

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



المدرسة الوطنية متعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Automatique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique

Développement d'un système SCADA pour la supervision de deux stations de pompage à base du système KEPserverEX

Réalisé par :

M. BOUZID Osema

Sous la direction de M. El Madjid BERKOUK Pr.

Présenté et soutenu publiquement le 06 Juillet 2023

Composition du jury :

- | | | |
|--------------|----------------------|---------|
| - Président | M. Mohamed TADJINE | Pr. ENP |
| - Rapporteur | M. El Madjid BERKOUK | Pr. ENP |
| - Examineur | M. Omar STIHI | Pr. ENP |

ENP 2023

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique d'Alger



المدرسة الوطنية متعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Automatique

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique

Développement d'un système SCADA pour la supervision de deux stations de pompage à base du système KEPserverEX

Réalisé par :

M. BOUZID Osema

Sous la direction de M. El Madjid BERKOUK Pr.

Présenté et soutenu publiquement le 06 Juillet 2023

Composition du jury :

- | | | |
|--------------|----------------------|--------|
| - Président | M. Mohamed TADJINE | Pr.ENP |
| - Rapporteur | M. El Madjid BERKOUK | Pr.ENP |
| - Examineur | M. Omar STIHI | Pr.ENP |

ENP 2023

Remerciements

Je remercie Dieu le Tout Puissant de m'avoir accordé le courage, la santé, et la patience pendant les moments difficiles. Je remercie mon encadreur, **Monsieur El Madjid BERKOUK**, de m'avoir aidé dans mon travail et d'avoir été disponible pour moi.

Je remercie également les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail en acceptant de l'examiner.

Je remercie chaleureusement ma famille et tous mes amis pour leur soutien et leurs encouragements.

Je souhaite aussi remercier tous les enseignants de l'École Nationale Polytechnique d'Alger, particulièrement mes professeurs d'Automatique, pour la quantité et la qualité de savoir et de capacités intellectuelles qu'ils m'ont transmis durant ces trois années.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

ملخص

يتعلق مشروع نهاية الدراسة هذا بأتمتة محطتي ضخ المياه ، الأولى باستخدام "سيمنس الاس7-1200" وواجهة الإنسان والآلة " سيمنس السيمتيك كومفورت تي بي 900" للإشراف ، والمحطة الثانية باستخدام "بي أل سي لوفو سيمنس" والتواصل بين المحطتان عبر برنامج "كيب سرفر".

من خلال هذا المشروع ، سننظم عملنا خطوة بخطوة لتغطية جميع مراحل تصميم الأجهزة ، وتوليف التحكم في العمليات ، والتنفيذ على "تي آي إي بورتال نسخة 15.1" والإشراف من خلال "إتش إم آي" للمحطة الأولى. وبرنامج " لوفو سوفت كومفورت" لبرمجة المحطة الثانية ثم الإشراف على المحطة الثانية من خلال نفس "إتش إم آي" باستخدام برنامج كيب سرفر.

. **كلمات مفتاحية:** بي أل سي، إتش إم، الأتمتة، التحكم، تي آي إي بورتال نسخة 15.1، سيمنس، البرمجة، المحطة، لوفو سوفت. كومفورت، كيب سرفر.

Abstract

This end-of-study project concerns the automation of two water pumping stations, the first using the SIEMENS S7-1200 PLC and the SIEMENS SIMATIC Comfort TP900 man-machine interface for supervision, and the second station using the SIEMENS LOGO PLC and communication between the two stations via KEPserverEX software.

Through this project, we will organize our work step by step to cover all phases of hardware design, process control synthesis, implementation on TIA Portal V15.1 and supervision through the HMI for the first station. and LOGO Soft Comfort software to program the second station and then supervision of the second station through the same HMI using KEPserverEx software.

Keywords : PLC, Automation, HMI, Control, TIA Portal, SIEMENS, Station, OPC, KEPseverEX.

Résumé

Ce projet de fin d'étude concerne l'automatisation de deux stations de pompage d'eau, la première utilisant l'automate SIEMENS S7-1200 et l'interface homme-machine SIEMENS SIMATIC Comfort TP900 pour la supervision. et la seconde station utilisant l'automate SIEMENS LOGO et la communication entre les deux stations via le logiciel KEPserverEX.

À travers ce projet, Nous allons organiser notre travail étape par étape pour couvrir toutes les phases de la conception du matériel, de la synthèse du contrôle du processus, de l'implémentation sur TIA Portal V15.1 et de la supervision à travers l'IHM pour la première station. et le logiciel LOGO Soft Comfort pour programmer la deuxième station et ensuite la supervision de la deuxième station à travers la même IHM en utilisant le logiciel KEPserverEx.

Mots clés : API, Automatisation, IHM, Commande, TIA Portal V15.1, SIEMENS, Station, LOGO Soft Comfort, KEPserverEX.

Table des matières

Table des figures

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Introduction générale	13
1 Description du prototype de la station	14
1.1 Introduction	15
1.2 Description du prototype de la station de pompage	15
1.3 Schéma électrique de la station de pompage	16
1.4 Description de l'Automate utilisé S7-1200	17
1.4.1 Caractéristiques du plc s7-1200	18
1.4.2 Critères de choix de l'API et Modules d'Entrées/Sorties et Langage . . .	18
1.4.3 Manifestation d'état de l'automate	18
1.5 Le Module Analogique	19
1.5.1 Caractéristiques techniques	19
1.6 Présentation de l'interface HMI utilisée	21
1.6.1 Caractéristiques techniques	21
1.6.2 Interfaces	22
1.6.3 Avantages de la supervision	22
1.7 Présentation du variateur de vitesse ATV12H037M2	23
1.7.1 Caractéristiques et avantages	23
1.7.2 Critère de choix d'un variateur de vitesse	24
1.7.3 Programmation du variateur de vitesse schneider	25
1.8 Unite Pompe	25
1.8.1 Les différentes types de pompes	25
1.8.2 Motour Electrique	25
1.8.3 Les différentes types de Moteur :	26
1.8.4 Unité de pompage du prototype de la station	27
1.8.5 Caractéristiques techniques :	27
1.9 Alimentation Électrique (PSU)	28
1.9.1 Le rôle du bloc d'alimentation	28
1.9.2 Caractéristiques techniques	28
1.9.3 Critères de choix de l'alimentation industrielle (Power supply)	29
1.10 Disjoncteur	30
1.10.1 Caractéristiques techniques	30
1.10.2 Critères de choix d'un disjoncteur	30
1.11 Contacteur	31

