الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة
National Higher School of Advanced Technologies

Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'État

Filière

Automatique

Spécialité

Automatique et informatique industrielle

Thème

Modernisation de la rectifieuse de l'unité LAF

Réalisé par

OULED MERIEM Asma

BOUSSAHA Amani

Soutenu le 22/ 06 / 2025

Membres de Jury :

Prénom NOM	Université	Grade	Qualité
M. Abdelhalim ZAOUI	ENSTA	Professeur	Président
M. Amar REZOUG	ENSTA	Professeur	Examinateur
M. Mohamed ZAOUCHE	ENSTA	Docteur	Examinateur
M. Reda DERMOUCHE	ENSTA	M.C.A	Encadrant
M. Hichem SOUAIDI	SIDER EL-HADJAR	Ingénieur	Co-encadrant

2024/2025

Dédicace

Je rends grâce à Dieu

pour m'avoir donné la force et la volonté de mener à bien
ce modeste travail.

Je dédie ce mémoire à la mémoire de mon père,

Ali Ouled Meriem,

pour ses innombrables sacrifices, son amour et toutes

les leçons de vie qu'il m'a transmises.

Son courage m'a toujours donné la force d'avancer et de croire en mes rêves.
Qu'il repose en paix.

Je le dédie également à ma mère,

Ayad Zoulaikha,
pour son amour inconditionnel, ses sacrifices, ses précieux conseils qui ont guidé chacun de mes pas, et pour tous ses efforts constants.

À mes deux frères,
pour leur présence rassurante, leur encouragement constant et les liens de fraternité qui m'ont toujours porté.

Asma

Je rends grâce à Dieu
pour m'avoir donné la force, la patience et le courage nécessaires à
l'accomplissement de ce travail.

dédie ce mémoire de fin d'études à la mémoire de mon père

"Boussaha Abdelhakim",

que Dieu ait son âme. Son amour, ses sacrifices

et ses rêves m'accompagnent à chaque étape de ma vie.
Qu'il repose en paix.

À ma chère mère, "Boubguira Widad",

dont les sacrifices, la patience et l'amour inconditionnel ont été pour moi

une source de force et d'inspiration.
Son soutien indéfectible a éclairé chacun de mes pas.

À mon frère et mes sœurs,

je vous exprime toute ma gratitude pour votre présence,
votre encouragement et votre foi en moi tout au long de ce chemin.

Ce travail est avant tout

le reflet de la confiance, de l'amour et du soutien continus de ma famille.
Qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance profonde.

Amani

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Nos remerciements les plus sincères vont à M. Reda DERMOUCHE, notre encadrant, pour sa disponibilité, son écoute attentive et la qualité remarquable de son accompagnement. Son expertise, sa rigueur et ses conseils avisés ont été d'une aide précieuse tout au long de ce travail.

Nous adressons également nos chaleureux remerciements à l'équipe de la centrale automatique, et tout particulièrement à M. ACHACHE Houcine, directeur, ainsi qu'à M. BECHAIRIA Chokri et M. SOUIDI Hicham, pour leur soutien constant, leur encadrement technique et la confiance qu'ils nous ont accordée.

Nos sincères remerciements vont aussi à l'entreprise SIDER El Hadjar, pour nous avoir offert l'opportunité d'effectuer ce stage dans un cadre professionnel enrichissant, qui a grandement contribué à notre apprentissage pratique.

Nous remercions également l'ensemble du personnel enseignant et administratif de l'ENSTA, ainsi que tous les professeurs qui ont participé à notre formation et à notre développement scientifique et technique.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont soutenus, encouragés ou conseillés tout au long de cette aventure. Leur présence et leur bienveillance ont été essentielles à l'aboutissement de ce travail.

ملخص

يهدف هذا المشروع إلى تحديث آلة التجليخ من نوع SHIBAURA AWK 1650-B، التابعة لوحدة المعالجة بمركب الحديد والصلب سيدار الحجار. يرتكز العمل على استبدال النظامين الكهربائي والميكانيكي القديمين بمكونات رقمية حديثة، بما في ذلك برمجة وحدة التحكم باستخدام TIA Portal، وتصميم واجهة استخدام رسومية (IHM) لتسهيل عملية المراقبة والتحكم.

تم أيضاً اعتماد برامج المحاكاة لاختبار أداء الآلة قبل التشغيل الفعلي، مما ساهم في تحسين الدقة التشغيلية وتقليص فترات التوقف والخسائر.

الكلمات المفتاحية: التحكم الآلي، التجليخ، التحديث، المراقبة.

Abstract

This project aims to modernize the SHIBAURA KWA-1650B grinding machine within the processing unit of the SIDER EL HADJAR steel complex. The work involved replacing outdated electrical and mechanical systems with modern digital components. A Siemens HMI were programmed using TIA Portal to ensure efficient control and monitoring. Simulation was used to validate the system's operation before commissioning, resulting in improved accuracy and reduced downtime.

Keywords: automation, grinding, modernization, monitoring.

Résumé

Ce travail vise à moderniser la rectifieuse SHIBAURA KWA-1650B dans l'unité de traitement du complexe sidérurgique SIDER EL HADJAR. Le projet repose sur le remplacement des composants électriques et mécaniques obsolètes par des équipements numériques récents. L'automate Siemens et l'IHM ont été programmés via TIA Portal pour permettre un contrôle et une supervision efficaces. La simulation a permis de valider le comportement du système avant sa mise en service, assurant ainsi une amélioration de la précision et une réduction des pertes.

Mots Clés : automatisme, rectifieuse, modernisation, supervision.

2.2 Analyse fonctionnelle de la machine 15
2.2.1 Fonctionnement Général de la Machine 15
2.2.2 Avancement meule 19
2.3 Description détaillée des éléments installés 20
2.3.1 Les capteurs 20
2.3.2 Actionneurs 22
2.3.3 Électrovannes 26
2.4 Problématique 26
2.5 Solution Proposée 27
2.6 Résultats Attendus 29
2.7 Présentation de la solution 29
2.7.1 Définition de l'automatisation 29
2.7.2 Objectifs de l'automatisation 30
2.7.3 L'Automate Programmable Industriel (API) 30
2.8 Conclusion 33

3 Solution et programmation **34**
3.1 Introduction 35
3.2 Solutions à mettre en œuvre 35
3.2.1 Description des nouveaux instruments proposés 35
3.3 Partie programmation 39
3.3.1 Configuration matérielle 39
3.3.2 Protocole de communication 39
3.3.3 Architecture réseau 41
3.3.4 Entrées/sorties du projet 42
3.3.5 Description des différents blocs de programme 43
3.3.6 Description du code 44
3.4 Conclusion 50

4 Supervision et simulation **51**
4.1 Introduction 52
4.2 Programmation de l'IHM 52

4.3 Intégration de l'Industrie 4.0 dans la modernisation de la rectifieuse 64
4.3.1 Définition et principe de l'Industrie 4.0 64
4.3.2 CNC et Industrie 4.0 65
4.3.3 Présentation de la CNC et du système Beckhoff utilisé 66
4.3.4 Logiciel TwinCAT et supervision intelligente 66
4.3.5 Mise en œuvre sur la rectifieuse 67
4.4 Conclusion 68

Conclusion et Perspectives **69**

Liste des Figures

1.3.1 Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar 5
1.5.2 L'organigramme du laminoir à froid 7
1.5.3 Les cages du tandem 8
1.5.4 Skin-pass 8
1.6.5 Processus de rectification 9
1.6.6 Types de cylindres 10
1.7.7 SHIBAURA KWA-1650B 12

2.2.1 Rotation du cylindre 16
2.2.2 Meule rotative 19
2.3.3 Tachymètre 20
2.3.4 Fin de course mécanique 22
2.3.5 Moteurs à courant continu 23
2.3.6 Moteurs à Courant Alternatif 25
2.3.7 Drive analogique absolu 25
2.3.8 Carte de commande 26
2.3.9 Électrovanne 26
2.7.10 Série des API 30
2.7.11 SIMATIC S7-1500 32

3.2.1 Codeur incrémenta 36
3.2.2 Cerabar PMP71 37
3.2.3 Prosonic FMU41 38
3.2.4 SINAMICS G120 38
3.3.5 Châssis de API intégré 39
3.3.6 Ports de communication du CPU 1516 3 PN/DP 40

3.3.7 Profinet 40
3.3.8 Profibus 40
3.3.9 Architecture réseau 41
3.3.10 HMI TP1900 Comfort PRO vue TIA PORTAL 42
3.3.11 Les blocs de notre programme 45
3.3.12 Réseau principal 46
3.3.13 SCALE de la valeure analogique niveau huile 47
3.3.14 UNSCALE de l'avancement de la meule 47
3.3.15 TON d'inversion du sens du chariot 48
3.3.16 SR de la commande d'avance meule 49
3.3.17 pompe de liquide d'arrosage 49
3.3.18 défaut électrique 50

4.2.1 Exemple de table des variables IHM 52
4.2.2 Exemple de la table d'alarme 53
4.2.3 Vue modele 54
4.2.4 Vue d'alarme 55
4.2.5 Vue d'accueil 56
4.2.6 Rotation cylindres 57
4.2.7 Rotation meule 58
4.2.8 Avancement meule 59
4.2.9 Translation chariot 60
4.2.10 station hydraulique et arrosage 61
4.2.11 Exemple vue réseau 62
4.2.12 Exemple vue Power 63
4.2.13 Exemple vue archive 64
4.3.14 Lindustrie 4.0 64
4.3.15 Interface principale de TwinCAT 3 67

Liste des Tables

1.1 Lignes de production 6
1.2 Caractéristiques principales 12
1.3 Précision de la machine 13

2.1 Caractéristiques techniques des génératrices tachymétriques 21
2.2 Capteurs de proximité utilisés 22
2.3 moteurs à courant continu utilisés 24
2.4 moteurs à courant alternatif utilisés 24

3.1 Caractéristiques du codeur incrémental 36
3.2 Caractéristiques du capteur Cerabar PMP71 37
3.3 Caractéristiques du capteur Prosonic FMU41 38
3.4 Caractéristiques principales de PROFINET et PROFIBUS 41
3.5 Entrées/Sorties de système 43

Liste des acronymes

LAF	*Laminage à froid*
LAC	*Laminage à chaud*
API	*Automate programmable industriel*
CPU	*Central Processing Unit*
PLC	*Programmable Logic Controller*
Profinet	*Process Field Net*
HMI	*Human Machine Interface*
IOT	*Internet of Things*
TOR	*Tout ou Rien*
AI	*Analog Input*
AO	*Analog Output*
DI	*Digital Input*
DO	*Digital Output*

Introduction générale

L'industrie sidérurgique représente un secteur stratégique pour le développement économique de l'Algérie. À cet égard, l'usine SIDER EL HADJAR joue un rôle central en assurant la production de divers produits en acier, matériau de base indispensable à de nombreux domaines industriels. L'acier est un alliage métallique contenant essentiellement du fer, mais également du carbone à hauteur maximale de 2% [1], il est utilisé dans de nombreux domaines, tels que la construction et la fabrication industrielle, l'industrie automobile, la santé, l'énergie, et la fabrication de produits domestiques [2]. Ses caractéristiques, telles que la résistance à la déformation et aux impacts, la dureté et la soudabilité, le rendent très prisé [3].

L'automatisation des processus de production est une pratique courante dans l'industrie manufacturière qui vise à utiliser la technologie pour automatiser les tâches manuelles et répétitives traditionnellement effectuées par des humains [4] ce qui améliore l'efficacité, réduit les coûts et limite les risques d'erreurs.

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons également travaillé avec l'équipe de la centrale automatique (CAT) pour une mission d'amélioration du processus de rectification des cylindres d'appui et de travail, en particulier sur la rectifieuse SHIBAURA KWA-1600B.

Notre étude de rectifieuse SHIBAURA KWA-1600B située dans l'atelier de rectification des cylindres (ARC) a mis en évidence plusieurs dysfonctionnements, notamment l'obsolescence des équipements de régulation et de commande, la lenteur des réglages entraînant des pertes de production, ainsi qu'une précision de rectification insuffisante par rapport aux exigences de qualité.

L'objectif principal de ce projet est de développer un système d'automatisation complet, intégré à une interface homme-machine (HMI), afin d'assurer une surveillance globale et une régulation optimale du processus de rectification.
L'intégration de la solution HMI permet de simplifier considérablement les opérations, de remplacer les interventions manuelles, et de réduire les erreurs coûteuses souvent causées par des informations incomplètes ou des manipulations humaines.

Pour mener à bien ce projet, une approche méthodologique claire et structurée a été adoptée. Ce

mémoire présente cette démarche à travers quatre chapitres, organisés de manière logique et progressive pour guider le lecteur tout au long de notre travail. Afin d'en faciliter la lecture, chaque chapitre est divisé en sections distinctes, chacune abordant un aspect spécifique du projet.

Chapitre 1 : Description du processus de production

Description du processus de production à travers ce premier chapitre, nous allons décrire le processus de production du l'entreprise SIDER EL HADJAR et présenter les différentes lignes de production existantes. On expliquera de façon générale le processus de production du laminage à froid, en abordant toutes les étapes et éléments de production de l'atelier de rectification des cylindres (ARC).

Chapitre 2 : Section de traitement de la ligne de décapage

Dans ce deuxième chapitre, nous allons décrire en détail le fonctionnement de la rectifieuse SHIBAURA KWA-1600B, installée dans l'atelier de rectification des cylindres (ARC). Nous présenterons les différents composants matériels de la machine, tels que les moteurs, capteurs et actionneurs, ainsi que les systèmes de commande associés.

Chapitre 3 : Solution et programmation

Dans ce chapitre, nous avons présenté la solution retenue pour répondre aux limitations de la rectifieuse. Nous avons décrit en détail les composants matériels installés, les capteurs et actionneurs utilisés, ainsi que l'automate et l'interface HMI intégrés au système. La configuration des entrées/sorties et la programmation dans TIA Portal ont également été exposées pour illustrer le fonctionnement complet du système automatisé.

Chapitre 4 : Supervision et simulation

Dans ce chapitre, nous présentons l'interface de supervision développée pour la rectifieuse. Les différentes vues de l'IHM permettent à l'opérateur de surveiller et contrôler l'ensemble du processus. La simulation du fonctionnement a été utilisée pour tester et valider le système avant sa mise en service.

CHAPITRE 1

Description du processus de production

1.1 Introduction

Le complexe sidérurgique d'El Hadjar, situé à Annaba, est le plus grand site industriel d'Afrique et joue un rôle clé dans l'économie algérienne. En plus de sa production destinée au marché local, il exporte également ses produits vers l'Afrique du Nord et le sud de l'Europe, renforçant ainsi la position de l'Algérie sur le marché international.
Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes lignes de production du complexe SIDER El Hadjar. Nous nous concentrerons particulièrement sur LAF et, plus précisément, sur l'atelier de rectification des cylindres (ARC), qui sont au cœur de notre étude. Nous détaillerons leur fonctionnement et leur rôle essentiel dans le processus global de fabrication.

1.2 Historique du complexe sidérurgique d'El Hadjar et de la sidérurgie algérienne

Origines et création

- L'idée de créer un grand pôle sidérurgique à Annaba remonte au Plan de Constantine de 1958, avec la création de la Société Bônoise de Sidérurgie (SBS), chargée de réaliser un hautfourneau à Annaba. Ce projet reste alors inachevé. [5]
- Après l'indépendance, l'État algérien fonde le 3 septembre 1964 la Société Nationale de Sidérurgie (SNS), avec pour mission la construction du complexe sidérurgique d'El Hadjar à Annaba. [5]
- Le complexe est inauguré le 19 juin 1969 par le président Houari Boumediene, marquant la première coulée de fonte et le début de la production sidérurgique nationale. [6]

Développement et restructurations

- Durant les années 1970, la SNS devient un pilier de la politique d'industrialisation algérienne, intégrant plusieurs unités industrielles à travers le pays. [5]

- En 1983, la SNS est démantelée, donnant naissance à plusieurs entreprises indépendantes, dont SIDER, qui reprend le complexe d'El Hadjar et devient le cœur de la sidérurgie algérienne. [**?**] [5]

Évolutions et partenariats

- En 1995, le Groupe SIDER est créé, marquant la transition vers une gestion plus économique et moins administrative.
- En 1999, la restructuration interne du groupe SIDER aboutit à la création de 25 entreprises autonomes, dont ALFASID, spécialisée dans le métier de base de la sidérurgie.
- En 2001, un partenariat est conclu avec le groupe indien LNM (devenu Mittal Steel), donnant naissance à ISPAT Annaba, avec 70% du capital détenu par LNM et 30% par SIDER4.
- Après la fusion de LNM et ISPAT International en 2004, la société devient Mittal Steel Annaba, puis ArcelorMittal Annaba en 2007 après la fusion avec Arcelor. [**?**]

Retour à la gestion publique et modernisation

- En 2013, face à de graves difficultés et pour éviter la cessation d'activité, l'État algérien reprend le contrôle majoritaire du complexe, en portant la participation publique à 51% et en lançant un plan d'investissement de 763 millions de dollars. [**?**]
- En août 2016, le complexe est nationalisé et prend le nom de SIDER El Hadjar4.
- Depuis 2018, le complexe vise à retrouver son statut de symbole de la sidérurgie nationale, avec des objectifs de modernisation, d'augmentation de la production (objectif de 1,1 million de tonnes de produits ferreux plats et longs) et de création d'emplois25. [3]
- Un important plan de développement de 500 millions d'euros est lancé en 2024 pour moderniser les installations et assurer la rentabilité du site. [6] [**?**]

Situation récente

- En décembre 2023, après un arrêt de trois mois dû à l'indisponibilité de coke, le hautfourneau est redémarré, relançant la production effective du complexe début 2024.
  L'objectif est de dépasser 600 000 tonnes de produits sidérurgiques commercialisables en 2024, contre 300 000 tonnes en 20235.

- Le complexe emploie aujourd'hui plus de 5 500 travailleurs et poursuit sa modernisation pour répondre aux besoins du marché national et à l'exportation5. [7]

1.3 Description générale de l'entreprise (Sider El-Hadjar)

Le complexe sidérurgique SIDER El Hadjar Annaba (SEH) est considéré comme un pilier emblématique de l'industrie sidérurgique algérienne, relevant le défi de l'efficience économique. Implanté dans la commune de Sidi Amar, dans la wilaya d'Annaba, le complexe a été créé le 3 septembre 1964. Il s'étend sur une superficie totale de 800 hectares, répartie de la manière suivante :

- 300 hectares dédiés aux ateliers de production,
- 300 hectares consacrés aux zones de stockage,
- 200 hectares affectés aux services

Aujourd'hui, le complexe emploie 5 748 travailleurs et affiche une capacité de production annuelle de 800 000 tonnes de produits ferreux, incluant des produits plats, des produits longs, du rond à béton ainsi que des tubes. En 2021, SEH a réalisé des exportations de produits ferreux d'une valeur de 65 millions de dollars, selon ses responsables. Ces derniers misent sur le lancement de la deuxième tranche du plan d'investissement, actuellement en attente, qui prévoit :

- La modernisation et la rénovation des aciéries,
- Le renouvellement des laminoirs,
- La mise à niveau de l'unité de production d'oxygène,

- L'acquisition d'équipements destinés à améliorer la chaîne de production.

L'objectif est de permettre au complexe de retrouver sa compétitivité industrielle et de dépasser une capacité de production annuelle de 1,2 million de tonnes.

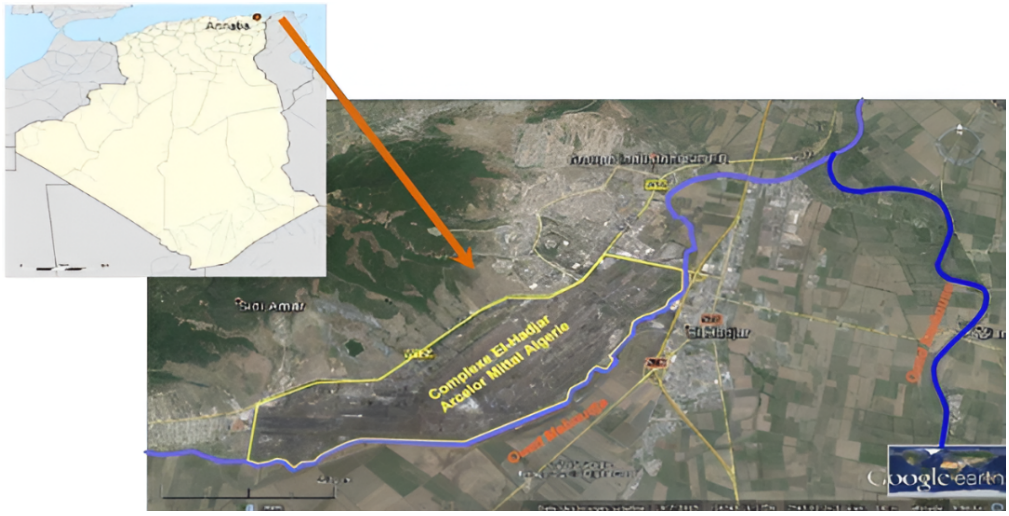


Figure 1.3.1: Complexe Sidérurgique d'El-Hadjar

1.3.1 Activités de l'entreprise SIDER El Hadjar Annaba (SEH)

Créée dans le but de transformer l'acier, la Société Nationale de Sidérurgie s'est imposée aujourd'hui comme l'un des principaux fournisseurs de produits sidérurgiques destinés à divers secteurs économiques du pays. Ces produits constituent la matière première de base pour plusieurs industries nationales, notamment :

- SOGEDIA, spécialisée dans la fabrication de boîtes de conserve,
- SONATRACH, acteur majeur de l'industrie pétrolière,
- SNMETAL, intervenant dans les domaines de la construction mécanique, métallique et chaudronnière.

