de pouvoir modifier le cycle du peigne et les séquences d'ouverture/fermeture des foules par rapport à celui-ci, pour différents cycles successifs du Maître.

Les *Figure 29* et *Figure 30* montrent deux horloges où l'on a modifié les séquences d'ouverture/fermeture des foules, de l'insertion (secteurs délimités par les traits), ou bien les

durées d'exécution de ces différentes tâches au sein de ces secteurs délimités (longueur des flèches), d'un cycle à l'autre du peigne.

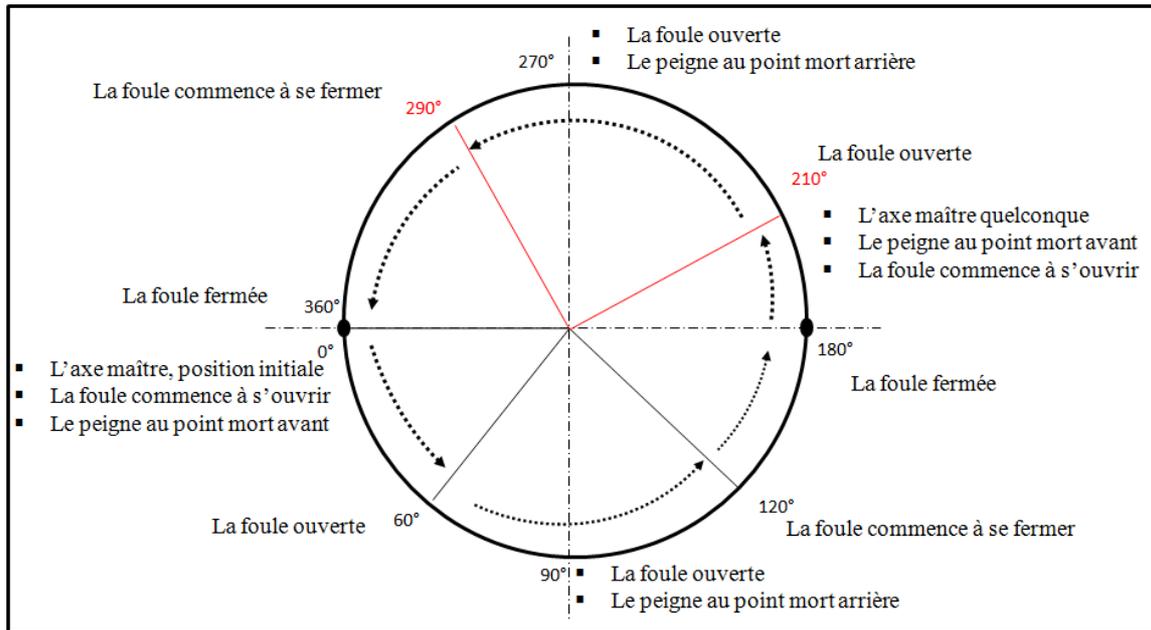


Figure 29 : Horloge avec un temps d'ouverture différent

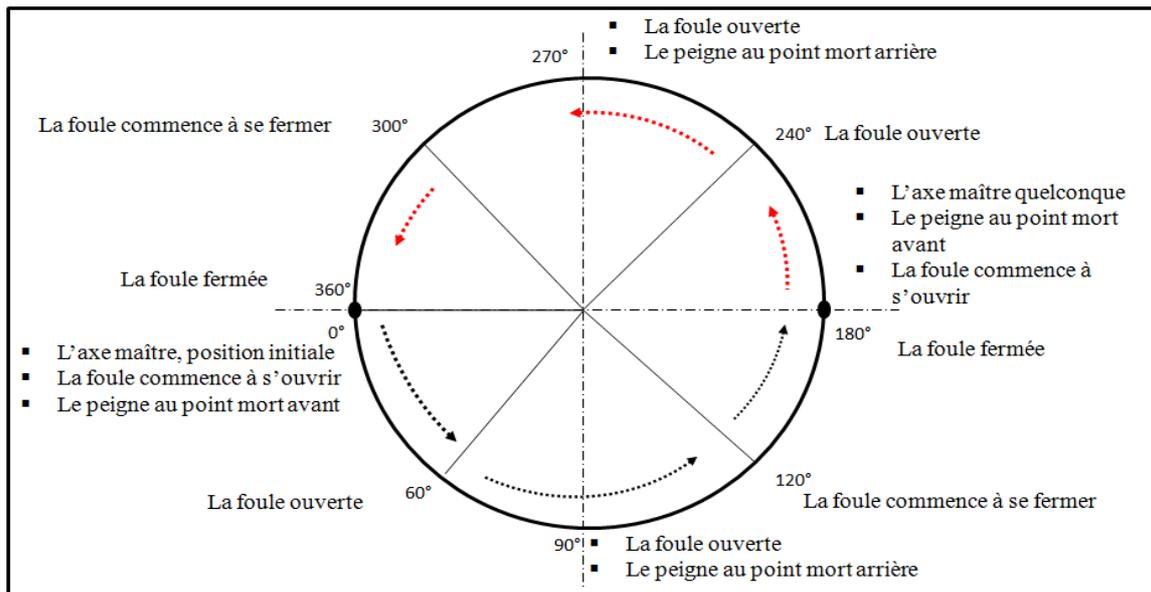


Figure 30 : Horloge avec modification des durées d'exécution des tâches

Dans le cas d'une machine classique, ces secteurs et ces durées d'exécution sont fixés une fois pour toutes après montage et conservés pour chaque cycle, et ne peuvent être changés rapidement. Ceci est donc un apport non négligeable dans la nouvelle structure de la machine.

En pratique, le fait de choisir comme référence l'axe Maître différent du peigne, nécessiterait dans les deux cas de figure de machine, la présence d'un axe de rotation supplémentaire sur

lequel seraient synchronisés (mécaniquement ou électroniquement selon le type de machine) tous les mécanismes. Ceci s'avèrerait rapidement contraignant dans le cas d'une machine classique (car axe inexistant, ou bien le peigne est à la base choisi comme axe moteur de référence pour l'horloge). Il en est de même initialement pour la machine évoluée mais, comme nous le verrons dans la solution technologique implantée décrite au chapitre 3, l'utilisation d'un axe virtuel de rotation dans l'outil logiciel nous épargnera ce fait.

Dès lors plusieurs horloges peuvent être élaborées, dans lesquelles les cycles d'ouverture/fermeture de foules, l'insertion, les durées d'exécution de ces tâches, peuvent être modifiés.

L'intérêt s'avérera manifeste vis-à-vis de la flexibilité apportée à l'usage de la machine en comparaison de la structure de machine antérieure.

La réussite de l'ensemble des nouveautés présentées jusqu'à présent sera liée aux performances des diverses commandes d'axes implantées et de l'outil informatique assurant leur synchronisation, on pense tout particulièrement aux temps de réponse et à la précision de positionnement au niveau de chaque axe piloté.

6.4. Amélioration de la flexibilité au sein de la machine à tisser

L'introduction de davantage d'électronique dans la gestion des axes et dans la commande de la machine en général a considérablement augmenté la flexibilité de la machine. Il s'agit là de l'un des critères sur lesquels les fabricants de machines (Original Equipment Manufacturer, OEM) se sont beaucoup intéressés ces dernières années en même temps que l'efficacité énergétique. La conception et le développement de machines flexibles et très peu énergivores, contribuent largement à leur réussite économique. Dans notre cas le premier aspect est recherché. Quant au deuxième, nous nous sommes contentés d'utiliser des produits récents issus du marché où cet aspect de réduction de la consommation énergétique se traduit par l'emploi d'appareils peu énergivores mais la multiplication des axes motorisés va cependant dans l'idée contraire. Nous n'avons pas plus étudié cet aspect.

Nous venons de voir que, grâce à la désynchronisation mécanique des mécanismes et l'introduction de la synchronisation électronique, il existe une large possibilité de faire évoluer la machine et le processus de fabrication de la structure tissée envisagée.

Les progrès au sein des commandes d'axes (variateurs) permettent de positionner précisément les axes, d'offrir des vitesses adaptées aux divers mécanismes tout en offrant la possibilité

d'agir sur les consignes de vitesse, de couple, ou encore d'accélération/décélération au niveau des moteurs d'entraînement.

Ceci augmente encore la flexibilité au niveau de la fabrication du tissu et sa structure. Il est alors possible de faire varier sur les courses des mécanismes (hauteur de montée ou de descente des lames, course du peigne,...).

La *Figure 31* montre un exemple de modification de la hauteur de montée d'une lame à chaque coup de trame (insertion). Cette action a pour but d'effectuer par exemple, dans une structure multicouche, le placement d'un fil de liaison inter couche par la levée de la lame à différentes hauteurs pour chaque insertion de trame.



Figure 31 : Changement de hauteur de lames à chaque duite

Un autre exemple illustré sur la *Figure 32*, montre une course du peigne modifiée à chaque duite, c'est-à-dire l'écart entre la position reculée (à proximité des lames) PMAR et la position avancée (proche du tissu formé) PMAV.

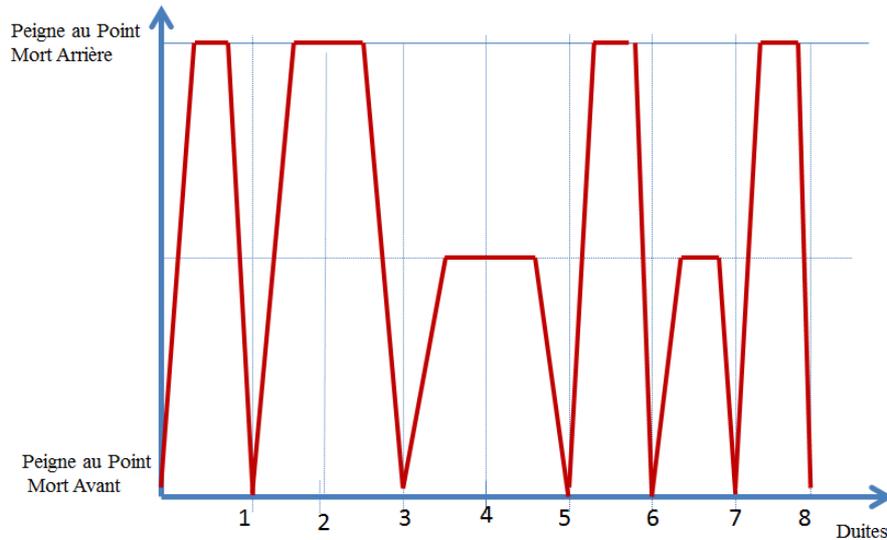


Figure 32 : Différentes courses du peigne à chaque duite

D'autres paramètres pourront être réglés en fonction du cycle de fabrication lié au tissu envisagé, où on voit l'évolution importante que pourra amener le développement d'une telle machine à tisser nouvelle génération.

7. Conclusion

Après avoir défini le but du travail, fabriquer un tissu hybride et identifier les besoins nécessaires à la réalisation pratique de ce tissu, un bilan a été effectué sur l'évolution des machines existantes pour pouvoir répondre favorablement à l'ensemble du cahier des charges lié à la fabrication des nouveaux tissus. Ce bilan a très vite mis en défaut les structures actuelles et a permis de conclure de revoir totalement la structure de la machine. La synchronisation des mécanismes étant le cœur sensible dans le processus de fabrication, elle devait être conservée. Présente sous forme mécanique dans les machines conventionnelles, elle limitait grandement l'évolution de la machine au regard de sa flexibilité et de sa capacité à s'adapter au mieux à l'évolution des gammes de produits fabriqués (grande variété de tissus). La modification de la structure de la machine, faisant appel à davantage de mécatronique (introduction d'avantage d'électronique), a permis de découpler mécaniquement les mécanismes tout en conservant leur lien par l'utilisation d'une synchronisation électronique, permettant de lier les mouvements entre eux.

Cette synchronisation permet l'utilisation de l'horloge de tissage de manière similaire à une machine classique mais basée sur l'utilisation d'un axe Maître sur lequel sont asservis tous les mécanismes y compris les mouvements du peigne. L'édition d'un profil du Maître et de

profils esclaves suivant le Maître s'apparente à l'utilisation de cames que l'on qualifiera de cames numériques (ou électroniques). Le paramétrage des profils de cames numériques et leur variabilité offrent des possibilités variées de fabrication de nouvelles structures.

C'est ainsi qu'une large panoplie de paramètres est modifiable, ce qui conduit à augmenter considérablement la flexibilité de la machine.

Il reste à présent à concevoir cette machine et à choisir le matériel et les technologies répondant au mieux aux besoins évoqués pour la construction de cette machine de nouvelle génération.

Chapitre III

Analyse Fonctionnelle, Conception et réalisation

1. Introduction

Notre choix s'est porté sur le développement d'une nouvelle machine à tisser destinée à la réalisation de nouvelles structures hybrides.

Au cours de ce chapitre, nous détaillerons l'analyse fonctionnelle qui nous conduira à exposer le cahier des charges, nous aborderons les solutions techniques retenues puis, nous développerons les aspects relatifs à la conception de la machine.

2. Elaboration du cahier des charges de la machine à tisser

Dans le but de présenter l'étude de la nouvelle machine, nous avons utilisé les outils conventionnels d'analyse fonctionnelle qui mènent au cahier des charges de cette machine.

2.1. Détermination du besoin

Le diagramme "bête à cornes" permet de décrire succinctement le besoin auquel doit répondre un projet d'étude au travers de l'exposé de son but, à qui il rend service, sur quel(s) élément(s) il agit, et quel dispositif sera employé pour y répondre [33,34,35].

En ce qui concerne la fabrication des structures tissées hybrides, le diagramme "bête à cornes" représenté en *Figure 33* explicite le besoin.

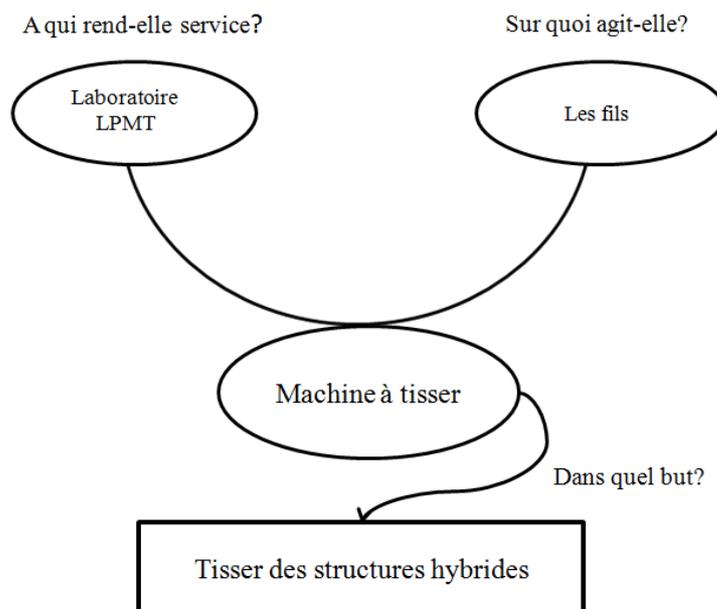


Figure 33 : Diagramme "bête à cornes"

Après avoir défini la machine à tisser comme moyen de réponse au besoin, nous allons étudier

son environnement et ses diverses interactions avec lui. Nous faisons appel dans ce cas à un outil descriptif comme le “diagramme pieuvre”.

2.2. Descriptif de l’environnement de la machine à tisser

Le “diagramme pieuvre” recense l’environnement de la machine à tisser afin de déterminer des fonctions principales FP_i (réponses aux besoins) et des fonctions contraintes FC_i (conditions à respecter pour une réponse correcte aux besoins) [36].

L’application de cet outil à notre machine à tisser nous amène à la *Figure 34*.

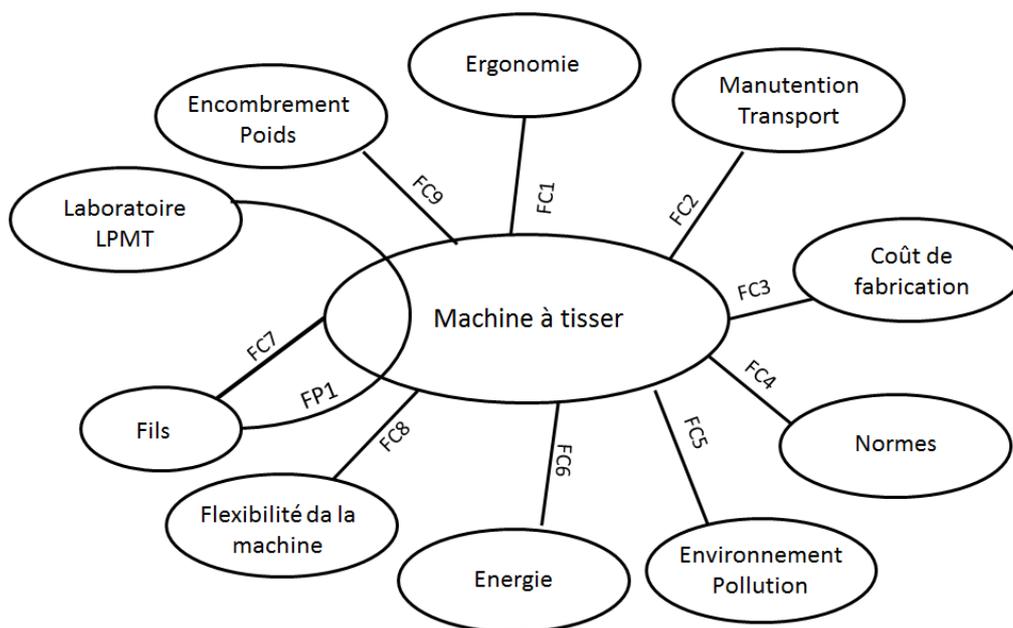


Figure 34 : Diagramme Pieuvre de la machine à tisser

Dans le cas de la machine à tisser, nous établissons une FP et neuf FC qui sont :

FP1 : Assembler les fils de chaîne et de trame pour réaliser une structure hybride.

FC1 : Être ergonomique.

FC2 : Être transportable et manipulable.

FC3 : Respecter le coût de fabrication.

FC4 : Respecter les normes (en matière de sécurité pour les utilisateurs du point de vue électrique, mécanique,..., ou bien sur la manipulation ou le traitement opérés sur les matériaux utilisés).

FC5 : Résister aux conditions environnementales d’utilisation (milieu ambiant), et minimiser les risques de pollution (bruit émis par la machine,...).

FC6 : Minimiser la consommation énergétique.

FC7 : Commander la tension des fils (position et maintien des fils).

FC8 : Proposer une certaine flexibilité (dans la gamme de produit fabriqué).

FC9 : Minimiser l'encombrement et le poids.

La demande, formulée par le LPMT, de fabriquer cette machine a permis d'identifier certaines fonctions contraintes comme étant à prendre en compte en priorité et d'autres au second plan. Dans l'esprit de développer un prototype de machine de laboratoire (et non industriel) le permettant de valider la fabrication d'une machine à tisser des tissus hybrides, les contraintes liées au coût, à l'énergie, à l'encombrement, au poids, etc..., n'ont pas subi une attention soutenue de notre part. Toutefois, nous avons limités les dérives pour qu'elles soient prises en compte, un minimum, dans la construction de notre machine.

De plus, dans l'ensemble, les composants et matériels achetés sont issus de catalogues produits et non développés sur mesure pour notre application. Les dimensions de certains n'étant pas optimisées et le plus souvent surdimensionnées. On donnera en exemple la course d'un axe linéaire utilisé (pour la course d'un peigne mobile) influant sur l'encombrement de la machine.

La modification ou la fabrication de ces produits sur mesure aurait eu un impact sur le prix et les délais de livraison. Après validation de ce prototype, et en vue d'envisager l'éventuelle phase de construction industrielle d'une telle machine, une étude plus approfondie de ces aspects sera à envisager. Nous nous sommes davantage intéressés à répondre favorablement à la fonction principale FP1, en se basant sur la fonction contrainte FC7, tout en respectant un minimum les autres contraintes.

Il s'agit de l'assemblage des fils pour former la structure du tissu et du contrôle des différentes tensions s'appliquant sur les fils.

Le *Tableau 6* décrit le cahier des charges au niveau de ces deux fonctions. Dans celui-ci, on voit apparaître pour chaque fonction les principales données au niveau des éléments caractéristiques, comme le titre et les matières (pour les fils, les armures et la structure pour les tissus réalisés).

Tableau 6 : Cahier des charges principal de la machine

	Fonctions de service	Éléments	Critères
FP1	Assembler des fils pour réaliser des structures hybrides	Fil de chaîne et de liaison	Matière technique (type PA 6,6)
			Titre : 940 dtex
		Fil de trame	Matière technique (type PA 6,6)
			Titre : 940 dtex
		Armure	Embuvage contrôlé
		Structure	Type d'hybridation
Durée de cycle	Durée totale de cycle de 1 min		
FC7	Commander la tension des fils	Tension	$T <$ tension admissible par les fils de chaîne et de trame

Une fois le cahier des charges établi, nous recherchons les solutions technologiques adaptées pour la mise en œuvre de ces fonctions. Une méthodologie couramment employée pour décrire ces solutions est le diagramme FAST (Function Analysis System Technique) [37, 38,39].

3. Analyse fonctionnelle de la machine à tisser

L'utilisation d'un diagramme FAST permet de développer chacune des fonctions en sous fonctions techniques. Chacune d'entre elles, traduit les tâches nécessaires à la réalisation de la fonction à laquelle elle est rattachée.

Le *Figure 35* montre la décomposition de la fonctionne FP1.

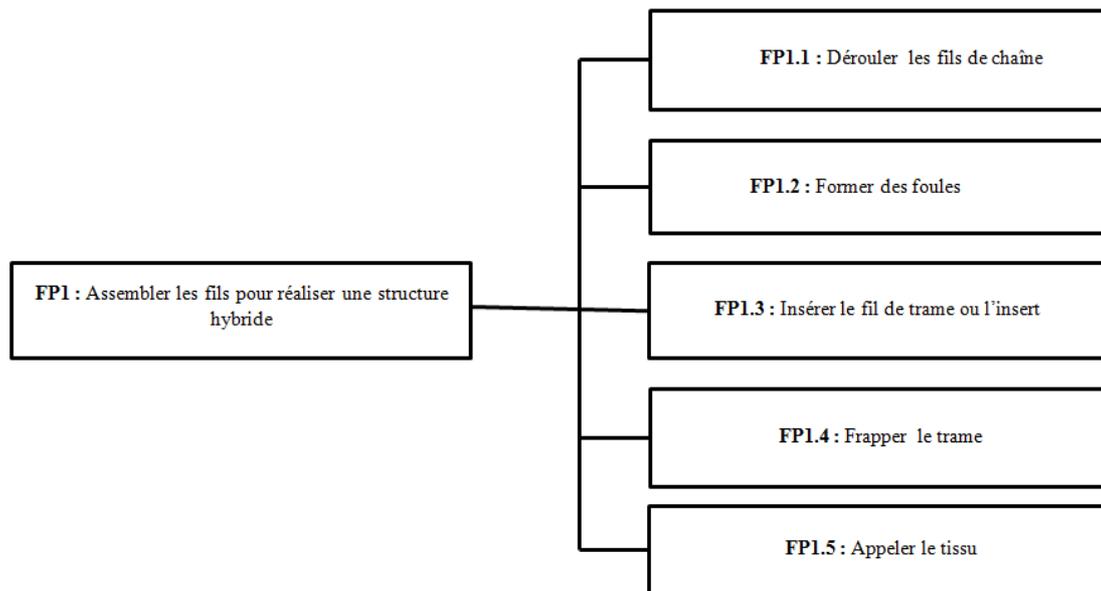


Figure 35 : Décomposition de FPI

Le *Figure 36* montre la décomposition de la fonctionne FC7.

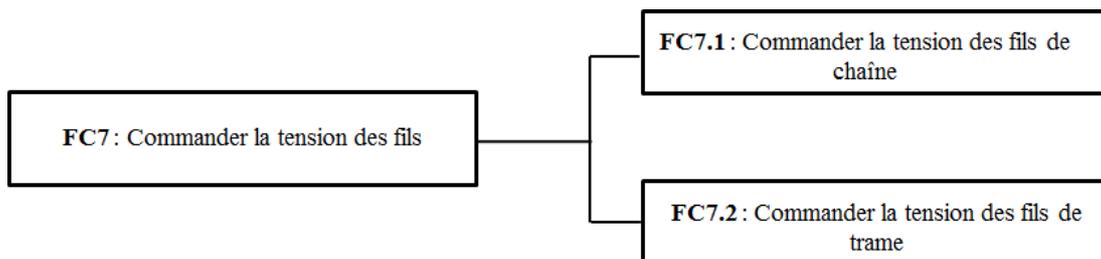


Figure 36 : Décomposition de la FC7

C'est ainsi que pour assembler les fils afin d'obtenir la structure tissée, il faut tout d'abord, organiser les fils de chaîne et assurer leur tension grâce aux cylindres d'embarrage. Ensuite ces fils sont séparés pour former les foules. Puis les fils de trame sont alors insérés dans les foules et les tissus ainsi réalisés bloqués. Enfin le tissu est appelé. Pour commander la tension des fils, il faut commander la tension des fils de chaîne et des fils de trame.

La méthode consiste ensuite à décomposer les fonctions techniques en sous fonctions techniques, autant de fois que cela s'avère nécessaire, selon la complexité de la machine, pour aboutir enfin aux solutions technologiques retenues et mise en œuvre au niveau des organes mécaniques employés (lames, pignon, crémaillère,...).

Les *Figure 37* et *Figure 38* illustrent les sous fonctions techniques employées et le choix des solutions technologiques envisagées.

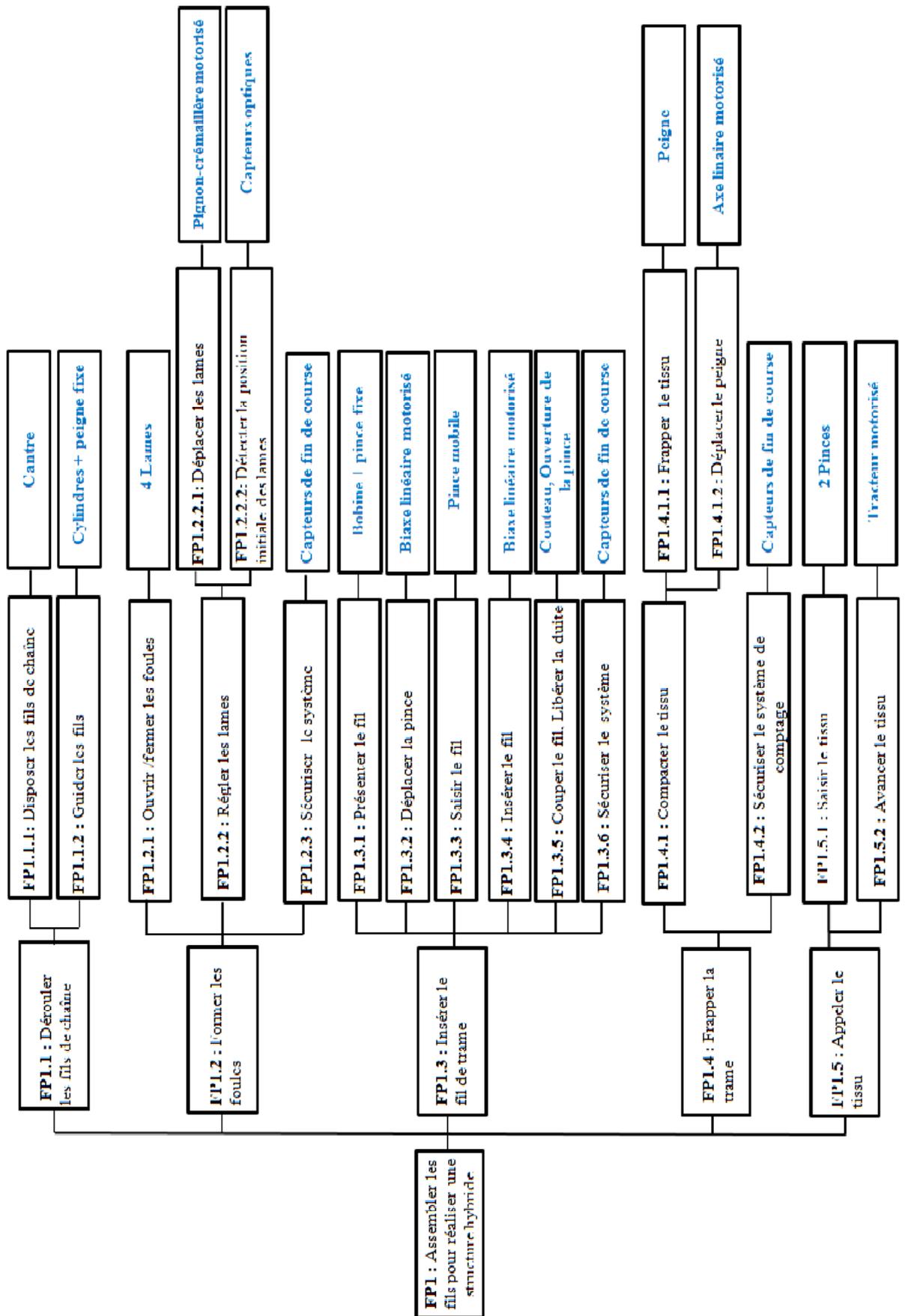


Figure 37 : Diagramme FAST pour la fonction FPI

On peut voir dans la *Figure 37*, la fonction principale (FP1) décomposée en cinq fonctions techniques, elles même décomposées successivement en sous fonctions techniques (à un ou deux niveaux) et débouchant sur les solutions technologies envisagés.

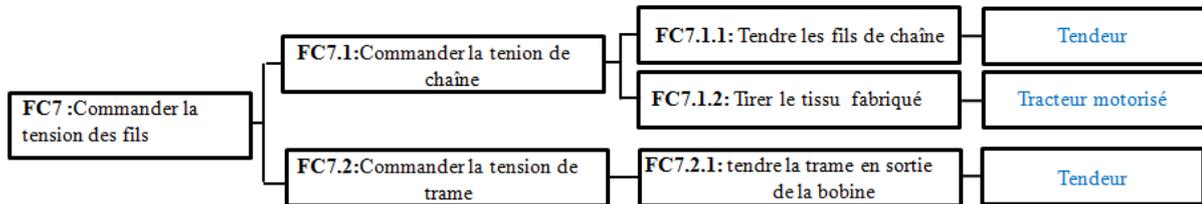


Figure 38 : Digramme FAST pour la fonction contrainte FC7

La *Figure 38* montre la décomposition similaire pour FC7. Plusieurs solutions techniques peuvent répondre à nos besoins, nous allons justifier le choix de celle retenue ci-après.

4. Inventaire des solutions technologiques et justification

4.1. Inventaire des organes utilisés dans la nouvelle machine

Nous avons rappelé précédemment que la machine que nous allons construire était basée sur la machine classique (à lames), à laquelle nous avons apporté de nouvelles fonctions (machine de nouvelle génération). Nous reprenons donc, dans la structure développée pour cette machine un certain nombre d'organes mécaniques déjà présents dans la structure de la machine classique. Le *Tableau 7* identifie ces organes et ceux apportés dans la nouvelle structure.

Tableau 7: Organes mécaniques sur la nouvelle machine

<i>FP1.1</i>	<i>FP1.2</i>	<i>FP1.3</i>	<i>FP1.4</i>	<i>FP1.5</i>	<i>FC7</i>
Cantre	Lames	Bobine+ pince fixe	Peigne	2 pinces	Tendeur
Cylindres+ Peigne fixe	Pignon-crémaillère motorisé	Pince mobile	Axe linéaire motorisé	Tracteur motorisé	Tracteur motorisé
	Capteurs	Couteau	Capteurs fin de course		Tendeur
	Capteurs fin de course	Biaxe linéaire motorisé			
		Capteurs fin de course			

Organe présent sur la machine classique

Organe non présent sur la machine classique

4.2. Justification du choix des nouveaux organes

4.2.1. Organes liés à la fonction FP1.2 : former les foules

Dans la fonction technique FP1.2, il est nécessaire d'appliquer un mouvement de translation verticale aux lames. Le choix de motoriser chaque lame conduit à lier le mouvement des lames à la rotation du moteur. Pour des raisons liées à la zone de travail (plutôt étroite des lames, les moteurs sont éloignés des lames). Dans ce cas, nous avons choisi de transmettre le mouvement aux lames par un système pignon-crémaillère, solidaire aux lames.

Afin de positionner initialement les lames (position de repos ou zéro des lames), des capteurs optiques (infrarouge) ont été implantés (un par lame) sur le châssis de la machine, détectant un index présent sur le cadre des lames lors de leur positionnement au repos. Le choix du capteur optique a été motivé par la possibilité de détecter la position de la lame à distance et non par contact.

Enfin, la course des lames est liée à la longueur des crémaillères employées (course limitée). Pour éviter une destruction du système pignon-crémaillère lors des positions extrêmes haute et basse des lames, deux capteurs de fin de course à contact (par lame) ont été installés, sécurisant ainsi le système (capteur de sécurité).

4.2.2. Organes liés à la fonction FP1.3 : insérer le fil de trame

Le choix de motoriser individuellement l'insertion a conduit à utiliser un système composé de deux axes linaires x, z, (biaxe), sur lequel sera montée la pince de saisie du fil de trame. Ces deux axes sont munis de capteurs inductifs (embarqués sur la structure) sécurisant leurs courses.

4.2.3. Organes liés à la fonction FP1.4 : frapper la trame

De manière similaire, un axe linéaire (muni de capteurs inductifs embarqués) assure le déplacement du peigne.

Avant d'aborder la partie conception de la machine, il est nécessaire d'aborder certains points liés à la tension des fils pour ainsi définir la charge embarquée sur chacune des lames et, a posteriori, sur les systèmes pignon-crémaillère et les moteurs. Cette étude s'avère donc importante en vue de leur dimensionnement.

5. Etude de la tension des fils de chaîne

5.1. Définition de la tension des fils de chaîne

Le procédé de tissage soumet les fils de chaîne à des contraintes et des frottements contre les différents organes du métier à tisser. Les sollicitations répétées en traction et en flexion causent la rupture des fils par fatigue. Ces sollicitations sont dues aux différentes phases lors du tissage (allongement des fils de chaîne lors de l'ouverture de la foule, frappe du peigne et tension de base T_0 qui est donnée par le réglage du dispositif de tension).

La tension des fils est très importante sur notre machine à tisser pour les raisons suivantes :

- séparer les fils lors de l'ouverture de la foule ;
- frapper la trame contre le tissu.

L'augmentation de la tension des fils cause la modification de l'aspect du tissu, la modification des propriétés mécaniques et engendre une augmentation du taux de casse des fils de chaîne au cours du tissage.

Ceci provoque une altération de la qualité de l'étoffe obtenue et diminue l'efficacité du tissage. Pour cela, afin de fabriquer la machine, il faut savoir que la contrainte du filament (due à sa tension en foule ouverte) doit être inférieure à la limite élastique du filament. Il faut, dans ce cas, calculer la tension maximum des fils pour ne pas dépasser cette valeur au cours du tissage.

La tension maximum T des fils est classiquement égale à la somme de la tension de base T_0 , de la tension T_f exercée sur les fils lors de l'ouverture de la foule et de la tension due à la frappe du peigne T_P :

$$T = T_0 + T_f + T_P \quad (\text{III-1})$$

Dans le cas de notre machine, le mouvement du peigne était particulier, dans un premier temps nous ne prendrons en compte que :

$$T = T_0 + T_f \quad (\text{III-2})$$

La valeur de T_f est liée au matériau des fils utilisés, ainsi qu'au titre du fil. Elle sera fixée plus tard.

La tension T_f est définie par :

$$T_f = E * S * \varepsilon \quad (\text{III-3})$$

Avec :

- E : le module de Young du filament ;
- S : la section du filament ;
- ε : la déformation des filaments due à l'ouverture de la foule.

Cette équation reste applicable quand la déformation du fil ne dépasse pas la limite d'élasticité.

Pour obtenir la déformation ε , nous avons dû procéder à une étude lors de l'ouverture de la foule.

5.2. Etude de la déformation lors de l'ouverture de la foule

La *Figure 39* représente la géométrie de la foule. Quand la foule est fermée, les fils de chaîne sont dans la position ACB. Lors de la séparation des fils (pour l'insertion de la trame), les fils de chaîne sont dans la position AC₁B, lors de la montée d'une nappe de fils en C₁, ou en AC₂B, dans le cas d'une descente d'une nappe de fils en C₂.

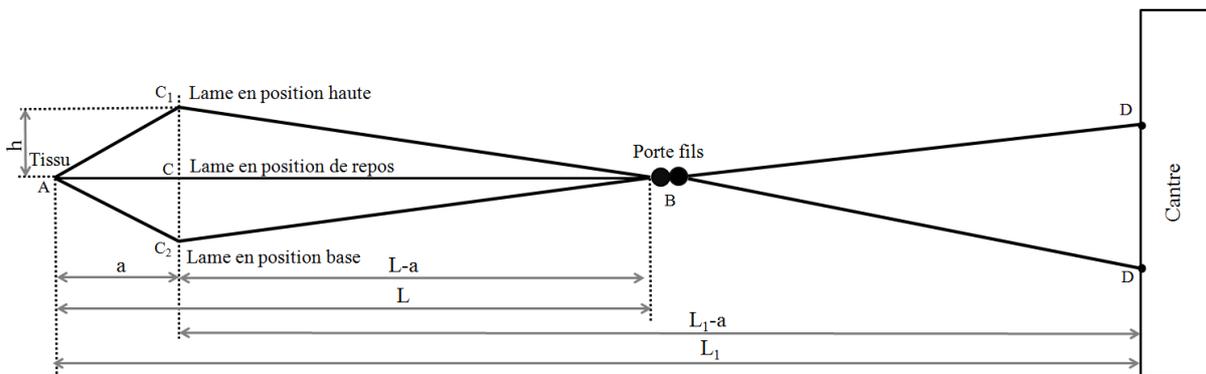


Figure 39 : La géométrie de la foule

L'ouverture de la foule cause un allongement du filament égal à ΔL . En regardant la *Figure 39* et en supposant que la tension est bloquée par les porte fils fixes, on trouve que :

$$\Delta L = \overline{AC_1} + \overline{BC_1} - \overline{AB} = \sqrt{a^2 + h^2} + \sqrt{(L - a)^2 + h^2} - L \quad (\text{III-4})$$

Avec :

- a : la distance entre la lame et le tissu
- h : la demie hauteur de la foule
- L : la distance entre le cantre et le tissu

ΔL peut être également sous la forme :

$$\Delta L = a \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2} + (L - a) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{h}{L-a}\right)^2} - L \quad (\text{III-5})$$

On peut considérer que la demi-hauteur de la foule (h) est plus petite que la distance (L-a), et également plus petite que la distance (a). Dans ce cas, on peut écrire :

$$\Delta L = a \left(1 + \frac{h^2}{2a^2}\right) + (L - a) \left(1 + \frac{h^2}{2(L-a)^2}\right) - L \quad (\text{III-6})$$

Et on obtient :

$$\Delta L = \frac{h^2}{2} \times \frac{L}{a(L-a)} \quad (\text{III-7})$$

Si on s'appuie sur la définition de la déformation ε suivante :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (\text{III-8})$$

La valeur de la déformation peut alors s'écrire comme :

$$\varepsilon = \frac{h^2}{2} \times \frac{1}{a(L-a)} \quad (\text{III-9})$$

En supposant que la tension n'est pas bloquée par les porte fils, celle-ci se répercute jusqu'au frein de bobine sur le cantre, alors :

$$\varepsilon_1 = \frac{h^2}{2} \times \frac{1}{a(L-a)} \quad (\text{III-9-1})$$

Si on réinjecte cette valeur ε dans la relation III-3, on obtient la tension du filament due à l'ouverture de la foule T_f comme suit :

$$T_f = E \times S \times \frac{h^2}{2} \times \frac{1}{a(L-a)} \quad (\text{III-10})$$

En supposant que la tension n'est pas bloquée :

$$T_{f1} = E \times S \times \frac{h^2}{2} \times \frac{1}{a(L-a)} \quad (\text{III-10-1})$$

Cette tension du filament définie à l'instant, doit être inférieure à la contrainte d'élasticité du filament. Cette contrainte d'élasticité dépend du matériau utilisé pour le filament.

Les fils utilisés seront des fils techniques à fortes charges et à allongement moyen à faible. Parmi les fils envisagés, il y a les filaments de verre, les filaments de carbone et les

polyamides techniques.

Nous choisissons dans un premier temps des filaments de polyamide, n'oubliant pas que le travail des fibres de carbone ou de verre imposera un allongement de la chaîne s'élevant à environ 0,25% pour ne pas les endommager.

Nous allons à présent nous intéresser au matériau du fil utilisé ainsi qu'à ses caractéristiques mécaniques.

5.3. Caractéristiques mécaniques des fils utilisés

Pour déterminer les caractéristiques mécaniques des fils de chaîne PA 6,6, nous avons dus effectués des essais de traction simple (longitudinale) sur un dynamomètre Adamel Lhomargy (MTS), piloté par le logiciel Test Works.

5.3.1 Principe d'un essai de traction simple

L'essai de traction simple permet d'obtenir :

- la contrainte à la rupture σ_R (exprimée en MPa) qui représente une contrainte nominale calculée en faisant le rapport de la charge à la rupture F_R , par la tension initiale au filament S_0 :

$$\sigma_R = \frac{F_R}{S_0} \quad (\text{III-11})$$

- la déformation à la rupture ε_R , correspondant au rapport de l'allongement à la rupture Δl par la longueur initiale de l'éprouvette l_0 :

$$\varepsilon_R = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (\text{III-12})$$

- le module initial ou le module d'Young E (exprimée en MPa), qui correspond à la pente de la partie élastique linéaire de la courbe contrainte déformation :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{III-13})$$

5.3.2. Résultats issus de tests de traction simple

Les essais réalisés ont suivi un protocole d'essais pour les fils de polyamide 6,6 issus de la norme NF-EN-13864 [40].

Les échantillons de fils, fixés par des pinces pneumatiques adaptées, ont été sollicités à la traction à une vitesse de 125 mm/min et les efforts ont été mesurés à l'aide d'un capteur de

force de 100 N. La distance entre les pinces est fixée à 250 mm, une pré-tension de $(0,5 \pm 0,1$ cN/Tex) a été appliquée au filament. Le temps de rupture de l'éprouvette est fixé à $20 \text{ s} \pm 3 \text{ s}$. Il est à signaler que nous avons inséré un papier adhésif pour protéger la surface de contact entre les pinces pneumatiques et le filament afin d'en limiter le cisaillement et d'éviter la rupture au niveau des pinces.

Pour permettre de réaliser une étude comparative entre les diverses éprouvettes, tous les essais ont été effectués sous les conditions normales, soient $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et $65\% \pm 5\%$ d'humidité relative.

Le *Tableau 8* récapitule les résultats issus du test de traction simple.

Tableau 8 : Résultats du test de traction simple

Filament	F (N) Force maximale	ϵ_R % Déformation à la rupture	E (GPa) Module d'Young	σ_R (MPa) Contrainte Maximal	T (N / fil) Limite élastique	A % Allongement
Polyamide 6,6	$67,13 \pm 3,18$	$12,3 \pm 0,5$	$2,02 \pm 0,7$	$681,84 \pm 20,4$	19,2	1,44

L'allongement des fils de chaîne dans la limite élastique est de 1,44 %.

Dans le cas d'un porte fil ne bloquant pas la tension, cet allongement est minoré. Le *Tableau 9* donne la géométrie de la foule pour un allongement de la chaîne de 0,25%. Ce qui permettra de tisser tout type de matériaux.

Tableau 9 : La géométrie de la foule

L (mm)	a (mm)	h (mm)	ΔL (mm)	A (%)
4000	194	62	12,70	0,25

La finalité de ce travail nous a permis de disposer d'une valeur pour la tension de fils de chaîne de 1 N/fil, pour 0,25% d'allongement.

On rappelle que la connaissance de cette valeur est également importante pour déterminer la charge appliquée sur les lames.

Nous disposons d'informations suffisantes pour nous pencher sur la conception de la structure de la machine à tisser.

6. Conception mécanique de la nouvelle machine à tisser

6.1. Méthodologie

Lors de l'étude fonctionnelle que nous avons présentée, nous avons fait appel à cinq fonctions techniques, et nous avons défini divers mécanismes à mettre en œuvre. Nous proposons ici de décrire l'étude de la conception mécanique de la machine que nous avons menée. En nous appuyant sur les cinq fonctions techniques identifiées lors de l'analyse fonctionnelle, nous détaillerons, par la suite, la conception des organes essentiels à chaque fonction technique et leur mise en place.

Les pièces ont le plus souvent été fabriquées avec des matériaux légers pour minimiser au mieux le poids de la machine, tout en possédant des propriétés mécaniques en adéquation avec notre application (respect des contraintes de charge par exemple).

La fabrication des pièces a été réalisée sur des machines outils de type conventionnelles au sein du LPMT.

L'étude de la conception a été réalisée au moyen du logiciel *CREO Elements Pro School Edition*, outil de Conception Assisté par Ordinateur (CAO) [41,42]. Ainsi, tous les plans des pièces ont pu être édités puis les pièces usinées.

Nous commençons par décrire ici le châssis ou le support de cette machine, puis nous aborderons la conception de pièces relative aux solutions technologiques retenues pour chaque fonction technique décrite précédemment.

6.2. Conception mécanique du châssis de la machine

S'agissant d'une machine de laboratoire, la principale idée avant la conception est de disposer d'une machine facile d'accès dans la partie interne. Ce châssis doit permettre l'intervention dans la zone de travail où se situent les fils, la plus légère qui soit, déplaçable, peu encombrante et ajustable à souhait.



*Figure 40 : a) Profilé 45*45, b) Les accessoires*

Nous avons utilisé une structure mécano-assemblée à base de rails profilés (aluminium, 45x45 mm) avec ces accessoires (Figure 40) [43].

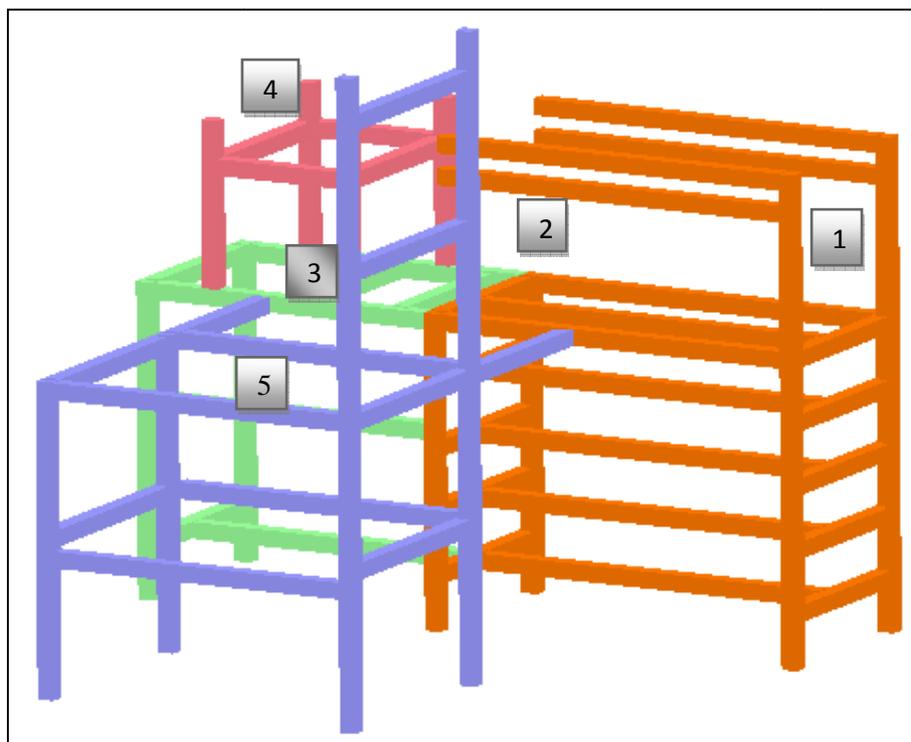


Figure 41 : Structure de la machine modélisée en CAO

Sur la Figure 41, l'entrée des fils se situe à gauche (1), après la zone de formation de la foule est la zone (2). Le peigne est monté dans la zone (3). Le système tracteur est dans la zone (4). Enfin, la zone d'insertion est la zone (5).

Maintenant que la conception générale du châssis de la machine a été abordée, nous disposons de la forme générale de cette machine.

Les paragraphes suivants détailleront chaque sous ensemble de la machine.

6.3. Conception mécanique du dérouleur de chaîne

La première fonctionnalité “ Organiser les fils de chaîne ” (FP1.1) est relative au moyen de dérouler la chaîne dans la machine. Nous avons retenu la méthode d’alimentation d’une moyenne d’un cantre [13].

Cette méthode permet d’alimenter directement la machine en fils à partir de bobines disposées sur un cantre.

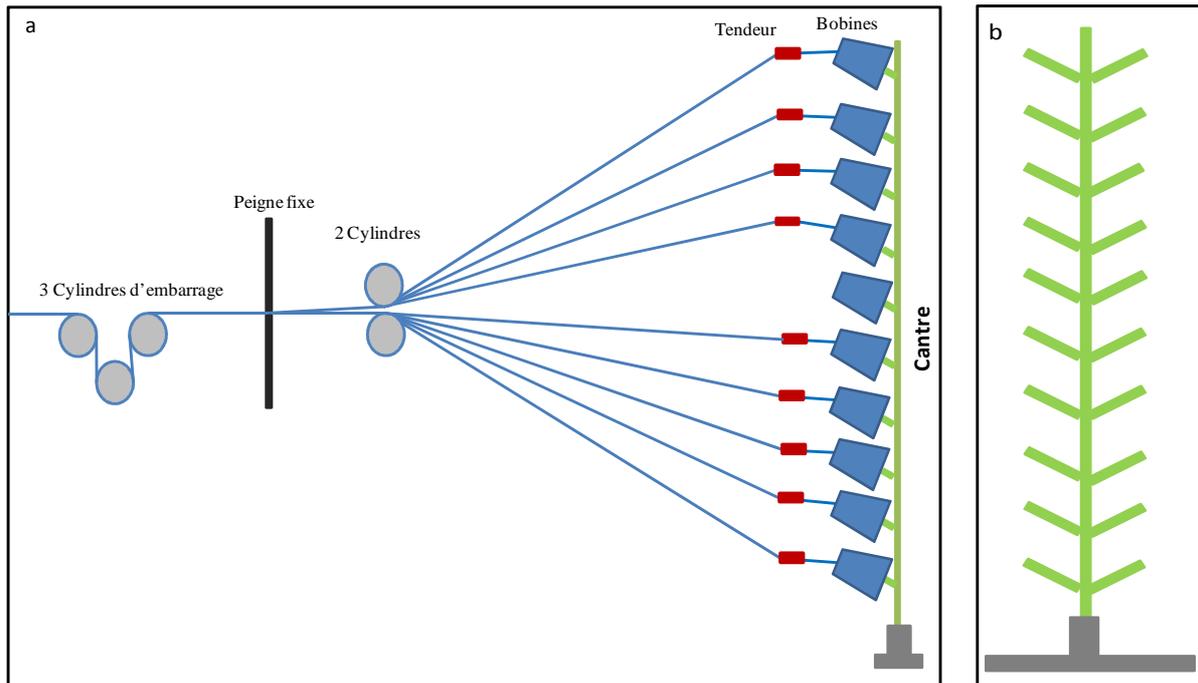


Figure 42 : a) Dérouleur de la chaîne, b) Le cantre

Le cantre est composé d’un axe vertical muni d’axes courts horizontaux (type double râteau). Sa capacité au départ est d’une dizaine de bobines de polyamide 6,6 (Figure 42-b).

Comme nous l’avons précisé précédemment (cf. § 5), la tension des fils de chaîne est très importante. Des tendeurs devront être installés sur les fils à la sortie des bobines du cantre afin de garantir une tension constante. Le type de tendeur choisi est un tendeur à coupelles monté à chaque sortie de fil (Figure 43). Le fil est tendu par le biais de serrage d’une coupelle sur l’autre.

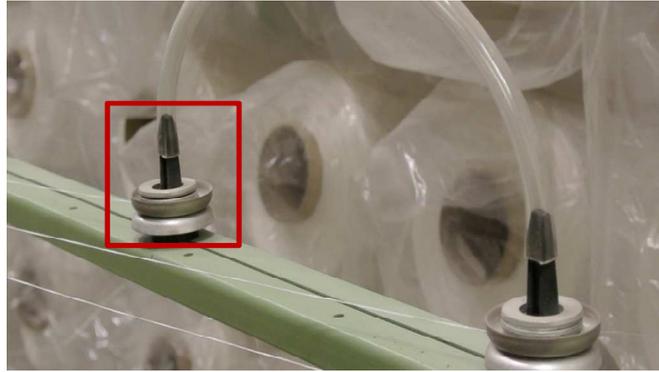


Figure 43 : Tendeur à coupelles

La seconde partie de ce dérouleur de fils de chaîne est la zone de formation des nappes de fils. Sur notre système, les fils de chaîne issus des tendeurs à coupelles sont dirigés vers deux cylindres afin de rapprocher les fils les uns des autres, en vue de former des nappes (guidage des fils). Tous les fils passent ensuite dans un peigne fixe donnant la largeur voulue à la nappe. Ensuite, la nappe de fils passe au travers de trois cylindres d’embarrage pour assurer un complément de tension sur les fils et fixer le point arrière de la foule.

Les fils issus des cylindres seront par la suite individuellement rentrés dans le dispositif de foule (lisses). La (Figure 42-a) montre le schéma de ce montage.

Avec cette structure de dérouleur de chaîne, on peut définir la tension de base T_0 en sortie du dérouleur telle que :

$$T_0 = T_t + T_\rho + T_{f1} \quad (\text{III-14})$$

Avec :

T_t : la tension donnée par le tendeur ;

T_ρ : la tension due à la longueur libre du fil ;

T_{f1} : la tension due au frottement entre le fil et les différents organes.

Pour chaque catégorie de tension T_i , la valeur varie d’un fil à l’autre, car la longueur libre du fil change selon le niveau de positionnement de la bobine sur le cantre. Pour obtenir la même tension pour chaque fil de la nappe, il faut donner des tensions T_t différentes selon la position de la bobine, en réglant les tendeurs.

Les cinq cylindres utilisés sont en aluminium, de diamètre 28 mm et de longueur 410 mm. Le peigne a un compte de 110 dents/m. Sa largeur est de 350 mm.

6.4. Conception mécanique du dispositif de formation des foules

6.4.1. Principe de formation des foules

La seconde fonctionnalité est “ former les foules ” (FP1.2). La formation de foule est le mouvement de certains fils de chaîne vers le haut et de certains vers le bas, pour présenter un angle d’ouverture (formé par les nappes de fils de chaîne) dans lequel un fil de trame sera inséré. Cette ouverture de fils est appelée la “foule”.

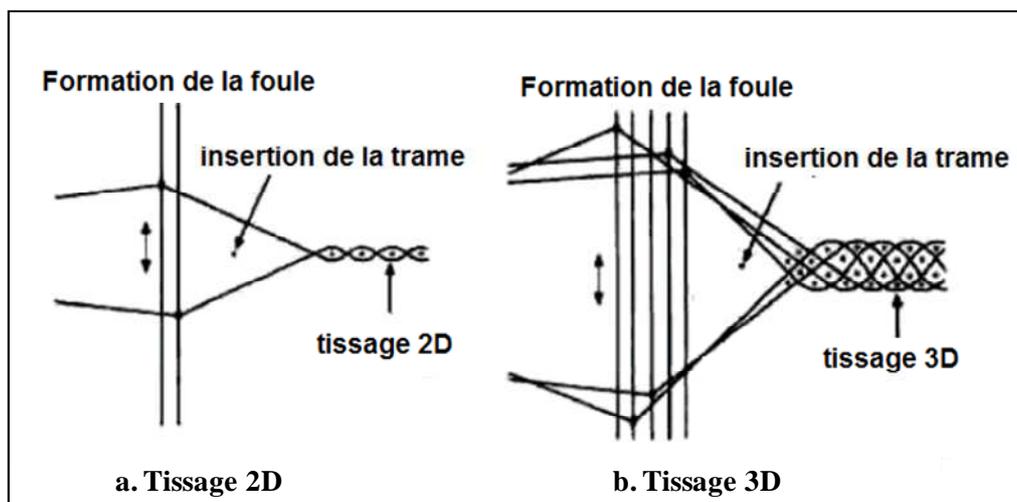


Figure 44 : Principe de l'ouverture d'une foule dans une structure [44]

La (Figure 44-a) montre l’insertion de trames (successives) entre deux nappes de fils de chaîne, avec la présence d’un angle d’ouverture (foule) formé par le déplacement inverse des cadres i et j . Le tissu formé est alors à une seule dimension.

La (Figure 44-b) montre l’insertion de trames (successives) entre deux paires de nappes de fils de chaîne, avec la présence de plusieurs angles d’ouverture (foules) créés par les déplacements inverses de plusieurs cadres. Ici, quatre cadres sont utilisés, soient deux foules créées, et l’emploi de deux trames successives permet la formation d’un tissu à deux couches superposées.

Les structures que nous voulons tisser nécessiteront la formation simultanée de 8 foules permettant d’introduire dans la direction z huit trames. Ceci nécessite la présence de 9 lames (Figure 45).

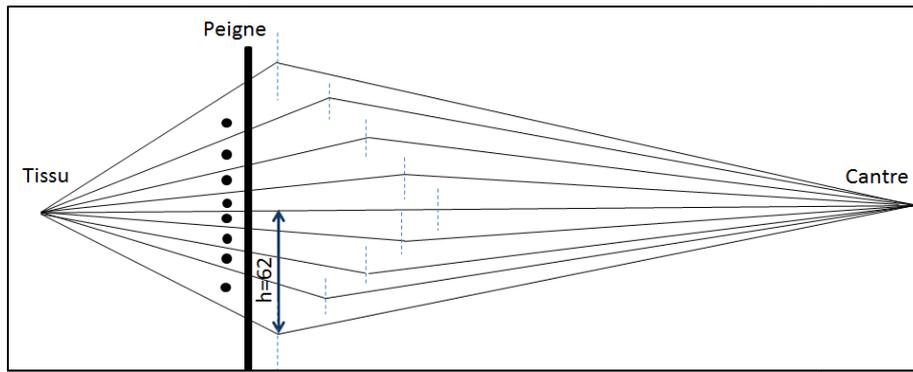


Figure 45 : Principe de formation de huit foules pour l'insertion de huit trames

Les neuf cadres sont disposés l'un derrière l'autre, parallèlement, avec un écart de 8 mm entre eux. L'ouverture de chaque foule conduit à la levée (ou la descente) des nappes de fils de chaîne. La lisse est une tige plate comportant deux œillets de guidage et de maintien aux extrémités, dans lesquels sont insérées des barres plates positionnant les lisses dans le cadre (Figure 46).

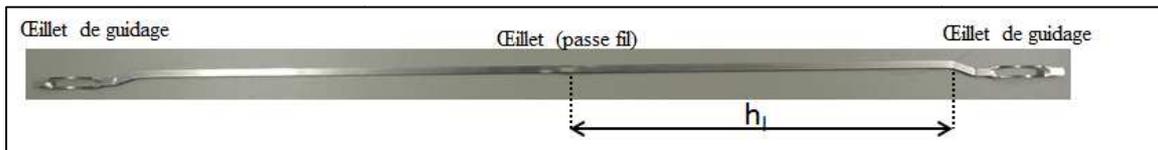


Figure 46 : La lisse

Un autre œillet destiné à accueillir le fil de chaîne est présent. La hauteur utile h_L est définie à partir de la longueur la plus courte entre l'œillet passe-fil et l'un des œillets de guidage (souvent celui situé en haut). La hauteur maximum de déplacement d'une lame est alors limitée par cette hauteur utile, afin de préserver les fils introduits dans les lames.

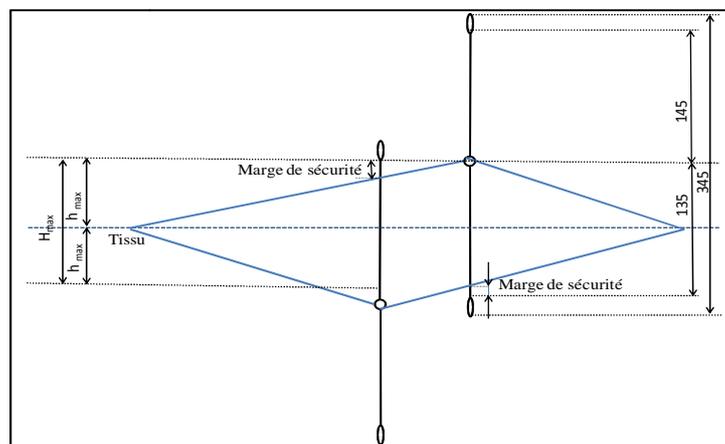


Figure 47 : L'ouverture maximum de la foule

Comme on peut le voir sur la *Figure 47*, le déplacement extrême et opposé de deux lames conduit à la détérioration des nappes de fils de chaîne, par la barre de guidage des lames situées dans les œillets de guidage des lisses. Afin que les fils ne rentrent pas en contact avec les barres des lames, une marge de sécurité est définie. La longueur utile h_L prend en compte cette marge de sécurité.