1.11.1	Caractéristiques techniques	31
1.12	Les Relais de commande	32
1.12.1	Caractéristiques techniques	32
1.13	Conditionneur	33
1.14	Arduino	33
1.14.1	Rôle de la carte dans la station de pompage	33
1.14.2	Caractéristiques techniques	34
1.15	Capteur	34
1.15.1	Capteur de distance	35
1.15.2	Capteur de Débit	36
1.16	Electrovanne	36
1.16.1	Caractéristiques techniques	37
1.16.2	Vanne manuelle	38
1.17	Description Equipement de la deuxième station	38
1.18	Conclusion	39
2	Modélisation et Synthèse de commande	40
2.1	Introduction	41
2.2	Modélisation mathématique	41
2.2.1	Représentation d'État du modèle mathématique	42
2.2.2	Fonction de transfert et synthèse de la commande linéaire	42
2.2.3	Synthèse du correcteur en mode glissant	45
2.3	Synthèse de la commande Backstepping	45
2.4	Simulation et interprétation des résultats	46
2.4.1	Simulation avec correcteur PI	46
2.4.2	Simulation avec correcteur en mode glissant(Sliding Mode)	49
2.4.3	Simulation avec correcteur Backstepping	50
2.5	Conclusion	53
3	Communication et réseaux industriels	54
3.1	Introduction	55
3.2	Historique	55
3.3	SIMATIC NET	55
3.4	Critères de choix d'un réseau industriel	56
3.5	Topologies de réseaux	56
3.5.1	Connexion point à point	56
3.5.2	Topologie linéaire / en bus	56
3.5.3	Topologie en anneau	57
3.5.4	Topologie en étoile	57
3.5.5	Topologie en arbre	58
3.6	Protocoles de communication d'un réseau local industriel	58
3.6.1	Le Profinet	60
3.7	Introduction à OPC	62
3.7.1	Open Platform Communications OPC	62
3.7.2	La différence entre OPC classique et OPC-UA :	63
3.7.3	L'architecture d'un réseau fonctionnant avec le standard OPC	63
3.7.4	Kepserver	63
3.7.5	Historique	64
3.7.6	Avantages du KEPserverEX	64
3.7.7	Options du serveur OPC KEPServerEX	65

3.7.8	Autre produits de KEPServerEx	65
3.8	Conclusion	66
4	Programmation et supervision	67
4.1	Introduction	68
4.2	GRAFCEt	69
4.3	Cahiers de Charges	69
4.3.1	Cahiers de charges I :Mode de fonctionnement automatique	69
4.3.2	Cahiers de charges II : Mode de fonctionnement cyclique	70
4.4	Mise en œuvre des spécifications sur TIA Portal	71
4.4.1	Programme de l'API	71
4.4.2	Programme de l'IHM	76
4.4.3	Archivage des données	80
4.5	Connecter API S7 1200 avec Kepsrver	81
4.5.1	Configuration TIA	81
4.5.2	Configuration Kepsrver	82
4.6	Communication entre API S7 1200 et API LOGO via KEPserverEX	87
4.6.1	Configuration LOGO Soft Comfort	87
4.6.2	Configuration TIA portal	88
4.6.3	Configuration KEPserverEX	90
4.7	Conclusion	93
	Conclusion et perspectives	94
	Bibliographie	95
A	TiaPortal	100
A.1	Introduction	100
A.2	Présentation de TIA Portal V15	100
A.3	Traitement des programmes	101
A.3.1	Traitement linéaire du programme	101
A.3.2	Traitement structuré du programme	101
A.4	Création d'un nouveau projet sur TIA PORTAL	102
A.4.1	Application de la supervision	112
B	PLC, IHM, Variateur de vitesse	116
B.1	Raccordement des API	116
B.2	Raccordement du PC de configuration à un Basic Panel avec interface PROFINET	117
B.3	Raccordement d'un automate à un Basic Panel avec interface PROFINET . . .	117
B.4	Câblage Variateur de vitesse	118
C	KEPserverEX	119
C.1	Introduction	119
C.2	Interface de KepsrverEX	119
C.3	Création des canaux	121
C.4	Créer des alarmes et des événements	125
C.5	Crée un enregistreur de données "Data Logger"	127
D	Prespectives	130

Table des figures

1.1	Schéma électrique de la station	16
1.2	Le prototype de la première station	17
1.3	L'automate programmable S7-1200	17
1.4	Module de sorties analogiques SM 1232 (Réf : 6ES7232-4HD32-0XB0)	20
1.5	Schéma de câblage du SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7232-4HD32-0XB0)	20
1.6	HMI	21
1.7	Interfaces	22
1.8	Variateur de vitesse Schneider ATV12H037M2	23
1.9	Constitution d'une pompe centrifuge	26
1.10	Unité de pompage LEO APm37	27
1.11	Alimentation SITOP PSU100S - Réf : 6EP1334-2BA20	29
1.12	Disjoncteur bipolaire ECB3.BP.25	30
1.13	Contacteur SIEMENS 3RT2016-1BB41	31
1.14	Schéma électrique du contacteur SIEMENS 3RT2016-1BB41	32
1.15	Relais de commande	33
1.16	Schéma électrique du Relais	33
1.17	Carte Arduino UNO	34
1.18	Filtre Passe-Bas	34
1.19	Capteur de distance UM18-51111	35
1.20	Schéma de raccordement	35
1.21	Capteur de débit UM18-51111	36
1.22	Electrovanne	37
1.23	Composants d'une électrovanne	37
1.24	Vanne manuel	38
1.25	Le prototype de la deuxième station	38
2.1	Réponse indicielle du système non-corrigé	44
2.2	Schéma bloc du système en BF avec contrôleur PI	46
2.3	Réponse de la FTBF à une consigne	47
2.4	Réponse du système non-linéaire à une consigne	48
2.5	Réponse du système corrigé avec perturbation ($\alpha = 35\%$)	48
2.6	Réponse du système corrigé avec perturbation ($\alpha = 65\%$)	48
2.7	Schéma bloc du système en BF avec contrôleur MG	49
2.8	Réponse à un point de consigne du système avec le correcteur MG	49
2.9	Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 35\%$)	50
2.10	Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 65\%$)	50
2.11	Schéma bloc du système en BF avec contrôleur BS	51
2.12	Reponse à un point de consigne du système avec le correcteur BS	51
2.13	Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 35\%$)	52
2.14	Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 65\%$)	52

