



Année Universitaire : 2020-2021



Licence Sciences et Techniques en Génie Electrique

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Licence Sciences et  
Techniques

# ETUDE DE LA PANNE DE LA MACHINE DE PRODUCTION DES TÔLES.

Lieu : SOFAFER FES

Présenté par:

**Temsani Karim**

**Saber Abdessamad**

Soutenu Le 08 Juillet 2021 devant le jury composé de:

- Mr. El Markhi Hassane (encadrant & examinateur)
- Mr. T. Lamhamedi (examinateur)
- Mr. Nidae Abderrahim (encadrant Société)

# Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Généralités	
1. Présentation de l'entreprise : .....	2
2. Procédure de fabrication des produits métallurgiques : .....	3
3. Le profilage : .....	5
4. Le soudage à haute fréquence : .....	7
5. Contexte du projet : .....	8
6. Objectifs du projet : .....	8
Chapitre 2 : Etude de la machine de la production des tôles.	
1. Principe de fonctionnement : .....	9
2. L'automate FX2N-32MR : .....	12
3. IHM Pro-face GP37W2 : .....	13
4. Étude de la panne : .....	14
Chapitre 3 : Réalisation du projet.	
1. Schéma de câblage : .....	17
2. La récréation du LADDER : .....	21
3. La récréation des IHM : .....	27
Conclusion.....	31
REFERENCES.....	32

# Liste des figures

Figure 1: La société fassie de fer.....	2
Figure 2: Les types des bobines .....	3
Figure 3: Le refendage_Machine I.....	3
Figure 4: Le refendage_Machine II.....	4
Figure 5: Les différents types de produits métallurgiques. ....	4
Figure 6: La diversité des machines que SOFAFER possède. ....	5
Figure 7: Le principe du ROLL FORMING. ....	5
Figure 8: Les galets (nombre d'étapes). ....	6
Figure 9: Simulation de la production du SIGMA à l'aide de COPRA® RF. ....	6
Figure 10: Production du TOLADALA à l'aide du ROLL FORMING.....	6
Figure 11: Processus de fabrication des tubes à l'aide du soudage HF. ....	7
Figure 12: Machine de production des tôles .....	9
Figure 13: Les moteurs de lissage.....	10
Figure 14: Les boutons de commande et l'IHM.....	10
Figure 15: Mitsubishi FX2N-32MR.....	12
Figure 16: IHM Pro-Face GP37W2 .....	13
Figure 17: Schéma de câblage de l'API avec l'IHM.....	13
Figure 18: Le forçage du contenu du registre D0000.....	14
Figure 19: Tonnage des tôles. ....	15
Figure 20: Besoin en matériel .....	16
Figure 21: Folio1.....	17
Figure 22: Folio2.....	18
Figure 23: Folio3.....	18
Figure 24: Folio4.....	19
Figure 25: Folio5.....	19
Figure 26: Folio6.....	20
Figure 27: Folio7.....	21
Figure 28: LADDER_ Manuel/Automatique .....	22
Figure 29: LADDER_ Commande du moteur M1 dans les deux sens.....	22
Figure 30: LADDER_ Commande des vitesses.....	23
Figure 31: LADDER_ les calculs arithmétiques et l'encodeur.....	24
Figure 32: LADDER_ Commande des vérins.....	25
Figure 33: LADDER_ Remise à 0 de la quantité, le moteur et la calibration de la longueur. ....	26
Figure 34: LADDER_ remise à 0 du compteur rapide et l'incrémentation de la quantité. ....	26
Figure 35: LADDER_ Supervision de la vitesse et l'état de la batterie. ....	27
Figure 36: Ecran1_AGP3750T .....	28
Figure 37: Ecran1_GP37W2 .....	28
Figure 38: Ecran2_AGP3750T .....	28
Figure 39: Ecran2_GP37W2 .....	28
Figure 40: GP37W2_ECRAN 3.....	29
Figure 41: Ecran3_AGP3750T .....	29
Figure 42:AGP3750T_ECRAN4 .....	29
Figure 43: GP37W2_ECRAN4.....	29
Figure 44: AGP3750T_ECRAN5 .....	29
Figure 45: GP37W2_ECRAN5.....	29
Figure 46: AGP3750T_ECRAN6 .....	30

# Listes des abréviations

API : Automate programmable industriel

IHM : Interface Homme-Machine

# Remerciement

Nous aimerions prendre cette opportunité pour remercier SOFAFER et son staff pour la chance qu'elle nous a accordée afin de valider notre diplôme dans une facilité experte dans le domaine industriel. Grâce à leur soutien et leur support, la réalisation de ce projet a été moins pénible, nous vous en remercions vivement.

Il est primordial de remercier notre maître de stage M. ABDERRAHIM NIDAE pour son support pour ce projet dès le début, son encouragement voire ses conseils qu'ils ont contribué à la réussite de ce projet.

Un remerciement spécial pour notre superviseur à la faculté des sciences et techniques de Fès Pr. EL MARKHI pour son support durant cette période de stage et pour les échanges qu'ils ont, sans doute, enrichit ce projet ainsi que nos connaissances techniques.

Nous remercions M. ABDEREZAQ (technicien) pour son accompagnement au long de cette période, son encouragement et sa contribution à la réussite de ce projet.

Finalement, nous voudrions remercier nos familles de leur amour inconditionnel et de leur accompagnement tout au long de notre parcours académique, pour croire en nous et en nos capacités tout au long de nos vies, pour nous encourager à continuer chaque fois que notre volonté faiblit et, enfin, pour nous avoir donné la force de toujours relever de nouveaux défis et la volonté de les réussir.

# Introduction générale

Dans le secteur industriel, les entreprises sont friandes de l'efficacité, la rapidité et la perfection afin qu'elles maintiennent leur place au marché. Les compétences dont les employés des usines ne privilégient pas vu que personne n'est parfait. Même si avec les meilleures intentions du monde il demeure difficile de garder le même dynamisme. Pour cela, des solutions ont été prévues, notamment l'automatisation des processus industriels dont le principe réside dans l'utilisation des circuits électroniques et électriques pour en résulter le comportement-machine souhaité. En effet, cette technique se base sur une unité de programmation qui commande, nombreux actionneurs câblés à sa sortie à la fois tout en se référant de la consigne de l'utilisateur voire l'état du milieu extérieur.

Quoiqu'elle soit coûteuse, les industries hurlent pour implémenter l'automatisation pour garantir une production de qualité et en grande quantité dans un temps minime afin de garder la concurrence. Pourtant, des pannes peuvent avoir lieu au niveau d'une machine automatisée, et par conséquent, l'arrêt de production est inévitable. Usuellement, les pannes sont de nature mécanique ou bien électrique. Dès que l'API n'est pas affecté, des techniciens spécialisés en maintenance mécanique ou en maintenance électrique peuvent intervenir pour pallier le problème de telle manière à relancer la production aussitôt que possible. Sinon, la présence d'un automaticien sera primordiale.

Dans ce contexte, notre mission durant cette période de stage est l'analyse d'une panne au niveau de l'automate programmable de la gamme Mitsubishi dont SOFAFER a souffert pendant un mois et qui a causé l'arrêt de la chaîne de production des tôles. Une étude qui englobe les causes de cette panne pour que l'équipe de la maintenance la prenne en considération, des actions préventives pour l'éviter, les dégâts financiers que cette panne a engendrés et les solutions pour l'éradiquer. Pour aboutir aux résultats attendus ainsi que pour vous se familiariser avec la chronologie de notre travail, ce projet sera divisé en 3 chapitres :

Chapitre 1 : Intitulé Généralités, ce chapitre comporte des informations générale sur SOFAFER, les techniques qu'elle implémente pour la production et le contexte et les objectifs de notre projet.

Chapitre 2 : Nous étudierons la machine de production des tôles ainsi que la panne au niveau de son automate.

Chapitre 3 : Dans lequel nous parlerons de la solution efficace pour éliminer la panne dont SOFAFER a souffert.

# Chapitre 1 : Généralités

Ce projet de fin d'études a été développé en coopération avec la société fassie de fer (SOFAFER) dans le cadre d'un stage de 2 mois dans cette entreprise. Le chapitre suivant vise à présenter l'entreprise, produits fabriqués, les procédures de la fabrication, la motivation du projet ainsi que ses objectifs.

## 1. Présentation de l'entreprise :

La société fassie de fer 'SOFAFER' (voir la figure1) est l'une des 10 meilleures entreprises marocaines de la région Fès-Meknès dont l'activité principale est de répondre aux exigences du secteur métallurgique marocain en fournissant des dérivés d'acier plat à forte valeur ajoutée. Après sa création en 1986, SOFAFER occupait l'import et l'export des produits métallurgiques dont les fournisseurs étaient la Turquie, l'Égypte et l'Espagne. Pourtant, une transition au secteur industriel avait lieu en 1998, dont la première activité industrielle était la production des profilés, production des tôles en 1999 et le lancement de nouvelles lignes de production des tubes dans les dernières années.



Figure 1: La société fassie de fer



## 2. Procédure de fabrication des produits métallurgiques :

Dans une unité industrielle de  $10.000\text{ m}^2$ , SOFAFER regroupe 5 zones dans lesquelles nous trouvons quatre zones pour la production des différents types de produits et la dernière pour les stocker. Le processus de la production commence par l'apport de la matière brute nommée les bobines en acier dont nous distinguons quatre types PPO, GAL, LAF et LAC (voir la figure 2). La production de ce produit nécessite un procédé industriel nommé le laminage, pourtant, nous n'avons pas eu la chance de le découvrir vu que SOFAFER l'importe des sources multinationales.

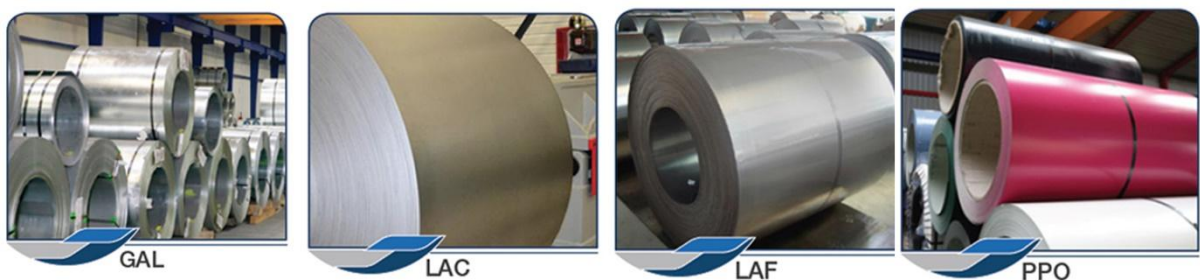


Figure 2: Les types des bobines

À l'aide des ponts roulants, la bobine est transportée vers un dérouleur qui la tourne pour aboutir le refendeur qui consiste à découper la tôle en plusieurs morceaux par l'intermédiaire d'une scie (voir la figure 3). Après cette opération, nous nous retrouvons avec des feuillards de taille désirée. Ensuite, le produit est stocké dans la zone de stockage. SOFAFER délivre le feuillard pour ceux qu'ils en veulent. Pourtant, une grande quantité de ce produit est employée pour en résulter nombreux types de produit métallurgique.



Figure 3: Le refendage\_Machine I

La production de, presque, tout type de produit métallurgique commence d'un feuillard. SOFAFER possède deux refendeurs (voir la figure 3&4) afin d'assurer la quantité de la production désirée dans la zone de refendage.



Figure 4: Le refendage\_Machine II

L'usine possède une variété de machines afin de satisfaire les besoins du secteur métallurgique par une diversité de produits. En effet, l'unité industrielle de SOFAFER comprend deux refendeurs (la production des feuillards), 3 machines de production des tubes (tubes carrés, ronds) dans la zone des tubes, 5 machines de production des profilés (zone profilée), 5 machines de la production des tôles (zone des tôles) et finalement une presseuse et deux compresseurs. Ci-dessus, une illustration des produits métallurgiques que ces machines produisent :



Figure 5: Les différents types de produits métallurgiques.