Sur notre lisse, l'œillet passe-fil se situe à 135 mm et 145 mm des œillets de guidage.

Pour choisir la hauteur maximum de déplacement des lames, nous avons pris en compte le plus petit écart, soit 135 mm. Afin de préserver les fils, nous avons adopté des marges de sécurité de 10 mm. La hauteur maximale de déplacement des cadres est fixée à $h_L = 125$ mm, correspondant à la zone utile des lisses que l'on s'est fixée.

La longueur donnée aux déplacements des cadres fixe, a posteriori, l'angle d'ouverture maximum des foules, ou plus exactement la hauteur de foule H située entre deux cadres formant la foule. À partir de la longueur h_L définie, on fixe la valeur maximale de H , soit H_{\max} , à 125 mm.

6.4.2. Conception mécanique des lames formant les foules

Pour effectuer le déplacement des fils vers le haut ou le bas, nous avons choisi d'utiliser des lames, munis de lisses, en nous inspirant de solutions déjà utilisées par le passé sur les machines à tisser à lames. Pour réaliser ces lames, nous sommes partis de lisses disponibles, d'une longueur de 345 mm.

Les lames ont été réalisées à partir de deux traverses (*Figure 48*) et deux barres de guidage de lames standards.

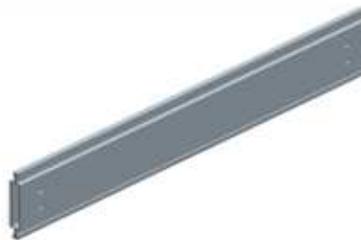


Figure 48 : Traverse de lame

Les traverses et les barres ont été assemblées au moyen de profil spécifique (*Figure 49-a*) et de pièces d'assemblage (*Figure 49-b*) afin de répondre aux exigences de la nouvelle machine soit : 40 lisses par lame et 480x360x9 mm d'encombrement (*Figure 50*).

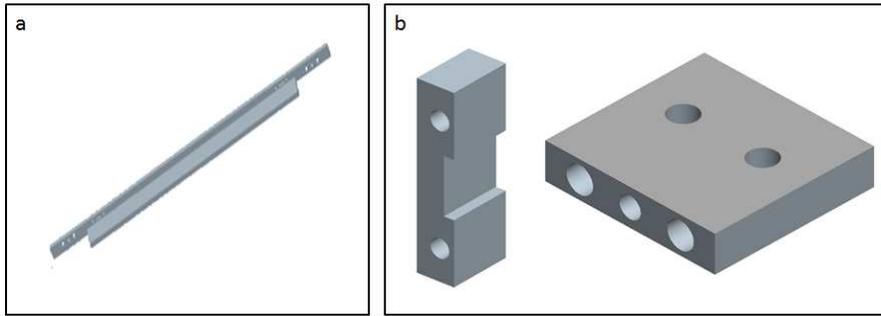


Figure 49 : a) Montant de lame , b) pièces d'assemblage de cadre

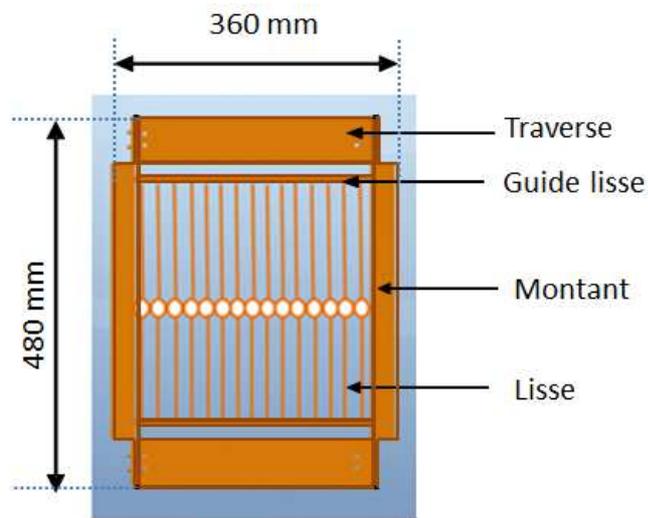


Figure 50 : Lame

6.4.3. Conception mécanique des glissières pour les lames

Afin d'assurer un bon guidage en translation de l'ensemble des neuf lames, nous avons utilisé deux plaques de téflon® (PTFE) de part et d'autre des lames. Initialement de dimensions (250×125×25) mm [45], nous y avons usiné des rainures dans lesquelles les montants des lames coulisseront (Figure 51).

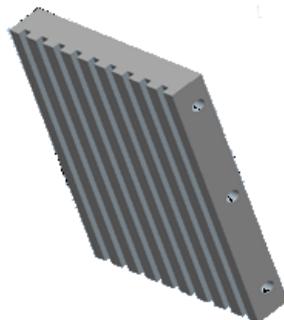


Figure 51 : Glissière en téflon

Ces plaques jouent le rôle de glissières. Nous avons donc réalisé sur chaque plaque neuf rainures de 5 mm correspondant à l'épaisseur des montants des lames et de 5 mm de profondeur (Figure 52).

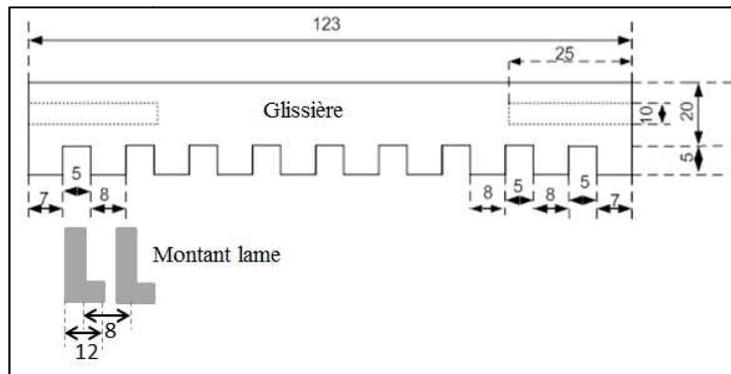


Figure 52 : Profil de la glissière

Les glissières sont fixées sur le châssis au moyen de deux cornières en aluminium (250 x 30 x 30 x 5) mm (Figure 53).



Figure 53 : Glissière avec les cornières

Au final, neuf lames seront installées, ce qui nous amène à la structure du dispositif des lames, illustrée à la Figure 54.

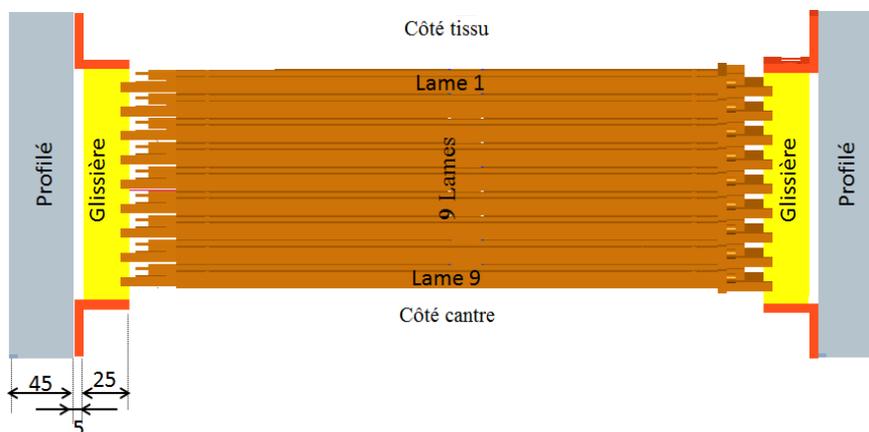


Figure 54 : Dispositif des lames (vue du dessus)

Le système des lames étant à présent conçu, nous allons présenter par la suite le système de translation verticale des cadres et la solution technologique retenue.

6.4.4. Conception mécanique de la mise en mouvement des lames

Le choix d'opter pour une motorisation individuelle a été justifié précédemment. Nous nous sommes orientés vers l'emploi de motoréducteurs. Le choix de ces motoréducteurs sera abordé dans la partie liée à l'automatisation de la machine. Pour des raisons pratiques, nous assimilerons ces motoréducteurs à de simples moteurs pour la suite de l'étude portant sur la conception de la machine.

En ce qui concerne les lames, le mouvement de rotation de chaque motoréducteur est transmis par un système pignon-crémaillère.

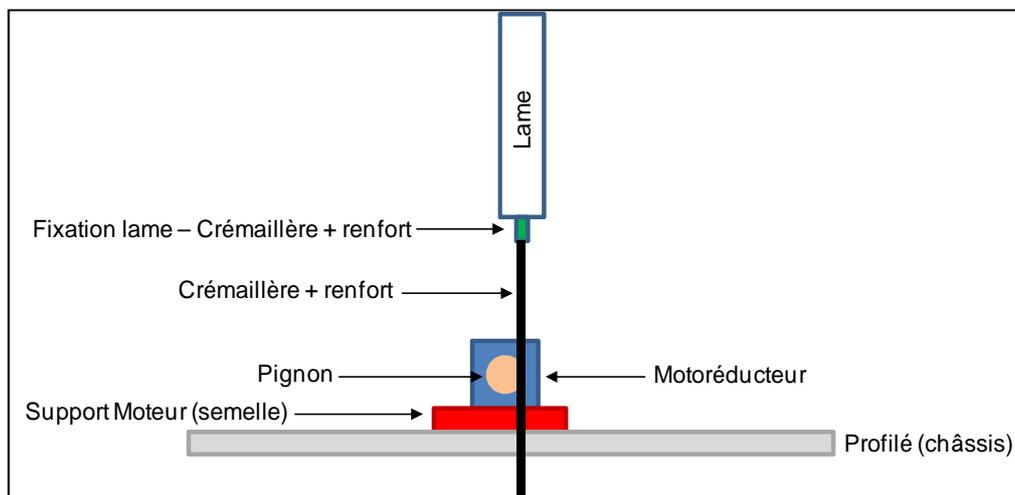


Figure 55 : Système de mise en mouvement de la lame

Cinq parties sont à étudier dans ce système :

- la crémaillère et son renfort ;
- la fixation de l'ensemble crémaillère (crémaillère + renfort) à la traverse du cadre ;
- le pignon ;
- le motoréducteur et sa fixation sur le châssis (utilisation d'une semelle) ;
- le guidage en translation de l'ensemble crémaillère.

Comme on peut le voir sur la *Figure 55*, le moteur a été placé à distance des lames ce qui justifie l'emploi d'un système de liaison avec le cadre d'une longueur. Le motoréducteur est positionné et fixé sur le châssis par le biais d'une semelle. Cette semelle aura également une importance, comme nous le verrons, pour assurer le guidage en translation des lames.

6.4.4.1. Implantation générale du système d'entraînement des lames

Comme nous venons de le dire, l'utilisation d'un système pignon-crémaillère a été choisie, pour une lame. L'espace réduit entre chacune des lames (8 mm) ainsi que l'encombrement dû aux moteurs choisis (fixation, taille), ont conduit à réfléchir à un positionnement adéquat de chacun des éléments pour assurer correctement le déplacement des lames.

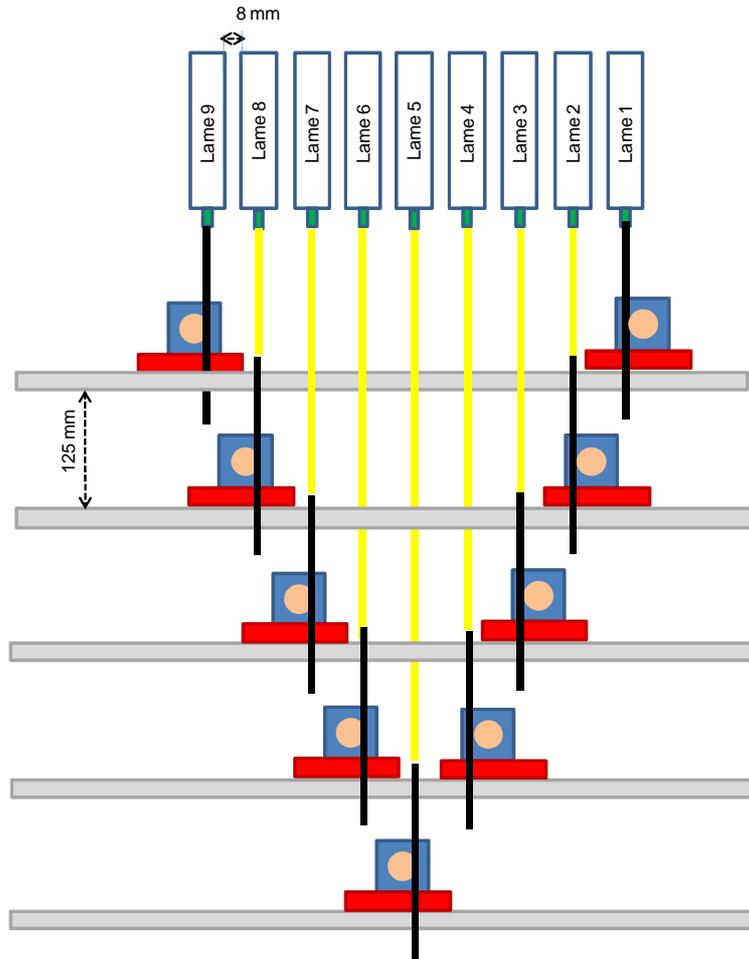


Figure 56 : Implantation du système de mise en mouvement des lames

Une organisation en “V” sur le positionnement des moteurs nous a paru être judicieuse, afin de tenir compte du positionnement des lames et des divers encombrements (Figure 56). On notera le profilé de rang 1 (celui où se situent les moteurs des lames 1 et 9), positionné juste en dessous la zone active des lames. Les moteurs des lames 2 et 8 se situent sur le profilé de rang 2 (en dessous du rang 1) et ainsi de suite. Le moteur de la lame 5 se retrouve positionné seul sur le profilé de rang 5.

Chaque liaison entre les axes du moteur et la fixation sur la traverse de la lame est assurée par un système que l'on nommera "ensemble crémaillère". Il est composé d'une crémaillère en plastique et d'un renfort en aluminium.

La longueur de cet ensemble est adaptée à chaque lame, ainsi qu'aux distances fixées entre chaque profilé, pour tenir compte des divers encombrements liés aux moteurs et aux semelles fabriquées. Comme on peut le voir sur la *Figure 56*, nous avons choisi une distance entre chaque profilé de 125 mm. Cette valeur permet d'effectuer une libre course (sans obstacle) pour chaque système de mise en mouvement de lame, sans être gêné par un autre. Les 125 mm (valeur correspondante à h_L) entre les profilés, nous paraissaient ainsi bien adaptés dans ce cas pour les positionner.

6.4.4.2. Caractéristiques de la crémaillère

Outre la longueur et la matière de la crémaillère, il est bon de s'intéresser à son module, noté M , qui caractérise la taille des dents de la crémaillère et du pignon utilisé. Celui-ci est différent selon la charge à entraîner. Cette caractéristique est importante dans le choix de la crémaillère.

Pour calculer le module (M_C), nous avons utilisé la formule suivante [46] :

$$M_C = 2,34 \sqrt{\frac{\|F\|}{K.R_{pe}}} \quad (\text{III-15})$$

Avec:

$\|F\|$: la force tangentielle en (N);

K : coefficient de largeur de denture, valeur choisie entre 6 et 10, ($K=8$) ;

R_{pe} : résistance pratique à l'extension du matériau de la dent (MPa).

Pour le matériau utilisé, la résistance R_{pe} est de :

$$R_{pe} = \frac{R_e}{s} = \frac{49}{3} = 16,33 \text{ MPa} \quad (\text{III-16})$$

$$\|F\| = \frac{F}{\cos 20} = 51,08 \text{ N} \quad (\text{III-17})$$

Avec :

F : la force appliquée sur le pignon (N);

20° : l'angle de pression.

Nous avons estimé la force appliquée par le moteur à 48 N. Cette valeur sera démontrée ultérieurement (III -27).

Dans ce cas, nous aboutissons à un module M_C tel que :

$$M_C = 2,34 \sqrt{\frac{51,08}{8 \times 16,33}} = 1,46$$

Le pas P correspond à la longueur entre deux sommets de dents consécutives. Il est défini par la relation :

$$P = M_C \times \pi \quad (\text{III-18})$$

Avec le module M_C trouvé, nous arrivons à un pas de 4,59.

En consultant des fournisseurs, nous nous sommes basés sur une crémaillère de module 1,5 en matière plastique taillée, de référence (CMPT 102-1,5) [47] .

Elle est conditionnée par longueur de 480 mm (noté L_c). Le nombre de dents D_c correspondant est de 102 dents, et le pas P est de 4,71. La *Figure 57* donne les caractéristiques de la crémaillère utilisée.

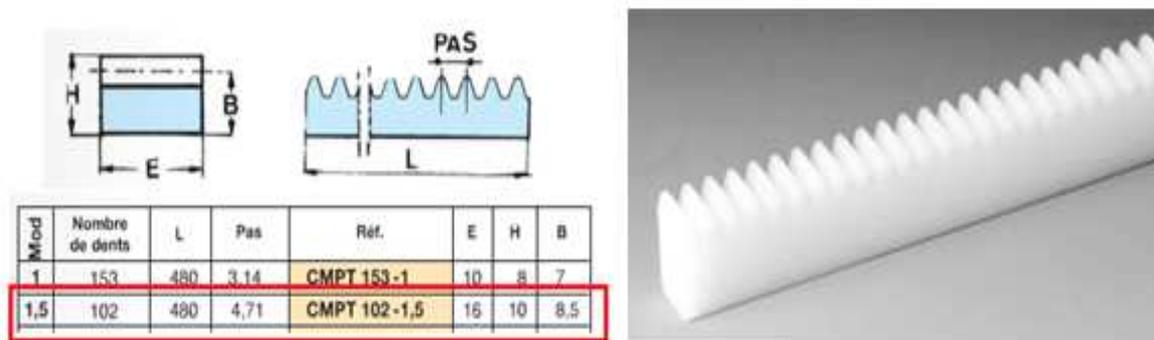


Figure 57 : Fiche technique de la crémaillère

D'après ces éléments, nous pouvons calculer le nombre de dents $D_{C'}$ dont nous disposerons en fonction de la longueur utilisée de notre crémaillère :

$$D_{C'} = \left(\frac{D_c}{L_c}\right) \times L_{C'} \quad (\text{III-19})$$

Le *Tableau 10* résume les caractéristiques en fonction de la longueur du morceau de crémaillère utilisée :

Tableau 10 : Nombre de dents D_C' de la crémaillère en fonction de la longueur utilisée

M_C	L_C	D_C'
1,5	480 mm	102
1,5	150 mm	32
1,5	127 mm	27
1,5	125 mm	27

Nous obtenons, pour une longueur de crémaillère de 125 mm, un nombre de dents de :

$$D_C' = 26,5625 \approx 27 \text{ dents}$$

La connaissance des caractéristiques de la crémaillère nous aide à présent à choisir le pignon destiné à entraîner la crémaillère.

6.4.4.3. Choix du pignon

Pour effectuer un choix de pignon nous nous sommes basés sur les caractéristiques de la crémaillère utilisée. De là, nous avons naturellement choisi un pignon en matière plastique de module M_p identique à celui de la crémaillère, soit 1,5.

Les deux autres caractéristiques importantes du pignon sont ses diamètres extérieur ϕ_D et intérieur ϕ_A . Le premier permet de fixer le périmètre extérieur du pignon L_p , soit la distance parcourue par la crémaillère pour un tour de pignon. Le second permet de préciser le diamètre de l'axe sur lequel le pignon sera monté.

Pour rechercher un diamètre du pignon, nous avons posé deux hypothèses de départ :

- un nombre de dents du pignon D_p égal à celui de la crémaillère D_C' , correspondant à une longueur utile de la crémaillère, soit 27 dents ;
- avoir, pour un tour de pignon, une correspondance avec une distance de déplacement de la crémaillère environ égale à la longueur hL . Le périmètre extérieur du pignon est donc assimilé à 127 mm, pour un nombre de dents de 27.

Si on part sur un pignon de 27 dents, avec un module de 1,5 et un périmètre extérieur L_p de 127 mm, cela nous amène à un diamètre extérieur ϕ_D de 40,42 mm.

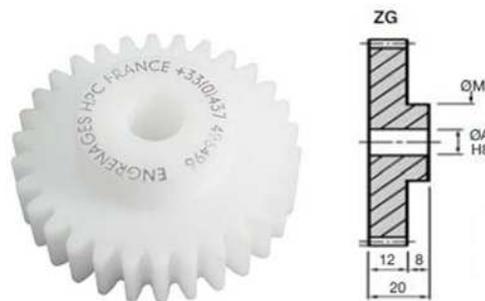
Ce choix implique que, pour obtenir un déplacement équivalent à la longueur totale de la crémaillère, soit 150 mm, on aura une rotation équivalente du pignon d'environ 1,18 tour.

Le *Tableau 11* donne les caractéristiques de ce pignon.

Tableau 11: Caractéristiques d'un pignon type

M_p	D_p (dents)	L_p (mm)	$\varnothing D$ (mm)	Nombre de tours pour $L_C = 150$ mm
1,5	27	127	40,42	1,18

Le pignon le plus proche existant est un pignon référencé *ZG1.5-18* [48], dont la fiche technique en *Figure 58*.



Référence	Z Nombre de dents	$\varnothing P$ Diamètre dente moyenne	$\varnothing D$ Diamètre extérieur	$\varnothing M$ Diamètre d'épaulement	$\varnothing A$ Diamètre intérieur	Poids (Kg)
ZG1.5-17	17	25,50	28,50	20	8	0,010
ZG1.5-18	18	27,00	30,00	24	8	0,012
ZG1.5-19	19	28,50	31,50	25	8	0,014

Figure 58 : Caractéristiques du pignon ZG1.5-18

Avec un diamètre extérieur \varnothing_D de 30 mm, la distance parcourue par tour, le nombre de tours obtenu pour des longueurs de déplacement de la crémaillère équivalentes à h_L ou à la longueur L_C maximale de la crémaillère sont alors légèrement modifiés (ajustement des hypothèses).

Le *Tableau 12* résume l'ensemble des caractéristiques liées à l'utilisation de ce pignon.

Tableau 12: Caractéristiques liées à l'utilisation du pignon ZG1.5-18

M_p	D_p (dents)	L_p (mm)	$\varnothing D$ (mm)	Nombre de tours pour $h_1 = 125$ mm	Nombre de tours pour $L_C = 150$ mm
1,5	18	94,18	30	1,326	1,59

La valeur du diamètre intérieur \varnothing_A du pignon sera une contrainte pour l'accouplement de celui-ci avec le moteur d'entraînement. Nous aborderons ce point dans la conception de pièces liées à l'usage du moteur choisi pour entraîner ce pignon. Auparavant intéressons-nous aux caractéristiques couple et vitesse de l'entraînement du pignon.

6.4.4.4. L'ensemble crémaillère (crémaillère +renfort)

Comme nous l'avons précisé, les longueurs des ensembles doivent différer d'une lame à l'autre, mais la zone utilisée par les dents des pignons sur les crémaillères est réduite. Elle est liée à la course maximum (h_L) des lames, fixée de manière identique pour chaque lame.

L'ouverture maximale de la foule H conduit à fixer une longueur minimum de course de la crémaillère (L_1) de 125 mm. Afin de préserver une certaine sécurité, deux longueurs de sécurité (L_s), de 12,5 mm, ont été apportées à chaque extrémité.

La longueur de la crémaillère est alors définie par :

$$L_1 = H + 2 * \Delta L_s \quad (\text{III.20})$$

Cela nous amène à une longueur de crémaillère de 150 mm pour chaque lame.

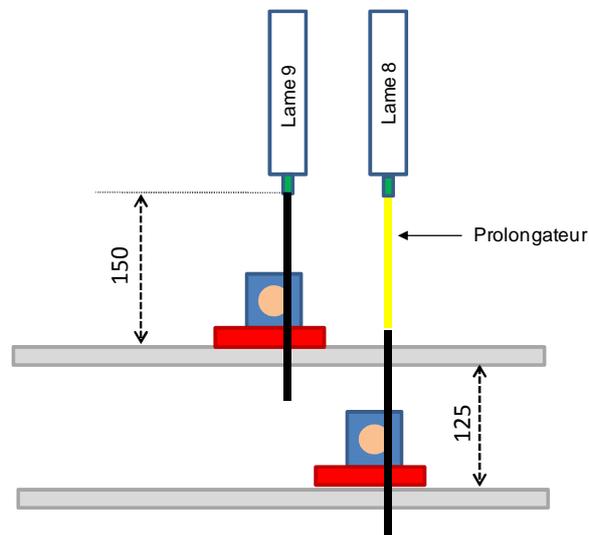


Figure 59 : Prolongateurs de crémaillère

Cet écart entraîne, que les 150 mm choisis pour la longueur de la crémaillère sont insuffisants pour les autres lames. Cela nécessite donc d'utiliser un prolongateur aux différents crémaillères (*Figure 59*).

Au regard la flèche que risque de subir la crémaillère, celle-ci doit être rigidifiée. Cette rigidification sera effectuée au moyen d'un profilé en U telle que décrit la *Figure 60*.

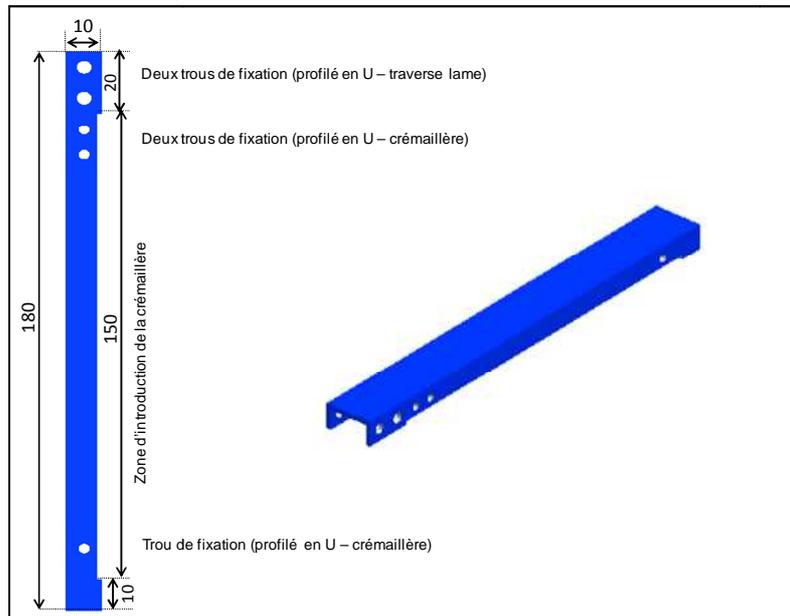


Figure 60 : Profilé en U

Le *Tableau 13* montre les différentes longueurs de profilé en U pour les neuf lames.

Tableau 13 : Longueurs des profilées U

Lame	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Longueur U	180	350	520	690	860	690	520	350	180

La fixation du profilé en U avec la traverse de la lame a nécessité de fabriquer deux pièces d'assemblage (*Figure 61*).

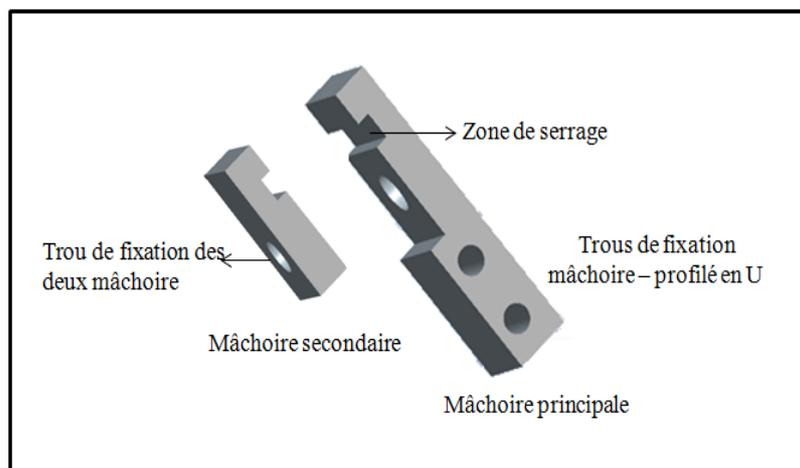


Figure 61 : Pièces de fixation profil-lame

6.4.5. Caractéristiques de l'entraînement du pignon

Le couple nécessaire à l'entraînement du pignon et la vitesse de rotation choisie pour celui-ci, sont des paramètres indispensables à connaître afin de définir le choix du moteur adapté à l'entraînement du pignon.

6.4.5.1. Vitesse de rotation du pignon

La vitesse linéaire de déplacement d'une lame a été fixée selon deux critères : le déplacement maximum de la lame et le temps maximum choisi pour monter la lame.

Lors de la procédure de tissage, nous avons fixé le temps T_L nécessaire pour le déplacement maximum de la lame, soit H_L , à un tiers du temps T_H nécessaire pour effectuer un cycle d'insertion de trame (durée fixée par l'horloge de tissage, décrite au chapitre 2).

Par défaut, nous avons fixé la durée d'insertion de trame à 1 min. Par conséquent, le temps T_L permettant de déplacer une lame dans sa nouvelle position, est fixé à 20 s.

Ceci nous amène à une vitesse linéaire de déplacement de la lame définie par la relation suivante :

$$V_L = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{H_L}{T_L} \quad (\text{III-21})$$

Si on part sur une distance H_L de 125 mm, nous arrivons à une vitesse linéaire de déplacement de 6,25 mm/s.

Cette vitesse linéaire de déplacement de la lame est également celle de la crémaillère sur laquelle s'appuie le pignon. De cette vitesse nous déduisons alors la vitesse linéaire, la vitesse angulaire et la vitesse de rotation du pignon :

$$V_p = V_L = \frac{\Delta d}{\Delta t} = \frac{125}{20} = 6,25 \text{ mm/s} \quad (\text{III-22})$$

$$\Omega_p = \frac{V_p}{R_p} = \frac{0,00625}{0,012} = 0,520 \text{ rad/s} \quad (\text{III-23})$$

$$N_p = \frac{\Omega_p}{2\pi} = \frac{0,520}{2\pi} = 0,0827 \text{ tr/s} = 4,965 \text{ tr/min} \quad (\text{III-24})$$

La motorisation utilisée devra entraîner le pignon à cette vitesse N_p .

6.4.5.2. Couple d'entraînement du pignon

Le couple du moteur C_m d'entraînement du pignon sera basé sur le couple résistant donné par le pignon sur l'arbre moteur. Ce couple résistant C_p est basé sur la force appliquée sur le pignon et la distance d'application de la force r_d par rapport à l'axe du pignon.

$$C_p = F_p \times r_d \quad (\text{III-25})$$

La distance r_d retenue correspond au rayon extérieur du pignon alors $r_d = 15$ mm. L'hypothèse est que la force s'exerçant sur le pignon se situe à l'extrémité des dents, lorsque les dents de la crémaillère sont poussées par les dents du pignon. On maximise ainsi l'effort à fournir par le moteur pour entraîner convenablement le pignon.

La force appliquée sur le pignon est une force résultante composée de la force nécessaire pour lever le cadre et des forces liées aux frottements selon l'équation (III-27) :

$$F_p = F_C + F_{\text{frottements}} \quad (\text{III-26})$$

Les frottements sont essentiellement localisés au niveau des glissières où les cadres se déplacent. La minimisation de ces frottements a été prise en compte dans le choix d'utiliser du Téflon et dans l'usinage de rainures de glissières, comme il l'a été rappelé dans la conception même de ces glissières ($F_{\text{frottements}} \simeq 0$).

Néanmoins, un point important permettant de minimiser l'effet des frottements est de pouvoir bien assurer le guidage en translation des ensembles crémaillères, afin de ne pas désaxer les cadres, ce qui augmenterait les efforts résistants.

Nous considérerons par la suite que l'influence de l'ensemble des frottements est minimisée et nous nous concentrerons uniquement sur la force de travail nécessaire pour lever les lames F_C .

La tension maximale de chaque fil de chaîne a déjà été calculée à partir des essais de traction simple effectués sur les fils utilisés 1 N/fil.

On peut constater que la force nécessaire pour lever le cadre est égale à la somme de la tension totale des fils T_N (charge due à l'ensemble des fils par lame), du poids de la lame et du poids de l'ensemble crémaillère. On arrive ainsi à une force nécessaire à la levée de la lame définie selon l'expression suivante :

$$F_C = T_N + \rho' + \rho'' \quad (\text{III-27})$$

Avec :

F_c : force nécessaire pour lever la lame ;

T_N : tension totale de fils par lame;

ρ' : poids de la lame ;

ρ'' : poids du pignon.

La tension T_N est définie à partir de la tension T de fil unitaire et du nombre N_{f_c} de fil par cadre, selon la relation suivante :

$$T_N = T \times N_{f_c} \quad (\text{III-28})$$

Le *Tableau 14* rassemble l'ensemble des données liées à la force de déplacement de la lame.

Tableau 14: Donnés de la force de déplacement de la lame

$T_{\max f}$ (N/fil)	N_{FC} (fil)	T_N (N)	ρ' (N)	P'' (N)	$F_{\text{frottements}}$ (N/lame)	F_C (N/lame)
1	40	40	7,35	0,65	0	48

Nous arrivons à une force F_p de 48 N / lame.

La connaissance de cette force nous permet de calculer le couple résistant donné par le pignon sur l'axe motorisé (sur lequel il est monté), en se basant sur un rayon extérieur de pignon $\varnothing_D = 30$ mm. Le couple résistant obtenu est de 0,72 N.m.

Le *Tableau 15* donne l'ensemble des caractéristiques liées à l'entraînement des lames avec le pignon utilisé.

Tableau 15 : Caractéristiques liées à l'entraînement de'un lame avec un pignon

F_p (N/Lame)	\varnothing_D (mm)	r_D (mm)	C_p (Nm)	$H_L = \Delta d$ (mm)
48	30	15	0,72	125

T_H (s)	$V_p = V_L$ (mm/s)	Ω_p (rad/s)	N_p (tr/min)	$T_L = \Delta t$ (s)
60	6,25	0,520	4,965	20

Ces données seront utiles au choix du moteur assurant l'entraînement de la lame.

Outre les caractéristiques couple et vitesse du moteur, nécessaires pour entraîner le pignon (en fonction de la charge des lames), d'autres critères de choix (au niveau du moteur), non moins

importants, sont à prendre en compte. Ces critères de choix sont liés à l'encombrement des moteurs et à l'accouplement des pignons sur les axes motorisés. Ces deux points nous obligeront à concevoir des pièces spécifiques à l'emploi des types de motorisation choisis afin de respecter ces deux aspects.

6.4.6. Conception mécanique des pièces liées à l'emploi des moteurs

Afin d'adapter les caractéristiques du moteur choisi aux caractéristiques liées à l'entraînement, l'option d'employer un motoréducteur a été envisagée.

Néanmoins, il est nécessaire, à ce stade de l'étude, de disposer d'informations sur les encombrements du motoréducteur, pour décrire la manière dont ils ont été implantés dans la structure de la machine.

Les Figure 62 et Figure 63 présentent la forme et encombrement de ces motoréducteurs. Ces motoréducteurs sont composés d'un moteur électrique, de référence *BSH 0551P31A2A* [49], sur lesquels sont montés des réducteurs planétaires de référence *GBX0600400551F* [49].



Figure 62 : Moteur BSH, Réducteur GBX

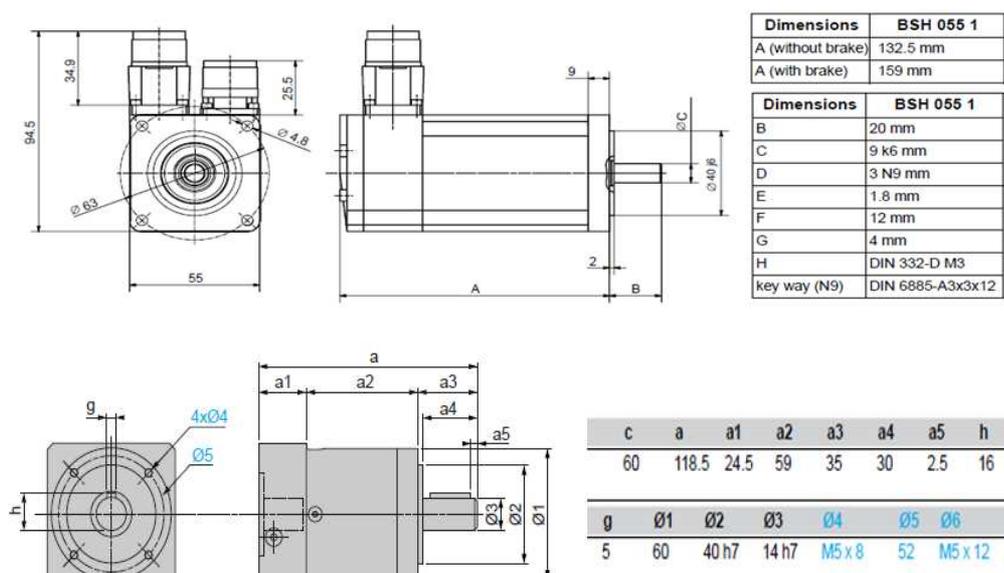


Figure 63 : Encombrement moteur et réducteur

Ces motoréducteurs sont à placer sur les différents profilés de rang i, selon la *Figure 56*.

Afin de pouvoir positionner ces motoréducteurs sur les profilés du châssis, un support moteur (semelle) spécifique a été développé en fonction de la forme et de l'ergonomie du motoréducteur, de même qu'une pièce d'accouplement spécifique.

Conception mécanique du bloc moteur-crémaillère

Ce bloc se décompose d'une semelle qui porte le moteur, d'une pièce d'accouplement du pignon et d'une bride.

Afin de permettre l'accouplement du pignon sur l'axe de sortie du motoréducteur, une pièce d'accouplement (du pignon) a été conçue et réalisée selon la *Figure 64*.

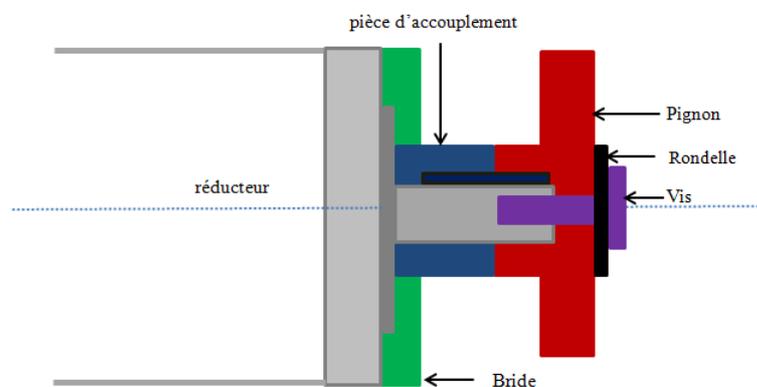


Figure 64 : Assemblage du pignon sur l'axe motorisé

Ainsi que la bride permettant de fixer le moteur sur la semelle (*Figure 65*).

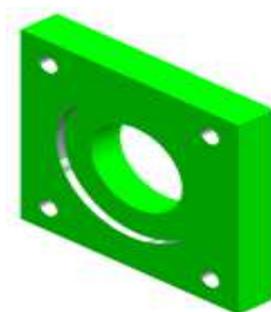


Figure 65 : Bride de fixation

Ensuite, le moteur est fixé sur le châssis au moyen de la semelle telle qu'elle est présentée sur la *Figure 66*.

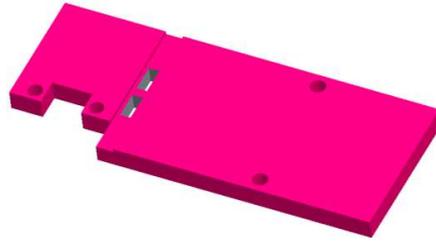


Figure 66 : Semelle moteur

Outre le positionnement et la fixation du motoréducteur, cette semelle participe au guidage de la crémaillère.

6.4.7. Conception mécanique d'un guidage de l'ensemble crémaillère

Afin d'assurer le guidage en translation du système de lame, un système de guidage a été conçu. Ce système consiste en deux tiges solidaires de la crémaillère guidées au moyen de deux paliers fixés sur la semelle. Ce guidage de 145 mm est compatible avec la hauteur de foule maximale requise. Les Figure 67 et Figure 68 détaillent la réalisation de ce dispositif.

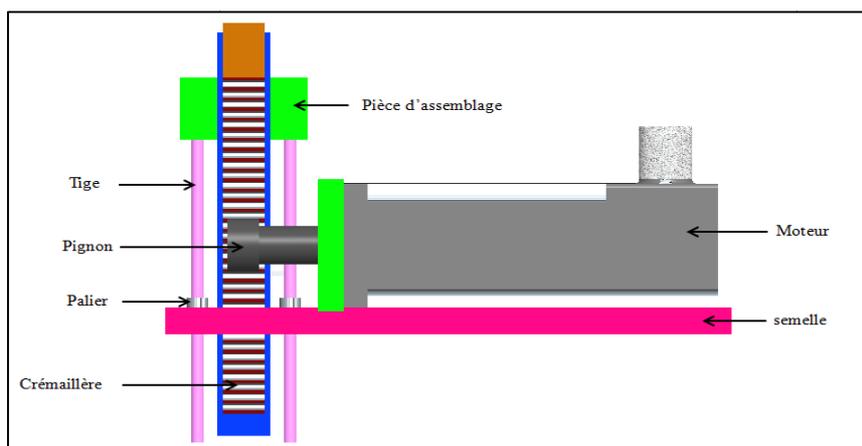


Figure 67 : Guidage de l'ensemble crémaillère

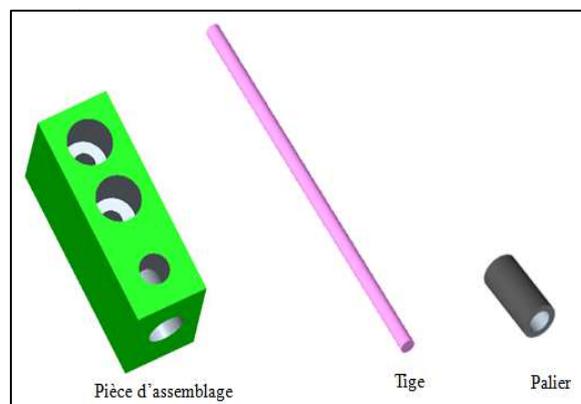


Figure 68 : Pièces du système de guidage

6.4.8. Montage d'une lame

Nous venons de voir en détail la conception des divers éléments du système complet d'une lame, dans le dispositif, une fois assemblé correspond à la *Figure 69*.

Un soin tout particulier a été porté à la réalisation de ce dispositif afin de nous garantir les meilleures conditions de tissage.

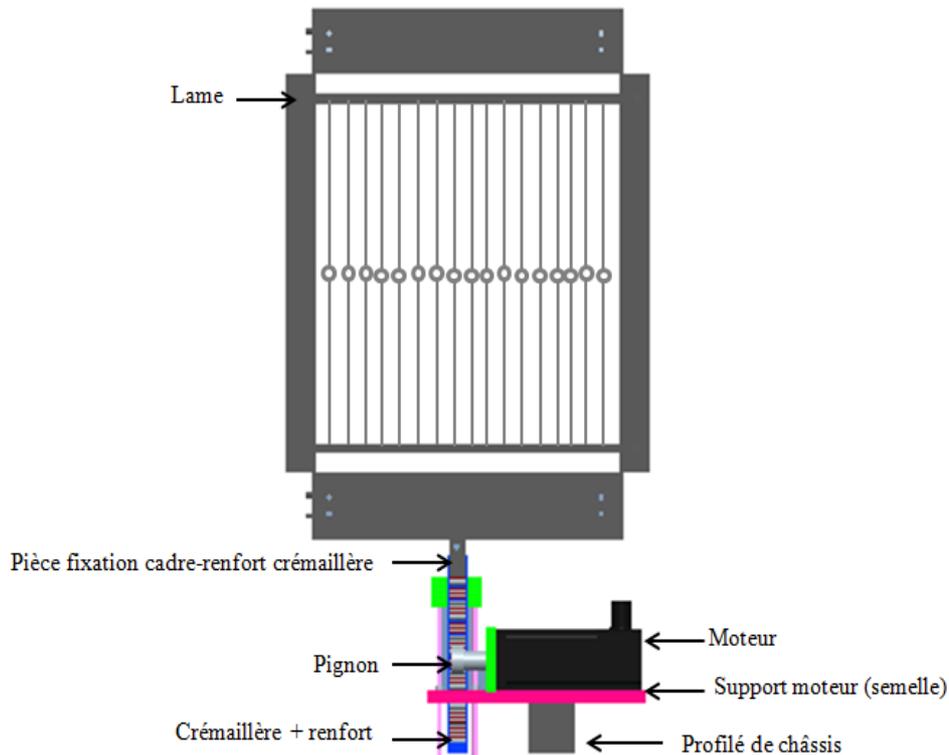


Figure 69 : Schéma complet d'une lame

6.5. Conception mécanique du dispositif d'insertion de trame

La troisième fonctionnalité est “insérer le fil de trame” (FP1.3). L'insertion de la trame est la dépose du fil de trame entre deux nappes de fils de chaîne lors de l'ouverture d'une foule. L'insertion se matérialise par le déplacement du fil de gauche à droite de la machine, vu du côté de la sortie du tissu, (sens y, *Figure 70*).

Sur notre machine, nous avons envisagé d'insérer la trame au moyen d'une seule pince mobile de saisie P_S (située en zone droite de la machine), destinée à :

- saisir l'extrémité d'un fil de trame (situé en zone gauche de la machine, entre le peigne et le façure du tissu) ;
- ramener celui-ci à droite de la machine, en passant au travers des foules ouvertes.

Cette pince est montée sur un système biaxe linéaire motorisé, lui permettant d'être déplacé :

- selon l'axe y (du plan tridimensionnel x, y, z), pour réaliser la saisie du fil de trame et son insertion dans une foule ouverte ;
- selon l'axe z, pour positionner la hauteur de l'axe d'insertion y du fil de trame dans les différentes foules ouvertes.

La Figure 70 repositionne ce plan par rapport à la machine.

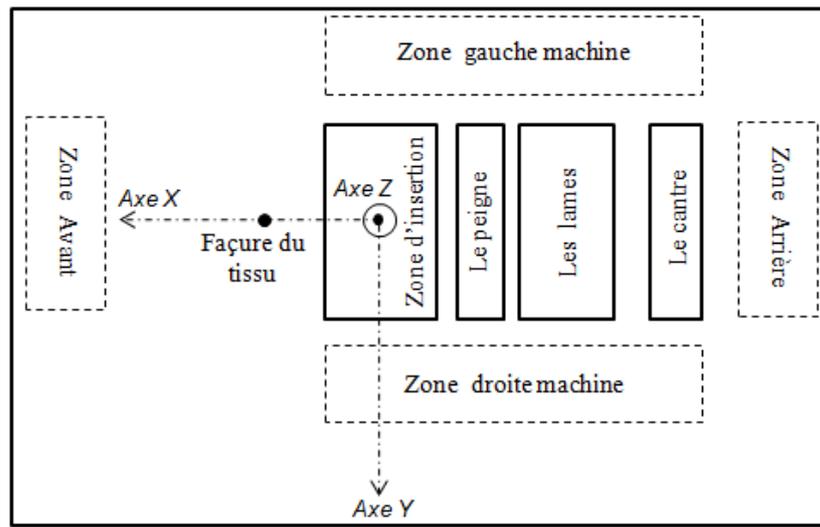


Figure 70 : Localisation des zones de la machine (vue dessus)

Pour effectuer cette insertion, il faut passer par différentes étapes (Figure 71) :

- la présentation du fil à gauche de la machine ;
- le déplacement de la pince mobile vers la zone gauche (selon y^-) ;
- la saisie du fil ;
- le déplacement de la pince mobile pour tirer le fil (insertion du fil de trame selon y^+) ;
- la coupe du fil de trame en zone gauche et la libération du fil inséré, en zone droite.

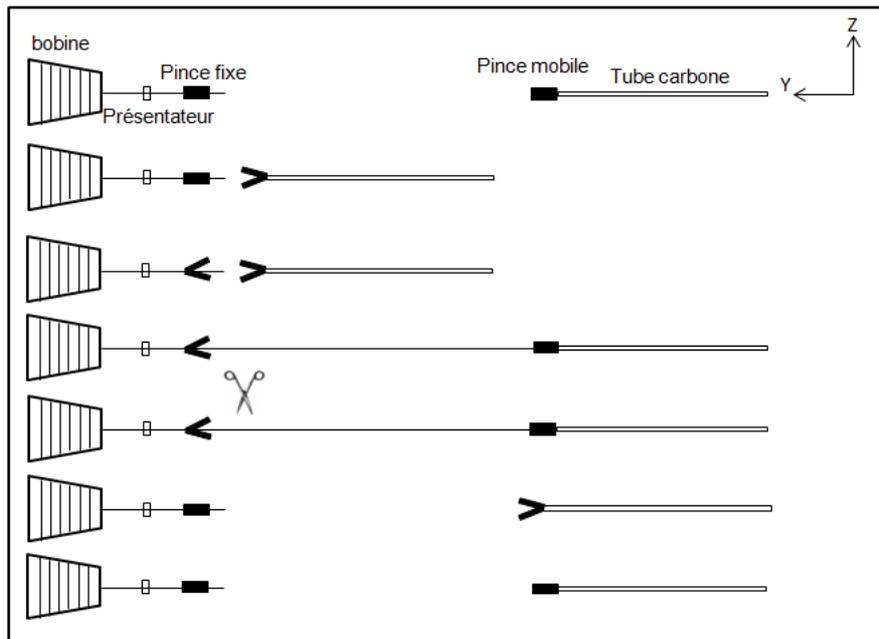


Figure 71 : Schéma du principe de l'insertion

Pour la mise en place de cette insertion, nous avons conçu plusieurs systèmes permettant la réalisation de ces diverses étapes.

6.5.1. Conception du système de présentation du fil

Le fil de trame est conditionné sur une bobine montée sur un support, située à gauche de la machine à tisser. L'extrémité du fil de trame est passée dans un œillet de guidage, puis présentée par une pince fixe P_F . Cette pince est initialement fermée. Elle s'ouvre au moment de la saisie l'extrémité du fil de trame par la pince mobile (permettant de déroulement du fil lors de l'insertion). Elle se referme juste avant la coupe du fil en zone arrière.

6.5.2. Conception du système de saisie du fil et d'insertion du fil

Le principe d'une pince mobile a été envisagé pour réaliser la saisie du fil. Le déplacement de cette pince doit être assuré au travers des différentes foulées ouvertes. Dans ce cas, nous avons choisi de monter cette pince sur un système de deux axes linéaires (biaxe) motorisé, similaire aux axes linéaires employés dans d'autres mécanismes de la machine, comme le peigne et le tracteur.

6.5.2.1 Conception du système de déplacement de la pince mobile

Les insertions de trame sont multiples, du fait de la présence de plusieurs foulées ouvertes. Nous avons décidé d'utiliser une seule pince de saisie qui va effectuer des allers et retours

dans les différentes foules ouvertes. La position de l'insert au sein de celles-ci devra se trouver généralement à différentes hauteurs. Dans ce cas, le système de déplacement devra pouvoir monter et descendre la pince, ceci pour la positionner à la bonne hauteur d'insertion, pour ensuite aller récupérer le fil de trame et de le ramener au travers de la foule ouverte, le déplacement se feront donc sur les deux axes y et z.

Notre choix s'est porté sur un système biaxe développée par la société Schneider Electric [50]. La référence produit (*MAXH1BRM0600 + CAS41BRM0500*) propose un système biaxe (*Figure 72*), comportant des axes linéaires motorisés, équipés de capteurs et de chemins de câbles.

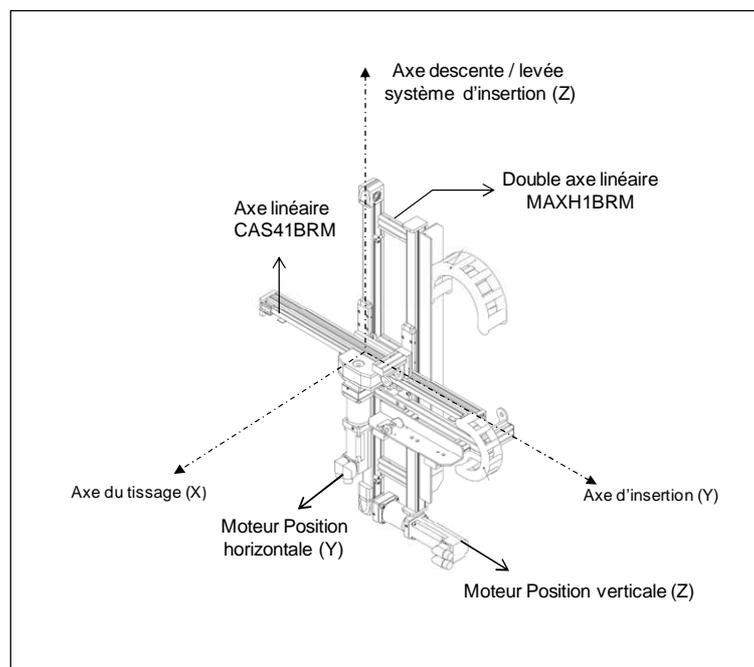


Figure 72 : Vue du biaxe dans le plan oxyz

Le biaxe est équipé également de deux motoréducteurs de ratio 40. Les courses de ce biaxe ont été choisies par rapport :

- à la hauteur d'une lame ;
- à la largeur des lames (300 mm) ;
- à la distance de positionnement, selon l'axe y du fil présenté (position y_2) ;
- à la distance de positionnement de la pince de saisie au repos selon l'axe y (position y_0) ;
- aux produits disponibles dans la gamme du fournisseur, vis-à-vis de notre application (taille, encombrement, charges embarquées, etc ...).

La *Figure 69* représente la lame en position repos. Le positionnement initial de l'axe d'insertion devra se situer au centre des lames en position repos, soit à une position où l'on a $z=0$. Le centre des lames correspond de manière générale à l'origine du plan $oxyz$ du tissage.

L'ouverture maximum d'une foule est fixée à 125 mm. Le déplacement selon l'axe z devra être inférieur à la moitié de cette valeur (62,5 mm) de part et d'autre de la position initiale de l'insertion.

L'axe z est constitué d'un axe double *MAXH1BRM*. Sa course, d'environ 600 mm, est fixée par le placement de deux capteurs inductifs positionnés de part et d'autre. L'axe y est composé d'un axe à flèche *CAS41BRM* de course 500 mm. L'ensemble des caractéristiques de ces axes est donné en annexe 4.

6.5.2.2. Conception de la pince mobile

La position de la pince de saisie du fil est donnée en $(-y_1)$ et la position de la pince mobile au repos est donnée en y_0 . On peut considérer que pour les deux cas, les positions sont définies par rapport à l'extrémité de la pince de saisie.

Il serait nécessaire d'appliquer à ces positions une légère modification (réglage), si on raisonnait sur une position de référence, non plus à l'extrémité de la pince, mais dans une partie moyenne, à l'intérieur des mâchoires de la pince (solution non envisagée ici).

Cette partie de développement n'est pas réalisée à l'heure de rédaction de ce mémoire. Il s'agit de l'une des parties en cours de développement et qui sera réalisée ultérieurement. La conception de cette pince devra être spécifique, car elle doit pouvoir s'insérer dans les différentes foules ouvertes à l'endroit choisi pour l'insert selon x . De plus la distance minimale entre deux lames formant une foule ouverte est fixée à 10 mm. Dans ce cas, la hauteur de cette pince, devra être inférieure à 10 mm.

En ce qui concerne la mise en mouvement de cette pince par une commande de type pneumatique ou électrique, cela pose aujourd'hui quelques problèmes dus à la taille, car après consultations de quelques fournisseurs, les pinces que nous avons vues étaient limitées à plus de 10 mm de hauteur. Une recherche et une consultation plus approfondie d'autres fournisseurs devront être entreprises. Reste l'ouverture et la fermeture mécanique de cette pince. Dans ce cas, il reste à faire la conception adaptée à notre application.

6.5.3. Coupe du fil

Lorsque la pince mobile réalise l'insertion et retourne à sa position initiale, un système doit couper le fil de trame à côté de la pince fixe. Nous avons envisagé disposer un dispositif de lame coupante.

Là encore la conception de ce système et son type de commande reste à réaliser.

6.6. Conception mécanique du peigne mobile

Le rôle du peigne est de frapper les fils de trame insérés entre les fils de chaîne contre le tissu. Conformément au cahier des charges, ce peigne doit être mobile et motorisé. Il effectue un cycle de va et vient entre le Point Mort Arrière PMAR (près des lames) et le Point Mort Avant PMAV (contre le tissu).

6.6.1. Conception de la structure de base du peigne

Un peigne de 1100 dents/m, de 280 mm de long et de 140 mm de hauteur, compatible avec la hauteur de la foule requise a été inséré dans un cadre en U tel que représenté à la *Figure 73*.



Figure 73 : a) Peigne, b) Peigne avec le cadre, c) Profil de montant

6.6.2. Conception du système d'entraînement du peigne

Afin de pouvoir rendre mobile le peigne, nous avons choisi de le monter sur un système d'axe linéaire de référence *PAS42SBB150A1BAXXS/21G0H50* [51] (*Figure 74*).

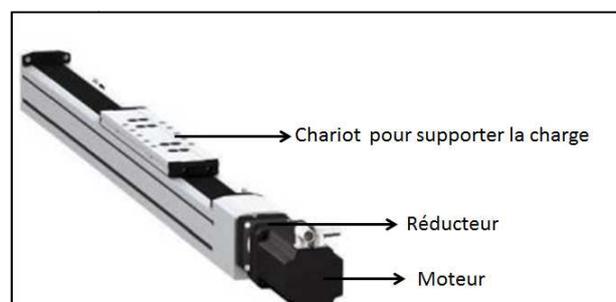


Figure 74 : Système linéaire [51]

La course de cet axe est d'environ 150 mm et peut être ajustée au moyen de deux capteurs inductifs.

Les *Figure 75* et *Figure 76* montrent le positionnement du peigne dans la zone de tissage. Il est situé à 22 mm de la première lame au PMAR.

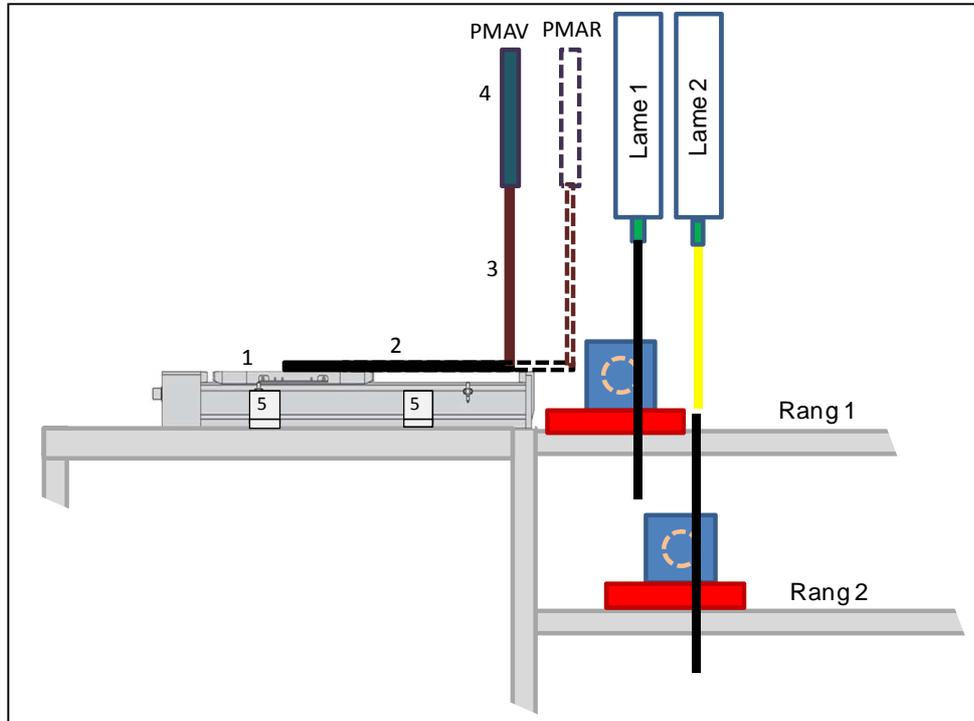


Figure 75 : Positionnement de l'axe linéaire

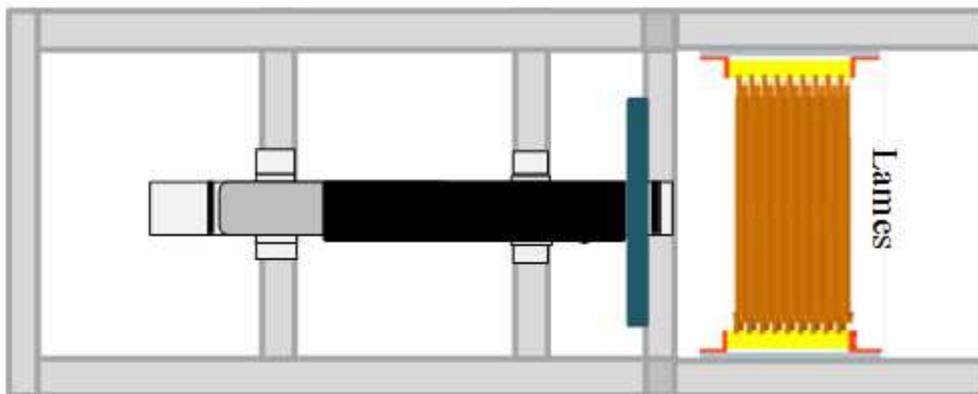


Figure 76 : Positionnement de l'axe linéaire (vue de dessus)

Deux pièces de liaison mécanique entre le chariot de l'axe linéaire et le cadre du peigne ont été développées, tel que représenté à la *Figure 77*.