3.1	Connexion point à point	56
3.2	Topologie linéaire / en bus	57
3.3	Topologie en anneau	57
3.4	Topologie en étoile	58
3.5	Topologie en arbre	58
3.6	Architecture d'un réseau local industriel	60
3.7	SIEMENS PROFINET	60
3.8	Connecteurs PROFINET	61
3.9	Open Platform Communications OPC	62
3.10	KEPserverEX (Serveur OPC)	64
4.1	Image représentative de la station de pompage	68
4.2	GRAFCET décrivant le Cahier de Charges I	70
4.3	GRAFCET décrivant le Cahier de Charges II	71
4.4	Fonction de limitation	72
4.5	Fonction d'initialisation	72
4.6	Fonction PI	73
4.7	Fonction SMC	73
4.8	Fonction BS	73
4.9	Fonction de tolérance	74
4.10	Fonction Scale	74
4.11	Fonction Unscale	74
4.12	Fonction (FC) - Cahier de charges I	75
4.13	Bloc Fonctionnel - Cahier de charges II	75
4.14	Bloc de Données	75
4.15	Vue principale de l'IHM	76
4.16	Vue GRAFCET I de l'IHM	77
4.17	Vue GRAFCET II de l'IHM	77
4.18	Vue Contrôle de l'IHM	78
4.19	Vue Station-1 de l'IHM	78
4.20	Vue de l'équipement de la station -1	79
4.21	Vue Alarmes de l'IHM	79
4.22	Vue recettes	80
4.23	Propriété PLC	81
4.24	Configuration TIA Portal	81
4.25	Ajouter un canal partie 1	82
4.26	Ajouter un canal partie 2	83
4.27	Sélectionner réseau	83
4.28	Ajouter un dispositif	84
4.29	Définir l'adresse IP de l'automate	84
4.30	Créer des variables	85
4.31	Variables créées	86
4.32	Visualiser les variables du système	86
4.33	GRAFCET décrivant le Cahier de Charges	88
4.34	Variables créées dans l'API S7-1214	88
4.35	Vue Station-2 de l'IHM	89
4.36	Vue du Grafcet	89
4.37	Vue d'équipement	90
4.38	Les variables du système créée dans LOGO	90
4.39	Les variables système créées dans S7-1214	91

4.40	Créer un "Link Tag" (étiquette de lien)	92
4.41	Variables créées dans "Advanced Tags"	92
4.42	La communication entre les deux stations	93
A.1	Traitement linéaire du programme	101
A.2	Traitement structuré du programme	102
A.3	Vue du Portail	103
A.4	Vue du Projet	103
A.5	Création d'un projet	104
A.6	Configuration d'un appareil	104
A.7	Ajouter un module supplémentaire	105
A.8	Adressage des E/S	106
A.9	Table des variables API	106
A.10	Propriétés API	107
A.11	Adresse Ethernet de la CPU	107
A.12	Blocs Organisationnels	108
A.13	Insertion De Blocs	109
A.14	Insertion De Blocs	109
A.15	Blocs créés	110
A.16	Bloc_FC	110
A.17	Appel du bloc FC	111
A.18	Charger dans l'automate	111
A.19	Charger dans l'automate	112
A.20	Création de la liaison API-IHM	112
A.21	Application de la supervision	113
A.22	Variables HMI	113
A.23	Vues de l'IHM	114
A.24	Alarmes IHM	115
B.1	Raccordement l'atomate Siemens S7-1214C DC/DC/DC	116
B.2	interfaces	117
B.3	Interfaces	118
B.4	Câblage Variateur de vitesse	118
C.1	Interface de projet de KepserverEX	121
C.2	Insérer un nouveau canal	121
C.3	Paramètres du canal	122
C.4	Canal DDE	122
C.5	Déclaration variable excel dans KepserverEX	123
C.6	Canal LOGO!	124
C.7	Compabilité des adresses	124
C.8	Ajouter une zone "Add Area"	125
C.9	Ajouter une source "Add Source"	125
C.10	Ajouter une condition "Add condition"	126
C.11	Définir la description et le message	126
C.12	Définir la limite de la marge "HI-HI"	127
C.13	Définir la limite de la marge "LO-LO"	127
C.14	Paramètre de l'enregistreur de données	128
C.15	Ajouter un élément d'étiquetage "Add tag item"	128
C.16	Les variables qui seront enregistrées.	129

Liste des abréviations

API	Automate Programmable Industriel
PLC	Programable Logic Controller
IHM	Interface Homme Machine
HMI	Human Machine Interface
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisitio
CPU	Unité centrale de l'automate (Central processing unit)
AI	Analog Input
AO	Analog Output
DI	Digital Input
DO	Digital Output
E/S	Entrée/Sortie
TOR	Tout Ou Rien
PSU	Power Supply Unit
MAS	Moteur/Machine ASynchrone
P	Pompe
IP	Indice de protection :
AC	Alternating Current
DC	Direct Current
BF	Boucle Fermée
BO	Boucle Ouverte
FT	Function de Transfert
FTBF	Function de Transfert en Boucle Fermée
FTBO	Function de Transfert en Boucle Ouverte
PID	Proportion Intégrale Dérivée

SMC	Sliding Mode Controller
MG	Mode Glissant
PWM	Pulse Width Modulation
MLI	Modulation de la Largeur d'Impulsion
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
OB	Organization Block
DB	Data Bloc
FB	Function Block
FC	Function
C	Counter/Compteur
EV	Electro-Vanne
INCR	Incrémentation
INIT	Initialisation
M	Mnémonique
NIV	Niveau
RAZ	Remise A Zéro
REF	Reference
S/R	Set/Reset
T	Time/Temps
VAR	Variable

Liste des tableaux

1.1	Les différentes manifestations d'état de l'automate	19
1.2	Brochage pour le SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7232-4HD32-0XB0)	21
2.1	Table significative des paramètres	42
2.2	Les gains du correcteur PI	44

Introduction générale

L'automatisation est une discipline scientifique et technologique qui permet de contrôler des tâches techniques à l'aide de machines. Ces machines peuvent fonctionner sans intervention humaine ou avec une intervention réduite. L'automatisation s'est banalisée dans tous les domaines de la production, qu'il s'agisse de l'industrie ou des services. Son développement constant vise à réduire la pénibilité du travail humain et à améliorer la productivité et la qualité des produits, quelles que soient les techniques et les applications utilisées.