Malgré la diversité des machines de production (voir la figure 6), le processus de fabrication demeure le même pour les tôles et les profilés vu que ces derniers se basent sur la technique du 'ROLL FORMING'. En revanche, la production des tubes nécessite une technique supplémentaire, il s'agit de 'HIGH FREQUENCY WELDING'. Ces techniques seront traitées dans les deux parties suivantes.



Figure 6: La diversité des machines que SOFAFER possède.

### 3. Le profilage :

Le profilage<sup>1</sup> est un procédé industriel qui consiste au dépliage de la matière sans changer son épaisseur. En effet, le dépliage de la tôle ou bien le feuillard se fait d'une manière incrémentielle afin d'éviter toute sorte de distorsion ou malformation du produit métallurgique. La matière se met dans une suite de galets, chacun de ces derniers contribue à la déformation incrémentielle de la matière grâce à la pression qu'ils soumettent (voir la figure 7).

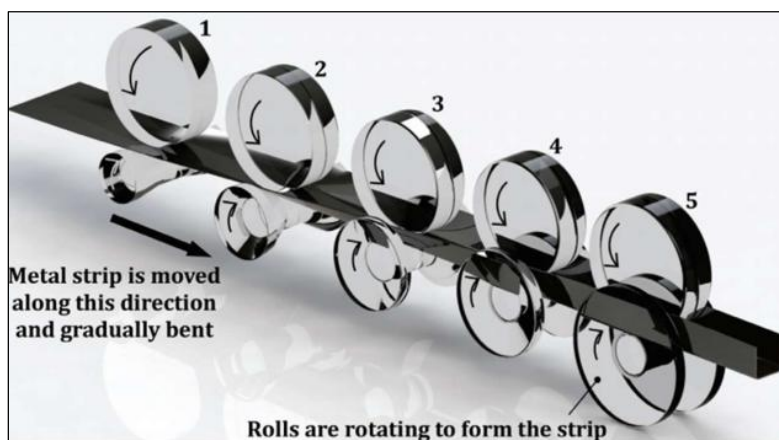


Figure 7: Le principe du ROLL FORMING.

La question qui se pose à ce niveau ; comment fabriquer une diversité de produits métallurgiques avec le même procédé de fabrication ?

En effet, le type de produit fabriqué dépend de nombre d'étapes (figure 9) auquel la matière est soumise, leur type, ainsi que leur position. Ces paramètres ne sont pas posés arbitrairement, pourtant, des études théoriques voire des simulations se mettent en place afin d'assurer la qualité et la forme du produit désiré<sup>1</sup>. En fait, le nombre d'étapes est déterminé par l'équation approximative développée par HALMOS en 2006. Tandis que les simulations sont faisables à l'aide des programmes COPRA® RF et COPRA® FEA RF<sup>1</sup> (figure 8). Dans ce contexte, SOFAFER n'implémente aucune de ces techniques mentionnées vu que la majorité des machines qu'elle possède sont dédiées à fabriquer un modèle précis.

La figure 10 est un exemple concret de l'utilisation de cette technique dans la production des TOLADALA:

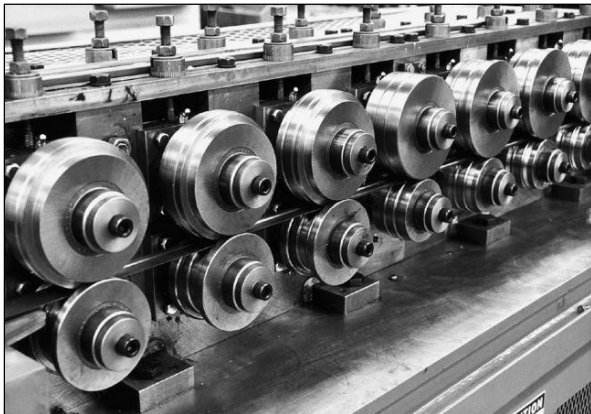


Figure 8: Les galets (nombre d'étapes).

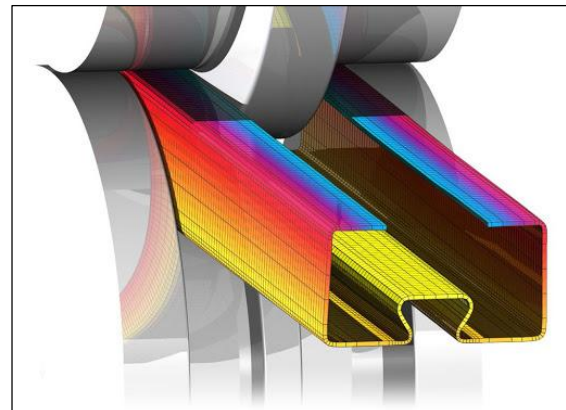


Figure 9: Simulation de la production du SIGMA à l'aide de COPRA® RF.



Figure 10: Production du TOLADALA à l'aide du ROLL FORMING.

#### 4. Le soudage à haute fréquence :

Le soudage par induction à une haute fréquence<sup>2</sup> est une méthode de soudage qui consiste à assembler des matériaux en utilisant l'énergie haute fréquence descendue d'un champ électromagnétique. Dans un réseau industriel, la fréquence a pour valeur 50Hz. Pour cela le champ électromagnétique qui circule dans la matière conductrice par l'intermédiaire d'un enroulement de cuivre occupe son volume entièrement. Pourtant, l'élévation de la fréquence montre que le courant induit du champ électromagnétique se concentre dans la surface seulement.

Et par conséquent, une élévation de la température se met en place à l'aide de l'élément du carbone qui provoque la fusion d'une matière à une autre à l'aide d'une pression appliquée de l'extérieur. Dans ce cadre, SOFAFER implémente cette technique à la production des tubes (figure 11). Elle possède 3 postes de conversion de fréquence pour 3 machines de production de tube dont le rôle est de transformer la fréquence du réseau (50Hz) à une fréquence supérieure (28Mhz). Nous parlons d'une transformation gigantesque qui est capable de fusionner les deux bords rapprochés des tubes métalliques grâce à la température générée par cette transformation (1400°C).

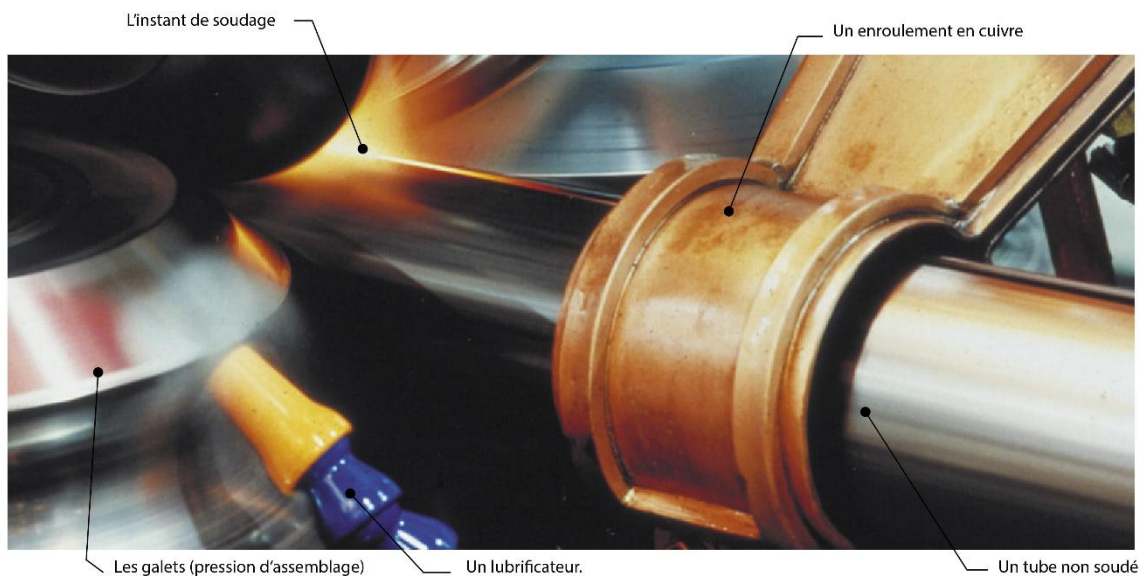


Figure 11: Processus de fabrication des tubes à l'aide du soudage HF.

## 5. Contexte du projet :

Personne ne peut nier que les pannes sont inévitables au sein d'une entreprise productive. Quoique les gains de cette dernière soient gigantesques, la résolution des pannes demeure coûteuse. En effet, une panne au niveau d'une machine nécessite un arrêt total de la production où le temps d'arrêt est coûteux pour l'entreprise. La raison pour laquelle chaque entreprise prend en considération des actions préventives afin de lutter contre une panne au cas d'une apparition. Dans ce contexte, un arrêt de production des tôles d'un mois au sein de SOFAFER avait lieu à cause d'une panne au niveau de l'automate MITSUBISHI-FX2N. Une panne qui a causé la suppression totale du programme opérant de la machine, et par la suite, son arrêt de fonctionnement.

## 6. Objectifs du projet :

Malgré les efforts mis pour pallier cette panne, le staff de SOFAFER est conscient que leur solution reste temporaire et que la panne se produira dans le futur. En tant que stagiaires dans cette société, notre mission est la minimisation voire la suppression totale des dépenses que ce type de panne produit. Pour atteindre notre but, il était primordial que nous entamions :

- Une étude globale de la panne afin de connaître la raison pour laquelle le programme a été supprimé.
- Une étude de la machine de production des tôles pour le but de se familiariser avec son principe de fonctionnement voire ses composants.
- La récréation d'un fichier de sauvegarde du programme LADDER de la machine de production des tôles à partir de son fonctionnement.
- La reprogrammation de l'interface homme-machine (IHM) pour qu'elle soit compatible avec le programme LADDER de l'API.
- La réalisation d'un écran superviseur de batterie pour prévenir l'utilisateur de la panne et l'amélioration de l'IHM.

## Conclusion :

L'automatisation des processus industriels est parmi les techniques utilisées au sein de SOFAFER pour bénéficier du gain en temps et en qualité de production. Toutefois, aucun système n'est infallible. Une panne au niveau de l'automate produit des dégâts financiers considérables. Pour cela, notre mission est l'élimination de la panne ainsi que ses dépenses.

## Chapitre 2 : Etude de la machine de la production des tôles.

## 1. Principe de fonctionnement :

Avant de parler du fonctionnement, il sera utile de contourner les différents composants de la machine de production des tôles (figure 12)

- Un moteur tourneur des rouleaux en double sens avec deux vitesses distinctes à l'aide d'un variateur de vitesse.
- 4 moteurs lisseurs de la tôle dont le rôle est le lissage de la tôle en cas de déformation durant le processus.
- 2 vérins commandés par le même distributeur montés en série.
- 2 capteurs de proximité<sup>3</sup> qui indique la limite de la sortie et la rentrée des deux vérins.
- Un variateur de vitesse<sup>4</sup>.
- Un encodeur double phase<sup>5</sup> (AB).
- Une pompe hydraulique ; sans laquelle la mise en marche des vérins est impossible.
- Une interface homme-machine (Pro-face GP37W2<sup>6</sup>) sur laquelle l'utilisateur saisit, nombreux paramètres dont nous parlerons par la suite.
- Un automate programmable Mitsubishi FX2N-32MR.