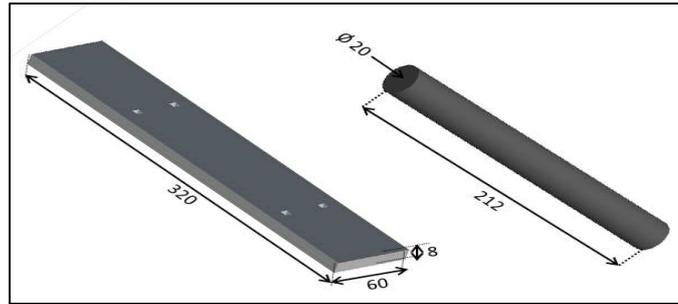


Figure 77 : Pièces de liaison du peigne au chariot

6.7. Conception mécanique du système d'appel du tissu

Après avoir frappé la duite contre le tissu, celui-ci doit avancer d'un pas pour laisser la place pour l'introduction d'une nouvelle duite. C'est le rôle du système d'appel. Ce système permet d'avancer le tissu vers la sortie de la machine, pas à pas. Ce pas doit être réglable.

Le principe de ce système est l'utilisation d'une pince de saisie mue en translation horizontale par un axe motorisé.

6.7.1. Conception de la pince

Pour tirer le tissu fabriqué, nous avons utilisé le principe d'une pince mécanique composée de deux mâchoires superposées dont les surfaces de contact doivent être alignées avec le centre de la lame au niveau de lisses.

Cette pince est composée des trois pièces telles que représentées à la *Figure 78*.

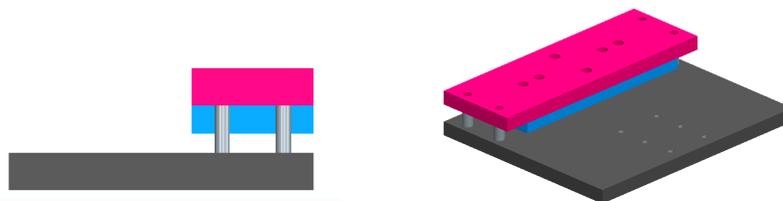


Figure 78 : La pince

6.7.2. Montage du système d'entraînement de la pince

En ce qui concerne l'entraînement de la pince, nous avons utilisé le même axe de l'entraînement du peigne.

La charge que doit supporter l'axe est composé du poids de la pince et du poids du tissu tracté. Cette charge est très inférieure à la charge admissible par l'axe (25 kg).

Cet axe est placé au-dessus de celui du peigne pour présenter la pince à la bonne hauteur (Figure 79).

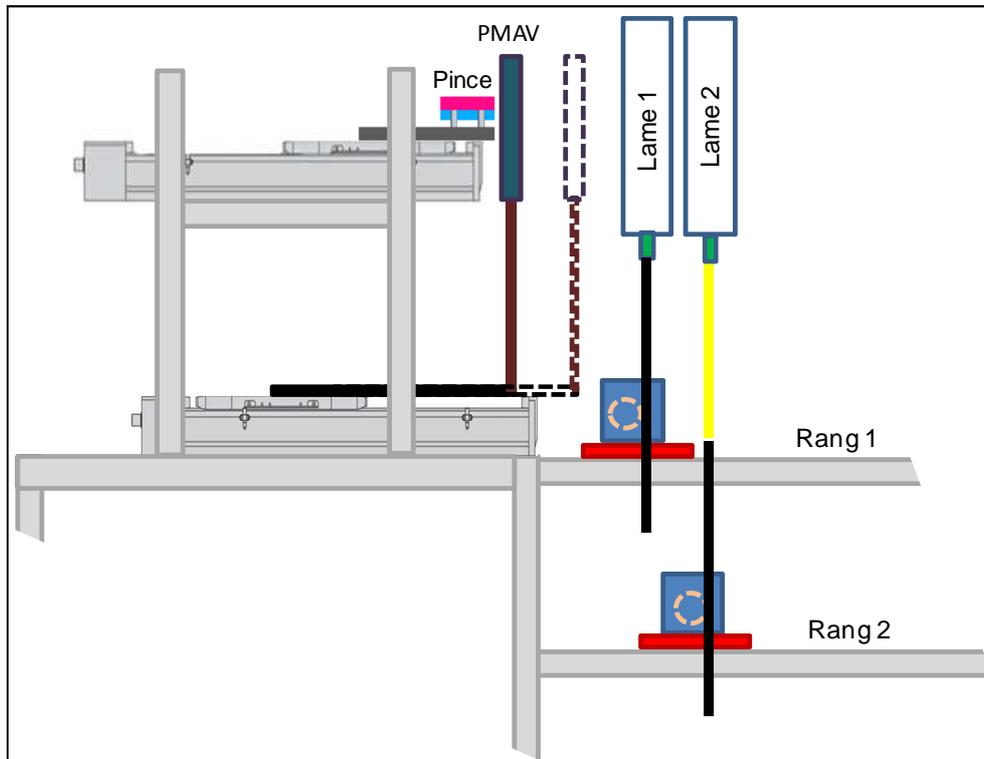


Figure 79 : Montage du système d'appel du tissu

Le positionnement longitudinal de cet axe prend en compte la distance entre le peigne et la façade du tissu. Nous en avons à présent terminé sur la conception de notre machine, il nous reste à résumer et à conclure sur son contenu.

7. Conclusion

Après avoir réalisé une analyse fonctionnelle de notre machine, présentant le cahier des charges de celle-ci, nous nous sommes attardés à décrire, au sein de ce chapitre, les solutions technologiques retenues pour entreprendre sa réalisation. En deuxième partie de chapitre, nous avons abordés la conception mécanique de la structure de cette machine, le positionnement des divers mécanismes au sein de celle-ci et le développement des divers éléments qui permettront leur fixation sur le châssis. Nous envisageons à présent aborder l'aspect automatisé de cette machine en repositionnant dans un premier temps le cadre de cette automatisé avant de décrire la structure même de l'automatisé réalisée dans ce système automatisé.

Chapitre IV

Concept d'automatisation

1. Introduction

L'automatisation de la machine renferme l'ensemble des actionneurs, des préactionneurs, des capteurs et des éléments liés à la sécurité et la commande de la machine. Cette commande fait intervenir divers moyens de transmission et de traitement d'informations liés à la communication entre diverses parties de la machine, ou entre la machine et l'utilisateur (de celle-ci). Il s'agit là d'une partie importante dans la construction et dans l'utilisation de la machine.

Les divers aspects mécaniques du développement de la nouvelle machine nécessitent l'implantation de beaucoup d'automatismes liés, en particulier, à la mise en mouvement des mécanismes selon un cahier des charges précis.

Avant de rappeler le besoin d'automatisation lié à chaque mécanisme de la machine et de proposer des solutions matérielles pour y répondre favorablement, nous redéfinirons de manière générale les différents principes d'automatisme rencontrés dans la construction de la machine automatisée. Ceci nous amènera à définir une architecture de commande de machine où nous décrirons chaque solution matérielle utilisée.

Une fois les solutions matérielles présentées, nous aborderons la méthodologie développée pour assurer la réalisation des diverses tâches nécessaires à la réalisation du tissu, en présentant la gestion des automatismes.

2. Rappels sur les principes d'automatisme

2.1. Structure d'un Système Automatisé de Production (SAP)

On appelle "principes ou fonctions d'automatisme", tous les domaines où sont amenées à être implantées des solutions matérielles nécessaires à la conduite d'un Système Automatisé de Production (SAP). Ces principes sont multiples et n'ont cessé de se développer ces dernières décennies.

Pour lister ces fonctions d'automatisme, nous allons présenter la décomposition primaire d'un SAP (*Figure 80*), en rappelant la définition générale de sa structure de base.

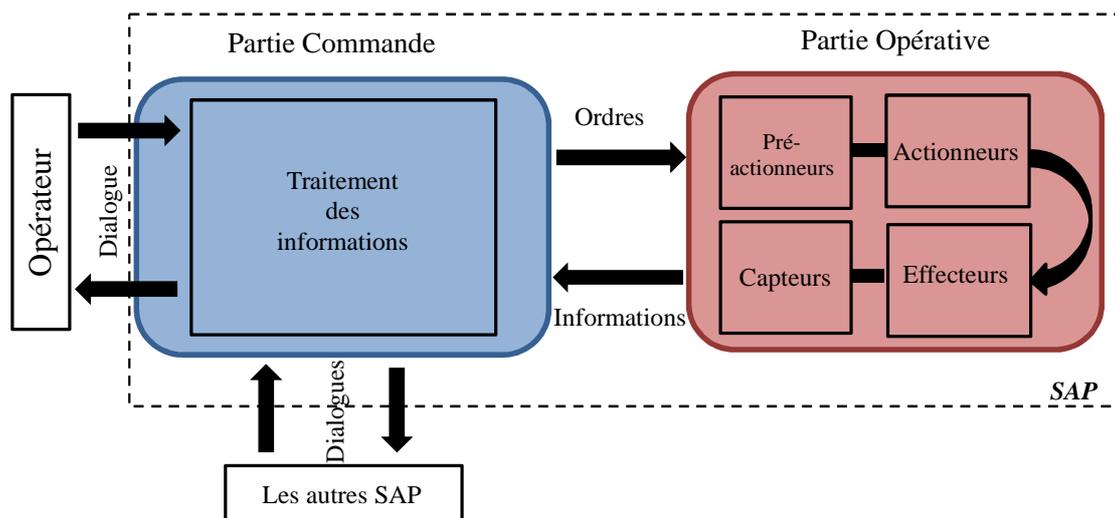


Figure 80 : Décomposition primaire d'un SAP

La Partie Opérative décrit la partie de la machine dans laquelle se situent les effecteurs, les actionneurs et les capteurs. Il s'agit de l'ensemble des éléments en relation directe (ou indirecte) avec la matière d'œuvre, ou avec le travail effectué sur celle-ci (mise en mouvement d'une pièce par exemple). La Partie Commande inclue les constituants de traitement des informations qui transitent au sein de la machine (ordres aux actionneurs, informations en provenance des capteurs, dialogues avec l'opérateur ou inter-SAP). Il s'agit souvent de technologies programmables à base de cartes de développement spécifiques (à microcontrôleurs), de PC industriels (dédiés aux machines) ou encore d'automates programmables industriels (API).

Cette partie englobe toutes les interfaces de communication avec ces outils de développement utilisés. C'est le cœur de gestion de la machine qui assure la conduite du processus en respectant les règles de sécurité en matière de respect des biens et des personnes.

La présence de nombreux dispositifs comme des actionneurs, des capteurs, des outils de dialogue opérateur, des protocoles de communication, etc., conduit à la définition de principes d'automatisme que l'on retrouve systématiquement sur la plupart des machines modernes.

2.2. Définition des principes d'automatisme de base

Les principes d'automatisme sont liés aux tâches que doivent assurer ces constituants de traitement (ou unités de traitement UT), et plus précisément, à tout ce qu'ils sont amenés à gérer ou à contrôler en leur périphérie, comme le montre la *Figure 81*.

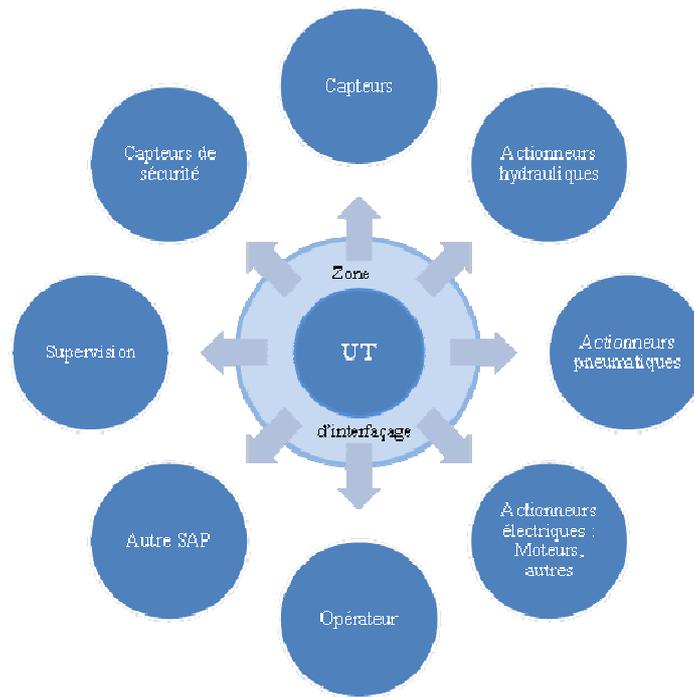


Figure 81 : Principe d'automatisme de base

Ces principes dépendent de la technologie d'actionneurs choisis, c'est-à-dire au type d'énergie mise en œuvre.

Les premiers principes d'automatisme mis en place ont été :

- la commande d'actionneurs pneumatiques, électriques et hydrauliques ;
- la gestion des capteurs liés au bon déroulement du processus ou au respect des consignes de sécurité ;
- la gestion du dialogue avec l'opérateur ;
- le dialogue avec d'autres SAP.

Dans le cadre du développement des applications industrielles, plus précisément dans le domaine de la commande de procédés au sein des SAP, une approche hiérarchique a été envisagée lors de la réalisation d'applications complètes et relativement complexes. Cette complexité se traduisant par l'importance des fonctions (principes) à développer au sein de la commande des SAP et du nombre d'entrées/sorties du système à traiter.

L'approche hiérarchique se traduit par deux niveaux : macroscopique et microscopique. Deux termes spécifiques sont plutôt employés :

- un niveau supervision (niveau supérieur dans la hiérarchie) ;
- un niveau contrôle-commande (niveau inférieur dans la hiérarchie).

Au niveau contrôle-commande, on retrouve la mise en place des divers principes d'automatisme précédemment évoqués. C'est à ce niveau que sont gérés les divers matériels physiques de l'application destinés, ou contribuant, à satisfaire l'objectif en provenance du niveau supérieur.

Au niveau supervision apparaît un dernier principe de l'automatisme destiné à assurer l'interface avec l'exploitant pour la conduite globale de l'application, la supervision.

Les deux niveaux sont en communication permanente, comme la montre la *Figure 82*.

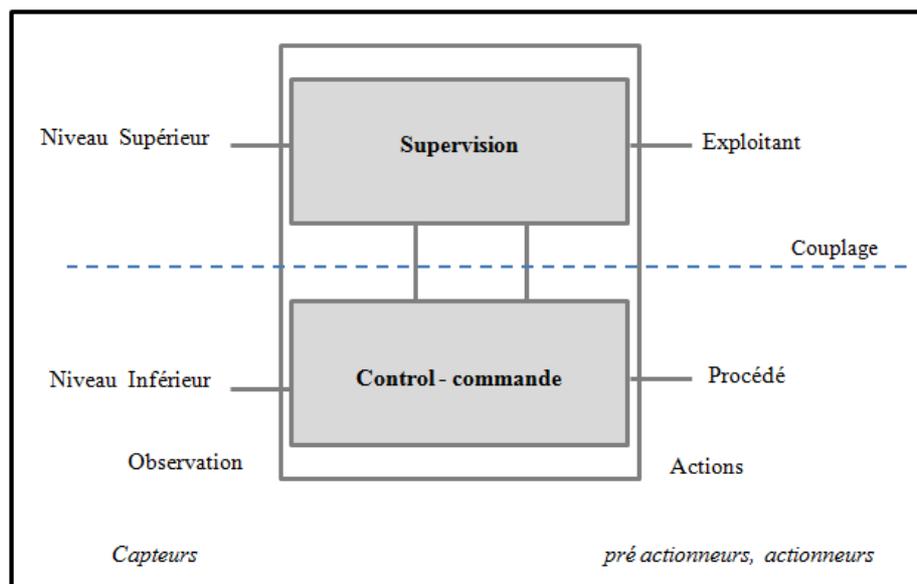


Figure 82 : Décomposition hiérarchique au sein de la commande d'un SAP

Le principe de supervision offre la possibilité de surveiller par hiérarchie supérieure le comportement de la machine, de centraliser les données d'autres machines installées au sein d'un parc de machines, et de partager les données de ces machines entre elles.

Cette décomposition hiérarchisée peut être étendue aux différents niveaux d'activités relatives à la gestion des entreprises où sont situées ces machines, en ouvrant la communication des SAP vers les réseaux informatiques d'entreprise. La notion de hiérarchie, ainsi développée dans l'entreprise, coïncide avec la forme géométrique d'une pyramide où l'on peut faire apparaître les différentes strates successives dans l'entreprise.

Cette forme de décomposition pyramidale, comme la montre le *Figure 83*, a entraîné la naissance d'un concept décrivant l'automatisation complète des processus de fabrication "Computer Integrated Manufacturing (CIM)" [52]. Il traduit le fait que tout dispositif

d'automatisation présent dans l'usine est sous le contrôle permanent d'ordinateurs, d'automates programmables et/ou d'autres systèmes numériques interconnectés.

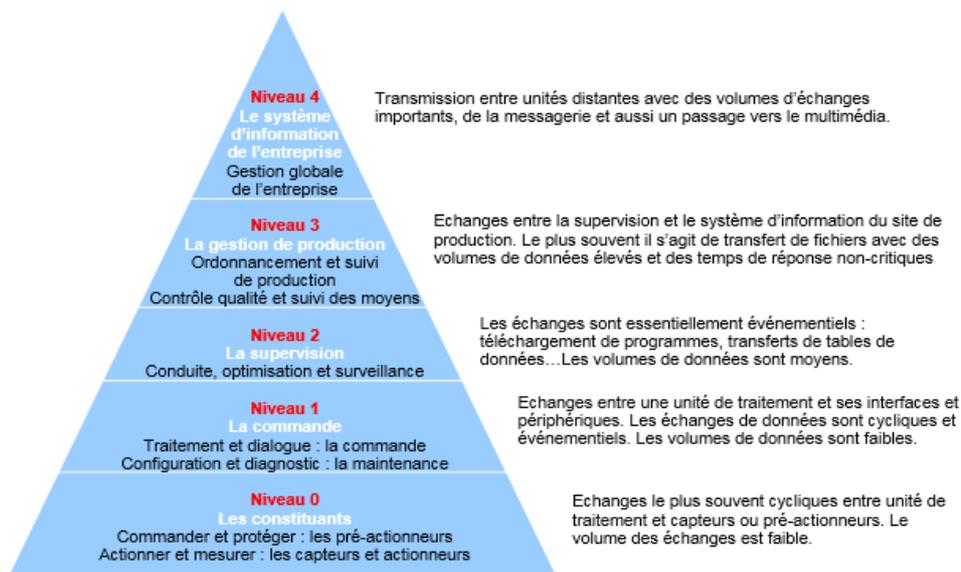


Figure 83 : Définition de la pyramide CIM [53]

Sur cette pyramide, on voit apparaître le niveau de la supervision (niveau 2) et les différents niveaux inférieurs situés au plus près de la commande et des constituants de la machine. Néanmoins en pratique on trouve plusieurs interprétations de ces niveaux. Le *Tableau 16* précise le secteur d'activité, la localisation, le type de bus, en rapport avec ces niveaux.

Tableau 16 : Définition et localisation des niveaux de la pyramide CIM

	Secteur d'activité	Localisation	type de réseau ou bus	Bus type
Niveau 4	Système d'information d'entreprise	Bureau	Informatique	Ethernet Network
Niveau 3	Gestion de production	Usine	Réseau local industriel (RLI)	LAN (Local Area Network)
Niveau 2	Supervision des machines	Atelier	Réseau d'atelier	Field Bus
Niveau 1	Commande des machines	Machine	Bus de commande	Devices Bus
Niveau 0	Constituant des machines	Capteurs /Actionneurs	Bus de capteurs	Sensors Bus

Le but de l'extension de la communication des SAP avec leur environnement a été de faire remonter des informations relatives à l'état de fonctionnement de la machine. Ces retours d'informations permettent d'effectuer des études statistiques, des bilans de production, des surveillances ou encore des analyses sur les défaillances au sein des machines. Des ordres descendants peuvent être émis en retour pour améliorer la mise en place et le traitement des processus de fabrication.

La supervision et le dialogue entre SAP étaient encore peu développés à l'origine, du fait des performances limitées des moyens de communication initialement développés (vitesses de

transfert faibles). La supervision a vu son développement s'accélérer lors de l'apparition ultérieure des réseaux locaux industriels et de manière générale, à l'apparition des NTIC (Nouvelles Technologies d'Informations et de Communication) [54].

2.3. Évolution historique conduisant aux principes d'automatisme modernes

Au cours du temps, d'autres principes ont été développés. Ils résultent de l'évolution historique et technologique en matière d'automatisation, liée aux progrès de développement importants réalisés en matière d'électronique, d'informatique industrielle et d'électrotechnique.

Le but principal des fabricants de matériels d'automatisme était de répondre favorablement aux demandes des clients pour développer des machines de plus en plus complexes à piloter. Parmi leurs solutions technologiques à développer, ils ont dû faire face et contribuer principalement :

- à l'allégement du nombre de câbleries dans les systèmes ;
- à l'introduction d'outils programmables ;
- à l'augmentation des performances de pilotage des processus ;
- à améliorer la sécurité des machines ;
- à répondre aux demandes de développement en matière de moyens de communication plus performants ;
- à l'introduction de nouveaux types d'actionneurs ;
- à l'augmentation des performances demandées aux procédés de contrôle des actionneurs ;
- au développement des bus de terrain ;
- à la demande de plus en plus importante d'interactivité dans la communication des opérateurs avec les machines ;
- à introduire la notion d'efficacité énergétique au niveau des SAP ;
- à moderniser la supervision ;
-

Les évolutions technologiques dans le secteur des automatismes sont à signaler à tous les niveaux, aussi bien dans la Partie Opérative (PO) et dans la Partie Commande (PC). C'est au niveau de la PC que les évolutions auront été les plus significatives (automate programmable, standardisation des liaisons informatiques, développements des TICS, introduction des

réseaux locaux industriels et des bus de terrain, outils de dialogue, etc...). Ces évolutions auront conduit à modifier considérablement l'architecture des SAP et les principes d'automatisme mis en application.

Nous allons recenser quelques développements technologiques importants à ce jour, que nous retrouverons naturellement dans notre machine.

2.3.1. Apparition des automates programmables

La première révolution technologique majeure aura été l'arrivée d'appareils programmables en remplacement d'appareils séquentiels (électriques ou pneumatiques) utilisés initialement. Ces appareils, à l'époque, permettaient d'introduire la notion de cycles de fonctionnement dans les machines. Leur principal inconvénient était la vitesse d'exécution, plutôt lente, de ces cycles (systèmes électromécaniques).

L'apparition des Automates Programmables Industriels (API) (ou Programmable Logic Controller PLC) plus rapide à permet de remplacer leurs aînés. Ils sont basés sur des cartes à microprocesseurs. Ces appareils permettaient d'aborder différemment les différents principes d'automatisme, vu jusqu'ici, par le biais de la programmation.

La société américaine Modicon est développé le premier automate programmable en 1968. Le succès rencontré par ce produit a donné naissance à une industrie mondiale florissante aujourd'hui et cet outil programmable rend intelligents des machines et des procédés automatisés dans de divers domaines (industries diverses, infrastructures, bâtiment, domotique,...). Son succès a conduit à ce que son emploi soit normalisé pour cela l'agence de normalisation française (AFNOR-UTE) a donné une définition claire (norme NFC 63-850) [55].

A la base, l'automate programmable était destiné :

- à traduire en signaux les fonctions combinatoires entre les variables de sortie et les variables d'entrée (liées aux E/S de l'automate) ;
- à piloter les sorties selon un ordre chronologique des tâches à réaliser au sein d'un processus (traitement séquentiel).

La technologie programmée fait appel à des solutions matérielles basées sur des composants programmables, dont l'automate est composé de microprocesseurs de manière similaire aux ordinateurs. Grace aux développements d'outils logiciels implantés dans des

microordinateurs, l'automate permet par la programmation d'utiliser des représentations graphiques et des commandes qui seront converties dans un langage compréhensible par une machine proche d'un langage Assembleur, dit de " bas niveau" [56].

Les langages utilisés par les utilisateurs lors de la programmation sont dit de " haut niveau ", plus compréhensible pour l'utilisateur que le " bas niveau " destiné à être compris par la machine.

Pour faciliter la programmation par les utilisateurs et favoriser leur confort lors de l'édition de programmes, les fabricants d'automates développent des outils logiciels conviviales pour les utilisateurs, mais incompréhensibles pour la machine. Le développement informatique de l'outil logiciel par le fabricant conduit implicitement la conversion en langage de "bas niveau" compréhensible pour la machine. Cette action est devenue transparente pour l'utilisateur. L'automate joue en quelques sortes, dans ce cas, le rôle d'un interprète entre l'utilisateur et la machine.

La programmation mise en place utilise des variables associées aux E/S de l'automate, sur lesquelles les actionneurs et capteurs sont reliés. Des signaux d'échange entre ceux-ci et l'automate sont transmis, qui peuvent être de nature "Tout Ou Rien" (TOR) ou analogique (signaux de tension 0-10 V par exemple ou de courant 0-20 mA).

L'échange d'informations numériques entre des matériels spécifiques et l'automate peut être également réalisé par le biais de bus de communication (cas de l'emploi de servovariateurs par exemple). Cette technique peut être extrapolée aux dialogues de l'automate avec d'autres SAP. Ceci nous amène à préciser quelques éléments importants issus de l'évolution technologique en matière de communication.

2.3.2. Standardisation des liaisons RS232 et USB

Dans le cadre des dialogues d'un SAP avec son environnement (avec autre SAP ou dans le cas d'une supervision) le moyen de communication standard initialement utilisé aura été la liaison série RS232. La norme RS-232 a été définie en 1969 par l'EIA (Electronic Industries Alliance) [57].

Ce type de liaison était très souvent implanté dans l'industrie pour connecter différents appareils électroniques entre eux (PC, appareil de mesure, etc...) et ainsi effectuer l'échange de données entre chaque appareil. Les données étaient traduites sous forme de bits et ceux-ci

étaient transmis bit par bit de manière séquentielle. La communication entre deux systèmes numériques par cette liaison série limite le nombre de fils de transmission par rapport à la liaison parallèle. Le transfert peut être effectué au moyen d'un câble de liaison basé sur 3 fils au minimum, Ground (GND), Read Data, RD, transmission data (TD), ou plus [58].

L'emploi du type de câble est néanmoins limité par le débit de transfert maximal des données que l'on peut obtenir, exprimé en bauds (bit /s) et la longueur des câbles utilisés pour relier les appareils. La *Tableau 17* donne un aperçu de ces limites.

Tableau 17 : Caractéristiques de transfert de données de la liaison RS232

Débit (bit/s)	Longueur (m)
19200	15
9600	150
4800	300
2400	900

Dès le début des années 2000, cette liaison est remplacée par la liaison USB (Universal Serial Bus) sur les PC pour connecter : les souris, le clavier d'ordinateur, les imprimantes et autres périphériques.

Cette liaison se caractérise par des taux moyens de transfert de données plus importants. Plusieurs types de liaison USB sont apparus au cours du temps, en fonction des développements technologiques effectués par les fabricants, dans la recherche de l'augmentation des taux de transfert.

Tableau 18 : Evolution des caractéristiques des liaisons USB

Version	USB 1.0	USB 1.1	USB 2.0	Wireless USB	USB 3.0	USB 3.1
Année	1996	1998	2000	2005	2008	2013
Débit	1,5 Mbit/s soit 0,19 Mo/s	12 Mbit/s soit 1,5 Mo/s	480 Mbit/s soit 60 Mo/s	480 Mbit/s soit 60 Mo/s	5 Gbit/s Soit 600 Mo/s	10 Gbit/s soit 1,2 Mo/s

Comme pour la liaison RS232, la liaison USB est soumise à un protocole de communication entre l'hôte et le (s) périphérique (s). Un des avantages de l'USB est que cette liaison peut être partagée par plusieurs périphériques connectés au même hôte.

Chaque appareil possède alors une adresse codée d'accès sur cette liaison. Le protocole est basé sur l'interrogation successive de l'hôte avec chaque périphérique. Lorsque l'hôte désire communiquer avec un périphérique, il émet un paquet de données (appelé jeton), contenant l'adresse du périphérique (codée sur sept bits) et désignant un périphérique donné. Si le périphérique reconnaît son adresse dans le jeton, il envoie un paquet de données (de 8 à 255 octets) en réponse.

Une autre fonctionnalité (outre le transfert de données) que possède cette liaison, c'est la possibilité d'alimenter, à partir de l'hôte, un périphérique en 5V, consommant un courant de l'ordre 0,5A jusqu'à 2A pour des modèles plus récents.

Le développement de cette liaison s'est également standardisé dans les matériels d'automatisme communicant. Par exemple, le transfert d'un programme d'un PC à un automate.

2.3.3. Développement des TICs ou NTICS

Les Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) regroupent un ensemble de ressources techniques nécessaires à la mise en œuvre de moyen de communication entre appareils. Ces ressources au service de l'information et de la communication sont là pour assurer la production, la manipulation, le stockage, la gestion, la transmission, la recherche et les données ou d'informations.

Le développement des TIC s'est réalisé dans trois principaux secteurs d'activités qui sont :

- le secteur informatique ;
- le secteur de l'électronique ;
- le secteur des télécommunications.

On appelle NTIC (Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication) toute technologie de communication apportant un progrès ou une avancée non négligeable dans le domaine. En effet, au début des années 90 est né le World Wide Web (WWW) lancé par le Centre d'étude et de Recherches Nucléaires (CERN, Genève) pour permettre aux chercheurs d'échanger rapidement des informations textuelles, des images ou encore du son. Cette nouvelle façon d'échanger de l'information deviendra très vite populaire grâce aux logiciels de navigation qui en facilitent l'accès (Netscape, Internet Explorer, Firefox,...).

Dans les secteurs informatiques, ces TICs se sont traduits par le développement des réseaux de communication avec divers protocoles d'accès propres à ces réseaux.

Dans le secteur des automatismes, c'est plutôt le secteur électronique qui est visé en premier lieu par les TICs. Le volume d'échange de données entre les appareils, les distances entre les appareils connectés (plus courtes) et les taux de transfert requis pour effectuer des contrôles d'actionneurs plus rapides et performants sont les principaux critères qui ont conduit les acteurs du domaine de l'automatisme à développer et utiliser des bus adaptés au niveau du secteur industriel (réseaux locaux industriels) dans l'environnement ou la structure des machines [59].

2.3.4. Développement des RLI et des bus de terrain

L'évolution technologique importante de communication dans le domaine de l'automatisme aura été l'apparition des réseaux de terrain. L'introduction des Réseaux locaux Industriels (RLI) [60] dans une usine permet de réaliser la communication entre l'automatisme et le monde informatique. Les réseaux de terrain permettent eux la mise en place de la commande, la surveillance, la conduite des processus, la maintenance, le suivi de produit,...

Pour différencier ces réseaux des réseaux informatiques, les automaticiens préfèrent parler de bus de terrain car ces derniers sont utilisés au plus proche de la machine. Le bus de terrain fait donc référence à n'importe quel bus d'automatisme installé dans un atelier pour raccorder des organes de détection et des préactionneurs aux organes de commande d'un SAP.

Les bus de terrain utilisés en automatisme se limitent au niveau 0 et 1 dans la pyramide CIM (*Figure 83*). Au niveau 0 se situe le transfert des données issues des capteurs et des actionneurs vers l'unité de traitement. Au niveau 1, on retrouve le transfert d'ordres de cette unité de traitement vers quelques préactionneurs ou encore le transfert des signaux entre cette unité de traitement et une autre unité connectée au niveau 0. Le niveau 2 (la supervision) permet d'interconnecter plusieurs unités de traitement (API) et unités décentralisées (API déporté) pour obtenir une vue globale de l'installation et des différents processus en cours d'exécution.

Pour illustrer cette segmentation, nous présentons une configuration rencontrée dans un exemple d'architecture d'automatisation développée par un fournisseur de solution d'automate (Schneider Electric) (*Figure 84*).

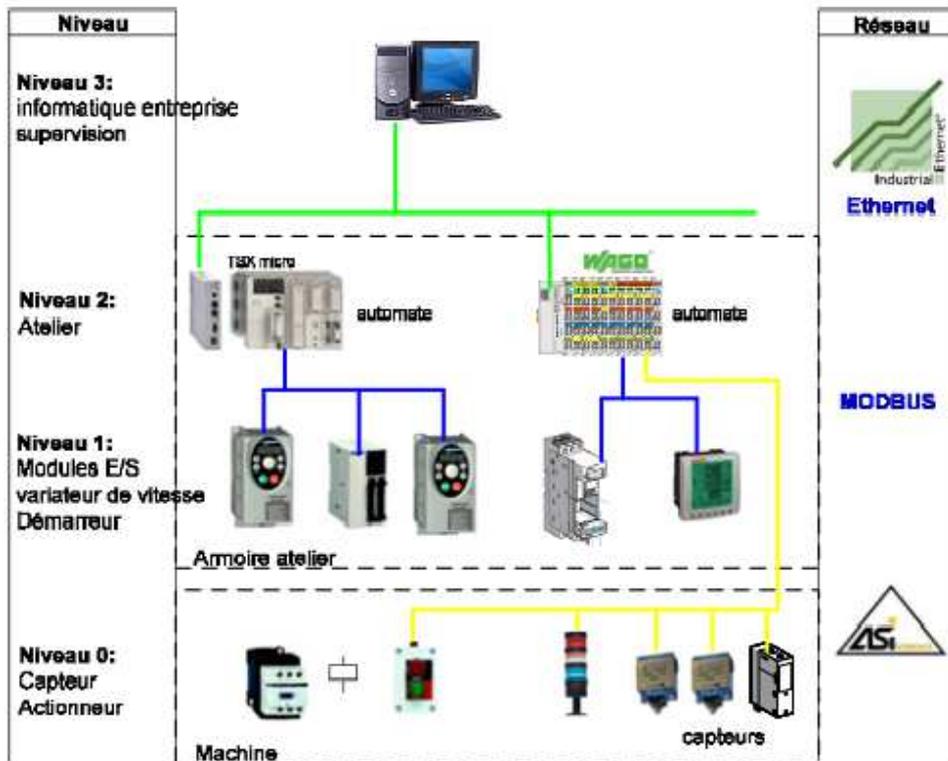


Figure 84 : Exemple d'introduction des bus de terrain [61]

On y distingue :

- la liaison entre un automate (niveau 2) et divers variateurs de vitesse ou un automate déporté OTB (niveau 1) ;
- la liaison entre des capteurs (niveau 0) et un automate déporté (niveau 2) ;
- la liaison entre le réseau d'entreprise (niveau 3) et les automates (niveau 2).

Les bus de terrain employés ici aux différents niveaux sont montrés dans le *Tableau 19* :

Tableau 19 : Types de bus de terrain implanté

Niveau 2	Ethernet
Niveau 1	Modbus
Niveau 0	ASI

Cette segmentation se rapproche de celle implantée dans notre machine exceptée pour le Modbus (niveau 1), remplacé par le bus de terrain CANOpen.

Il existe sur le marché des technologies de réseaux accessibles avec leurs protocoles. En effet, les constructeurs d'automates programmables ont créé des réseaux et des bus adaptés au besoin des utilisateurs en fonction des produits (variateurs de vitesse, automates,...) qu'ils

développent. Ils sont propriétaires de ces types de réseaux et souvent ils sont incompatibles entre eux du fait de leurs protocoles d'accès différents. Cela pose parfois des problèmes de partage de données ou d'interconnexion entre appareils qui conduit souvent à choisir le même fournisseur pour différents types d'automates, à interconnecter ou à faire appel à des passerelles (Gateway), augmentant les coûts d'investissements et les probabilités de dysfonctionnements.

Parmi les technologies les plus couramment utilisées comme bus de terrain, on trouve la liste suivante :



Figure 85 : Panel de technologies utilisées dans les bus de terrain

La demande d'uniformiser tous les types de bus de terrain impose aux fabricants d'adapter leurs appareils aux bus références. Ainsi le premier résultat de cette uniformisation a été le concept ASI (Actuator Sensor Interface), qui est un système de transmission commun pour tous les capteurs [62]. D'autres bus concurrentiel du bus ASI existent à ce niveau comme le bus CAN, Interbus Loop ,... .

Cette uniformisation se traduit par la tendance à implanter de manière quasi généralisée un réseau unique ou bien employer un minimum de réseaux différents. Pour illustrer ce fait, le réseau Ethernet étant relativement employé au sommet de la pyramide CIM dans les secteurs informatiques. Celui-ci a tendance à descendre et s'implanter de plus en plus dans les bas niveaux.

La *Figure 86* présente une organisation faisant intervenir le réseau Ethernet et le protocole TCP/IP (uniformisé au niveau mondial pour les réseaux informatiques) au plus bas de l'échelle dans une structure automatisée. On pourra également citer d'autres produits comme

Powerlink ou Ethercat (Ethernet for Control Automation Technology) basés sur le réseau Ethernet, mais avec des protocoles d'accès différents.

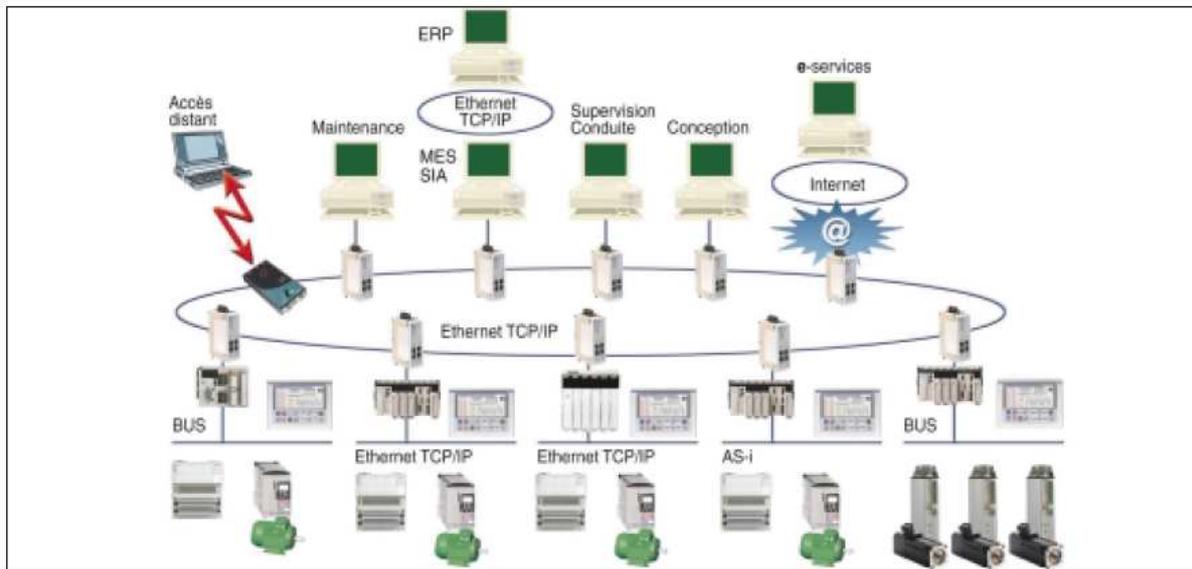


Figure 86 : Exemple d'introduction du réseau et protocole Ethernet TCP/IP dans la structure automatisée [62]

Il est clair que les futurs utilisateurs et exploitants de SAP sauront apprécier les efforts effectués par les fabricants dans ce domaine. Cette uniformisation dépendra des caractéristiques (quantité de données, taux de transferts) que les futurs réseaux seront capables d'assurer et le développement d'appareils interfacés avec ces réseaux, par les fabricants de composants d'automatisme.

Deux types de communication assurent le transfert d'informations au niveau de notre machine : le réseau CANopen et le réseau Ethernet.

2.3.5. Protocole réseau-Modèle OSI-Modèle DOD (TCP/IP)

Nous allons présenter les principales caractéristiques des réseaux de terrain utilisés dans notre machine : les bus Ethernet TCP/IP et CANmotion.

2.3.5.1. Le protocole

Le protocole est la condition d'accès sur le bus de terrain pour effectuer l'échange de données. Il est en partie lié à la topologie du réseau qui est caractérisée par le système de câblage du réseau (la partie physique du réseau et le format de la trame échanger entre les appareils). La *Figure 87* montre les principales topologies de réseau.

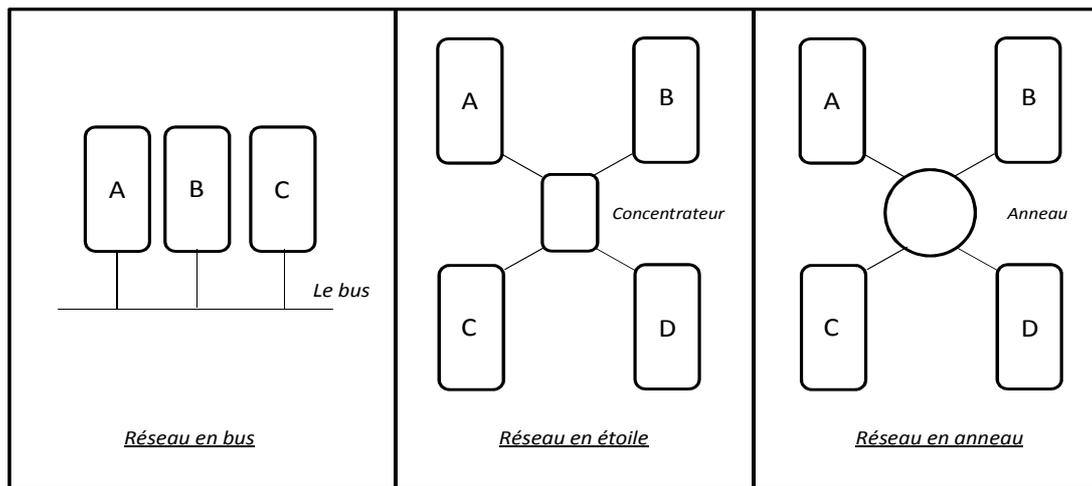


Figure 87 : Principales topologies de réseau

Il se compose d'un ensemble de règles et de procédures permettant à un appareil de communiquer avec d'autres. Le terme protocole est souvent associé au type de réseau lui-même (Protocole Ethernet, Protocole CANopen par exemple).

Les informations échangées sur un réseau sont au format binaire (bits). Pour transmettre une information sur le réseau deux stratégies sont alors possibles :

- le transfert complet ;
- le transfert fragmenté.

Selon la taille de l'information (nombre de bits) la première solution est source d'erreurs, donc on choisit la seconde stratégie qui consiste à fragmenter l'information en plusieurs parties (paquets de données) envoyé séparément (séquentiellement) sur le réseau depuis la machine émettrice, et l'information est reconstituée dans la machine réceptrice. On parle de commutation de paquets.

Afin de sécuriser l'échange d'informations entre deux appareils distants partageant le même réseau (ou connecté au même bus) avec d'autres appareils, il a été nécessaire de mettre en place une normalisation, pour cela des concepts de modèles de réseau sont nés (type OSI, TCP/IP par exemple). Le modèle décrit les concepts utilisés et la démarche suivie pour normaliser l'interconnexion de systèmes hétérogènes et ouverts (interconnectables quelques soient les types).

2.3.5.2. Le modèle OSI

L'International Standard Organisation (ISO) a développé le modèle Open System Interconnections (OSI) en 1978 qui permet d'identifier et de séparer les différentes fonctions d'un système de communication [63].

Le modèle OSI de l'ISO divise de manière générale en sept couches numérotée de 7 à 1 (*Figure 88*) les fonctions d'un système de communication. Il s'agit là d'une approche théorique qui définit les niveaux d'échanges (et du type de données d'échange) qu'il peut y avoir dans la communication entre les ordinateurs.

Modele OSI		Modele TCP/IP	
Couche	Type	Couche	Type
7	Application	4	Application
6	Présentation		
5	Session		
4	Transport	3	Transport
3	Réseau	2	Internet
2	Liaison	1	Acces Reseau
1	Physique		

Figure 88 : Modèle OSI - Modèle TCP/IP

Chaque couche est destinée à effectuer une tâche bien précise. On dit que chaque couche propose une fonctionnalité ou un service.

Ces couches vont de l'application logicielle (couche application) jusqu'à la couche matérielle assurant la transmission de l'information sur le support matériel de communication entre les deux éléments communicants (couche Physique). Les couches intermédiaires traduisent :

- des opérations effectuées sur les données transmises (*couche Présentation*) ;
- la gestion de la synchronisation des échanges, la reconnaissance des noms des appareils communicants et l'ouverture/fermeture de session (*couche Session*) ;

- la sécurisation des données, l’empaquetage des données pour l’émetteur, le réassemblage des données pour le récepteur et la vérification des données et leurs corrections (*couche Transport*) ;
- la traduction des noms en adresse physique Mac (Media Access Control), la gestion du trafic du réseau (*Couche Réseau*) ;
- la préparation des trames pour la couche Physique, la gestion du transfert des trames (paquets) dans lesquelles sont encapsulées les données (*couche Liaison*).

Le *Tableau 20* suivante résume les fonctions réalisées à chaque niveau de couche.

Tableau 20 : Définition des couches du Modèle OSI

Couche	Type	Désignation	Fonctionnalité
7	Application	C'est à ce niveau que sont les logiciels: navigateur, logiciel d'email, FTP, chat...	Une interface pour l'accès au réseau
6	Présentation	Couche en charge de la représentation des données (de telle sorte qu'elle soit indépendante du type de microprocesseur ou du système d'exploitation par exemple).	La gestion du format des données
5	Session	Couche en charge d'établir et maintenir des sessions. C'est à dire débiter le dialogue entre 2 machines (vérifie que l'autre machine est prête à communiquer, s'identifier, etc.)	La gestion d'une connexion
4	Transport	Couche en charge de la liaison d'un bout à l'autre. S'occupe de la fragmentation des données en petits paquets et vérifie éventuellement qu'elles ont été transmises correctement.	La gestion des paquets
3	Réseau	Couche en charge du transport, de l'adressage et du routage des paquets.	La gestion de l'adressage
2	Liaison	Couche en charge d'encoder les données pour qu'elles soient transportables par la couche physique, et fournit également la détection d'erreur de transmission et la synchronisation.	La gestion des trames
1	Physique	C'est le support de transmission lui-même: un fil de cuivre, une fibre optique, les ondes hertziennes...	La gestion des signaux sur le câble

La transmission d’une donnée d’un poste 1 (émetteur) à un poste 2 (récepteur) traverse plusieurs couches successives, correspondant aux différents services exercés au sein de chaque couche qui prépare les données pour la couche suivante (*Figure 89*). On dit que les couches communiquent entre elles, et la frontière qui les sépare est appelée une interface. Chaque couche de l’émetteur ajoute des informations supplémentaires dans le paquet qui lui a été transmis par la couche supérieure, et transmet celui-ci à la couche inférieure. On parle alors d’encapsulation de la donnée à transmettre. Plus on traverse de couche, plus la taille de l’information à transmettre est importante. Cette encapsulation est visible au centre de la *Figure 89*.

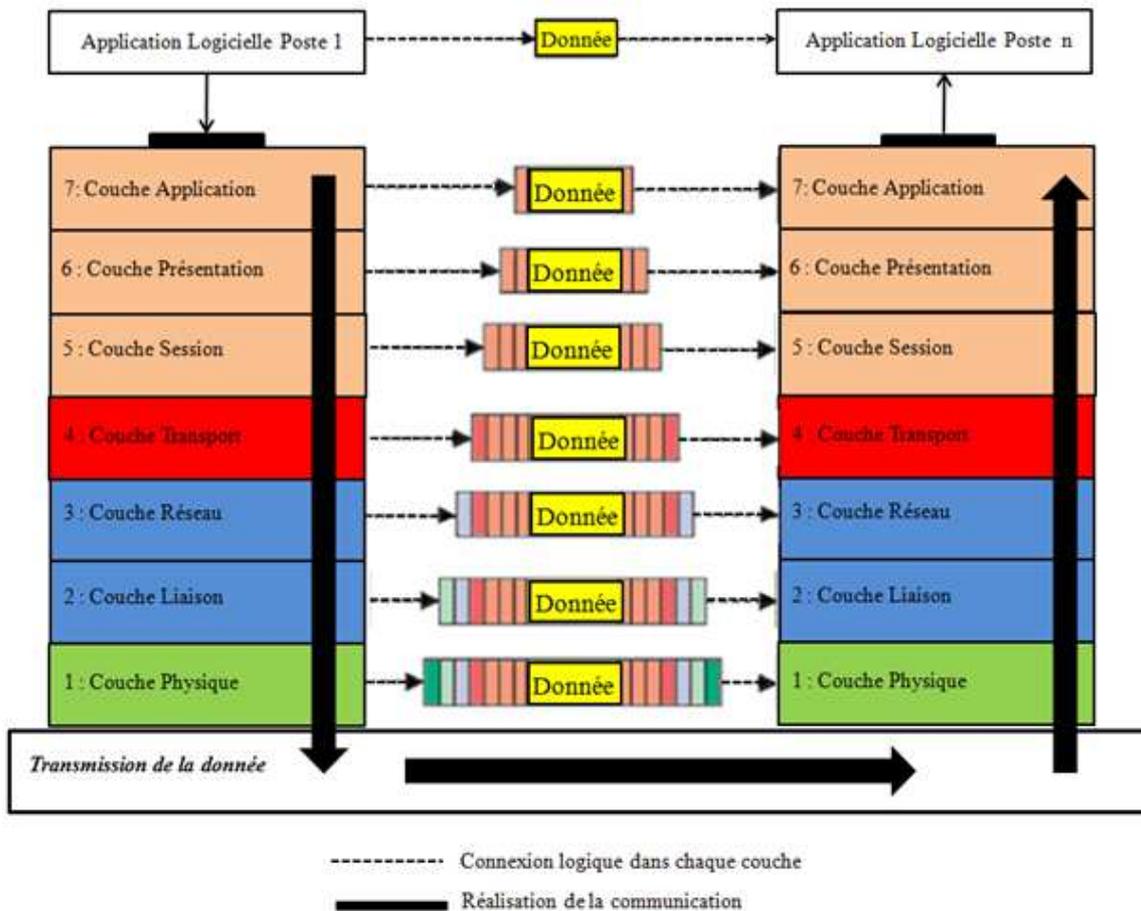


Figure 89 : Cheminement de la donnée au travers des couches du modèle OSI

La structure d'une trame (ensemble de paquets) est constituée de plusieurs éléments et dans un ordre précis (entête, corps, queue de trame).

- l'entête contient le numéro d'identification du destinataire et celui de l'expéditeur, ainsi que des informations de contrôle pour la détection du type de trame, le routage (sélection du chemin d'accès) et la segmentation des données ;
- le corps contient les données et la queue de trame, des informations CRC (Cyclical Redundancy Check) pour la correction et la vérification des erreurs dans la transmission d'un paquet ;

La fonctionnalité d'une couche peut être réalisée par un logiciel, un équipement ou un protocole différent de ceux des autres couches.

Les quatre couches inférieures sont plutôt orientées communication et sont souvent fournies par un système d'exploitation. Les trois couches supérieures sont réalisées par des bibliothèques ou un programme spécifique.

Les “couches homologues” présentes dans les deux postes communicants, sont deux couches d'un même niveau. Elles ont des fonctions symétriques et l'activité de celles-ci est codifiée selon un protocole très précis de façon que chacune des couches sache exactement comment travaille son homologue. Ceci permet de connaître la transformation exercée sur la donnée, pour l'extraire à partir de la trame reçue, en exerçant les transformations inverses. Donc il existe un protocole entre chaque couche homologue. Dans ce cas, un réseau peut être décrit selon le modèle défini ici comme un empilement de protocole définit entre chaque couche homologue.

La donnée traverse donc les couches vers le bas dans le poste 1 et remonte les couches dans le poste 2. Lors du cheminement de cette donnée, elle est associée à un protocole différent selon la couche où l'on se trouve.

Il n'y a que la couche la plus basse qui puisse communiquer directement avec son homologue sans que le message (la formation) ne transite par toutes les autres couches.

Toutes les autres couches ne communiquent pas directement avec leurs couches homologues, malgré tout, on peut qualifier leur communication entre elle de virtuelle, répondant à un protocole lié à leur organisation similaire et au cheminement de l'information aux travers des différentes couches par voie descendante puis remontante [64].

Selon le réseau développé, toutes les couches de ce modèle n'apparaissent pas clairement, car certaines couches intermédiaires peuvent être non indispensables.

Le modèle OSI permet de comprendre comment est organisé le déroulement de la communication entre deux appareils. On l'utilise à titre normatif pour décrire la suite logique des opérations intégrées dans la communication. Il est utilisé pour servir de modèle lorsque l'on veut créer un protocole ou un matériel en réseau.

Quand il s'agit de décrire comment se déroule la communication sur le terrain, on lui préfère le modèle TCP/IP, qui a une valeur plus descriptive que l'OSI qui est plus général.

2.3.5.3. Le Modèle DOD (TCP/IP)

Le modèle TCP/IP fut créé dans les années 1970 par le département de la Défense des États-Unis d'Amérique, c'est pour cette raison qu'on peut le trouver aussi sous l'appellation DOD Model (Department of Defense Model).

Il désigne de deux protocoles étroitement liés : un protocole de transport TCP (Transmission Control Protocol) qu'on utilise par-dessus et un protocole Réseau IP (Internet Protocol).

Ce qu'on entend par modèle TCP/IP, c'est en fait une architecture réseau en quatre couches dans laquelle les protocoles TCP et IP jouent un rôle prédominant, car ils en constituent l'implémentation la plus courante. Par abus de langage, TCP/IP désigne deux choses : le modèle TCP/IP est la suite de deux protocoles TCP et IP.

Comme on peut le voir sur la *Figure 88*, en comparaison avec le modèle OSI, le modèle TCP/IP possède des couches nominativement identiques à celles de l'OSI, mais ne correspondent pas forcément. Les quatre couches sont :

- la couche accès réseau qui recouvre la couche physique et la couche liaison de données du modèle OSI. Elle sert d'interface avec le support de transmission et elle détermine la façon dont les données doivent être acheminées ;
- la couche internet qui sert d'interconnexion des réseaux hétérogènes distants et d'assurer l'adressage et le routage des paquets dans le réseau ;
- la couche transport qui assure la transmission des données et la correction des erreurs lors de l'acheminement des données dans ;
- la couche application qui définit les protocoles d'application TCP/IP. Le rôle important de cette couche est le choix du protocole de transport à utiliser.

Du fait de l'usage d'un nombre de couche moindre, il a progressivement remplacé le modèle de référence OSI [65].

TCP/IP est le protocole le plus répandu dans le monde grâce au système d'interconnexion de machines qu'est le réseau Internet qui est basé sur ce protocole.

2.3.6. Réseau Ethernet

Les réseaux utilisés dans notre machine, pour permettre le dialogue entre différents matériels communicants utilisés, sont le réseau Ethernet et le bus CANopen (CANmotion).

L'Ethernet est un réseau appuyé sur une topologie bus ou étoile. Il est associé à un protocole de réseau développé autour de la couche Accès Réseau du modèle TCP/IP ou liaison du modèle OSI développé par la société Xerox dans les années 70 [66], il permet de mettre en place rapidement une communication entre machine avec des gammes de débits importants (10 Mbp/s, 100 Mbp/s, 1 Gbp/s et 10 Gbp/s), à un prix peu coûteux, mais pas forcément très sécurisé et fiable [67]. Mais il est très largement implanté dans les réseaux informatiques pour l'échange de fichier, de mail, etc.. L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) l'a normalisé par la norme IEEE 802.3 [68], reprise ensuite par l'ISO sous la norme 8802-3.

Le protocole Ethernet est décliné sous plusieurs types selon le format de la trame. Dans le cas de l'Ethernet de type II (le plus couramment utilisé), la donnée au sein de trame de l'Ethernet se trouve encapsulée:

- le préambule (Annonce le début de la trame et permet la synchronisation) ;
- l'adresse MAC Destination (Adresse physique de la carte Ethernet destinataire de la trame) ;
- l'adresse MAC source (Adresse physique de la carte Ethernet émettrice de la trame) ;
- l'Ether type (Le type de trame) ;
- les données (véhiculées par la trame) ;
- le CRC (Cyclic Redundancy Code, Champ de contrôle de la redondance cyclique). Le CRC permet de s'assurer que la trame a été correctement transmise et que les données peuvent donc être délivrées au protocole destinataires).

Le réseau Ethernet sera employé dans notre machine pour le dialogue de l'opérateur avec la machine (Programmation d'outils programmables) et au niveau de la gestion décentralisée des capteurs implantés sur la machine.

2.3.7. Bus Can – Protocole CANopen

2.3.7.1. Introduction au protocole CANopen

CANopen est un standard ouvert de communication pour l'échange de données entre les systèmes électroniques interconnectés par un bus CAN (Controller Area Network), qui est né pour trouver une solution de communication série dans les véhicules automobiles (centralisation des informations capteurs et pilotage des divers actionneurs) et du fait que les constructeurs ont eu tendance à intégrer de plus en plus de commandes électroniques à l'intérieur.

Le CAN, qui est développé par Bosch [69], est depuis utilisé dans de nombreux secteurs d'activités où les industriels mettent au point des systèmes entièrement multiplexés utilisant la technologie CAN.

Le protocole CANopen est basé sur la couche physique et liaison CAN qui est normalisé ISO 11898 [63]. Il est promu et également publié par l'organisation CAN In Automation sous le nom de CiA DS301[70]. Les applications logicielles développées autour du protocole CANopen permettent d'intégrer divers matériels à des coûts relativement faibles.

Le protocole CANopen est donc reconnu pour être une solution de communication économique et efficace. Les fabricants ont donc recouru couramment et logiquement à l'introduction (dans leur matériel) d'interface CANopen pour mettre en œuvre la fonctionnalité de leur matériel. C'est le cas pour les variateurs de vitesse que nous aurons employés dans notre machine.

2.3.7.2. Principe de fonctionnement de CANopen

La Figure 90 explicite la communication entre un appareil émetteur et un appareil récepteur selon le protocole CANopen.

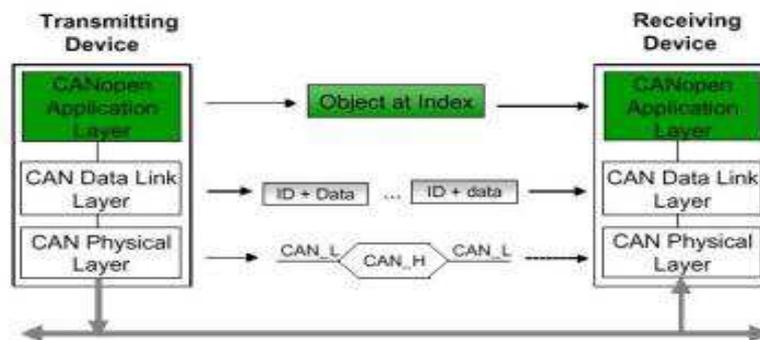


Figure 90 : Communication selon le protocole CANopen [71]

Une connexion CANopen est vue de l'extérieur comme une interface entre le réseau et l'appareil connecté à celui-ci. Cette interface s'organise entre un ensemble d'une pile de protocoles, un dictionnaire d'objets et une application logicielle (Figure 91).