L'objectif du travail est de réaliser une étude du système de la station de pompage basée sur des automates programmables de la gamme Siemens S7-1200 tout en assurant la qualité du produit. L'objectif principal est d'assurer le bon fonctionnement du système. Le choix initial de ce type d'application a été de comprendre l'état de l'art du système, puis de réaliser une étude technique de son fonctionnement. Le travail consiste à utiliser un automate programmable pour contrôler les systèmes automatisés utilisés pour les travaux pratiques.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

Ce projet porte sur l'étude d'une station de pompage d'eau.

Le premier chapitre est consacré à la description des équipements présents dans la station de pompage, y compris les équipements hydrauliques et électriques, les appareils de mesure et les capteurs, ainsi que les systèmes de contrôle et de surveillance. L'étude de ces composants a pour but d'obtenir une compréhension technique approfondie de l'équipement de la station de pompage et de démontrer leur importance pour son bon fonctionnement.

Le deuxième chapitre est consacré au développement de l'étude simulée de la station de pompage. Son objectif principal est d'établir le modèle mathématique nécessaire pour réaliser la synthèse de contrôle. Cette synthèse de contrôle sera ensuite utilisée pour simuler l'action de pompage et régler le niveau d'eau.

Le troisième chapitre comprend une explication sur la communication industrielle et l'OPC (Open Platform Communication). La communication industrielle se réfère aux systèmes de communication utilisés dans les environnements industriels pour échanger des données entre les équipements et les systèmes de contrôle.

Le quatrième chapitre se concentre sur l'élaboration des spécifications pour les deux stations de pompage, leur implémentation dans le logiciel de programmation et la création des interfaces de supervision et de contrôle. Enfin, des simulations et des tests logiciels ont été réalisés directement sur l'objet de notre étude.

Le projet de fin d'étude se termine par une conclusion générale, qui évalue dans quelle mesure l'étude a atteint ses objectifs.

Chapitre 1

Description du prototype de la station

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons en détail les composants utilisés pour construire le prototype didactique de la station de pompage. Nous expliquerons également comment ces appareils sont reliés entre eux pour assurer le fonctionnement spécifique de la station.

1.2 Description du prototype de la station de pompage

Les stations de pompage sont des équipements essentiels pour l'extraction de fluides tels que l'eau ou le pétrole. Elles ont pour but d'alimenter en eau les canaux, de drainer les zones basses, d'évacuer les eaux usées et de transférer les fluides vers les sites de traitement. L'utilisation de ces stations est donc cruciale dans de nombreux secteurs, tels que l'agriculture, l'industrie et l'assainissement. La construction d'une station de pompage nécessite l'utilisation de différents matériaux et équipements tels que des pompes, des tuyaux, des vannes, des réservoirs, des moteurs et des systèmes de contrôle. Il est également important de prendre en compte la synergie entre ces différents équipements et la manière dont ils sont connectés pour assurer un fonctionnement optimal de la station.

La station de pompage se compose principalement d'une pompe reliée à un moteur électrique, généralement à courant alternatif asynchrone monophasé ou triphasé. La fonction de la pompe est de fournir de l'énergie hydraulique au fluide, lui permettant de se déplacer d'un point A à un point B à une vitesse donnée. La pompe est caractérisée par une puissance P et un débit maximum Q .

La station de pompage objet de l'étude est équipée de deux réservoirs d'eau : le premier, situé en position basse et appelé "réservoir A", contient l'eau à pomper par la pompe. Le second, situé en position haute et appelé "réservoir B", reçoit l'eau du réservoir A. Les deux réservoirs sont caractérisés par leur capacité de rétention maximale exprimée en volume et leur surface rectangulaire.

Des tuyaux cylindriques relient la pompe aux deux réservoirs, et la mobilité de l'eau ainsi que son déplacement entre les réservoirs sont contrôlés par deux électrovannes. En outre, une vanne manuelle assure le retour de l'eau du réservoir B vers le réservoir A. Cette configuration permet de contrôler le débit de l'eau et d'assurer un transfert efficace du fluide d'un réservoir à l'autre.

Enfin, la station de pompage est équipée d'un ensemble de dispositifs dédiés à l'instrumentation, tels qu'un débitmètre et un capteur de niveau. Ces dispositifs sont utilisés pour mesurer et contrôler les grandeurs physiques qui peuvent varier, tels que le débit et le niveau de l'eau.