Figure 12: Machine de production des tôles



Dans une armoire qui comporte le circuit de câblage, nous trouvons une diversité de bouton (figure 14) afin d'avoir le comportement machine souhaité. Ci-dessous, nous citons leur rôle :

- Un commutateur rotatif double position pour la mise en marche et l'arrêt de la machine.
- Un bouton-poussoir NO pour la mise en marche de la pompe hydraulique.
- Un bouton poussoir NC pour l'arrêt de la pompe hydraulique.
- Un commutateur rotatif double position indicateur du mode de fonctionnement AUTO\MANUEL.
- 4 commutateurs 3 positions qui contrôlent les quatre moteurs de lissage (figure 13).
- 2 boutons poussoirs pour faire marcher les moteurs #2 et #3 du groupe de lissage à la fois, et dans les deux sens NO.
- Un bouton poussoir pour actionner la descente des vérins et un autre pour leur montée NO.
- 2 boutons poussoirs pour la marche en avant et en arrière du moteur tourneur des rouleaux NO.
- Un bouton poussoir qui lance le processus automatiquement NO.
- Un bouton-poussoir coup de poing.



Figure 14: Les boutons de commande et l'IHM.



Figure 13: Les moteurs de lissage.

Autrement, l'IHM comporte plusieurs valeurs paramétrables dont le fonctionnement dépend vivement (voir la figure 45&46). Nous distinguons entre la calibration de la longueur, la quantité, délais de la coupure et la longueur de changement de vitesse. Pourtant, nous verrons le rôle de chaque paramètre durant la description du fonctionnement.

L'ensemble des composants cités auparavant permet à la machine d'avoir deux modes de fonctionnement :

Le mode manuel dans lequel le machiniste fait rentrer la bobine dans une suite de rouleaux par l'intermédiaire des boutons-poussoirs JOG IN et JOG OUT pour qu'elle aboutisse la scie de coupe. Ensuite, l'utilisateur coupe l'excès de la bobine en commandant les vérins par les BP CUTTER TOGGLE UP & DOWN pour initialiser le comptage pour la bonne et la simple raison ; le lancement du mode automatique. Pourtant, cette action nécessite l'activation de la pompe hydraulique. Le passage du mode manuel au mode automatique se fait par un commutateur double position. Dès que le mode automatique est sélectionné, un voyant s'allume pour l'indiquer. Par la suite, l'opérateur saisit la quantité désirée du produit ainsi que le métrage (la longueur) dans l'IHM.

L'appui sur le BP 'AUTO START' lance le processus automatique de la machine. Mais, dans un premier temps, le processus est supervisé par le machiniste afin d'acquérir la valeur de la calibration de la longueur. Cette valeur est acquise par l'arrêt de la machine à l'aide de l'E.M.S, puis la mesure du métrage du premier échantillon produit. En effet, elle correspond à l'erreur introduite entre la consigne de l'utilisateur et les signaux de l'encodeur. Ce paramètre est implémenté au niveau de l'IHM pour qu'il soit retranché ou ajouté à la consigne. Après que tous les paramètres sont collectés, le machiniste lance encore une fois le mode automatique pour compléter la quantité désirée dont le fonctionnement est le suivant :

Les rouleaux poussent la tôle à la sortie de la machine avec la grande vitesse, tandis que l'encodeur compte le métrage de cette dernière. Dès que nous atteignons la longueur de la tôle désirée moins 30mm et le calibrage, le moteur change la vitesse. Puis, il continue avec la petite vitesse jusqu'il atteint la consigne de la longueur désirée moins le calibrage. Par conséquent, le moteur s'arrête et une temporisation se lance pour activer les vérins de coupe après son écoulement. Cette temporisation est nécessaire pour assurer l'arrêt total du moteur et en conséquence une coupe parfaite de la tôle. Dès que nous aboutissons la quantité désirée la machine s'arrête.

Il est important de noter que le machiniste commande les moteurs de lissage manuellement durant tout le processus en cas de déformation de la tôle.

## 2. L'automate FX2N-32MR :

La famille FX offre des solutions économiques pour les tâches petites à moyennes de commande et de positionnement avec 10 à 256 entrées/ sorties intégrées pour l'industrie. Le modèle avec lequel nous travaillons comporte 16 entrées et 16 sorties physiques, des bits mémoires internes et des bits mémoires internes de système, et finalement des registres internes et des registres internes de système avec une possibilité d'extension. L'automate FX2N (figure 15) est livré avec une RAM intégrée sur laquelle le programme LADDER s'opère, mais des mémoires optionnelles peuvent être additionnées<sup>7</sup>. La programmation de cette gamme est possible à l'aide du logiciel 'GX WORKS2' qui donne la possibilité de programmation en deux langages de programmation : LADDER & SFC<sup>8</sup>. La gamme FX offre également la possibilité de travailler avec des cassettes mémoires. Dès que ces dernières sont insérées dans l'automate, le programme dedans est transféré à la mémoire vive (RAM) de l'automate. Un transfert de la RAM de l'automate vers la cassette est aussi possible<sup>9,10</sup>.

Maintenant que nous savons le périphérique qui contrôle le fonctionnement de la machine, il sera bénéfique de savoir la raison pour laquelle le programme opérant de la machine a été supprimé lors l'apparition de la panne.



Figure 15: Mitsubishi FX2N-32MR

### 3. IHM Pro-face GP37W2 :

GP37W2<sup>6</sup> (figure16) est une interface homme-machine d'un écran LCD monochrome bleu d'une taille de 5'' très répandue au domaine industriel grâce à sa simplicité de programmation et la facilité de sa mise en œuvre. Elle permet à l'utilisateur de superviser l'état des actionneurs et communiquer directement avec les registres et les bits d'un automate programmable.

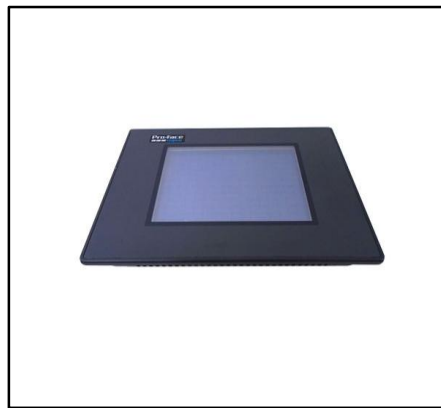


Figure 16: IHM Pro-Face GP37W2

Ceci est réalisable par l'intermédiaire d'un câble RS-422 (figure 17) permettant la transmission de données en FULL-DUPLEX (dans les deux sens) entre l'IHM et l'API dans le cadre d'une communication directe avec le CPU<sup>11</sup>. L'interface de l'IHM est dessinée à l'aide d'un logiciel nommé ' PropBwin C-package 3'<sup>12</sup> dans lequel le programmeur désigne une adresse d'un registre ou bit interne de l'API à chaque case ou illustration afin d'afficher ou saisir les données dans l'emplacement désiré.

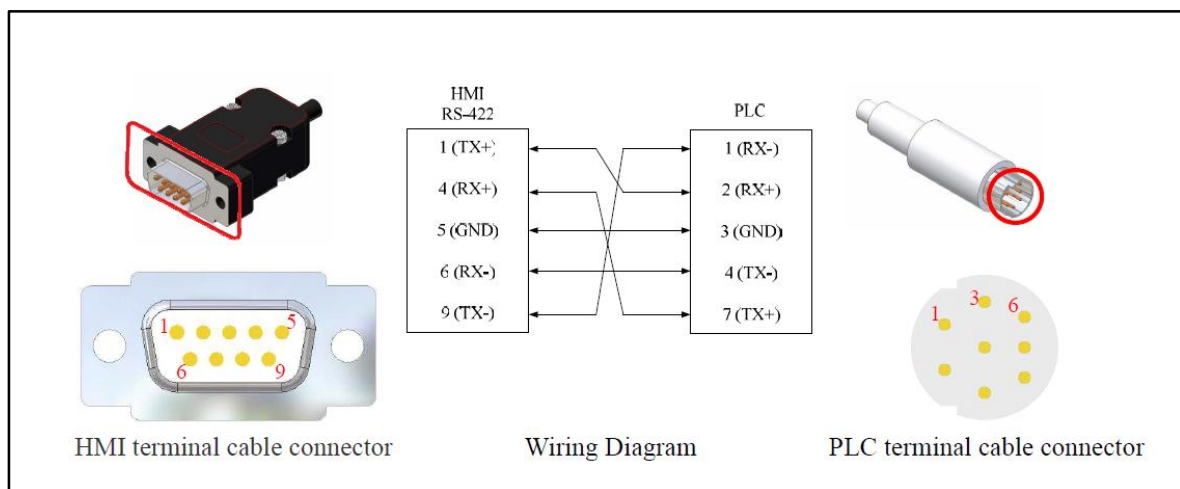


Figure 17: Schéma de câblage de l'API avec l'IHM.

En effet, la transmission de données entre l'API et l'IHM se base sur le pointage des adresses de l'API qui garantit l'accès direct à la donnée ou à l'état d'un bit mémoire. Chaque donnée est stockée dans un registre de données à la mémoire interne de l'automate de la forme DXXXX où XXXX désigne l'adresse de cette donnée. En outre, l'IHM cible cette adresse afin d'avoir la donnée désirée. Noter que l'IHM est capable de changer les valeurs des registres par l'intermédiaire de l'utilisateur, nous appelons ceci le forçage. En ajoutant que la visualisation des données est également possible. Ci-dessous, une capture d'écran du pointage durant le processus de la recréation de l'IHM de SOFAFER :

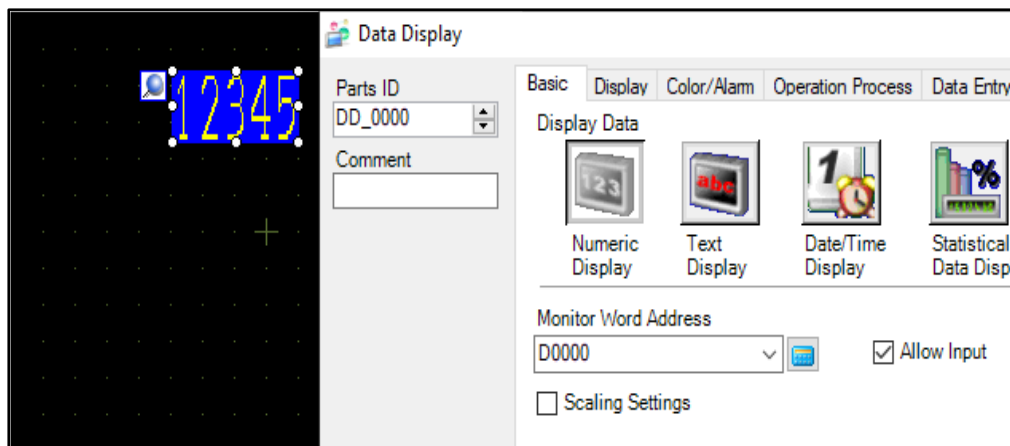


Figure 18: Le forçage du contenu du registre D0000.

La procédure suivie pour la visualisation d'une donnée est la même que celle du forçage, sauf que dans la première nous ne cochons pas ALLOW INPUT.

#### 4. Étude de la panne :

La panne a persisté pour un mois. La raison pour laquelle la production des tôles a été arrêtée. Par conséquent, des commandes ont été rejetées ou bien rapportées à cause de différentes raisons notamment l'inconvenance du temps du client ou son insatisfaction du délai de la production de sa commande. Dans un premier lieu, la moyenne de production hebdomadaire des tôles varie entre 100T et 300T en fonction des commandes reçues (figure 19). Or, cette moyenne a abouti 0T dans le mois 8, le mois de l'apparition de la panne.