Par ailleurs, SIDER El Hadjar dispose d'un réseau commercial national comprenant 7 points de vente répartis à travers le territoire.
Pour couvrir ses besoins en énergie et en fluides industriels, le complexe est doté d'une infrastructure interne composée de :

- Trois (3) centrales thermiques,
- Quatre (4) unités de production d'oxygène,
- Trois (3) stations de traitement d'eau.

1.4 Lignes de production existantes

Les différents produits élaborés sont représentés sur le Tableau. 1.1

Installation	Produit	Principaux utilisation
Cokerie	Coke	Métallurgie
HF_1 et HF_2	Fonte	Métallurgie, fonderie
ACO_1	Brames	Métallurgie
ACO_2	Billettes	Industrie de transformation
Laminoir à chaud «LAC»	Tôles fortes	Construction métallique,tubes, bouteilles à gaz
Laminoir à froid «LAF»	Tôles fines	Electroménager, mobilier métallique, conserve
Etamage	Fer blanc	Métallurgie
Galvanisation	Tôles galvanisées	Bâtiments pour L'agronomie
Aciérie électrique «ACE»	Lingots	Transport des hydrocarbures, Recherche et production pétrolière.
Laminoir à fil rond «LFR»	Fil rond à béton	Bâtiments et travaux publics hydraulique

Table 1.1: Lignes de production

1.5 Description de l'unité laminage à froid (LAF)

Le laminage à froid est un procédé métallurgique consistant à faire passer une bande de métal entre des rouleaux à une température inférieure à celle de sa recristallisation. Cette opération comprime et déforme le métal, ce qui augmente sa dureté ainsi que sa limite conventionnelle d'élasticité. Ce type de laminage représente un segment spécifique de l'industrie métallurgique. Il vise à affiner les bandes métalliques tout en leur conférant une grande précision dimensionnelle et une qualité de surface élevée, répondant ainsi aux exigences de nombreuses applications industrielles. Le LAF se compose de plusieurs lignes de production, chacune ayant un rôle bien défini (Figure:1.5.2). [8]

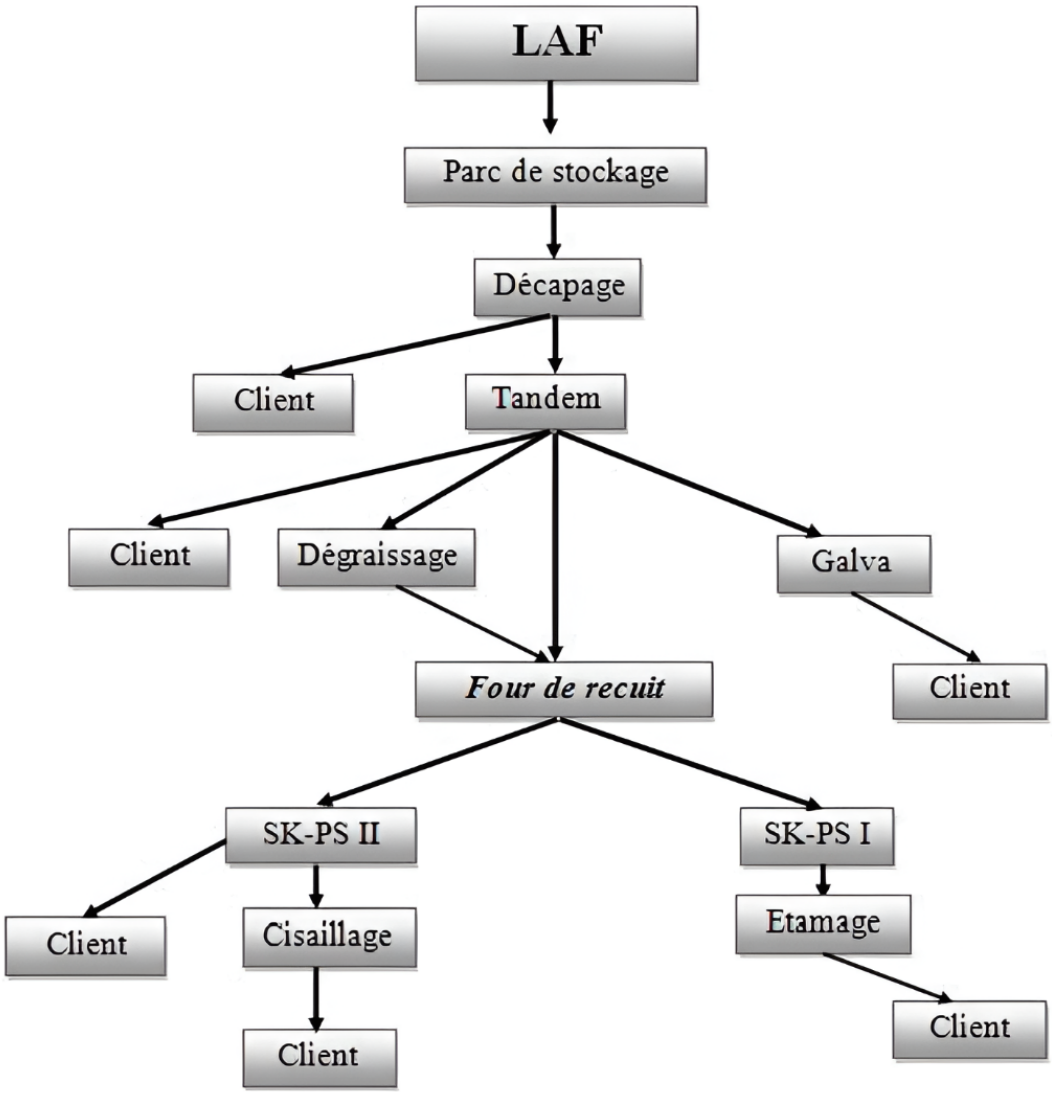


Figure 1.5.2: L'organigramme du laminoir à froid

1.5.1 Laminoir tandem (TDM)

Le laminoir tandem est constitué de 5 cages quarto et peut laminer des bobines de 24 tonnes et d'une largeur maxi 1350 mm Il reçoit les bobines venant du décapage et a pour rôle de laminer la bande par une réduction d'épaisseur en une seule passe jusqu'à l'épaisseur finale désirée, en lui sollicitant une traction et une pression sous l'effet de deux cylindres de travail épaulés par deux cylindres d'appui. A l'entrée (première cage) l'épaisseur maximale est de 4,5mm et minimale 1,5mm, et à la sortie (tandem), l'épaisseur maximale est de 2 mm et minimale 0,16 mm. Sa production nominale est de 900.000 tonne par an. [8]

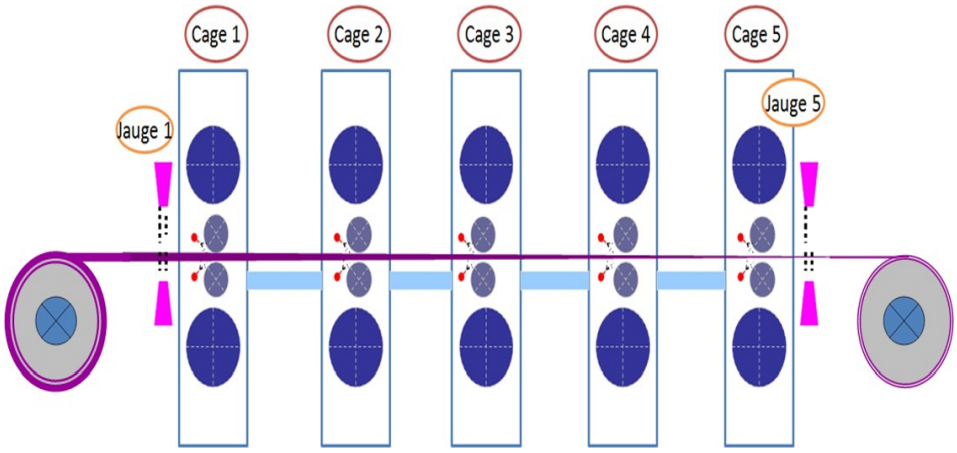


Figure 1.5.3: Les cages du tandem

1.5.2 Laminoir Skin Pass 2

Le Skin Pass 2 est une installation de finition utilisée après laminage à froid, le métal devient dur et cassant. Il doit donc subir un recuit de recristallisation pour lui redonner d'une part ses qualités de plasticité indispensables au formage de la tôle, et d'autre part pour nettoyer la surface de la tôle des résidus d'huile de laminage. Le recuit nécessite des programmes différents de chauffage et de refroidissement suivant la classe demandée du produit.

L'opération de skin-pass (SKP) intervient après recuit et consiste à donner un léger allongement (5% max) à la bande en un seul passage avec un faible taux de réduction d'épaisseur moyennant des cylindres rugueux afin d'imprimer la rugosité sur la tôle et ajuster les propriétés mécaniques. [8]

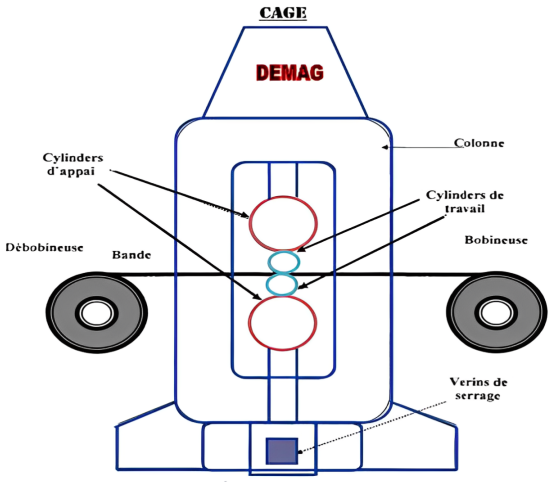


Figure 1.5.4: Skin-pass

1.6 Atelier d'Usinage (ARC): Installation de Rectification des Cylindres

1.6.1 Rôle et importance

L'atelier d'usinage (ARC) présente un intérêt majeur pour le bon fonctionnement du laminoir LAF (Laminoir à Froid ou à Chaud selon le cas). Il est dédié à l'entretien, à la rectification et à la préparation des cylindres utilisés dans le processus de laminage, afin de garantir la qualité

des produits finis, ainsi que la durabilité des équipements concernés. Cet atelier dispose de cinq rectifieuses, dont la rectifieuse SHIBAURA 1650, et de machines de démontage et de remontage des empannages des cylindres, lui permettant de rénover les cylindres usés en fin d'exploitation pour les réutiliser dans les laminoirs TANDEM et SKIN PASS . [9]

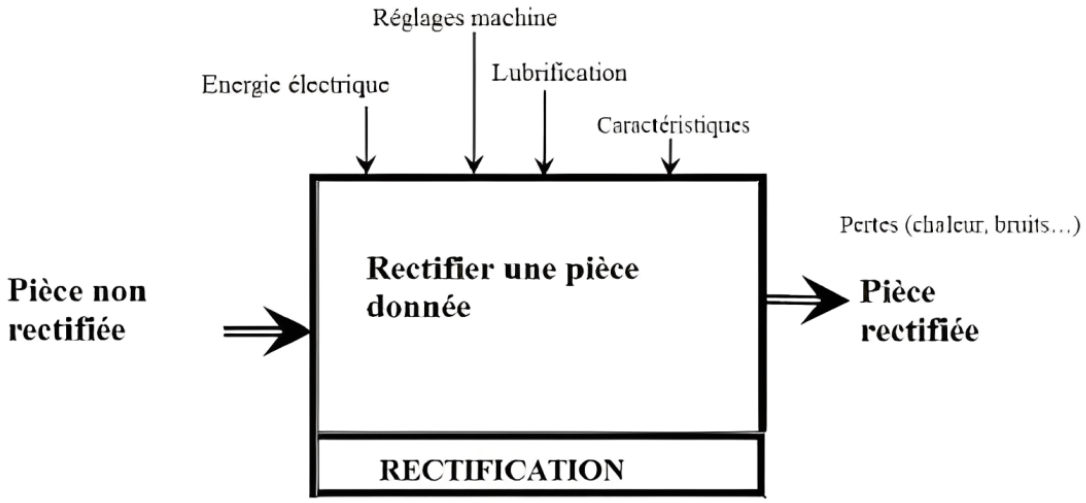


Figure 1.6.5: Processus de rectification

1.6.2 Composition de l'atelier

L'atelier de rectification des cylindres (ARC) est structuré autour de deux installations principales, équipées de machines dédiées à l'usinage des différents types de cylindres utilisés dans le laminage :

- KWA-1650B : destinée à la rectification des cylindres d'appui et des cylindres de travail.
- KWB-800A : utilisée exclusivement pour la rectification des cylindres de travail

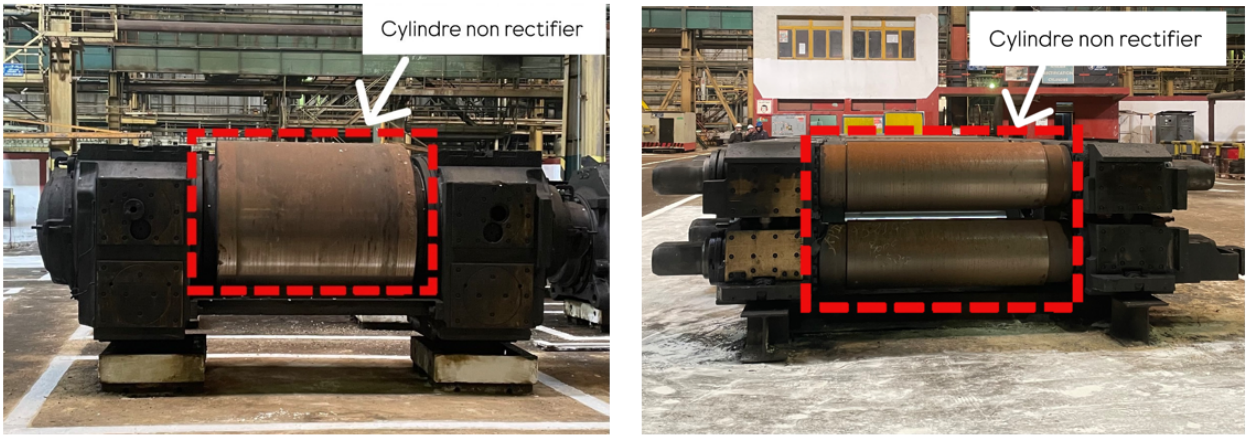
En complément de ces deux équipements principaux, l'atelier comprend :

- Des machines de démontage et remontage des empoises pour la préparation mécanique des cylindres.
- Des dispositifs de contrôle dimensionnel (diamètre, conicité, etc.).

- Des chariots de manutention pour le transfert sécurisé des cylindres entre les différentes étapes du processus. [9]

1.6.3 Types de cylindres

Cylindres d'appui : Assurent la stabilité et la précision du laminage.
Cylindres de travail : Directement en contact avec le métal à laminer, déterminent la qualité de la surface du produit fini.



(a) Cylindres d'appui (b) Cylindres de travail

Figure 1.6.6: Types de cylindres

1.6.4 Fonctions principales

Rectification des cylindres

- Ajustement du profil des cylindres selon les spécifications techniques du laminoir LAF.
- Correction de la géométrie pour garantir une répartition uniforme des efforts de laminage

Élimination des défauts superficiels

- Suppression des rayures, fissures ou autres imperfections apparues lors du processus de laminage.

- Amélioration de la qualité de surface des cylindres pour éviter la transmission des défauts aux produits laminés.

Préparation au remontage

- Les cylindres, une fois rectifiés et contrôlés, sont prêts à être remontés sur le laminoir pour un nouveau cycle de production. [9]

1.6.5 Objectifs de la rectification

- Assurer la précision dimensionnelle des cylindres.
- Garantir la qualité de surface des produits laminés.
- Prolonger la durée de vie des cylindres et du laminoir.
- Optimiser la productivité et la sécurité de l'installation.

1.7 Descreption de la machine SHIBAURA KWA-1650B

En raison de son utilisation intensive, la machine est mécaniquement usée et obsolète au niveau de ses équipements électriques. L'objectif de cette modernisation est de remettre la machine à niveau en l'équipant des technologies les plus récentes.
Le concept global vise à améliorer les performances et la disponibilité de la machine, en réduisant les arrêts imprévus et en augmentant l'efficacité grâce à un niveau d'automatisation fiable. Certains composants essentiels de la machine sont dans un état critique et ne peuvent être évalués avec précision à ce stade sans une inspection détaillée sur le terrain. [10]

Figure 1.7.7: SHIBAURA KWA-1650B

Élément	Spécification
Désignation client	n.d. (non disponible)
Fabricant (OEM)	Toshiba Shibaura
Type de machine	KWA-1650B
Numéro de mise en service	436
Année de fabrication	1978
Dernière rénovation	Aucune
Commande numérique (CNC)	Aucune (fonctionnement manuel)
Appareil de mesure	Aucun
Distance entre pointes	5000 mm
Diamètre maximum des rouleaux	1650 mm
Poids maximum des rouleaux	(non spécifié)
Vitesse de rotation de la poupée	12–60 tr/min
Vitesse de rotation de la meule	450–900 tr/min

Table 1.2: Caractéristiques principales

1.7.1 Précision de la machine

La précision géométrique de la machine a été évaluée selon la norme DIN 8630, qui définit les tolérances admissibles pour les machines-outils, notamment en matière de rectitude, de planéité et d'alignement.

Critère	Tolérance mesurée
Direction longitudinale (axe X)	$\pm 0,015$ mm/m (jusqu'à 10 m), jusqu'à $\pm 0,08$ mm(20 m)
Direction transversale (axe Z)	$\pm 0,01$ mm/m
Rectitude des glissières en V	Entre $\pm 0,010$ mm et $\pm 0,020$ mm selon la longueur du banc

Table 1.3: Précision de la machine

Les mesures sont effectuées avec un pont de mesure optique pour vérifier l'alignement des guides et la rectitude du banc. Cette section est essentielle pour établir les capacités actuelles de la machine SHIBAURA KWA1650B avant sa modernisation, en mettant en évidence les spécifications de performance et les limitations à corriger. Elle sert de base à l'évaluation des travaux nécessaires pour atteindre les exigences de précision modernes. [10]

1.8 Conclusion

Ce premier chapitre a permis de poser les bases essentielles de notre étude en offrant une vue d'ensemble claire du complexe sidérurgique SIDER El Hadjar, de son organisation interne et de ses principales unités de production, en particulier le secteur du laminage à froid (LAF) et l'atelier de rectification des cylindres (ARC). Nous avons mis en lumière le rôle stratégique de ces installations dans le processus global de fabrication, en insistant sur l'importance des cylindres d'appui et de travail dans la qualité du produit final. L'analyse approfondie de l'atelier ARC, de ses équipements (notamment la machine KWA-1650B), et de ses fonctions fondamentales a permis d'identifier les enjeux majeurs liés à la performance, à la précision et à la modernisation des équipements. Les constats relevés quant à l'état de la rectifieuse ce contexte industriel et technique prépare le terrain pour les chapitres suivants, dans lesquels seront présentées en détail la démarche de modernisation, es choix technologiques considérés et la mise en œuvre d'une solution d'automatisation innovante, visant à répondre aux exigences actuelles en matière de productivité, de fiabilité et de qualité.

CHAPITRE 2

Étude fonctionnelle de la rectifieuse 1650 existante

2.1 Introduction

Ce chapitre vise à décrire en détail le matériel et le fonctionnement de la rectifieuse 1650, en montrant les différents éléments installés tels que les capteurs, les moteurs, les actionneurs ainsi que les systèmes de commande qui assurent les mouvements principaux de la machine. L'objectif est de comprendre le mode de fonctionnement, d'identifier les limites technologiques existantes et de poser les bases techniques nécessaires à la proposition d'une solution de modernisation fiable et adaptée.

2.2 Analyse fonctionnelle de la machine

2.2.1 Fonctionnement Général de la Machine

La rectification de cylindres métalliques nécessite la mise en œuvre de plusieurs opérations mécaniques coordonnées permettant d'obtenir une finition de surface fidèle aux tolérances attendues. Le cycle de travail ne s'engage qu'après validation des conditions initiales et notamment de :

- L'activation de la station hydraulique
- La vérification des sécurités.
- Le processus est démarré par l'opérateur via la commande générale.

Le déroulement de la séquence va comporter :

- L'avance rapide de la porte-meule
- La mise en rotation du cylindre
- Le réglage manuel de l'avance de la meule
- L'activation de la rotation de la meule
- La translation longitudinale du chariot réglable pour réaliser l'usinage complet du cylindre.

Deux modes de rectification sont possibles :

- **Le mode manuel** : avec supervision directe de l'opérateur.

- **Le mode automatique** : comprenant des fins de courses pour inversion automatique des déplacements.