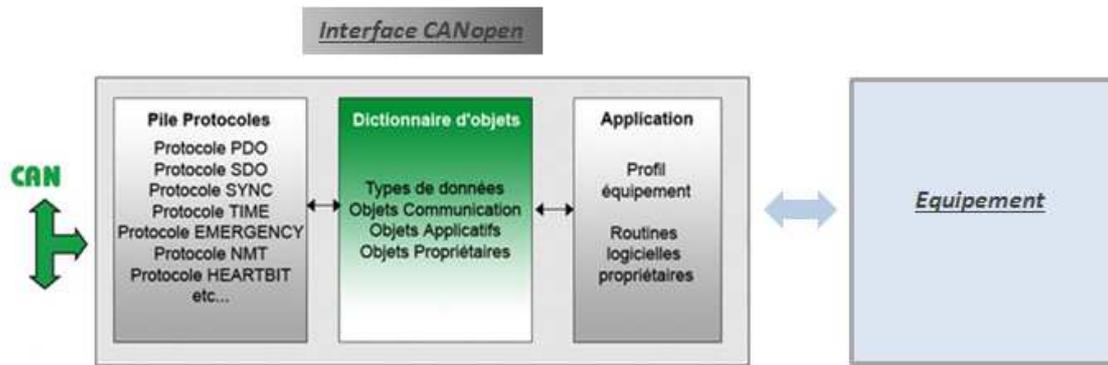


Figure 91 : Interface CANopen

Un dictionnaire d'objets est un ensemble d'éléments appelés objets, contenant diverses informations qui seront échangées sur le réseau.

Dans le cadre du CANopen, un dictionnaire d'objets peut être divisé en 4 catégories :

- les objets "Types de données";
- les objets "de communication" ;
- les objets "spécifiques constructeur" ;
- Les objets "standard".

En premier temps, les données utilisables, qui sont présentées sous différents types (entier, non assigné mot, ...), sont classées dans les objets de données. Ensuite, les données, permettant de configurer la façon dont l'équipement va communiquer sur le réseau (données échangées, mode de production et consommation, activation de la synchronisation, etc...), sont répertoriées comme objets "de communication".

Si le constructeur de l'équipement souhaite échanger des paramètres ou des données spécifiques, il a la liberté de le faire au sein d'objets "spécifiques constructeur".

Enfin, si des données applicatives doivent être échangées par l'équipement sur le réseau, elles seront localisées dans les objets "standard".

Les objets de communication qui transitent sur le bus sont décrits par des services et des protocoles :

- le service SDO (Service Data Object) permet à un client d'accéder en lecture ou écriture à un objet d'un équipement serveur. Cet échange de type client/serveur est utilisé pour la configuration et la supervision des équipements ;

- le service PDO (Process Data Object) permet l'échange de données entre un équipement CANopen producteur et des équipements CANopen consommateurs. Le contenu, le mode d'échange et la priorité du message sont configurables ;
- le service SYNC permet de synchroniser la production et la consommation des données ;
- le service TIME permet de synchroniser les horloges des équipements CANopen ;
- le service EMERGENCY permet aux équipements CANopen de signaler sur le réseau un dysfonctionnement ;
- NMT Node Control permet à un maître NMT (Network Management) CANopen de contrôler l'état des équipements (mode pré-opérationnel en attente de configuration et démarrage, mode opérationnel en échange de données, reset, etc...) ;
- NMT Node Guarding et NMT Node Heartbeat permettent, chacun à leur manière, de contrôler la présence des équipements CANopen.

En résumé, les transferts de données en temps réel entre les équipements sont réalisés à l'aide de PDO, alors que, la lecture ou l'écriture d'entrées dans le dictionnaire d'objets d'un élément sont réalisés à l'aide de SDO. Les applications telles que la synchronisation et l'emergency ont des protocoles spéciaux. Le protocole du Network Management (NMT) donne des services pour l'initialisation, le contrôle d'erreurs et l'état d'un nœud du bus CAN.

Les variateurs développés par la société Schneider Electric possèdent une interface CANopen, qui permet la mise en place de ce type de protocole entre équipements et de contrôler différents variateurs. Chacun d'entre eux (adressé sur le bus) échange des données (vitesse, position, accélération, décélération) avec un axe maître, selon le protocole CANopen et avec une topologie de bus CAN.

2.3.7.3. Topologie du bus CAN

Chaque point de connexion d'un appareil connecté à ce bus s'appelle un nœud. Le bus CAN est basé sur la transmission d'un signal à partir de deux fils CAN-H et CAN-L (*Figure 92*).

Les résistances de terminaison réseau (120Ω) sont utilisées pour éviter des pertes de signaux ou diverses perturbations au niveau des signaux.

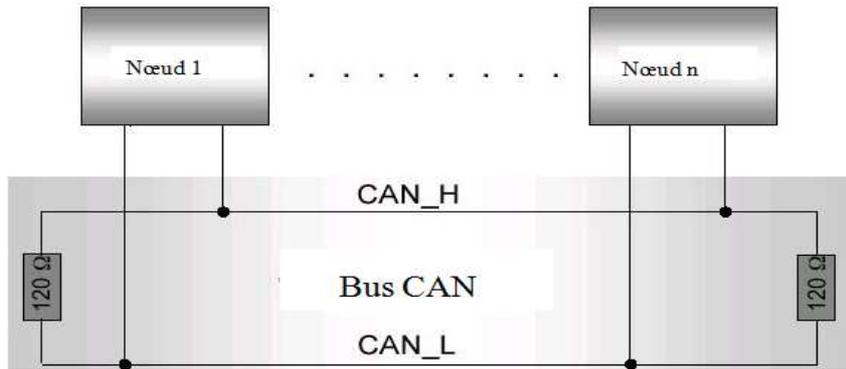


Figure 92 : Structure de bus CAN [71]

L'état 0 ou 1 correspond à une tension différentielle entre la paire de fils CAN_H et CAN_L qui dépend de la vitesse de transmission du bus.

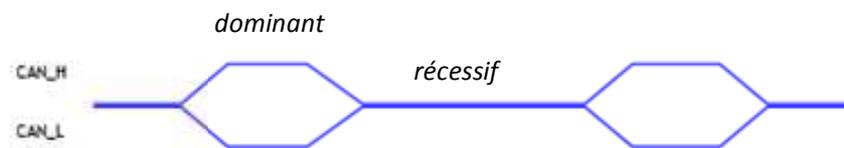


Figure 93 : Signal différentiel entre Can_H et Can_L

Can low-speed

Niveau	CANH <> masse	CANL <> masse	CANH <> CANL
Récessif ou « 1 »	1,75 V	3,25 V	-1,5 V
Dominant ou « 0 »	4 V	1 V	3 V

Can high-speed

Niveau	CANH <> masse	CANL <> masse	CANH <> CANL
Récessif ou « 1 »	2,5 V	2,5 V	de 0 à 0,5 V
Dominant ou « 0 »	3,5 V	1,5 V	de 0,9 à 2 V

Figure 94 : Niveaux de tension du bus CAN en vitesse de transmission basse et haute

En fonction des niveaux de tension différentielle, des états récessifs 1 ou dominant 0 sont définis (Figure 94).

2.3.7.4. Communication sur le bus CAN

La gestion du bus CAN s'effectue souvent à partir d'une structure maître/esclave, composée d'un équipement maître et d'un (ou de plusieurs) esclave(s).

Le maître assure les fonctions suivantes :

- initialisation des esclaves ;
- supervision des esclaves ;
- communication des états des esclaves.

Un élément maître du réseau coordonne les éléments esclaves. Dans ce cas, le protocole CANopen autorise chaque nœud à démarrer la transmission d'une trame quand le bus est au repos. Si deux ou plusieurs nœuds démarrent la transmission de trames au même instant, le conflit d'accès au bus est résolu par un arbitrage, utilisant l'identificateur inclus dans la trame.

En effet, l'émetteur qui a l'identificateur de plus haute priorité obtient l'accès au bus. Les trames des autres émetteurs sont automatiquement retransmises ultérieurement. Cet arbitrage utilise un état récessif et un état dominant sur le bus et est exécuté à la transmission de chaque bit.

Lors de l'arbitrage bit à bit, dès qu'une station émettrice se trouve en état récessif et détecte un état dominant, elle perd la compétition et arrête d'émettre. Tous les perdants deviennent automatiquement des récepteurs du message et ne tentent à nouveau d'émettre que lorsque le bus se libère.

Chaque émetteur teste l'état du bus durant la transmission de ses bits si un bit récessif est transmis et que le bus soit dans un état dominant, l'émetteur perd la main et la transmission est arrêtée.

En conséquence de ce principe, durant la transmission de chaque bit, un signal transmis a le temps de se propager jusqu'au nœud le plus lointain, et revient dans un état dominant.

C'est ainsi que, différentes limitations de longueur en fonction de la vitesse de transmission sont définies pour ce bus (*Tableau 21*).

Tableau 21 : Recommandations de longueur maximum en fonction du débit utilisé

Débit	Longueur Bus
1 Mbit/s	25 m
800 Kbit/s	50 m
500 Kbit/s	100 m
250 Kbit/s	250 m
125 Kbit/s	500 m
50 Kbit/s	1000 m
20 Kbit/s	2500 m
10 Kbit/s	5000 m

La vitesse de transmission peut atteindre 1 Mbit/s pour une longueur de bus de 25 m.

2.3.7.5. Format de la trame CANopen

Une trame de données CANopen commence par 1 bit dominant SFO (Start Of Frame), qui permet la resynchronisation des nœuds puis, elle est suivie d'une trame d'arbitration (*Figure 95*).

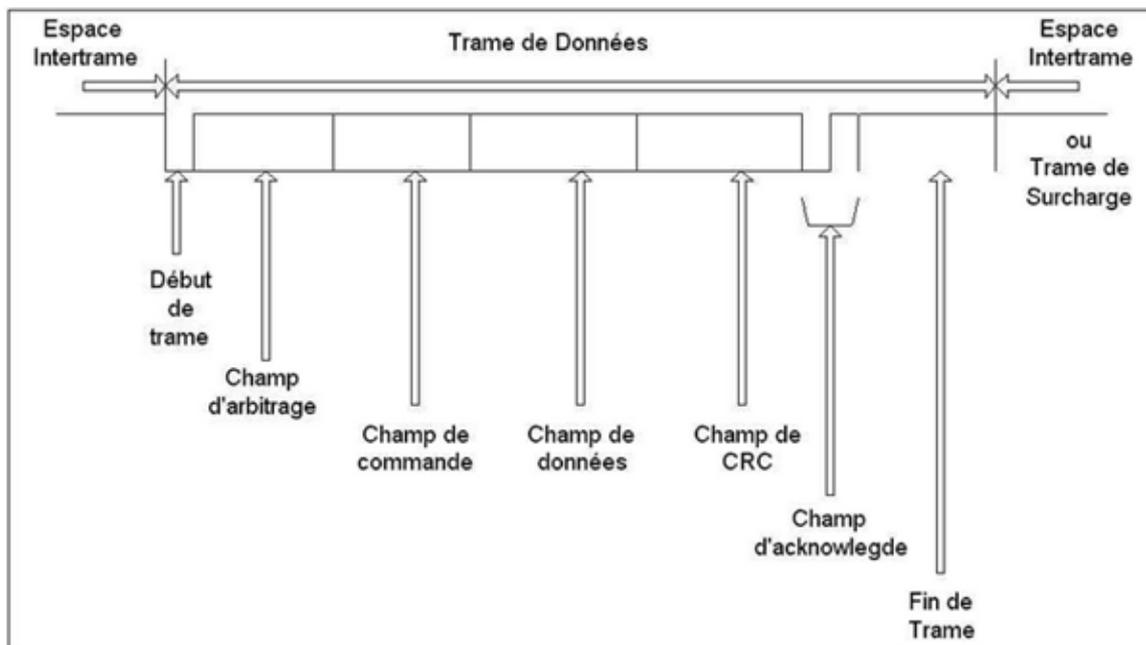


Figure 95 : Format de la trame sur le bus CAN

La suivante, contient le champ de commande, suivie de celle du champ de données. Après le champ de données vient le Cyclic Redundancy Check (CRC), qui est utilisé pour détecter une éventuelle erreur de transmission. Puis, viens le champ d'acquiescement et enfin, le champ de

fin de trame EOF (End Of Frame). A chaque champ correspond un nombre de bit précis (Tableau 22) :

Tableau 22 : Les champs avec ses valeurs de bits

Le champ de SFO	1 bit dominant
Le champ de contrôle	6 bits
Le champ de CRC	16 bits
Le champ de EOF	7 bits récessifs
Le champ d'arbitrage	12 bits
Le champ de données	0 à 64 bits
Le champ d'acquiescement	2 bits

Des erreurs de transmission peuvent venir perturber le bon fonctionnement des différents appareils connectés sur le bus, lors de l'émission d'une trame. Les causes de ces erreurs peuvent être multiples et conduire à empêcher le réseau de fonctionner correctement. Dans ce cas le protocole peut définir des méthodes de détections d'erreurs [72].

Pour conclure cette partie sur le bus CAN et le protocole CANopen, on peut décrire cette solution de communication comme une solution standard, reconnue et couramment utilisée aujourd'hui pour des systèmes en automatisation industrielle.

En matière de gestion d'axes motorisés, cette technique de communication a fait aujourd'hui ses preuves et comme le montrera l'architecture de l'automatisation de notre machine, nous l'avons largement mise en place dans notre machine. D'autres applications comme la gestion d'entrée /sorties décentralisées utilisent cette communication CANopen.

Dans le domaine du Motion (gestion d'axes motorisés), l'usage d'un contrôleur de mouvement peut faire appel à une connexion CANmotion. Ce principe est développé au sein des contrôleurs de mouvement développés par la société Schneider Electric.

2.3.7.6. Connexion CANmotion

Les contrôleurs de mouvement développés par la société Schneider Electric sont constitués d'une connexion CANmotion. Le bus CANmotion est un bus dédié à la communication entre divers variateurs de vitesse (de la gamme fabricant, *Figure 96*) connectés principalement en chaîne (chainage des variateurs) pour permettre une commande de mouvement synchronisée.

Il s'agit d'un CANopen synchronisé sur un top synchro afin de garantir une périodicité des échanges. CANmotion est un type de paramétrage et d'utilisation de CANopen. Il reste basé sur le même mécanisme d'échanges et les mêmes normes.

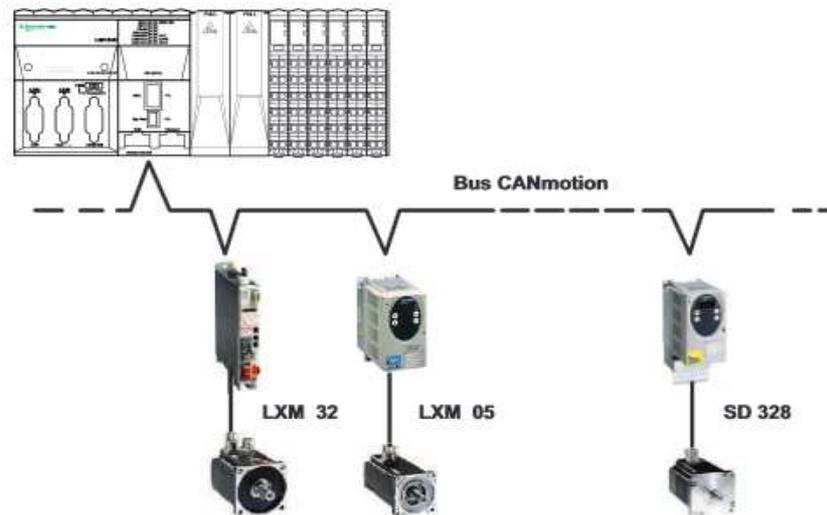


Figure 96 : Développement d'un bus CANmotion autour d'un contrôleur de mouvement [50]

Le principe de la connexion CANmotion est d'utiliser le bit de synchro du bus pour gérer les échanges avec les variateurs de manière cyclique et à des intervalles de temps le plus court possibles. Selon Schneider Electric, les performances du contrôleur de mouvement permettent de synchroniser, par exemple, quatre axes motorisés en 2 ms ou huit axes en 4 ms.

Ce même bit de synchro lance en parallèle la tâche de calcul dans le contrôleur.

Il permet grâce à l'utilisation de l'outil de programmation du contrôleur de synchroniser différents axes par le biais d'éditeurs de cames électroniques. Cette communication CANmotion sera spécifiquement employée dans la commande de notre machine.

2.3.8. L'introduction davantage des actionneurs électriques dans les SAP

L'introduction davantage d'informatique et de composants électroniques programmables dans les appareils de pilotage d'actionneurs électriques conduit à l'obtention de dispositifs plus performants, rapides et plus flexibles que d'autres types d'actionneurs (pneumatiques ou hydrauliques).

Le choix technologique retenu pour la mise en mouvement des mécanismes de la machine s'est orienté vers l'emploi d'actionneurs électriques de type servomoteurs Brushless.

2.3.9. L'introduction des servomoteurs Brushless dans les SAP

Les premiers concepts de pilotage des moteurs électriques remontent aux premiers principes d'automatisme mise en œuvre. Ces concepts de pilotage se résumaient à des commandes TOR (Tout Ou Rien) des préactionneurs (relais de puissance ou contacteurs) mettant sous énergie les actionneurs électriques. Les contraintes de commande (en vitesse et en couple) sollicitées par les applications industrielles en général ont modifié les principes de pilotage. Cette modification est effectuée par l'introduction dans le pilotage de variateurs de vitesse pour modifier le point de fonctionnement. La construction de ces variateurs de vitesse a fait suite aux développements des convertisseurs statiques en électronique de puissance. Tout d'abord à commande analogique par un signal de tension, ils sont devenus très rapidement numérique avec l'introduction dans ceux-ci de davantage d'informatique industrielle, d'interface de dialogue opérateur et de bus de communication.

L'utilisation de ce genre de produit a conduit à la gestion dite d'axe numérique. Les applications industrielles modernes peuvent nécessiter la présence de plusieurs motorisations, on aboutit alors à la commande dite multi-axes. Et pour certaines applications, les axes doivent être synchronisés (ce qui est le cas de notre machine).

Dans les schémas d'automatisation, le principe de pilotage de ces nouveaux types d'actionneurs et leur contrôle a conduit à la définition de nouveaux principes comme la commande d'axe ou de mouvement (Motion Control).

2.3.10. Développement des capteurs

Dans le cadre des automatismes, les plus utilisés sont les capteurs de détection de position notamment dans les axes en mouvements. Ils peuvent être à contact (à galet) ou sans (optique, capacitif, inductif, magnétostrictif,...). Ainsi que ils peuvent être de type TOR (le signal qu'ils transmettent est plutôt numérique 0 V- 24 V) ou analogique (le signal compris entre deux valeurs de tension image d'une grandeur physique qui est caractérisée par une constante).

En ce qui concerne l'usage de détecteurs électroniques (employant des circuits électroniques de détection), les contacts de sortie peuvent être de type électronique (à transistors), dans ce cas, 4 bornes sont à disposition (2 pour l'alimentation du circuit de détection et 2 pour le contact de sortie).

Selon l'organisation interne du circuit électronique d'un détecteur électronique (*Figure 97*), ce nombre peut être ramené à 3.

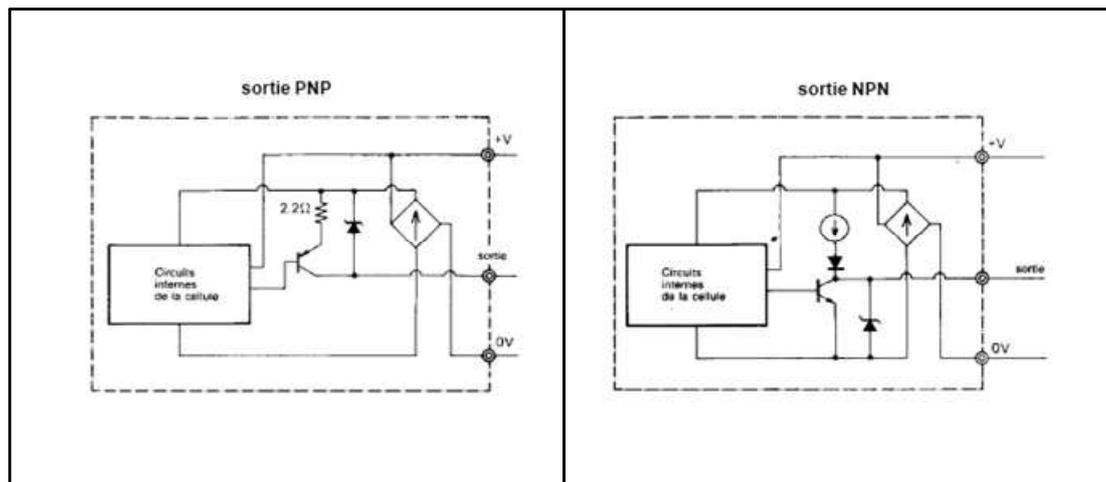


Figure 97 : Capteurs 3 fils à sortie transistor

En effet, dans le cas d'un capteur 3 fils, l'une des bornes de l'alimentation du circuit de détection est reliée à une borne du contact de sortie du capteur, entraînant la mise à disposition que d'une seule borne parmi ces deux à l'extérieur du capteur. Cela peut être le potentiel +Vcc ou bien le 0V qui est dans ce cas utilisé en doublon. Cette configuration se traduit par l'usage interne au capteur, d'un transistor de type PNP ou NPN pour un étage de sortie électronique.

Le choix de l'une ou l'autre des technologies est liée à la logique d'Entrée adoptée sur les automates sur lesquels sont raccordés ces capteurs. On parle alors de logique positive si le +V est ramené sur l'entrée ou bien Négative si c'est le 0V qui est rapporté.

Certains capteurs peuvent être à deux fils, du fait de l'organisation interne du circuit électronique du capteur.

Comme il l'a été rappelé dans le cadre du concept CIM, ces capteurs sont connectés par le biais d'un bus de capteur ASI de niveau 0. L'information des capteurs est transportée vers l'unité de traitement de l'automatisme (l'API). Il apparaît une automate spécifique dédié au recueil des informations (l'automate déporté) en provenance des capteurs et communiquant via un bus de niveau 1 avec l'unité de traitement.

2.3.11. Développement d'automate décentralisé ou déporté

La configuration d'une machine fait intervenir la présence de plusieurs capteurs. L'ensemble des informations en provenance de ces capteurs sont ramenés sur l'API. Afin de réduire le volume filaire transitant de l'API, une technique de décentralisation des Entrées / Sorties a été

développée sous forme de l'utilisation d'un automate déporté (ou décentralisé) dédié à la centralisation des capteurs.

2.3.12. Développement d'automates modernes

Le développement des API a suivi également les avancées et les progrès en matière technologique depuis leur apparition, fin des années 60. Leur programmation initiale s'effectuait à base de console de programmation (ou terminal) propriétaire. Dès les années 80 des logiciels de programmation implantés dans les *Personal Computer* ont amélioré sensiblement la façon de les programmer. Tout d'abord propriétaire (comme leur matériel), ces logiciels ont évolué vers une certaine standardisation de leur environnement de la programmation.

Les architectures à microprocesseurs sur lequel s'appuient les automates ont également fortement évoluée comme celle des PC, permettant d'obtenir des automates rapides, à mémoire importante, un nombre d'entrées /sorties importantes et une communication distante. De plus l'apparition des principes modernes d'automatismes que nous avons rappelés au début de ce chapitre (contrôle de moteurs, communication réseaux,...) depuis une quinzaine d'année (dont ils sont chargés de gérer et de mettre en pratique) fait apparaître , clairement, un saut technologique. C'est ainsi que dans le jargon des automatismes, le terme de contrôleur à commencer à apparaître de plus en plus, pour décrire ce genre d'appareil, remplaçant terme le automate. Ce terme vient de l'acronyme anglo-saxon, PLC (Programmable Logique contrôleur). Depuis, les fabricants emploient de plus en plus ce terme. Dans le langage courant le terme d'automate persiste.

Il est apparu depuis environ une dizaine d'année, une solution matérielle concurrentielle à la structure initiale du PLC : le PAC (Programmable Automation Controller).

Il s'agit d'un automate qui se distingue de son prédécesseur en s'intégrant dans les périphériques des architectures des PCs. En effet, dans ce cas, le PC ne se limite plus à l'édition du programme mais réalise la fonction automate. La présence de deux ou plusieurs microprocesseurs dans les PCs conduisent à utiliser ceux-ci et d'obtenir des automates intégrés au PC. Ce terme PAC a été introduit par l'ARC Advisory Group en 2001.

Les fabricants de ce type de produit développent juste les interfaces de connexion des PCs avec les automatismes environnant. C'est le cas par exemple de la solution NI CompactDAQ développée par la société National instrument [73]. Dès lors est apparue une concurrence

entre les deux solutions matérielles sur le marché, où chacun défend son approche matérielle choisie.

Du point de vue résultat, la différence entre le PLC et le PAC est très minime [74]. Elle est seulement liée à la performance de l'outil et au coût de développement. Les utilisateurs doivent garder à l'esprit cette différence en choisissant la solution pour leurs développements. Les fabricants d'automatismes proposent des solutions matérielles faisant appel de plus en plus au PC, ce qui réduit d'autant plus la barrière entre PLC et PAC. C'est ainsi que du point de vue de la référence commerciale de leur produit il utilise de manière ambiguë le terme PAC lors de l'arrivée sur le marché de leurs derniers appareils. Tout cela n'est pas pour éclairer les utilisateurs.

Notre choix s'est orienté vers la solution conventionnelle avec l'utilisation d'un contrôleur au sens du PLC.

Sur le marché, on peut trouver deux types de contrôleurs : Les contrôleurs logiques et les contrôleurs de mouvement. Les premiers permettent de mettre en application les principes d'automatismes modernes à l'exception de la commande d'axe, où ceux-ci ne sont pilotés qu'indépendamment. Pour les contrôleurs de mouvement, souvent utilisés en robotique, le mouvement des axes peut être mis en place avec une synchronisation entre chacun d'entre eux ou avec un axe maître. Ce dernier cas illustre notre cas de figure. Nous emploierons donc ce genre d'appareil pour la gestion des divers mécanismes de la machine.

Pour terminer cet aspect sur les automates modernes, rappelons qu'il tient aux différents interlocuteurs d'apprécier la définition des termes qu'ils peuvent employer pour décrire le genre d'appareils qu'ils utilisent. Dans le langage parlé la confusion est très courante il s'agit là d'une forme interprétation laissée à l'appréciation des utilisateurs.

2.3.13. Développement d'outils de dialogue

Le domaine des outils de dialogue de l'opérateur avec la machine a subi également de nombreuses modifications au cours du temps, et a suivi l'évolution du développement des NTICS et des divers progrès obtenus dans les types d'écran de dialogue fabriqué, passant notamment du type d'écran à tubes cathodiques (très encombrants) aux écrans plat à LCD, ou à technologie Led, similaire aux avancés connues sans le secteur de la TV, de la téléphonie, ou encore de la microinformatique. Ils sont aujourd'hui devenu compacts, interactifs, tactiles et aux interfaçages multiples [75]. Les outils de dialogue permettent de conduire des

processus à distance (Mise en marche, arrêt, choix de mode de fonctionnement, paramétrage de consignes, etc.) et d'apporter des surveillances à distances de la machine en visualisant l'avancement d'un processus, l'état d'un capteur, la valeur d'une grandeur physique, ou encore un actionneur en pleine activité, sous formes littéral, graphique, affichage numérique,...

Des outils logiciels associés à ces écrans permettent de configurer des fenêtres de dialogues au format adapté au confort de l'utilisateur. Ce confort ayant été amélioré depuis l'apparition des écrans tactiles, sur lesquels l'opérateur agit simplement par rapporte à l'utilisation d'un pupitre à boutons à l'origine.

La communication des outils de dialogue avec un API s'intègre pleinement dans la décomposition traduite par la pyramide CIM et cela au niveau 2, soit au niveau de la supervision. Un réseau comme l'Ethernet et le protocole TCP/IP est courant d'emploi à ce niveau.

2.4. Synthèse des principes d'automatismes modernes

Les différentes évolutions du point de vue matériel permettent de définir les principes d'automatisation moderne que l'on rencontre dans tout SAP d'aujourd'hui.

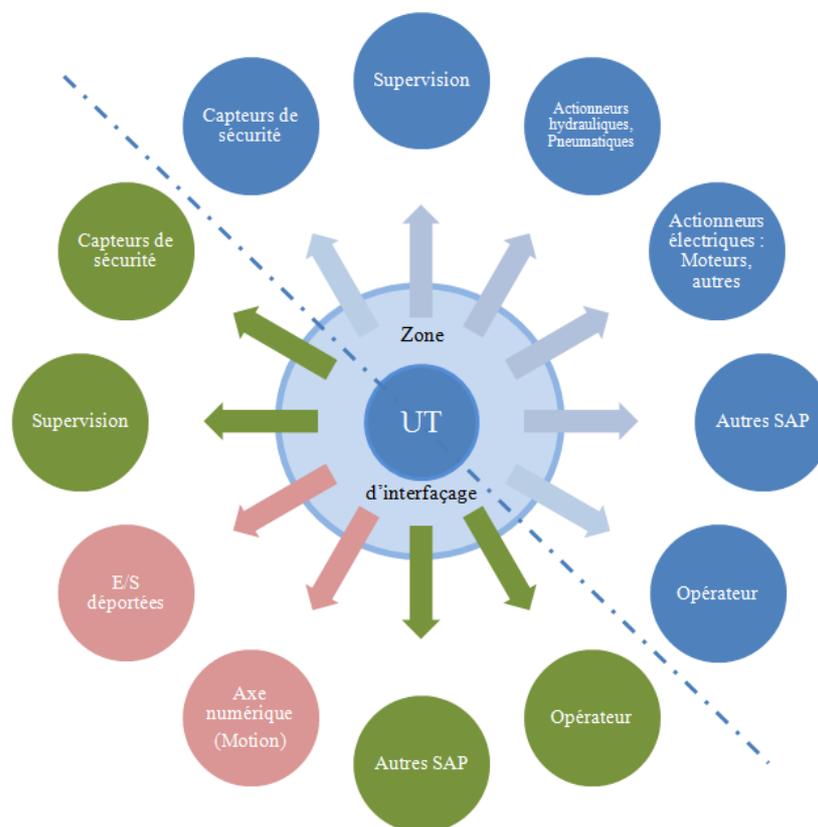


Figure 98 : Principes modernes d'automatismes

La *Figure 98* montre deux parties, la partie inférieure présente les nouveaux principes. En revanche la partie supérieure montre les principes de bases établis initialement qui sont toujours possibles mais réalisés avec des technologies récentes.

Après avoir identifié tous ces différents concepts présents dans les automatismes modernes, la mise en place de ceux-ci conduit à une structure architecturée des SAP modernes où chaque principe est identifiable.

3. Architecture du pilotage automatisé de la machine à tisser

L'identification des différents principes nous permet d'aboutir à l'élaboration d'une structure ou d'une architecture de pilotage des divers automatismes au sein de notre machine.

Afin de décrire l'automatisation de notre machine, nous proposons de l'illustrer au moyen de la *Figure 99*.

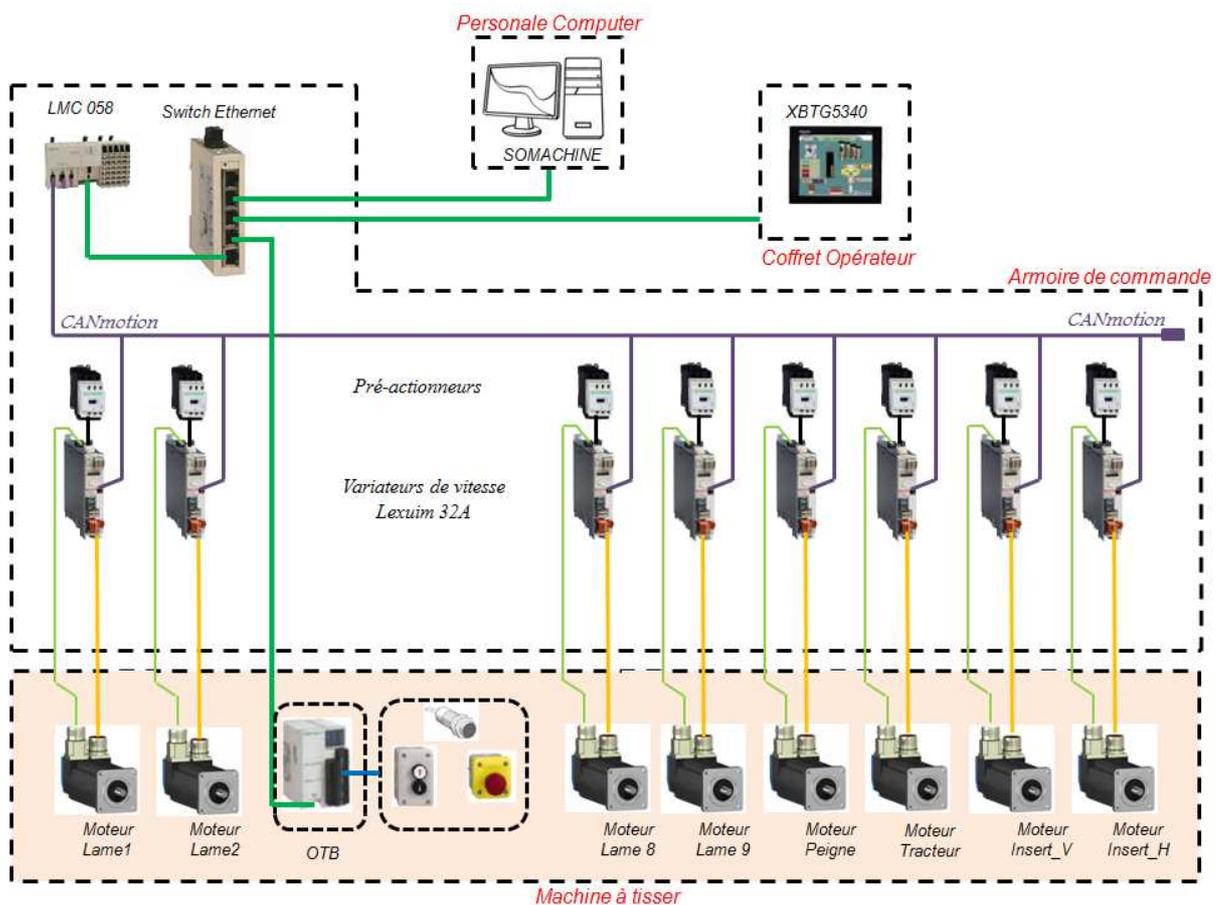


Figure 99 : Architecture de pilotage de la machine à tisser

On peut décomposer l'ensemble en quatre parties :

- le châssis de la machine où sont implantés les capteurs, les boutons de commande, les actionneurs, l'automate déporté,..... ;
- l'armoire de commande où sont implantés les préactionneurs, les variateurs de vitesse, les organes de sécurité, le contrôleur, le réseau CANopen, la Switch Ethernet,... ;
- le coffret opérateur (contenant l'Interface-Homme-Machine) ;
- le microordinateur (pour la programmation ou le suivi du processus).

Une majeure partie de cette structure met en évidence le principe du Motion Control, où le contrôleur doit gérer le fonctionnement de plusieurs axes, par le biais d'un bus CANmotion. La gestion des capteurs par un automate déporté, ainsi que les divers dialogues apparaissent clairement. Pour des raisons de clarté, la protection des départs et les différents circuits de commande des préactionneurs n'ont pas été représentés ici. On voit bien le rôle important que va assurer le contrôleur au sein de l'architecture. Avant de rentrer plus en détail dans l'automatisation de notre machine et achever cette partie introductive dédiée à la présentation des automatismes en général, et nous nous proposons de revenir sur la programmation des API (ou des PAC), éléments essentiels à la mise en place de tels appareils dans les systèmes automatisés.

4. Programmation des API

La programmation d'un automate est la façon d'intégrer le cahier des charges à la machine, mais cela dans un langage compréhensible par les divers composants d'automatisme. Aujourd'hui la barrière entre le programmeur et ces divers composants est devenue importante.

Les fabricants de ces automates développent des outils logiciels abordables par n'importe quel utilisateur de différents niveaux ou compétences. Chacun s'appuie sur des modes de représentation destinés à décrire grossièrement le fonctionnement d'un système automatisé. La tâche de l'utilisateur se limite à la connaissance et la manipulation de ses modes de représentation. Le lien entre les langages est les composants électroniques programmables de la machine se faisant en toute transparence pour utilisateur.

En effet, plusieurs modes de représentations ont été développés (Schéma électrique, Ladder, grafset, langages informatiques.....), qui pouvaient être littéraux, graphiques ou sous formes de langages structurés. Ajouté à cela, chaque fabricant d'automates développait son propre

outil logiciel adapté à son produit. Le développement des automates a conduit à une multitude de produits mise à disposition sur le marché. De l'ordre et certaine uniformisation ont dû être nécessaire afin de rassurer les utilisateurs.

Tout d'abord, une certification des outils utilisés par les automaticiens a permis de reconnaître certains d'entre eux pour la programmation des automates et d'en exclure les autres (Normes IEC. Une programmation pouvant toutefois faire intervenir une mixité dans l'emploi de ces outils au sein d'un même logiciel et cela pour le confort de l'utilisateur.

Par la suite, et notamment dans le cadre de la programmation des PACs, une certaine uniformisation est instaurée dans la structure des logiciels, afin de ne pas trop perturber les utilisateurs passant d'un produit à l'autre. Apparition du standard Codesys.

Enfin, certains développeurs informatiques ont mis sur le marché des logiciels universels de programmation (IRAI, CADEPA,.....), destinés à la programmation d'un automate virtuel (simulation) et grâce à un post-processeur matériel (adapté à l'automate pratique et développé avec le fabricant d'automate) permet de programmer l'automate en pratique.

Le contrôleur LMC058 utilisé dans la commande de notre machine est programmé au moyen de l'interface logicielle Somachine. Il fait appel à un standard de programmation type CODESYS et s'appuie sur les langages de la norme IEC.

5. Langages Norme IEC 61131-3

La norme CEI 61131-3 (intitulée : Automates programmables - Partie 3 : Langages de programmation) [76], définit, cinq langages qui peuvent être utilisés pour la programmation d'applications d'automatisme [77]:

- SFC (sequential function chart) : issu du langage GRAFCET, ce langage permet la programmation aisée de tous les procédés séquentiels;
- FBD (Function block diagram, ou schéma par blocs) : ce langage permet de programmer graphiquement à l'aide de blocs représentant des variables, des opérateurs ou des fonctions. Il permet de manipuler tous les types de variables;
- LD (ladder diagram) : ce langage graphique est essentiellement dédié à la programmation d'équations booléennes ;

- ST (structured text) : ce langage est un langage textuel de haut niveau (dérivé du Pascal). Il permet la programmation de tout type d'algorithme plus ou moins complexe;
- IL (instruction list) : ce langage textuel est un langage de bas niveau (proche langage machine) à une instruction par ligne. Il peut être comparé au langage assembleur.

Chaque fabricant d'automates (ou contrôleurs) développent des outils de programmation utilisant ces langages de programmation, reconnus dans le monde industriel. Il s'agit de langages de représentation qui traduisent le fonctionnement combinatoire ou séquentiel d'un système et sur lesquels s'appuie le programme d'un automate ou d'un contrôleur.

6. Standardisation CODESYS

Le nom CODESYS signifie COntroller DEvelopment SYStem. Il s'agit d'un outil de développement (logiciel) indépendant du matériel, créé en 1994 et développé par la société allemande 3S-Smart Software Solutions. Il constitue l'option pour l'utilisateur la plus simple et la plus accessible en matière de programmation d'automates programmables et de contrôleurs quelques soient le type ou le marque de matériel utilisé.

Son environnement de travail a su séduire les utilisateurs et de nombreux fabricants de matériel s'en sont inspirés pour le développement de logiciel de programmation des API à tel point qu'il est devenu le standard sur le marché des outils de programmation neutres selon la norme CEI 61131-3.

Le premier avantage pour l'utilisateur est, que s'il vient à utiliser du matériel différent, il a l'impression de travailler dans un même environnement bien que le matériel et le logiciel soit développé par des fabricants différents.

Cet outil se décompose en deux parties : le système de programmation CODESYS et le moteur d'exécution CODESYS SP, qui permet ensuite d'adapter le programme à différents types d'automates ou contrôleurs.

De nombreux fabricants utilisent CODESYS comme interface de programmation pour leurs composants d'automatisme et intègrent CoDeSys dans leurs produits, mais les commercialisent sous un autre nom. C'est le cas en outre de Schneider Electric pour la plateforme logicielle Somachine.

7. Somachine

Somachine est la solution logicielle développée par Schneider Electric [78], permet de concevoir, mettre en œuvre et entretenir des machines dans un environnement d'un logiciel unique. En effet, un seul logiciel est utilisé pour programmer, à la fois, le contrôleur, l'IHM et les équipements à distance. Il intègre l'outil Vijeo designer pour la programmation d'IHM.

Dans notre cas, Somachine se décomposera en trois parties :

- la configuration de l'application (la définition de la structure matérielle, type de contrôleur, variateurs, IHM,...) ;
- le programme principal ;
- la programmation de l'IHM.

Le programme principal est composé d'un ensemble de variables associées pour réaliser le fonctionnement souhaité et les regrouper dans des Unités Organisationnelles de Programme (POU). Ces unités doivent être ajoutées dans les tâches *MAST* de l'application.

La programmation des POU peut être réalisée à partir des langages issus de l'IEC 61131-3 ou d'un langage supplémentaire: le Continuous Function Chart (CFC), qui est un langage semblable aux boîtes fonctionnelles utilisées dans le FBD.

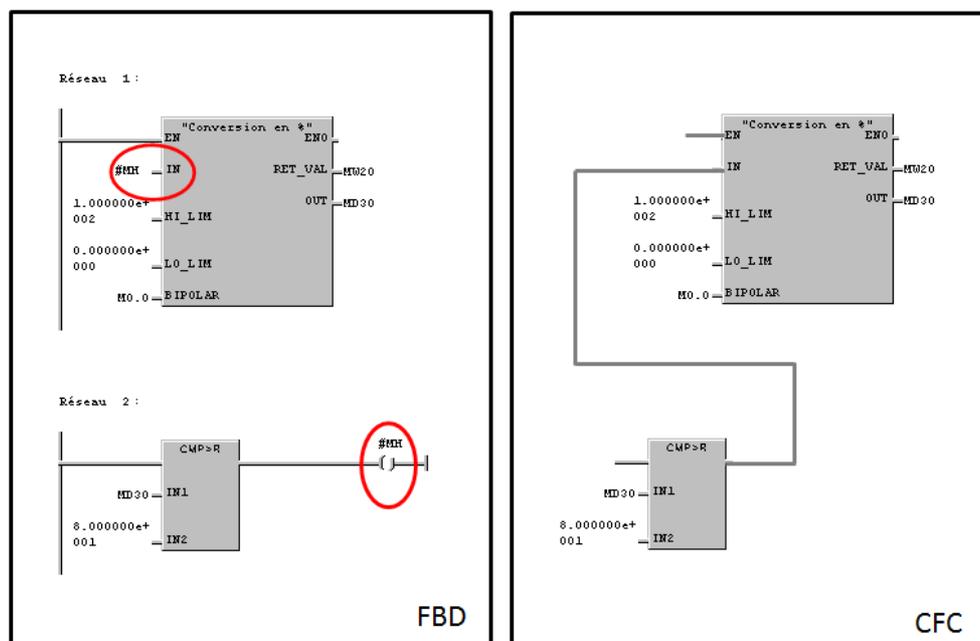


Figure 100 : Exemple de Programme en FBD/CFC.

Dans le cas de FBD, la programmation s'organise en plusieurs et différents réseaux, dans lesquels sont utilisés des blocs fonctionnels. L'interaction entre chaque réseau nécessite l'emploi de variables intermédiaires dans un réseau et rappelable dans d'autre (variable #MH sur *Figure 100*).

Contrairement, à l'éditeur FBD, les boîtes (ou blocs) fonctionnelles (utilisées dans un programme édité en CFC, se placent librement à l'écran sur la même page et ainsi permettent de réaliser des contre-réactions d'un bloc à l'autre sans faire appel à des variables intermédiaires. Le CFC est particulièrement approprié pour réaliser une programmation compacte ou pour afficher un aperçu général, d'une application (complète ou partielle), car elle est définie sur une même page.

Le programme du contrôleur utilisé dans notre machine s'appuiera fortement sur l'usage des langages CFC, LD ou SFC.

8. Vijeo Designer

Vijeo Designer est un logiciel développé par Schneider Electric [79], qui permet la configuration et la programmation d'IHM tactile. Cette programmation permet de développer des pages écrans où l'opérateur peut interagir avec la machine.

La liste des éléments programmables au sein de l'IHM est importante. Nous donnons ci-après, un bref aperçu des principaux éléments qui ont pu être utilisés dans la programmation de l'IHM de notre machine.

L'interaction de l'opérateur sur la machine se matérialise par la mise en place de bouton écran. Ces boutons peuvent être associés à :

- des variables échangées avec le contrôleur de notre machine (ordre de marche/arrêt, autorisation lecture de capteurs de sécurité, choix de cycle de fonctionnement, autorisation mise sous puissance des variateurs Lexium 32A, lancement de profil de came électronique, etc...);
- des afficheurs peuvent être utilisés pour indiquer des valeurs de grandeurs (vitesse ou déplacement des lames ou des axes linéaires), ou permettre à l'opérateur de régler des paramètres (consignes de vitesses, choix de l'axe à piloter en marche manuelle, etc...);

- des voyants écrans permettent de visualiser l'état de variables (capteurs de sécurité, origine, etc...).

Le couplage entre Somachine et Vijeo Designer permet à l'utilisateur de disposer d'un outil environnement unique de programmation. La déclaration des variables d'échange avec l'IHM dans Somachine permet de définir l'interaction des éléments graphiques programmés dans Vijeo Designer et le programme Somachine.

9. Conclusion

Nous venons de resituer le cadre de l'automatisation des machines modernes avec le développement d'architecture (ou de structure) typiquement rencontrée dans le monde industriel d'aujourd'hui, faisant appel à des outils communicants, à des solutions matérielles performantes, ainsi qu'à des moyens de développement rapides et efficaces de ces machines, de moins en moins énergivores (aspect que nous n'avons pas vraiment abordé dans notre étude).

Ces solutions s'appuient sur l'intégration des divers principes d'automatisme que nous avons rappelés, ainsi que la normalisation des langages de représentation, des protocoles de communication, des environnements de programmations,....

C'est ainsi que, nous nous sommes attachés à développer notre machine à partir de produits issus d'un fournisseur respectant ces normalisations. De là, nous sommes arrivés à définir logiquement la structure de notre automatisation pour notre machine à tisser et rappeler les outils employés pour la mise en place des outils programmables (Contrôleur et IHM) utilisés dans notre machine.

Le chapitre suivant est consacré à la description de l'automatisation de notre machine à tisser avec la présentation et la justification matérielle des différentes composantes qui la constituent, en évoquant leur implantation.

Chapitre V

Automatisation de la machine à tisser

1. Introduction

L'automatisation de la machine à tisser concerne la mise en pratique des divers principes d'automatisme, qui permettent de gérer les différents mécanismes lors du cycle de tissage.

Après avoir rappelé les “principes d'automatismes”, nous sommes arrivés à définir la structure d'automatisation des machines modernes sur laquelle s'appuie l'architecture de la machine. Nous allons maintenant justifier l'emploi et les conditions de mise en œuvre de chaque composante rencontrée dans cette structure. Pour cela nous nous appuyerons sur les caractéristiques de chacune, les données “constructeurs” où nous nous situerons par rapport aux besoins au sein de la machine. Nous aborderons tout d'abord l'aspect motorisation des mécanismes qui, avec le contrôleur, l'automate déporté ou encore l'outil de dialogue, sont les composantes principales de notre structure d'automatisation.

2. Justification des motorisations employées

Lors du chapitre 3, nous avons présenté les différents axes de la machine à tisser qui devront être motorisés (lames, peigne, double axe de l'insertion et tracteur). Le choix des servomoteurs s'est fait à partir du système de lames, qui était le plus complexe à mettre en place.

2.1. Choix de la motorisation pour le système de formation de la foule

2.1.1. Choix du servomoteur

Notre choix s'est orienté vers des servomoteurs synchrones type BSH (Brushless), développés par la société Schneider Electric. De plus, cette société a développé un contrôleur adapté à la gestion des axes synchronisés comme le nécessite notre application.

Dans un premier temps, il est nécessaire de calculer la puissance mécanique requise pour dimensionner le moteur.

La motorisation utilisée doit pouvoir offrir la puissance mécanique, notée P_{um} , nécessaire à l'entraînement du pignon. Le calcul de cette puissance fait intervenir le couple utile du moteur, noté C_{um} , qui devait être au moins égal au couple résistant calculé de 0,72 Nm (*Tableau 15*) et la vitesse de rotation N_p de 4,965 tr/min, selon la relation suivante :

$$P_{um} = C_{um} \times \Omega_p = C_{um} \times 2 \times \pi \times N_p \quad (IV-1)$$

Avec :

P_{um} : puissance mécanique utile du moteur (W);

C_{um} : couple utile du moteur (Nm);

Ω_p : vitesse angulaire mécanique (rad /s) ;

N_p : vitesse de rotation (tr/s).

L'application numérique de l'équation (IV-1) permet de déterminer une puissance mécanique d'entraînement de 0,374 W. Il ressort de ce calcul un moteur de type BSH0551 ou BSH0552 [80].

Selon les tensions d'alimentation appliquées aux moteurs, les vitesses nominales des servomoteurs varient entre 1000 tr/min et 8000 tr/min (*annexe 6*).

L'emploi d'un moteur BSH0553 (dont le couple nominal est de l'ordre de 1,1 à 1,14 Nm selon les tensions d'alimentation appliquées au moteur) serait plus adapté dans ce cas, si on se référait au seul critère du couple nécessaire.

La vitesse de déplacement des lames de la machine est relativement faible au vu de ces valeurs de vitesse du moteur. Néanmoins, la particularité de ces moteurs "Brushless" est de fournir le couple nominal pour une plage de vitesse partant d'une valeur nulle à la vitesse nominale importante (de l'ordre de 8000 tr/min) et d'avantage pour des couples plus faibles (*Figure 25*).

L'une des conditions requises lors de l'édition du cahier des charges de notre machine était d'avoir une certaine flexibilité dans le réglage des paramètres, tel que celui de la vitesse de déplacement des lames. Dans ce cas, pour profiter d'une vitesse, d'une plage de vitesse utile plus importante et d'une meilleure précision sur le réglage, il n'est pas désintéressant d'utiliser un réducteur de vitesse.

Nous avons finalement utilisé un réducteur de vitesse en sortie du servomoteur avec un ratio donné. A puissance de transmission égale (pertes minimales), on disposera alors d'un couple en sortie plus important dans le ratio inverse des vitesses.

Parmi les autres conséquences, on peut observer que lors d'un maintien à l'arrêt des lames le couple d'arrêt développé par les moteurs sera beaucoup plus important, ce qui permettra de bien stabiliser les lames. C'est également intéressant du point de vue thermique du moteur, on

pourra limiter les échauffements supplémentaires dus à la forte charge. En effet, la chaleur étant un paramètre critique à la tenue de l'aimantation des aimants du moteur, un emballement thermique pourrait diminuer l'aimantation et donc altérer les caractéristiques couple et vitesse. La rotation du moteur assurerait une certaine ventilation à l'intérieur des moteurs limitant cet emballement thermique.

Pour choisir le réducteur de vitesse associé à un servomoteur de type BSH0551, nous nous sommes basés sur les caractéristiques données au *Tableau 23*. Le choix de ce réducteur est assez limité du fait des dimensions de la bride moteur sur laquelle vient se monter le réducteur, qui limite la taille des réducteurs et donc a posteriori, le ratio.

Tableau 23 : Caractéristiques des réducteurs associé au BSH0551

Type of servo motor	Gear ratio										
	3:1 4:1	5:1	8:1	9:1	12:1	15:1 16:1	20:1	25:1	32:1	40:1	
BSH 0551	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060	GBX 060

Le choix d'un ratio de 40 donne un couple d'entraînement largement suffisant de l'ordre de 20 Nm et une vitesse de l'ordre de 200 tr/min.

Le motoréducteur choisi est donc l'association d'un moteur BSH 0551 et d'un *GBX0600400551F*.

Afin de compléter la référence du servomoteur, nous avons choisi d'utiliser le moteur à vitesse moyenne (P), avec clavetage (3) et équipé d'un capteur de position de type sin/cos (1) Absolu Singleturn. Ce type de capteur renvoie deux signaux sinusoïdaux décalés de 90° permettant d'obtenir une lecture absolue de la position (sur un tour, Single turn) au sein du servovariateur pour asservir le moteur Brushless (*annexe 7*).

Le poids de l'ensemble des lames étant relativement faible, nous n'avons pas jugé utile d'employer un frein (A). Enfin l'option de connecteurs tournants en angle droit (2) a été choisie pour faciliter le positionnement des câbles moteurs et des capteurs sin/cos. La fixation est envisagée selon le standard international (A).

La référence complète du servomoteur est donc : *BSH0551P31A2A* (*Figure 101*).



Figure 101 : Servomotoréducteur BSH0551P31A2A

Les principales caractéristiques de ce moteur sont un couple nominal de 0,5 Nm pour une vitesse nominale de l'ordre de 4000 tr/min.

La Figure 102 illustre le comportement couple/vitesse de ce moteur lorsqu'il est associé à un variateur de vitesse de type LXM32•U60N4.

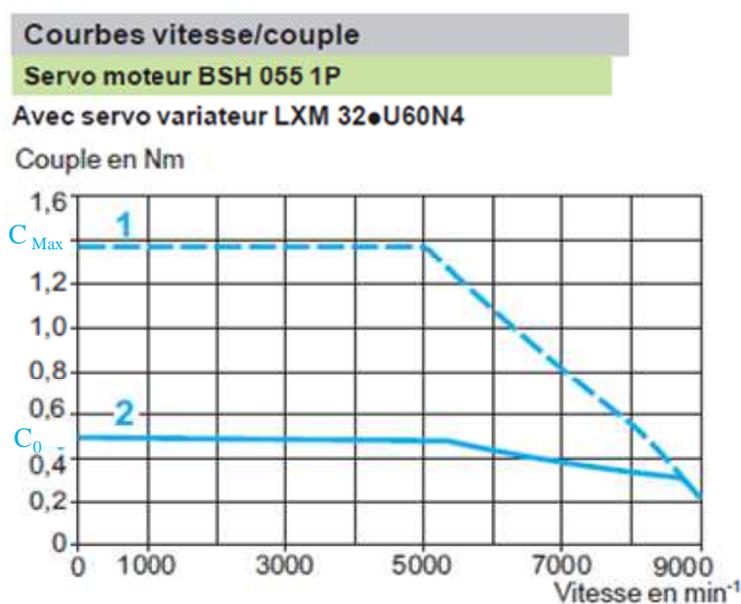


Figure 102 : Caractéristique couple / vitesse du BSH0551P31A2A

2.1.2. Choix du servovariateur

Ce choix nécessite de répondre aux critères suivants :

- choix de l'interface de communication : le contrôleur utilisé pour la gestion des axes motorisés de notre machine, permet la synchronisation de ces axes par le biais d'un bus de terrain CANopen ;
- courant de pointe maximal : en fonction des servovariateurs de vitesse, la pointe d'intensité en sortie (pendant 1s) est limitée ;
- choix du type du mode d'alimentation du variateur : le choix d'utiliser un type d'alimentation monophasée (M2) ou triphasée (N4) pour les servovariateurs, est lié à la puissance des moteurs à piloter.

En se référant au *Tableau 24* et à l'annexe 8, le pilotage du servomoteur *BSH0551P31A2A* sera asservi par le variateur triphasé.

Tableau 24 : Caractéristiques des servomoteurs BSH

Caractéristiques des servo moteurs BSH 055/070						
Type de servo moteur	BSH 055 1P	BSH 055 2P	BSH 055 3P	BSH 070 1P	BSH 070 2P	BSH 070 3P
Associé au servo variateur Lexium 32	LXM 32● U60N4			LXM 32● D12N4		LXM 32● D18N4

Cependant, eu égard à la faible puissance demandée, notre choix s'est porté sur un variateur monophasé de caractéristiques identiques au triphasé (*annexe 9*).

Le servovariateur choisi sera : *LXM32AU90M2* [81].

2.2. Choix de la motorisation utilisée pour le système de peigne

Vu les quantités de charge embarquées au niveau de l'axe linéaire du peigne, nous sommes dans le même ordre de grandeur des efforts appliqués sur les lames. Nous nous sommes limités à utiliser le même moteur pour l'entraînement de l'axe linéaire du peigne. Dans la gamme de produits développée par Schneider Electric, il existe un axe linéaire motorisé complet dont la configuration est basée sur les caractéristiques choisies de l'axe lors du chapitre 3. Un servomotoréducteur *BSH0551P31A2A* est monté sur l'axe avec un réducteur de vitesse de ratio 64.

L'utilisation d'un ratio de réduction plus important que celui des lames ne pose pas de problème car il dispose des mêmes encombrements que le réducteur de 40. La charge possible que l'on peut embarquer, sera potentiellement plus importante. A déplacement égal pour le peigne et les lames, la vitesse du servomoteur sera plus importante pour le peigne que pour les lames. Par contre, le même servovariateur est utilisé pour les lames et pour le piegne.

2.3. Choix de la motorisation utilisée pour le système d'insertion

Le système biaxe est un système développé par la société Schneider Electric, dont la longueur des courses est fixée en fonction de notre besoin. Il en est ressorti un système équipé de deux servomotoréducteurs de type *BSH0551P21A2A* et *BSH0551P21A2A*. Le réducteur de ratio de 40 est présent pour les deux.

Le servomoteur de l'axe vertical est équipé d'un frein car son axe supporte le poids du second et de sa charge accouplée.

2.4. Choix de la motorisation utilisée pour le système tracteur

La charge embarquée sur l'axe linéaire est relativement faible. En effet, la pince de saisie du tissu développée n'engendre pas d'énormes efforts sur l'axe linéaire. Nous avons donc adopté la même motorisation que celle utilisée pour le peigne (ratio 64).

Cependant, pour l'ensemble des motorisations, nous sommes bien en dessous des capacités de charges maximales entraînables par ces motorisations, ce qui laisse prévoir de pouvoir embarquer plus de charge dans le futur. Ce surdimensionnement est lié au fait que le moteur choisi est le plus petit de la gamme présentée par le fournisseur.

3. Mise en place de capteurs sur la machine

Afin de sécuriser les différents éléments de la machine (axes linéaires, crémaillères, pignons, moteurs) et également pour fixer les positions d'origine des lames, différents capteurs ont dû être implantés.

On se propose de décrire ici l'implantation des capteurs pour sécuriser les différents axes et le système des lames.

3.1. Capteurs de sécurité

3.1.1. Capteurs des axes linéaires

Le peigne, le tracteur et le système d'insertion sont constitués d'axes linéaires. Afin de sécuriser ces axes, les courses ont dû être limitées. Ces axes ont été livrés avec deux interrupteurs fin de course *XS508B1PBPO1SAQ* [82], qui permettent de définir la course maximale du chariot de l'axe.

Il s'agit de capteurs inductifs, à sortie PNP, à un contact Normalement Fermer (NF). Lors de l'approche du chariot des axes, une plaque métallique solidaire du chariot se présente sur le capteur (distance de détection est 1.5 mm). Dès lors le contact s'ouvre. Ils seront reliés aux systèmes de commande de la machine (*Figure 103*).

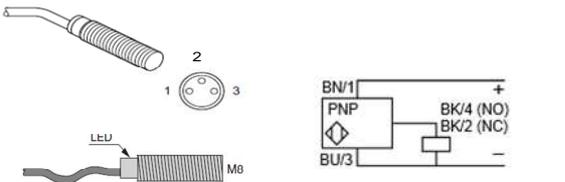
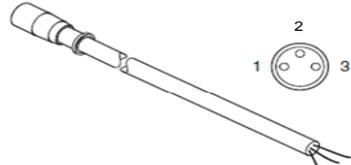
<p>Capteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> - XS508B1PBP01SAQ (sécurité axes) - XS508B1PBP01M8 (sécurité lames) 		<p>BU : Bleu BN : Brun BK : Noir</p>
<p>câble</p> <p>VW32SBCBGA050</p>		<p>BU : Bleu BN : Brun BK : Noir</p>

Figure 103 : Capteurs de sécurité

L'ensemble des repères de ces capteurs est donné dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Repérage des capteurs des axes linéaires

P_{M_AV}	Limite maximale Peigne en position point Mort Avant
P_{M_AR}	Limite maximale Peigne en position point Mort Arrière
T_{R_AV}	Limite maximale Tracteur en position AV
T_{R_AR}	Limite maximale Tracteur en position AR
I_{V_H}	Limite maximale axe Vertical du système Insert ion en position Haute
I_{V_B}	Limite maximale axe Vertical du système Insert ion en position Basse
I_{H_AV}	Limite maximale axe Horizontal du système Insert ion en position avancée
I_{H_AR}	Limite maximale axe Horizontal du système Insert ion en position reculée

3.1.2. Capteurs de sécurité des crémaillères des lames

Afin de sécuriser le système de crémaillère de chaque lame, nous avons choisi les mêmes interrupteurs fin de course que pour les axes linéaires. Leur emploi se confirme la limitation de la course des lames. Lors de la descente maximale d'une lame, l'appui du pignon sur l'extrémité de la crémaillère risque de provoquer la casse des dents du pignon et de la crémaillère. Lors de la montée, le désengagement du pignon sur la crémaillère provoque la retombée de la lame du fait de son propre poids et son désaxage (sortie du guidage).