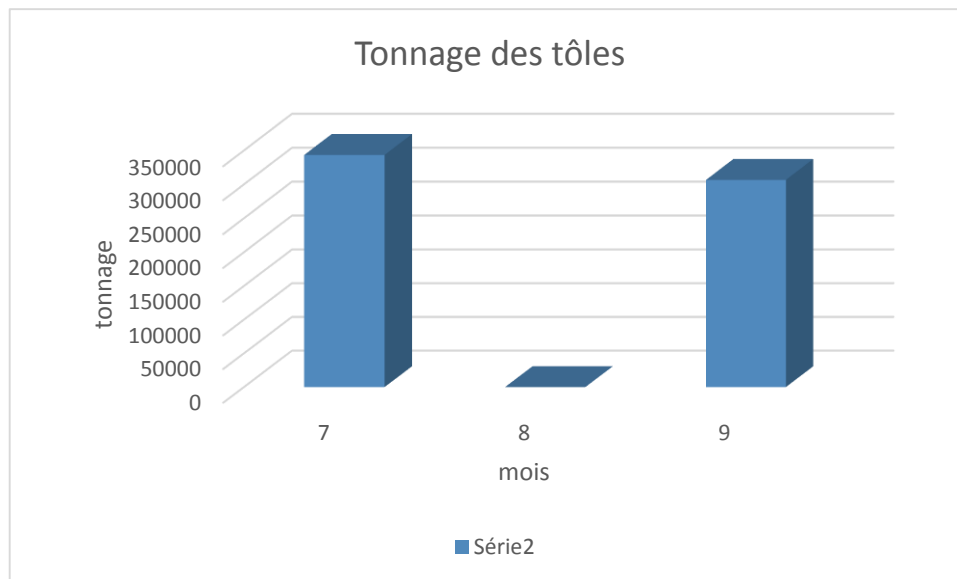


Figure 19: Tonnage des tôles.


Pour comprendre la raison pour laquelle le programme LADDER a été supprimé, il est primordial de connaître la structure de l'automate et ses composants. En effet, ce dernier est livré avec une batterie d'une durée de 3 ans<sup>7</sup>, pourtant, cette durée se minimise par la consommation de la RAM lorsque l'automate est hors tension. Lorsque le niveau de la batterie est trop faible, un LED BATT.V s'allume<sup>7</sup>. Par la suite, l'automaticien essaye de vérifier l'état du bit interne M8006, dans ce cas, nous distinguons deux cas :

- Si M8006 est mis à 1, il est conseillé de copier ou sauvegarder le programme dans une cassette mémoire et échanger ensuite la batterie<sup>7</sup>. En plus, le réparateur ne doit pas dépasser 20 secondes durant cette tâche ou il risque de perdre le programme opérant de la machine<sup>13</sup>.
- Si M8006 est mis à 0, l'automaticien vérifie le contenu du registre interne D8005 dont le rôle est de stocker la valeur de la tension de la batterie par unité de 0,1V<sup>7</sup>. Dans ce cas, contacter le service après-vente Mitsubishi est la solution idéale pour clarifier la cause d'erreur.

Dans ce contexte, notre mission est non seulement d'identifier à SOFAFER les causes de cette panne, mais, de suggérer une solution et des actions préventives. Subséquemment, il est inévitable que l'entreprise suive les instructions citées ci-dessus durant l'échange de la batterie vu que le manque de suivi est la raison de l'apparition de cette panne

Cependant, une solution est prévue. Nous parlons d'une extension de la mémoire de l'automate ou l'ajout d'une cassette mémoire FX-EEPROM-8 (ROM)<sup>14</sup> dans laquelle les données persistent malgré la mise hors tension de l'unité. Un câble spécifique est aussi nécessaire pour transférer le fichier de sauvegarde que vous verrez sa création dans le chapitre suivant.

Voici une estimation des coûts afin d'éviter cette panne :



EEPROM-16 for FX2N PLC	290\$
USB-SC09-FX Programming Cable	18,99\$
USB GPW-CB02 Programming Cable	64,94\$
Total	373,93\$

Figure 20: Besoin en matériel

Maintenant que nous nous sommes familiarisés aux composants de la machine ainsi que son fonctionnement, nous passerons à la réalisation de la suite du projet qui contourne le câblage de la machine de production des tôles et le programme opérant de l'API.

## Conclusion :

Le programme LADDER a été supprimé à cause de la nature de la mémoire de l'automate (RAM) et sa relation avec la batterie mémoire. Pourtant, une solution a été prévue pour éliminer l'apparition de cette panne au niveau de l'automate. Cette solution se base sur la recréation d'un fichier de sauvegarde et l'installation d'une cassette mémoire du type EEPROM qui conserve ses données malgré la mise hors tension de l'automate ou la défaillance de sa batterie.

## Chapitre 3 : Réalisation du projet.



## 1. Schéma de câblage :

Il est important que chaque industrie possède un schéma de câblage de chaque machine indiquant ses composants et la méthode de câblage. Ceci facilite aux techniciens l'identification du problème et sa résolution. Afin d'assurer une compréhension profonde du schéma de câblage de la machine de production des tôles, sa décomposition en plusieurs Folios sera primordiale.

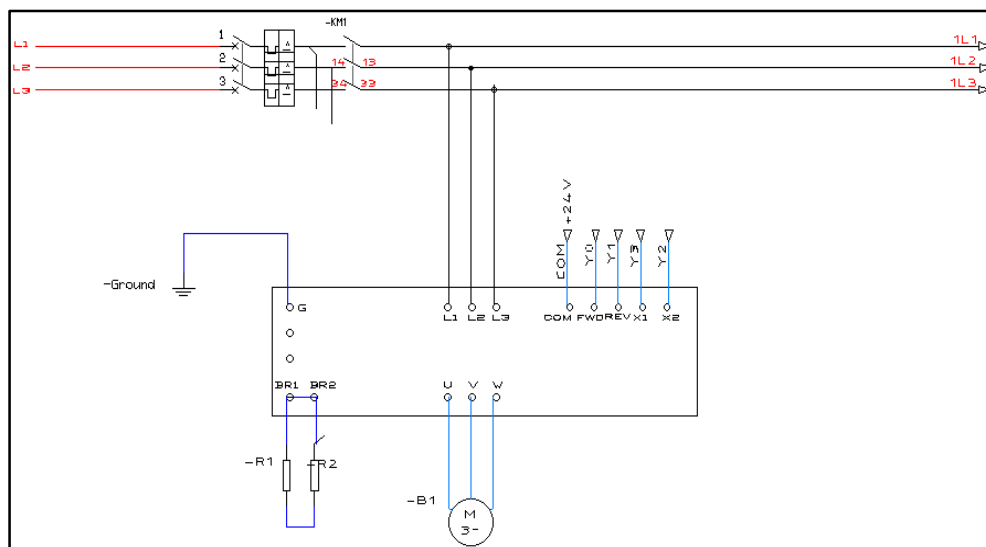


Figure 21: Folio1.

Le schéma ci-dessus est constitué d'un disjoncteur magnétothermique triphasé en série avec un contacteur KM1 dont le but est simultanément la protection de la machine contre les surcharges et les courts-circuits ainsi que sa mise en tension. Un variateur de vitesse de la gamme FRENIC 5000 G11 dont le rôle est le contrôle du sens de rotation du moteur M1 et sa vitesse. Ceci est réalisable grâce aux bornes FWD (marche en avant), REV (marche en arrière), X1 pour la grande vitesse et X2 pour la petite vitesse. Une unité de freinage est également incluse qui supporte la charge générée par l'accélération et la décélération du moteur triphasé.

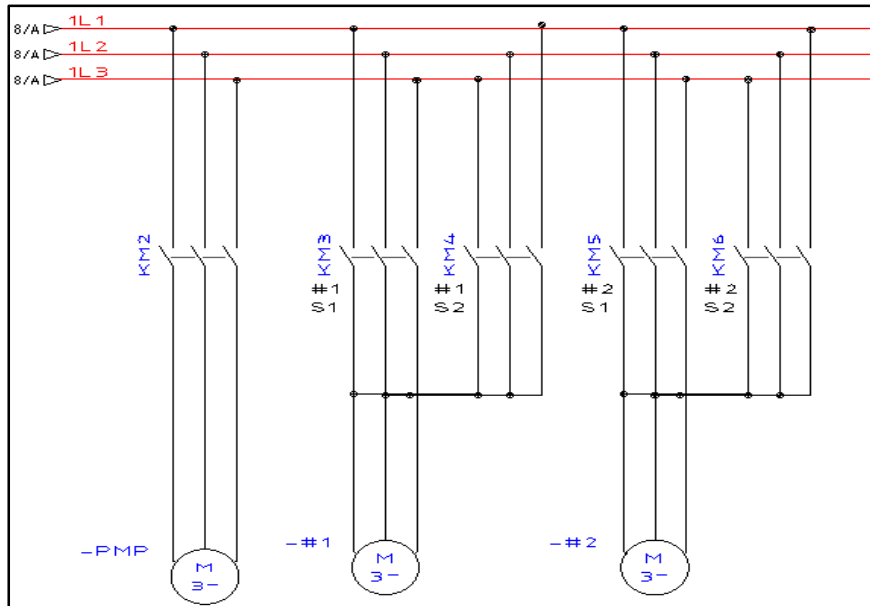


Figure 22: Folio2.

Le Folio 2 comporte le câblage d'une pompe hydraulique qui contrôle la mise en marche des vérins de coupe des tôles et deux parmi quatre moteurs (#1, #2, #3 et #4) qui ont comme tâche le lissage de la tôle en cas de déformation durant le processus de fabrication. Ces derniers sont commandés par le machiniste manuellement et dans les deux sens de rotation. Les moteurs #3 et #4 se câblent de la même manière.

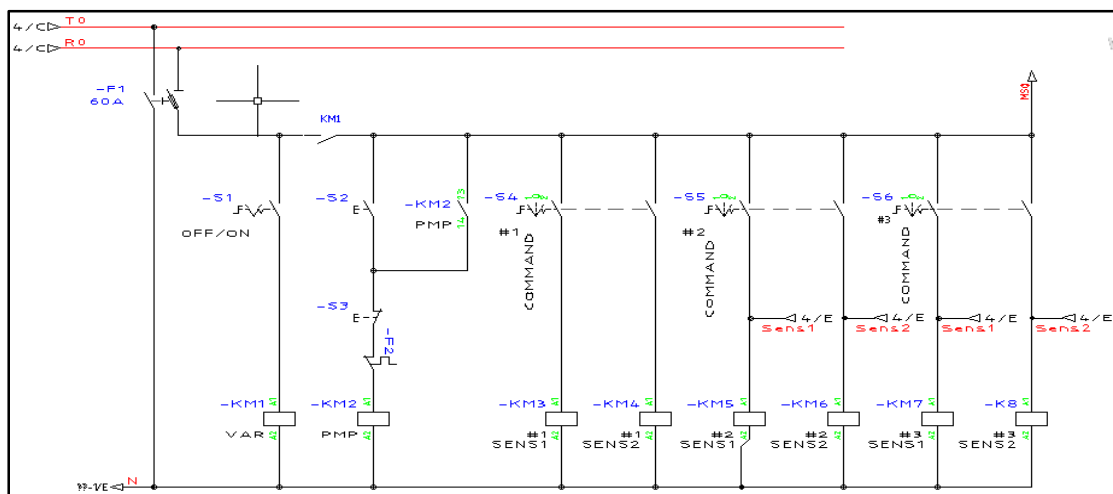


Figure 23: Folio3.

Dans le Folio 3, nous présentons la partie commande manuelle de la machine de production des tôles dont l'alimentation est 220V fournie par l'intermédiaire d'un transformateur 360V/220V. La mise sous tension de ce circuit se fait en sélectionnant la position ON du commutateur rotatif double positions S1. Par la suite, un appui sur le bouton-poussoir S2 met en marche la pompe hydraulique qui contrôle la commande des vérins couplés en série (voir la figure 35). La pompe demeure allumée à l'aide d'un contacteur dédié pour l'auto maintien. Autrement, l'utilisateur est libre de commander les moteurs de lissage dans les deux sens de rotation. Ceci est faisable en manipulant le commutateur rotatif à 3 positions dont une position est neutre. Le machiniste a tellement le choix de faire tourner les moteurs #2 et #3 dans le même sens (sens 1 ou 2) en même temps en appuyant sur S14 ou S15.