Une structure de fonctionnement tel que décrite assure la rectification en maîtrise et parfaitement conforme aux exigences de la production industrielle [10]

Entraînement du Cylindre

La rotation du cylindre est assurée par un moteur à courant continu, permettant une régulation précise de la vitesse via une commande électronique. Les boutons de commande Marche et Arrêt assurent le démarrage et l'arrêt du moteur en toute sécurité. Le cylindre tourne dans un sens, garantissant :

- Une régularité du mouvement
- Une conformité aux exigences de précision de la rectification.

Le tachymètre intégré permet de :

- Mesurer la vitesse angulaire du cylindre en temps réel
- Donner un retour d'infos à l'opérateur ou à l'automate
- Réaliser des ajustements pour s'assurer que les paramètres de rectification restent dans les tolérances.

Figure 2.2.1: Rotation du cylindre

Translation de chariot

Le déplacement longitudinal du chariot est assuré par un moteur à courant continu, garantissant :

- Une précision élevée
- Une stabilité de mouvement
- Une adaptation optimale aux exigences du processus de rectification.

Trois modes de commande sont disponibles pour la translation :

Mode manuel normal

- Le chariot se déplace vers la gauche ou la droite.
- Le mouvement est limité par des fins de course mécaniques situées aux extrémités.
- L'atteinte d'un fin de course entraîne l'inversion automatique du sens de déplacement, assurant un va-et-vient sécurisé.

Mode JOG (pas à pas)

- Le chariot avance uniquement lorsque l'opérateur maintient la commande appuyée.
- Le mouvement s'arrête instantanément dès que la commande est relâchée.
- Ce mode ignore les fins de course.

Il est utilisé principalement pour :

- Les réglages fins
- Les repositionnements ponctuels
- Les essais de fonctionnement.

Mode automatique

À l'aide d'un sélecteur de mode, l'opérateur peut choisir :

- Le déplacement unidirectionnel (vers la gauche ou vers la droite)
- Le déplacement bidirectionnel (va-et-vient automatique)
- la position neutre (aucun mouvement).

Le chariot change automatiquement de direction à chaque fin de course, permettant une rectification continue sans intervention manuelle.
Cette souplesse de fonctionnement permet d'adapter le comportement du chariot à chaque phase de travail :

- Réglage initial
- Usinage ciblé
- Rectification complète en cycle automatique.

Rotation meule

La meule est entraînée par un moteur à courant continu, permettant :

- Un réglage précis de la vitesse de rotation,
- Une adaptation fine aux exigences du processus de rectification.

La mise en rotation s'effectue par un bouton (Marche/Arrêt), assurant une commande simple et sécurisée. La meule fonctionne en rotation libre, c'est-à-dire sans liaison mécanique rigide, ce qui lui confère une liberté de mouvement tout en réduisant les contraintes mécaniques.
Un tachymètre est utilisé pour :

- Mesurer en temps réel la vitesse angulaire de la meule.
- Offrir un suivi fiable à l'opérateur.
- Garantir le maintien des paramètres de coupe dans les plages optimales deperformance.

Figure 2.2.2: Meule rotative

2.2.2 Avancement meule

L'approche de la meule vers le cylindre s'effectue en deux phases successives :

Phase d'avance électrique

- Activée par un bouton (Marche/Arrêt);.
- Permet un rapprochement rapide de la meule jusqu'à une positionproche du point de contact avec la pièce.

Phase d'avance manuelle

- Prise en charge par l'opérateur une fois la position de pré-contact atteinte.
- Permet un déplacement progressif et précis, par petits pas contrôlés.
- Favorise un ajustement fin de la position de la meule pour une rectification de qualité.

Cette approche combinée assure :

- Une mise en contact progressive et maîtrisée entre la meule et la surface à rectifier.
- Une sécurité renforcée lors de l'approche.

- Une précision optimale dans la phase d'usinage.
- Une qualité de finition élevée dès les premiers instants du contact.

2.3 Description détaillée des éléments installés

2.3.1 Les capteurs

Un capteur est un dispositif qui mesure une grandeur physique ou chimique (comme la température, la pression, la lumière ou le mouvement) et convertit cette mesure en un signal exploitable, souvent électrique. Ce signal peut être utilisé pour surveiller, contrôler ou automatiser des systèmes dans divers domaines tels que l'industrie, la domotique, ou encore les applications médicales et environnemental. [11] [**?**]

Tachymètre

Un tachymètre est un instrument de mesure conçu pour déterminer la vitesse de déplacement d'un objet en mouvement, qu'il s'agisse d'une vitesse linéaire (déplacement d'un point A à un point B) ou d'une vitesse de rotation (nombre de tours par minute d'un axe, d'un moteur, etc). [12]

Plus précisément, le tachymètre mesure la vitesse soit en calculant la distance parcourue sur une durée donnée, soit en mesurant la fréquence de rotation ou de vibration d'un élément mécanique.

Figure 2.3.3: Tachymètre

Les caractéristiques techniques des génératrices tachymétriques utilisées dans notre machine sont résumées dans le tableau suivant :

Symbole	Emploi	Description technique
BTG	Génératrice de tachymètre de la vitesse de rotation de la meule	CGS-ECKL, 2P-2W, 1000tr/min, -20V, 0.1A
CTG	Génératrice de tachymètre de la vitesse de rotation du cylindre	CGS-ECKL, 2P-2W, 1000tr/min, -20 V, 0.1 A
DTG	Génératrice de tachymètre de la vitesse d'avance du chariot	CGS-ECKL, 4P-5W, 1000R, -40V, 0.125A, PM, CONT

Table 2.1: Caractéristiques techniques des génératrices tachymétriques

Capteur de proximité

Un capteur de proximité est un dispositif électronique sans contact conçu pour détecter la présence ou l'absence d'un objet à proximité, sans interaction physique directe avec cet objet. Il fonctionne généralement en émettant un champ (électromagnétique, électrique, optique, ultrasonique, etc.) ou un faisceau de rayonnement, et en surveillant les variations de ce champ ou du signal de retour lorsqu'un objet, appelé «cible», entre dans la zone de détection. [13]

système de fin de course mécanique

Le système de fin de course mécanique joue un rôle essentiel dans le contrôle du déplacement longitudinal du chariot d'une rectifieuse. Il est composé principalement de deux interrupteurs mécaniques (micro rupteurs à galet) fixés sur le bâti de la machine, et d'une came ou butée fixée sur le chariot ou le plateau tournant. Lors du mouvement de vaet-vient du chariot, cette butée entre en contact avec les galets des fins de course à chaque extrémité, provoquant l'activation d'un contact électrique. Ce signal permet soit l'inversion automatique du sens de déplacement, soit l'arrêt du mouvement, selon le câblage du système de commande. Ce mécanisme garantit la limitation physique de la course du chariot, évitant ainsi les dépassements et collisions, tout en permettant un fonctionnement automatique en toute sécurité. Ce système est apprécié pour sa simplicité, sa robustesse en environnement industriel (présence d'huile, de poussières abrasives) et sa fiabilité. Il est indispensable pour assurer la précision, la répétabilité des opérations de rectification, et la protection de la machine-outil

Les capteurs de proximité utilisés dans notre machine sont principalement des fins de course mécaniques (ou limite switchs) assurant différentes fonctions de détection, de sécurité et de commande, comme illustré dans le tableau suivant :

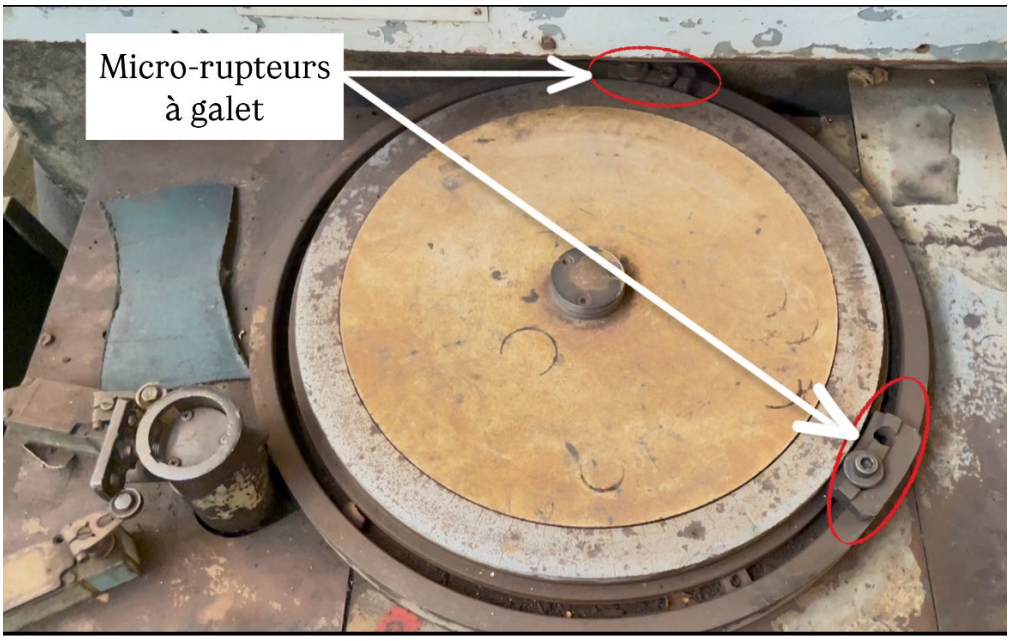


Figure 2.3.4: Fin de course mécanique

Fonction	Référence
Protection contre dépassement à gauche et à droite du chariot	2D-LS, 3D-LS
Limite droite et gauche du chariot	4D-LS, 5D-LS
Commutation de changement de sens du chariot	1D-LD, 1D-RD
Commutation des déplacements manuel et automatique du chariot	8D-LS
Indication de ralentissement du chariot	10D-LS
Commutation des mouvements automatique et manuel de la glissière	1H-LS
Limite avant et arrière de la glissière	2H-LS, 3H-LS
Détection du fonctionnement automatique	4H-LS
Commande de déplacement avant et arrière de la glissière	1H-SW, 2H-SW
Commande de déplacement à droite et à gauche du chariot	1D-SW, 2D-SW
Blocage électrique du retirage du manchon de la contre-poupée	1J-LS

Table 2.2: Capteurs de proximité utilisés

2.3.2 Actionneurs

Un actionneur est un dispositif qui reçoit une forme d'énergie (électrique, pneumatique, hydraulique,etc.) et la convertit en un phénomène physique utile, tel que le mouvement ou la force. Les actionneurs sont essentiels dans les systèmes automatisés pour exécuter des actions physiques comme produire du mouvement, de la chaleur, du son, ou de la lumière . [**?**] [13]

Les moteurs

Un moteur est un type d'actionneur qui convertit l'énergie électrique en mouvement mécanique. Les moteurs sont utilisés dans diverses applications, notamment dans les véhicules, les machines industrielles, et les robots . [14] [15]

Moteurs à Courant Continu (CC)

Un moteur à courant continu (ou moteur DC) est un moteur électrique qui transforme l'énergie électrique fournie sous forme de courant continu en énergie mécanique. Son principe de fonctionnement repose sur la création d'un champ magnétique, généralement à l'aide d'aimants permanents ou d'enroulements dans le stator, qui interagit avec le champ magnétique généré dans le rotor (l'élément mobile du moteur). Cette interaction provoque la rotation du rotor et donc la production d'un mouvement mécanique. Un collecteur et des balais assurent l'inversion périodique du courant dans le rotor pour maintenir la rotation continue. Les moteurs à courant continu sont appréciés pour leur capacité à offrir un contrôle précis de la vitesse et un couple de démarrage élevé, ce qui les rend utiles dans des applications nécessitant une régulation fine, comme la robotique ou l'automobile. [16] [17]

Figure 2.3.5: Moteurs à courant continu

Les principales caractéristiques techniques des moteurs à courant continu utilisés dans notre machine sont présentées dans le tableau suivant :

Symbole	Emploi	Description technique
BM	Commande de la meule	SB117-DB, 4 pôles, 35 kW , CC 220 V , 650 à 1300tr/min
CM	Commande du cylindre	SB137-DBK, 4 pôles, 22/11 kW, CC 220 V , 300 à 1500 tr/min
DM	Avance du chariot	CGS-DBK, 4 pôles, 3 kW , 43 à 2600tr/min

Table 2.3: moteurs à courant continu utilisés

Moteurs à Courant Alternatif (CA)

Un moteur à courant alternatif (ou moteur AC) est un moteur électrique alimenté par du courant alternatif, c'est-à-dire un courant dont le sens s'inverse périodiquement. Il convertit l'énergie électrique en énergie mécanique grâce à l'interaction entre le champ magnétique tournant créé par le stator (partie fixe) et le rotor (partie mobile). Cette interaction fait tourner le rotor et produit un mouvement mécanique. Les moteurs à courant alternatif sont largement utilisés pour leur robustesse, leur faible coût d'entretien et leur efficacité, notamment dans les applications industrielles, les appareils électroménagers et les systèmes de climatisation. [18] [19]

Les principales caractéristiques techniques des moteurs à courant alternatif utilisés dans notre machine sont présentées dans le tableau suivant :

Symbole	Emploi	Description technique
EM	Pompe de lubrification de la broche portemeule	1 K -NFB, 4 pôles, 0,4 kW, 380 V
FM	Pompe de lubrification de la face de glissement	1K-NFB, 4 pôles, 0,4 kW, 380 V
TM	Pompe hydraulique de la tête porte-meule	1K-FBK, 4 pôles, 0,75 kW, 380 V
GM	Pompe de liquide d'arrosage	1K-FCKL, 4 pôles, 1,5 kW, 380 V
HM	Avance rapide de la glissière	1K-FCKL, 6 pôles, 1,5 kW, 380 V
1KM	Rectification de la pointe	FM05-51, 4 pôles, 0,4 kW, 380 V
1JM	Commande de la contre-poupée	FM 1-53, 4 pôles, 0,75 kW, 380 V
2JM	Commande du manchon de la contrepoupée	FM05-51, 4 pôles, 0,4 kW, 380 V
1NM	Séparateur magnétique du liquide d'arrosage	SE-ERVL5-63, FM05-51, 4 pôles, 0,1 kW, 380 V
-	Filtre à papier du liquide d'arrosage	SE-ERVL5-63, FM05-51, 4 pôles, 0,1 kW, 380 V

Table 2.4: moteurs à courant alternatif utilisés

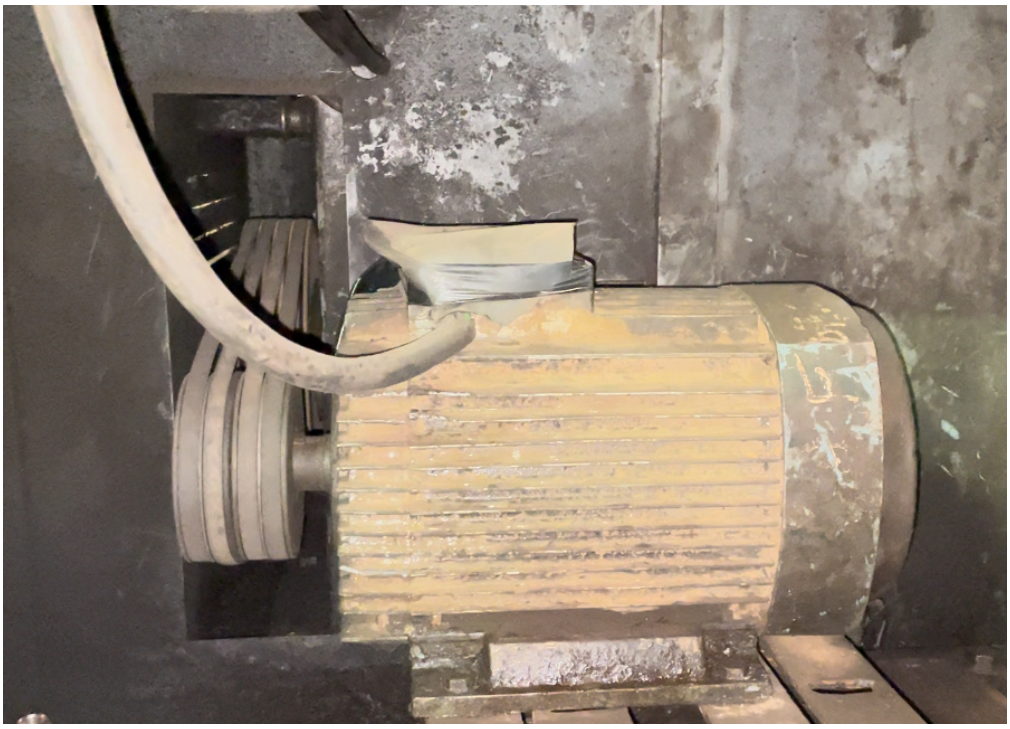


Figure 2.3.6: Moteurs à Courant Alternatif

Drive analogique absolu

Un drive analogique absolu est un dispositif électronique qui contrôle un moteur électrique (typiquement à courant continu) à partir d'un signal de commande analogique (par exemple, une tension ou un courant continu). Ce drive utilise un retour d'information absolu sur la position ou la vitesse du moteur. [20]

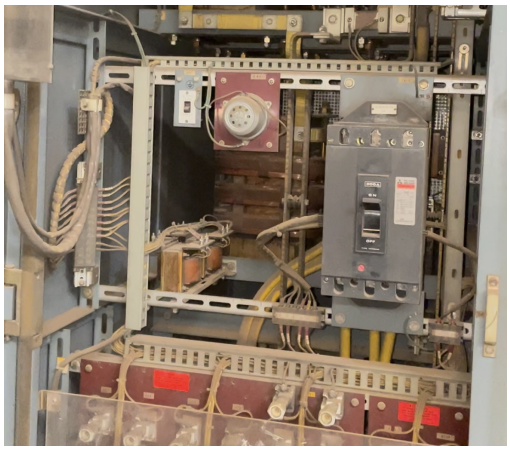


Figure 2.3.7: Drive analogique absolu

Carte de commande associée

Une carte de commande associée à un drive analogique absolu est un module électronique qui assure la gestion du moteur à courant continu ou autre type de moteur, en recevant une consigne sous forme de signal analogique et en exploitant un retour de position absolu pour un contrôle précis.

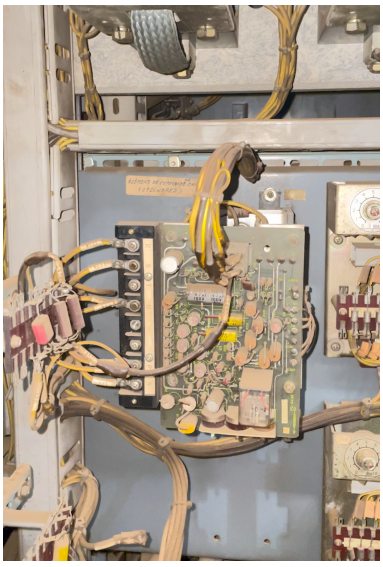


Figure 2.3.8: Carte de commande

2.3.3 Électrovannes

Une électrovanne est un type d'actionneur qui utilise un moteur électrique pour contrôler le flux d'un fluide (liquide ou gaz) dans un système. Elle est souvent utilisée dans les systèmes hydrauliques et pneumatiques pour réguler la pression ou le débit du fluide. Dans notre étude, quatre électrovannes sont utilisées pour cette tâche.

Figure 2.3.9: Électrovanne

2.4 Problématique

La rectifieuse 1650 utilisée au Laminoir Tandem/LAF présente des problèmes majeurs de précision et de fiabilité qui impactent négativement sur la production. Ces dysfonctionnements entraînent des temps d'arrêt prolongés et une qualité de rectification insuffisante des cylindres destinés au laminoir. Les causes principales de cette situation sont :

1. Obsolescence des équipements de régulation et de commande

- La rectifieuse repose sur une ancienne technologie analogique, devenue difficile à maintenir.
- Les cartes électroniques utilisées sont périmées, ce qui empêche leurs remplacements ou leurs réparations.

2. Temps de réglage trop long et pertes de production

- Les réglages manuels de la machine nécessitent beaucoup de temps, ce qui prolonge les cycles d'arrêt.
- Les moteurs à courant continu utilisés pour la commande des mouvements n'offrent pas une stabilité optimale dans les réglages de vitesse.
- La supervision et l'interface de commande sont démodés, ce qui ralentit les ajustements et augmente le risque d'erreurs.

3. Précision insuffisante de la rectification

- L'absence de capteurs de niveau et de pression empêche la détection fiable des niveaux et pressions d'huile et d'eau, compromettant la surveillance et la sécurité du système.
- Les tachymètres obsolètes ne permettent pas une mesure fiable de la vitesse des moteurs.
- Les drives analogiques utilisés pour contrôler la vitesse des moteurs à courant continu installés ont une précision limitée, et affectent la régularité du processus

Ces problèmes cumulés réduisent considérablement la productivité du laminoir et compromettent la qualité des cylindres rectifiés.

2.5 Solution Proposée

Pour remédier aux problèmes cités auparavant, une modernisation de la rectifieuse 1650 est nécessaire. Notre solution de modernisation repose sur le remplacement des équipements d'automation et de régulation obsolètes par des technologies plus récentes et numériques, permettant un meilleur

contrôle, une réduction des arrêts et une amélioration de la précision. Pour cela, la solution consiste à :

1. Remplacement des moteurs à courant continu par des moteurs à courant alternatif

   - Les moteurs à courant alternatif sont plus fiables, plus faciles à entretenir et offrent une meilleure régulation de vitesse.
   - Ils nécessitent moins d'entretien que les moteurs à courant continu et réduisent les coûts d'exploitation.