Tableau 26 : Repérage des capteurs de la lame i

L_{i_h}	Lame i en position haute
L_{i_b}	Lame i en position basse

Deux interrupteurs fin de course par lame de référence *XS508B1PBP01M8* ont été montés sur la structure L_{i_h} et L_{i_b} (Tableau 26). Les capteurs L_{i_h} sont placés sur la partie haute de la structure, sur un support fabriqué à cet effet et de manière similaire en bas pour les capteurs L_{i_b} . Deux lamelles souples métalliques sont montées sur les deux extrémités de la lame pour en assurer la détection.

3.1.3. Raccordement des capteurs de sécurité

Les câbles de liaison des capteurs de sécurité des lames ou des divers axes linéaires sont équipés de trois fils de couleur (marron, noir, bleu), connectés également au coffret machine (Figure 104).

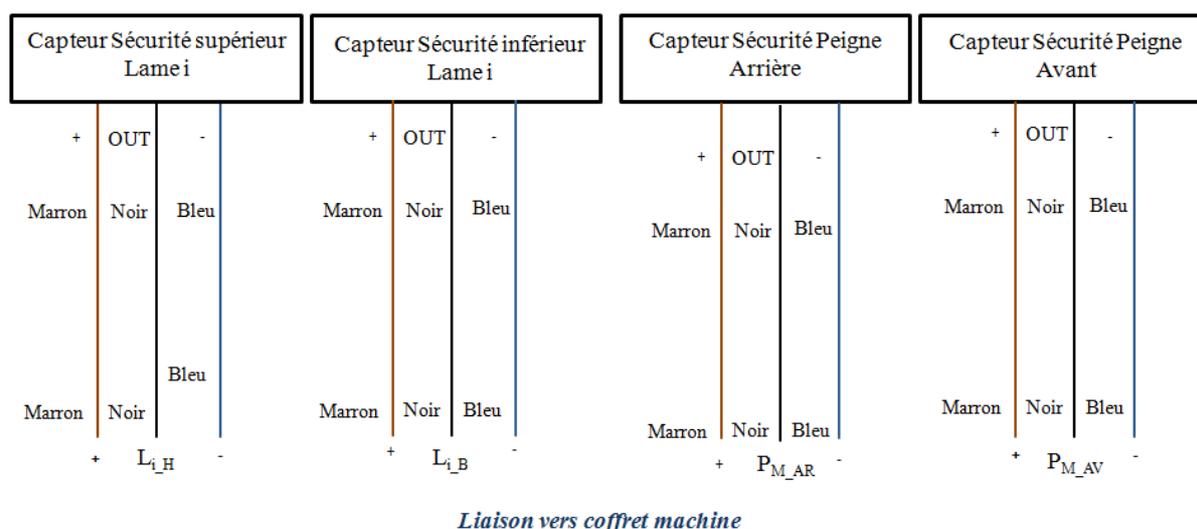


Figure 104 : Raccordement des capteurs de sécurité

Ce motif de raccordement s'étend aux capteurs du tracteur (T_{R_AV} , T_{R_AR}), et du système biaxe de l'insertion (I_{V_H} , I_{V_B} , I_{H_AV} , I_{H_AR}).

L'ensemble des fils des capteurs sont ramenés sur le coffret machine, sur le bornier XS (X pour bornier, S pour capteur de sécurité).

3.2. Capteurs des origines de placement des lames

Il est nécessaire de repositionner les lames dans une position de référence dans les cas suivants :

- lors du montage des lames dans la machine ;
- lors de la réintroduction de la lame suite à une casse ;
- après un arrêt en fin de cycle ;
- lors d'un cycle inachevé.

3.2.1. Choix des capteurs d'origine

Nous avons choisi de positionner la valeur de référence (d'origine) au centre du système d'insertion, soit à la position du milieu des lames. Dans ce cas, nous avons introduit des capteurs d'origines (un par lame) détectant cette position. Le positionnement en position d'origine doit être précis, il n'est pas possible d'utiliser le même principe de lamelle souple comme index de position.

Nous avons choisi des capteurs fourches optiques de référence *PMY44P* [83]. Un index métallique (sous forme d'une tige vissée dans la lame, de petit diamètre), interrompt le champ infrarouge au sein de ce capteur. Pour que la détection soit répétitive, on détecte la désactivation du champ dans un sens de déplacement donné et cela à faible vitesse. Le système de commande de la machine réalisera ce mode de détection. Une fois la position d'origine établie, le mouvement est stoppé et la lame calée à sa position d'origine.

3.2.2. Raccordement des capteurs d'origine

Le raccordement des capteurs d'origine au coffret machine a nécessité une boîte de raccordement intermédiaire.

Chaque capteur possède quatre fils : deux pour l'alimentation et deux pour les informations de sortie de base et complémentaire. Nous avons raccordé à cette boîte les quatre fils mais n'avons exploité qu'un seul des deux signaux en le raccordant au coffret avec les deux fils d'alimentation. La *Figure 105* montre le raccordement des deux capteurs des lames extrêmes 1 et 9.

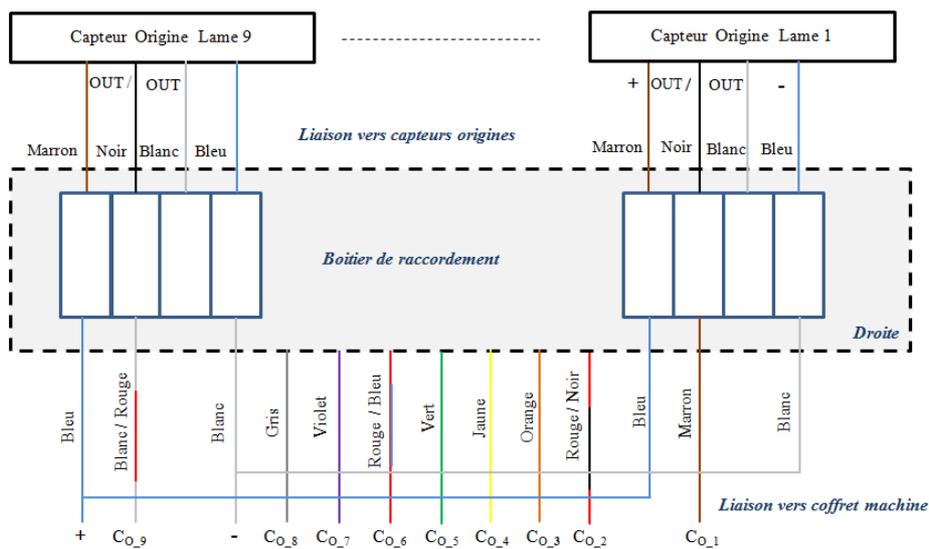


Figure 105 : Principe de raccordement des capteurs Origines $C_{0,i}$

Cette boîte de raccordement distribue l'alimentation 24 V Dc nécessaire aux capteurs, en provenance du coffret machine, et achemine l'état des capteurs d'origine vers le coffret dans lequel se situe l'îlot déporté OTB. L'ensemble des fils des capteurs d'origine est ramené sur le coffret, sur le Bornier XO (X pour bornier, O pour capteur Origine).

4. Mise en place des boutons poussoirs sur la machine

4.1. Choix des boutons “ Coup de poing ”

Afin de sécuriser la machine, nous avons équipé la structure de deux boutons “Coup de poing” AU1, AU2 (à déverrouillage manuel) pour réaliser des arrêts en cas de problèmes détectés visuellement (Tableau 27). Il s'agira plus exactement d'arrêt de sécurité stoppant tout mouvement d'axe motorisé. L'un a été posé à l'extrémité de la machine, côté tracteur, et l'autre à l'opposée, côté cantre.

Tableau 27 : Repérage des boutons sur la machine

AU1	“ Coup de poing ” côté tracteur
AU2	“ Coup de poing ” côté dérouleur
Montée	Montée manuelle d'une lame
Descente	Descente manuelle d'une lame

4.2. Raccordement des boutons “Coup de poing”

Les boutons d’arrêt “Coup de poing” sont connectés au coffret machine. Chaque bouton est équipé d’un contact Normalement Ouvert (NO) et d’un contact Normalement Fermé (NF).

Nous avons choisi d’utiliser l’ensemble des bornes de ces contacts pour :

- interrompre volontairement les mouvements des axes en cas de dysfonctionnements constatés (Mise en série des contacts NF de chaque coup de poing) ;
- renseigner le contrôleur sur cet arrêt provoqué (Mise en parallèle des contacts NO de ces boutons coups de poing).

La *Figure 106* montre le schéma de raccordement de ces contacts.

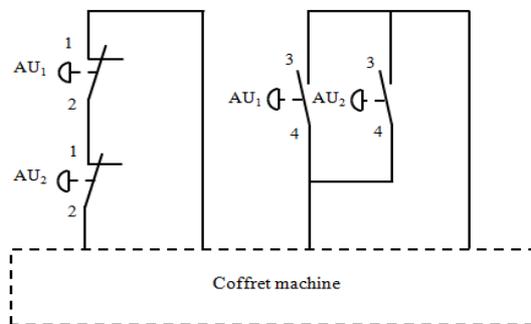


Figure 106 : Raccordement des AU_i sur le coffret machine

Les boutons “ Coup de poing ” ont été raccordés au coffret machine sur le bornier XCP (X : bornier, CP : coup de poing).

4.3. Choix des boutons poussoirs (commande manuelle)

Afin de positionner les lames à une hauteur donnée, nous avons envisagé une commande manuelle de déplacement des lames avec deux boutons poussoirs, “Montée” et “Descente” (*Tableau 27*). Ils sont intégrés dans un boîtier télécommande (Boîte à deux boutons poussoirs, munis d’un contact NO et d’un contact NF) et raccordés à un câble. Ce système s’avèrera très utile lors de l’introduction manuelle des lames (lors de l’engagement de la crémaillère sur le pignon). Le choix de la lame à déplacer s’effectue au préalable par le système de commande de la machine.

4.4. Raccordement des boutons poussoirs

Pour les commandes de déplacement, les boutons poussoirs utilisés comportent de la même façon deux types de contacts différents. Seuls les contacts NO ont été utilisés et ramenés sur le coffret (*Figure 107*).

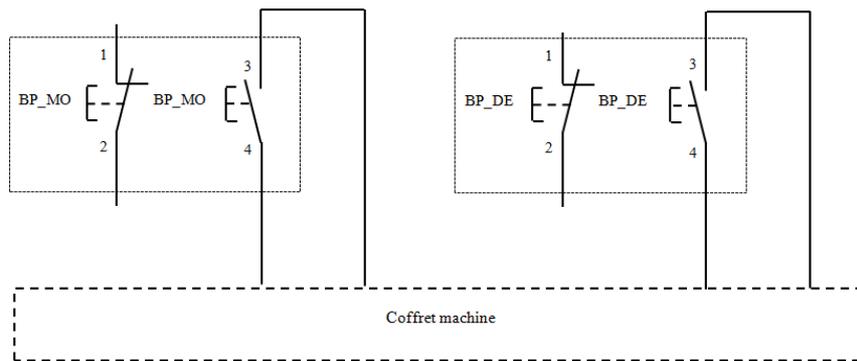


Figure 107 : Raccordement les boutons de commande de déplacement

Les boutons de commande ont été raccordés au coffret sur le bornier XBPC (X : bornier, BPC : Bouton Poussoir de Commande).

5. Utilisation d'un automate déporté (îlot)

5.1. Choix de l'automate déporté

Comme il l'a été rappelé dans l'architecture de pilotage de notre machine, chaque capteur ou bouton poussoir implanté sur la machine devra être raccordé au contrôleur principal. Ce dernier est localisé à l'extérieur de la machine dans une armoire dédiée à la sécurisation électrique, ou encore à la commande de la machine.

Afin d'alléger la liaison entre la machine et son armoire de commande (distribution filaire), un îlot (automate déporté) a été utilisé. Cet îlot gère l'acquisition de l'état des capteurs et des boutons poussoirs embarqués. La communication entre cet îlot et le contrôleur principal est assurée par un réseau de communication.

Notre choix s'est orienté vers la solution Advantys OTB de référence *OTB1E0DM9LP* [84], proposée par Schneider Electric. Trois modules de base de communication sont possibles avec le contrôleur (CANopen, Modbus et Ethernet) pour ce type de produit. Afin de ne pas surcharger et ralentir le réseau choisi pour gérer les variateurs sur le bus (CANmotion), en y mélangeant les informations des capteurs, nous avons choisi de faire communiquer l'îlot avec le contrôleur sur un autre type de réseau (que celui-ci).

On a choisi de raccorder l'îlot et le contrôleur par Ethernet, l'Interface-Homme –Machine (IHM) est également connectée par Ethernet avec le contrôleur. Cela évite de multiplier les types de réseaux utilisés. L'accès au réseau des différents appareils (Contrôleur, IHM, PC et îlot) s'effectue par la mise en place d'un switch Ethernet.



Figure 108 : Structure de l'OTB

L'îlot déporté *OTB1E0DM9LP* comporte, dans sa version de base, douze entrées et huit sorties (statiques ou relais).

Afin de gérer le nombre conséquent de capteurs et de boutons disponibles sur notre machine, nous avons équipé notre îlot de deux modules d'extension de huit entrées TOR de référence *TM2DDI8DT* et d'un module d'extension de seize entrées *TM2DDI16DT* (Figure 108).

5.2. Raccordement des capteurs et des boutons de l'automate déporté

L'état des entrées est visible sur l'ensemble des quatre modules via des voyants. L'allumage et l'extinction de ceux-ci sont conditionnés par les capteurs. L'îlot déporté centralise l'état des capteurs pour les communiquer au contrôleur. Il est installé sur la machine et connecté aux divers capteurs.

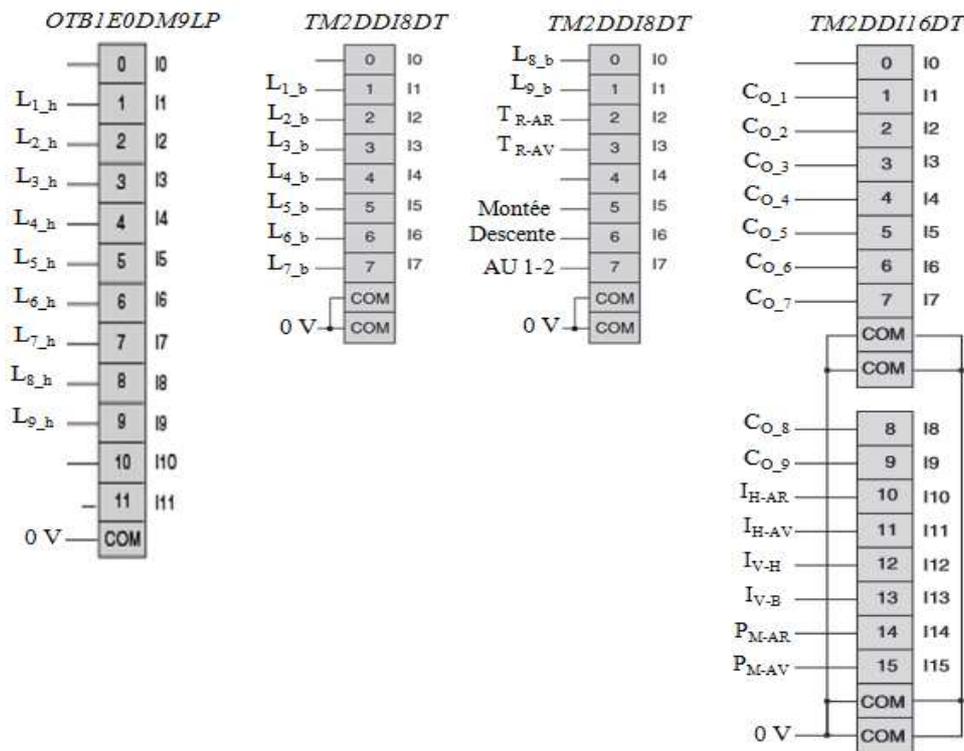


Figure 109 : Raccordements des capteurs et de l'OTB

Afin d'effectuer les différents raccordements avec celui-ci, nous avons développé un coffret spécifique (coffret machine).

5.3. Développement d'un coffret machine (centralisateur)

Le principe de ce coffret est :

- d'abriter l'automate déporté communiquant avec le contrôleur ;
- de connecter sur l'automate déporté : les capteurs d'origine, les capteurs de sécurité et les boutons poussoirs ;
- de renvoyer l'état de ces capteurs vers le contrôleur principal.

L'automate déporté communique avec le contrôleur principal par un bus Ethernet.

La Figure 110 montre la structure interne de ce coffret.

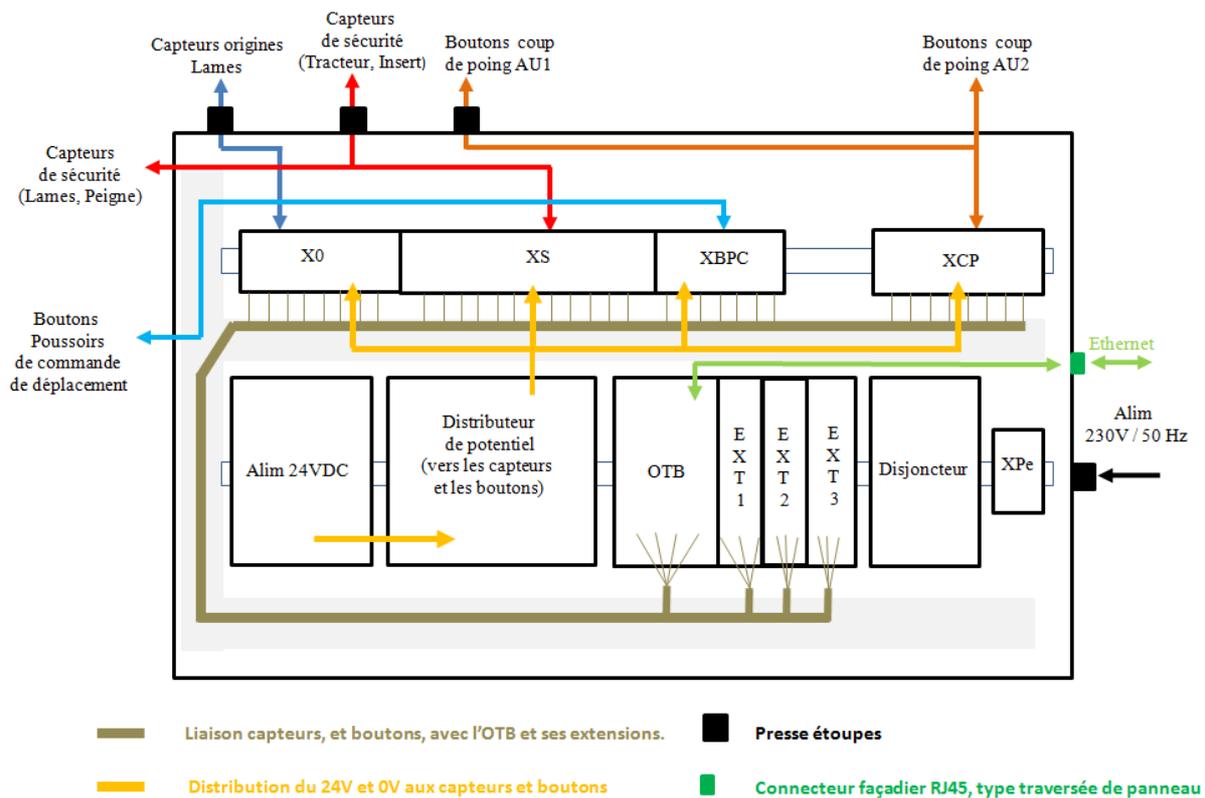


Figure 110 : Structure interne du coffret machine

La connexion réseau de l'automate déporté est ramenée sur le côté droit de ce coffret par un câble RJ45 associé à un connecteur façade de type traversée de panneau RJ45. Ce connecteur assure la continuité entre deux câbles RJ45 au travers d'une paroi de coffret.

La alimentation du coffret est 230V/50 Hz monophasée (distincte de celle utilisée pour la structure principale de pilotage de la machine, abritant le contrôleur, et développée à part). Une alimentation 24V DC (*ABL8REM24030*) permet d'alimenter :

- l'automate déporté et ses extensions ;
- les divers capteurs inductifs, et optiques.

Concernant l'automate, il existe deux types logiques rencontrés :

- la logique positive : les entrées de ce type d'automate sont considérées comme actives si le potentiel 24 V est ramené sur ces entrées ;
- la logique négative : les entrées de ce type d'automate sont considérées comme actives si le potentiel 0 V est ramené sur ces entrées.

L'utilisation des capteurs inductifs et optiques de type PNP, nous conduit à travailler avec la logique positive (Sink) à partir du schéma de raccordement en *Figure 111*.

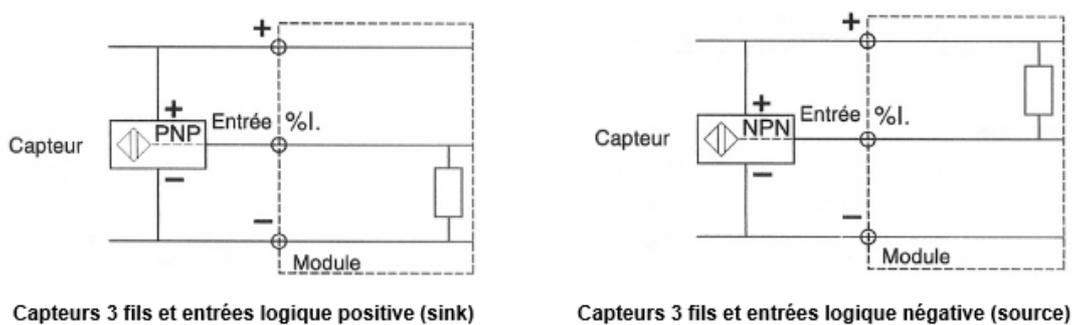


Figure 111 : Raccordement de l'automate en fonction du type de capteurs

Le 24V est ramené sur les entrées de l'automate par les sorties des capteurs, et prélevé sur l'alimentation même du capteur.

Dans le cas de l'usage de boutons, une borne du contact du bouton ramène de manière similaire ce 24V sur l'entrée de l'automate. Dans ce cas, l'autre borne doit être connectée au 24V.

Quatre distributeurs de potentiel permettent de distribuer le 24V et le 0V de l'alimentation aux divers organes.

Une protection générale du circuit électrique du coffret est assurée par un disjoncteur. Nous aborderons ce point dans le paragraphe 12.

Enfin, un bornier XPe permet la connexion du conducteur de protection (Pe) et la mise à la terre des parties métalliques du coffret.

5.4. Configuration par logiciel de l'îlot déporté

La configuration de l'îlot déporté s'effectue au moyen du logiciel Advantys Configuration Lite. Ce logiciel est développé par Schneider Electric pour configurer des appareils issus des séries FTM, FTB, OTB ou STB. Cette configuration passe par la création de l'architecture de l'îlot en fonction du matériel utilisé (Figure 112).

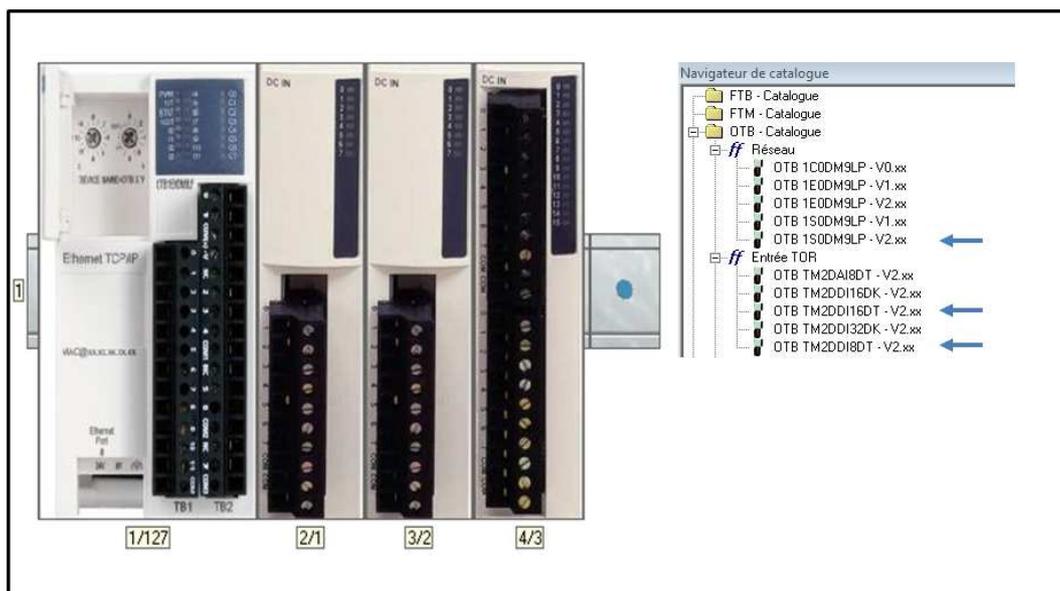


Figure 112 : Configuration de l'îlot déporté

Pour définir le mode d'attribution de l'adresse IP de l'îlot, on utilise deux roues codeuses présentes sur le NIM (Module d'Interface réseau ou Network Interface Module) de l'OTB (Figure 113).

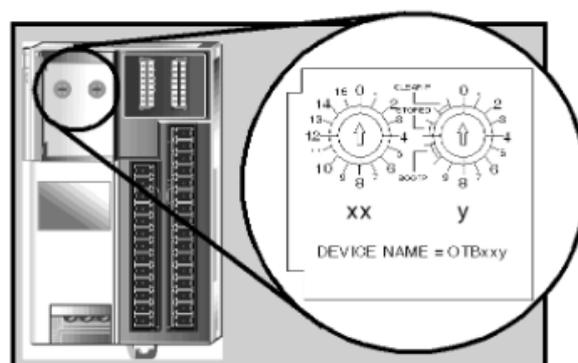


Figure 113 : Roues codeuses de l'OTB

Les données à échanger entre les équipements sont fragmentées en datagrammes par le protocole IP de façon à pouvoir être acceptées par tous les équipements.

L'OTB nécessite donc de disposer d'une adresse IP pour accéder au réseau. Cette adresse peut être attribuée de 3 façons différentes :

- par un serveur DHCP (Dynamic Host Control Protocol) : l'adresse IP attribuée par un serveur DHCP est contenue dans une table du serveur DHCP;
- par un serveur BOOTP (Bootstrap Protocol) : c'est un serveur qui contient une table des adresses MAC des équipements connectés sur le réseau avec leurs adresses IP;
- par un stockage dans la mémoire flash : le module OTB utilise l'adresse IP stockée dans sa mémoire flash.

Le choix du type d'attribution de l'adresse est effectué au moyen d'une combinaison des positions des deux index des roues codeuses selon les affectations diverses à retrouver dans la documentation de l'OTB. Nous avons choisi le troisième cas, l'adresse par défaut est constituée de 4 octets. Les deux premiers octets sont 85 et 16. Les deux suivants correspondent aux deux derniers octets de l'adresse MAC (codés en hexadécimal) que nous avons transcodés en décimal.

Exemple : Adresse MAC = 00.80.F4.01.80.F2 / Adresse IP par défaut = 85.16.128.242

Nous avons changé l'adresse IP par défaut en modifiant l'adresse stockée en mémoire au moyen d'Advantys Configuration Lite.

Dans ce logiciel, l'adresse de connexion réseau est configurée à partir de l'adresse IP déportée (192.168.0.19) ou de l'adresse MAC, selon l'illustration présente sur la *Figure 114*.

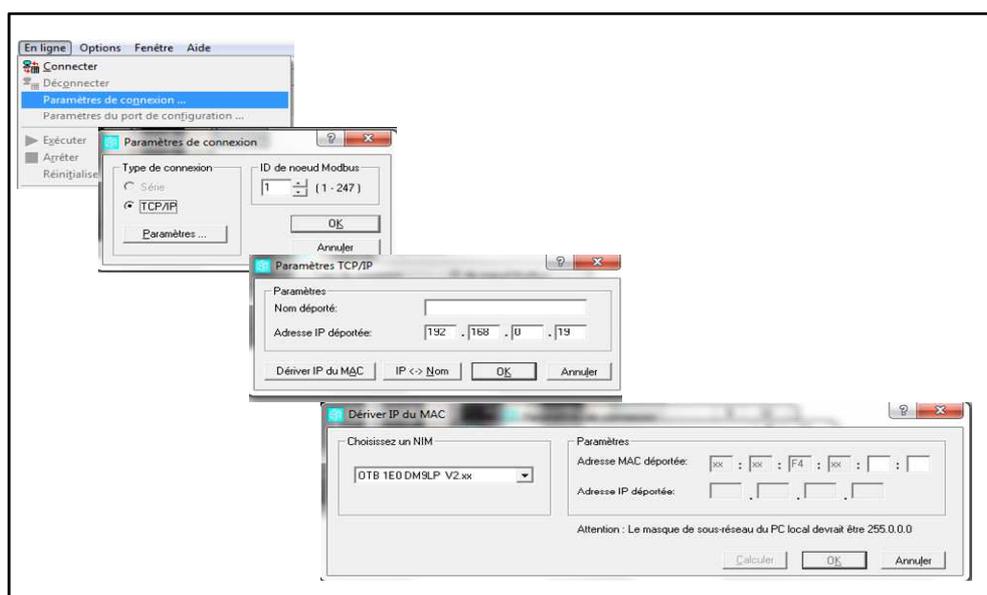


Figure 114 : Configuration de l'adresse IP de l'OTB

La passerelle de sous réseau est fixée en fonction de celle définie pour tous les autres équipements placés sur le réseau. Notre équipement est alors prêt à communiquer avec le contrôleur.

6. Utilisation d'une IHM

Nous avons mis en place une Interface-Homme-Machine (IHM) pour les raisons suivantes :

- contrôler le processus de mise en route de notre machine (le cycle de tissage) ;
- arrêter la machine ;
- réaliser un suivi de l'état des capteurs, des consignes de vitesse et de certains déplacements effectués.

Nous avons choisi un écran tactile couleur *XBTGT5330* [85] (*Figure 115*).

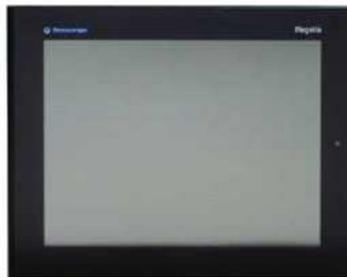


Figure 115: IHM XBTGT5330

L'IHM choisie a la possibilité de communiquer sous plusieurs modes :

- liaison série COM2 RJ45/RS485 ($\leq 187,5$ kbits/s) ;
- liaison en série COM1 SUB-D mâle RS232C/RS422/RS485 ($\leq 115,2$ kbits/s) ;
- Ethernet TCP/IP RJ45 ;
- deux ports maîtres USB type A.

Pour uniformiser les réseaux de communication avec le contrôleur, nous avons choisi le mode de communication Ethernet.

Cette interface graphique fonctionne à partir de "Pages Écrans". Ces pages sont éditées et transmises à l'écran au moyen du logiciel Vijeo designer [79].

7. Utilisation d'un contrôleur de mouvement

L'emploi d'un contrôleur de mouvement se justifie par le fait que nous devons gérer plusieurs axes motorisés et mettre en application la synchronisation des divers mécanismes. Nous emploierons le terme générique de contrôleur dans la suite de ce mémoire (à la place de contrôleur de mouvement) pour alléger la rédaction.

Notre choix s'est orienté par l'utilisation d'un contrôleur *LMC058LF42* développé par la société Schneider Electric (*Figure 116*).

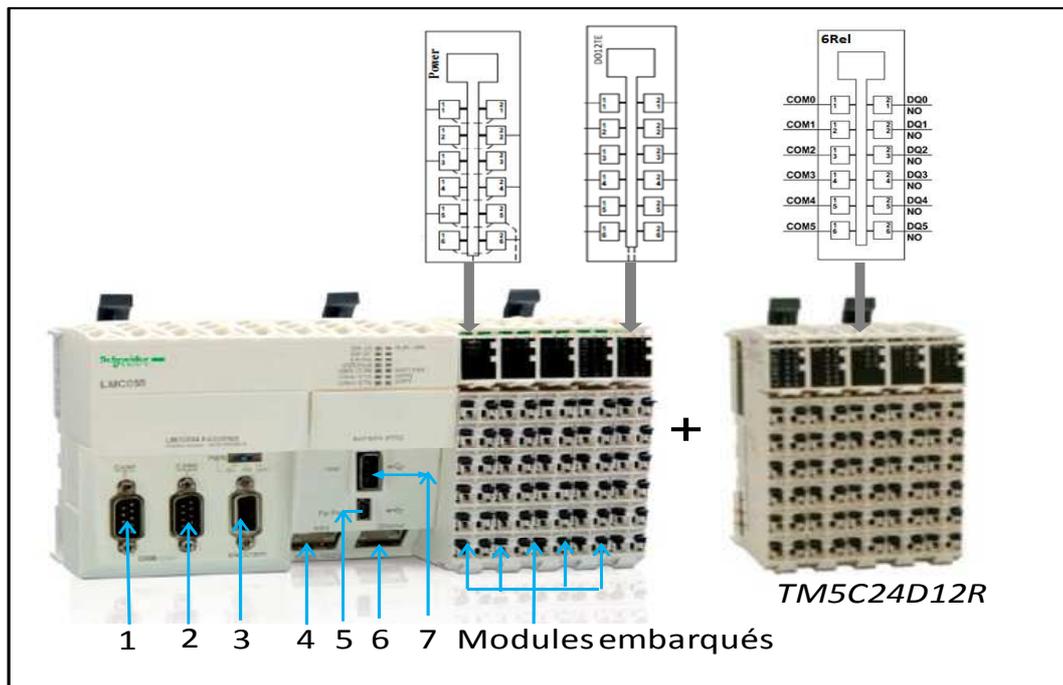


Figure 116 : Structure du contrôleur utilisé

Il se compose de :

1. un connecteur SUB-D, pour le raccordement au bus CANmotion ;
2. un connecteur SUB-D, pour le raccordement au bus CANopen ;
3. un connecteur SUB-D, pour le raccordement du codeur maître et un sélecteur de 3 états de la tension d'alimentation du codeur ;
4. un connecteur RJ45 pour la liaison série RS232 ou RS485 ;
5. un mini connecteur USB-B pour le raccordement au PC de programmation ;
6. un connecteur RJ45 pour le raccordement sur le réseau Ethernet et/ou raccordement du terminal graphique Magelis XBT GT;

7. un connecteur USB-A pour le raccordement de la clé USB de transfert de programme, de données ou de mise à jour du firmware ;
8. cinq modules embarqués de la gauche vers la droite :
 - module *Power* : bloc de distribution d'alimentation pour les modules d'E/S ;
 - module *DM72F0* et module *DM72F1*: modules d'E/S expertes intégrées (traitement de signaux rapides) ;
 - module *DII2DE* : bloc de 12 entrées digitales (TOR), en logique positive ;
 - module *DOI2TE* : bloc de 12 sorties digitales (TOR), permettant le pilotage de pré actionneurs électriques. Les 12 sorties sont à commun unique, c'est-à-dire que la même alimentation doit être utilisée pour chacune des sorties.

Pour notre application, seul le premier module et le dernier ont été utilisés.

Nous avons utilisé un module d'extension *TM5C24D12R* (Figure 116). Il s'agit d'un bloc d'extension d'E/S, avec 24 entrées 24V DC et 12 sorties à relais.

Nous avons utilisé le module *DOI2TE* et un module *6Rel* de l'extension pour piloter des contacteurs utilisés dans les circuits de commande appelés "départs moteurs" (mettant sous tension les variateurs), ainsi qu'un voyant Hcy (signalisant la mise en marche de la commande de la machine) (annexe 10).

Ce contrôleur dispose d'un module *Power* destiné à alimenter l'ensemble des modules d'E/S du contrôleur. Sur celui-ci sont raccordées diverses alimentations 24 V (A_{Li}).

Le contrôleur est programmable au moyen du logiciel SoMachine [78].

L'interfaçage avec l'ordinateur se fait par liaison Ethernet et, dans ce cas, le contrôleur aura une adresse définie sur le bus Ethernet tout comme l'IHM, l'ilot déporté et l'ordinateur.

Enfin, le contrôleur doit assurer le contrôle des divers axes motorisés de la machine. Pour cela, la présence d'une interface CANopen ou CANmotion permet le développement d'un bus sur lequel les différents servovariateurs seront raccordés :

- l'utilisation de la sortie CANopen permet le développement d'un bus de communication dédié aux commandes d'axes ne nécessitant pas la mise en place d'un contrôle précis entre les différents axes. Il ne s'agit là que d'un simple

pilotage par réseau et ainsi les échanges de données entre les variateurs et le contrôleur ;

- l'utilisation de la sortie CANmotion est dédiée au contrôle précis entre les différents axes et au développement d'une synchronisation inter-axes.

Le choix de ce contrôleur a été motivé par la capacité de pouvoir assurer la synchronisation des divers mécanismes au sein de notre machine. Il est alors judicieux pour nous d'utiliser la connexion CANmotion.

Nous avons connecté le connecteur (1) du contrôleur (*Figure 116*) sur les variateurs par un câble de type RJ45, en commençant par le variateur de "l'Insert Horizontal". Ensuite, nous avons réalisé "un chaînage" des variateurs par un câble RG45. Le réseau est refermé par une fiche de "Terminaison réseau", au bout de VL1 (*Figure 117*).

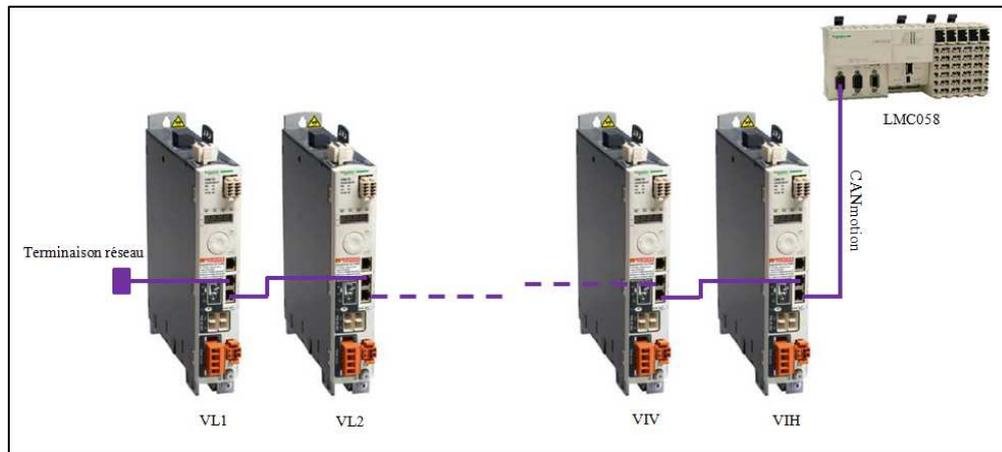


Figure 117 : Chaînage des Lexium 32A sur le réseau CANmotion

8. Variateur Lexium 32A

Les variateurs ont dû être adressés topologiquement afin de les identifier sur le réseau CANmotion.

L'adressage fixé pour chaque variateur Lexium 32A est donné dans *l'annexe 11*.

8.1. Raccordements de Lexium 32A

Quatre circuits sont à développer autour d'un Lexium 32A pour notre machine :

- l'alimentation en puissance (circuit Départ Moteur) ;
- la connexion avec le moteur (alimentation + capteur) ;
- le circuit de commande autour du variateur.

8.1.1. Circuit départ moteur

Le circuit de départ moteur permet l'alimentation en puissance du variateur. Il est constitué d'un organe de sécurité, suivi d'un pré-actionneur (contacteur) et enfin du bornier de raccordement du Lexium 32A à l'alimentation. La tension d'alimentation de la bobine du contacteur est du 24V Dc.

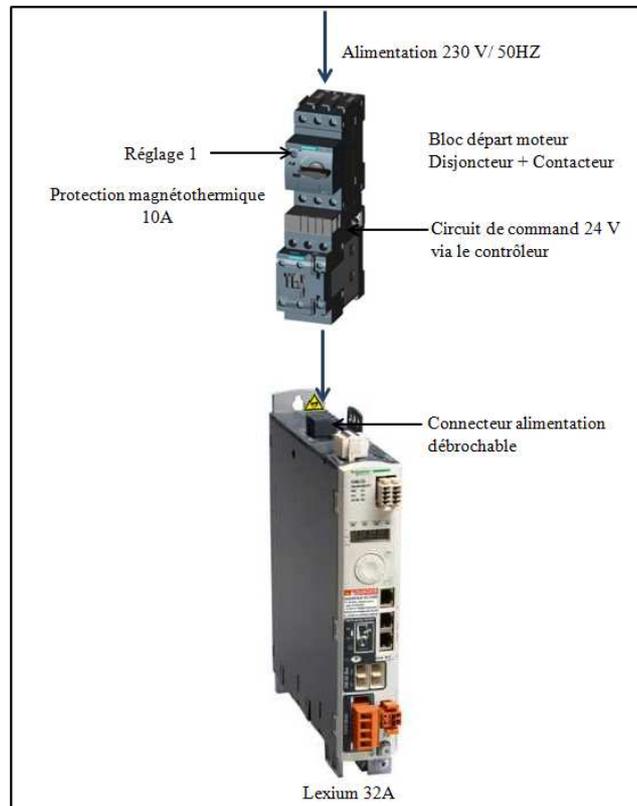


Figure 118 : Circuit départ moteur

Des informations générales sur les organes de sécurité utilisés dans notre machine seront présentées ultérieurement dans le paragraphe 12.

Afin de rendre compact le circuit départ moteur, nous avons utilisé un départ moteur composé d'un disjoncteur et d'un contacteur monté l'un sous l'autre [86].

8.1.2. Connexion avec le moteur

La connexion avec le moteur est constituée de deux circuits et réalisée par deux câbles :

- câble orange (de référence *VW3M5101R50*) qui assure l'alimentation triphasée du moteur ;
- câble vert (de référence *VW3M8102R50*) qui assure l'alimentation et véhicule les signaux du capteur de position (résolveur) monté sur le moteur.

8.1.3. Le circuit de commande autour du variateur

Le circuit de commande du variateur correspond à la gestion des connecteurs CN2 et CN6 du variateur.

Connecteur CN2

Le connecteur CN2 représente le connecteur d'alimentation 24 V du variateur et la gestion des fonctions de sécurité STO (Safe Torque Off).

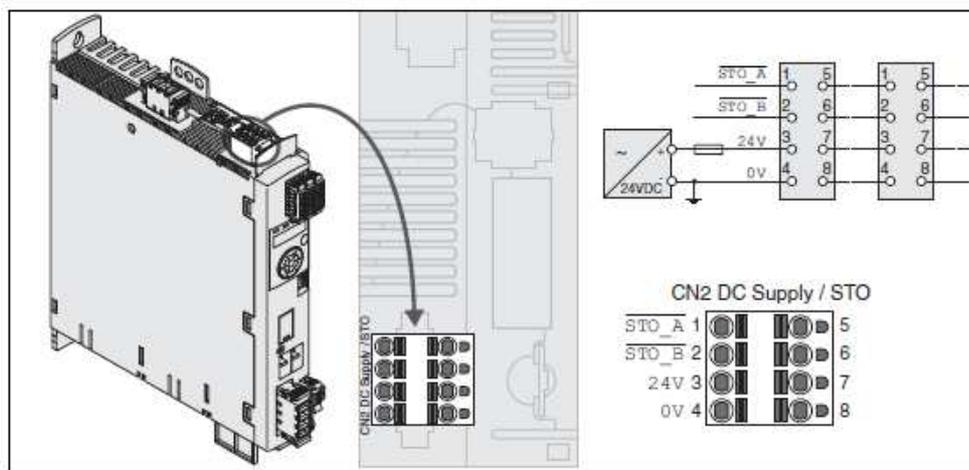


Figure 119 : Connecteur CN2 [87]

Les composants d'automatisme moderne (comme les variateurs de vitesse par exemple) intègrent des techniques de sécurité selon la norme CEI 61508 intitulée "Sécurité fonctionnelle de systèmes électroniques, électriques et électroniques programmables" [88].

Les exigences techniques vis-à-vis de la sécurité dépendent des risques et du potentiel de danger pouvant provenir de l'application développée. Dans notre cas, la fonction de sécurité STO "Désactivation sûre du couple", permet de réaliser (par le biais de deux entrées redondantes STO_A et STO_B) des arrêts de catégorie 0 et 1. Ces arrêts sont réalisés sans séparation électrique (de manière contrôlée ou non contrôlée). On entend par séparation, la coupure de l'alimentation du circuit de commande provoquant la coupure des circuits de puissance. L'emploi de ces entrées permet de maintenir la commande en supprimant, en cas de défaut, la puissance au niveau des moteurs.

Exemple d'arrêt de catégorie 0 (Figure 120) : l'arrêt de catégorie 0 se caractérise par un arrêt non contrôlé du moteur.

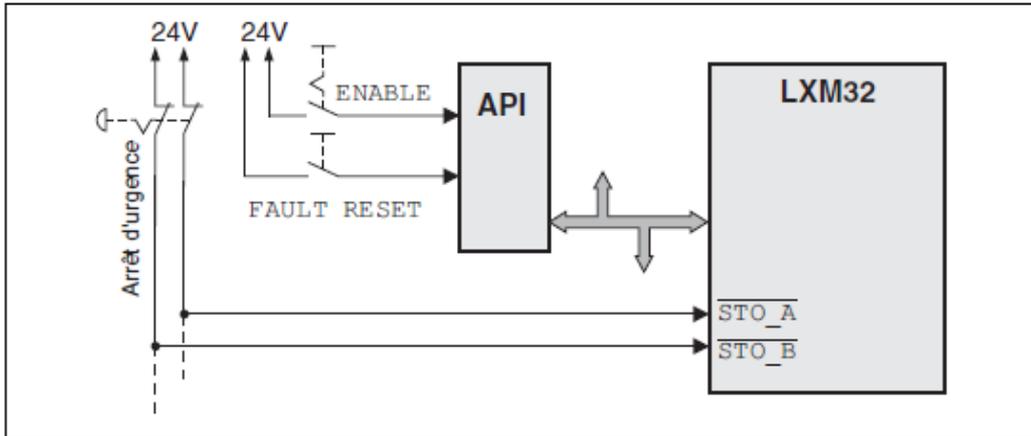


Figure 120 : Exemple d'arrêt de catégorie 0 [87]

Un arrêt d'urgence demandé entraîne la mise à 0 des entrées STO_A/ et STO_B/, donc l'activation des sécurités (entrées en logique négatives). Cela conduit immédiatement à la coupure de l'étage de puissance : plus aucune énergie ne peut être délivrée au moteur. Si le moteur n'est pas arrêté à ce moment là, il s'arrête de manière non contrôlée.

Exemple d'arrêt de catégorie 1 (Figure 121) : l'arrêt de catégorie 1 se caractérise par un arrêt contrôlé du moteur.

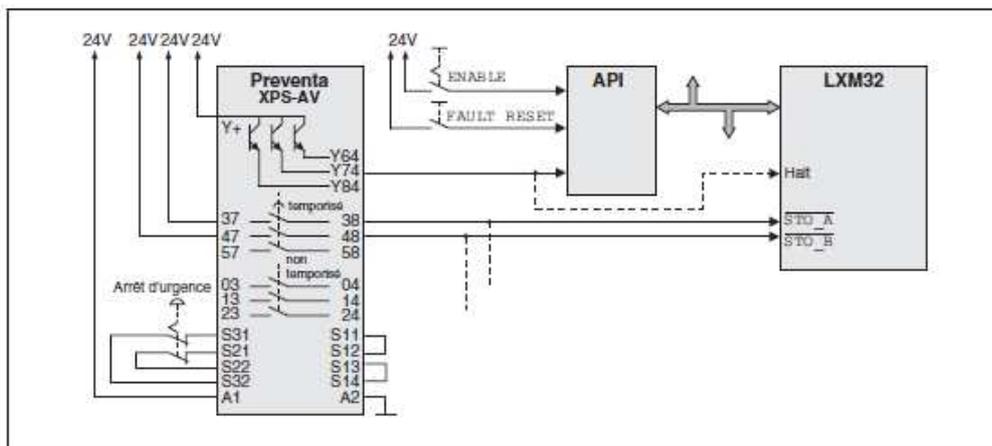


Figure 121 : Exemple d'arrêt de catégorie 1 [87]

Dans le cas d'arrêt de catégorie 1, un bouton d'arrêt d'urgence commande un relais de sécurité (d'arrêt d'urgence) type Preventa XPS-AV () qui provoque, à l'appui, une ouverture retardée des deux entrées STO. Ce temps de temporisation désactive l'entrée Halt/ du variateur et provoque un arrêt (Halt) où le déplacement est décéléré en fonction de la rampe définie (paramètre fixé dans le variateur). Le temps de la temporisation, l'arrêt est contrôlé. Une fois cette temporisation dépassée, les entrées STO sont activées et l'arrêt devient non

contrôlé si le moteur ne s'est pas arrêté pendant le temps de temporisation. On redevient dans ce cas, à un arrêt de catégorie 0.

Connecteur CN6

Le Lexium 32A dispose de quatre entrées logiques (DI0 à DI3) et deux sorties logiques (DQ0 et DQ1) 24V configurables (*Figure 122*). En effet, plusieurs fonctions de signaux peuvent être affectées aux entrées et sorties de signaux logiques.

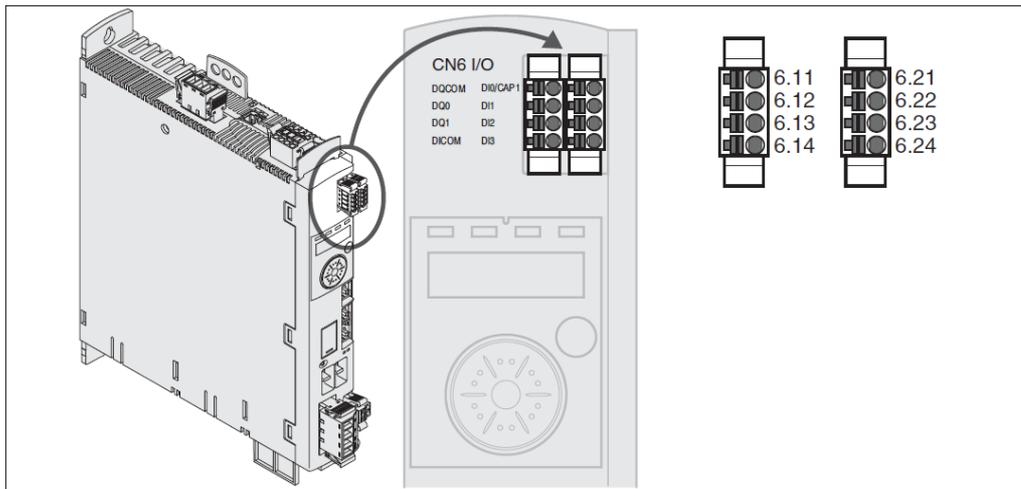


Figure 122 : Connecteur CN6 [87]

Nous avons conservé les configurations d'usine pour ces entrées et sorties (*Tableau 28*). Nous avons cependant envisagé d'utiliser par la suite quelques entrées en fonction de la sécurité (arrêt du déplacement), mais pas de sorties.

En fonction du réglage d'usine de ces entrées, des câblages s'imposaient au niveau de ces entrées.

Tableau 28 : Configuration d'usine des entrées

Signal	Fonction d'entrée de signaux
DI0	Freely Available
DI1	Reference Switch (REF)
DI2	Positive Limit Switch (LIMP)
DI3	Negative Limit Switch (LIMN)

Les entrées:

- *Freely available* (libre d'affectation) pour surveiller l'état d'un capteur (entrée libre) ;

- *Reference Switch* correspond à une fonction de surveillance d'un capteur donnant une position de référence (exemple de la recherche d'une position d'origine sur un axe) ;
- *Positive Limit Switch* est associée à des fonctions de surveillance de fin de course positive.
- *Negative Limit Switch* est associée à des fonctions de surveillance de fin de course négative.

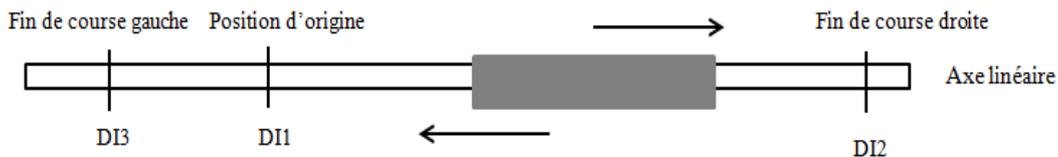


Figure 123 : Exemple d'application de gestion des capteurs d'un axe linéaire

Au début de notre étude, nous avons pensé à utiliser les capteurs des différents axes de notre machine pour les lier aux variateurs. Puis l'option d'utiliser un automate déporté associé à un contrôleur pour stopper les mouvements a été choisie. Nous n'avons donc pas relié les capteurs aux variateurs de vitesse, mais cette option reste possible avec le mode de configuration préservé.

Circuit de commande de CN2 et CN6

Le circuit de commande développé autour du variateur consiste à mettre en place la connexion de CN2 et CN6.

L'emploi d'un arrêt d'urgence principal sur la machine, associé à un déclencheur à manque de tension Mx, nous a conduits à ne pas utiliser les entrées de sécurité STO des variateurs. Pour ne pas les rendre actives, nous avons fixé les entrées STO_A/ et STO_B/ au 24V. A posteriori, il faudra étudier l'utilisation de ces deux entrées afin de gérer au mieux la sécurité. Dans notre cas, notre arrêt d'urgence est assimilé à un arrêt de catégorie 0 mais avec coupure (séparation) électrique.

L'utilisation des boutons "coup de poing" présents sur la machine, pourraient être reliés à l'utilisation de ces entrées sur CN2, mais ne l'avons pas fait à ce jour.

La configuration d'usine des entrées conservées et l'option sans capteur reliée au variateur, nécessitent de mettre les entrées DI1, DI2, DI3 (6.22, 6.23, 6.24 Figure 122) de CN6 au 24V, pour que ces entrées ne soient pas activées, et empêchent donc les mouvements. Leur

activation couperait directement la rotation du moteur. L'entrée DI_COM (6.14) est reliée au 0V [87].

La *Figure 124* montre le principe de raccordement des connecteurs CN2 et CN6 des variateurs des lames 1 et 2.

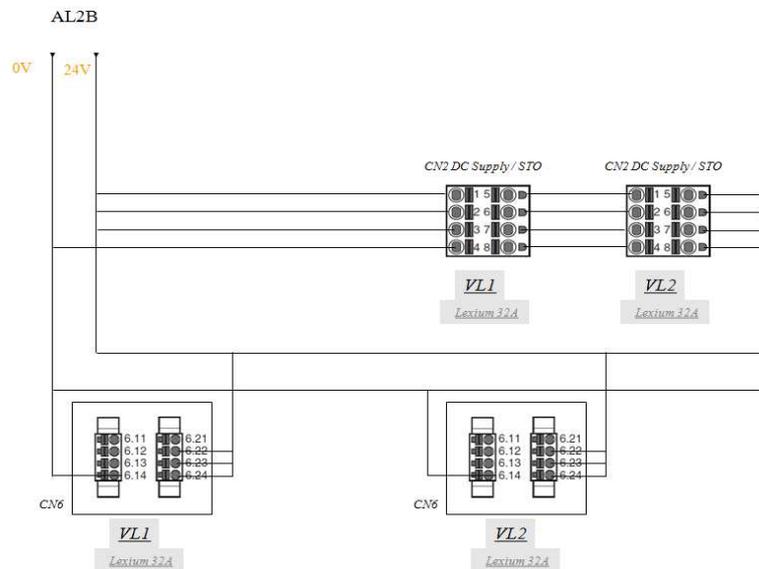


Figure 124 : Principe de raccordement des circuits de commande des variateurs VLi

Ce principe de raccordement des connecteurs CN2 et CN6 des variateurs s'étend à l'ensemble des variateurs utilisés dans notre machine. On assiste plus ou moins à un chaînage des variateurs à ce niveau.

8.2. Configuration

Ce variateur est équipé d'une IHM intégrée (*Figure 125*). Cette IHM est visible sur la face avant du variateur. Elle est composée :

- de voyants Leds rectangulaires d'état de l'appareil (1) ;
- d'un afficheur à 7 segments (2) ;
- d'un bouton ESC (3);
- d'un bouton de navigation (4).

L'interface IHM intégrée est commandée au moyen du bouton de navigation et du bouton ESC.

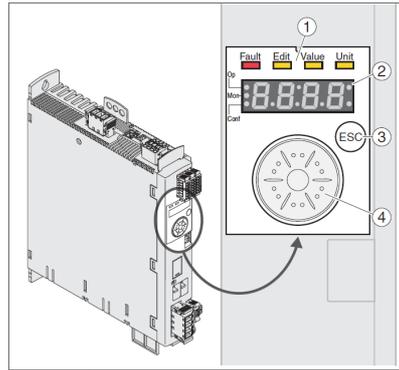


Figure 125 : IHM intégrée au variateur

Elle s'articule autour d'un menu structuré accessible par différents niveaux, visible sur la Figure 126.

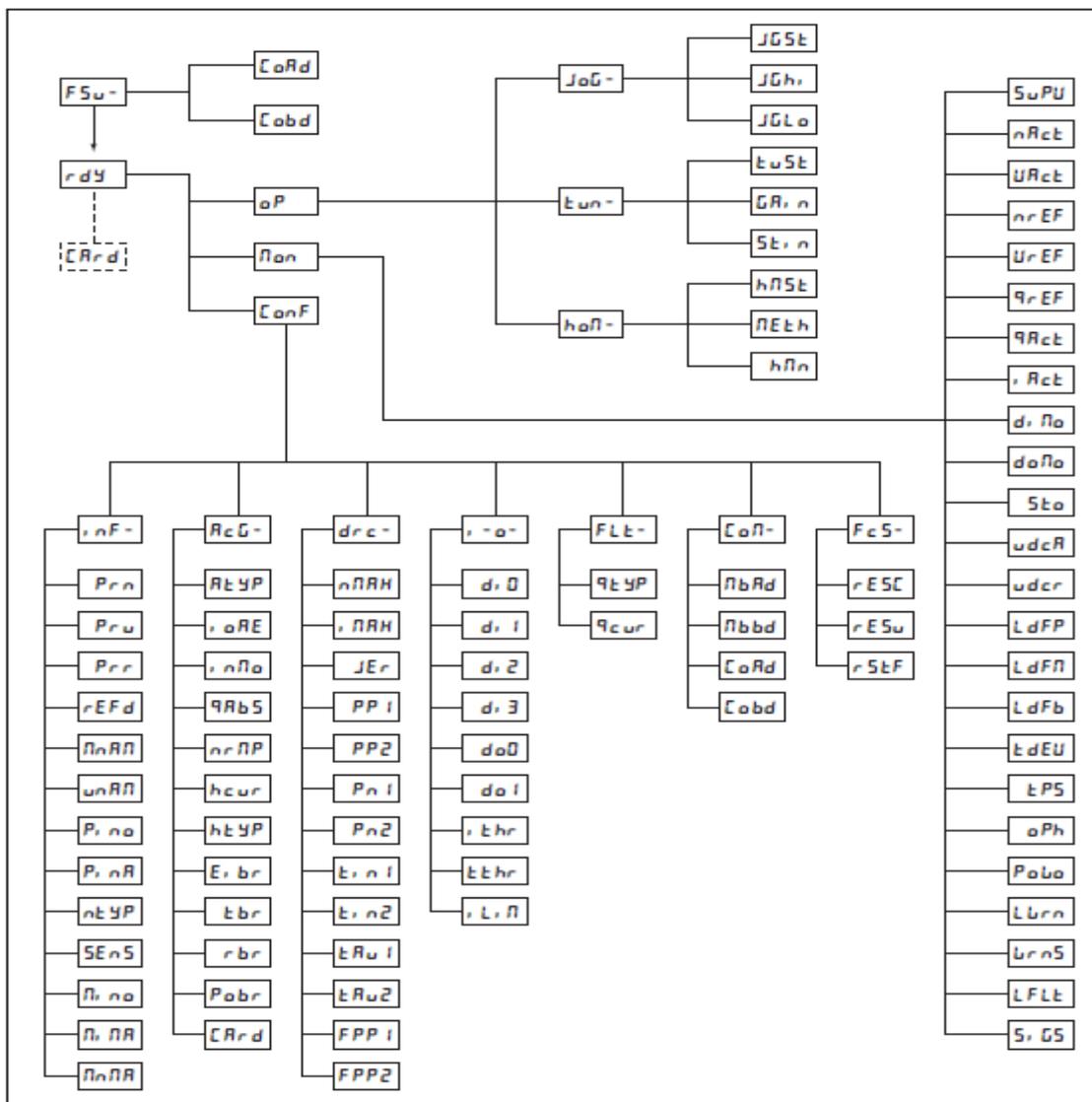


Figure 126 : Structure du Menu de l'IHM intégrée

Partant du menu rdy, on a accès aux différents menus inférieurs hiérarchisés.