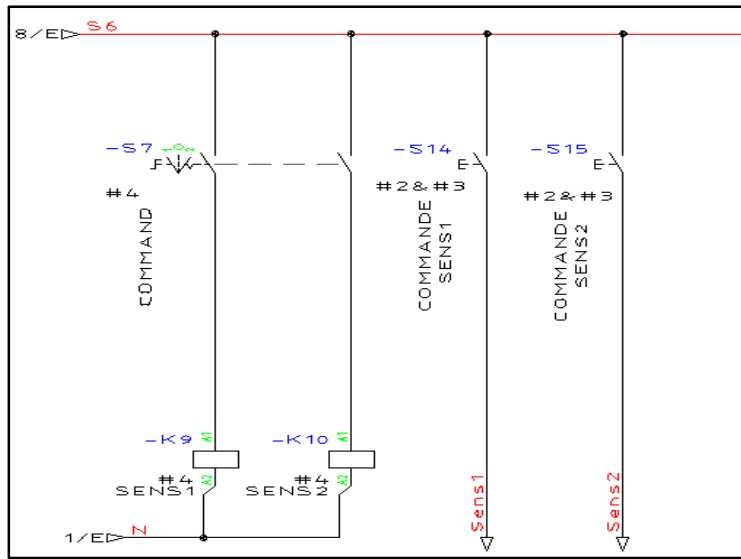


Figure 24: Folio4.

Comme nous avons cité ailleurs, la machine comporte deux modes de fonctionnement dans lesquelles les vérins et le moteur principal (tourneur des rouleaux) sont liés à l'automate FX2N.

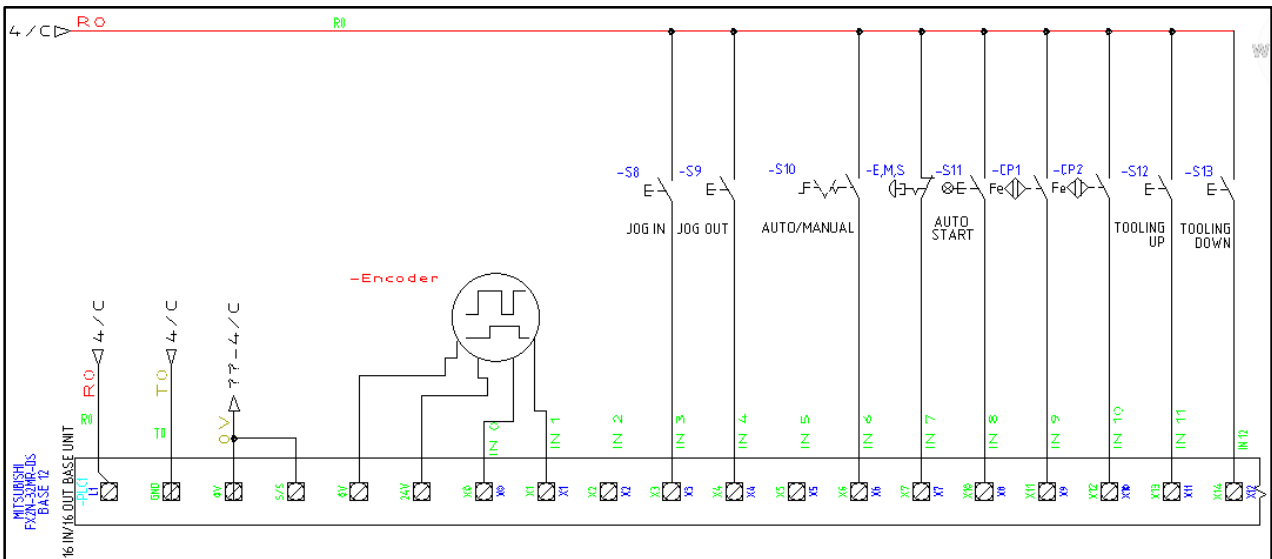


Figure 25: Folio5.

Les entrées de l'automate (figure 25) sont occupées de la manière suivante :

- L1 et GND pour une phase 220V et son neutre.
- 0V et lié au port S/S pour que les entrées soient alimentées en 24V.
- L'encodeur deux phases AB (AUTONICS ENC-1-1-T-24) occupe 4 entrées de l'automate ; deux (0V et 24V) pour son alimentation et deux (X0 et X1) pour le transfert des datas. Le choix de ces entrées n'est pas arbitraire, pourtant, la structure de la gamme FX exige leur utilisation dans le cas de comptage des signaux extérieurs de grande vitesse grâce à la fréquence élevée que ces entrées peuvent aboutir 30Khz.
- JOG IN (X3) et JOG OUT (X4) pour la marche en avant et en arrière du moteur tourneur des rouleaux en mode manuel.
- X6 est occupée par un commutateur deux positions pour basculer entre le mode manuel et l'automatique.
- E.M.S (un bouton poussoir coup de poing occupe l'entrée X7) qui joue le rôle d'un verrouillage électrique pour éviter le fonctionnement du moteur principal dans les deux sens en même temps. En addition, un fonctionnement supplémentaire est assuré par ce bouton qui est l'arrêt du moteur en mode automatique.
- X10 est occupée par un bouton poussoir lumineux (AUTO START) qui lance la production automatique.
- X11 et X12 sont occupées par des capteurs de proximité inductifs qui indiquent les fins de course des vérins de coupure.
- X13 et X14 sont des boutons poussoirs pour commander les vérins de coupure en mode manuel.

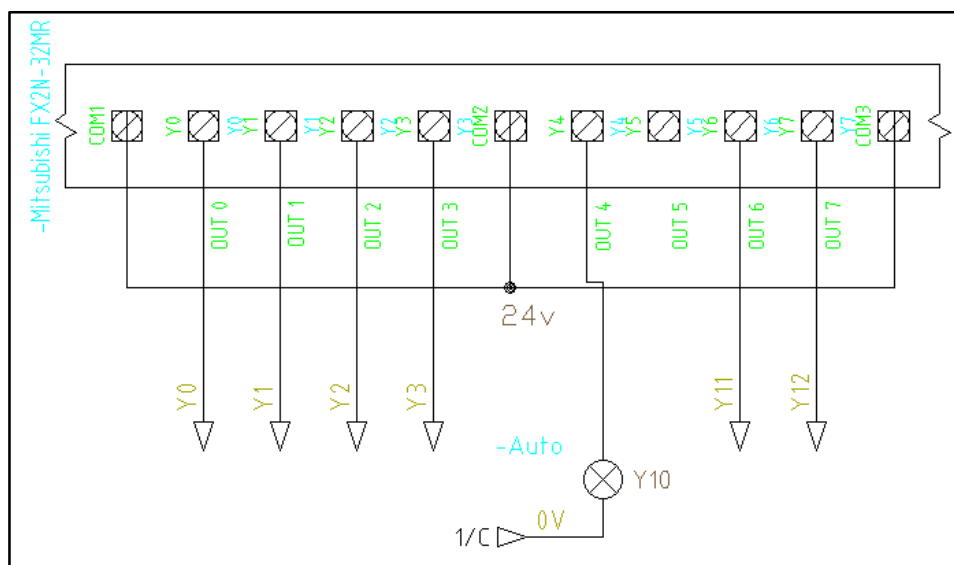


Figure 26: Folio6.

Concernant les sorties de l'automate, un voyant indiquant l'activation du mode automatique est lié à la sortie Y10. Les sorties (Y0, Y1, Y2 et Y3) dans un premier lieu commandent le variateur de vitesse qui lui-même commande le moteur tourneur des rouleaux (voir la figure 29). Dans un autre lieu, les sorties Y6 et Y7 sont dédiées à la commande du distributeur des vérins double effet, la figure ci-dessous montre la méthode de câblage.

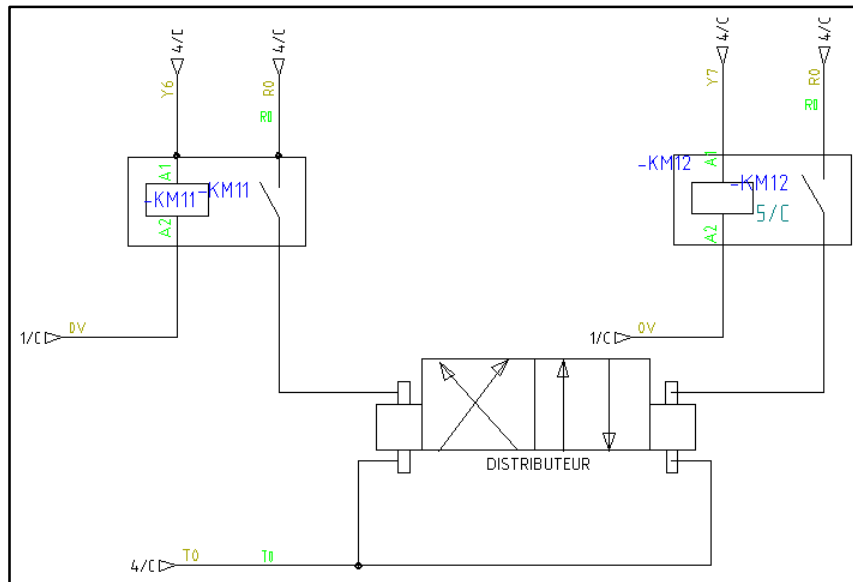


Figure 27: Folio7.

La commande de ces vérins se fait par l'intermédiaire d'un relais à brochure dont la bobine supporte que 24V. Pourtant, ce relais possède des contacteurs de 220V qui nous aident à l'alimentation du distributeur dans la partie puissance.

La partie suivante sera consacrée pour le développement du programme LADDER de la machine de production des tôles voire les écrans de l'interface homme-machine récrés pour que les registres des données pointés soient compatibles avec le programme opérant de la machine.

## 2. La récréation du LADDER :

Il est inévitable qu'une entreprise ait un fichier LADDER de sauvegarde. En cas de sa suppression de la mémoire de l'API, il sera suffisant de le transférer à la mémoire pour que la production relance.

Dans cette partie, nous avons décomposé le programme en plusieurs tranches afin qu'il soit lisible et compréhensible.

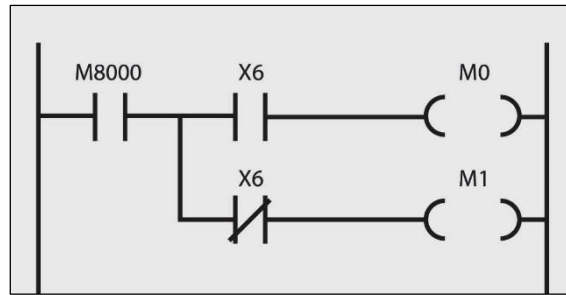


Figure 28: LADDER\_Manuel/Automatique

L'automate FX2N se manifeste d'une variété des bits systèmes qui indique son état interne. Citant l'exemple du bit système M8000 qui se met en 1 lorsque l'automate est sous tension. Nous l'avons utilisé (figure 28) pour mettre sous tension le schéma LADDER quand l'automate est allumé. Puis, un commutateur double positions indique le mode fonctionnement :

- Si X6 est à 1, la machine opère en mode manuel (M0).
- Si X6 est à 0, la machine opère en mode automatique (M1).