2. Substitution des tachymètres par des codeurs

   - Les codeurs fournissent des mesures plus précises et plus stables de la vitesse des moteurs.
   - Ils permettent un contrôle plus précis des réglages de la rectifieuse, garantissant une rectification uniforme.

3. Intégration d'un automate programmable (API Siemens S7-1500)

   - L'API remplacera les anciennes cartes de commande analogiques par un système de régulation numérique plus performant.
   - La gestion des mouvements de la rectifieuse sera automatisée et optimisée.
   - L'automate permettra d'assurer une communication fluide entre les différents équipements via Profibus/Profinet.

4. Remplacement des drives analogiques par des drives numériques

   - Installation de variateurs numériques Siemens G120 à la place des anciens drives analogiques.
   - Contrôle de vitesse plus précis et compatible avec l'API Siemens.
   - Il facilitera le paramétrage et l'optimisation des cycles de travail grâce à son interface intuitive.

5. Mise en place d'un système de supervision moderne via HMI Siemens (WinCC)

   - L'interface de commande sera remplacée par un HMI (Human Machine Interface) intuitif, offrant une visualisation en temps réel des paramètres de rectification.

- L'opérateur pourra ajuster les réglages plus rapidement, ce qui réduira le temps d'arrêt lié aux réglages manuels.

6. Renforcement des dispositifs de sécurité

- Des relais de sécurité certifiés seront installés pour gérer les arrêts d'urgence et les systèmes de verrouillage, garantissant une coupure immédiate et fiable en cas de situation critique.
- Une alimentation secourue (UPS 12 V) sera dédiée aux fonctions critiques, notamment pour la sauvegarde de la mémoire de l'automate et le maintien du système de contrôle en cas de coupure d'énergie, évitant toute perte de données ou interruption brutale du processus.

2.6 Résultats Attendus

- Réduction des temps d'arrêt grâce à un système de commande moderne et plus facile à paramétrer.
- Optimisation de la maintenance, avec des équipements récents, facilement accessibles sur le marché.
- Amélioration de la précision de rectification, garantissant une qualité optimale des cylindres.
- Augmentation de la productivité du laminoir, en assurant une meilleure disponibilité des cylindres rectifiés.
- Facilité d'utilisation pour les opérateurs, grâce à une interface HMI moderne et un contrôle plus intuitif

2.7 Présentation de la solution

2.7.1 Définition de l'automatisation

L'automatisation désigne l'utilisation de technologies pour exécuter des tâches, souvent répétitives et manuelles, avec une intervention humaine réduite voire inexistante. Elle vise à rendre les processus plus rapides, fiables et efficaces en déléguant certaines opérations à des systèmes automatisés, qu'il s'agisse de logiciels, de robots ou d'équipements industriels. [15]

2.7.2 Objectifs de l'automatisation

Les principaux objectifs de l'automatisation sont : [15]

- Augmenter la satisfaction client en accélérant les processus et en réduisant les erreurs humaines, ce qui améliore la qualité de service.
- Réduire les coûts de traitement en remplaçant des tâches manuelles par des opérations automatisées moins coûteuses.
- Faciliter la collaboration entre les différents services d'une entreprise grâce à une meilleure coordination et fluidité des workflows.
- Prendre des décisions plus pertinentes en s'appuyant sur des données disponibles en temps réel et des analyses automatisées.
- Libérer du temps aux collaborateurs pour qu'ils se concentrent sur des tâches à plus forte valeur ajoutée.

2.7.3 L'Automate Programmable Industriel (API)

L'Automate Programmable Industriel (API), ou Programmable Logic Controller (PLC) en anglais, est un matériel informatique particulier qui a été spécialement développé pour automatiser les processus industriels. Il permet le contrôle et la supervision en temps réel de systèmes tout en résistant à des environnements difficiles: chaleur, froid, poussière, vibrations, microcoupures. [21] [22]

Figure 2.7.10: Série des API

L'API se compose principalement :

- d'un processeur (CPU) exécutant le programme de commande
- d'une mémoire pour stocker les instructions et les données

- des modules d'entrées/sorties réalisant la communication directe avec les capteurs et les actionneurs.

L'API succède à l'ancien système de relais câblés, centralisant toutes les fonctions de commande en un seul élément reconfigurable, accessible à partir de langages adaptés à l'industrie, notamment le langage ladder (LD).

Choix d'API

Le choix d'un automate dépend de plusieurs grands critères tels que le prix, la facilité d'utilisation, les fonctions qu'il propose. Les nouveaux automates sont plus puissants, plus rapides, plus fiables, favorisent une maîtrise accrue des machines, temps de réponse très courts, systèmes de diagnostic intégrés capables de localiser facilement les erreurs.
Avant de choisir un automate, il faut aussi vérifier :

- Le nombre d'entrées et de sorties nécessaires pour l'application,
- La capacité mémoire pour exécuter le programme
- La robustesse de l'appareil pour qu'il fonctionne correctement même dans des conditions industrielles difficiles.

Dans notre projet l'automate qui a été proposé par l'entreprise est l'API s7-1516 3PN/DP

SIMATIC S7-1516-3 PN/DP

La gamme SIMATIC S7-1500 représente la nouvelle génération d'automates industriels Siemens, offrant une avancée significative en matière de performances, de flexibilité et de convivialité. Elle est conçue pour répondre aux exigences les plus élevées en automatisation des machines et installations industrielles.

Figure 2.7.11: SIMATIC S7-1500

La CPU 1516-3 PN/DP présente les caractéristiques techniques suivantes [23] :

- **Mémoire intégrée** :
  Temps d'exécution pour les opérations logiques sur bits : 0,01 seconde
  Temps d'exécution pour les calculs en virgule flottante : 0,064 seconde
- **Interfaces réseau** :
  2 ports PROFINET intégrés
  Fonction PROFINET I/O Controller pour la gestion d'entrées/sorties décentralisées
- **Serveur Web intégré** :
  Possibilité de créer des pages Web personnalisées pour la supervision à distance
- **Interface PROFIBUS DP (maître)** :
  Pour la connexion à des périphériques déportés
- **Mode Isochrone pris en charge sur PROFINET et PROFIBUS**
- **Compatibilité logicielle** :
  Intègre les outils d'ingénierie SIMATIC STEP 7, WinCC et TIA Portal, facilitant la configuration, la programmation et la supervision

2.8 Conclusion

Ce chapitre nous a donné un aperçu complet de la rectifieuse dans son état initial. En analysant les principes de ses composants et de ses fonctions, nous avons identifié un certain nombre de défauts : le manque de précision, de la commande dépassée et sont difficilement supportables. Ensemble, ils prouvent également que cette machine ne convient plus à nos exigences de production modernes. Ce diagnostic sera essentiel pour mettre en place notre solution de modernisation de la prochaine section.

CHAPITRE 3

Solution et programmation

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré au développement détaillé de la solution proposée. Il présente la configuration matérielle complète du système, incluant les composants utilisés, les différentes entrées et sorties, ainsi que l'interface de supervision HMI qui permet la supervision et le contrôle du processus. Il décrit également les blocs de programmation développés dans TIA Portal

3.2 Solutions à mettre en œuvre

Afin de surmonter les limites techniques et les défaillances du vieux matériel que la rectifieuse 1650 présente, on peut proposer une solution complète pour la modernisation de cette installation. Cette solution est basée sur des technologies récentes et numériques qui sont conçues pour augmenter la fiabilité, la précision et la flexibilité du système.
Les actions clés qui doivent être implémentées comprennent le remplacement des moteurs à courant continu par des moteurs asynchrones. Ensuite, remplacer les tachymètres par des codeurs pour un retour de vitesse plus précis, et introduire l'automate Siemens S7-1500 pour une régulation numérique avancée. En parallèle, les anciens variateurs analogiques seront remplacés par des variateurs numériques Siemens G120, offrant un contrôle plus précis des vitesses de rotation. Enfin, la mise en place d'un système de supervision moderne basé sur un pupitre HMI (WinCC) permettra une interface utilisateur intuitive, facilitant les réglages, la surveillance en temps réel et la réduction des arrêts machine.

3.2.1 Description des nouveaux instruments proposés

Dans le cadre de la modernisation de la rectifieuse 1650, plusieurs instruments, capteurs et équipements de commande ont été remplacés ou ajoutés afin d'améliorer la précision, la fiabilité et l'efficacité du système.
Les nouveaux dispositifs permettent une automatisation plus avancée et une meilleure supervision des variables mécaniques et électriques de la machine.

Moteurs à courant alternatif (AC)

La définition a été donnée dans le chapitre précédent.

Codeur numérique

Un codeur numérique est un dispositif électromécanique qui convertit la position, le déplacement ou la vitesse d'un objet (souvent un axe rotatif ou linéaire) en un signal électrique, généralement sous forme de code numérique exploitable par des systèmes électroniques ou informatiques. Il permet ainsi de mesurer, contrôler ou automatiser des mouvements mécaniques avec une grande précision. [24]

Type de codeur utilisé : Codeur incrémental

Le codeur incrémental est le type de capteur retenu dans cette étude. Il fonctionne en générant un signal d'impulsions à chaque incrément de mouvement (rotation ou translation).

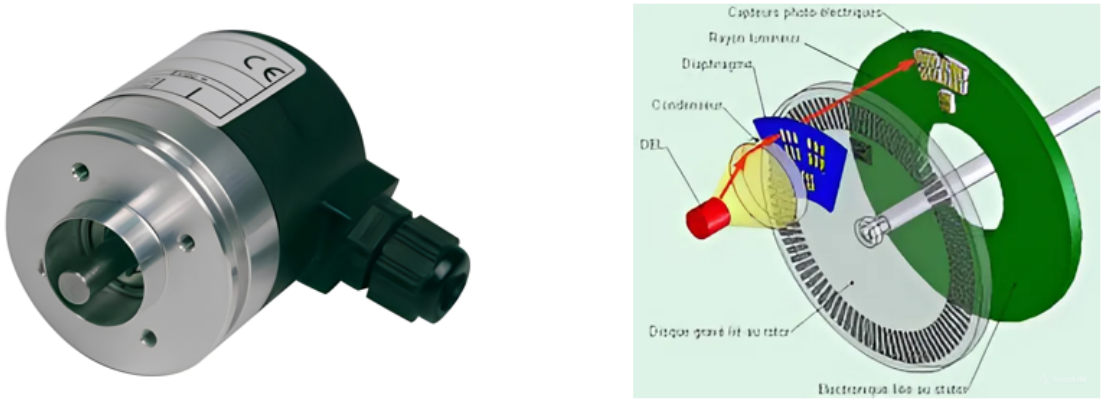


Figure 3.2.1: Codeur incrémenta

Les principales caractéristiques de ce type de codeur sont :

Caractéristique	Description
Type de signal de sortie	A, B, Z (quadrature), en TTL ou HTL selon le modèle
Résolution	De 100 à 10000 impulsions par tour (ppr)
Tension d'alimentation	5 V ou 10-30 V DC selon les modèles
Fréquence max de sortie	Jusqu'à 300 kHz
Température de fonctionnement	Typiquement $-20°C$ à $+85°C$

Table 3.1: Caractéristiques du codeur incrémental

Capteur de pression type Cerabar PMP71 (Endress+Hauser)

Le capteur Cerabar S PMP71 est un transmetteur de pression hautement précis pour la mesure de pression relative (ou absolue) dans les liquides, gaz, vapeurs. Son cœur est constitué d'une cellule piézorésistive soudée, et offrant une excellente stabilité dans le temps et une grande précision.

Il est souvent utilisé dans des environnements industriels difficiles, notamment pour des applications de sécurité (SIL2 / SIL3), les systèmes hydrauliques et circuits de pression en milieu agressif. [25]

Paramètre	Valeur
Principe	Pression relative/absolue (piézorésistif)
Plage de mesure	400 mbar à 700 bar
Précision	Jusqu'à $\pm 0{,}05\%$
Température process	$-40\,^{\circ}\mathrm{C}$ à $+125\,^{\circ}\mathrm{C}$
Communication	HART, PROFIBUS, FOUNDATION Fieldbus

Table 3.2: Caractéristiques du capteur Cerabar PMP71

Figure 3.2.2: Cerabar PMP71

Capteur de niveau Prosonic FMU41 (Endress+Hauser)

Le Prosonic M FMU41 est un capteur de niveau sans contact par ultrasons, dédié à la mesure de niveau de liquides ou de solides en vrac dans réservoir, silo ou canal ouvert. Il mesure le temps entre l'émission d'une onde ultrasonore et la réception de son écho, grâce à la technologie Time-of-Flight.

Sa construction robuste et son électronique numérique lui permettent de fonctionner dans des environnements industriels avec agitation, mousse, poussières. [26]

Paramètre	Valeur
Principe	Niveau par ultrasons (sans contact)
Plage de mesure	Jusqu'à 8 m (liquides), 3,5 m (solides)
Précision	± 2 mm ou $\pm 0{,}2\%$
Température process	$-40°C$ à $+80°C$
Communication	4–20 mA HART, PROFIBUS, FOUNDATION Fieldbus

Table 3.3: Caractéristiques du capteur Prosonic FMU41

Figure 3.2.3: Prosonic FMU41

Variateur Siemens SINAMICS G120

SINAMICS G120 est une solution modulaire, robuste et économe en énergie, qui permet de contrôler avec précision la vitesse, le couple et le sens de rotation des moteurs asynchrones triphasés, et est couramment utilisé dans un grand nombre de secteurs industriels tels que la mécanique, la fabrication, le convoyage ou encore les machines-outils.

Sa structure modulaire et son architecture sont à la base du combinent puissant et de l'unité de commande, séparés, facilitent la maintenance, le remplacement et la configuration en fonction de l'application. [27]

Figure 3.2.4: SINAMICS G120

3.3 Partie programmation

3.3.1 Configuration matérielle

Le contrôle et la supervision du processus de la rectifieuse 1650 sont assurés par une CPU Siemens S7-1500 – modèle 1516-3 PN/DP (référence 6ES7 516-3AN00-0AB0, version V1.8). La Figure 3.3.5 présente le châssis de l'automate programmable industriel (API) intégré dans le système.

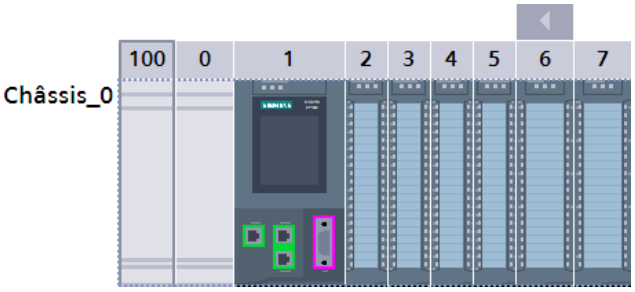


Figure 3.3.5: Châssis de API intégré

Caractéristiques de l'API

Les caractéristiques de l'automate S7-1516 3 PN/DP sont citées dans le chapitre précédent.

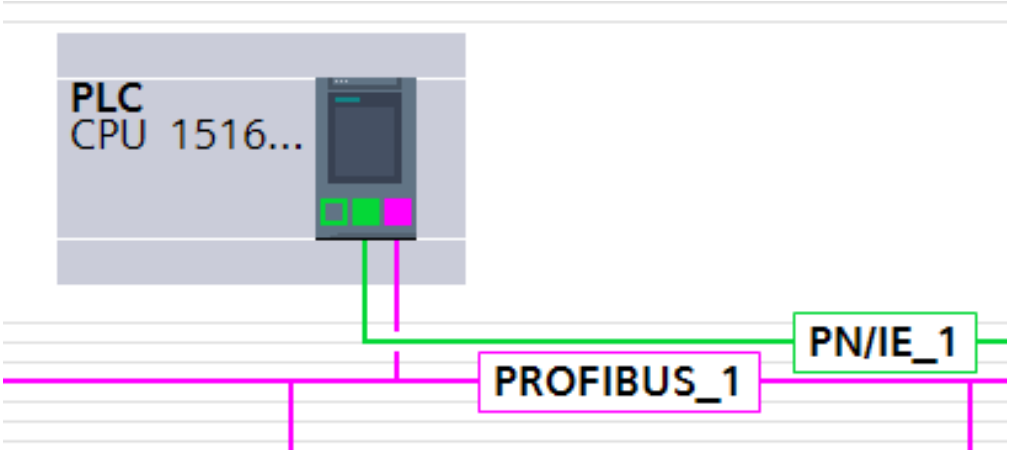
3.3.2 Protocole de communication

Un protocole de communication industriel est un ensemble de règles et de normes qui définissent comment les données sont échangées entre différents équipements et systèmes dans un environnement industriel. Ces protocoles assurent que les informations transmises entre machines, capteurs, automates programmables et systèmes de contrôle sont précises, fiables et cohérentes, permettant ainsi une communication transparente et efficace au sein des réseaux industriels. [28]

Les protocoles industriels peuvent être classés en deux grandes catégories: [29]

- Les protocoles basés sur Ethernet (Profinet, EtherCAT, Modbus TCP, et SERCOS)
- Les autres protocoles, tels que CC-Link, J1939, Profibus, et CANopen.

Dans notre projet, nous avons recours à deux types de ports de communication : PROFIBUS et PROFINET (voir Figure 3.3.6).



Module	Châssis	Empla..	Adresse I	Adresse...	Type	N° d'article	Firmware
	0	100					
	0	0					
PLC	0	1			CPU 1516-3 PN/DP	6ES7 516-3AN01-0AB0	V2.6
Interface PROFINET_1	0	1 X1			Interface PROFINET		
Interface PROFINET_2	0	1 X2			Interface PROFINET		
Interface DP_1	0	1 X3			Interface DP		

Figure 3.3.6: Ports de communication du CPU 1516 3 PN/DP

Protocole Profinet

Le protocole PROFINET (Process Field Net) est un standard industriel de communication basé sur Ethernet, conçu pour l'automatisation industrielle. Il permet l'échange de données en temps réel entre contrôleurs (comme les automates programmables industriels - API) et divers appareils sur le terrain tels que capteurs, actionneurs, variateurs, systèmes de vision, etc.

Figure 3.3.7: Profinet

Protocole Profibus

Le protocole PROFIBUS (Process Field Bus) est un standard de communication série numérique largement utilisé dans l'automatisation industrielle pour assurer un échange de données robuste, fiable et efficace entre les systèmes de contrôle (comme les automates programmables) et les équipements décentralisés sur le terrain (capteurs, actionneurs, modules d'E/S). [30]

Figure 3.3.8: Profibus

Les caractéristiques principales de PROFINET et PROFIBUS

PROFIBUS et PROFINET présentant des caractéristiques distinctes. Voici une comparaison de leurs principales caractéristiques :

Caractéristique	PROFIBUS	PROFINET
Vitesse	Moins rapide (jusqu'à 12Mbit/s)	Très rapide (jusqu'à 1Gbit/s)
Application typique	Automatisation classique, process	Automatisation moderne, process, sécurité
Flexibilité réseau	Moins flexible	Très flexible (topologies variées, intégration facile)
Diagnostic	Basique	Avancé, accès aux données en temps réel
Maintenance	Moins optimisée	Optimisée grâce aux diagnostics détaillés
Évolutivité	Limitée	Élevée, intégration facile avec IT et autres bus
Norme et certification	Établi, standard	Standardisé, certifié, évolutif

Table 3.4: Caractéristiques principales de PROFINET et PROFIBUS

3.3.3 Architecture réseau

Il existe deux réseaux de communication : un réseau Profibus entre l'API et les quatre variateurs G120, et un réseau Profinet entre l'API et l'IHM, permettant l'organisation et la gestion des éléments mentionnés ci-dessus (voir Figure 3.3.9).

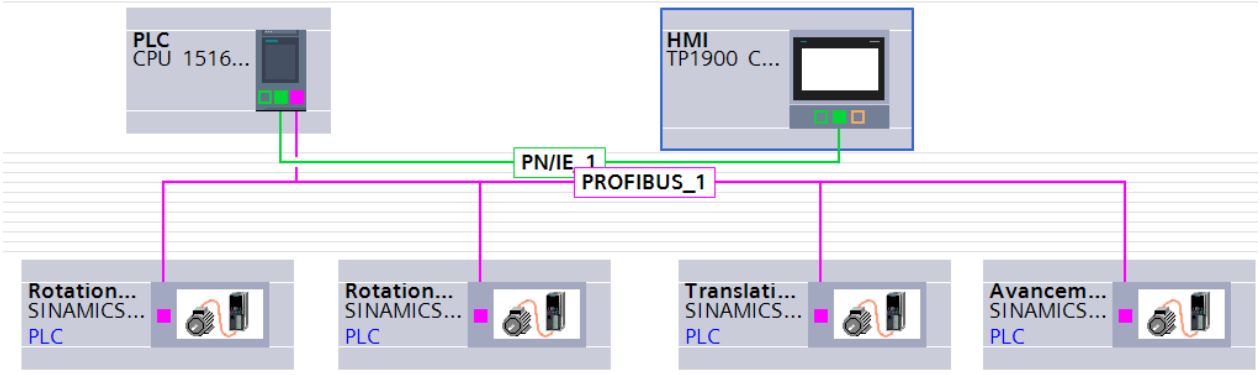


Figure 3.3.9: Architecture réseau

Réseau Profibus-DP

Dans cette architecture, quatre variateurs de vitesse Siemens SINAMICS G120 sont intégrés au réseau Profibus-DP. Chacun de ces variateurs commande un mouvement principal de la machine :

- Translation du chariot
- Rotation du cylindre
- Translation de la meule
- Rotation de la meule

Réseau Profinet – IHM (Interface Homme-Machine)

Afin de superviser et contrôler le processus de traitement, une interface utilisateur de type HMI TP1900 Comfort PRO (référence 6AV2 124-0UC24-1AX0) a été mise en place. Cette interface, développée sous TIA Portal V15.1, permet une interaction efficace entre l'opérateur et le système d'automatisation.