Par le biais de l'IHM intégrée, on peut configurer la communication CANopen en paramétrant :

- l'adresse du variateur en CANopen (CoAd) : rdy -> Conf -> CoM- -> CoAd ;
- la vitesse de communication en CANopen (Cobd) : rdy -> Conf -> CoM- -> Cobd.

Chaque variateur aura une adresse qui lui sera attribuée sur le bus CANopen.

9. Utilité du microordinateur

L'utilisation d'un microordinateur dans la machine est double. Elle permet :

- d'éditer et de transférer le programme du contrôleur (via Somachine) et des pages écrans de l'IHM (via Vijeo Designer) ;
- de faire un suivi de l'état des différentes variables et d'interagir lors de l'exécution du programme du contrôleur. Par exemple, un suivi des positions des différents axes synchronisés permettra d'identifier l'évolution des servomécanismes tout au long du cycle de fonctionnement de la machine, grâce à une interface graphique intégrée à Somachine. Il permettra aussi de pouvoir changer ou ajuster certains paramètres lors de l'exécution (modification de profils de cames électroniques par exemple).

10. Utilisation d'un Switch Ethernet

Afin de permettre de partager la communication entre le contrôleur, le PC, le pupitre IHM, le coffret Machine et une communication étendue (le cas échéant) vers le réseau informatique du laboratoire, nous avons implanté un switch (Hub) Ethernet à 5 ports (*Figure 127*).

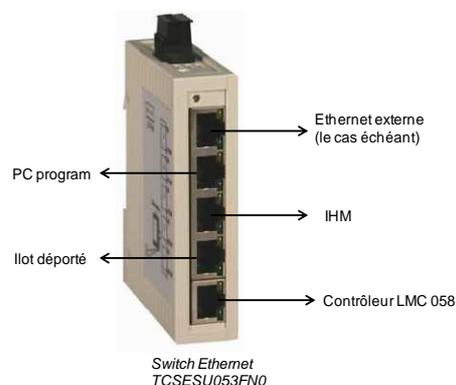


Figure 127 : Partage connexion internet entre les appareils

Nous avons choisi un switch *TCSESU053FN0* devant être alimenté en 24V DC. Pour cela, nous avons choisi une alimentation 24V/1,2A (AL2) et un disjoncteur pour protéger le circuit lié à l'alimentation du switch.

L'utilisation du protocole Ethernet nécessite l'adressage topologique des appareils. Le *Tableau 29* résume l'adressage des appareils choisis :

Tableau 29 : Adressage topologique

Appareil	Adressage topologique
Contrôleur	192.168.0.10
Magelis	192.168.0.20
OTB	192.168.0.19
PC	192.168.0.21

La configuration de base développée n'utilise pas une communication étendue au réseau du laboratoire et isole la machine dans ce cas. L'adressage a donc été choisi arbitrairement. Une modification de ces adressages sera nécessaire lors d'un raccordement au réseau du laboratoire en fonction de l'adresse du serveur réseau du LPMT.

11. Mise en œuvre de la structure principale de la commande de la machine

11.1. Justification de l'emploi d'une grille de montage

La complexité de notre machine a nécessité de développer chaque partie de la machine de manière progressive.

Le développement de la mécanique et de l'automatisation de chaque partie s'est mené en parallèle. S'est très vite posé la question de localiser et de positionner l'appareillage lié aux différents départs moteurs, le contrôleur, les différents organes de sécurité et les alimentations. De plus, une première version de notre machine à quatre lames a été envisagée avant d'étendre son développement à neuf lames.

Des problèmes liés à l'encombrement des divers matériels, au développement progressif de l'automatisation, des développements envisagés dans le futur, nous ont posé un problème important concernant l'intégration dans une armoire fermée, de dimensions adaptées, de l'ensemble de l'appareillage destiné à la commande de notre machine. La décision a été prise

de développer une grille de montage installée sur un châssis mobile, non fermé, sur lequel l'appareillage serait monté. Un maximum de sécurisation sera apporté au niveau électrique : utilisation de dispositif différentiel à courant résiduel (DDR) pour protection et capotage.

Une fois les principaux travaux de développement achevés sur cette machine et l'encombrement global de la grille de montage conçu, la mise dans une armoire fermée devra être envisagée.

11.2. Développement de la grille de montage

A partir de l'état des capteurs (centralisés dans le coffret machine), du pupitre IHM et du micro-ordinateur, nous pilotons les actionneurs depuis une grille de montage, comme le met en évidence la *Figure 128*.

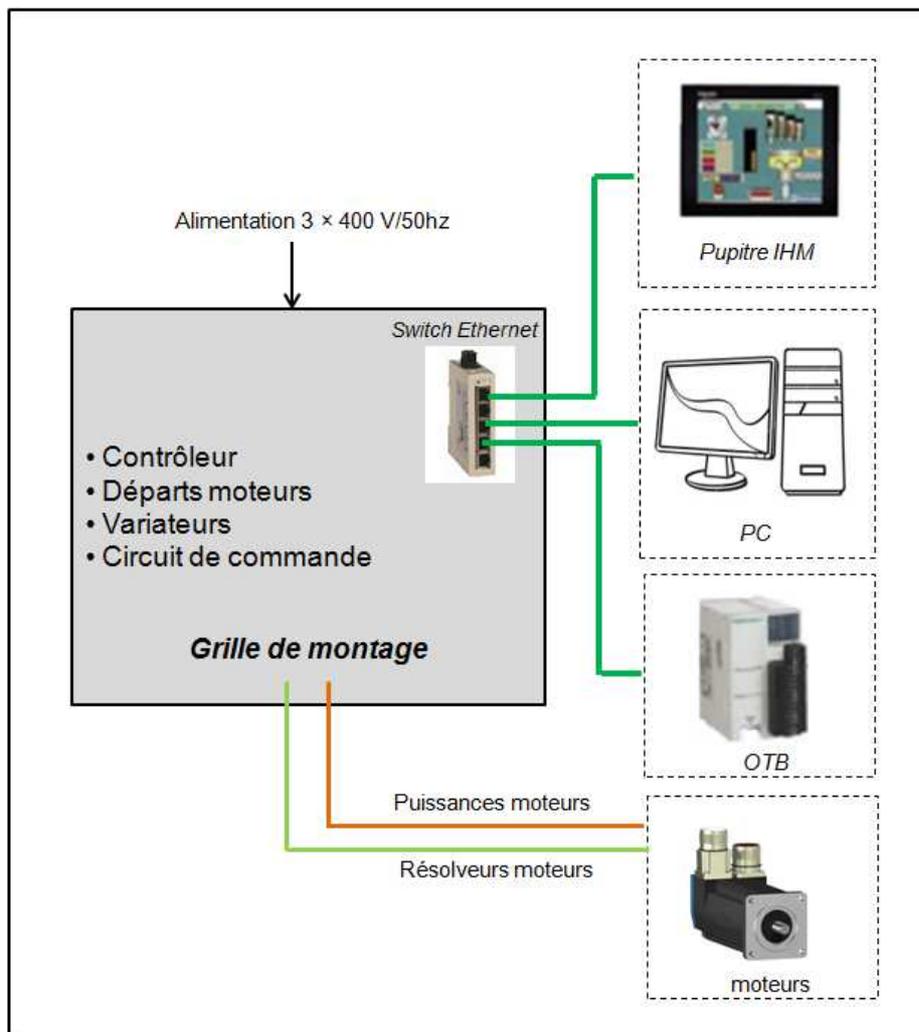


Figure 128 : Pilotage de la machine à partir d'une grille de montage

Au sein de cette grille se trouvent localisés les différents composants et circuits de pilotage de la machine. On y retrouve le contrôleur, les différents départs moteurs, les organes de sécurité, les alimentations, les voyants de signalisation, les boutons de commande et autres borniers de raccordement.

La Figure 129 montre une vue globale de cette grille.

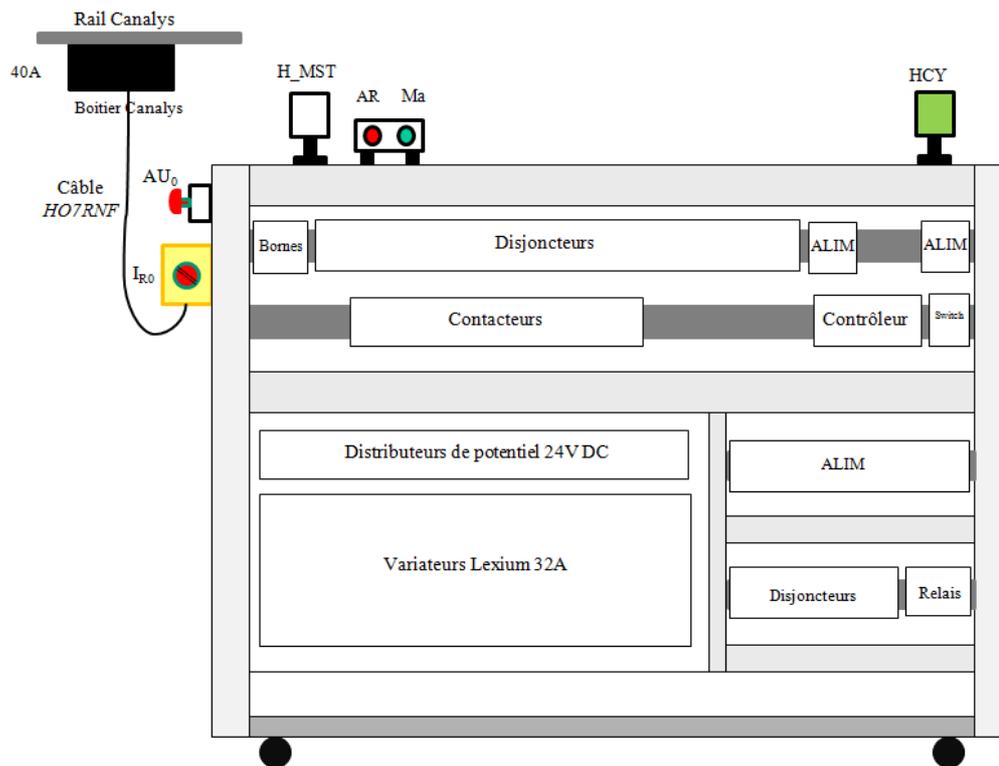


Figure 129 : Vue globale de la grille de montage

Sur la périphérie de la grille, un certain nombre d'appareillages ont été mis en place :

- un bouton “coup de poing” d’arrêt d’urgence AU_0 sécurise l’ensemble de l’alimentation ;
- un interrupteur tournant I_{R0} (*VBF2GE*) isole la grille de montage de l’alimentation et, par l’emploi d’un cadenas, permet la condamnation relative aux directives de sécurité définies lors de l’utilisation ou l’intervention sur un ouvrage électrique ;
- un voyant H_MST permet de visualiser la mise sous tension de la grille ;
- une boîte de deux boutons (Ma et AR) permet la mise en route et l’arrêt du circuit de commande principal 24V DC de la machine ;
- un voyant H_{cy} indique la machine en état de cycle de fonctionnement (piloté par le contrôleur).

Dans la partie interne de la grille, on voit apparaître une répartition graduée des différents appareils. Plusieurs niveaux sont identifiables dans le plan vertical (4) et dans le plan horizontal (6).

Niveau	A	B	C	D	E	F
1	Raccordement alimentation	Organes de sécurité principale	Organes de sécurité secondaire pour départs moteurs		Organes de sécurité secondaire pour circuit d'entrée alimentations 24V	Alimentations 24 V (AL3, AL4)
2			Pré actionneurs pour départs moteurs		Contrôleur	Switch
3		Distributeurs de potentiel pour circuit de commande variateurs			Alimentations 24 V DC (AL1A, AL1B, AL2A, AL2B)	
4		Variateurs Lexium			Organes de sécurité tertiaire pour circuit sortie alimentations 24 V DC	Relais

Figure 130 : Répartition graduée de l'appareillage sur la grille de montage

Au niveau 4, seuls quatre variateurs de lames ont été installés à ce jour. Une fois le fonctionnement de la machine validé, cinq autres lames pourront être développées. Néanmoins, un emplacement pour installer les variateurs (liés à ces lames) a été réservé et les circuits des départs moteurs ont eux été mis en place.

Dans les perspectives de notre travail, l'insertion du pilotage des cinq dernières lames se limitera uniquement à l'installation et au raccordement des variateurs sur la grille de montage, à la place qui leur a été attribuée.

Diverses alimentations 24V DC ont été employées pour alimenter, switch, contrôleur et circuit de commande général et circuits de commande de variateurs.

Tableau 30: Désignation des alimentations 24 VDC de la grille de montage

Repère	Désignation
AL1A	Alimentation module <i>Power</i> (contrôleur LMC058)
AL1B	Alimentation module <i>power</i> (contrôleur LMC058)
AL2A	Alimentation circuit de commande Lexium 32A : peigne, tracteur, inserts
AL2B	Alimentation circuit de commande Lexium 32A moteurs lames
AL3	Alimentation circuit de commande général
AL4	Alimentation Switch Ethernet

Sur cette grille sont également mis en place tous les organes de sécurité nécessaires à la protection de l'appareillage. Il s'agit de disjoncteurs dont le type et les calibres assignés seront définis dans le paragraphe 12.

11.3. Circuit de commande 24V DC général

Le circuit de commande 24V DC général permet la mise sous tension du circuit des divers préactionneurs (contacteurs des départs moteurs), pilotés par le contrôleur. Il permet ainsi de ne pas laisser sous tension permanente les circuits de puissance des variateurs et de manière générale les circuits de sortie pilotés par le contrôleur.

Un relais K_{A0} autorise la mise sous tension du circuit de commande 24V Dc général de la machine. Il est piloté par les boutons AR et Ma présents sur le dessus de la grille.

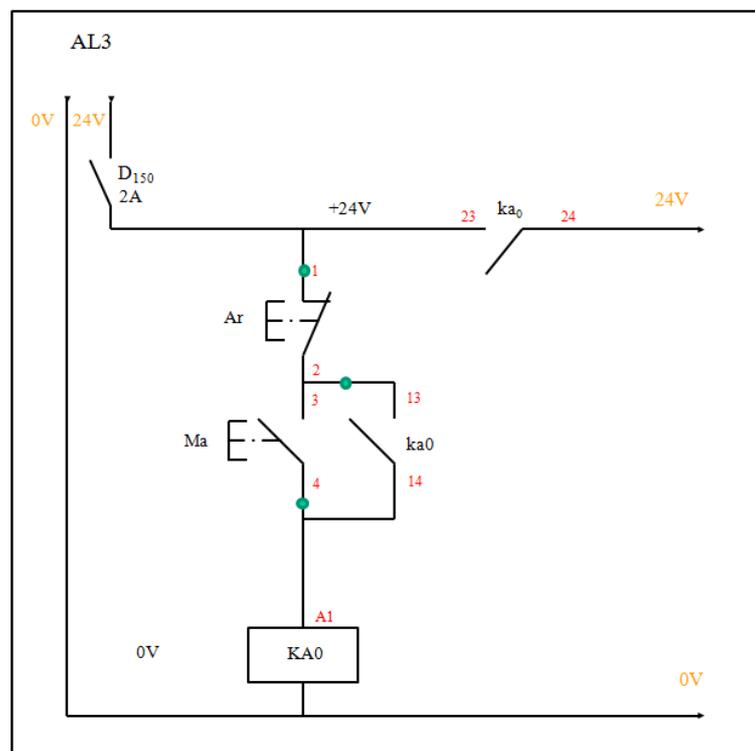


Figure 131 : Circuit de commande 24V DC général

Dès la déconsignation et la mise sous tension de la grille, le relais K_{A0} doit être alimenté pour utiliser la machine.

12. Protection de l'appareillage

La protection des divers circuits électriques est une partie importante pour sécuriser la machine ainsi que les utilisateurs. L'installation électrique développée au sein de notre

machine est conforme à toute structure d'installation rencontrée couramment au sein des machines.

Dans notre installation on peut décliner trois niveaux :

- alimentation générale : protection générale ;
- circuits départs moteurs et circuits d'entrée des alimentations : protection secondaire ;
- circuits de sortie des alimentations : protection tertiaire.

12.1. Protection générale sur la grille

12.1.1. Principe général de la protection

En aval de l'interrupteur I_{R0} , est montée une protection générale, basée sur un disjoncteur tétrapolaire D_0 muni d'un bloc différentiel 30 mA, conforme aux règles de sécurité en vigueur.

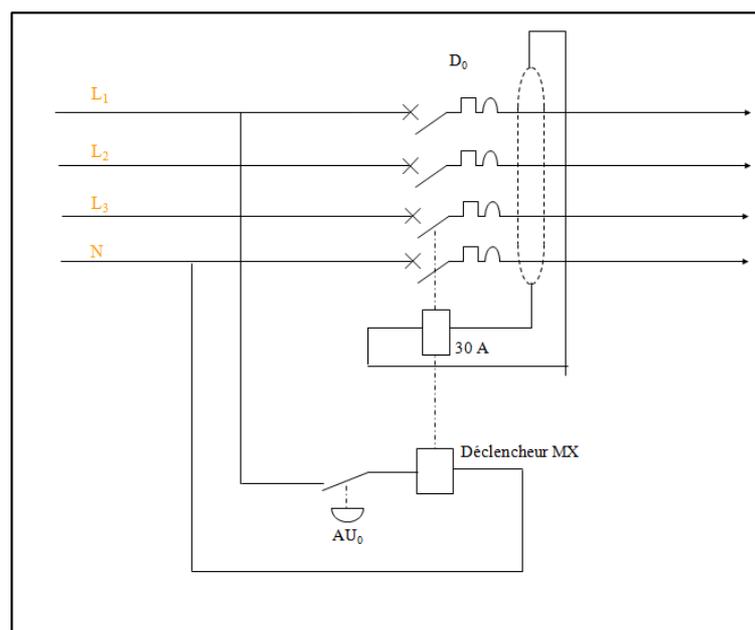


Figure 132 : Protection générale

Un bouton d'arrêt d'urgence général (AU0) assure la coupure et l'isolation générale au moyen d'un déclencheur de type Mx (à émission de tension). Ce déclencheur monté sur le disjoncteur principal, voit sa bobine interne mise sous tension lors de l'appui sur l'arrêt d'urgence entraînant le changement de position mécanique des contacts du disjoncteur principal, soit l'ouverture définitive et l'isolation de la machine. L'accrochage et le déverrouillage par clef de l'arrêt d'urgence empêche le redémarrage automatique. Le placement d'un cadenas sur l'interrupteur tournant I_{R0} , consigne l'ouvrage électrique

12.1.2. Schéma divisionnaire des circuits

Il est à noter que la configuration de base de notre machine est donnée pour un montage avec quatre lames seulement, conduisant à un courant total consommé donné. Le passage à neuf lames demandera de redéfinir le courant total consommé par la machine qui aura logiquement augmenté. Le courant assigné au disjoncteur est déterminé en fonction des courants consommés par chacun des circuits. Dans ce cas, nous avons choisi d'anticiper cet ajout des cinq dernières lames dès le départ pour dimensionner la protection générale.

Au total, dix-neuf départs de circuit sont à mettre en place sous la protection principale. Ils sont liés aux treize circuits départs moteurs et six départs de circuits liés aux diverses alimentations 24V DC utilisées (*Figure 133*).

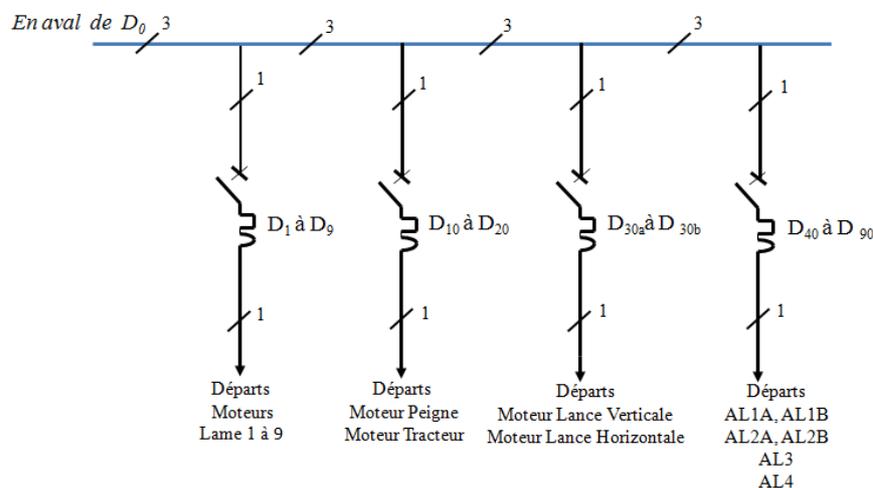


Figure 133 : Schéma divisionnaire des dix-neuf circuits

Afin de respecter un certain équilibre ou une répartition quasi identique des courants sur les trois phases d'alimentation générale, il a fallu identifier la consommation de chacun des circuits. Pour cela, nous avons consulté les différentes documentations techniques associées à chaque matériel utilisé.

12.1.3. Répartition des circuits par phase

Le *Tableau 31* résume les caractéristiques importantes de ces appareils et fait apparaître la répartition par phase adoptée.

Tableau 31: Répartition des circuits par phase et calcul du courant total par phase

Circuits	Phase 1	Phase 2	Phase 3	I _{Nominal}	Cos φ	Facture de charge	Facture de marche	I _{Retenu}	I phase 1	I phase 2	I phase 3
Variateur lame 1 (VL1)	x			4,5	0,97	1	1	4,5	4,5		
Variateur lame 2 (VL2)		x		4,5	0,97	1	1	4,5		4,5	
Variateur lame 3 (VL3)			x	4,5	0,97	1	1	4,5			4,5
Variateur lame 4 (VL4)	x			4,5	0,97	1	1	4,5	4,5		
Variateur lame 5 (VL5)		x		4,5	0,97	1	1	4,5		4,5	
Variateur lame 6 (VL6)			x	4,5	0,97	1	1	4,5			4,5
Variateur lame 7 (VL7)	x			4,5	0,97	1	1	4,5	4,5		
Variateur lame 8 (VL8)		x		4,5	0,97	1	1	4,5		4,5	
Variateur lame 9 (VL9)			x	4,5	0,97	1	1	4,5			4,5
Variateur Peigne (VP)	x			4,5	0,97	1	1	4,5	4,5		
Variateur Tracteur (VT)		x		4,5	0,97	1	1	4,5		4,5	
Variateur Lance Verticale (VLV)			x	4,5	0,97	1	1	4,5			4,5
Variateur Lance Horizontale (VLH)	x			4,5	0,97	1	1	4,5	4,5		
Alimentation AL1A		x		1,2	0,65	1	1	1,2		2	
Alimentation AL1B			x	1,2	0,65	1	1	1,2			2
Alimentation AL2A	x			1,2	0,65	1	1	1,2	2		
Alimentation AL2B		x		1,5	0,68	1	1	1,5		2	
Alimentation AL3			x	1,2	0,65	1	1	1,2			2
Alimentation AL4	x			0,4	0,5	1	1	0,4	2		
Courant total									23,78	20,3	20,01

Nous avons choisi initialement de répartir sur les phases 1, 2, 3 de manière chronologique : les moteurs des lames, du peigne, du tracteur, de l'axe vertical du système d'insertion, de l'axe horizontal du système d'insertion et les diverses alimentations.

Il s'agit là d'une répartition initiale qui peut être affinée selon la valeur du courant total qui sera calculée.

12.1.4. Calcul du courant retenu pour chaque récepteur

Les moteurs sont surdimensionnés par rapport à l'application pour laquelle on les emploie.

Dans le calcul des dimensionnements des installations électriques un facteur de charge k_c est souvent appliqué afin de déterminer les puissances mises en jeu et le choix de l'assignement des calibres des sécurités au plus proche des conditions réelles d'emploi.

Les conditions d'emploi à faible charge minimisent la consommation de courant par les récepteurs. L'application d'un coefficient réducteur au courant d'emploi ($I_{Nominal}$) nous conduirait à utiliser, pour les calculs, une valeur de courant minimisée que l'on nomme I_{Retenu} .

$$I_{Retenu} = k_c \times I_{Nominal} \quad (IV-2)$$

Pour dimensionner le calibre de la protection générale, on peut prendre en compte un autre paramètre qui est la probabilité que plusieurs circuits fonctionnent en même temps. Si ce n'est pas le cas, le courant total serait minimisé.

Dans notre cas, le peigne et/ou l'insertion ne se déplacent pas en même temps que les lames. Cette probabilité risque alors d'être minimum. On pourrait envisager de minimiser les puissances mises en jeu en simultanée, et donc le courant total consommé.

Pour cela un facteur réducteur de marche en parallèle (k_{MP}) des circuits peut également être utilisé. Il correspond au taux d'utilisation des circuits en simultanée.

Dans ce cas, le courant retenu serait défini par l'équation suivante :

$$I_{Retenu} = k_c \times k_{MP} \times I_{Nominal} \quad (IV-3)$$

Nous avons envisagé, pour nos calculs, des coefficients de réduction unitaires pour le dimensionnement du calibre d'assignation de la sécurité principale, ce qui nous permet de disposer d'un courant maximisé et donc d'une réserve, dans le cas de développements futurs sur la machine (ajout de nouveaux circuits éventuels).

La sécurité principale, placée en tête de l'installation, a pour rôle en premier lieu, de protéger en cas de court-circuit.

Pour ce qui est de la surcharge d'un circuit localisé, les différents départs de circuits (situés en aval de la protection générale) utilisent une protection propre par un disjoncteur, qui sera assigné d'un calibre au plus proche du récepteur utilisé.

L'emploi d'un calibre disjoncteur surdimensionné est associé à l'utilisation de fils ou câbles de sections adaptées, pour que ces derniers puissent supporter les charges (intensités) correspondant au calibre.

En n'appliquant aucune réduction au courant d'emploi des récepteurs, notre calcul de dimensionnement sera maximisé.

12.1.5. Calcul des consommations par phase

Le courant total par phase I_{ti} est calculé à partir du courant d'emploi et du facteur de puissance de chacun des récepteurs, au moyen des relations suivantes [89] :

$$I_{ti} \times \cos \varphi_t = I_{Ra} \times \cos \varphi_a + I_{Rb} \times \cos \varphi_b + \dots \dots \dots + I_{Rn} \times \cos \varphi_n \quad (\text{IV-4})$$

$$I_{ti} \times \sin \varphi_t = I_{Ra} \times \sin \varphi_a + I_{Rb} \times \sin \varphi_b + \dots \dots \dots + I_{Rn} \times \sin \varphi_n \quad (\text{IV-5})$$

$$I_{ti} = \sqrt{(I_{ti}^2 \times \cos^2 \varphi_t + I_{ti}^2 \times \sin^2 \varphi_t)} \quad (\text{IV-6})$$

D'après les calculs effectués nous arrivons à des courants par phase (*Tableau 31*) de :

$$I_{t1} = 23,78 \text{ A} \qquad I_{t2} = 20,3 \text{ A} \qquad I_{t3} = 20,01 \text{ A}$$

Selon notre choix de répartition des circuits sur les phases, nous obtenons en premier lieu une répartition plus ou moins équilibrée. Le choix de placer les alimentations AL2A et AL4 sur les phases 2 et 3 plutôt que sur la phase 1, conduirait peut-être à un meilleur équilibre. Nous sommes restés sur notre premier choix en considérant que la différence entre les phases n'est pas vraiment significative.

Nous nous basons alors sur un courant maximal par phase moyen de 23A.

12.1.6. Recherche du courant assigné pour la protection

Dans les gammes de disjoncteurs fabriqués, plusieurs calibres sont disponibles. Parmi ces calibres, certains d'entre eux sont couramment utilisés et font l'objet d'une standardisation et de production en grande série contrairement à d'autres. Ils correspondent à des applications dont le courant d'emploi est d'une valeur courante pour ce type d'applications. C'est ainsi que des calibres de 10A, 16A, 20A, 32A, 40A, 63A,.....sont des standards.

C'est le cas dans le domaine domestique pour des calibres de disjoncteur allant de 10A à 32A pour les différents circuits de répartition (éclairage, prise de courant,....) et l'installation monophasée est souvent protégé avec en tête une protection générale assignée à 40A. Cette valeur correspond à un abonnement classique de 9 KW souscrit par les utilisateurs auprès de leur fournisseur d'énergie comme ERDF (Electricité Réseau de France). Elle est obtenue (si on tient compte d'un facteur de facteur de puissance autorisé de l'ordre de 0.98) par la relation :

$$I_{max} = \frac{P}{V \times (\cos \varphi)_{\text{mini}}} \quad (\text{IV-7})$$

$$I_{max} = 9000 / 230 \times 0,98 = 40 \text{ A}$$

Des abonnements plus conséquents peuvent être contractés avec un calibre de disjoncteur plus conséquent, mais nécessitant des travaux de ligne pour adapter les installations (augmentation de la section des conducteurs) et demandant des surcoûts de facturation. Au delà, il est souvent judicieusement conseillé de partir sur un abonnement triphasé, où les modifications d'installation sont moindres et où les fournisseurs d'énergie appliquent des tarifications adaptées afin de convaincre les utilisateurs à modifier l'installation au profit du triphasé avec prise en charge des travaux, le cas échéant.

Dans notre cas, nous avons choisi une alimentation triphasée. On peut cependant envisager de se baser sur cette valeur monophasée, si on assimile ici le triphasé à trois circuits monophasés distincts et que nous adoptons une répartition régulière des récepteurs monophasés par phase.

La valeur du courant total par phase est en moyenne de 23A dans la configuration actuelle de la machine.

Cette valeur est inférieure à 40A par phase, nous avons choisi d'assigner le disjoncteur général D_0 à 40A. Cela nous laisse une marge confortable dédiée aux futurs développements qui pourraient être menés sur cette machine.

Nous avons environ en réserve de 17A par phase, ce correspond à l'ajout de 3 moteurs par phase ou un récepteur triphasé de puissance 11,7 kW.

Une option pour un calibre supérieur à 40A (63A standardisé) serait limitée par la protection placée sur le circuit d'alimentation des barres distributrices du laboratoire sur lesquelles est connectée notre machine, dont le courant limite est fixé à 63A. Partageant cette distribution de l'alimentation avec d'autres équipement au laboratoire, cela nécessiterait de tirer une ligne spécifique pour notre machine, solution non acceptée à ce niveau.

Un regard sur l'aspect consommation d'énergie de cette machine devra être porté dans des travaux futurs pour qu'elle ne devienne pas trop énergivore non plus. Dans notre cas de calcul (avec en moyenne un courant de 23A) nous avons déjà une machine consommant au maximum environ 16kW, ce qui est déjà non négligeable. Si on tient compte des conditions d'utilisations des divers moteurs en simultanée et en sous charge, la consommation est en réalité bien inférieure, ce qui nous laisse suffisamment de marge en se limitant à un calibre de 40A.

12.1.7. Choix du disjoncteur

Les caractéristiques du réseau électrique du laboratoire nous imposent l'utilisation, en cas de court-circuit, d'appareils de coupure dont le pouvoir de coupure est assigné à $I_{cc} = 10 \text{ kA}$. Cela stipule qu'ils sont en mesure de pouvoir ouvrir le circuit de l'installation dans le cas d'un courant de court-circuit avec une intensité de 10 kA sans risquer de souder leurs contacts.

Les caractéristiques du disjoncteur principal de la machine que l'on va utiliser, se résume alors à ceci :

Disjoncteur Tétrapolaire 400 V / $I_{assign} = 40A$ / $I_{cc} = 10 \text{ KA}$, courbe C

Pour la protection générale, nous avons donc choisi un matériel complet associant disjoncteur, protection différentielle et bloc déclencheur à émission de tension *MX* (annexe 12).

12.2. Protection secondaire

Chaque départ de circuit secondaire est protégé par un disjoncteur. Le calibre des disjoncteurs est généralement assigné en fonction de la consommation en courant du circuit qu'il protège. Il est là pour protéger les appareils inclus dans le circuit et les câbles utilisés en cas de surcharge. La surintensité créée par les appareils utilisateurs présents dans le circuit protégé, conduit à une surintensité pouvant causer la destruction et l'échauffement des câbles. Le calibre assigné aux disjoncteurs permet d'éviter cela, en provoquant la mise hors tension du circuit en aval (en cas de défaut de surcharge), par le biais des dispositifs de déclencheur thermique (à base de bilames par exemple) dont ils sont équipés et qui détectent ce dépassement de courant assigné.

Généralement, ces surintensités conduisent à la disjonction quasi-systématique des disjoncteurs à la mise sous tension, ce qui est contraignant. Dans ce cas, les disjoncteurs vendus dans le commerce sont caractérisés par des courbes de déclenchement (A, B, C, D). Ces lettres désignent la capacité du disjoncteur à encaisser, pendant un court laps de temps, une intensité supérieure à celle pour laquelle il a été affecté.

La courbe C permet d'encaisser 5 à 10 I_n alors que, la courbe D de 10 à 14 I_n .

Dans le cas de nos départs moteurs, la courbe C est préconisée. Quant aux alimentations 24V Dc, c'est plutôt la courbe D qui s'impose.

12.2.1. Protection secondaire au niveau des départs moteurs

Du fait que l'on ait uniformisé les circuits de départs moteurs, la protection mise en place dans chacun de ces circuits est identique.

On se base sur le courant d'emploi des variateurs de 4,5 A pour choisir notre disjoncteurs. Nous avons utilisé un bloc départ moteur (*Figure 118*).

Le calibre du disjoncteur de ce bloc commence au minimum à 12,5 A (réglable au minimum à 9A). En les réglant à 9A, on obtient une valeur de réglage approximativement égale à deux fois le courant d'emploi d'un Lexium 32A, ce qui est acceptable.

Le pouvoir de coupure de ces disjoncteurs est de 100 kA, soit supérieur à la valeur préconisée que l'on a indiquée précédemment et donc adaptée.

12.2.2. Protection d'entrée des alimentations

Les alimentations présentes sur la grille de montage sont des alimentations modulaires à découpage. Elles conduisent à utiliser des protections par des disjoncteurs de courbe D dont le calibre est assigné en fonction du courant en entrée des alimentations.

Les références des disjoncteurs sont données en *annexe 12*.

12.2.3. Protection tertiaire en sortie des alimentations 24 V Dc

Les alimentations présentes sur la grille de montage sont essentiellement destinées au switch, aux circuits de commande des variateurs Lexium 32A (alimentés par AL2A et AL2B), ainsi qu'au module Power du contrôleur (alimenté par AL1A et AL1B).

Ces circuits étant alimentés en permanence une fois la machine démarrée, il est nécessaire de les protéger.

La courbe C ne permet pas la mise en route correcte du module Power du contrôleur et conduit occasionnellement à des disjonctions. Ainsi par sécurité nous avons choisi des courbes D sur ces disjoncteurs.

Nous avons également adopté cette courbe D pour le circuit de commande des variateurs, soient les circuits en aval des alimentations AL2A et AL2B.

Les calibres des disjoncteurs utilisés sont définis en fonction des courants d'entrée du module Power (1A, 3A, 6A).

12.2.4. Protection dans le coffret machine et le pupitre IHM

Nous pouvons considérer ces coffrets comme des installations à part. Dans ce cas, ils nécessitent chacun une protection générale.

Tableau 32 : Désignation des alimentations Ilot déporté et IHM

Repère	Désignation
AL_ILD	Alimentation 24V pour Ilot déporté
AL_IHM	Alimentation 24V pour IHM

Pour le coffret machine, nous avons utilisé un disjoncteur de courbe C car il s'agit de protéger une alimentation 24VDC (AL_ILD) destinée à l'ilot déporté et aux capteurs. Nous lui avons associé un bloc différentiel 30 mA et le calibre assigné 4 A est défini en fonction du courant d'entrée de cette alimentation.

Pour le pupitre IHM nous avons également utilisé un disjoncteur de courbe C car il s'agit de protéger une alimentation 24 VDC (AL_IHM) destinée à l'écran tactile. Nous lui avons associé un bloc différentiel 30 mA et le calibre assigné 1A est défini en fonction du courant d'entrée de cette alimentation.

13. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'automatisation de la machine à tisser que nous avons développée. Après avoir fait un rappel sur ce qu'est l'automatisation d'un système, la présentation des principes d'automatisme que l'on peut trouver et développer dans les machines modernes, nous avons pu mettre en évidence la structure automatisée couramment implantée dans ces machines. Nous avons montré l'importance de l'introduction des réseaux au sein de ces machines, qui facilitent l'échange de données entre les différentes composantes de la structure d'une machine automatisée. De là, selon notre application, nous avons pu développer l'architecture de notre automatisation, justifier l'emploi des différents composants d'automatisme, tels que les moteurs, les capteurs, les servovariateurs, le contrôleur, l'ilot déporté, l'IHM. Enfin, nous avons justifié les critères de choix de ces différents composants d'automatisme.

La mise en place de la structure d'automatisation de notre machine nous a conduit à réaliser une installation électrique, dont nous avons dû dimensionner les diverses protections d'usage

(disjoncteurs, choix de section de fils et de câbles) et la mise en place des divers circuits de puissance et de commande des départs moteurs, des alimentations, du contrôleur, de l'îlot déporté, et de l'IHM.

L'emploi de matériels programmables (variateurs, contrôleurs, IHM , îlot déporté) conduit à l'utilisation d'interfaces logicielles disponibles sur un ordinateur, permettant ainsi de configurer ces matériels, de programmer le cycle de fonctionnement de notre machine, d'effectuer des suivis d'évolution de notre machine et d'interagir avec elle pour disposer d'une flexibilité optimale, et des réglages précis des divers mouvements des mécanismes de notre machine.

Ces logiciels s'appuient sur des outils d'automatisme (langages de représentation normalisés IEC 61131-3) et des environnements de programmation logicielle (Standard Codesys) reconnus industriellement et imposés aux développements automatisés.

La description de la conception de notre machine à présente décrit, ainsi que celle de la partie automatisation, nous pouvons passer à la réalisation de notre machine. C'est ce que nous nous proposons de faire au travers au chapitre suivant, en présentant les résultats de sa construction et l'utilisation des diverses interfaces logiciels qui nous ont permis de développer les programmes destinés à la gestion de fonctionnement de notre machine.

ANNÉE 2014

Chapitre VI

Intégration des solutions mécaniques et automatiques

1. Introduction

Nous avons présenté la construction de la machine du point de vue de la structure mécanique et de l'automatisation.

Nous allons maintenant présenter la réalisation de la machine et décrire la méthode qui nous a conduits à définir un cycle de tissage au moyen de la programmation, avant de conclure notre travail et de proposer quelques perspectives qui pourront être menées dans la continuité de notre étude.

2. Caractéristiques des foules sur la machine à tisser développée

A la base, la machine est conçue pour fabriquer 8 couches, alors nous avons besoin de neuf lames. Notre machine est conçue pour fabriquer des tissus de 8 couches, par conséquent, il est nécessaire de travailler avec 9 lames.

Nous avons calculé les caractéristiques de 8 foules qui formeront les 8 couches. Par ailleurs, nous avons calculé la distance entre le peigne et le tissu ainsi que l'emplacement nécessaire au passage de la lance, comme le montre la *Figure 134*.

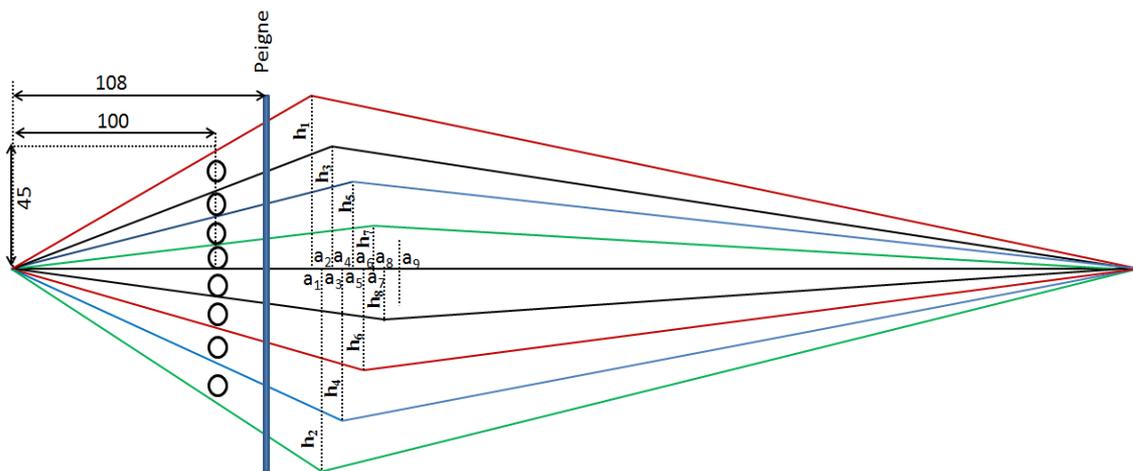


Figure 134 : Caractéristiques des foules sur la machine à tisser

Le *Tableau 33* donne la distance entre la lame et la façade de tissu (a) et la distance entre la lame levée et sa position d'origine (h) pour chaque lame.

Tableau 33 : Valeurs a et h pour les 9 lames

	Lame 1	Lame 2	Lame 3	Lame 4	Lame 5	Lame 6	Lame 7	Lame 8	Lame 9
a	130	138	146	154	162	170	178	186	194
h	59	62	45,2	47,7	34	35,7	17,8	18,6	0

Dans un premier temps, nous avons commencé par le développement de 4 lames seulement. Le choix de ce nombre a été motivé par l'intérêt suscité de valider le principe de réalisation d'un tissu à deux couches minimum. Pour cela, il a fallu commencer par deux foules et quatre lames.

3. Réalisation de la machine à tisser

Le développement d'une telle machine doit prendre en compte l'ensemble des étapes pour la formation d'un tissu, comme le montre la *Figure 135* :

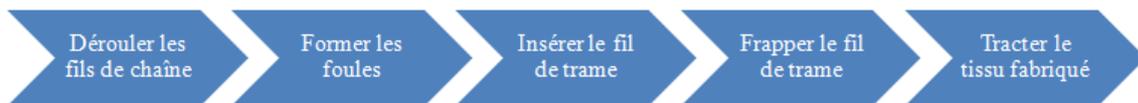


Figure 135 : Etapes de former le tissu

En outre, tous les mécanismes sur la machine ont été rendus indépendants mécaniquement, motorisés et synchronisés électroniquement par l'emploi d'un contrôleur de mouvement.



Figure 136 : Machine à tisser

La *Figure 136* montre un plan général de la machine développée. On distingue deux parties principales :

- la partie mécanique, composée à son tour de :
 1. Un système de dérouleur de chaîne (*Figure 137*) : il consiste en un cantre, un peigne fixe et un système d'embarrage ;

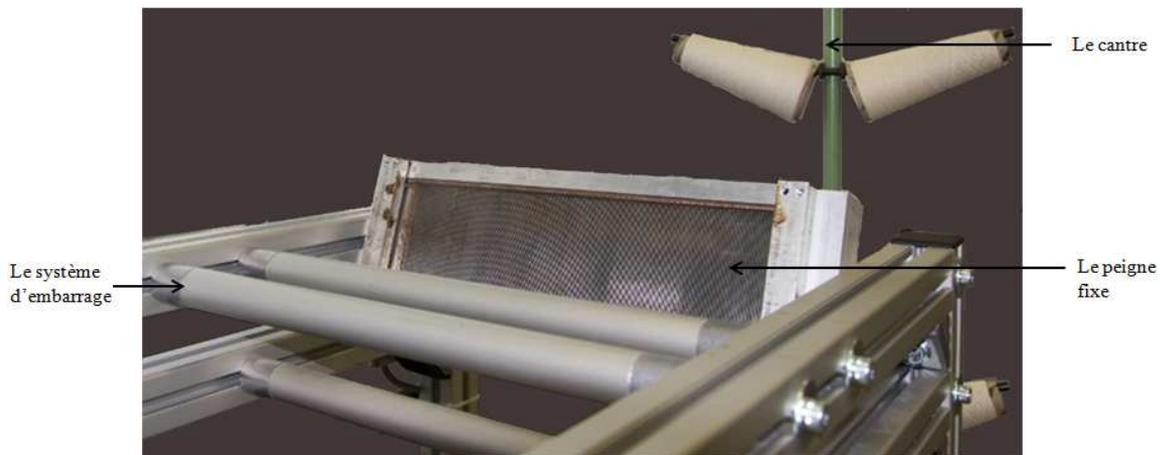


Figure 137 : Dérouleur de chaîne

2. Un système de formation de foule (*Figure 138*) : il est composé de quatre lames qui ont mû par le biais des crémaillères et des pignons motorisés ;

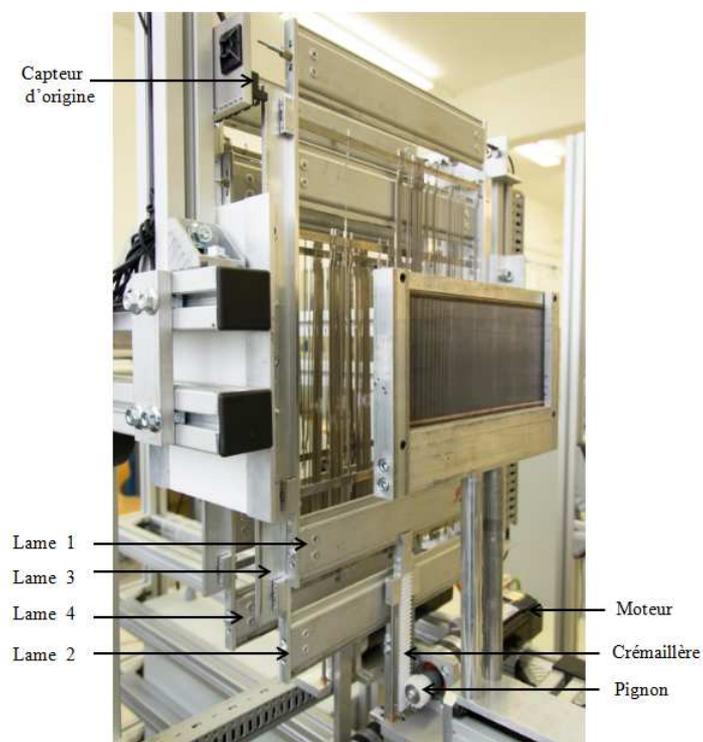


Figure 138 : Système de formation de la foule

3. Un système d'insertion de la duite (*Figure 139*) : il consiste d'un pince mécanique piloté par un système biaxe motorisé ;

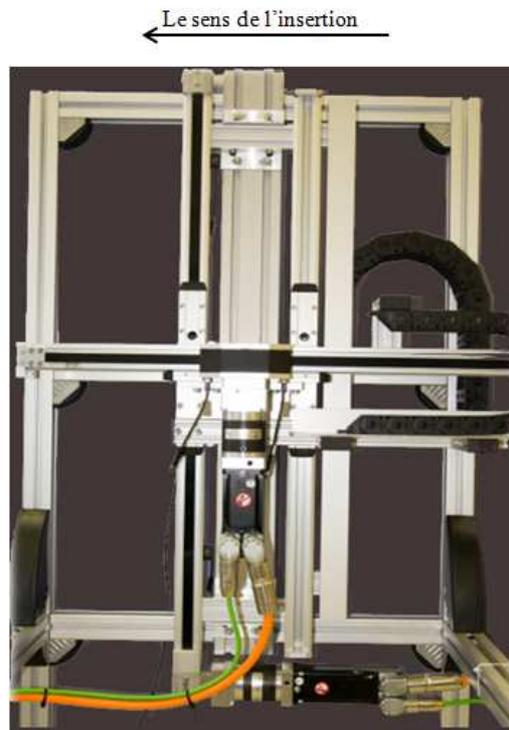


Figure 139 : Biaxe motorisé pour le système d'insertion

4. Un système de frappe de la duite (*Figure 140*) : il consiste en un peigne piloté par un axe linéaire motorisé ;

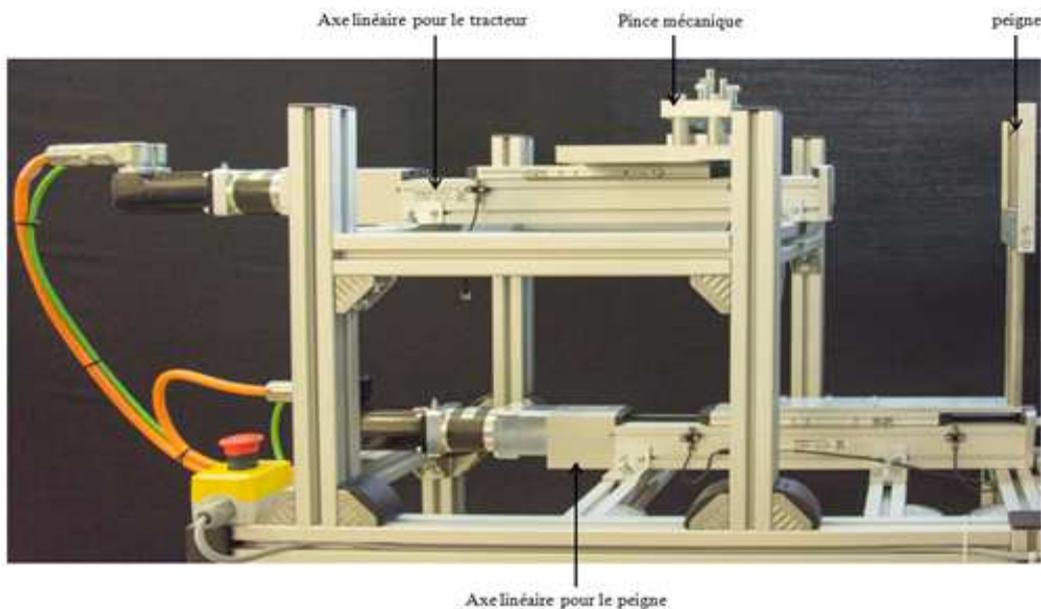


Figure 140 : Système de frappe et d'appel le tissu

5. Un système d'appel de tissu (*Figure 140*) : il comporte une pince mécanique montée sur un axe linéaire motorisé.

La *Figure 141* montre la vue d'ensemble de la partie mécanique de la machine.



Figure 141 : La partie mécanique de la machine à tisser

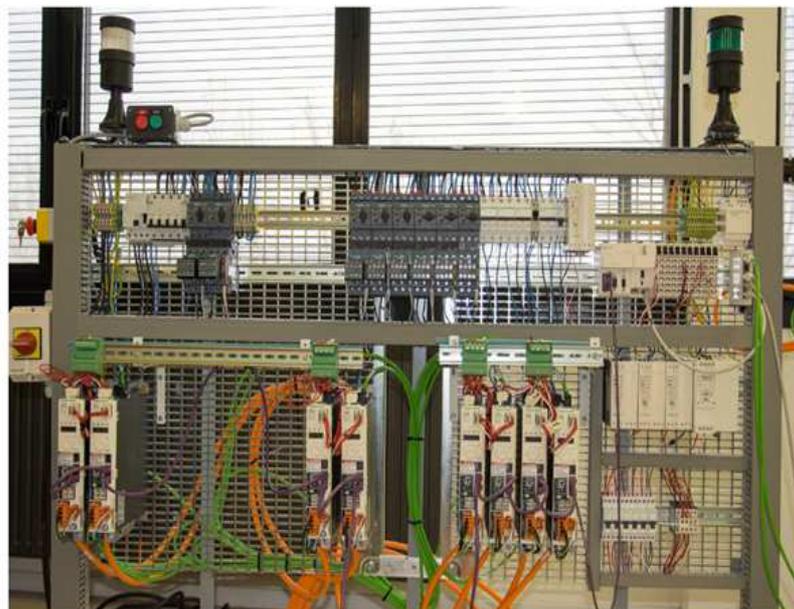
- La partie automatisation représentée à la *Figure 142*.



Pupitre IHM



Coffret OTB



La grille de commande

Figure 142 : La partie automatisation de la machine à tisser

4. Programmation de la machine à tisser

Pour le bon fonctionnement de la machine à tisser, et comme nous l'avons expliqué dans le chapitre 1, tous les mouvements ont besoin d'être synchronisés ensemble, pour ce faire, il est nécessaire de programmer le contrôleur de mouvement (LMC058) et l'Interface-Homme-Machine (IHM).

La programmation du contrôleur s'effectue au moyen de l'interface logicielle Somachine et la programmation de l'IHM se fait par le logiciel Vijeo designer.

Le projet développé sous Somachine s'organise autour de trois points principaux qui sont :

- la configuration de l'application ;
- la programmation du LMC058LF42 ;
- la programmation de l'IHM.

4.1. Configuration de l'application

La configuration consiste :

- à positionner le contrôleur utilisé ;
- définir la connexion avec l'écran de l'IHM utilisé et les différents Lexium 32A.

La Figure 143 donne un exemple d'un schéma de configuration avec 6 variateurs.

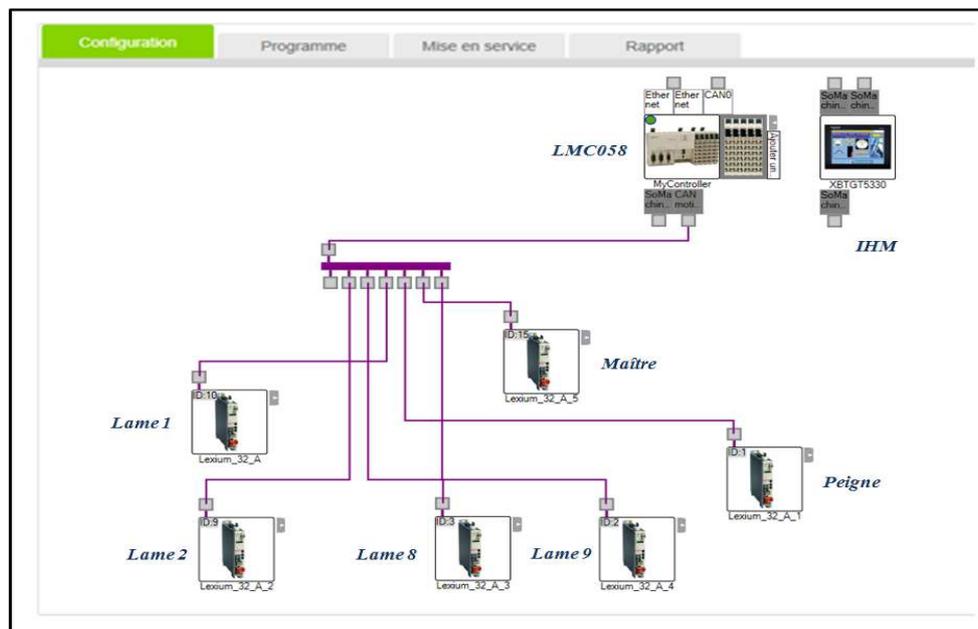


Figure 143 : Configuration sous Somachine

Nous avons disposé sur le bus cinq variateurs esclaves et un variateur maître. Les esclaves sont quatre axes réels pour quatre lames et un axe pour le peigne. En revanche, l'axe maître est un axe virtuel. Il est un axe déclaré comme rotatif sur lequel seront synchronisés les autres axes par un profil de came électronique, définit par le biais de l'horloge de tissage de la machine à tisser.

Le profil de came électronique permet le positionnement de chaque axe par rapport à cet axe maître. Chaque axe esclave aura un profil de came propre à lui et modifiable. Cette option participe grandement à la flexibilité de la nouvelle structure de la machine à tisser par rapport à la machine classique.

Généralement, les différents axes dans la machine à tisser doivent être asservis avec l'axe du peigne. Dans ce cas, deux solutions peuvent être utilisées sur la machine :

1. soit l'axe du peigne sera en relation directe avec cet axe maître virtuel ;
2. soit la solution technologique faisant appel à un axe maître réel externe. Dans ce cas, l'automate possède une entrée codeur qui permet de récupérer l'information de la position à partir du variateur d'un axe réel maître, qui dans notre cas aurait pu être le peigne, commandé indépendamment par les autres axes.

Nous avons choisi la première solution qui nous permet de modifier l'horloge selon les besoins, et de modifier le profil de la commande du peigne ce qui augmente la flexibilité de la machine.

4.2. Programmation du contrôleur

Les programmations du contrôleur et du IHM (XBTGT5330) s'effectuent dans l'onglet "Programme", dans les dossiers MyController (LMC058LF42) et XBTGT5330 (XBTGT530).

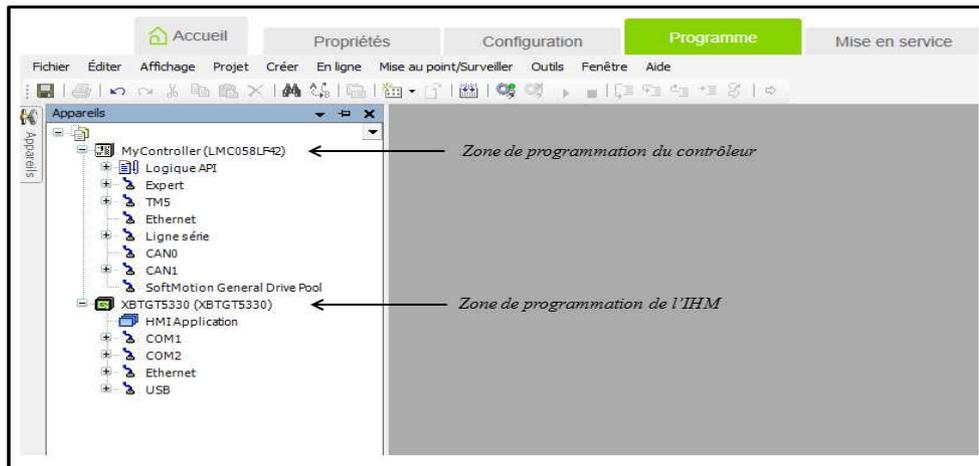


Figure 144 : Configuration sous Somachine

Parmi les sous dossiers de MyController (LMC058LF42), certains sont dédiés à :

- la mise en place de la logique API ;
- la configuration du contrôleur (Modules d'E/S utilisés) ;
- la connexion CANmotion (CAN1) ;
-

4.2.1. La configuration du contrôleur (Modules d'E/S utilisés)

Dans le programme Somachine, l'adressage des E/S des variables des modules *DO12TE*, et *TM5C2412R* est déclaré pour piloter les différents préactionneurs (KM_i) et les voyants lumineux. Cette configuration se fait dans le sous menu TM5 et le sous répertoire TM5_Manager, comme il est montré dans la Figure 145.

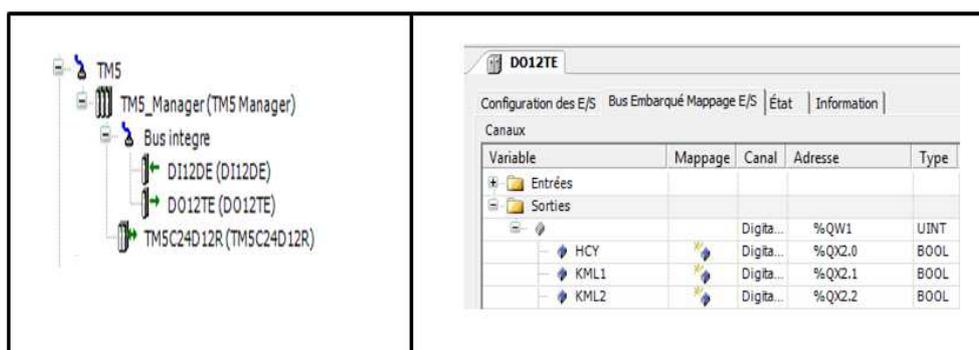


Figure 145 : Adressage des variables de sortie du module *DO12TE*

L'affectation des noms de variable de sortie du module *DO12TE* s'effectue dans l'onglet Bus Embarqué Mappage E/S. L'adressage des variables de sortie du module d'extension s'effectue de manière similaire, dans le sous répertoire *TM5C2412R*.

4.2.2. La connexion CANmotion (CAN1)

Dans le sous répertoire CAN1 seront déclarées les configurations des variateurs, comme on le voit dans le schéma de configuration (*Figure 146*).