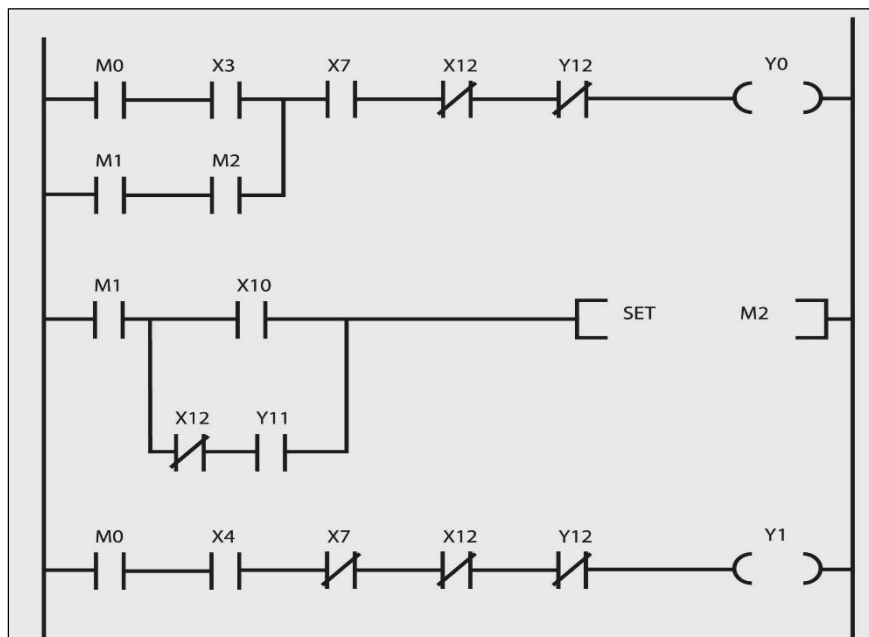


Figure 29: LADDER\_Commande du moteur M1 dans les deux sens.

La figure ci-dessus illustre la commande du moteur tourneur des rouleaux qui est commandé par un variateur de vitesse Fuji 5000 G11S (voir le schéma de câblage dans la figure 29). La marche en avant se fait :

- Manuellement par un appui sur le bouton-poussoir X3, pourtant, la marche en avant nécessite que le bouton poussoir de coup de poing (X7) soit fermé et que les vérins soient en haut (Y12 est mise à 0 et X12 est à 0).

- Automatiquement en appuyant sur X10 (AUTO START) le bit mémoire M2 se met à 1 par une fonction SET dans le départ du cycle automatique. Toutefois, Y0 s'excite dans plusieurs reprises dans le déroulement de la production ; notamment après la coupe de la tôle. Pour cette raison, le bit mémoire M2 est mis à 1 également quand la scie de coupure se déplace vers le haut et que le détecteur de proximité X12 n'est plus activé (détection d'une coupure parfaite).

Alors que la marche en arrière se fait seulement dans le mode manuel en mettant le bouton poussoir de coup de poing à 0 (X7).

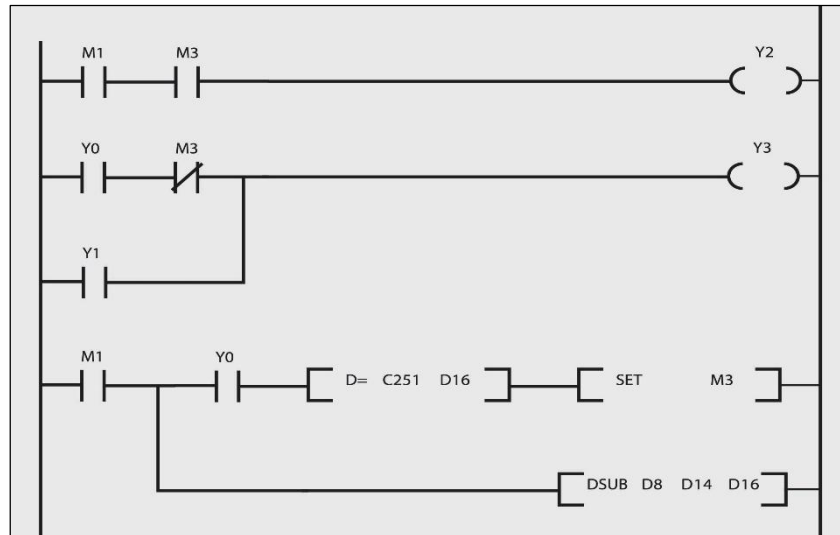


Figure 30: LADDER\_ Commande des vitesses.

La vitesse en mode automatique bascule entre une petite vitesse Y2, une grande vitesse Y3 et l'arrêt total (remise à 0 de Y0). En effet, des calculs arithmétiques se font au niveau des registres des données de l'API pour assurer ce fonctionnement en se basant sur les données que le machiniste entre dans l'interface homme-machine. Dans notre cas, l'utilisateur saisit la longueur de la tôle désirée qui par la suite se stocke dans le registre D8 (32 bits) et un paramètre 'MOTOR SLOW SETTING' stocké dans D14 (32 bits). Leur différence est réalisée par l'intermédiaire de l'instruction DSUB dont le résultat est sauvegardé dans un registre de donnée D16 (32 bits). Ce dernier est la longueur nécessaire pour que le moteur change la vitesse se compare à la longueur en temps réel de la tôle (valeur du compteur rapide C251) à l'aide d'une instruction de comparaison LD=. Dès que les deux variables sont égales la mise à 1 du bit mémoire M3 se met en place qui engendre le basculement de la grande vitesse Y3 en petite vitesse Y2 (figure 38).

La figure 32 illustre les différentes opérations arithmétiques qui se font au niveau de la mémoire de l'API. Ces dernières ont pour but l'addition et la conversion des deux paramètres suivants du cm au mm en les stockant dans le registre des données D8 (32 bits):

- La consigne de la longueur de la tôle en cm stocké dans D0 (32 bits réels).
- La consigne de la calibration de longueur en cm stocké dans D2 (32 bits réels). Cette variable est mise à 0 dans un premier cycle du programme, après, c'est au machiniste de le saisir.

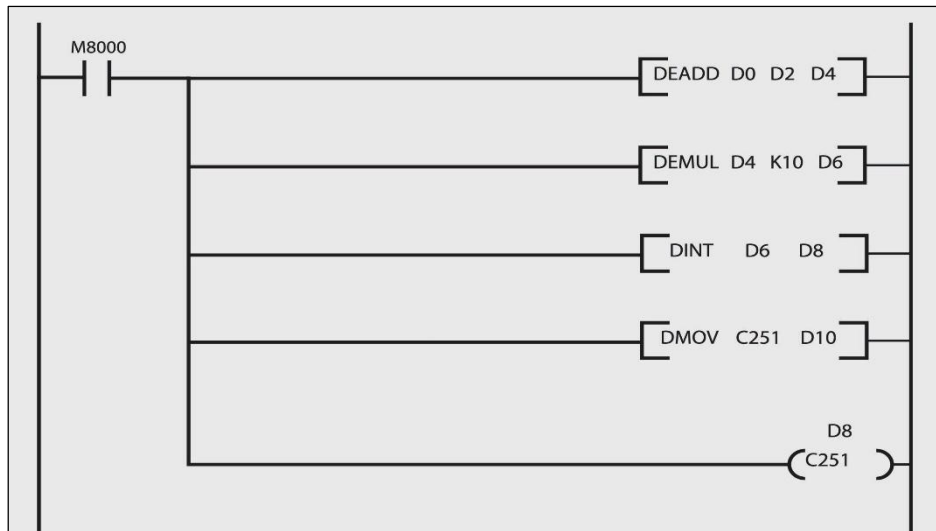


Figure 31: LADDER\_ les calculs arithmétiques et l'encodeur.

En effet, l'instruction DEADD s'occupe de l'addition de ces paramètres, alors que l'instruction DEMUL convertit le résultat de l'addition du cm au mm en le multipliant par 10. La conversion est nécessaire pour qu'elle soit compréhensible et utilisable pour l'encodeur à deux phases AB qui, dans notre cas, considère chaque impulsion (X0-X1) équivalente à 1mm. Pour cela, nous avons utilisé un compteur rapide 32 bits C251 dont la fréquence de comptage est 10Khz avec une consigne stockée indirectement dans le registre de données D8 32 bits (consigne en mm)<sup>8</sup>. Il est important que cette dernière soit un nombre entier, c'est pour cela, nous convertissons le résultat réel à un résultat entier grâce à l'instruction DINT.



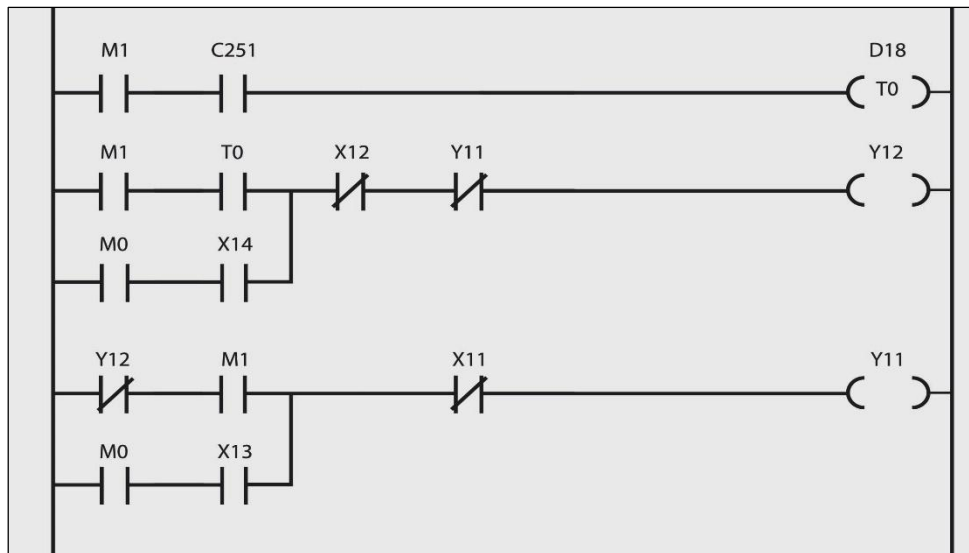


Figure 32: LADDER\_ Commande des vérins.

En mode automatique, dès que le compteur rapide C251 atteint la consigne de la longueur de tôle désirée, le temporisateur à l'action T0 du calibre 100ms commence à compter la durée équivalente à la consigne affectée indirectement à son registre D18 ( $D18 \times 100ms$ ). La temporisation joue un rôle crucial durant le processus, grâce à elle, nous garantissons un gap du temps entre l'arrêt du moteur et la coupure de la tôle ce dont résulte une coupe fine.

Lorsque cette valeur est atteinte, la scie de coupure descend par l'excitation de la sortie Y12. Un détecteur de proximité X12 qui, indique que le vérin est dans la position basse et que la profondeur désirée est atteinte, interrompt la poursuite de cette excitation pour assurer le retour des vérins à leur position initiale.

La commande du distributeur manuellement est également possible par l'appui sur le bouton-poussoir X14 pour une translation vers le bas, ou sur le bouton-poussoir X13 pour une translation vers le haut.

Durant cette procédure, le moteur s'arrête plusieurs fois par l'atteinte de la longueur saisie par l'utilisateur ( $C251=1$ ), par l'atteinte de la quantité désirée ( $C0=1$ ) ou manuellement par le bouton de coup de poing E.M.S (X7). Ceci se fait en remettant à 0 le bit mémoire M2 qui contrôle la marche en avant du moteur en mode automatique (voir la figure 37). En addition, pour passer d'une commande à une autre il est indispensable que le machiniste appuie sur E.M.S ( $X7=0$ ) et le bouton de RESET situé à l'écran principal de l'interface homme-machine (figure 45). Ce bouton est lié indirectement au bit mémoire M4 de l'API et réinitialise le compteur C0 (quantité) et la calibration de longueur D2. La figure ci-dessus montre le schéma LADDER du fonctionnement cité.