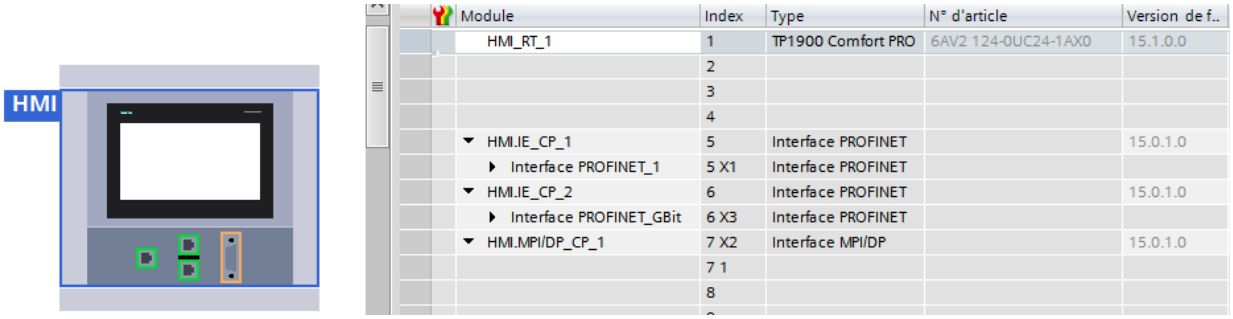


Figure 3.3.10: HMI TP1900 Comfort PRO vue TIA PORTAL

3.3.4 Entrées/sorties du projet

Entrées/sorties dans le projet Dans le cadre de ce projet, différents types d'entrées/sorties (E/S) sont mis en oeuvre afin d'assurer une communication efficace entre les composants du système automatisé et l'automate programmable industriel (API). On distingue principalement deux catégories :

- Les E/S physiques : elles proviennent directement des capteurs (entrées) ou des actionneurs (sorties) connectés au système. Ces signaux sont essentiels au fonctionnement du procédé industriel en temps réel.
- Les E/S mémoire : générées et exploitées par l'unité centrale de traitement (CPU) de l'API, elles correspondent à des variables internes utilisées pour le traitement logique du programme.

Les entrées mémoire peuvent simuler des actions comme des appuis sur des boutons virtuels via l'interface de supervision, tandis que les sorties mémoire permettent l'affichage d'alarmes ou d'états du processus.

La configuration matérielle du système prévoit un total de 63 entrées, réparties comme suit :

- Deux modules d'entrées numériques de type 32 DI (DC 24V), principalement affectés aux commandes de type marche/arrêt des pompes de la section de traitement.
- Un module d'entrées analogiques de type 8 AI, utilisé pour le raccordement des capteurs mesurant des grandeurs physiques telles que la pression, le niveau ou le débit.

Concernant les sorties, le système en compte 36, réparties comme suit :

- Trois modules de sorties numériques de type 32 DQ (DC 24V / 0,5 A), utilisés pour la commande des différents actionneurs, notamment les pompes.
- Un module de sorties analogiques de type 8 AQ, destiné au pilotage des vitesses, notamment par la génération de consignes analogiques vers des variateurs de fréquence (VFD).

L'ensemble de cette répartition est détaillé dans le Tableau 3.5

Catégorie	Type	Nombre
Entrée	Logique (DI)	55
Entrée	Analogique (Al)	8
Sortie	Logique (DQ)	32
Sortie	Analogique (AQ)	4

Table 3.5: Entrées/Sorties de système

3.3.5 Description des différents blocs de programme

Bloc d'organisation (OB)

Un bloc d'organisation (OB) est un bloc de programme qui sert d'interface entre le système d'exploitation de l'automate et le programme utilisateur. Il gère l'exécution des tâches selon différents types d'événements, comme le cycle principal (OB1), les alarmes, les interruptions matérielles ou le démarrage de l'automate. Chaque OB est déclenché par une condition spécifique,

ce qui permet d'organiser et de hiérarchiser le fonctionnement global de l'automate pour garantir un contrôle fiable et réactif des processus industriels. [31]

Bloc de fonction (FC)

Un bloc de fonction (FC) est un bloc de programme qui exécute une tâche ou un calcul spécifique à partir des données d'entrée fournies. Contrairement au bloc fonctionnel (FB), le FC ne conserve pas d'état ou de mémoire entre les appels : il traite ses entrées, produit des sorties, puis s'efface. Le FC est utilisé pour des opérations simples, répétitives ou calculatoires qui ne nécessitent pas de suivi d'état, ce qui le rend idéal pour des fonctions purement logiques ou mathématiques dans le programme automate. [32]

Bloc de données (DB)

Un bloc de données (DB) est une zone mémoire dédiée au stockage des données utilisées par le programme utilisateur. Il permet de conserver des variables, des paramètres et des informations d'état nécessaires au fonctionnement de l'automate. Il existe plusieurs types de DB, notamment les blocs de données globaux, accessibles par tous les blocs du programme, et les blocs d'instance, qui sont associés à des blocs fonctionnels (FB) pour stocker des données spécifiques à chaque instance. Les DB facilitent la gestion et le partage des données dans l'automate, assurant ainsi une organisation claire et efficace des informations nécessaires à l'exécution des tâches automatisées. [33]

3.3.6 Description du code

Le programme est structuré en plusieurs blocs, et chaque bloc remplit une tâche spécifique dans le processus de contrôle. Cette structuration permet de gérer clairement les différentes fonctions de la machine.

Bloc d'organisation cyclique [OB1]

Le bloc OB1 constitue le point d'entrée principal du programme utilisateur. Il contient les instructions programmées ou les appels à d'autres blocs fonctionnels devant être exécutés de manière cyclique. Ce bloc est utilisé par défaut par la CPU pour assurer l'exécution répétée et continue du programme, tant que l'automate est en mode RUN

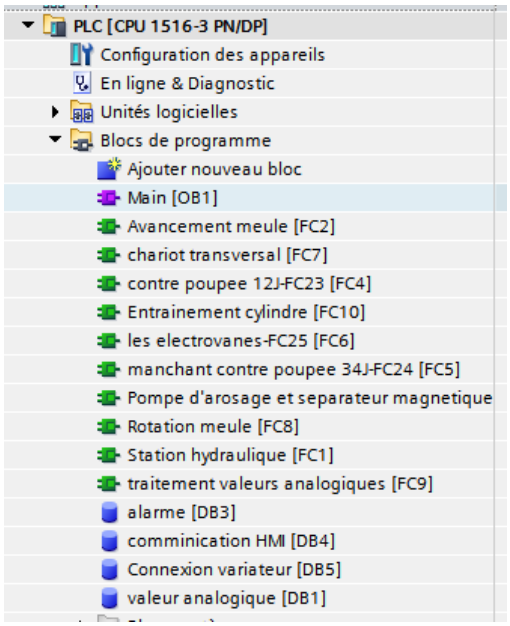


Figure 3.3.11: Les blocs de notre programme

Blocs de données utilisés

Dans notre programme, plusieurs blocs de données (DB) sont utilisés pour stocker et gérer les informations échangées entre l'automate et les différents éléments du système :

- DB1 : contient les valeurs analogiques, comme la pression, le niveau d'huile et le niveau d'eau.
- DB3 : utilisé pour les alarmes, il regroupe les états de défauts pour permettre un suivi rapide.
- DB4 : gère la communication avec l'IHM, en transmettant les données nécessaires à l'affichage.
- DB5 : assure l'échange d'informations avec les variateurs de vitesse, notamment les consignes et mesures de vitesse des quatre mouvements principaux.

Blocs fonctions utilisés

Dans le cadre de notre programme d'automatisation, nous utilisons des blocs fonctions standards (FC) disponibles dans la bibliothèque du TIA Portal qui permettent de répondre aux besoins spécifiques du système. Ces blocs jouent un rôle essentiel dans le traitement des signaux d'entrée/sortie, la conversion des données analogiques, la gestion des temporisations ainsi que dans le pilotage logique

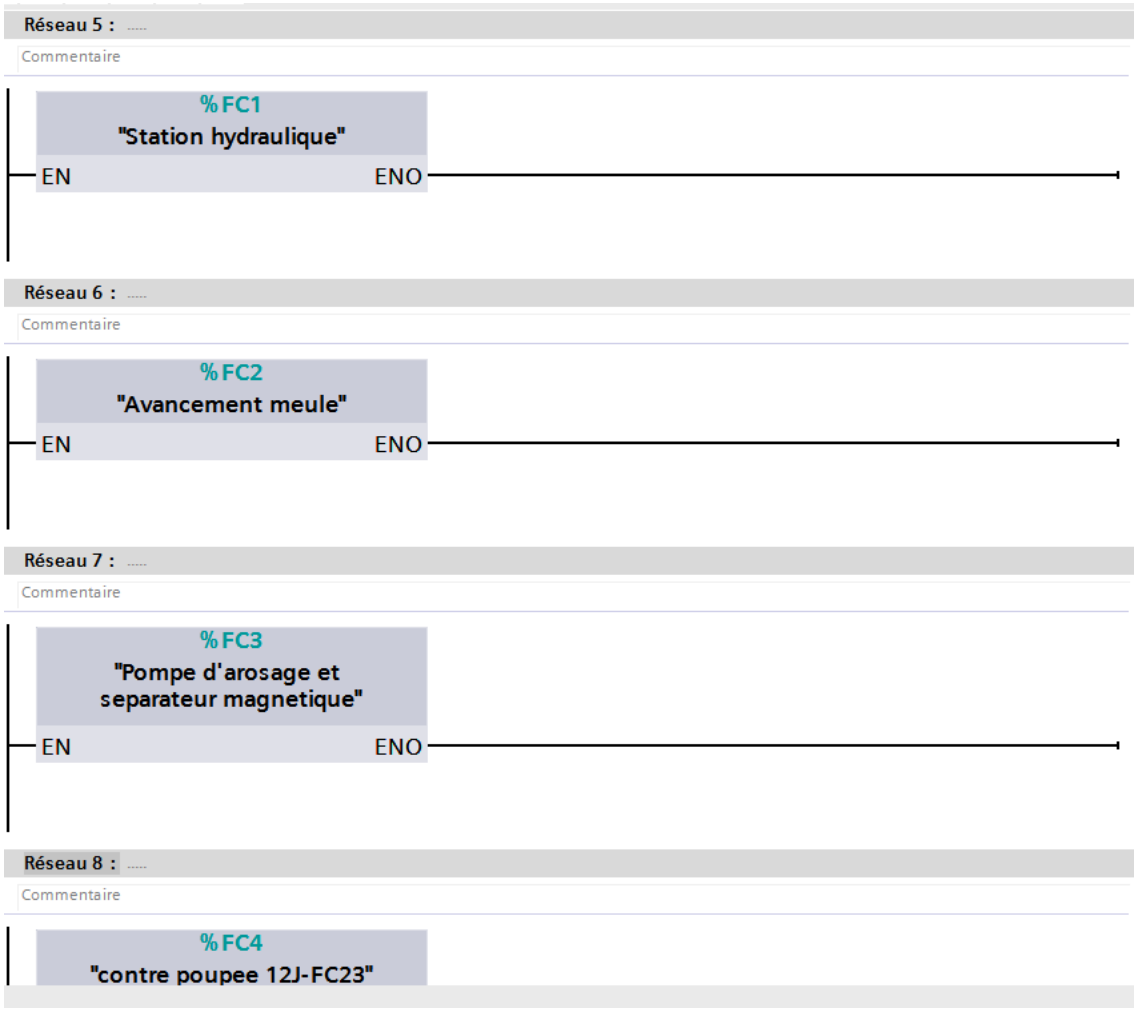


Figure 3.3.12: Réseau principal

et séquentiel des différentes fonctions de la machine. L'utilisation de ces blocs standards assure une simplification de la programmation, une diminution des erreurs, une fiabilité du fonctionnement du système tout en apportant une lisibilité et une maintenance meilleures du code.

Le bloc [SCALE]

Ce bloc sert à convertir une valeur analogique brute en une grandeur physique réelle. On parle de normalisation ou mise à l'échelle. Cela permet de transformer la valeur numérique issue d'un capteur en une unité compréhensible et utilisable dans un programme. [34]

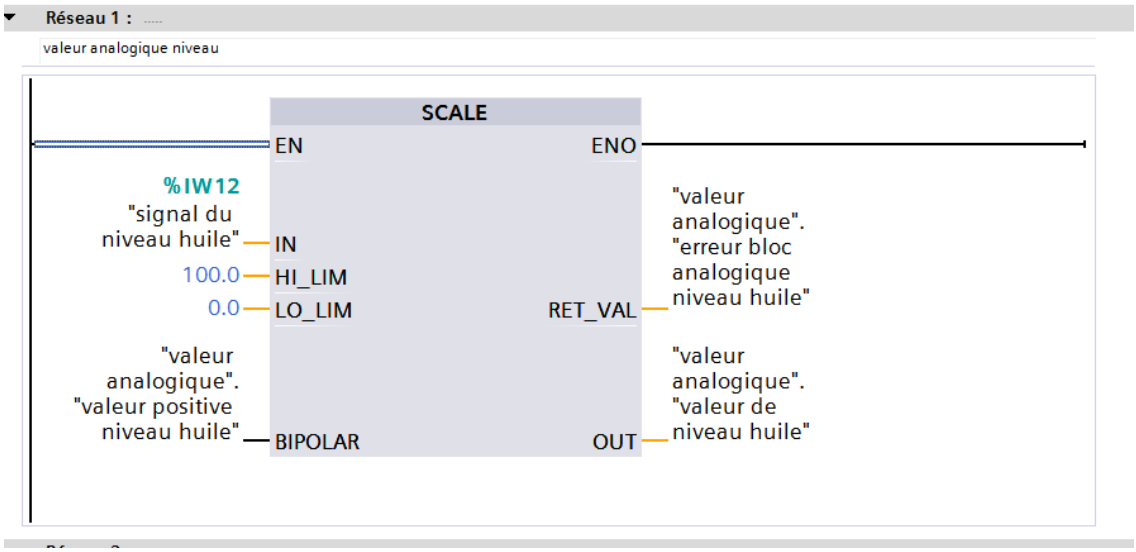


Figure 3.3.13: SCALE de la valeure analogique niveau huile

Le bloc [UNSCALE]

Ce bloc réalise l'opération inverse. Il convertit une valeur réelle calculée dans le programme en une valeur numérique brute adaptée à la sortie analogique du module. Cela permet de commander un actionneur avec la bonne plage de valeurs numériques. [34]

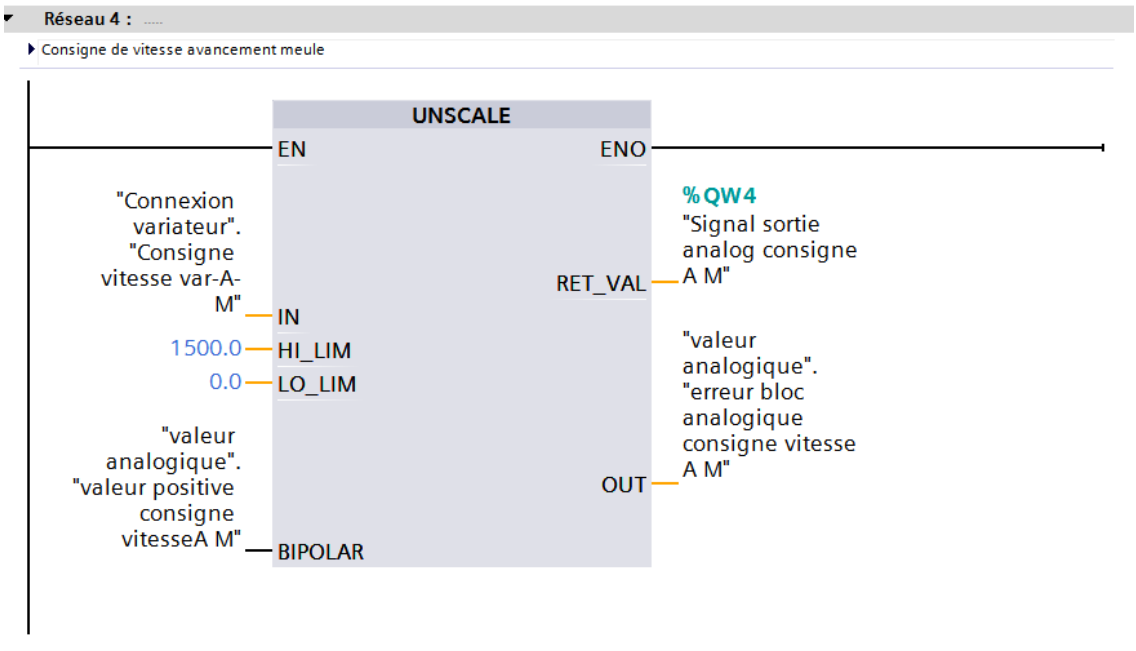


Figure 3.3.14: UNSCALE de l'avancement de la meule

Le bloc TON (Temporisateur à retardement à l'enclenchement)

Un temporisateur TON (Temporisateur à retardement à l'enclenchement) est un dispositif utilisé en automatisme qui retarde l'activation de sa sortie après la mise sous tension de son entrée. Lorsque l'entrée est activée, le temporisateur commence à compter un temps prédéfini, et la sortie ne s'active qu'une fois ce délai écoulé, permettant ainsi de contrôler précisément le démarrage d'un processus ou d'un équipement.