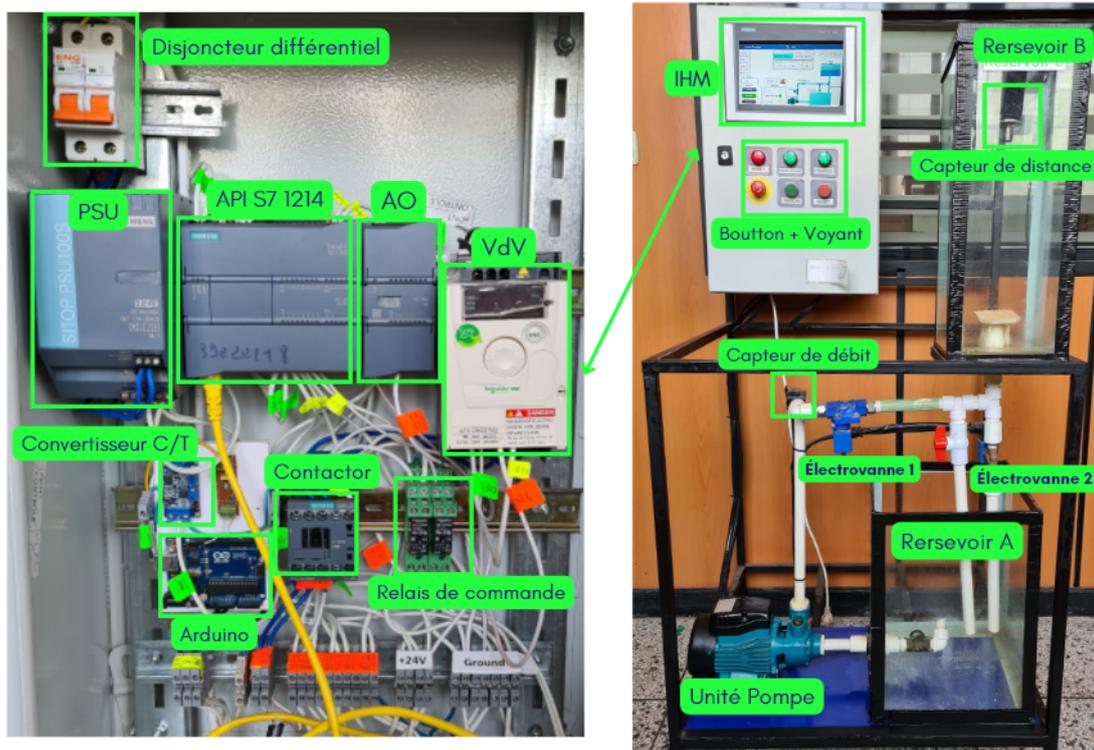


FIGURE 1.2 – Le prototype de la première station

1.4 Description de l'Automate utilisé S7-1200

Le contrôleur S7-1200 offre la souplesse et la puissance nécessaires pour commander une large gamme d'appareils afin de répondre à vos besoins en matière d'automatisation. Sa forme compacte, sa configuration souple et son important jeu d'instructions en font une solution idéale pour la commande d'applications très variées.

La CPU combine un microprocesseur, une alimentation intégrée, des circuits d'entrée et de sortie, un interface PROFINET intégré, des E/S rapides de commande de mouvement, ainsi que des entrées analogiques intégrées dans un boîtier compact en vue de créer un contrôleur puissant.[1]



FIGURE 1.3 – L'automate programmable S7-1200

1.4.1 Caractéristiques du plc s7-1200

- **Conception modulaire et flexible** avec des platines d'extension, des modules d'E/S, des modules de communication, une installation facile et des borniers amovibles, le tout avec un encombrement minimal.
- **Une communication industrielle rapide, simple et flexible** grâce à une interface **PROFINET** intégrée, une communication rapide sur le bus de terrain, une mise en réseau aisée, une communication avec d'autres automates et terminaux **IHM** ainsi qu'avec d'autres appareils.
- **Une technologie intégrée** avec des entrées rapides pour les fonctions de comptage et de mesure, des blocs fonctionnels de Motion Control selon PLCopen, une fonctionnalité **PID** pour les boucles de régulation fermées et un panneau de commande.[1]

1.4.2 Critères de choix de l'API et Modules d'Entrées/Sorties et Langage

Les critères de choix essentiels d'un automate programmable industriel sont :

- Le nombre et la nature des E/S .
- Les capacités de traitement du processeur (vitesse, données, opérations, temps réel...)
- Fonctions ou modules spéciaux
- Les moyens de dialogue et le langage de programmation ;
- La communication avec les autres systèmes.
- Les moyens de sauvegarde du programme.
- La fiabilité, robustesse, immunité aux parasites.
- La documentation, le service après-vente, durée de la garantie, la formation
- Choix de la marque ou d'un fournisseur d'automate et leur disponibilité de pièces de rechange. [2]

Les critères de choix des modules Entrées/ Sorties sont :

- Le type et la valeur de la tension d'entrée ou de sortie.
- Le nombre de voies.
- Le type d'entrée ou de sortie (sonde, thermocouple, électrovanne...).

Les critères de choix d'un langage de programmation sont :

- **Les éléments techniques** : la maîtrise des codes et l'adaptation aux besoins opérationnels.
- **Les éléments extra-techniques** : l'automaticien veille sur la qualification des équipements et la validation des procédés.

1.4.3 Manifestation d'état de l'automate

Pour détecter les défauts d'un automate, il est possible de se référer aux indicateurs de fonctionnement ou d'arrêt qui sont présentés dans le tableau suivant :

Sélecteur de mode de l'automate

- **RUN-P** :lancer l'exécution de programme par lecture bidirectionnelle de PG ou PC vers CPU ou le contraire.
- **RUN** : lancer l'exécution de programme par lecture seulement avec PG ou PC.
- **STOP** : arrêter l'exécution de programme.
- **MRES** : effacer le programme (Module Reset)

LED	Couleur	Signification
SF	Rouge	Erreur matérielle ou logicielle
MAINT	Jaune	Demande de maintenance
DC5V	Vert	Alimentation CPU et Bus automate OK
FRCE	Jaune	LED allumée : mode forçage activé LED clignote à 2 Hz : fonction de test
RUN	Vert	Allumage continu en mode Run La LED clignote pendant le démarrage à une fréquence de 2 Hz, et en mode d'arrêt à 0,5 Hz
STOP	Jaune	Allumage continu en mode Stop La LED clignote à une fréquence de 0,5 Hz lorsque l'utilisateur demande un reset ou effacement de la carte mémoire MMC et à 2 Hz pendant le Reset ou l'effacement de la MMC

TABLE 1.1 – Les différentes manifestations d'état de l'automate
[4]

1.5 Le Module Analogique

Le module SM 1232 - 6ES7232-4HD32-0XB0 est un module de sorties analogiques faisant partie de la gamme de Siemens SIMATIC S7-1200. Ce module permet d'ajouter 4 sorties analogiques de courant ou de tension

1.5.1 Caractéristiques techniques

- Type d'accessoire Module E/S pour automate
- Pour être utilisé avec Série SIMATIC S7-1200
- Type d'entrée Analogique
- Type de sortie Analogique
- Série SM 1232
- Gamme SIMATIC
- Tension d'alimentation 24 V
- Puissance dissipée 1,5 W
- Longueur du câble 100 m
- Température d'utilisation maximum +60 C°
- L'indice de protection IP20

Les plages de sortie des courants et tensions sont les suivantes :

- -10V à +10V pour les tensions et 0 mA à 20 mA pour les courants. Le module dispose également d'une résolution avec dépassement de domaine de 14 bits pour les tensions et de 13 bits pour les courants.