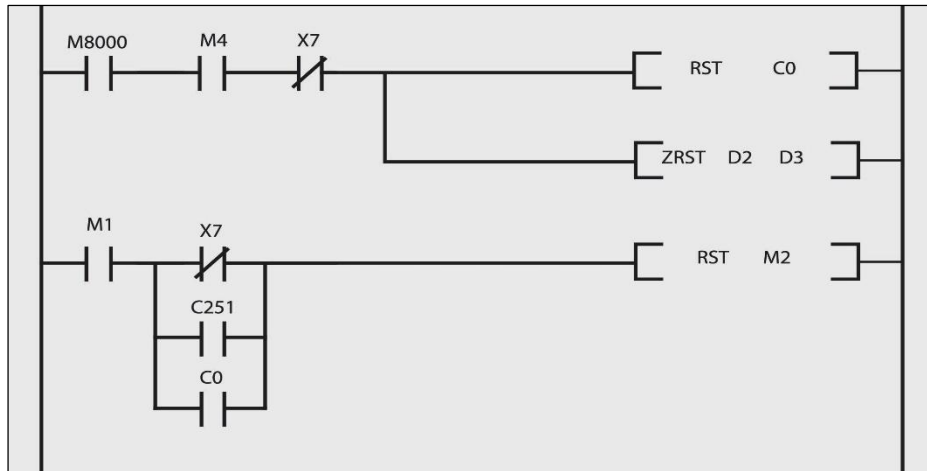


Figure 33: LADDER\_ Remise à 0 de la quantité, le moteur et la calibration de la longueur.

La détection des vérins l'extrémité basse par le capteur de proximité bas X12 signifie que la profondeur nécessaire pour avoir la coupure de la tôle est atteinte. Autrement, ceci signifie l'incrémentation de la quantité au niveau du compteur C0 de consigne D12 (16 bits). Dès que la consigne est achevée, un bit mémoire M5 qui est lié à l'interface homme-machine s'allume pour indiquer que le travail est terminé. La quantité en temps réel est toujours affichée à l'IHM à l'aide de l'instruction MOV. En outre, le compteur rapide C251 se met à 0 pour réinitialiser le comptage du métrage de la nouvelle tôle, alors que la remise à 0 du bit mémoire M3 est pour faire tourner le moteur en grande vitesse (voir la figure 38).

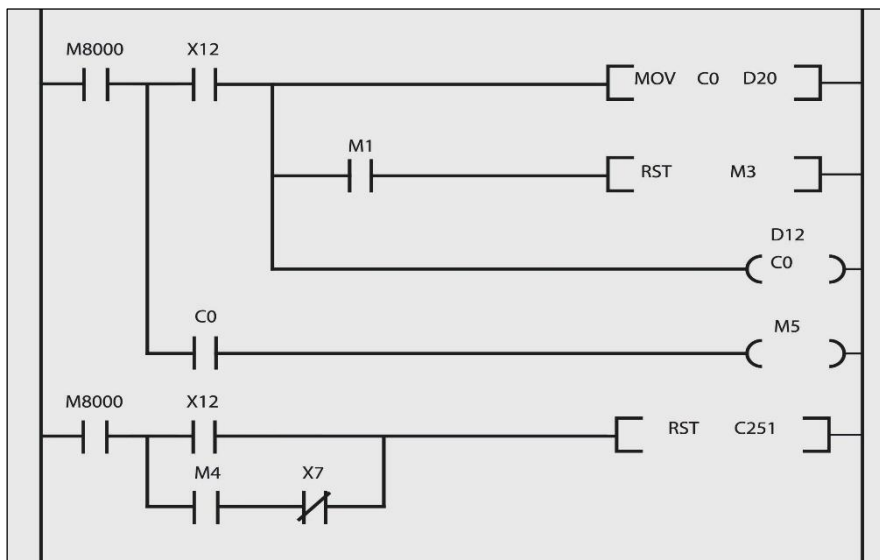


Figure 34: LADDER\_ remise à 0 du compteur rapide et l'incrément de la quantité.

La figure ci-dessous est consacrée pour la supervision de la vitesse du moteur tourneur des rouleaux et l'état de la batterie de l'automate vu qu'elle est l'axe de développement de ce programme. En effet, cette partie a une forte relation avec l'écran de supervision de l'IHM dans laquelle le voltage de la batterie est affiché ainsi que la vitesse avec laquelle le moteur tourne. Nous expliquerons ceci dans le sous-chapitre suivant.

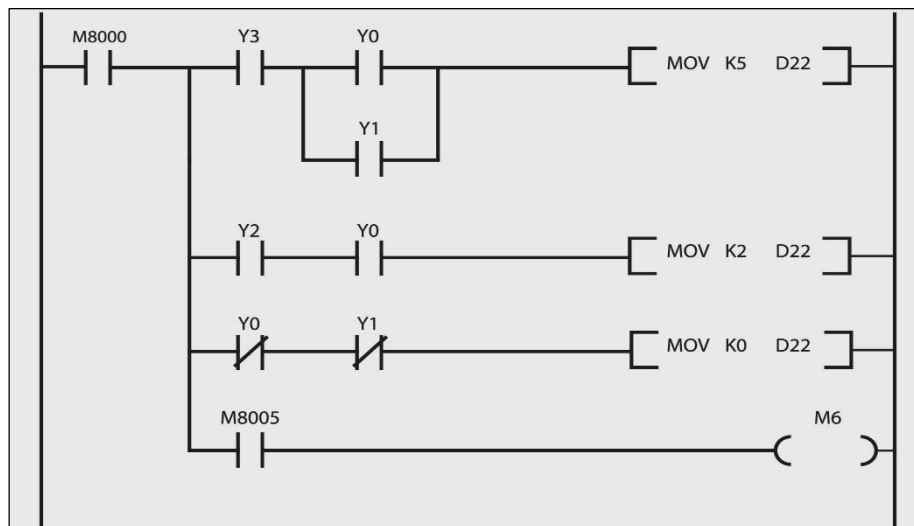


Figure 35: LADDER\_ Supervision de la vitesse et l'état de la batterie.

### 3. La recréation des IHM :

Pour que la machine de production des tôles ait le même fonctionnement avec notre programme LADDER, la recréation des écrans des IHM était inévitable. En effet, dans notre programme, nous faisons appel à des registres mémoires distincts qu'ils peuvent, sans doute, être différents des registres que le fournisseur a utilisés durant la programmation de la machine. Dans ce sous-chapitre, nous présenterons les deux modèles sur lesquelles nous avons travaillé durant cette période de stage. L'interface homme-machine Pro-face GP37W2 que SOFAFER possède déjà, et l'interface homme-machine Pro-face GP3000 SERIES AGP-3750T. En effet, l'IHM que la société possède est tellement ancienne que Pro-face (le fournisseur) n'y assure plus le service de réparation. Pour cette raison, une amélioration à un autre modèle est à repenser. Nous avons pris ce cas en considération en créant également les écrans du modèle GP3000 SERIES AGP-3750T.

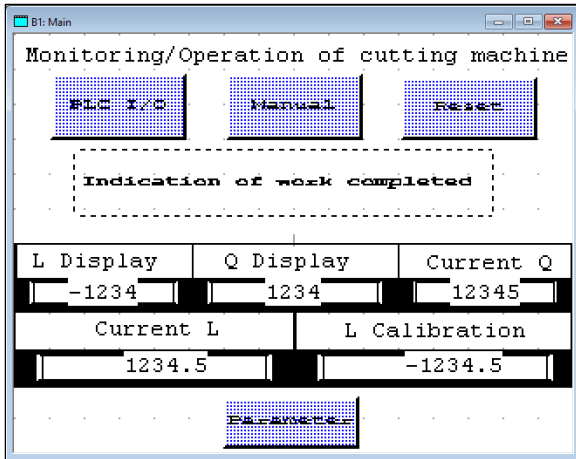


Figure 37: Ecran1\_GP37W2

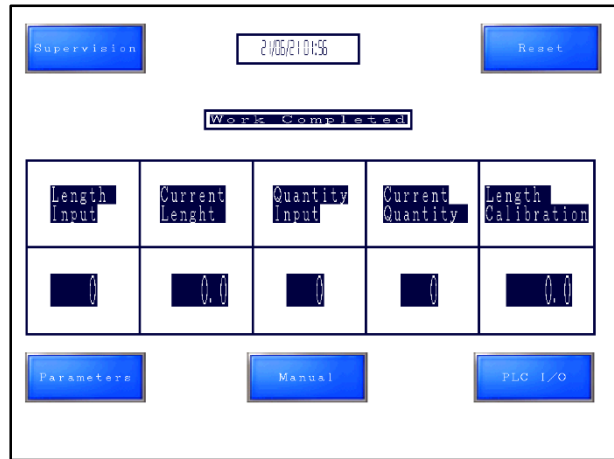


Figure 36: Ecran1\_AGP3750T

Quoiqu'il soit le modèle de l'interface homme-machine utilisé, le fonctionnement demeure le même. Les écrans ci-dessus sont les pages d'accueil des deux modèles :

- Les deux écrans possèdent un tableau sur lequel la quantité saisie, la quantité actuelle, la longueur saisie, la longueur actuelle et la calibration de la longueur sont affichés.
- Une lampe indiquant que la quantité souhaitée est atteinte par l'intermédiaire d'un bit mémoire (voir figure 42).
- Les boutons de navigation entre pages (PLC I/O, MANUAL, SUPERVISION ET PARAMETERS).

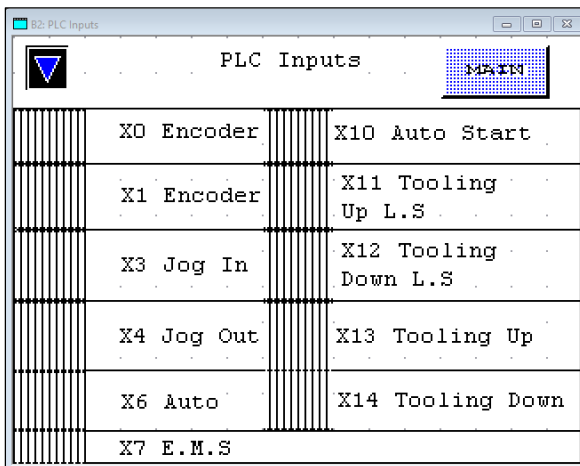


Figure 39: Ecran2\_GP37W2

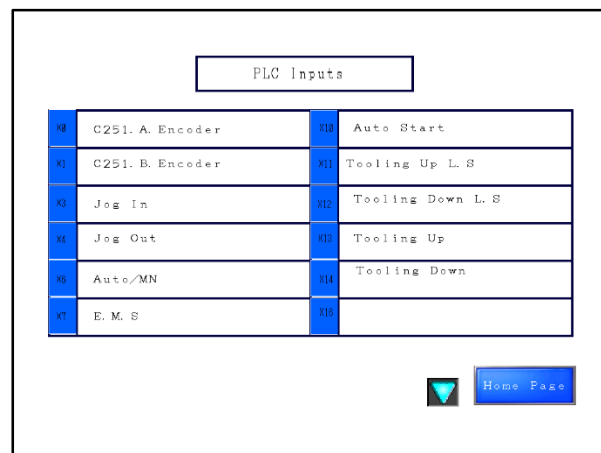


Figure 38: Ecran2\_AGP3750T

En appuyant sur PLC I/O, l'IHM se dirige vers la page des entrées de l'automate dans laquelle des voyants s'allument ou s'éteignent selon leurs états. La page est équipée également par un bouton pour retourner à la page d'accueil ainsi qu'une flèche de navigation pour visiter la page des sorties que nous verrons par la suite (Ecran3).