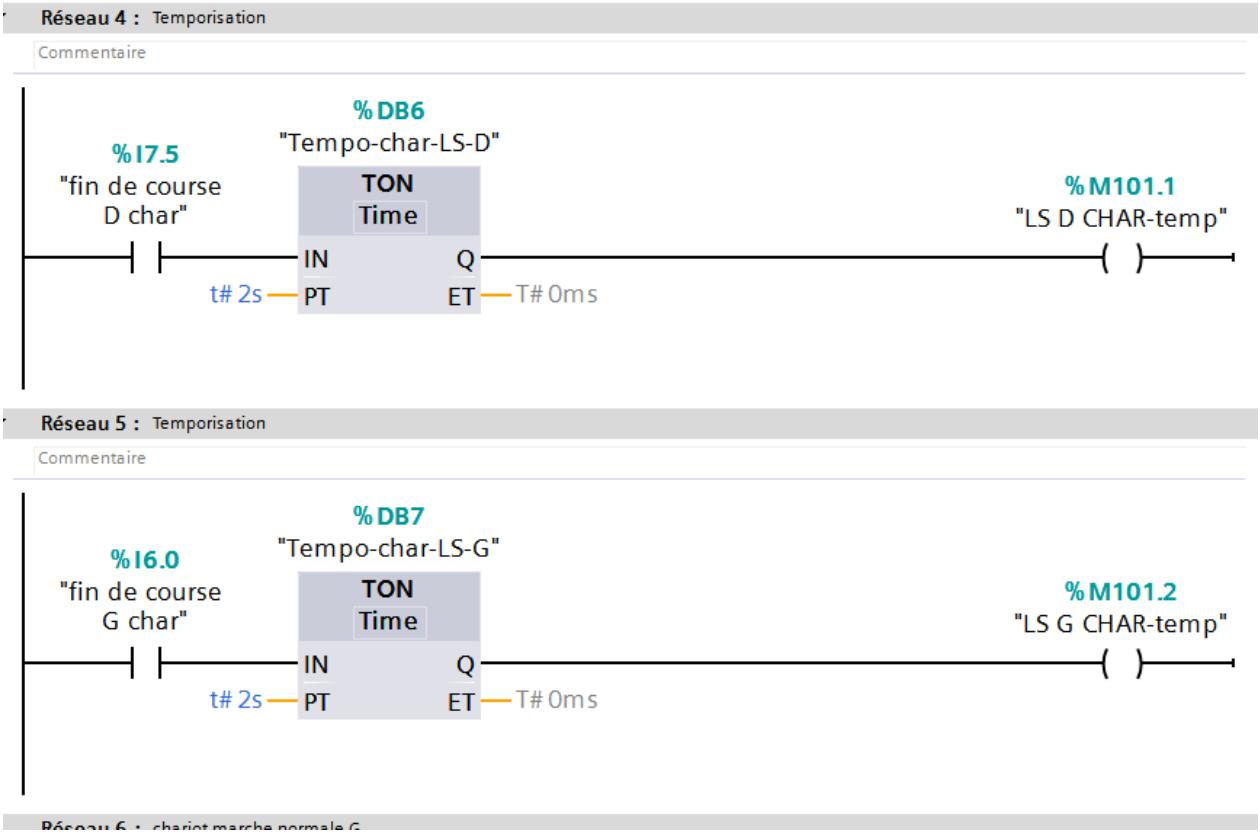


Figure 3.3.15: TON d'inversion du sens du chariot

Le bloc SR

Un bloc SR (Set/Reset) est un élément fondamental en programmation d'API utilisé pour mémoriser un état binaire (0 ou 1) sur la base de deux commandes d'entrée : une entrée Set (S) qui met la sortie à 1, et une entrée Reset (R) qui remet la sortie à 0. Ce bloc agit comme une mémoire simple ou une bascule, permettant de conserver l'état de sortie même après la disparition de l'impulsion d'entrée. [35]

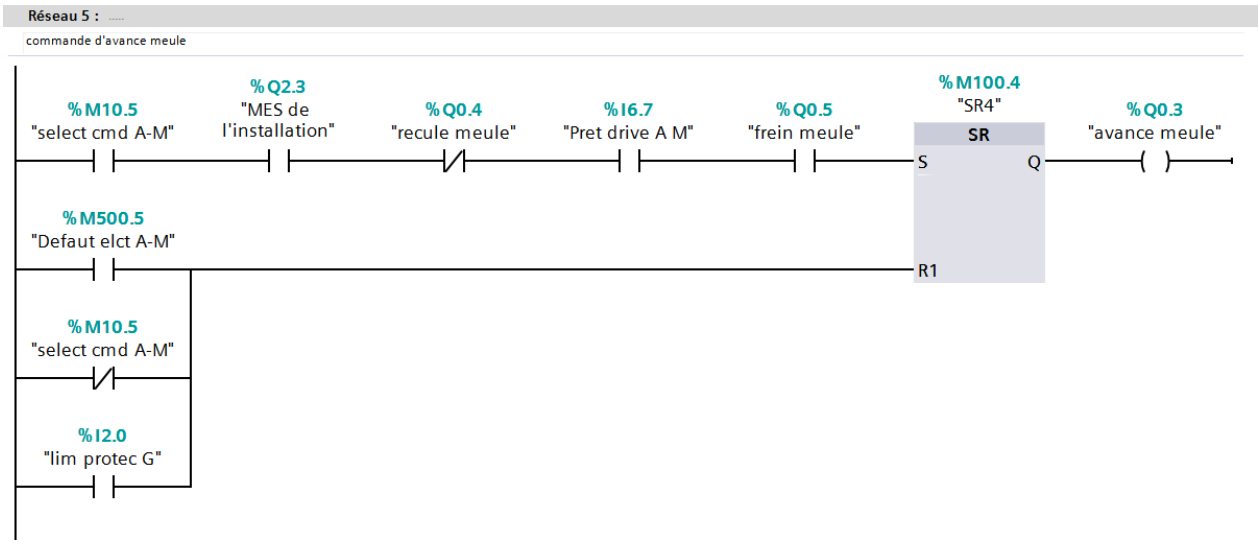


Figure 3.3.16: SR de la commande d'avance meule

Un exemple de démarrage de la pompe de liquide d'arrosage

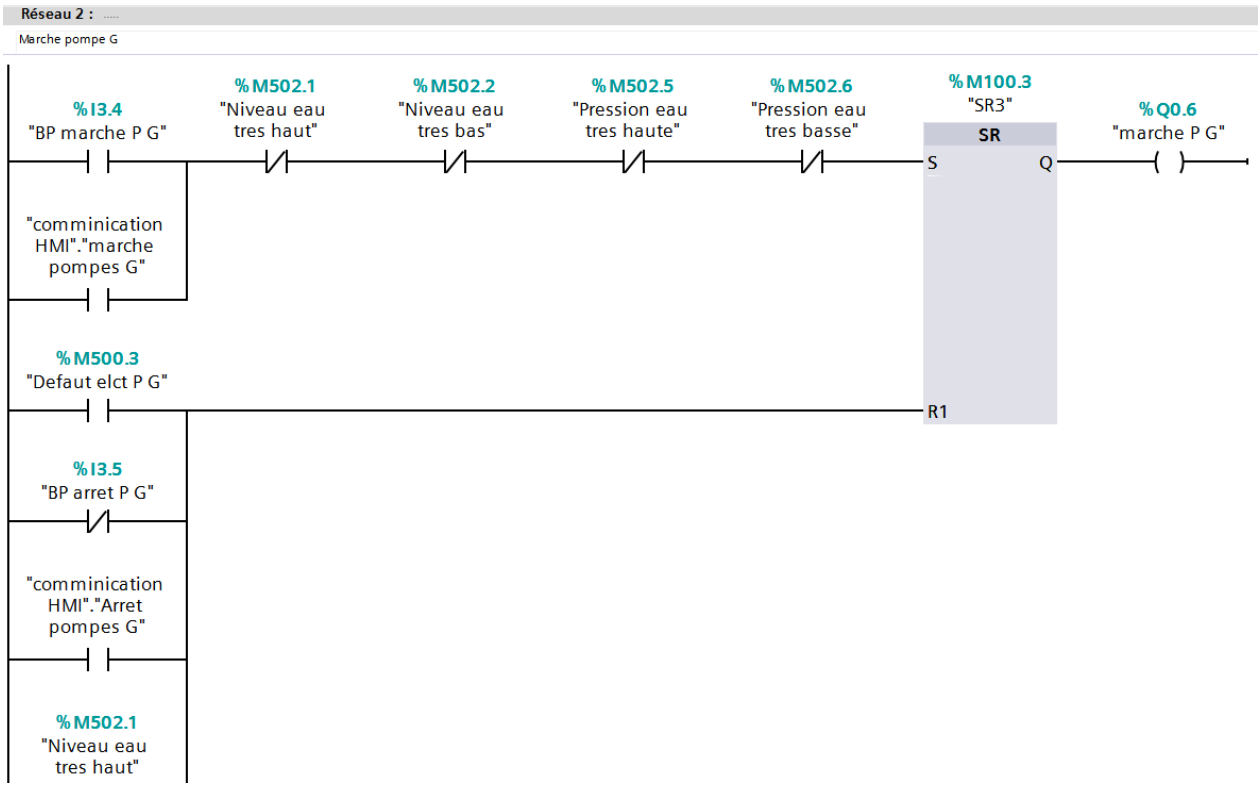


Figure 3.3.17: pompe de liquide d'arrosage

Gestion de défaut électrique

Pour assurer un fonctionnement sécurisé, le démarrage de la pompe est conditionné à l'absence de défaut électrique. En particulier, un relais thermique (RTH) est utilisé pour protéger le moteur de la pompe contre les surcharges et les surchauffes.

Figure 3.3.18: défaut électrique

3.4 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté en détail la solution de modernisation, incluant la nouvelle configuration matérielle, les entrées/sorties, ainsi que les équipements installés pour améliorer les performances du système. La partie programmation a été expliquée avec les différents blocs utilisés. Les réseaux de communication ont également été décrits pour montrer l'échange de données entre les composants. Dans le prochain chapitre, nous aborderons l'interface HMI et son rôle dans la supervision du processus.

CHAPITRE 4

Supervision et simulation

4.1 Introduction

La supervision s'avère être la composante essentielle de tout système automatisé. Ce chapitre présente l'interface homme-machine avec laquelle a été développée la rectifieuse : vues de contrôle des mouvements et des alarmes, paramètres réseau, archivage des données, gestion des fluides, etc. La simulation de fonctionnement a permis, avant mise en service, de tester l'ensemble des séquences et des échanges. Travailler dans cette optique de modernisation vers un système connecté, intelligent et conforme aux exigences de l'Industrie 4.0.

4.2 Programmation de l'IHM

La programmation de l'interface homme-machine (IHM) a pour but d'assurer la visualisation en temps réel des données du système. Elle présente aux usagers une interface graphique intuitive, pour interagir facilement de manière simple, claire et efficace avec des machines, des processus industriels ou des systèmes complexes.

Variables de l'IHM

Pour permettre la visualisation des paramètres environnementaux ou des résultats du traitement fait par l'API (Automate Programmable Industriel), il convient d'associer les variables de sortie à l'IHM. Cela va permettre à l'opérateur de superviser et d'agir sur le système en temps réel. La figure 4.2.1 ci-dessous illustre par des exemples la configuration de ces variables dans l'IHM.

Table de variables standard

Nom	Type de données	Connexion	Nom API	Variable API	Adresse	Mode d'accès	Cycle d'a...
1A-PB marche installation	Bool	HMI_Liaison...	PLC	"BP marche MES"		<accès symbolique>	100 ms
1D-PS 1kg-cm2	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"fin de course D char"		<accès symbolique>	100 ms
1E-PB marche pompe hydr	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP marche p hyd"		<accès symbolique>	100 ms
1G-PB marche	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP marche P G"		<accès symbolique>	100 ms
1J-PB avance	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP avance C P"		<accès symbolique>	100 ms
2A-PB arret	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"Disjoncteur R-M"		<accès symbolique>	100 ms
2A-PB arret installation	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP arret MES"		<accès symbolique>	100 ms
2E-PB arret pompe hydr	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP arret P hyd"		<accès symbolique>	100 ms
2G-PB arret	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP arret P G"		<accès symbolique>	100 ms
2J-PB recule	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP recule C P"		<accès symbolique>	100 ms
3J-PB avance	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP avance M C P"		<accès symbolique>	100 ms
4H-LS detect fct auto	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"Pret drive A M"		<accès symbolique>	100 ms
4J-PB recule	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"BP recule M C P"		<accès symbolique>	100 ms
6N-LX	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"RT R-M"		<accès symbolique>	100 ms
8D-LS com char manu auto	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"fin de course G char"		<accès symbolique>	100 ms
alarme_groupe alarme 1	Word	HMI_Liaison_1	PLC	alarme."groupe alarme 1"		<accès symbolique>	100 ms
alarme_groupe alarme 2	Word	HMI_Liaison_1	PLC	alarme."groupe alarme 2"		<accès symbolique>	100 ms
alarme_groupe alarme 3	Word	HMI_Liaison_1	PLC	alarme."groupe alarme 3"		<accès symbolique>	100 ms
alarme_groupe alarme 4	Word	HMI_Liaison_1	PLC	alarme."groupe alarme 4"		<accès symbolique>	100 ms
arret P1 HMI	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"arret P1 HMI"		<accès symbolique>	100 ms
avance meule	Bool	HMI_Liaison_1	PLC	"avance meule"		<accès symbolique>	100 ms

Figure 4.2.1: Exemple de table des variables IHM

Configuration des alarmes

Le symbole graphique de l'indicateur d'alarme peut afficher les alarmes actives ou celles en attente d'acquittement, en fonction de la configuration. La figure 4.2.2 ci-dessous illustre un exemple de table d'alarmes.

Alarmes de bit

ID	Nom	Texte d'alarme	Classe d'alar...	Variable de d...	Bit de ..	Adresse de dé..	Variable d'ac...	Bit d'a..	Adresse d'acq..
1	Error 1	Defaut elct principale	Errors	alarme_gr...	0	alarme."grou...	<aucune v...	0	
2	Error 2	Niveau huile tres haut	Errors	alarme_grou...	1	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
3	Error 3	Niveau huile tres bas	Errors	alarme_grou...	2	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
4	Error 4	Niveau huile bas	Warnings	alarme_grou...	3	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
5	Error 5	Niveau huile haut	Warnings	alarme_grou...	4	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
6	Error 6	Pression huile tres haute	Errors	alarme_grou...	5	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
7	Error 7	Pression huile tres basse	Errors	alarme_grou...	6	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
8	Error 8	Pression huile basse	Warnings	alarme_grou...	7	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
9	Error 9	defaut elct Pompe hydraulique E	Errors	alarme_grou...	8	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
10	Error 10	Defaut elect Pompe hydraulique F	Errors	alarme_grou...	9	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
11	Error 11	Defaut elect Pompe hydraulique T	Errors	alarme_grou...	10	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
12	Error 12	Defaut elct Pompe d'arosage G	Errors	alarme_grou...	11	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
13	Error 13	Defaut elct Separateur magnetique	Errors	alarme_grou...	12	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
14	Alarme de bit_1	Defaut elct Avancement meule	Errors	alarme_grou...	13	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
15	Alarme de bit_2	Defaut elct Rotation cylindre	Errors	alarme_grou...	14	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
16	Alarme de bit_3	Defaut elct Rotation meule	Errors	alarme_grou...	15	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
17	Alarme de bit_4	Pression eau haute	Warnings	alarme_grou...	0	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
18	Alarme de bit_5	Defaut elct Contre poupee	Errors	alarme_grou...	1	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
19	Alarme de bit_6	Defaut electrique de la Manchon cor	Errors	alarme_grou...	2	alarme."grou...	<aucune vari...	0	
22	Alarme de bit_7	Defaut elect chariot	Errors	alarme_grou...	3	alarme."grou...	<aucune vari...	0	

Figure 4.2.2: Exemple de la table d'alarme

Configuration des vues

Dans un projet IHM, les vues constituent les éléments principaux de l'interface graphique. Elles permettent à l'opérateur de visualiser et contrôler le processus en cours. Chaque vue affiche une partie du système (ex : paramètres du capteur, état des machines, alarmes, etc.). En combinant différentes vues, on crée une interface complète et structurée qui facilite la surveillance et la gestion du processus.

Vue modèle

Le modèle de vue regroupe tous les composants communs que l'on souhaite avoir dans toutes les vues du projet. Il va permettre d'uniformiser l'interface graphique en tant que gabarit On peut par exemple inclure les éléments suivants dans ce modèle :

- Logo de l'entreprise

- Boutons de navigation entre les vues
- Bouton d'aquitement
- Heure et date
- Barre d'alarme, etc.

Figure 4.2.3: Vue modele

Vue d'alarme

La vue présentée dans la figure comporte un tableau dédié à l'affichage des alarmes en cours. Ce tableau fournit des informations telles que l'identifiant de l'alarme, la date et l'heure de son apparition, ainsi que son état d'acquittement.

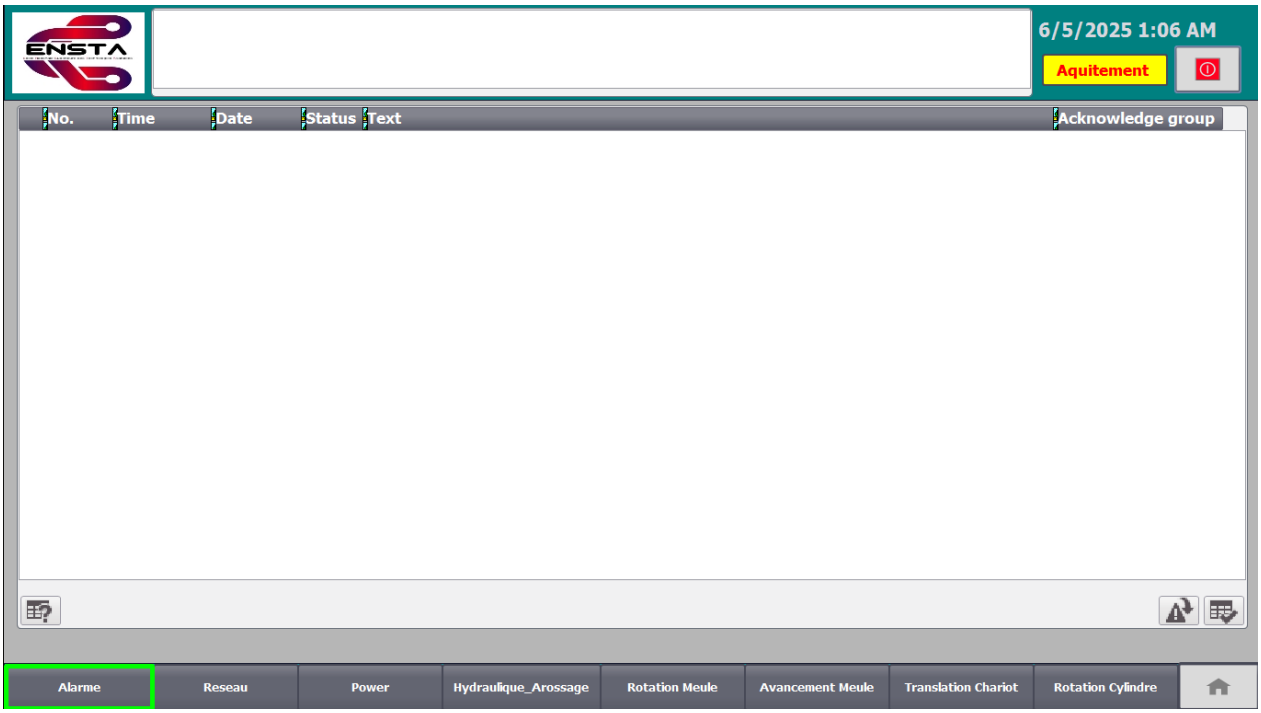


Figure 4.2.4: Vue d'alarme

Vue d'accueil

La vue d'accueil (ou vue principale) permet de voir l'ensemble des activités de la machine rectifieuse. Elle permet d'avoir une vue d'ensemble du système et de ses différents mouvements. Cette vue contient les quatre mouvements principaux de la machine, permettant au l'opérateur de vérifier leur statut temps réel. Elle comprend également : Deux boutons de commande :

- Marche (mise en service),
- Arrêt (arrêt d'urgence ou arrêt normal)
- Un indicateur dédié à l'affichage des défauts, s'ils sont présents dans le système.

Grâce à cette interface centralisée, l'opérateur peut piloter la machine et réagir rapidement en cas d'anomalie.

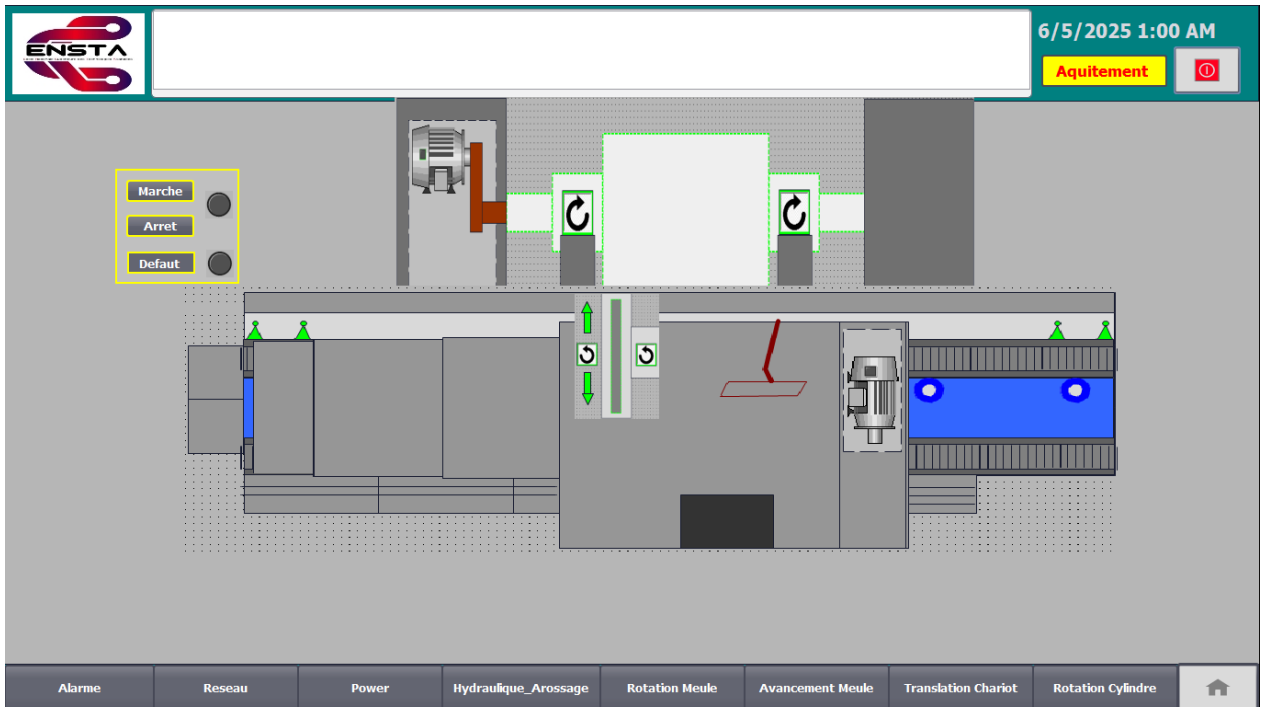


Figure 4.2.5: Vue d'accueil

Vue rotation cylindres

La vue rotation cylindre permet de surveiller et contrôler la rotation du cylindre pendant le processus de rectification. Elle contient :

- Un bouton Marche/Arrêt pour le démarrage ou l'arrêt du cylindre
- Un indicateur des défauts électriques éventuels liés à ce sous-système
- L'affichage en temps réel de l'état du cylindre (en fonctionnement ou à l'arrêt)
- La valeur de consigne de la vitesse de rotation
- La valeur mesurée de cette vitesse

Cette vue permet donc à l'opérateur de comparer la consigne avec la mesure réelle et de détecter rapidement toute anomalie de fonctionnement.