FIGURE 1.4 – Module de sorties analogiques SM 1232 (Réf : 6ES7232-4HD32-0XB0)
[5]

Câblage du module de sortie analogique

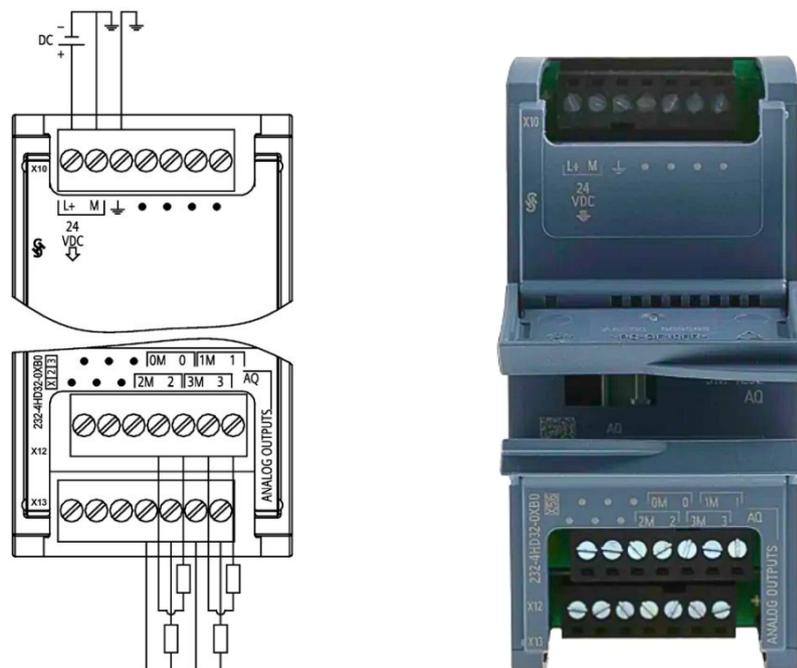


FIGURE 1.5 – Schéma de câblage du SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7232-4HD32-0XB0)

Broche	X10 (or)	X12 (or)	X13 (or)
1	L+/24 V CC	Pas de connexion	Pas de connexion
2	M/24 V CC	Pas de connexion	Pas de connexion
3	Terre fonctionnelle	Pas de connexion	Pas de connexion
4	Pas de connexion	AQ 0M	AQ 2M
5	Pas de connexion	AQ 0	AQ 2
6	Pas de connexion	AQ 1M	AQ 3M
7	Pas de connexion	AQ 1	AQ 3

TABLE 1.2 – Brochage pour le SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7232-4HD32-0XB0)
[6]

1.6 Présentation de l'interface HMI utilisée

Une interface homme-machine simplifie les processus complexes dans la fabrication, l'entreposage, la logistique et d'autres activités. L'IHM de Siemens intègre du matériel et des logiciels dans les systèmes d'automatisation de diverses industries, contribuant ainsi à rendre ces systèmes plus efficaces. Un système IHM de visualisation donne aux utilisateurs un accès instantané aux informations pertinentes, ce qui leur permet de prendre les mesures qui s'imposent. Chaque système IHM est personnalisé pour répondre aux exigences d'une entreprise spécifique, en tenant compte de considérations telles que la taille, la capacité et la production. Les systèmes IHM de Siemens fournissent une interface de visualisation et du contrôle entre un utilisateur et un processus. Ce processus implique des machines, des applications ou des appareils au sein d'une industrie donnée. L'IHM fournit également des informations permettant à l'utilisateur de surveiller, de gérer des applications, de contrôler et de diagnostiquer certains aspects du processus.



FIGURE 1.6 – HMI

1.6.1 Caractéristiques techniques

HMI à écran tactile Siemens TP900 - 6AV2124-JC01-0AX0

Cette IHM de Siemens facilite la surveillance de vos systèmes. Sa technologie TFT vous offre une interface tactile intuitive pour un contrôle simple des tâches automatisées, tandis que

son grand écran de 9 pouces vous permet de disposer de beaucoup d'espace pour lire et analyser les informations graphiques. Il est doté d'une résolution d'image de 800 x 480 pixels, ce qui vous donne une image claire même avec des données compliquées. Ce dispositif est fourni avec le logiciel HMI qui exécute toutes les fonctions de programmation de base, ce qui facilite l'amélioration de l'efficacité de votre matériel. Il est doté d'un écran rétroéclairé entièrement réglable pour régler sa luminosité pour une clarté maximale dans les espaces de travail clairs et sombres.

- **La mémoire intégrée de 12 Mo** traite facilement vos commandes pour un contrôle rapide de la machine. Les diagnostics automatiques du système facilitent le contrôle des dysfonctionnements et prennent en charge jusqu'à 16 millions de couleurs pour une image détaillée
 - Se connecte aux claviers et souris externes via **USB** pour une interface utilisateur pratique
- Système d'exploitation préinstallé pour un démarrage rapide et simple. [7]

1.6.2 Interfaces

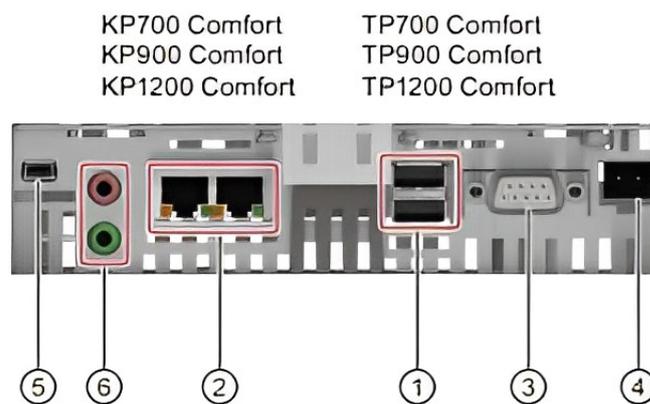


FIGURE 1.7 – Interfaces
[8]

- 1 USB type A Les appareils précédents MP 277 8" et MP 277 10" disposent de deux USB type A
- 2 PROFINET (100 MB Ethernet)
- 3 PROFIBUS (Sub-D RS 422/485)
- 4 Mains
- 5 USB type mini B
- 6 Audio Line IN / OUT

1.6.3 Avantages de la supervision

Un système de supervision donne de l'aide à l'opérateur dans la conduite du processus. Son but est de présenter à l'opérateur des résultats expliqués et interprétés. Les avantages principaux de la supervision sont :

- **Surveillance à distance du processus** : grâce à la supervision, il est possible de surveiller à distance le fonctionnement du processus, ce qui permet une gestion plus efficace et une intervention rapide en cas de problème.

- **Détection des défauts** : La supervision permet de détecter rapidement les défauts et les anomalies, ce qui permet d'intervenir rapidement pour minimiser les pertes et les coûts.
- **Diagnostic et gestion des alarmes** : La supervision permet de diagnostiquer les problèmes et d'envoyer des alarmes pour signaler les situations critiques. Les opérateurs peuvent alors prendre les mesures nécessaires pour corriger les problèmes.
- **Traitement des données** : La supervision permet de collecter et de traiter des données sur le processus, ce qui peut contribuer à optimiser les performances et à réduire les coûts de production. Les données peuvent également être utilisées pour améliorer le processus et prévoir les problèmes potentiels.