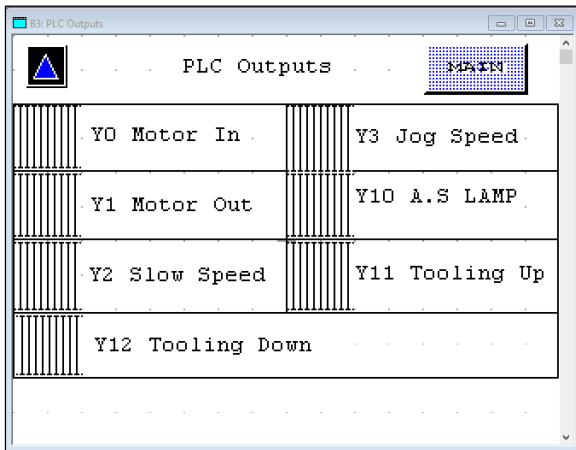


Figure 40: GP37W2\_ECRAN 3



Figure 41: Ecran3\_ AGP3750T

Dans la page d'accueil, l'opérateur peut accéder à la commande manuelle des vérins de coupe et le moteur tourneur des rouleaux en appuyant sur MANUAL.

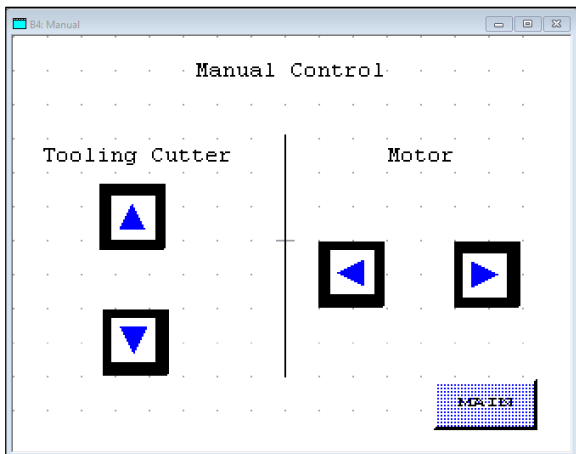


Figure 43: GP37W2\_ECRAN4

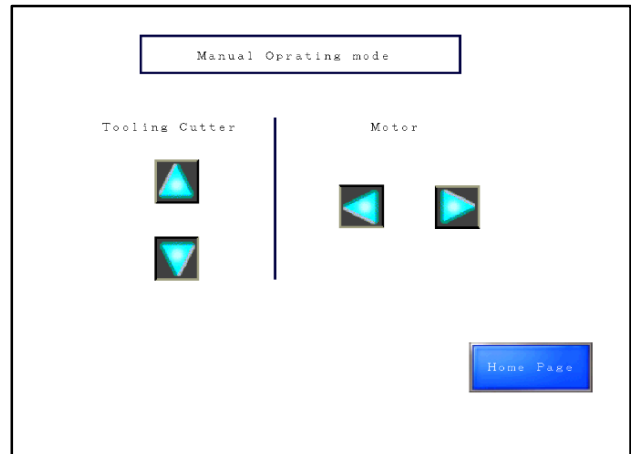


Figure 42:AGP3750T\_ECRAN4

En appuyant sur PARAMETERS dans la page d'accueil, nous nous retrouvons dans la page ci-dessus dans laquelle l'opérateur saisie tous les paramètres nécessaires pour assurer le fonctionnement automatique.

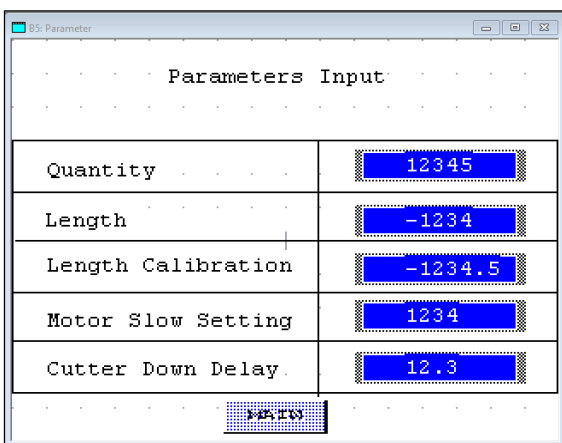


Figure 45: GP37W2\_ECRAN5



Figure 44: AGP3750T\_ECRAN5

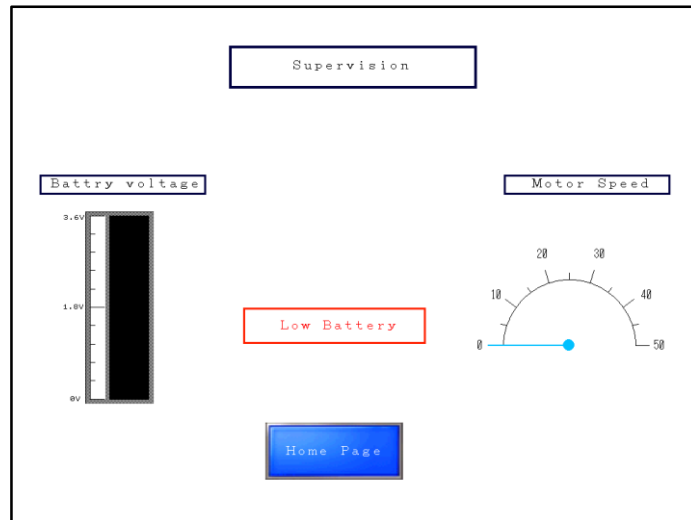


Figure 46: AGP3750T\_ECRAN6

Il est possible que le machiniste supervise l'état de la batterie ainsi que la vitesse du moteur principal en appuyant sur le bouton SUPERVISION dans la page d'accueil. Le voltage de la batterie est basé sur la valeur stockée dans le registre système D8005 de l'automate FX2N. Lorsque ce voltage dépasse un certain seuil en diminuant (M8005=1), un message d'erreur s'affiche LOW BATTERY pour informer le machiniste que la batterie doit être remplacée tout en respectant les actions préventives citées dans notre étude de panne. La supervision de la vitesse est liée au programme LADDER (fig43) :

- Dans le cas où le moteur est sous la grande vitesse, nous faisons le transfert de la constante 5 au registre D22. Par la suite, le graphe affiche la vitesse maximale.
- Dans le cas où le moteur est sous la petite vitesse, nous faisons le transfert de la constante 2 au registre D22. Par la suite, le graphe affiche la petite vitesse.
- L'arrêt du moteur provoque la remise à 0 de l'aiguille.

Finalement, le bouton RESET est lié au bit mémoire M4 qui réinitialise la quantité C0, la longueur atteinte C251 et la remise à zéro de la calibration de la longueur (voir la figure 41).

# Conclusion

En guise de conclusion, n'importe quelle panne nécessite une intervention spécifique afin de la résoudre. Une intervention comme celle que le staff de SOFAFER ait adoptée ravageait la mémoire de l'automate. En conséquence, la suppression des données ainsi que le programme LADDER était inévitable. Le problème n'a pas cessé de se développer, toutefois, il a causé l'arrêt de la chaîne de production des tôles pendant un mois (mois d'août), donc l'arrêt de réception des commandes. Ceci a engendré des dégâts financiers considérables vu que l'arrêt de production a créé une différence au niveau du tonnage mensuel en ajoutant les frais de la réparation partielle de la panne.

Pour vaincre sa persistance, nous avons consacré une bonne partie à l'analyse de cette panne pour aviser l'équipe de la maintenance de ces causes et les actions préventives qu'elle doit adopter afin d'éviter l'apparition de la panne (sans prendre en considération notre solution). Pour cela, nous nous sommes référés des manuels de construction et de programmation de l'automate FX2N en nous basant sur la partie HARDWARE. En revanche, une autre solution a été prévue qui fait appel à la recréation d'un fichier de sauvegarde du programme LADDER ainsi que les écrans de l'IHM pour qu'ils soient compatibles entre eux. En ajoutant à la fin un écran de supervision de l'état de la batterie pour informer l'équipe en cas de nécessité de son remplacement.

L'utilité du fichier de sauvegarde que nous avons créé est la poursuite de la production des tôles en cas d'apparition de la panne au niveau de l'automate. Il est bénéfique que l'équipe de la maintenance transfère le programme LADDER et les écrans de l'IHM par l'intermédiaire des câbles de transfert au lieu d'attendre l'arrivage du programme de la part du fournisseur international qui prend plus qu'une semaine. Notre solution est tellement avantageuse qu'elle minimise le temps d'arrêt de la machine voire les frais de réparation.

# REFERENCES

1. PEDRO BARBIERI FF. Roll Forming - a study on machine deflection by means of experimental analysis and numerical developments. <https://core.ac.uk/download/pdf/302950304.pdf> (01/05/2021)
2. HIGH FREQUENCY WELDING. [https://www.academia.edu/27211057/HIGH\\_FREQUENCY\\_WELDING\\_HANDBOOK\\_2.\\_THE\\_HF\\_WELDING\\_PROCESS](https://www.academia.edu/27211057/HIGH_FREQUENCY_WELDING_HANDBOOK_2._THE_HF_WELDING_PROCESS) (01/05/2021)
3. FOTEK. PS PROXIMITY SERIES. <https://www.multice.com/FOTEK/Proximity%20Sensor/PIC/PS%20Proximity%20Series.pdf> (10/06/2021)
4. FRENIC. Frenic 5000G11S. <https://nicontrols.com/media/pdfs/fuji-frenic5000-g11s-manual.pdf> (03/05/2021)
5. ENC Incremental Rotary Encoder. <https://www.autonicsonline.com/image/pdf/ENC.pdf> (04/06/2021)
6. PRO-FACE. GP37W2 SERIES USER MANUAL. [https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc\\_fx/jy992d66301/jy992d66301s.pdf](https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc_fx/jy992d66301/jy992d66301s.pdf) (15/05/2021)
7. Mitsubishi Electric C. FX HADWARE MANUAL. [https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc\\_fx/jy992d66301/jy992d66301s.pdf](https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc_fx/jy992d66301/jy992d66301s.pdf) (02/05/2021)
8. Mitsubishi Electric C. FX Programming Manual. <https://www.transmission-aquitaine.com/wp-content/uploads/2015/06/fx-manuel-d-initiation.pdf> (02/05/2021)
9. Mitsubishi Electric. FX2N Hardware Manual. <https://manualzz.com/doc/fr/11947078/fx2n-hardware-manual> (02/05/2021)
10. Mitsubishi Electric. Manul d'utilisation de FX3U. <https://www.transmission-aquitaine.com/wp-content/uploads/2015/06/fx-3u-manuel-d-utilisation.pdf> (02/05/2021)
11. Mitsubishi Electric C. FX Series CPU Direct Driver. <https://fr.scribd.com/document/337716214/mitfxcpu-pdf> (26/05/2021)
12. PRO-FACE. GP-PRO/PBIII OPERATION MANUAL. [https://www.pro-face.com/otasuke/files/manual/c-package/c-pack03/propb\\_v70/gpwope\\_m.pdf](https://www.pro-face.com/otasuke/files/manual/c-package/c-pack03/propb_v70/gpwope_m.pdf) (28/05/2021)
13. DCMTECH. Battery Replacement For PLCs. <https://www.dcm-tech.com/plc-battery-change/#:~:text=PLC%20batteries%20must%20be%20changed,event%20of%20a%20battery%20failure.&text=If%20you%20have%20questions%20about,will%20be%20happy%20to%20help.> (15/06/2021)



14. Mitsubishi Electric. FX MEMORY CASSETTE.  
[https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc\\_fx/jy992d45801\(e\)/jy992d45801\(e\)e.pdf](https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plc_fx/jy992d45801(e)/jy992d45801(e)e.pdf) (16/06/2021)