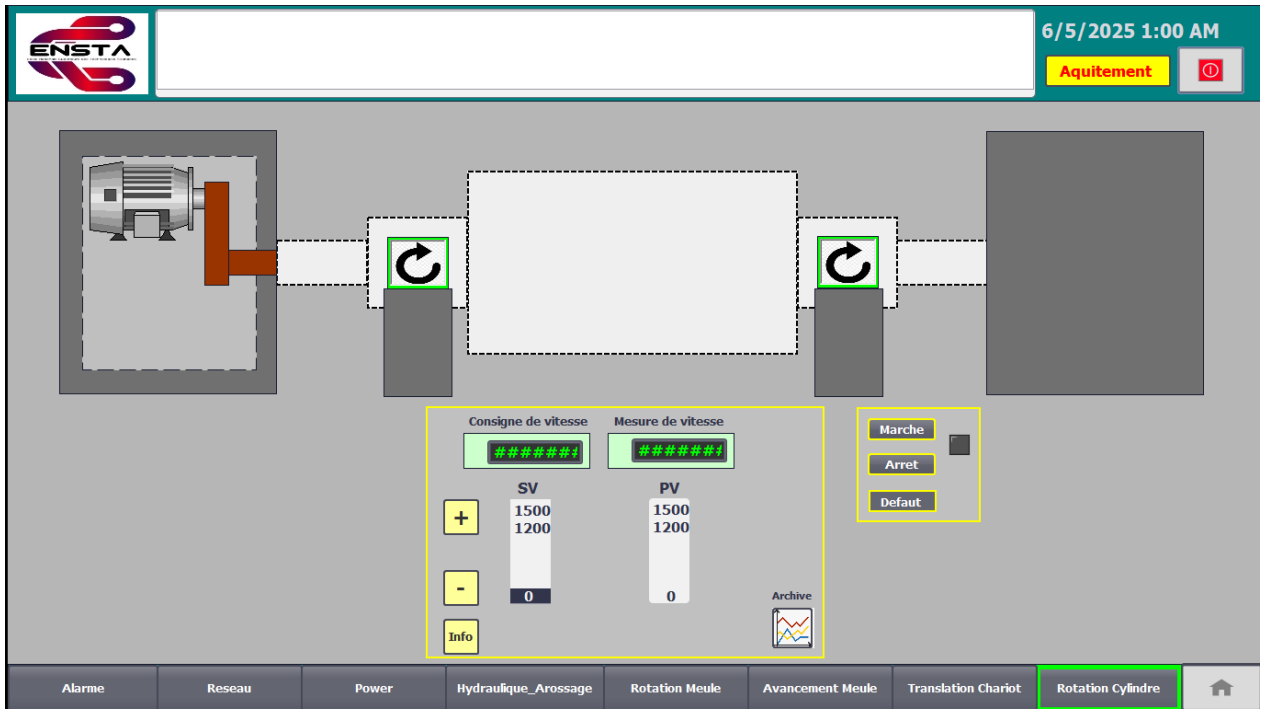


Figure 4.2.6: Rotation cylindres

Vue rotation meule

La vue rotation meule permet de contrôler et surveiller la rotation de la meule utilisée dans le processus de rectification. Elle comprend :

- Un bouton Marche/Arrêt pour activer ou désactiver la rotation de la meule
- Un indicateur des défauts électriques éventuels
- L'état actuel de la meule (en marche ou à l'arrêt)
- La vitesse de rotation souhaitée (consigne)
- La vitesse de rotation réelle mesurée par le système.

Cette vue permet à l'opérateur de s'assurer que la meule fonctionne correctement, en comparant la consigne et la mesure, tout en gardant un œil sur les éventuelles anomalies.

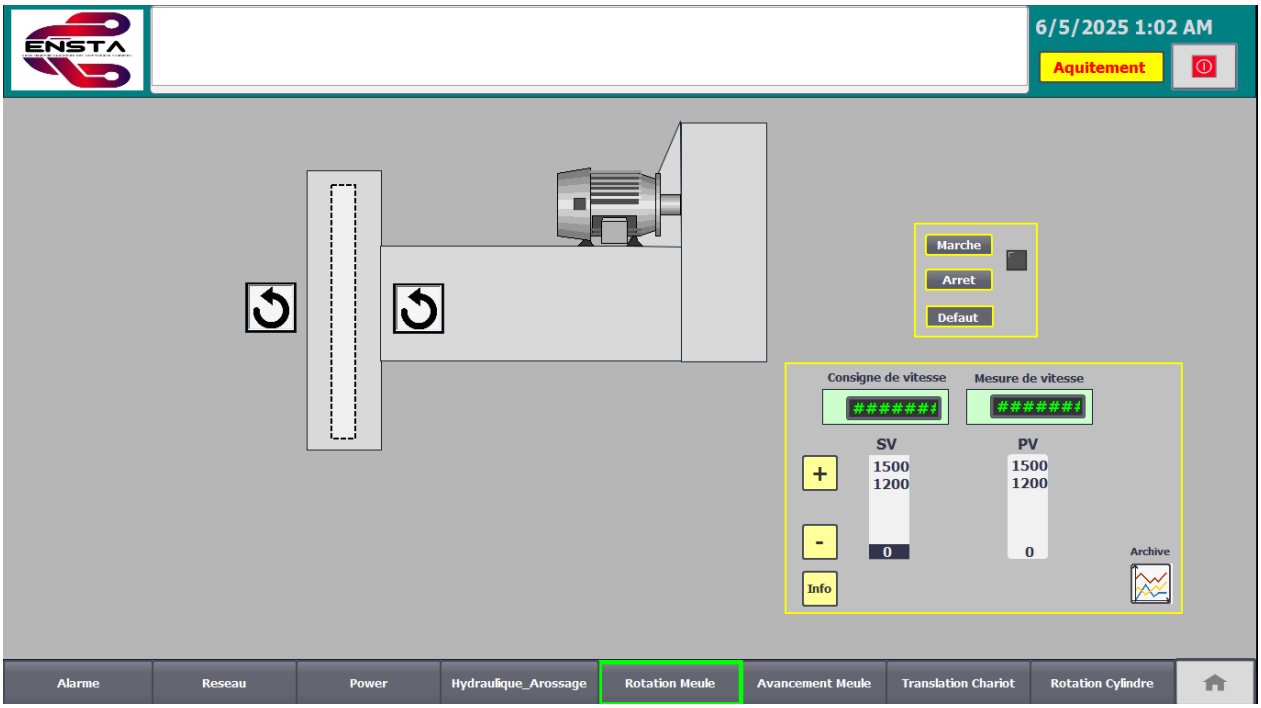


Figure 4.2.7: Rotation meule

Vue avancement meule

La vue avancement meule permet de contrôler et visualiser le mouvement d'avance de la meule lors de l'usinage. Elle intègre :

- Un bouton Marche/Arrêt pour activer ou stopper l'avance de la meule
- Un indicateur des défauts électriques liés au système d'avance
- L'état de la meule en temps réel, indiquant si elle est en avance ou en recul (sens de
- déplacement)
- La valeur de consigne de la vitesse d'avancement
- La valeur mesurée de cette vitesse

Grâce à cette vue, l'opérateur peut contrôler précisément le déplacement de la meule et détecter tout écart de fonctionnement.

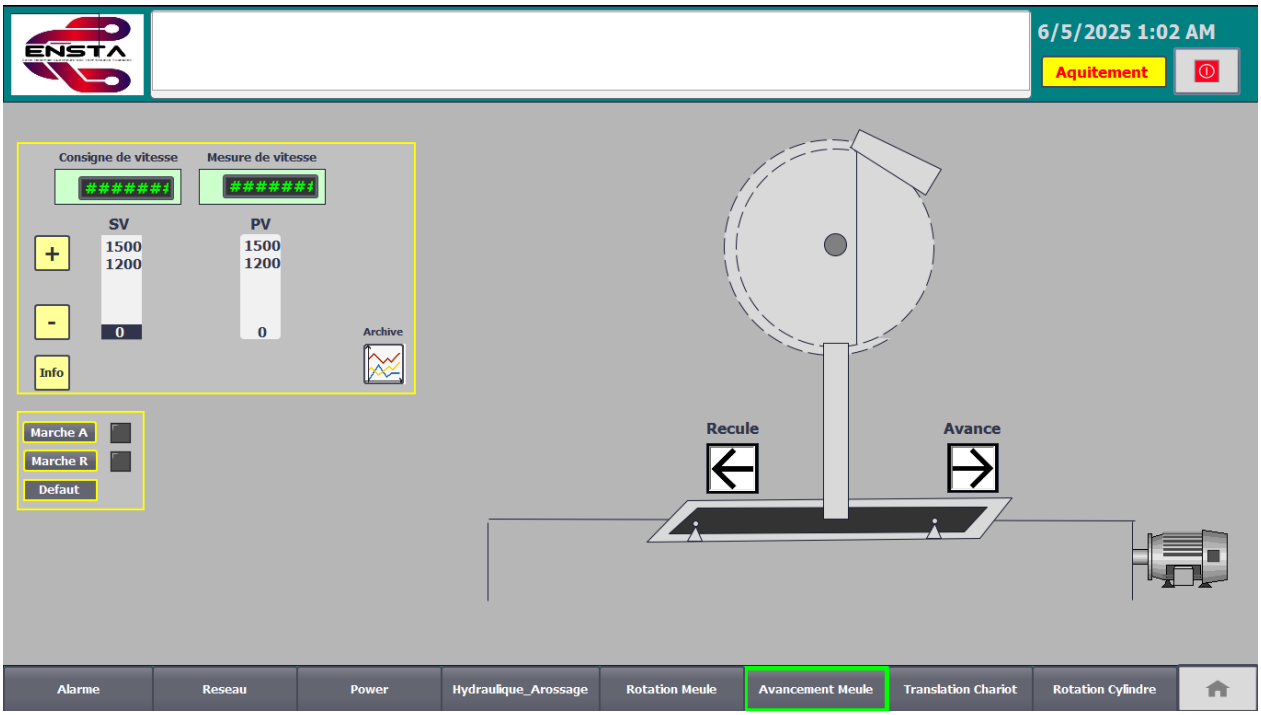


Figure 4.2.8: Avancement meule

Vue translation chariot

La vue translation chariot permet de surveiller et piloter les différents modes de déplacement du chariot de la machine rectifieuse. Elle contient :

- Un bouton Marche/Arrêt pour le mode marche jogging (déplacement manuel par àcoups)
- Un indicateur de défaut électrique associé à ce mode
- Un bouton Marche/Arrêt pour le mode marche normale (déplacement automatique)
- Un indicateur de défaut électrique associé à ce second mode
- L'état actuel du chariot (en mouvement ou à l'arrêt)
- La consigne de vitesse d'avancement
- La vitesse réelle mesurée

Cette vue permet à l'opérateur de contrôler le mouvement du chariot en toute sécurité, de choisir le mode de fonctionnement adapté, et de vérifier le bon suivi des consignes.

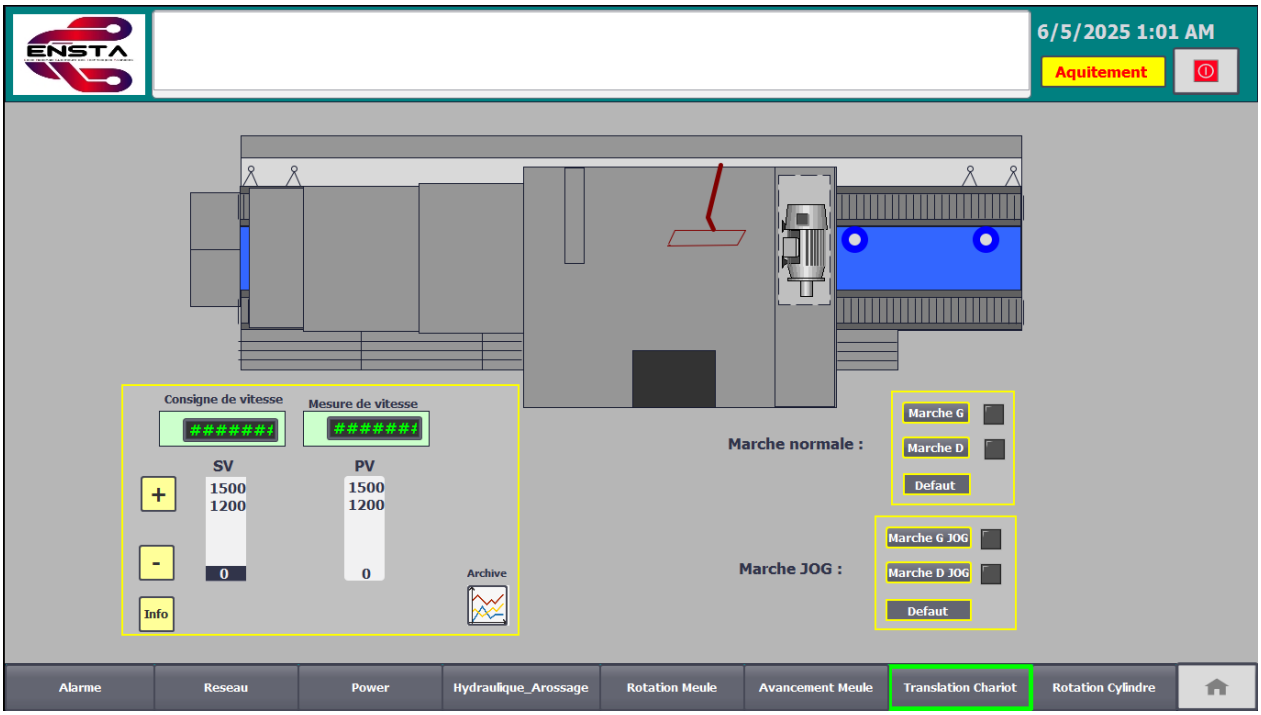


Figure 4.2.9: Translation chariot

Vue station hydraulique et arrosage

La vue station hydraulique et arrosage permet de surveiller et contrôler le fonctionnement des systèmes de lubrification et de refroidissement de la machine. Elle affiche :

- Les trois pompes d'huile (hydrauliques) et la pompe d'eau dédiée à l'arrosage
- Le niveau de chaque fluide (huile et eau)
- Les capteurs de pression associés à chaque circuit
- Une zone d'affichage pour visualiser en temps réel les valeurs mesurées de niveau et de pression
- Des boutons Marche/Arrêt pour chacune des pompes
- Les indicateurs de défauts électriques pour chaque circuit

Cette vue permet à l'opérateur de s'assurer du bon fonctionnement des systèmes auxiliaires essentiels, de détecter les anomalies de pression ou de niveau, et d'intervenir rapidement en cas de défaillance

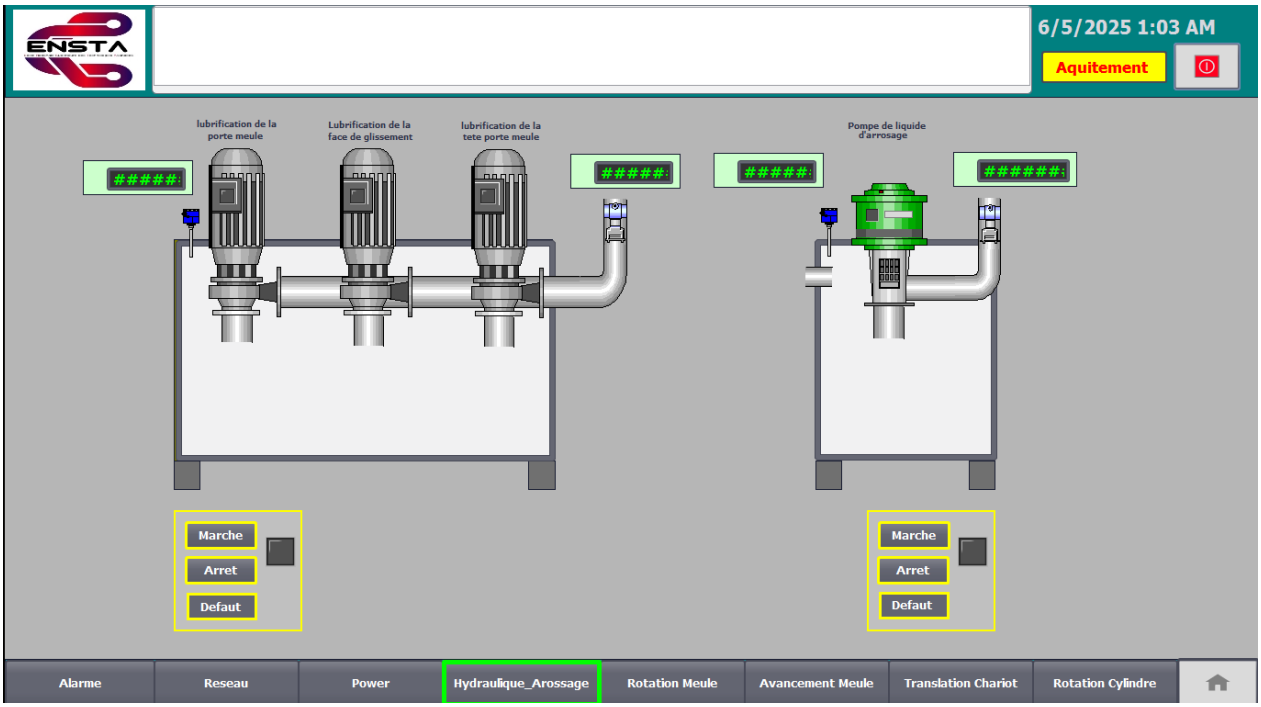


Figure 4.2.10: station hydraulique et arrosage

Vue réseau

La vue réseau permet de visualiser l'état de la communication entre les différents composants du système via les protocoles PROFIBUS et PROFINET. Elle affiche :

- La connexion entre l'IHM, l'automate (API) et l'ensemble des variateurs
- L'état de communication de chaque variateur associé aux mouvements (rotation
- cylindre, rotation meule, avancement meule, translation chariot)
- L'état des variateurs des pompes (pompes à huile et pompe d'eau)
- Des indicateurs visuels pour signaler si la communication est active, interrompue ou en défaut

Cette vue est essentielle pour le diagnostic réseau : elle aide à détecter rapidement les problèmes de communication entre les équipements et garantit la bonne synchronisation du système automatisé

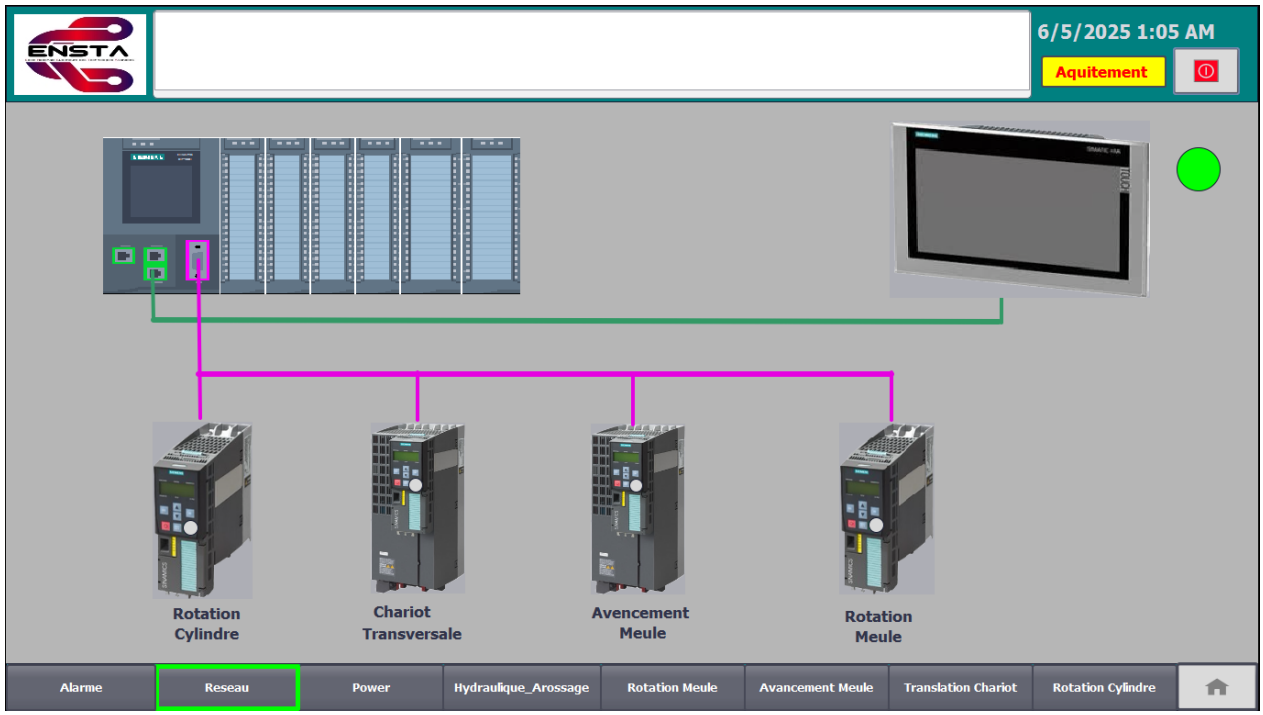


Figure 4.2.11: Exemple vue réseau

Vue Power

La vue Power permet de visualiser l'état des équipements électriques essentiels du système. Elle affiche :

- Les sectionneurs
- Les disjoncteurs
- Le transformateur
- L'état de fonctionnement de chacun de ces équipements (activé, désactivé, en défaut).