1.7 Présentation du variateur de vitesse ATV12H037M2

Le variateur de vitesse ATV12 est un petit produit discret conçu pour répondre aux besoins de contrôle de la vitesse des pompes, des ventilateurs et des compresseurs dans les applications industrielles et grand public. Il est équipé d'un dissipateur thermique de 0,37 kW, 240 V monophasé. Ce variateur est particulièrement adapté à une utilisation en armoire.

Il est destiné aux fabricants de machines et d'appareils industriels ou commerciaux simples, tels que les convoyeurs, les pompes, les extracteurs, les barrières d'accès et les bandes transporteuses. Sa qualité d'entraînement lui permet également d'être utilisé dans des applications exigeantes et intensives, telles que les portails automatiques, les bandes transporteuses et les robots de cuisine.

L'ATV12 intègre les fonctions essentielles pour les machines simples, telles que le PID, les vitesses préréglées, le contrôle des pompes et la liaison ModBus. La configuration, le contrôle et le diagnostic du produit sont possibles directement dans les logiciels SoMachine et SoMove.[10]



FIGURE 1.8 – Variateur de vitesse Schneider ATV12H037M2

1.7.1 Caractéristiques et avantages

- Régulation de vitesse pour petites machines avec moteurs asynchrones triphasés.

- Entrée : monophasée, 200...240 VAC , 50/60 Hz.
- Sortie : triphasée, 200...240 VAC , 0.5...400 Hz.
- Indice de protection : IP 20.
- Panneau frontal recouvert, avec bouton de navigation, également utilisé pour l'entrée de paramètres.
- Démarrage rapide avec "Plug & Drive", préréglage pour les applications courantes.
- Peut être configuré avec la mise hors tension pour une meilleure sécurité sur le lieu de travail
- Filtre CEM (compatibilité électromagnétique) intégré, permettant de fonctionner à proximité d'autres dispositifs sans interférence La liaison série Modbus universelle intégrée offre une communication facile avec d'autres pièces de machine
- Ce variateur de vitesse permet d'économiser jusqu'à 30% de la consommation d'énergie dans la plupart des applications industrielles.

- Ce variateur de vitesse comprend un dissipateur thermique qui transfère la chaleur loin de l'appareil, régulant automatiquement sa température. [11]

1.7.2 Critère de choix d'un variateur de vitesse

- **Alimentation** : Il faut définir l'alimentation disponible sur l'installation. Les plus courantes sont le 220V monophasé (réseau domestiques) et le 380V triphasé (réseau industrielle). Il existe aussi d'autres tensions pour l'export mais aussi sur certains sites industriels comme par exemple le 220V triphasés
- **Puissance** : Il faut connaître la puissance du moteur à 50Hz afin de déterminer celle du variateur de fréquence. En pratique, il faut choisir un puissance de variateur de fréquence supérieure ou égale à celle du moteur. Par exemple, pour un moteur 0.3kW on choisira un variateur de fréquence de 0.4kw (la vitesse du moteur n'a pas d'importance).
- **L'indice de protection IP** : En général, vous devez prévoir de mettre les variateurs IP20 dans une armoire électrique bien ventilée à l'abris des poussières et de l'eau. Ce n'est pas le cas pour les variateurs IP66. Le surcoût de ces produits est largement justifié si vous n'utiliser qu'un variateur dans la mesure ou il n'y a plus d'armoire à acheter et à câbler.
- **Communication** : Il est important de déterminer si votre lecteur est destiné à travailler seul ou en collaboration. L'adoption généralisée de Factories 4.0 peut justifier l'achat d'une version communicante même si le besoin ne se fait pas sentir au moment du projet. Cela permettra d'économiser des coûts par la suite. Un variateur offrant des fonctions MODBUS permet de piloter tous les paramètres du moteur via un automate, lui-même relié à des systèmes de supervision. De plus, ces versions plus sophistiquées offrent parfois des entrées/sorties supplémentaires et des possibilités de programmation (recopie de paramètres).
- **Énergie dissipée freinage** : Si le variateur est destiné à contrôler précisément un moteur entraînant une charge avec une forte inertie il faut prévoir un modèle avec un module de freinage intégré. Il faudra ensuite vous procurer une résistance de freinage externe qui permettra de dissiper l'énergie restituée par la charge en phase de décélération.
- **Entrées /Sorties** : Si vous avez décidé que le variateur fonctionnera seul, il faut s'as-

surer que ses entrées-sorties répondent aux besoins de votre installation.[13]

1.7.3 Programmation du variateur de vitesse schneider

Il est possible de configurer le contrôleur de vitesse ATV schneider de 2 manières différentes :

- Programmation manuelle
- Programmation par logiciel SoMove schneider [14].

1.8 Unite Pompe

la pompe est un équipement qui permet de transférer de l'énergie à un fluide pour le déplacer d'un point à un autre dans un réseau hydraulique. Elle peut être utilisée pour pomper de l'eau, des produits chimiques, du pétrole, des gaz, ou tout autre fluide. Les pompes peuvent être de différents types, tels que les pompes centrifuges, les pompes à engrenages, les pompes à pistons, et les pompes à membrane. Chacun de ces types de pompes a des caractéristiques et des applications spécifiques en fonction des besoins du système hydraulique dans lequel elle est utilisée [15].

1.8.1 Les différentes types de pompes

Il existe deux grandes catégories de systèmes de pompage qui diffèrent selon l'utilisation que l'on souhaite en faire, laquelle sera déterminée par les processus fluidiques.

- Si l'on veut augmenter **la pression** P d'un fluide, il faut se tourner vers les pompes volumétriques, dont le débit résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide.
- Si l'on veut augmenter **le débit** Q , on utilisera des pompes centrifuges. Dans ce cas, le mouvement du liquide résulte de l'augmentation de l'énergie qui lui est communiquée par la force centrifuge.

Les pompes volumétriques : (à piston, à vis, à diaphragme, à engrenage, ...) Exemple d'utilisation : pompes doseuses des réactifs.

Pompe centrifuge : Il s'agit du type de pompe industrielle le plus courant. La pompe centrifuge est une machine rotative qui, au moyen d'un rotor à pales, augmente l'énergie cinétique E_c et projette le liquide à la périphérie sur la volute grâce à la force centrifuge. Une grande partie de l'énergie cinétique E_c est convertie en pression d'entraînement à la sortie au moyen d'un déviateur [16].