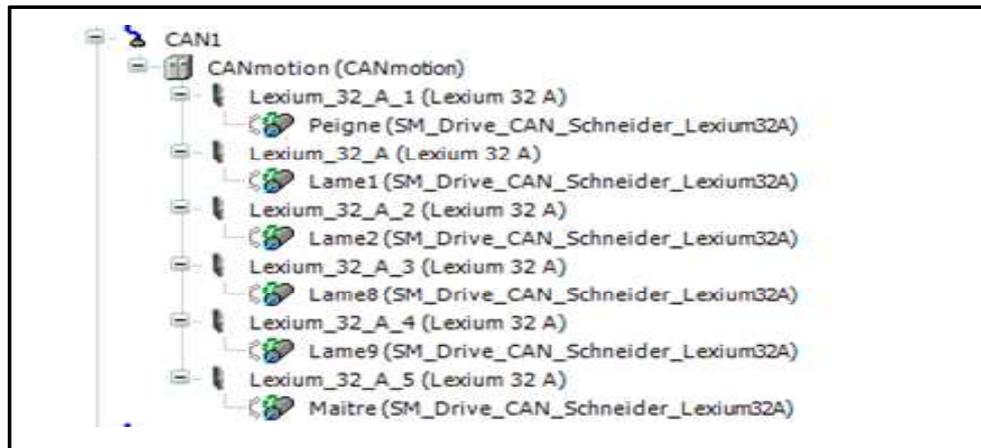


Figure 146 : Définition des axes

Chaque variateur est configuré en fonction :

- du type d'axe (virtuel, rotatif, ou linéaire) ;
- du rapport de réduction si un réducteur est utilisé ;
- des vitesses, accélérations limites.

La configuration de l'axe maître diffère des autres axes. Les principaux paramètres à déclarer sont à retrouver dans les deux onglets visibles sur la *Figure 147* :

- entraînement SoftMotion : Paramètres de base ;
- entraînement SoftMotion : graduation / mappage.

Sur la machine, cet axe maître est déclaré comme virtuel et rotatif (similitude avec une horloge de temps). Aucun coefficient de réduction n'est pas défini car nous sommes basés sur un axe sans réduction de vitesse.

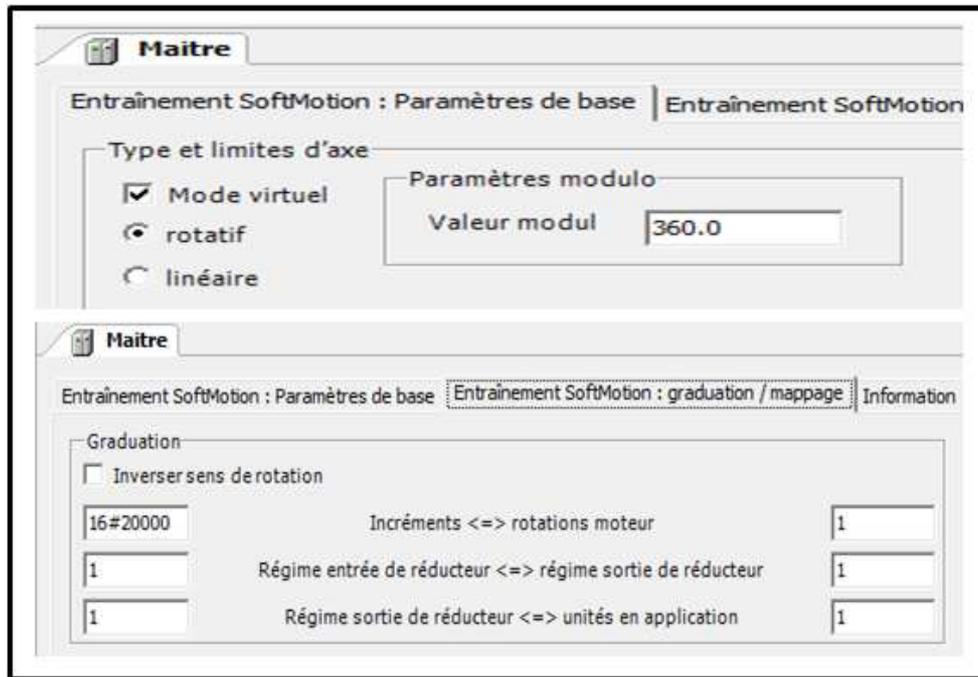


Figure 147 : Configuration de l'axe Maitre

En ce qui concerne l'axe du peigne, il sera déclaré comme axe non virtuel et linéaire, car il s'agit d'un axe de translation linéaire (Figure 148).

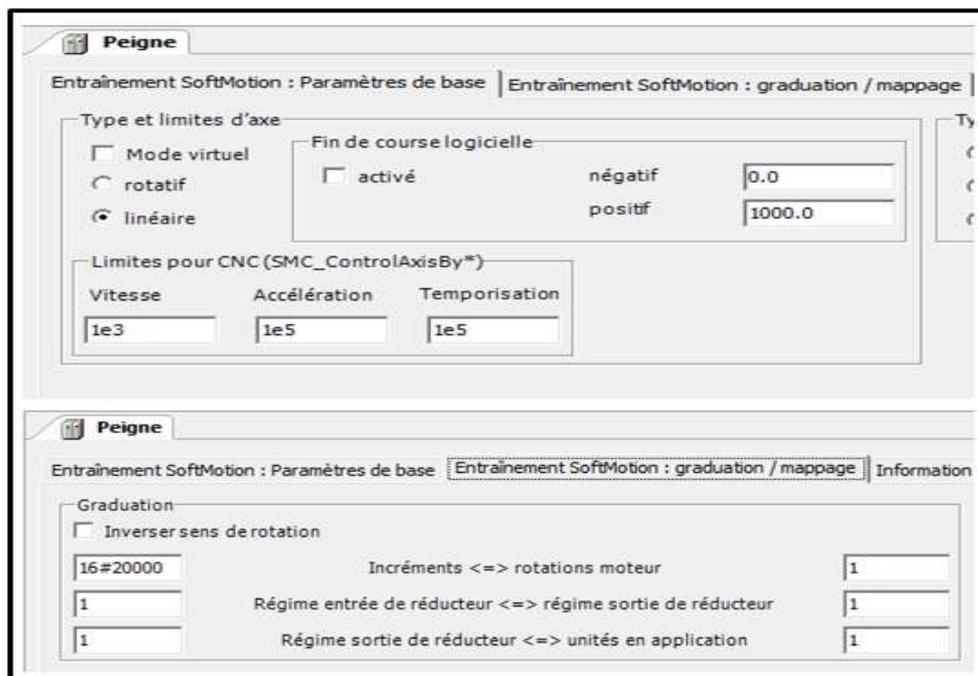


Figure 148 : Configuration de l'axe du peigne

Concernant les lames, l'usage d'un réducteur de vitesse sur l'arbre moteur conduit à déclarer que l'axe en entrée de réducteur (sortie moteur) tourne 40 fois plus vite que celui en sortie. Un exemple de configuration pour la lame1 est donné par la Figure 149.

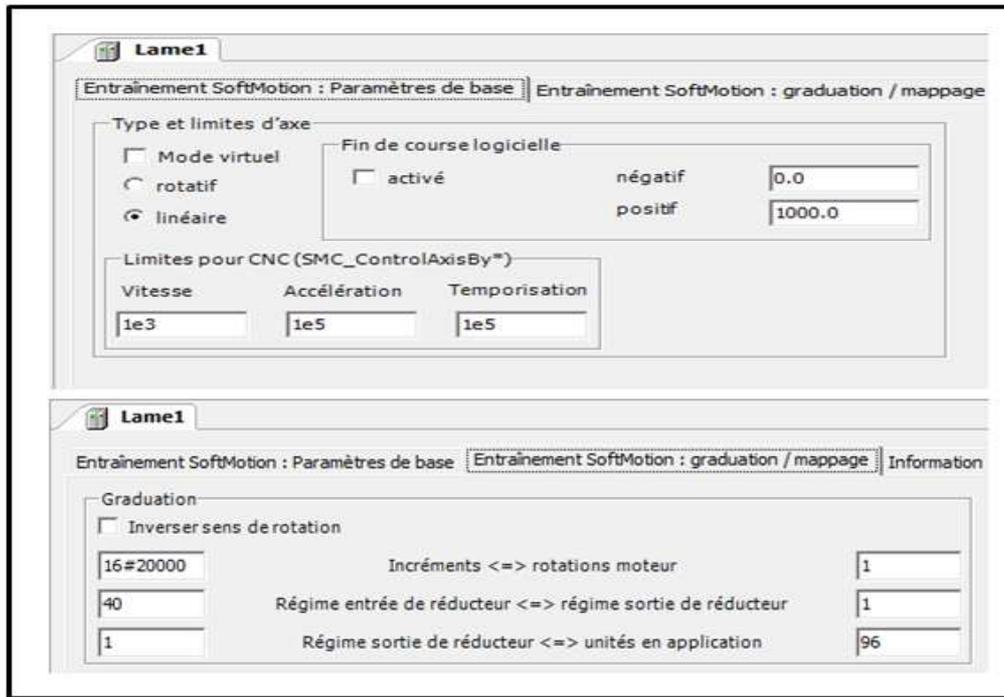


Figure 149 : Configuration de l'axe de la lame 1

Les autres paramètres (comme la vitesse, l'accélération limite,...) au niveau des divers axes ont été conservés par défaut et seront ajustés lors de la mise au point de la machine.

4.2.3 Mise en place de la logique API

Il s'agit là du dossier le plus conséquent en matière de programmation. Dans la logique API est développé un certain nombre de POU destinés à gérer les diverses fonctions d'automatisme assurées par le contrôleur.

Nous donnons ci-après un exemple de ces quelques fonctions :

- la définition des variables GVL ;
- lecture de l'état des capteurs à partir de la communication avec l'OTB ;
- la gestion de mouvement des axes automatisés ;
- mise en place des axes par un profil de came ;
- mise en place d'un cycle de fonctionnement ;
- développement d'une gestion manuelle des axes ;
- gestion de calage des axes.....

Nous développons ci-après ici, quelques exemples de ces POU, programmés dans Somachine.

Définition des variables GVL

Le dossier GVL contient une liste des variables correspondant à la déclaration de l'ensemble des variables de type "Global" échangeables entre toutes les POU, contrairement à celles qui déclarés dans chaque POU qui sont utilisés uniquement au niveau de ces POU.

La *Figure 150* donne un exemple de la déclaration de deux variables correspondant à deux boutons programmés sur l'IHM (Marche et Arrêt). Ces deux boutons ont pour rôle de mettre en route ou en arrêt la commande de la machine depuis l'IHM.

A screenshot of a software interface for defining global variables. The interface shows a list of lines numbered 1 to 10. Line 1 contains the text 'VAR_GLOBAL'. Lines 4 and 9 contain a series of diagonal slashes. Line 6 contains the declaration 'marche: BOOL; // demande de mise en marche (bouton IHM)'. Line 7 contains the declaration 'arret: BOOL; // demande de mise en marche (bouton IHM)'. The text is displayed in a monospaced font with some color coding (blue for keywords).

Figure 150 : Exemple de variables GVL

Le placement de ces variables en grandeurs globales permet leur utilisation au sein des divers POU programmés.

Les variables peuvent être déclarées sous plusieurs types (BOOL, Word, LReal,).

Lecture de l'état des capteurs à partir de la communication avec l'OTB

Cette fonction consiste à récupérer l'état de tous les capteurs, les boutons poussoirs ou "coup de poing" à partir de la communication Ethernet entre le contrôleur et l'ilot déporté (OTB).

Cette lecture s'opère à partir d'une requête cyclique qui consulte, à partir de l'adresse de l'OTB, les variables d'échanges avec L'OTB. Les bits de ces variables d'échanges sont stockés dans un tableau. Ces variables sont correspondants aux états des entrées de l'OTB sur lesquels sont connectés capteurs et boutons.

La programmation de cette fonction est réalisée avec un POU programmé en CFC et la réalisation de la récupération des données depuis l'OTB est à partir de blocs (comme : BLINK, ADDM et READ_VAR).

Le bloc ADDM stocke les données, en provenance de l'adresse de l'OTB, dans une table nommée AD_Table. Le bloc Read_Var permet la lecture de la table adressée et transfère les mots correspondants aux modules d'E/S de l'OTB (soit 4 dans notre cas) en quatre mots Buffer (Buffer_de_lecture). Cette opération est décrite par le schéma sur la *Figure 151*.

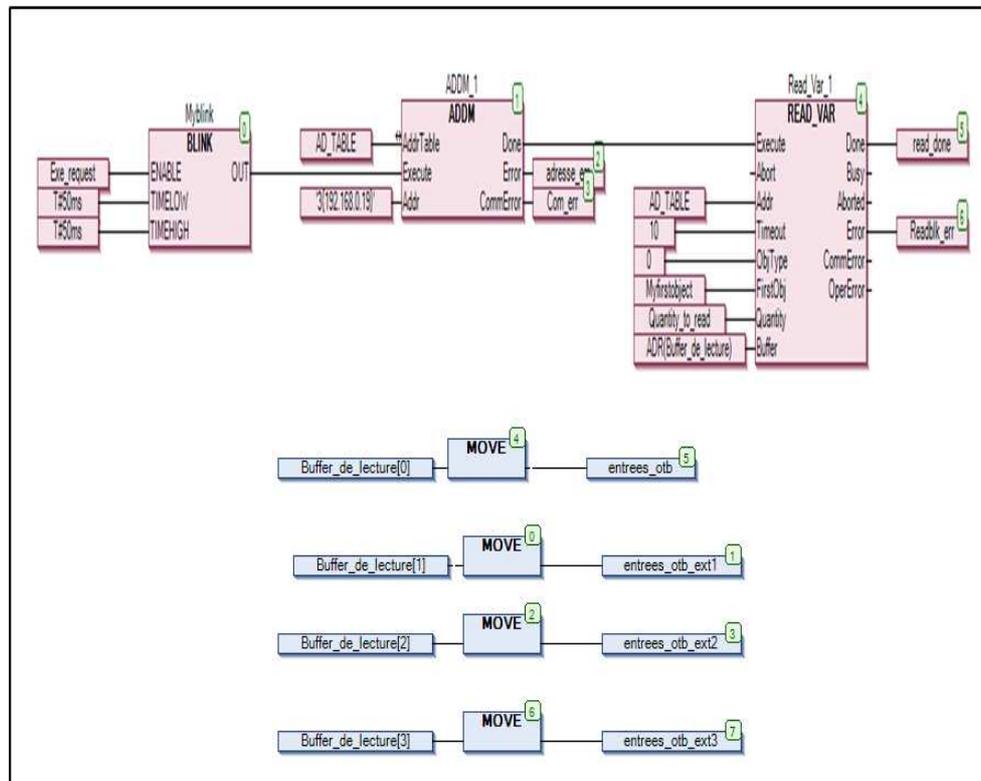


Figure 151 : Programmation de la lecture des informations en provenance de l'OTB

La seconde partie du diagramme sur cette figure permet de transférer les mots binaires (de 16 bits) vers les variables définies pour le programme grâce à la fonction MOVE.

Le mot variable entrees_OTB permet alors de connaître l'état des capteurs connectés sur le module d'entrées de base de l'OTB (lames en position haute L_{ih}). Les autres mots permettent de connaître l'état des capteurs connectés sur les diverses extensions utilisées. Ainsi une surveillance de l'un des bits de ces mots permet de déterminer l'état d'un capteur considéré.

La gestion de mouvement des axes automatisés

En ce qui concerne la gestion des axes motorisés, c'est-à-dire la logique de commande qui permet la mise en puissance (Power) des variateurs, la commande en vitesse des axes motorisés (Move_velocity), l'arrêt (Stop) du mouvement des axes et la réinitialisation (Reset) des variateurs. Elle dépend des modes de marches que nous avons introduits dans notre commande.

En effet, nous avons choisi d'intégrer plusieurs modes de fonctionnement correspondant par exemple à :

- autorisation de lecture des capteurs ;
- phase de validation /déviation des axes en mode manuel ;
- phase de calage manuel des lames (suite par exemple à une nouvelle introduction de la lame dans la machine) ou des divers axes linéaires (en position initiale) ;
- mode automatique avec validation / déviation des axes en mode automatique ;
- fonctionnement des axes avec un profil de cames électroniques.

Chaque fonctionnement fait appel à des logiques de mise en route et d'arrêt définies et programmées chacune dans une POU, en Ladder (LD), Grafset (SFC) ou Continuous Function Chart (CFC).

La programmation en CFC des axes permet de faire appel à des blocs dédiés Motion de type PLC Open (reconnu et référencé dans le domaine du Motion).

La *Figure 152* montre une programmation d'un axe par utiliser les blocs : MC_Power, MC_Reset, MC_Stop et MC_MoveVelocity. Chaque bloc est référencé de son axe et possède une entrée d'exécution (Execute) qui est associée à une logique de commande programmée en LD.

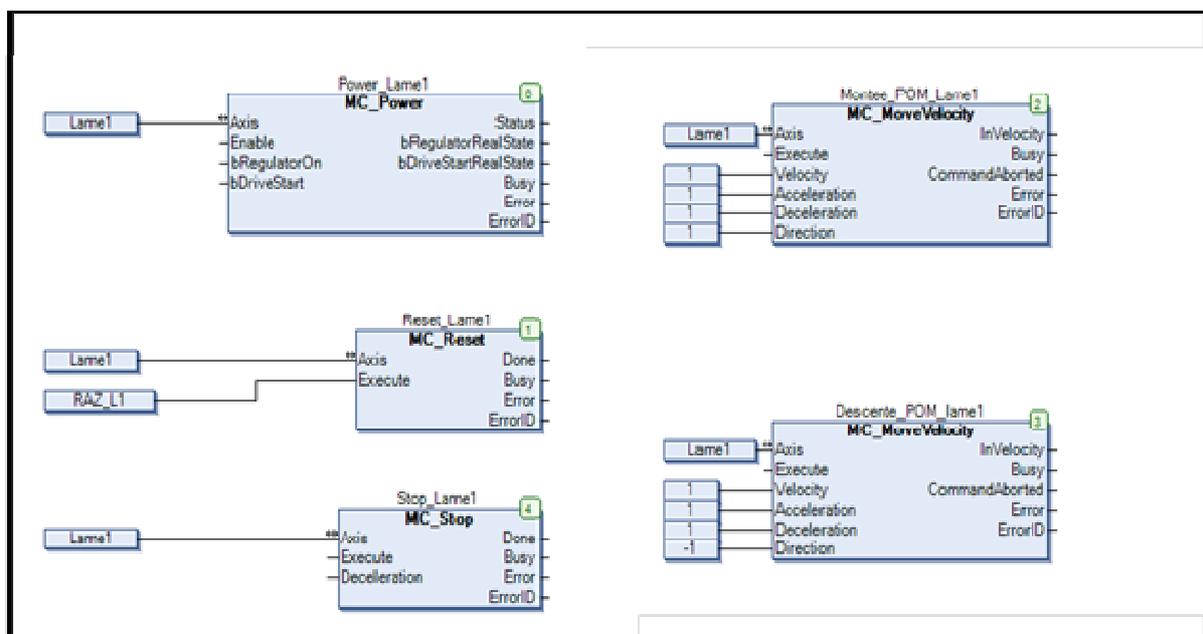


Figure 152 : Programmation en langage CFC de la commande d'un axe en mode manuel

Les *Figure 153* et *Figure 154* montrent le type de programmation de chaque entrée Execute.

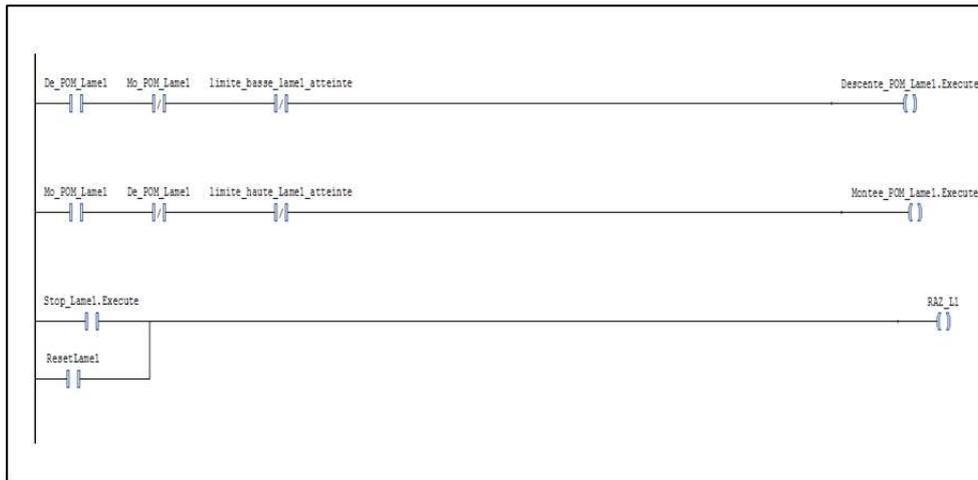


Figure 153 : Programmation en langage LD des commandes Exécute (blocs de commande Motion)

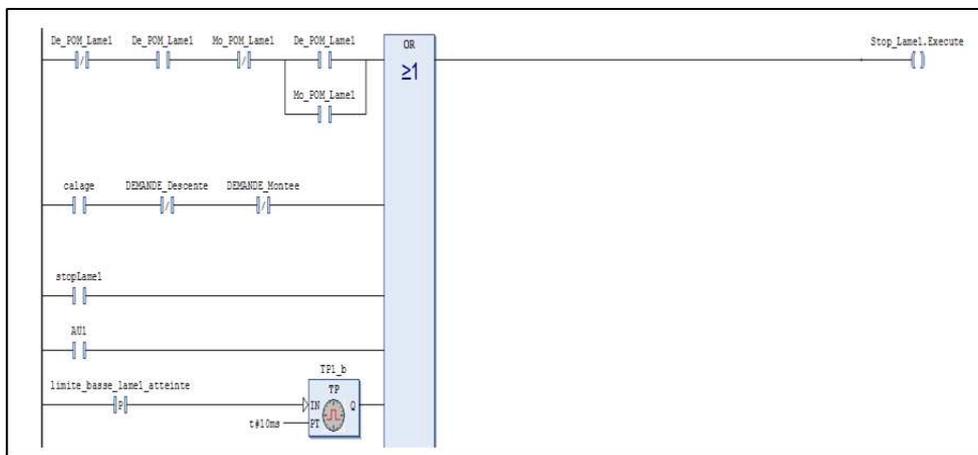


Figure 154 : Programmation LD partielle pour la commande Exécute du bloc MC_Stop (la lame 1)

On peut apercevoir sur la Figure 153 la commande de Descente_POM_Lame1 (correspondant à une demande de descente de la lame dans le cas d'une Prise Origine Machine) obtenue à partir de l'équation logique :

$$S = a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c}$$

Avec :

S : Descente_POM_Lame1.execute (exécution de la descente de la lame 1 pour POM).

a : De_POM_Lame1 (Demande de descente pour la prise origine machine de la lame1).

b : Mo_POM_Lame1 (Demande de montée pour la prise origine machine de la lame1).

c : Limite_basse_lame1_atteinte (position basse limite de la lame 1 obtenue).

La descente ne peut pas être obtenue sauf qu'une demande exclusive de descente est souhaitée et que la lame n'a pas atteint sa position limite basse.

De manière similaire on demande la montée. Une demande de stop ou de Reset au niveau de la commande de la lame, réinitialise le variateur de la lame (variable RAZ_L1).

La logique de commande du bloc MC_Stop est plus complexe à définir que les autres. En effet, on doit tenir compte de toutes les sécurités qui peuvent interrompre les mouvements (les capteurs de sécurité des axes linéaires ou des lames). La *Figure 154* montre le cas pour la variable Limite_basse_Lame1_atteinte détectée par un front montant.

De plus, des arrêts volontaires par un bouton écran IHM (variable Stop_Lame1) ou un appui sur les boutons coup de poing (variable AU1) de la machine doivent conduire à l'arrêt du mouvement, donc de l'axe. Cela nécessite d'introduire une fonction logique de type OR pour prendre en compte tous les cas conduisant à l'arrêt.

La commande Stop_Lame1_execute est également sollicitée dès le relâchement des demandes de mouvement en manuel (soit De_POM_lame1 ou Mo_POM_lame1) ou dans le cas d'aucune demande de mouvement des lames. Cela est illustré dans la *Figure 154* par les deux premières entrées de la fonction OR.

L'utilisation des blocs MC sera étendue à la commande des mouvements des axes lors de l'utilisation de cames électroniques.

Gestion des commandes des axes motorisés par profil de came électronique

L'utilisation d'une commande par profil de came électronique permet d'assurer le positionnement d'un axe par rapport à un axe de référence (Maître) et par rapport aux mouvements de ce dernier.

Cela correspond à l'introduction d'une synchronisation d'un axe esclave par rapport à un maître. Le déplacement du maître selon une horloge de tissage donnée conditionne le déplacement et la position d'un esclave par rapport à cette même horloge.

La programmation d'une commande d'axe par profil se compose de 3 parties :

1. l'édition d'un POU en CFC avec des blocs MC_ qui sont utilisés spécifiquement pour l'axe piloté par came électronique. La *Figure 155* montre cette programmation.

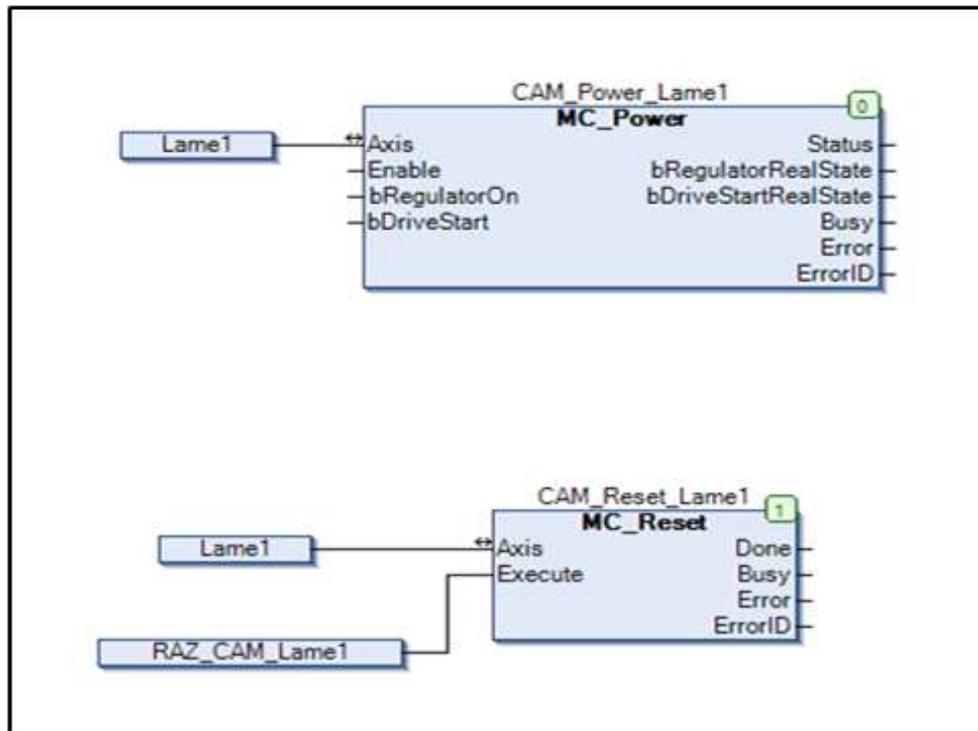


Figure 155 : Programmation des blocs Motion en langage CFC d'un axe en mode came

2. l'édition dans le même POU de la commande de validation, du démarrage et de l'arrêt de cette came électronique (gestion de la came). Comme on peut le voir sur la *Figure 156*, cette commande fait appel à 3 nouveaux blocs : MC_CamTableSelect, MC_CamIn et Mc_CamOut.

La variable Valide_CAM sur l'entrée execute correspondre à un bouton IHM, qui permet l'appel et la validation de cette came électronique au niveau du MC_CamTableSelect.

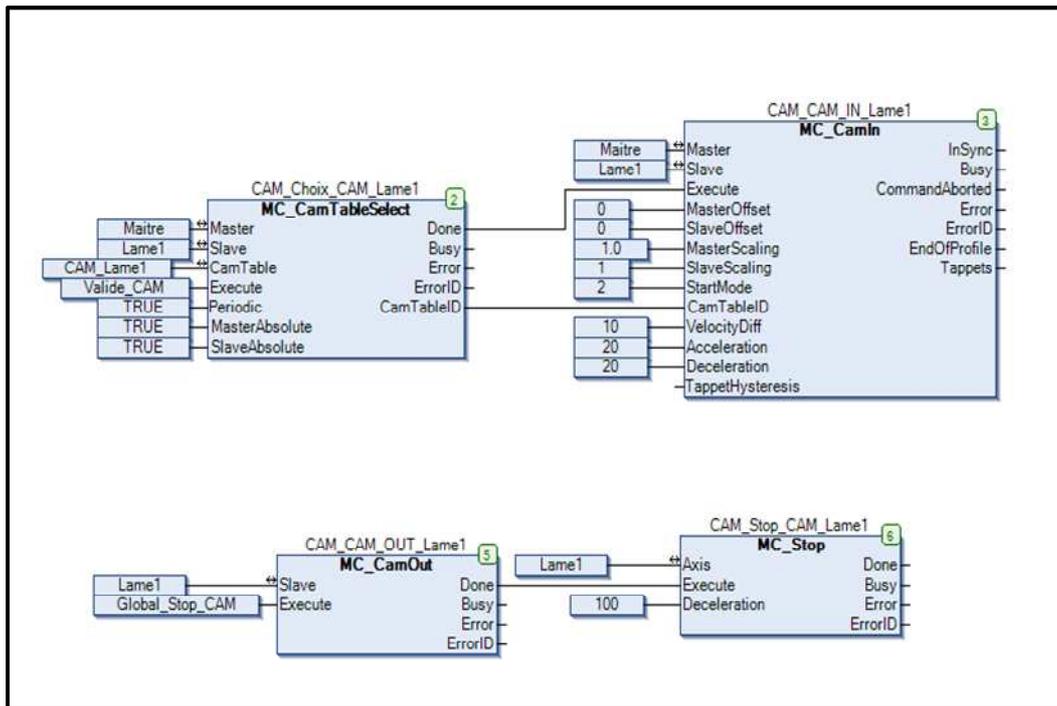


Figure 156 : Bloc de gestion de la came électronique selon un axe

Le bloc MC_CamIn paramètre la came (accélération, décélération, les mises à échelles) et lance le fonctionnement de la came une fois la table de came validée. Le bloc Mc_CamOut permet d'activer la fin de la came et l'arrêt de l'axe.

3. la mise en place du profil de la came électronique peut s'effectuer de deux manières :
 - la première manière est effectuée par l'édition d'une table de came (Tableau_CAM) où est indiqué sur une période de positionnement de l'axe maître, la position X du maître et celle Y correspondante pour l'esclave. Les positions sont indiquées en degré. L'édition de cette table conduit à une vue graphique de la came programmée ;
 - la seconde possibilité de programmer la came est d'agir directement sur cette vue.

Le Tableau 34 et la Figure 157 donnent un exemple d'un tableau de came défini pour un profil de came (pour le peigne) ainsi que la vue graphique correspondante de cette came éditée.

Tableau 34 : Edition de la table de la came

CAM_Peigne										
CAM	Tableau CAM	Cames	Tableau de cames							
	X	Y	V	A	J	Segme...	min(Po...	max(P...	max(V...	max(A...
	0	0	0	0	0					
	10	0	0	0	0	Poly5	0	0	0	0
	80	-200	0	0	0	Poly5	-200	0	5.35714...	0.23565...
	81	-200	0	0	0	Line	-200	-200	0	0
	170	0	0	0	0	Poly5	-200	0	4.21348...	0.14577...
	180	0	0	0	0	Poly5	0	0	0	0
	190	0	0	0	0	Poly5	0	0	0	0
	260	-200	0	0	0	Poly5	-200	0	5.35714...	0.23565...
	261	-200	0	0	0	Poly5	-200	-200	0	0
	350	0	0	0	0	Poly5	-200	0	4.21348...	0.14577...
	360	0	0	0	0	Line	0	0	0	0

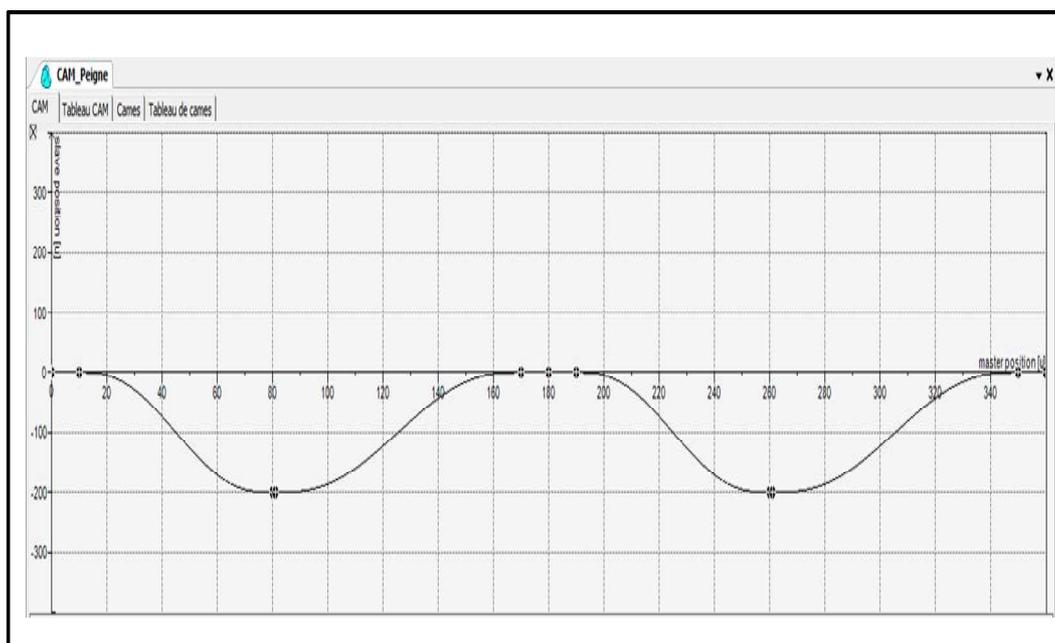


Figure 157 : Exemple de profil de came programmée pour le peigne

Nous avons considéré ici que le peigne devait réaliser sur une période de 360° de l'axe Maître (virtuel) deux allers/retours.

Pendant le mouvement du peigne, nous avons choisi de mettre en place un cycle de lame (montée puis descente ou inversement) pour deux lames 1 et 2.

Depuis une position de départ définie (opposée pour chaque lame), nous avons construit les profils de came suivants (Figure 158) :

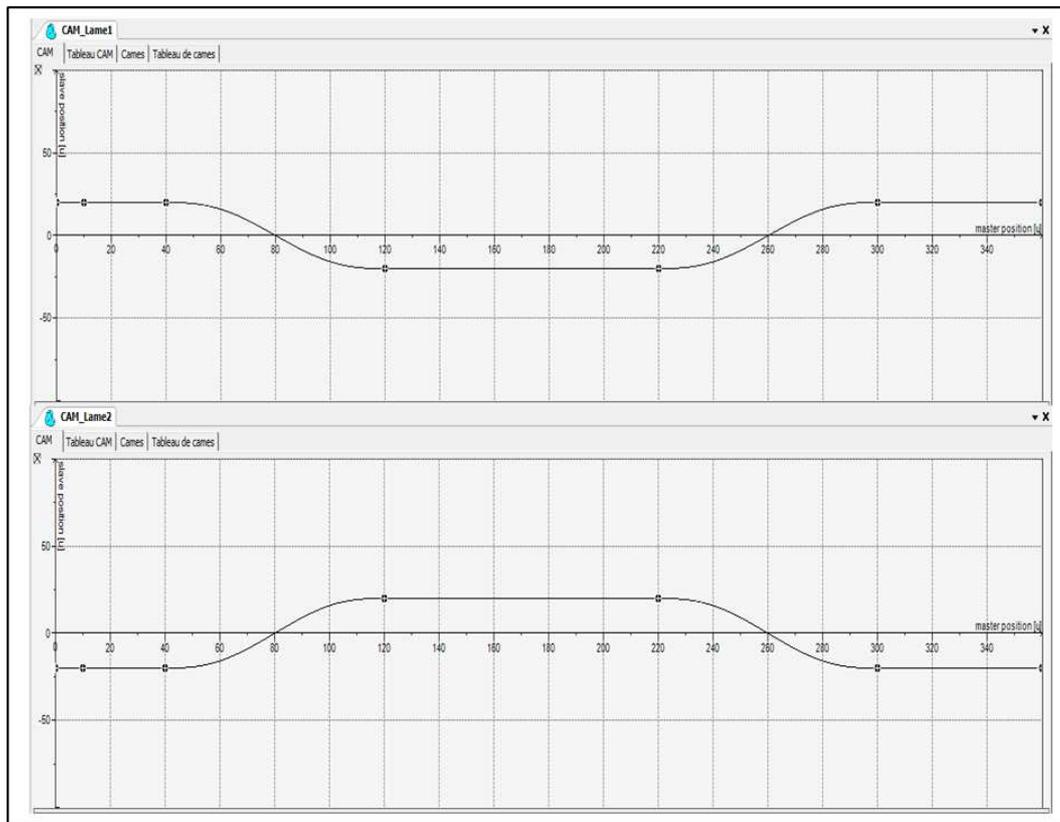


Figure 158 : Exemple de profil de came programmée pour les lames 1 et 2

Le positionnement en Y de l'axe de la lame permet de régler la hauteur de la lame, soit la demi ouverture d'une foule. Ainsi que le positionnement des lames à différentes hauteurs permet d'ouvrir différentes foules dans la machine. De plus, le positionnement par rapport d'un axe maître permet d'interagir sur les caractéristiques dynamiques, vitesse, accélération, décélération de l'axe lors d'un mouvement.

La modification de ces paramètres pour chaque axe esclave permet la gestion indépendante de chacun de ces axes, solution recherchée pour obtenir la flexibilité au niveau de la machine. Seule la définition d'une horloge de tissage et l'utilisation d'une came électronique permet de lier ces axes à l'axe maître (synchronisation). Cette libre action sur les différents paramètres de ces comes laisse choix à définir différents profils de mouvement pour chacun des axes, ce qui en augmente énormément la flexibilité par rapport à une machine à tisser classique.

Mise en place d'un écran de Visualisation sur l'écran du pc

Afin de permettre un suivi sur l'écran du PC et d'interagir avec la machine, il est possible de disposer d'un écran de visualisation depuis Somachine. Cet outil est relativement pratique lors des tests et la mise au point du programme ou de la machine en général.

Cet outil présente une représentation graphique de chaque bloc MC_ sur lesquels l'utilisateur peut agir pour commander les paramètres des axes et également un moyen graphique de suivre l'évolution des différents axes par rapport à l'axe maître (sous forme d'horloge). Il est encore fort utile car il permet de voir quel axe pourrait être en défaut ou mis sous puissance (Figure 159).

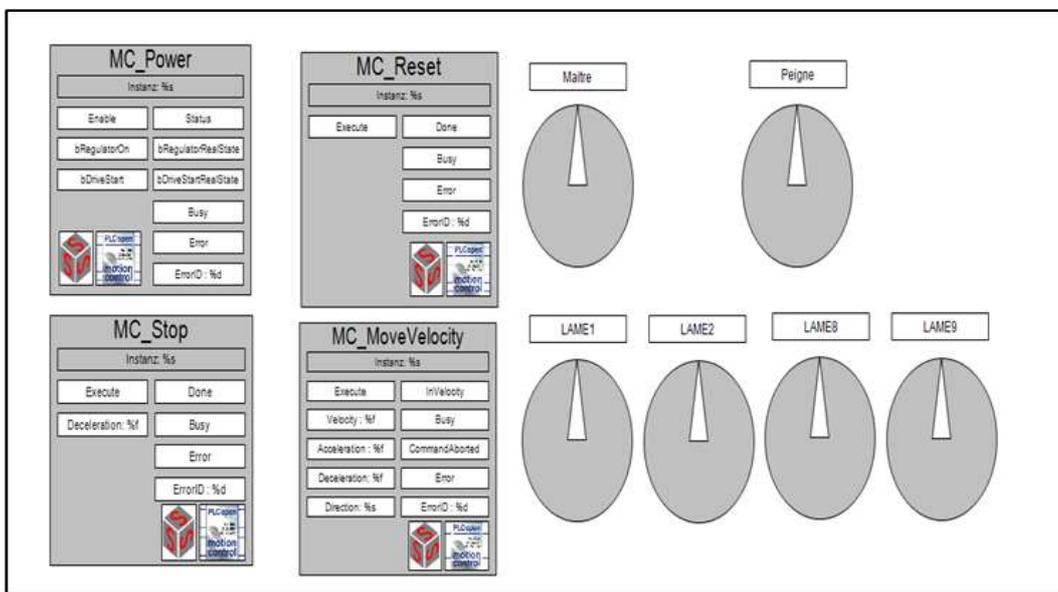


Figure 159 : Exemple d'écran de visualisation

4.3. Programmation de l'IHM

Le logiciel Vijeo Designer est intégré dans le même logiciel de la programmation du contrôleur. Avant de lancer l'application Vijeo Designer, un point important est la définition des variables qui seront échangées entre le contrôleur et l'IHM.

Définition des variables d'échanges

Au préalable, le concepteur du programme doit déclarer l'ensemble des variables d'échange entre Somachine et Vijeo Designer, soit entre le contrôleur et l'IHM, afin que les deux puissent interagir. Cela permet à l'utilisateur de visualiser l'état ou le contenu d'une variable ou bien de modifier l'état ou le contenu d'une variable.

Cette étape de la programmation s'effectue dans le dossier Configuration Symbole sous Somachine (Figure 160).

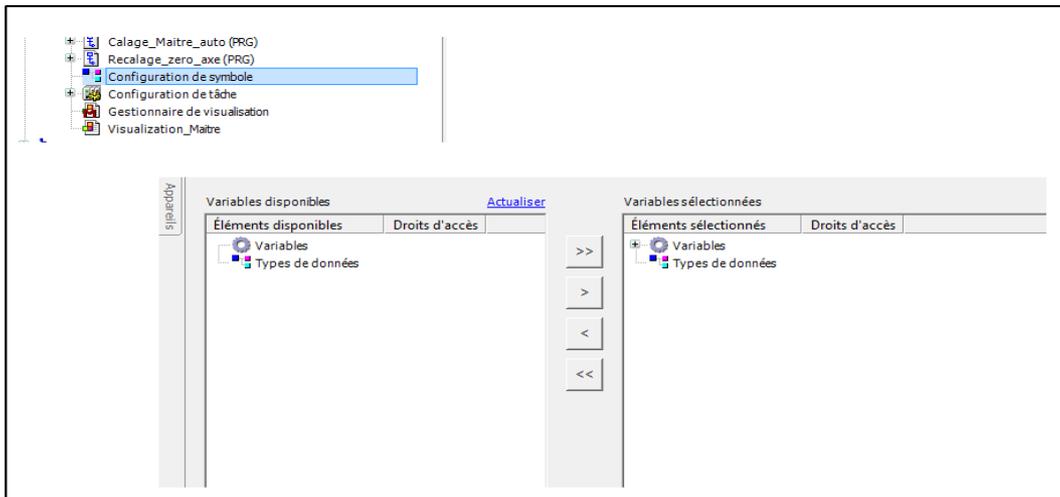


Figure 160 : Choix des variables d'échanges entre le contrôleur et l'IHM

Configuration de l'IHM sous Vijeo Designer

Une fois l'application logicielle Vijeo Designer lancée, il faut configurer l'IHM du point de vue matérielle et son adresse de communication (Figure 161).

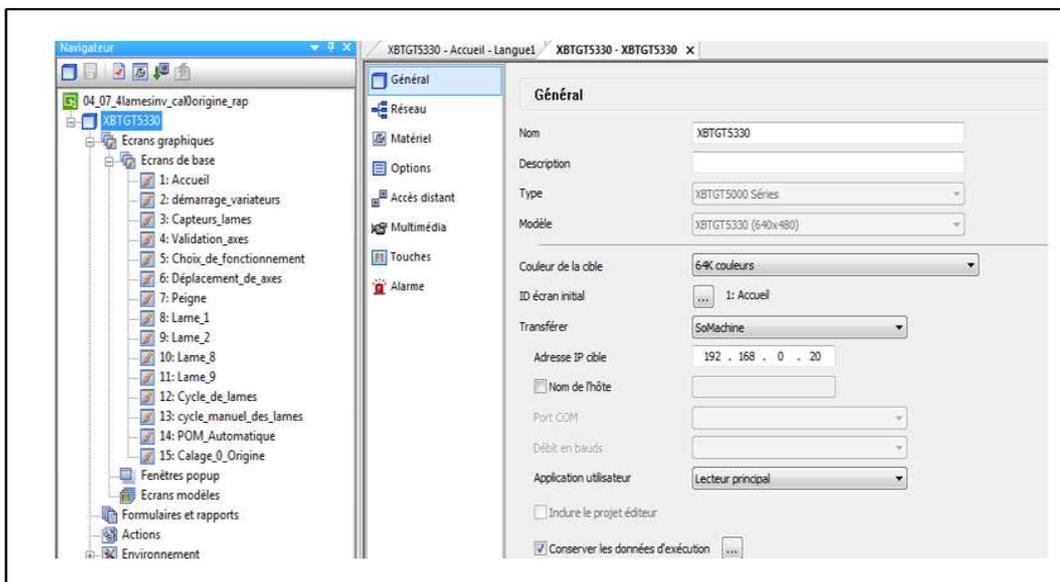


Figure 161 : Configuration matérielle sous Vijeo Designer

Ensuite, vient l'opération d'importation depuis Somachine des variables d'échange avec l'IHM (Figure 162).

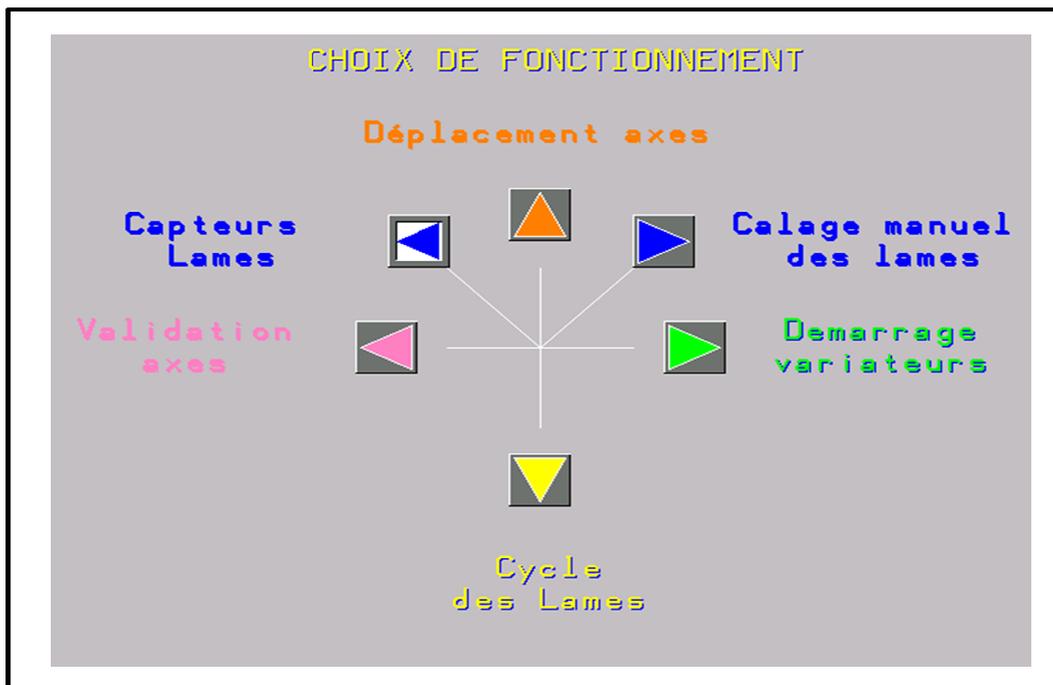


Figure 163 : Page écran permettant le choix de mode de fonctionnement

La Figure 163 montre une page qui permet de sélectionner un mode de fonctionnement parmi ceux présentés.

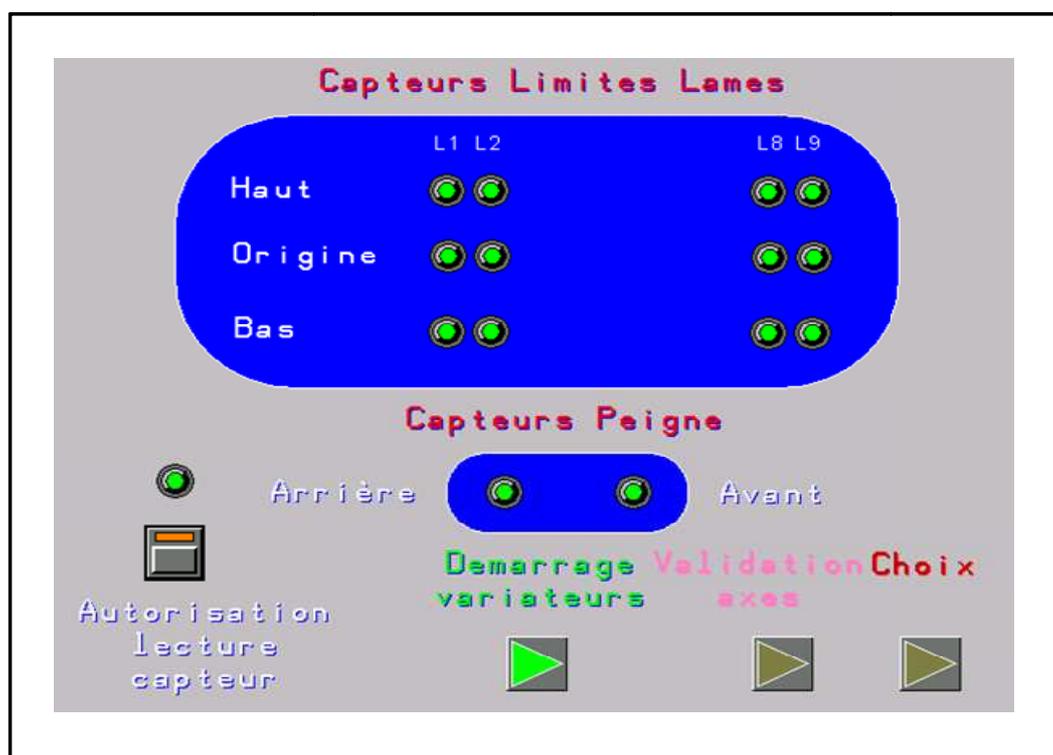


Figure 164 : Affichage de l'état des capteurs

Sur la *Figure 164*, une page donne un aperçu de l'état des divers capteurs implantés sur les axes. Un voyant rouge activé traduit un axe en position limite et conduit à l'arrêt du mouvement en cours.

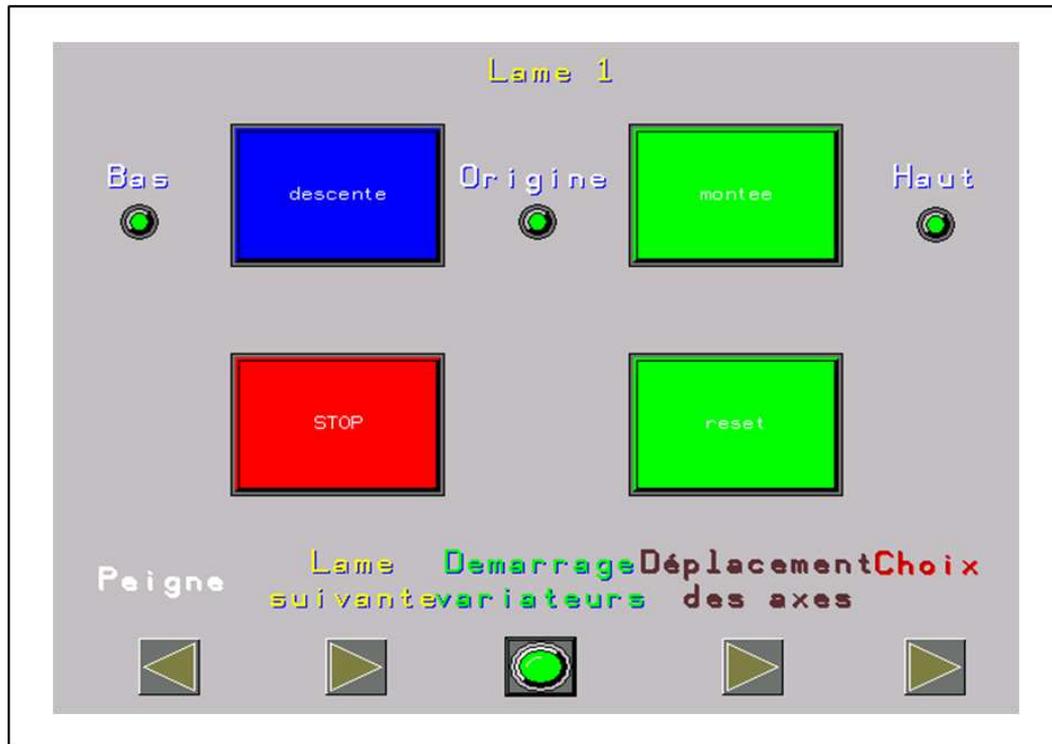


Figure 165 : Commande manuelle d'une lame

Cette page écran (*Figure 165*) permet à l'utilisateur d'interagir avec l'axe de la lame 1 pour effectuer un positionnement de celle-ci, par exemple lors de son introduction dans le système de lame pour un positionnement en position d'origine. L'utilisateur peut alors faire monter ou descendre la lame à partir des deux boutons écran. Il peut également provoquer l'arrêt du déplacement de cette lame ou la réinitialisation de son variateur Lexium 32A associé en cas de défaut et d'affichage de message d'erreur sur l'IHM intégrée au variateur.

Nous venons d'achever la partie programmation de la machine. Nous proposons à présent de donner un exemple de fabrication d'un tissu hybride avec la machine.

5. Exemple de fabrication d'un tissu hybride

Ce paragraphe décrit la méthodologie à mettre en œuvre pour réaliser un tissu hybride simple avec deux couches. La *Figure 166* présente la structure de ce tissu à réaliser.

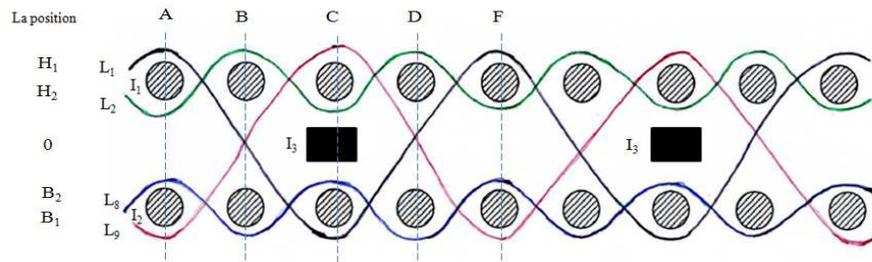


Figure 166 : Coupe en trame représentant la structure hybride

Ce tissu a un motif, basé sur une période de quatre insertions successives avant de se répéter.

On considère en A la position des premières insertions (I_1 , I_2) en début de cycle, B la position des secondes insertions, etc... .

En début de cycle, la programmation de la machine devra positionner les lames dans leur position initiale respective (lame 1 montée en H_1 , lame 2 en H_2 , lame 8 en B_2 , lame 9 en B_1) pour réaliser les premières insertions. Les premières actions au démarrage du cycle seront d'insérer I_1 puis I_2 avant de positionner les lames dans leur position respective avant la seconde série d'insertion (lame 1 en H_2 , lame 2 en H_1 , lame 8 en B_1 , lame 9 en B_2). Une fois la seconde série d'insertion réalisée, les lames vont se positionner dans leur position respective selon le lieu des insertions C. Le motif de cette structure conduit en C à insérer 3 insertions (I_1 , I_2 , I_3), dont I_3 est un insert non textile. La quatrième série d'insertion (en D) conduit au nouveau placement des lames (lame 1 en H_2 , lame 2 en H_1 , lame 8 en B_1 , lame 9 en B_2). Lors de la série d'insertion en E, les lames seront positionnées comme en A. Ceci peut être résumé par la séquence :

A : L_1H_1 , L_2H_2 , L_8B_2 , L_9B_1 , I1, I2, Peigne Aller-Retour.

B : L_1H_2 , L_2H_1 , L_8B_1 , L_9B_2 , I1, I2, Peigne Aller-Retour.

C : L_1B_1 , L_2H_2 , L_8B_2 , L_9H_1 , I1, I3, I2, Peigne Aller-Retour.

D : L_1H_2 , L_2H_1 , L_8B_1 , L_9B_2 , I1, I2, Peigne Aller-Retour.

Conclusion Générale et Perspectives

La machine à tisser conventionnelle est parfaitement adaptée au tissage 2D et 3D mais limitée quant au développement de nouvelles structures. La rigidité de la machine est plus particulièrement due à la synchronisation mécanique des mouvements nécessaires au tissage. L'évolution des structures tissées demandées par les applications techniques de plus en plus nombreuses conduisent à reconcevoir le principe de base de la machine à tisser. Cette reconception ne peut se faire qu'en utilisant des outils d'automatisation programmables.

Notre travail, dans un premier temps, a fait ressortir les limites de la machine à tisser actuelle, ce qui nous a permis de définir un nouveau cahier de charges pour réaliser un tissage hybride. De ce cahier de charges, il nous a été possible de conduire une analyse fonctionnelle originale et détaillée.

A partir de ce travail préliminaire, il a été possible de proposer une conception de la partie mécanique et de la partie électrique de la machine.

L'introduction de davantage de mécatronique dans la machine à tisser, nous permet ainsi d'avoir le pilotage individuel de chaque mécanisme réalisant une fonction donnée.

Ainsi, chaque fonction de service de la machine est mise en œuvre à partir d'une solution motorisée. La conception de la partie mécanique intègre alors totalement ce nouveau mode de mise en œuvre.

Cette approche mécatronique nous a permis de passer d'une synchronisation mécanique figée à une synchronisation électronique adaptative ouverte à la redéfinition à la demande des fonctions de service.

Ainsi, les mécanismes deviennent totalement indépendants les uns des autres, contrairement à la synchronisation mécanique, tout en ayant des mouvements définis par rapport à un axe de référence (axe maître) en mouvement selon une horloge de tissage (synchronisation) programmée.

L'introduction d'une Interface-Homme-Machine (IHM) augmente l'interaction de l'utilisateur sur le cycle de tissage et rend plus ergonomique l'usage de la machine.

Le dialogue entre le contrôleur de mouvement et les variateurs de vitesse de chaque axe motorisé est assuré au moyen du bus CANmotion dédié à la synchronisation. Quant à la sûreté de fonctionnement, elle est assurée au moyen de capteurs et d'un centralisateur (automate déporté) connecté en réseau Ethernet avec le contrôleur.

L'ensemble du travail réalisé au sein de ce mémoire laisse entrevoir quelques perspectives pour donner suite à cette étude :

Au niveau de la construction de la machine : finaliser des système d'insertion (pince de saisie, coupe du fil, système de présentation du fil,...) permettant l'insertion de tout type de « trame » textile ou non textile, conforter la sécurisation de la machine (capotage des zones de rotation, de la grille de commande ou développement d'une armoire électrique fermée), envisager la mise en place d'un système de fonctionnalisation en ligne de la structure hybride

Au niveau de la programmation de la machine : développer des cycles de fonctionnement adaptés à la réalisation de divers tissus. Cela passe par le développement de nouveaux programmes et leur optimisation.

Au niveau de la réalisation de structure hybride : installer des zones de stockage de matière non textile (fil métallique par exemple) pour réaliser cette hybridation. D'autres outils pourront être insérés en rapport avec les propriétés des inserts utilisés (coupe d'un fil métallique par exemple).

L'introduction de fils non textile pouvant être envisagé soit dans la chaîne où soit dans l'insertion. Ces fils pourront changer les propriétés des structures de tissus.

De plus, pour améliorer les propriétés des structures de tissus réalisés, il pourrait être envisagé de combiner ces structures aux propriétés de différentes fonctionnalisations, dont la dépose dans le tissu augmenterait la rigidité et la tenue de la structure. Dans ce cas, l'embarquement d'un dispositif de diffusion de la fonctionnalisation dans la machine serait nécessaire, mais également l'installation d'un système d'activation de la fonctionnalisation.

Le développement de cette machine offre de nombreuses perspectives de réalisation de nouvelles structures tissées hybrides, dont une grande partie reste à imaginer.