Cette vue offre à l'opérateur une supervision rapide et centralisée de l'alimentation électrique, facilitant la détection de coupures, de surcharges ou d'anomalies liées à l'énergie.

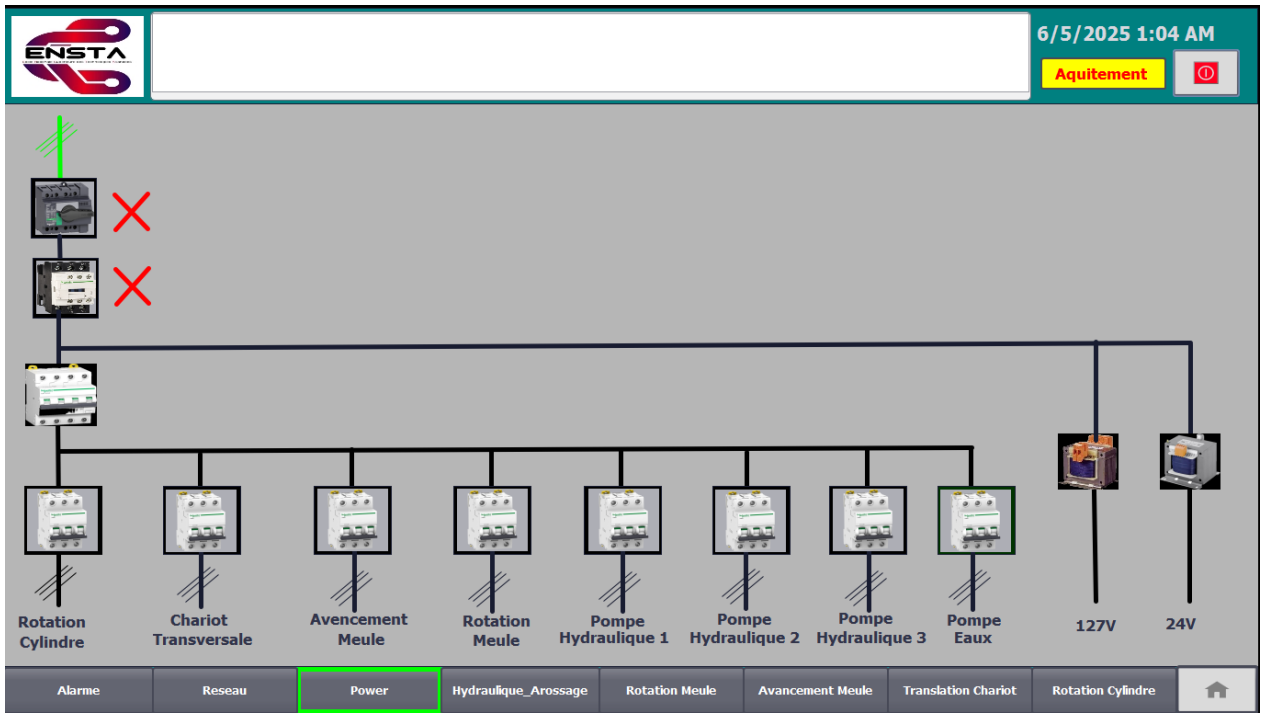


Figure 4.2.12: Exemple vue Power

Vue archive

La vue archive permet de visualiser l'historique des vitesses de fonctionnement des différents mouvements de la machine. Depuis chaque vue de mouvement (rotation cylindre, rotation meule, avancement meule, translation chariot), un bouton "Archive" permet d'accéder directement à cette vue. Dans cette vue, on peut consulter :

- La variation de la vitesse mesurée dans le temps
- La variation de la consigne de vitesse
- L'affichage graphique de ces deux valeurs sous forme de courbes, pour unecomparaison claire et intuitive

Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour le suivi de performance, la traçabilité des opérations et le diagnostic des écarts entre les consignes et les mesures réelles.

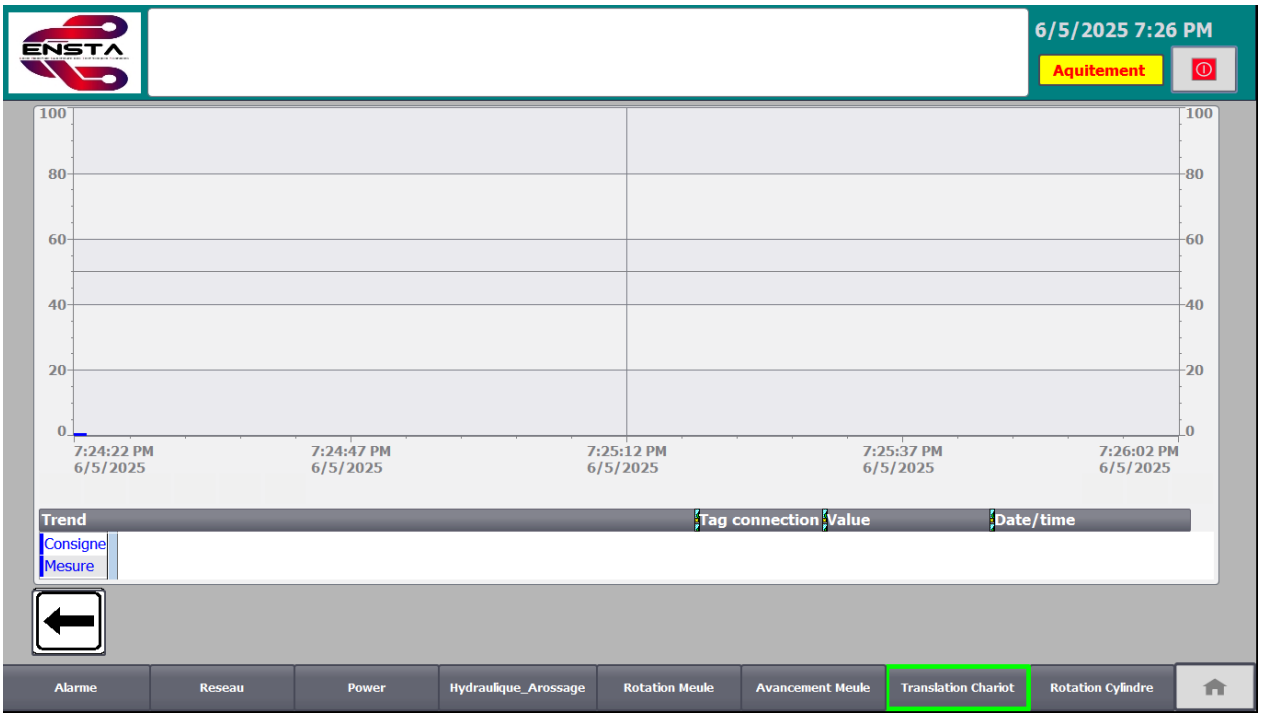


Figure 4.2.13: Exemple vue archive

4.3 Intégration de l'Industrie 4.0 dans la modernisation de la rectifieuse

4.3.1 Définition et principe de l'Industrie 4.0

La quatrième révolution industrielle, aussi appelée Industrie 4.0, désigne le passage des systèmes de production vers des systèmes intelligents, connectés et adaptatifs. Elle repose sur l'intégration des technologies numériques à l'échelle des systèmes de production pour développer des machines autonomes et capables de communiquer (e.g. en collectant et analysant des données en temps réel) et en s'adaptant (en s'auto-adaptant à tout changement de conditions de production). [36]

Figure 4.3.14: Lindustrie 4.0

Les technologies clés de l'Industrie 4.0 sont :

- Systèmes Cyber Physiques (CPS)
- Internet des Objets Industriel IIoT
- Commande numérique CNC
- Réseaux industriels intelligents (EtherCAT, Profinet...)
- Intelligence artificielle
- Interfaces de supervision avancées (IHM)

4.3.2 CNC et Industrie 4.0

La commande numérique par ordinateur (CNC) est un enjeu central pour l'Industrie 4.0. Elle permet d'opérer la machine (ici la rectifieuse) de façon automatique à partir d'un programme sans intervention manuelle. La CNC contrôle :

- la vitesse de rotation
- la position des axes
- la séquence des opérations
- les conditions de sécurité.

Dans le cadre de l'Industrie 4.0, la CNC devient intelligente et connectée:

- Elle communique avec des capteurs, des variateurs, des automates, une IHM.
- Elle permet de tracer complètement les opérations (vitesses, défauts, cycles).
- Elle s'intègre dans le réseau de l'atelier au cloud voire à un MES (Manufacturing Execution System).

4.3.3 Présentation de la CNC et du système Beckhoff utilisé

Dans le cadre de la modernisation de la rectifieuse Toshiba KWA1650B, on a introduit une commande CNC de type Beckhoff. Beckhoff est une société allemande d'automatisation "ouvertes", pouvant être intégrées dans des environnements industriels complexes. Le système mis en oeuvre est basé sur :

- une architecture modulaire (facilement extensible)
- le bus de terrain EtherCAT (court temps de cycle, haute précision)
- une programmation normalisée (IEC 61131-3).

Ce CNC mène en temps réel l'intégralité des mouvements : rotation du cylindre, translation du chariot, avance de la meule, etc. Il est en outre interfacé via Profinet avec l'IHM, les capteurs et les variateurs. [37]

4.3.4 Logiciel TwinCAT et supervision intelligente

La commande de l'automate Beckhoff s'effectue grâce au logiciel TwinCAT (L'environnement intégré de contrôle et d'automatisme sous Windows). Il permet :

- La programmation de l'automate (en langage structuré, LD, FBD...)
- La configuration des E/S, des variateurs et de la communication réseau
- La visualisation temps réel des variables
- L'intégration d'une supervision intelligente (courbes, alarmes, historique ...)

Le TwinCAT offre ainsi la possibilité de simuler virtuellement la rectifieuse, la tester avant mise en service, puis la connecter à une IHM tactile qui affiche tous les états du système. [38]

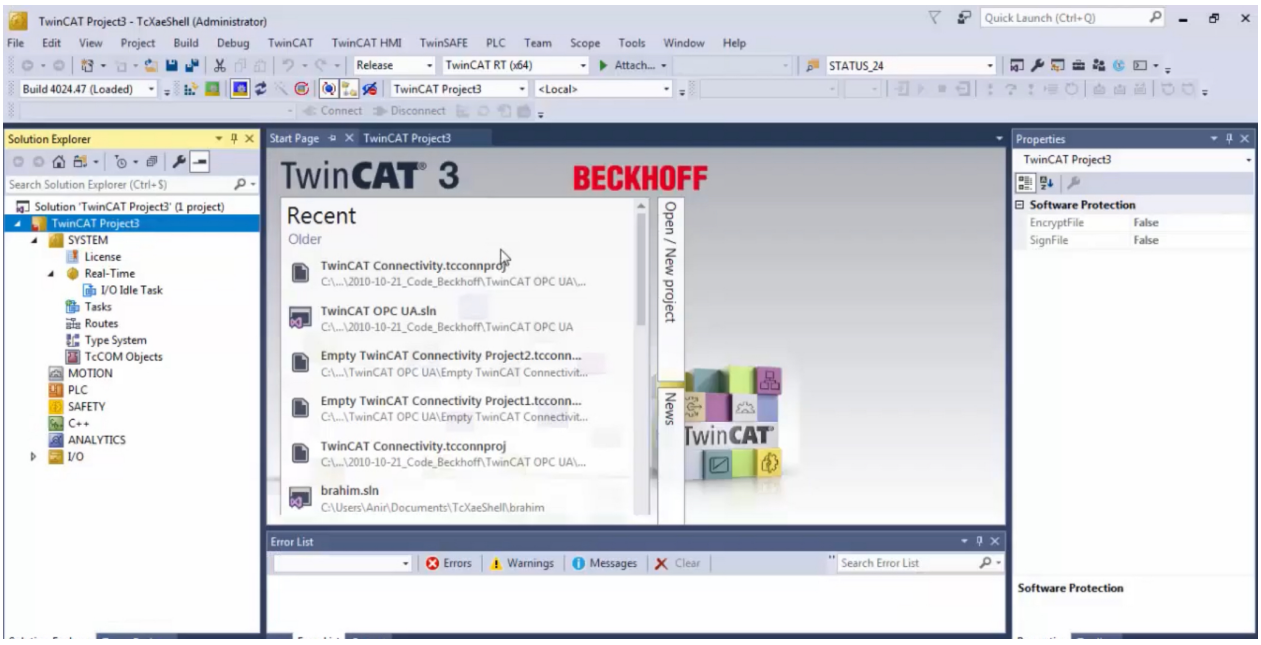


Figure 4.3.15: Interface principale de TwinCAT 3

4.3.5 Mise en œuvre sur la rectifieuse

Cette mise en œuvre de ces technologies au sein de la rectifieuse va s'illustrer par :

- Un remplacement du traditionnel système de commande par un CNC
- Beckhoff pour un pilotage numérique centralisé.
- La création d'un coffret électrique moderne, avec modules d'E/S, relais de sécurité, alimentation 24V, variateurs synchrones.
- L'ajout d'une IHM tactile avec plusieurs vues :mouvements, alarmes,fluides, réseau, archive.
- La simulation complète du cycle de rectification avec TwinCAT, pour valider
- le comportement du système.
- La communication de l'ensemble via Profinet et EtherCAT garantissant réactivité, précision et interopérabilité.

Grâce à cette modernisation, la rectifieuse devient un système cyber-physique, apte à intégrer un atelier connecté, avec supervision en temps réel, sécurité améliorée et capacité évolutive conforme aux standards de l'Industrie 4.0.

4.4 Conclusion

Ce chapitre a permis de designer une interface de supervision complète, garantissant la traçabilité en temps réel des opérations de rectification et une interaction de confiance avec l'opérateur. La simulation a validé le comportement du système avant sa mise en œuvre. Grâce à la modernisation électrique et à l'intégration d'outils numériques, la rectifieuse devient un système flexible, évolutif et compatible avec les standards de l'Industrie 4.0.

Conclusion générale

Travailler sur ce projet a été pour nous une expérience enrichissante, car il nous a permis de mettre en pratique les compétences acquises tout au long de notre formation. Ce mémoire de fin d'études nous a permis d'atteindre nos objectifs, en proposant une solution concrète pour la modernisation, la surveillance et le contrôle du processus de rectification dans l'atelier de traitement des cylindres.

Dans le premier chapitre, nous avons introduit le contexte général de l'entreprise SIDER EL HADJAR et décrit le processus de production, en particulier celui du laminage à froid. Cela nous a permis de mieux comprendre l'environnement industriel dans lequel s'intègre notre projet.

Le deuxième chapitre a été consacré à l'analyse technique de la rectifieuse SHIBAURA KWA-1650B, à travers une étude détaillée de ses composants, de son fonctionnement et de ses dysfonctionnements.

Le troisième chapitre a permis de présenter les solutions retenues, en détaillant les choix matériels, la configuration de l'automate Siemens, les protocoles de communication, ainsi que les blocs de programmation développés sous TIA Portal.

Enfin, le dernier chapitre a été dédié à la supervision HMI, avec la conception de vues interactives facilitant le contrôle en temps réel de la machine. Une simulation a également été réalisée pour valider le bon fonctionnement du système avant sa mise en service réelle.

Ce travail, en plus de répondre à un besoin industriel réel, a renforcé notre sens de l'analyse, notre rigueur technique et notre capacité à gérer un projet d'automatisation de bout en bout.

Bibliographie

[1] Bricoleur Pro. Acier: usages multiples en construction et rénovation. https://bricoleurpro.ouest-france.fr/dossier-265-acier-usages-multiples-construction-renovation.html

[2] Ferrosplanes. L'acier dans l'industrie. https://ferrosplanes.com/fr/acier-dans-industrie/

[3] Les caractéristiques des aciers. Disponible sur : https://www.a3ms.fr/les-caracteristiques-des-aciers/

[4] Tulip. Automatisation des processus de fabrication. https://tulip.co/fr/blog/manufacturing-process-automation/

[5] Wikipédia. Société nationale de sidérurgie. https://fr.wikipedia.org/wiki/Soci%C3%A9t%C3%A9_nationale_de_sid%C3%A9rurgie

[6] APS. Sider El Hadjar à Annaba: le symbole de l'industrie sidérurgique algérienne face au défi de l'efficience économique. https://www.aps.dz/economie/144336-sider-el-hadjar-a-annaba-le-symbole-de-l-industrie-siderurgique-algerienne-face-au-defi-de-l-efficience-economique

[7] La Voie d'Algérie. Le développement de l'industrie sidérurgique se poursuit. https://lavoiedalgerie.dz/le-developpement-de-lindustrie-siderurgique-se-poursuit/2025/29/12/

[8] Laf, rapport technique

[9] ARC, rapport technique 1978

[10] SHIBAURA, rapport technique 1978

[11] SYMES. Les capteurs dans l'industrie moderne. https://www.symes.fr/fr/blog/post/les-capteurs-definition-types-et-applicationsdans-lindustrie-moderne

[12] CNRTL. Tachymètre. https://www.cnrtl.fr/definition/tachym%C3%A8tre

[13] VIOX. Guide complet sur les capteurs de proximité. https://viox.com/fr/the-ultimate-guide-to-proximity-sensors-working-principlestypes-and-applications/

[14] Tameson. Actionneurs : définition et types. https://tameson.fr/pages/actionneur

[15] SchoolMouv. Systèmes automatisés – Fiche de cours. https://www.schoolmouv.fr/cours/systemes-automatises/fiche-de-cours

[16] Magnetic Innovations. Comment fonctionne un moteur à courant continu ? https://www.magneticinnovations.com/fr/faq-3/comment-fonctionne-moteurcourant-continu/

[17] Pompe-Moteur.fr. Fonctionnement d'un moteur électrique. https://www.pompe-moteur.fr/blog/fonctionnement-moteur-electrique-n14

[18] Demotor. Moteurs à courant alternatif. https://fr.demotor.net/moteurs-electriques/moteurs-a-courant-alternatif

[19] Pompe-Moteur.fr. Architecture d'un moteur électrique. https://www.pompe-moteur.fr/blog/fonctionnement-architecture-moteurelectrique-n20

[20] Celera Motion. Codeurs absolus et codeurs incrémentaux. https://www.celeramotion.com/inductive-sensors/fr/assistance/documentstechniques/codeurs-absolus-et-codeurs-incrementaux/

[21] IP Systèmes. Qu'est-ce qu'un automate programmable industriel ? Disponible sur : https://www.ip-systemes.com/details-qu+est+ce+qu+un+automate+programmable+industriel+-772.html

[22] Wikipédia. Automate programmable industriel. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Automate_programmable_industriel

[23] Siemens. Manuel d'utilisation – CPU 1516-3 PN/DP – S7-1500. Disponible sur : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/914/59191914/att_86488/v1/s71500_cpu1516_3_pn_dp_manual_fr-FR_fr-FR.pdf

[24] Celera Motion. Codeurs optiques et inductifs. https://www.celeramotion.com/inductive-sensors/fr/assistance/documents-techniques/codeurs-optiques-et-codeurs-inductifs/

[25] Endress+Hauser. Cerabar PMP71 - Transmetteur de pression. https://www.fr.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/Absolute-Gauge-Cerabar-PMP71?t.tabId=product-overview

[26] IFM. Capteur de niveau LMT100. https://www.ifm.com/fr/fr/product/LMT100

[27] RS Online. Variateur de fréquence réf. 7043880. https://fr.rs-online.com/web/product/variateurs-de-frequence/7043880/

[28] ISIT. Choisir le bon protocole de communication industriel. https://www.isit.fr/fr/article/choisir-le-bon-protocole-de-communication-industriel.php

[29] IP Systèmes. Les 4 protocoles de communication industrielle les plus utilisés. https://www.ip-systemes.com/les-4-protocoles-de-communication-industrielle-les-plus-utilises-dans-lindustrie.html

[30] IP Systèmes. Qu'est-ce que le Profibus ? https://www.ip-systemes.com/quest-ce-que-profibus-process-field-bus.html

[31] PLCVFD. Understanding OB in Siemens PLC. https://plcvfd.com/fr/understanding-ob-in-siemens-plc-a-comprehensive-guide/

[32] PLCVFD. Understanding Function Blocks in Siemens PLCs. https://plcvfd.com/fr/understanding-function-blocks-in-siemens-plc-a-comprehensive-guide/

[33] PLCVFD. Understanding Data Blocks (DBs) in Siemens PLCs. https://plcvfd.com/fr/understanding-data-blocks-dbs-in-siemens-plcs-a-comprehensive-guide/

[34] Siemens. Traitement des valeurs analogiques – S7-1500. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/094/67989094/att_57771/v1/s71500_analog_value_processing_manual_fr-FR_fr-FR.pdf

[35] Moodle Université Numérique. Cours en ligne. https://moodle.luniversitenumerique.fr/mod/page/view.php?id=1646&lang=en

[36] SmartFactory – Towards a factory-of-things. Annual Reviews in Control, vol. 34, issue 1, avril 2010, pages 129–138. Disponible sur : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367578810000143?via%3Dihub

[37] Beckhoff. Produits Beckhoff. https://www.beckhoff.com

[38] Beckhoff. TwinCAT Automation Software. https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/

[39] Algérie Eco. Sidérurgie: El Hadjar bénéficiera d'un plan de développement de 500 millions d'euros. https://www.algerie-eco.com/2024/02/04/siderurgie-el-hadjar-beneficiera-dun-plan-de-developpement-de-500-millions-deuros/