Bibliographie

- [1] A. Ormerod et W. S. Sondhelm, *Weaving: technology and operations*, Textile Institute, Manchester, 1995.
- [2] P. R. Lord et M. H. Mohamed, *Weaving: conversion of yarn to fabric*, Merrow Publishing CO., Watford, England, 1982.
- [3] L. Caramaro, *Textiles à usage technique*, Techniques d'Ingénieur, Paris, 2006.
- [4] S. S. Badawi, *Development of the weaving machine and 3D woven spacer fabric structures for lightweight composites materials*, Technische Universitat Dresden, 2007.
- [5] X. Chen, L. W. Taylor et L.-J. Tsai, *An overview on fabrication of three-dimensional woven textile preforms for composites*, *Textile Research Journal*, vol. 81, n° 9, p. 932-944, 2011.
- [6] N. Gokarneshan et R. Alagirusamy, *Weaving of 3D fabrics: A critical appreciation of the developments*, *Textile Progress*, vol. 41, n° 1, p. 1-58, 2009.
- [7] J. Soden et B. Hill, *Conventional weaving of shaped preforms for engineering composites*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 29, n° 7, p. 757-762, 1998.
- [8] K. Bilisik, *Multiaxis Three dimensional (3D) wove fabric, advances in modern woven fabrics technology*, Éd S. Vassiliadis, InTech, Croatia, 2011.
- [9] N. Khokar, *3D fabric-forming processes: distinguishing between 2D-weaving, 3D-weaving and an unspecified non-interlacing process*, *Journal of Textile Institute*, vol.87, n° 1, p. 97-106, 1996.
- [10] A. E. Bogdanovich, *Advancements in manufacturing and applications of 3D woven preforms and composites*, 16 th International Conference on Composite Materials, Japan, 2007.
- [11] A. M. Seyam, *3. Advances in Weaving and Weaving Preparation*, *Textile Progress*, vol. 30, n° 1-2, p. 22-40, Raleigh, USA, mars 2000.
- [12] F. Farra, *Etude du tissage de filaments de très faibles diamètres : conception d'une machine de micro tissage*, Thèse de doctorat (2009MULH3078), Université de Haute Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles, Mulhouse, 2009.
- [13] S. Adanur, *Handbook of Weaving*, Technomic Publishing, 2002.
- [14] J.-Y. Drean, *Cours de tissage*, Université de Haute Alsace, ENSISA, Mulhouse, 2000.
- [15] *Connectors, robotics and textile machinery; mechatronics solutions by-Stäubli*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.staubli.com/en/>.
- [16] *Electronic shedding motion - Toyota Industries Corporation*, [En ligne], Disponible sur: http://www.toyota-industries.com/csr/environment/product/eco5_10.html.
- [17] Stäubli, *Jacquard "Unival 100" Notice d'instructions*, Document Technique, Lyon, 2010.
- [18] *Textile Processing*, vol. 2, South California, Departement of Education, 1977.
- [19] A. Lambrette, *Tout le tissage*, Les Editions Textile et Technique, vol. 2, Paris, 1948.
- [20] I. Brossard, *Technologie des textiles*, Dunod, Paris, 1997.
- [21] M. Dalal, *Contribution à l'étude de la Saturation des tissus simples et multicouches*, Thèse de doctorat, Université de Haute Alsace, ENSISA, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles, 2012.
- [22] G. Nemoz, *Textures textiles tridimensionnelles*, Techniques d'Ingénieur, Paris, 2003.
- [23] M. A. Tulemat, *Etude de poches tissées complexes gonflables: application automobile*, Thèse de doctorat, Université de Haute-Alsace, ENSISA, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles Mulhouse, 2007.
- [24] J. Yip et S.-P. Ng, *Study of three-dimensional spacer fabrics: physical and mechanical properties*, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 206, n° 1-3, p. 359-364, 2008.
- [25] M. Abounaim, G. Hoffmann, O. Diestel et C. Cherif, *Thermoplastic composite from innovative flat knitted 3D multi-layer spacer fabric using hybrid yarn and the study of 2D mechanical properties*, *Composites Science and Technology*, vol. 70, n° 2, p. 363-370, 2010.

- [26] M. Abounaim, G. Hoffmann, O. Diestel et C. Cherif, *Development of flat knitted spacer fabrics for composites using hybrid yarns and investigation of two-dimensional mechanical properties*, Textile Research Journal, vol. 79, n° 7, p. 596-610, 2009.
- [27] A. Miravete, *3-D textile reinforcements in composite materials*, Woodhead Publishing Limited, vol. N. 10. University of Zaragoza, Spain, 1999.
- [28] H. Hong, M. Araujo et R. Frangueiro, *3D technical fabrics*, Knitting International, vol.1232, P. 55-57, 1996.
- [29] A. Mountasir, G. Hoffmann et C. Cherif, *Development of weaving technology for manufacturing three-dimensional spacer fabrics with high-performance yarns for thermoplastic composite applications: An analysis of two-dimensional mechanical properties*, Textile Research Journal, vol. 81, n° 13, p. 1354-1366, 2011.
- [30] R. Almohamad, G. Barbier et J.-Y. Drean, *Application of "PLC Motion Controller" For Development of New Textile Machine*, AUTEX World Textile Conference, Dreasden, Germany, 22-24 May, 2013.
- [31] D. Jouve et D. BUI, *Servomoteurs brushless : c'est le capteur qui fait souvent la différence*, Mesures 765, Infranor, Linas, 2014.
- [32] Schneider Electric, *Commande de mouvement Lexium 32*, Document Technique, <http://www.schneider-electric.com>.
- [33] B. Yannou, *Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur*, Laboratoire Productique-Logistique de l'Ecole Centrale, Paris, 1998.
- [34] D. Bounie, *Ingénierie de projet en conception*, polytech'Lille, Université Lille 1, 2003.
- [35] J. Corbel, *Management de projet, fondamentaux, méthodes, outils*, Groupe Eyrolles, Paris, 2012.
- [36] F. Audry et P. Taillard, *La démarche d'analyse fonctionnelle*, Guide pour le professeur, Académie Versailles, 2010.
- [37] C. Jouineau, *Analyse de la valeur*, Association française pour l'analyse de la valeur, Paris, 1993.
- [38] M. Sallaou, *Taxonomie des connaissances et exploitation en conception préliminaire - application à un système éolien*, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Paris, 2008.
- [39] Afnor, *FX50-150/151, analyse de la valeur, analyse fonctionnelle*, Association française de normalisation, Paris, 1990.
- [40] Afnor, *norme NF-EN-13864, Détermination de la résistance à la traction des fibres synthétiques*, Association française de normalisation, Paris, 2004.
- [41] Parametric Technology Corporation, *Getting Started with Pro/ENGINEER®Wildfire™3.0*, Document Technique, 2006.
- [42] M. Riaz, *Cours de Pro Engineer Wildfire 5.0*, Université de Haute Alsace, ENSISA, Mulhouse, France, 2011.
- [43] *Profilé aluminium anodisé 45 x 45 Bosch Rexroth, de HUBER AUTOMATION*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.axesindustries.com/details.php/id/5764/profile-aluminium-anodise-45-x-45-bosch-rexroth-de.html>.
- [44] P. Gurkan, *3D Woven Fabrics, in Woven Fabrics*, InTech, 2012.
- [45] *Liebherr Plastique S.A.R.L. Mulhouse*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.liebherr-plastique.com/produit.html>.
- [46] A. Chevalier, *Guide du dessinateur industriel*, Hachette Technique, Paris, 2004.
- [47] *Configurateur - Prud'homme Transmissions*, [En ligne], Disponible sur: http://prudhomme.compodata.eu/Prudhomme/ACE/ACE_engine.php.
- [48] *Engrenage droit - Composants mécaniques : Engrenages HPC*, [En ligne], Disponible sur: <http://shop.hpceurope.com/fr/produit.asp?prid=215&lie=0&nav=3>.
- [49] *Schneider Electric France*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.e-catalogue.schneider-electric.fr/navdoc/catalog/a5/little/little.htm?type=module&module=61850>.
- [50] *Schneider Electric : spécialiste mondial de la gestion de l'énergie*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/fr/>.
- [51] *Lexium PAS - Axes portiques avec structure d'axe fixe*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.schneider-electric.com/products/fr/fr/60600-variateurs-de-vitesse-et-contrôle-de-mouvement/60670-axes-lineaires/2919-lexium-pas/?CATEGORY=60670>.

- [52] E. Chove, *Contributions à l'ordonnement réactif des installations de traitement de surface-application industrielle*, Institut Unde Technologie de Nantesiversitaire, Nanets, 2010.
- [53] P. Hoarau, *Les bus de terrain*, Lycée Saint-Nicolas, Lycée Technique Privé, Paris, 2014.
- [54] S. Deffayet, *Nouvelles Technologies de l'information et de la communication (NTIC) et contrôle dans la relation managériale*, Recherches Sociologiques, vol. 33, n° 1, p. 27-48, Belgique, 2002.
- [55] *Groupe AFNOR - normalisation, certification, édition et formation*, [En ligne]. Disponible sur: <http://www.afnor.org/>.
- [56] O. Cauet, *Le langage assembleur*, Eni Eds, Paris, 2011.
- [57] *EIA :Electronic Industries Alliance*, [En ligne]. Disponible sur: <http://www.eciaonline.org/eiastandards/>.
- [58] J. Lovine, *RS232 serial communication*, PIC Projects for Non-Programmers, Waltham, USA, 2012.
- [59] J. Thomesse, *Réseaux locaux industriels, concept, typologie, caractéristiques*, Techniques de L'ingénieur, Informatique Industrielle, vol. S2, p. S7574.1-S7574.20, Paris, 2004.
- [60] P. Zhang, *Chapter 12 - Field interfaces*, Advanced Industrial Control Technology, pages 467-526, 2010.
- [61] H. Faigner, les réseaux de terrain, Cours à l'Académie de Grenoble BTSMI, 2012.
- [62] Schneider Electric, *Les Bus et les réseaux de terrain en automatisme industriel*, magazine Schneider Electric de l'enseignement technologique et professionnel, p. 1-12, Paris, 2002.
- [63] *ISO-International Organization for Standardization*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.iso.org>.
- [64] A. Tanenbaum, *Réseau*, Pearson Education, Montreuil, 2003.
- [65] F. Laissus, *Cours d'introduction à TCP/IP*, Ecole Centrale, Paris, 2009.
- [66] *Xerox Document Management*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.xerox.com/>.
- [67] S. Krakowiak, *Xerox PARC et la naissance de l'informatique contemporaine*, Partie de l'histoire de l'informatique réalisée en Association ACONIT, 2012.
- [68] *IEEE - Advancing Technology for Humanity*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.ieee.org>.
- [69] *Bosch en France*, [En ligne]. Disponible sur: <http://www.bosch.fr>.
- [70] *CAN In Automation (CiA): Controller Area Network (CAN)*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.can-cia.org>.
- [71] A2V Mécatronique, *Le réseau CAN et le protocole CANopen*, Gazeran, 2002.
- [72] P. Kadionik, *Les réseau de terrain*, Ecole Nationale Supérieure Electrique, Informatique et Radiocommunications (Enseirb), Bordeaux, France, 2003.
- [73] *National Instruments : systèmes de test, de mesure et embarqués*, [En ligne], Disponible sur: <http://france.ni.com/>.
- [74] J. Payne, *PLC vs. PAC, Control Enginerring-2013*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.controleng.com/single-article/plc-vs- pac/>.
- [75] S. Jean-Daubias, *Introduction à l'IHM*, Cours, Laboratoire d'Informatique en Image et Systèmes d'Information, Université Claude Bernard, Lyon, 2010.
- [76] *IEC - International Electrotechnical Commission*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.iec.ch>.
- [77] N. Jouvray, *Langages de programmation pour systèmes automatisés : norme CEI 61131-3*, Technique de l'ingénieur, vol S3, 2008.
- [78] Schneider Electric, *SoMachine-Gestion de projet, formation spéciale*, Université de Haut Alsace, ENSISA, Mulhouse, 2011.
- [79] Schneider Electric, *vijeo designer*, Document Technique, 2006.
- [80] Telemecanique, *BSH AC Servo Motor*, Document Technique, 2006.
- [81] Schneider Electric, *Lexium 32, Servo variateurs*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.schneider-electric.com/products/fr/fr/60600-variateurs-de-vitesse-et-contrôle-de-mouvement/60650-servo-variateurs-et-servo-moteurs/2302-lexium-32-bsh-et-bmh/>.
- [82] Schneider Electric, *PAS4xS, Ball screw axis, Product manual*, Document Technique, 2012.
- [83] *Capteur photoélectrique, En forme de U, Led IR, 5mm, PNP, 50mA, Cable Panasonic PMY44P*, [En ligne], Disponible sur: <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/capteurs-photoelectriques/>.

- [84] Schneider Electric, *Modicon OTB - Entrées / sorties optimisées IP20*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.schneider-electric.com/products/fr/fr/60200-automatisation/60220-controleurs-machine-machinestruxure/1055-modicon-otb/>.
- [85] Schneider Electric, *XBTGT5330 écran tactile*, Doucement Technique, 2014.
- [86] Siemens, *3RA2120-1KA24-0BB4, Départe moteur sans fusible démarreur direct*, Document Technique, 2012.
- [87] Schneider Electric, *LXM32A Servo variateur*, Document Technique, 2012.
- [88] Afnor, *Norme CEI 61508, sécurité fonctionnelle de systèmes électroniques/électriques/électroniques programmables*, Association française de normalisation, Paris, 2011.
- [89] G. BARBIER, *Cours de l'Electrotechnique*, Université de Haute Alsace, ENSISA, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles, 2012.
- [90] *Warp tying - Weaving preparation - Textile machinery for the weaving industry - Stäubli*, [En ligne], Disponible sur: <http://www.staubli.com/en/textile/textile-machinery-solutions/wps/warp-tying/>.

Annexe 1

La préparation au tissage

Les caractéristiques mécaniques des fils ne sont pas toujours assez bonnes pour pouvoir les utiliser directement sur la machine à tisser. Pour cela, des traitements supplémentaires doivent être appliqués sur les fils avant de les passer sur la machine de tissage. Ces traitements s'appellent la préparation au tissage.

Les fils de chaîne et de trame sont soumis à des conditions et des exigences différentes au cours du tissage. Pour cela, les préparations de fils de chaîne et de trame sont différentes.

La figure 1 montre les différentes préparations pour les fils de chaîne et les fils de trame.

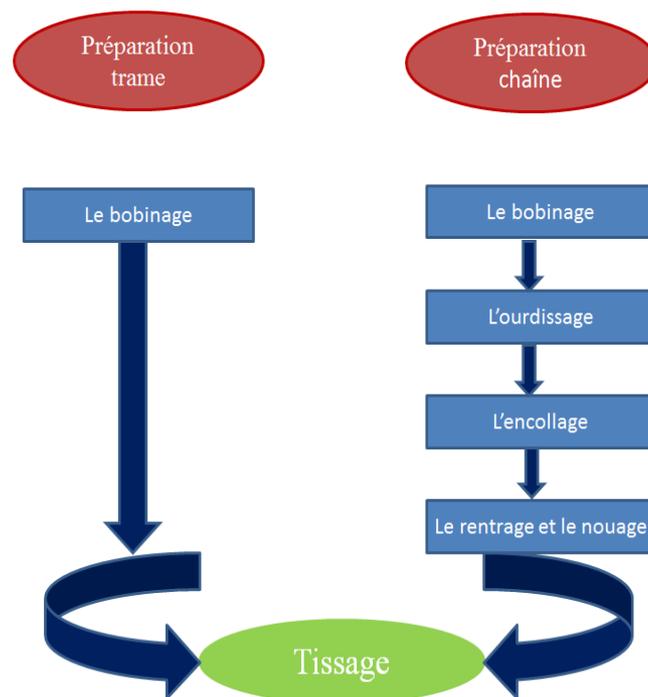


Figure 1: Les étapes de préparation des fils

1. La préparation de la chaîne

La préparation des fils de chaîne permet de transférer les fils des cops sortis de la filature vers une ensouple ou vers des bobines. Cette préparation est très importante pour les fils de chaîne.

Les caractéristiques essentielles du fil final sont les suivantes :

- le fil de chaîne doit être uniforme, propre, et sans nœud ;

- le fil de chaîne doit être assez solide pour résister les contraintes et la friction au cours du tissage ;
- les nœuds doivent être d'un type et d'une taille standards, ce qui leur permet de passer facilement dans les lisses et dans le peigne de la machine à tisser ;
- le fil de chaîne doit être encollé uniformément. La quantité d'encollage ajoutée doit être suffisante pour protéger le fil de l'abrasion entre le fil et la lisse et entre le fil et le peigne de manière à éviter la formation d'une surface poilue sur le fil ;
- les fils de chaîne doivent être enroulés parallèlement les uns aux autres dans une nappe homogène ayant : un nombre de fils déterminé, une largeur et une longueur données à l'avance ;
- les fils de chaîne doivent être rentrés dans les lisses et le peigne selon le rentrage prévu.

Pour obtenir ces caractéristiques, chaque fil de chaîne passe par les opérations suivantes :

1.1. Le bobinage

L'opération de bobinage consiste à :

- transférer les cops de filature (100 g) vers une bobine de masse plus importante (entre 1 à 2 kg). Cette dernière sera utilisée dans le cantre d'une machine d'ourdissage ou de teinture (figure 2) ;

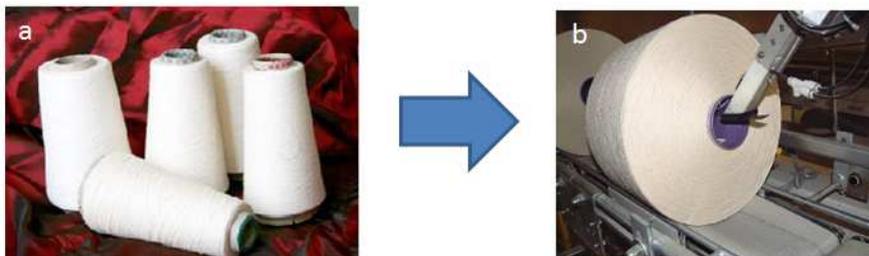


Figure 2 : a- Cops de filateur, b- Bobine

- améliorer la qualité des fils en éliminant certains défauts (faiblesses, grosseurs, neps, poils). Il faut noter que le bobinage modifie légèrement l'aspect du fil, en particulier la pilosité.

1.2. L'ourdissage

Le but de l'ourdissage est d'organiser et de réunir un nombre convenable de fils de chaîne sous une même tension, afin qu'ils puissent constituer une nappe de chaîne qui va être

enroulée sur une ensouple. Deux techniques d'ourdissage sont utilisées: l'ourdissage direct et l'ourdissage sectionnel.

- l'ourdissage direct : les fabricants l'utilisent pour faire des grandes longueurs de tissu, et fabriquer des modèles simples où la quantité de fils colorés est inférieure à environ 15 % du total (figure 3).

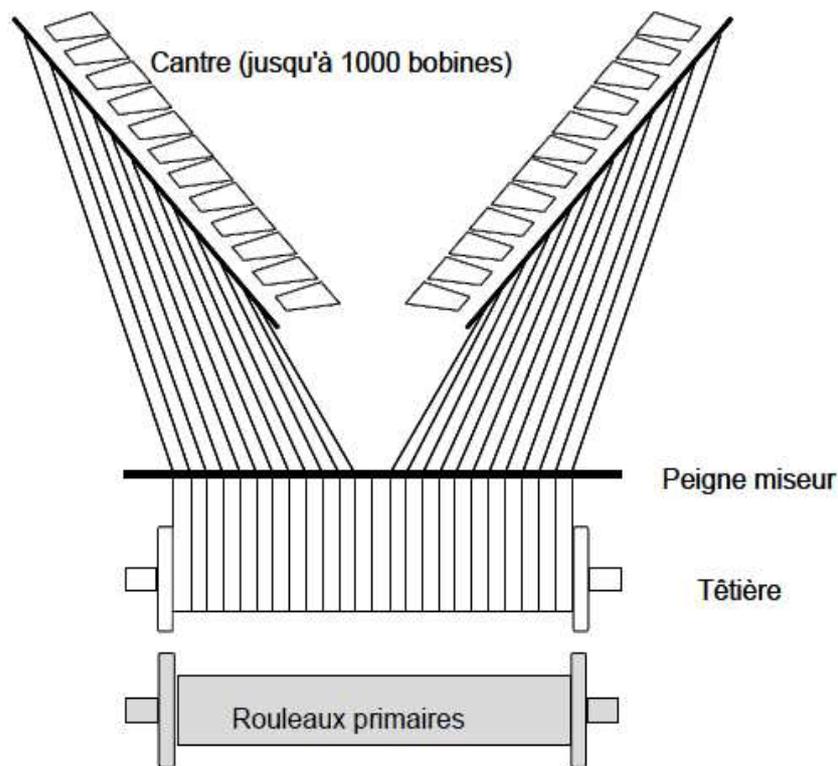


Figure 3 : Ourdissage direct

- l'ourdissage sectionnel : les fils de chaîne sont enroulés sur l'ensouple par sections. Chaque section a plusieurs fils de chaîne qui sont traversés ensemble pendant l'enroulement sur la longueur de la section pour former l'angle. Une fois l'ensemble des sections disposé, une opération de pliage sera effectuée pour transférer les fils de chaîne de l'ourdissoir vers l'ensouple, tout en conservant une tension constante (figure 4).

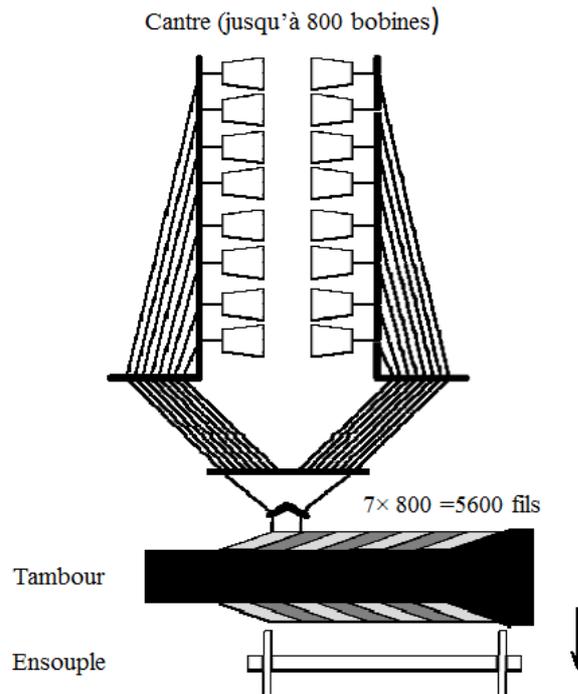


Figure 4: Ourdisage sectionnel

1.3. L'encollage

Bien que la qualité et les caractéristiques des fils de chaîne qui sortent de l'ourdisage soient satisfaisantes, elles ne sont pas suffisantes pour le processus de tissage, qui a besoin d'un fil résistant, lisse, et élastique ou extensible. Pour arriver à ces propriétés, une couche de protection est mise sur le fil avant le tissage. Cette opération s'appelle l'encollage.

Cette couche doit être éliminée facilement après le tissage, lors des opérations de préparation à la teinture ou de délavage.

Les principaux objectifs de l'encollage sont :

- l'augmentation de :
 - la résistance des fils à la rupture.
 - la résistance à l'abrasion des fils contre les autres fils et les différents éléments de la machine à tisser.
 - la tenue aux extensions répétées.
- la réduction de :
 - la pilosité de fils qui causerait des problèmes dans le processus de tissage.

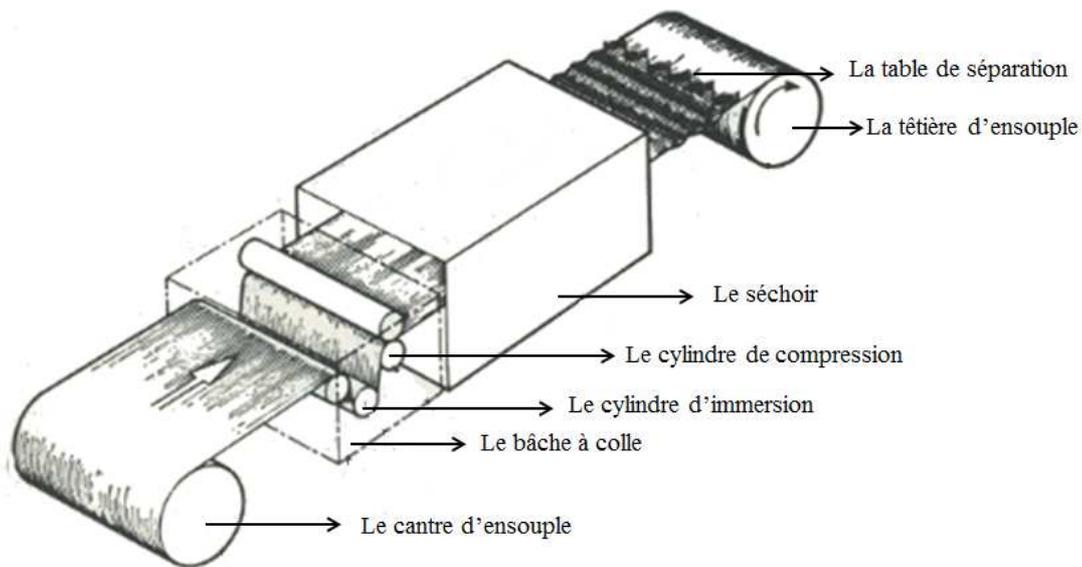


Figure 5 : Principe de base de l'encollage

1.4. Le rentrage

Le rentrage est l'entrée de fils de chaîne déjà montés sur une ensouple, un par un, dans les éléments de la machine à tisser : les lamelles de casse chaîne, les lisses, puis les dents du peigne lors du démarrage d'un nouveau type de tissu. Le rentrage se fait soit de façon manuelle, soit par des machines de rentrage automatique.

- le rentrage manuel : ce rentrage généralement se fait par deux personnes assis face à face à travers le cadre. Cette opération est longue et coûteuse.
- le rentrage automatique : les machines utilisées pour faire le rentrage automatique sont très coûteuses et nécessitent un type et une forme particulière de lisses.

1.5. Le nouage

Cette opération de préparation de tissage consiste à nouer un nouveau fil de chaîne avec l'ancien déjà monté sur la machine, lorsqu'on utilise les mêmes : montage, nombre de fils, le même titre et empeignage.

On utilise le nouage parce qu'il est beaucoup plus rapide que le rentrage et pour le faire, on a besoin du : a- du banc de nouage, b- de la machine à nouer (figure 6).

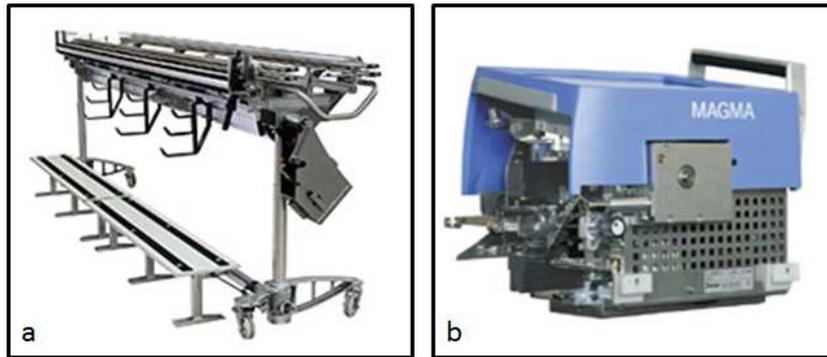


Figure 6: Nouage: principe de base

2. La préparation de la trame

Les avantages de la préparation d'une trame sont :

- avoir des bobines uniformes par rapport à la taille des cops obtenus à la fin des processus de filature, ces bobines permettent de :
 - diminuer le nombre d'arrêts de la machine à tisser ;
 - faciliter la manipulation d'un petit nombre de bobines ;
 - augmenter l'uniformité du tissu ;
- améliorer la qualité du fil de trame par élimination certains défauts qui se trouvent sur les fils d'origine ;
- présenter le fil sur un support approprié au vecteur de trame du métier.

La préparation de la trame ne comprend que deux opérations : le bobinage et le cannetage, car le fil de trame ne subit pas les mêmes contraintes que les fils de chaîne.

Après avoir l'ensouple des fils de chaîne, les fils de chaîne passent sur les différentes parties de la machine à tisser qui vont être présentées par la suite.

Références

1. DALAL, M. Contribution à l'étude de la Saturation des Tissus Simples et Multicouches. 2012.
2. DREAN, J.-Y. *cours de tissage*. Université de Haute Alsace, 2000.
3. LORD, P.R. and MOHAMED, M.H. *Weaving: Conversion of Yarn to Fabric*. Merrow Publishing CO., Watford, England, 1982.
4. Warp tying - Weaving preparation - Textile machinery for the weaving industry - Stäubli. <http://www.staubli.com/en/textile/textile-machinery-solutions/wps/warp-tying/>.

Annexe 2

La ratière

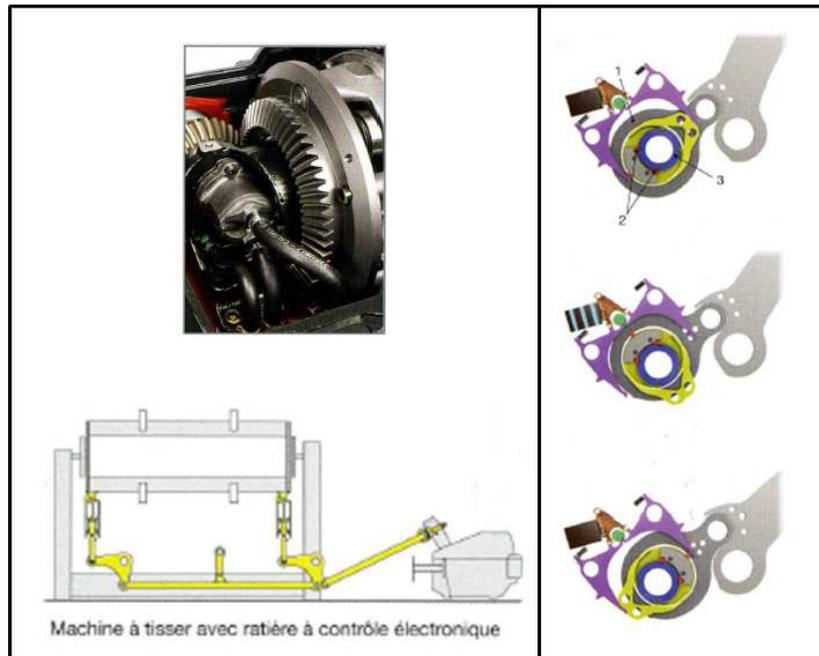


Figure 1 : Ratière rotative S3000

Le figure1 montre une ratière rotative type S3000 (Stäubli), ce type de ratière est basé essentiellement sur deux ensemble fonctionnelles : les unités d'excentriques et le modulateur.

Les unités d'excentriques : chaque cadre est actionné par une unité d'excentrique (1) d'une épaisseur égale à la division des cadres 12 mm. Par sa rotation, l'excentrique transforme un mouvement rotatif modulé en mouvement linéaire nécessaire à la commande du cadre. Cela est obtenu par un mécanisme à bielle et excentrique monté sur roulement intégré. En fonction de l'armure désirée, le système de contrôle électrique actionne des verrous (2) qui s'engagent dans un entraîneur (3) permettant la lecture de l'excentrique et la réalisation d'un mouvement de levée de cadre. Le modulateur : cet ensemble permet de transformer le mouvement continu fourni par la machine à tisser en mouvement modulé

Annexe 3

La Jacquard

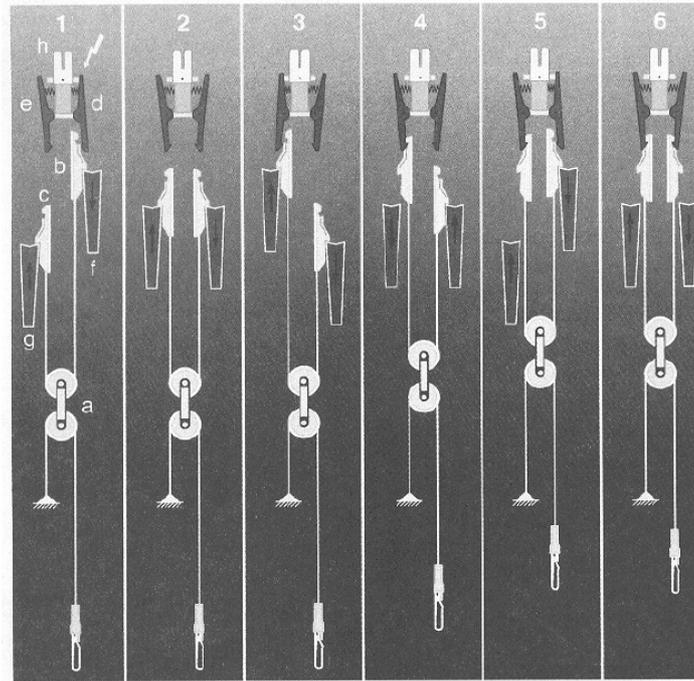


Figure 1: Principe du mécanisme jacquard

La figure 1 présente le principe de commande d'une seule lisse, où on peut voir qu'il y a deux couteaux (F et G) reliés à l'arbre de la machine à tisser. Ces deux couteaux sont animés d'un mouvement de va-et-vient. Le palonnier A est relié à une lisse par une corde.

1. Position basse de la lisse : le crochet mobile (b) dans sa position haute applique la partie supérieure du crochet de retenue (d) contre l'électro-aimant (h). Cet électro-aimant est alimenté en fonction du dessin, il immobilise le crochet de retenue (d) et évite l'accrochage du crochet mobile (b).
2. Position basse de la lisse : les crochets mobiles (b) et (c) suivent les couteaux en mouvement ascendant et descendant (g) et (f). Le palonnier (a) compense les mouvements des crochets mobiles (b) et (c).

3. Position basse de la lisse : par le mouvement du couteau (g) vers le haut, le crochet mobile (c) applique le crochet de retenue (e) contre l'électro-aimant (h). L'électro-aimant n'est pas alimenté en fonction du dessin ; le crochet mobile (c) est retenu.
4. Mouvement de foule (le mouvement de la lisse) : le crochet mobile (c) est accroché au crochet de retenue (e). Le crochet mobile (b) suit le mouvement du couteau F vers le haut. Le palonnier monte et tire la lisse.
5. Position haute de la lisse : le crochet mobile (c) reste engagé dans le crochet fixe (e). Le crochet mobile (b) pousse le crochet fixe (d) contre l'électro-aimant grâce au mouvement du couteau (f) vers le haut. Le crochet mobile (b) a appliqué le crochet de retenue (d) contre l'électro-aimant (h). Cet électro-aimant n'est pas alimenté en fonction du dessin ; le crochet mobile (b) est retenu.
6. Position haute de la lisse : les deux crochets mobiles (b) et (c) sont engagés dans les deux crochets fixés (d), (e). Les couteaux (g) et (f) sont en mouvement ascendant pour l'un, descendant pour l'autre.

Annexe 4

Caractéristiques des axes z et y du biaxe de l'insertion

Selon l'axe z

L'axe z est constitué d'un axe double *MAXH1BRM* (figure 1). La course est fixée par le placement de deux capteurs inductifs de part et d'autre. Le positionnement initial de ces capteurs conduit à une course d'environ 600 mm.



Figure 1 : Double axe MAXH1BR

Le chariot d'un axe linéaire est entraîné par une courroie crantée et deux pignons placés aux extrémités d'un rail de guidage, dont l'un est motorisé. Un second rail de guidage est solidaire du premier rail par des traverses, sur lequel coulisse un second chariot. L'axe linéaire selon y est fixé sur ces deux chariots.

Le positionnement vertical de cet axe conduit à utiliser un double axe pour des raisons de stabilité et de guidage. Le poids de la charge utile embarquée en bout de l'axe linéaire, selon y a été pris en compte. A la base, cette charge embarquée se limiterait à la pince de saisie, mais pourrait être reconsidérée à la hausse dans le cas de développements dans le futur sur cette machine. Nous avons déjà anticipé à ce niveau à notre fournisseur de respecter une charge embarquée de l'ordre de 3 kg pour ce biaxe en question.

La course de cet axe selon z est suffisamment importante pour notre application. Ce qui implique que le positionnement des chariots pour obtenir $z = 0$ (soit un insert au niveau des du centre des lames). La position du chariot va dépendre de la hauteur de l'élément d'adaptation

de l'insert monté sur les chariots et le positionnement en vertical du biaxe dans la structure de la machine, tout cela en respectant la course minimum de +/- 62.5 mm définie par la demi hauteur des lames.

Selon l'axe y

L'axe linéaire selon y est composé d'un axe à flèche *CAS41BRM* de course 500 mm. Cet axe est destiné aux applications nécessitant le positionnement de charges lourdes sur une grande longueur de course.

Il s'agit là encore d'un système d'entraînement à courroie crantée avec un guidage à galets. Contrairement au premier axe, le chariot est fixe. Un bloc d'entraînement fixe (de largeur de 120) accouple à un motoréducteur transmet le mouvement au rail, par le biais de la courroie.

On peut voir figure 1, que sur le bloc d'entraînement sont montés deux capteurs inductifs jouant le rôle d'interrupteurs fin de course. Ils ne sont pas déplaçables. Les deux capteurs sont placés à 5 mm de chaque extrémité du bloc d'entraînement, le bloc étant de longueur 120 mm. Les capteurs sont donc à 55 mm de y_2 de part et d'autre.

Deux butées mécaniques situées à des distances identiques (L_g et L_d) à gauche et à droite de la position de ces capteurs (figure 2) limite la course globale de l'axe (selon y) à 500 mm (réglage de départ, $L_d = L_g = 250$ mm). L'ensemble des butées et capteurs sécurisent ainsi l'axe. Pour réduire la course, d'autres capteurs inductifs peuvent être montés sur les rails.

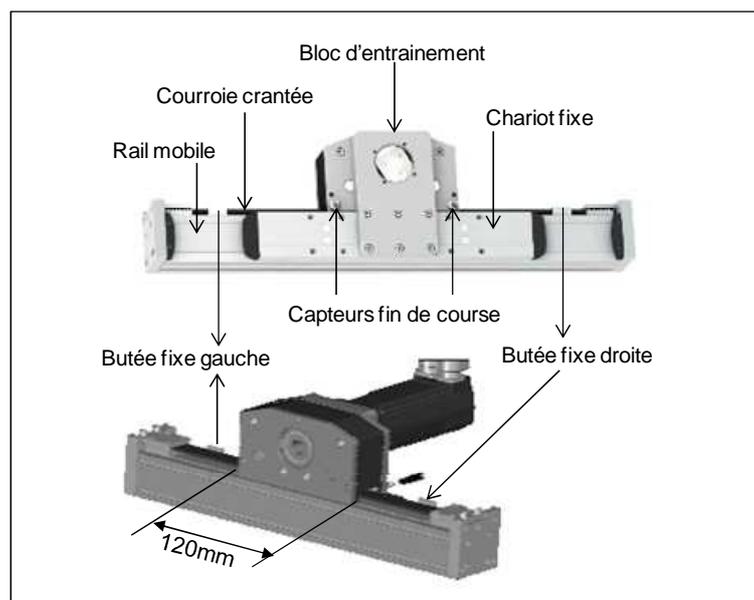


Figure 2: Axe linéaire CAS41BRM

Pour l'axe y, le déplacement de l'insert dépend de la largeur des lames, du positionnement du fil présenté et de la position initiale y_0 et de la pince de saisie.

Pour définir la course de l'axe y du biaxe, nous avons pris en compte des marges m_{g1} et m_{g2} , de chaque côtés des lames fixées en premier lieu à 100 mm. Cela nous a permis de fixer la course de l'insert à 500 mm entre la position gauche où la pince saisira le fil et la position initiale de celle-ci à droite de la machine.

Ces marges assureront le dégagement suffisant de la zone de tissage, lorsque la pince est ramenée en zone droite de la machine. Nous avons choisi initialement de présenter le fil en ($-y_1$) et la pince en y_0 . La distance en y_0 correspond à une demi-largeur de lame et la marge m_{g1} , par contre la distance en y_1 est une demi-largeur de lame plus la marge m_{g2} , voir *Figure*.

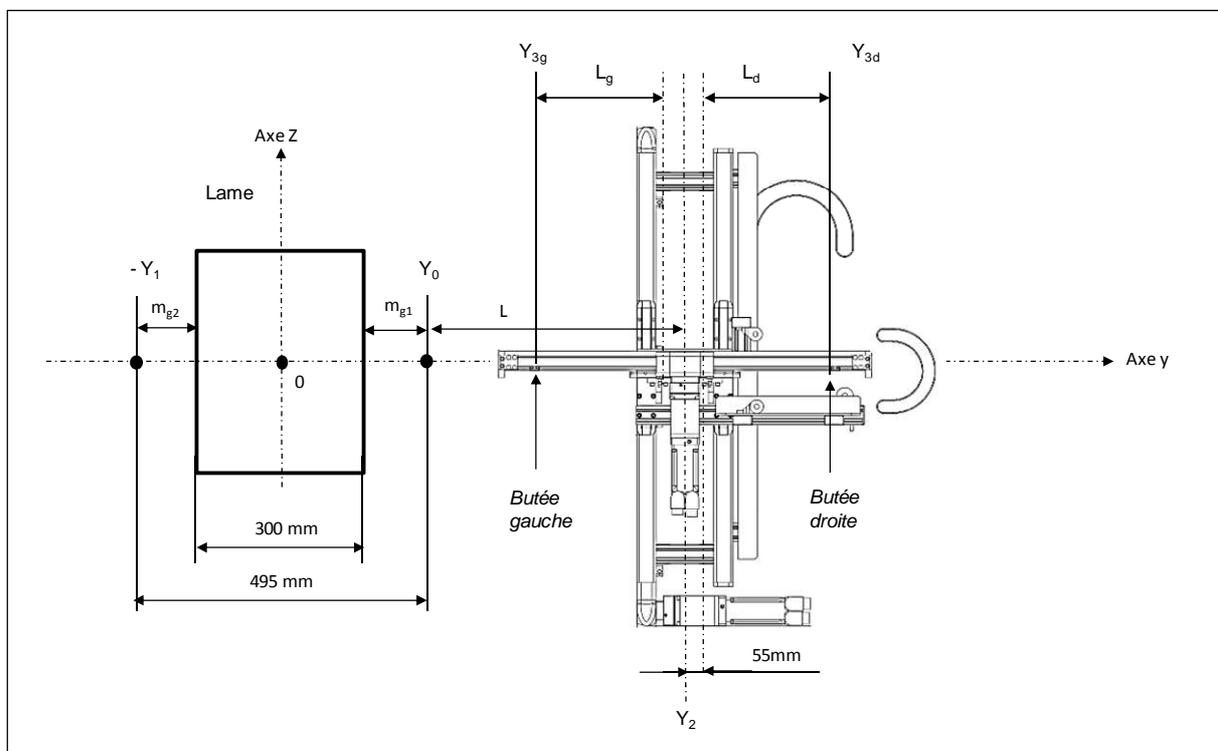


Figure 3 : Positionnement du biaxe par rapport aux lames

En fonction de la position de montage du biaxe selon l'axe y, nous choisissons comme référence de positionnement l'axe de montage du moteur sur l'axe CAS41BRM. Nous matérialisons cet axe en position y_2 .

Le chariot de l'axe vertical est représenté en position centrale. Pour des raisons pratiques conduisant à profiter de la course maximale de l'axe linéaire, nous avons le fixé en butée à gauche y_{3g} qui est détectée par le capteur fin de course de gauche.

Annexe 5

Caractéristiques de l'axe linéaire

PAS42SB150A1BAXXS/21

L'axe linéaire PAS42SB150A1BAXXS/21 est conçu sur la base d'un rail profilé en aluminium, dimension 60 x 60 mm (différents par la forme de ceux-utilisés pour la structure de notre machine).

Il s'agit d'un axe à déplacement linéaire avec entraînement du chariot par vis à billes. Le chariot supportant la charge est mobile et le corps de l'axe est fixe. Un motoréducteur entraîne la vis à bille.

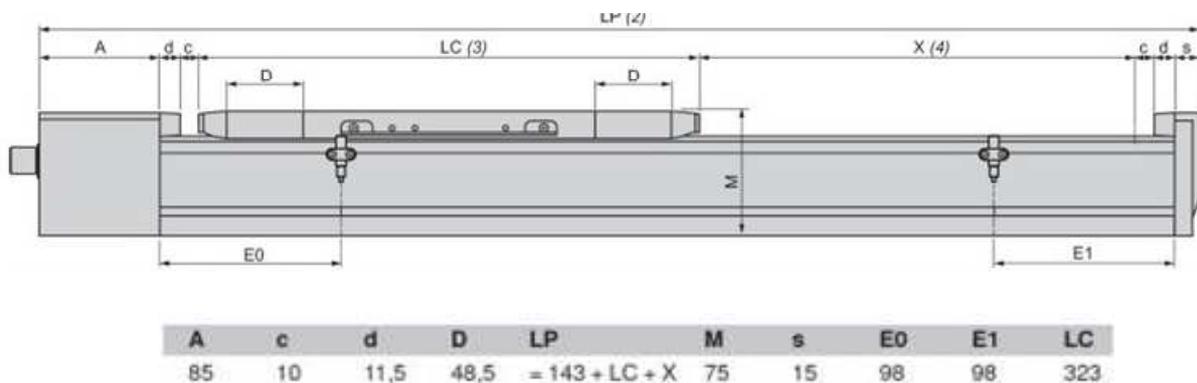


Figure 1 : Encombrement de l'axe linéaire

La longueur de l'axe est de 616 mm pour une course maximale du chariot fixée à 150 mm. La présence (figure 1) de deux capteurs inductifs fixés dans une rainure, sur un des flancs du rail (déplaçables au sein de cette rainure), permet de limiter la course du chariot et, à la partie qui gère les automatismes, de stopper le mouvement dans le cas où l'axe s'approcherait des extrémités (en butée mécanique), sous peine de destruction de l'axe et de sa motorisation associée. Ils jouent le rôle de fin de course.

Annexe 6

Caractéristiques techniques de moteur Brushless

Les caractéristiques électriques et mécaniques des moteurs Brushless BSH055_ dépende de la tension d'alimentation. Les principales se résument dans le tableau suivant.

Tableau : Les caractéristiques techniques de moteur BSH

Données de référence	Sigle [Unité]	BSH 055 1			BSH 055 2			BSH 055 3		
		M	P	T	M	P	T	M	P	T
Caractéristiques techniques générales										
Couple à l'arrêt	M_0 [Nm]	0,5			0,8			1,2		
Couple crête	M_{max} [Nm]	1,5			2,5			3,5		
Tension d'alimentation $U_N = 115$ V										
Vitesse nominale	n_N [min^{-1}]	1000	2000	4000	1000	2000	4000	1000	2000	4000
Couple nominal	M_N [Nm]	0,50	0,50	0,50	0,77	0,77	0,75	1,14	1,13	1,10
Puissance nominale	P_N [kW]	0,05	0,10	0,21	0,08	0,16	0,31	0,12	0,24	0,46
Tension d'alimentation $U_N = 230$ V										
Vitesse nominale	n_N [min^{-1}]	2000	4000	8000	2000	4000	8000	2000	4000	8000
Couple nominal	M_N [Nm]	0,50	0,50	0,48	0,77	0,75	0,72	1,13	1,10	1,05
Puissance nominale	P_N [kW]	0,10	0,21	0,40	0,16	0,31	0,60	0,24	0,46	0,88
Tension d'alimentation $U_N = 400$ V										
Vitesse nominale	n_N [min^{-1}]	4000	8000	-	4000	8000	-	4000	8000	-
Couple nominal	M_N [Nm]	0,50	0,48	-	0,75	0,72	-	1,10	1,05	-
Puissance nominale	P_N [kW]	0,21	0,40	-	0,31	0,60	-	0,46	0,88	-
Caractéristiques techniques – données électriques										
Nombre de pôles	p	3			3			3		
Connexion des enroulements		Y			Y			Y		
Constante de couple (120 °C)	k_T [Nm/ A_{rms}]	1,25	0,68	0,36	1,33	0,70	0,36	1,33	0,70	0,39
Résistance de l'enroulement Ph-Ph (20 °C)	R_{U-V} [Ω]	142,8	41,8	12,2	60,2	17,4	5,2	38,4	10,4	3,1
Inductance de l'enroulement Ph-Ph	L_{U-V} [mH]	244,2	71,5	20,8	122,0	35,3	10,6	92,2	25,0	7,4
Constante de tension Ph-Ph (120 °C)	k_E [V_{rms}/kmin^{-1}]	74	40	22	74	40	22	79	41	22
Courant d'arrêt	I_0 [A_{rms}]	0,4	0,73	1,4	0,6	1,2	2,2	0,9	1,7	3,1
Courant nominal	I_N [A_{rms}]	0,3	0,62	1,1	0,6	1,1	2,0	0,7	1,35	2,5
Courant max.	I_{max} [A_{rms}]	1,6	2,9	5,4	2,6	4,8	8,8	3,4	6,5	11,9

Annexe 7

Légende des clés des types du servomoteur BSH

La référence de moteur BSH s'obtient à partir d'un certain nombre de paramètres selon l'exemple suivant.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Options		
	B	S	H	0	7	0	2	M	0	1	A	0	A
BSH est la désignation de la famille de produits	BSH												
Taille des brides				070									
055 = Bride à 55 mm													
070 = Bride à 70 mm													
100 = Bride à 100 mm													
140 = Bride à 140 mm													
205 = Bride à 205 mm													
Longueur (nombre d'unités)							2						
1 = une unité													
2 = deux unités													
3 = trois unités													
4 = quatre unités													
Type d'enroulement : (combinaison entre la tension et la vitesse nominale)													
M = Vitesse minimale													
P = Vitesse moyenne													
T = Vitesse maximale													
Arbre													
0 = sans clavetage (lisse) : IP40 (IP65)													
1 = sans clavetage : IP40 (IP65)													
2 = sans clavetage : IP65													
3 = avec clavetage : IP65													
Codeur													
1 = SinCos absolu Singleturn (128 lignes par rotation)													
2 = SinCos absolu Multiturn (128 lignes par rotation)													
Frein													
A = sans frein													
F = avec frein													
Système de connexion													
1 = Connecteur droit													
2 = Connecteur tournant en angle droit													
Montage													
A = Fixation selon le standard international													

Figure : Légende des clés des types des servomoteurs BSH

Annexe 8

Code de désignation le variateur Lexium 32

La référence du variateur Lexium 32 se construit à partir des données présentes dans le tableau suivant.

Tableau : Code de désignation le variateur Lexium 32

	LXM	32	A	D18	M2
Désignation du produit LXM - Lexium						
Type de produit 32 - Servo variateur AC pour un axe						
Interfaces C - Compact Drive avec entrées analogiques et PulseTrain A - Advanced Drive avec bus de terrain CANopen M - Modular Drive						
Courant de pointe U45 - 4,5A _{rms} U60 - 6A _{rms} U90 - 9A _{rms} D12 - 12A _{rms} D18 - 18A _{rms} D30 - 30A _{rms} D72 - 72A _{rms}						
Alimentation de l'étage de puissance [V_{ac}] M2 - 1~, 115/200/240V _{ac} N4 - 3~, 208/400/480 V _{ac} ¹⁾						
autres options						

1) 208 V_{ac} (3*200 V_{ac} ... 3*240 V_{ac}) DOM >10.05.2010, version du micrologiciel >V01.04.00

Annexe 9

Caractéristiques techniques de Variateur LXM32

Les caractéristiques électriques des variateurs Lexium 32 sont données dans le tableau suivant

Le variateur utilisé est l'U90M2.

Tableau : Code de désignation le variateur Lexium 32

LXM32•...		U45M2•...	U90M2•...	D18M2•...	D30M2•...	
Tension nominale	[V]	230 (1 ~)	230 (1 ~)	230 (1 ~)	230 (1 ~)	
Limitation du courant d'appel	[A]	3,5	6,9	16	33	
Fusible maximal à brancher en amont ¹⁾	[A]	25	25	25	25	
Courant assigné de court-circuit (SCCR)	[kA]	5	5	5	5	
Courant de sortie permanent	[A _{rms}]	1,5	3	6	10	
Courant de sortie de pointe (pendant 1 s)	[A _{rms}]	4,5	9	18	30	
Inductance minimale du moteur (phase/phase)	[mH]	5,5	3	1,4	0,8	
Valeurs sans inductance de ligne						
Puissance nominale ²⁾	[kW]	0,3	0,5	1,0	1,6	
Courant d'entrée à la tension nominale et à la puissance nominale ²⁾	[A _{rms}]	2,9	4,5	8,4	12,7	
THD (total harmonic distortion) du courant d'entrée ²⁾	[%]	181	166	148	135	
Puissance dissipée ³⁾	[W]	10	18	34	38	
Courant d'appel maximal ⁴⁾	[A]	142	197	240	270	
Temps pour courant d'appel maximal	[ms]	1,1	1,5	1,8	2,1	
Valeurs avec inductance de ligne						
Inductance de ligne	[mH]	5	2	2	2	
puissance nominale	[kW]	0,5	0,9	1,6	2,2	
Courant d'entrée à la tension nominale et à la puissance nominale	[A _{rms}]	3,4	6,3	10,6	14,1	
THD (total harmonic distortion) du courant d'entrée	[%]	100	107	93	86	
Puissance dissipée ³⁾	[W]	11	20	38	42	
Courant d'appel maximal ⁴⁾	[A]	42	90	106	116	
Temps pour courant d'appel maximal	[ms]	3,5	3,2	3,6	4,0	

Annexe 10

Préactionneurs commandés par le contrôleur

L'installation de notre machine à tisser nécessite un certain nombre de préactionneurs commandée par le contrôleur LMC058.

Tableau : Liste de préactionneurs

Repère	Désignation	Repère sortie	Module
HcY	Voyant cycle	11	DOI2TE
KM_L1	Contacteur circuit moteur lame 1	21	
KM_L2	Contacteur circuit moteur lame 2	12	
KM_L3	Contacteur circuit moteur lame 3	22	
KM_L4	Contacteur circuit moteur lame 4	13	
KM_L5	Contacteur circuit moteur lame 5	23	
KM_L6	Contacteur circuit moteur lame 6	14	
KM_L7	Contacteur circuit moteur lame 7	24	
KM_L8	Contacteur circuit moteur lame 8	15	
KM_L9	Contacteur circuit moteur lame 9	25	
KMT	Contacteur circuit moteur Tracteur	DQ0	TM5C24DI2R
KMP	Contacteur circuit moteur Peigne	DQ2	
KMIV	Contacteur circuit moteur Insert Vertical	DQ3	
KMIH	Contacteur circuit moteur Insert Horizontal	DQ4	

Annexe 11

Adresse topologique des variateurs Lexium 32A

L'utilisation de certain nombre de variateurs connectés au bus CANmotion, nécessite de définir un numéro de nœud, pour chaque variateur. On parle d'adresse topologique. Chaque adresse topologique est utilisée dans la configuration de l'application sous Somachine.

Tableau : Liste d'adressage topologique

Repère	Désignation	Adresse topologique
VL1	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 1 ML1	10
VL2	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 2 ML2	9
VL3	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 3 ML3	8
VL4	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 4 ML4	7
VL5	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 5 ML5	6
VL6	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 6 ML6	5
VL7	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 7 ML7	4
VL8	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 8 ML8	3
VL9	Variateur Lexium 32A pour moteur Lame 9 ML9	2
VP	Variateur Lexium 32A pour moteur Peigne MP	1
VT	Variateur Lexium 32A pour moteur Tracteur MT	11
VIV	Variateur Lexium 32A pour moteur Insert vertical MIV	12
VIH	Variateur Lexium 32A pour moteur Insert Horizontal MIH	13

Annexe 12

Organes de sécurité

La mise en place de divers circuits électriques (dédiés à l'alimentation des divers appareils) conduite au développement de protection pour chacun d'entre eux. Nous résumons l'ensemble des organes de sécurité employés dans le tableau suivant.

Tableau : Caractéristiques des organes des sécurité

Circuit à Protéger	Repère	Caractéristique	Référence	Fabricant
Protection générale Bloc différentiel Déclencheur	D0	Tétrapolaire 400V, 40A, 10kA 30 mA MX	5SY44 5SM2 342-0 5ST3040	Siemens
Moteur lame 1	D1	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 2	D2	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 3	D3	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 4	D4	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 5	D5	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 6	D6	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 7	D7	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 8	D8	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lame 9	D9	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur peigne	D10	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur tracteur	D20	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lance H	D30 a	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Moteur lance V	D30 b	12,5 A, courbe C	3RV2011-1KA10	Siemens
Circuit AL1A	D40	3A, courbe D	A9F75203	Schneider Electric
Circuit AL1B	D50	3A, courbe D	A9F75203	Schneider Electric
Circuit AL2A	D60	3A, courbe D	A9F75203	Schneider Electric
Circuit AL2B	D70	3A, courbe D	GB2CD08	Schneider Electric
Circuit AL3	D80	3A, courbe D	A9F75203	Schneider Electric
Circuit AL4	D90	2A, courbe D	A9F75203	Schneider Electric
Alim 1 API	D100	1A, courbe D	A9N21371	Schneider Electric
Alim 2 API	D110	4A, courbe D	A9N23137	Schneider Electric
Alim 3 API	D120	6A, courbe D	A9N21374	Schneider Electric
Circuit DC AL2A	D130	4A, courbe D	A9N21373	Schneider Electric
Circuit DC AL2B	D140	2A, courbe D	A9N21372	Schneider Electric
Circuit DC AL3	D150	2A, courbe D	A9N21020	Schneider Electric
Protection IHM Bloc différentiel	D500	1A, courbe D 30mA	A9F75201 A9Q11225	Schneider Electric
Protection coffret machine Bloc différentiel	D1000	4A, courbe D 30 mA	A9F75204 A9Q11225	Schneider Electric

Ramia ALMOHAMAD « Etude du tissage hybride multicouche : réalisation d'une machine par une approche multiaxes synchronisés », soutenue le 07 mai 2014

Résumé :

Un tissu classique est réalisé par l'entrecroisement de 2 réseaux de fils (appelé armure), un longitudinal, la chaîne et un transversal, la trame. L'introduction des tissus dans les applications techniques a nécessité le développement de réseaux de fils beaucoup plus complexes permettant la réalisation d'entrecroisement en 3D. Toutefois, ces tissus complexes ne sont constitués que de fils textiles de même nature. Dans un futur proche, il sera nécessaire d'entrecroiser d'une part des fils textiles, mais aussi d'autres éléments tels que des capteurs, des tubes d'alimentation liquide, des fils électriques ou tout autre objet. Le but de notre travail est de développer un nouveau concept de machine pouvant répondre à ces nouvelles exigences. Dans le cadre du développement d'un nouveau concept de tissage, nous souhaitons mettre en mouvement les divers mécanismes de la machine à tisser de manière indépendante et remplacer la synchronisation mécanique de ces mécanismes, par une synchronisation électronique. Ce nouveau type de synchronisation permettra de « déstructurer » l'horloge de tissage et ainsi apporter de nouvelles fonctions. La réalisation de cette nouvelle machine a conduit à la conception d'une partie mécanique et d'une partie électronique.

L'automatisation développée lors de la réalisation de cette machine est fondée sur la mise en place d'une structure avancée d'automatisation, constituée d'un contrôleur de mouvement, d'un IHM, d'une automate déporté, connectés sur un bus de terrain CANmotion, essayant de répondre au mieux aux besoins des utilisateurs. La flexibilité et la synchronisation électronique présente dans cette machine architecturée autour de cames électroniques, sont les points forts, et laisse la porte ouverte à l'utilisation de cette machine pour de nouvelles applications. En particulier la réalisation de tissus multicouches hybrides complexes.

Mot clés : Machine de tissage, Synchronisation électronique, Came électronique, IHM, Contrôleur de mouvement, Tissage multicouches hybrides.

Abstract:

Woven fabric is basically produced by interlacing two set of threads, warp yarns, or ends, which run lengthwise in the fabric and the filling yarns (weft), or picks, which run from side to side. The traditional system of ends and picks interlacing is identified as a two dimensional weave or pattern. Involving woven fabrics into technical applications require the evolution of advanced patterns in which ends and picks can be interlaced to build a 3D woven fabric. Moreover, these advanced patterns can allow the integration of new elements other than textile yarns such as sensors, liquid-feeding tubes, electric wires, etc.

The goal of this study is to develop a new concept of weaving machine that fill these requirements by moving the various mechanisms of weaving machine independently and replacing the mechanical synchronization by an electronic one. Such a new synchronization will take the timing diagram apart and thus to bring new functions. The new concept of the weaving machine lies on two parts; a mechanical part and an electronic part.

The developed automation for this new concept is based on an advanced automation structure. This structure is composed of motion controller, IHM, a distance PLC connected to a CANmotion bus to meet the user's needs, this new concept of weaving machine based on electronic cams which is one of the strongest point. This new machine electronically synchronized allows a great flexibility and gives a great opportunity to develop a wide range of new woven fabric structures for novel applications, particularly, the production of complex hybrid multilayer fabrics.

Key words: Weaving machine, Synchronization electronic, Electronic cam, HMI, Motion controller, Hybrid multilayer fabrics.