Constitution d'une pompe centrifuge

1.8.2 Moteur Electrique

Un moteur électrique est capable de convertir l'énergie électrique en énergie mécanique disponible sous forme de mouvement rotatif sur un axe appelé arbre. Cette énergie peut être utilisée pour faire fonctionner divers appareils tels que des perceuses, des robots ménagers ou des véhicules électriques. En outre, le moteur électrique est également réversible, ce qui signifie

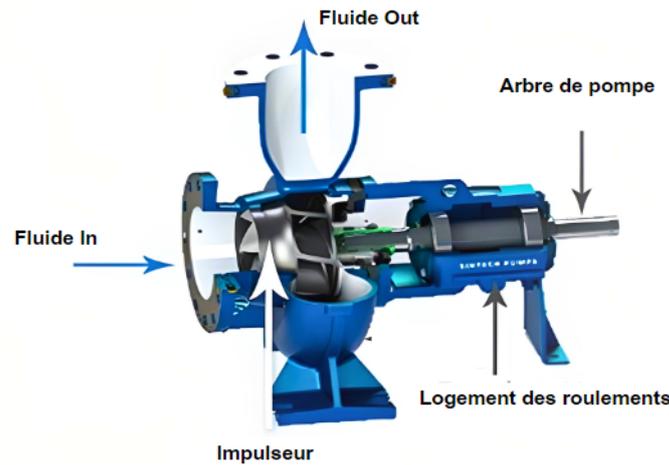


FIGURE 1.9 – Constitution d'une pompe centrifuge

qu'il peut être utilisé comme alternateur lorsque son arbre est tourné manuellement, produisant ainsi de l'électricité. Cette capacité de réversibilité est exploitée dans les véhicules électriques lorsque le freinage par récupération est utilisé pour faire tourner les roues, qui à leur tour entraînent le moteur et rechargent les batteries [17].

1.8.3 Les différents types de Moteur :

- Moteur à courant continu
- Moteur pas à pas
- Moteur linéaire
- Moteur à courant alternatif

Il existe trois types de moteurs à courant alternatif :

- les moteurs universels .
- les moteurs synchrones .
- les moteurs asynchrones.

Les motour les plus utilisées dans la domaine industerielles **les moteurs asynchrones**.

Moteur Asynchrones

un moteur asynchrone est constitué d'un rotor métallique (élément mobile rotatif) placé à proximité d'un stator (élément immobile créant un champ magnétique lorsqu'il est traversé par le courant). Le champ magnétique généré par le stator entraîne la création d'un champ magnétique opposé par le rotor. C'est ce phénomène "d'aimants placés l'un en face de l'autre" qui permet la mise en mouvement d'un arbre traversant des roulements fixés au rotor (technologie de moteur à induction). Des condensateurs de démarrage permettent de modifier le sens de rotation et des dispositifs électroniques peuvent être associés aux moteurs asynchrones afin de faire varier leur vitesse [18].

Caractéristique De Moteur Asynchrone

Le moteur asynchrone est en effet une technologie très avancée qui offre une multitude d'avantages pour divers secteurs industriels.

Ces moteurs sont connus pour leur fiabilité, leur efficacité énergétique, leur polyvalence et leur longue durée de vie. Ils peuvent fonctionner dans des environnements exigeants avec des contraintes mécaniques, environnementales et réglementaires. Grâce à leur robustesse, ils sont également idéaux pour la maintenance préventive de **l'industrie 4.0**, ce qui permet de réduire les coûts d'exploitation. Il existe différents types de moteurs asynchrones, chacun adapté à des applications spécifiques. En général, les moteurs asynchrones sont utilisés pour des applications telles que les pompes, les ventilateurs, les compresseurs et les convoyeurs.[19]

1.8.4 Unité de pompage du prototype de la station



FIGURE 1.10 – Unité de pompage LEO APm37
 . [21]

1.8.5 Caractéristiques techniques :

Moteur – PUISSANCE : 0.37 kW / 0.5 HP

- Moteur monophasé avec protecteur thermique intégré
- Classe d'isolation : F
- Indice de protection : IPX4
- Température ambiante max : + 40 °C

Pompe

- Support et corps de pompe en fonte antirouille
- Impulseur équipé de système anti-bloc

- Impulseur en laiton
- Arbre AISI 304
- Température max du liquide : + 40 °C
- Aspiration maximale : +8 m [20] .

1.9 Alimentation Électrique (PSU)

L'alimentation d'un automate est un dispositif électrique dont la fonction est de convertir la tension du réseau en différentes tensions continues adaptées aux circuits électroniques de l'automate.

Il existe différents types d'alimentation, notamment

- Les alimentations AC/DC : Elles convertissent la tension CA (courant alternatif) provenant d'une prise électrique en tension CC (courant continu) adaptée à l'alimentation des appareils électroniques.
- les convertisseurs DC/DC : Ils convertissent un niveau de tension continue en un autre, par exemple en augmentant ou en diminuant les niveaux de tension pour répondre aux exigences spécifiques des appareils électroniques.
- Alimentations linéaires : Elles convertissent la tension alternative provenant d'une prise électrique en une tension continue plus faible adaptée à l'alimentation des appareils électroniques. Elles sont simples et fiables, mais ne sont pas aussi efficaces que d'autres types d'alimentation.
- Alimentations à découpage : Elles sont plus efficaces que les alimentations linéaires car elles utilisent un régulateur de commutation pour réguler la tension de sortie.
- Alimentations sans interruption (ASI) : Elles fournissent une alimentation de secours en cas de panne de courant ou d'autres perturbations électriques. Ils utilisent généralement des batteries pour fournir de l'énergie pendant une durée limitée.

1.9.1 Le rôle du bloc d'alimentation

Le rôle principal de l'alimentation est de produire le courant continu (**DC**) nécessaire aux circuits électroniques. L'énergie qu'elle utilise provient du réseau de distribution électrique. La tension du secteur est du 230 V alternatif en 50 Hz dans nos régions L'alimentation a aussi d'autres rôles comme de se protéger en cas de surtensions, de microcoupures, de courts-circuits ou d'autres incidents de ce genre.

1.9.2 Caractéristiques techniques

- Alimentation de type stabilisé.
- Puissance : 240 W.
- Intensité nominale : 10 A.
- Plage de tension d'entrée 85-123 / 170-264 V/AC .
- Tension de sortie 24 VDC.

- Indice de protection : IP20
- Température max. : +70 °C
- Limitation des ondes harmoniques du réseau selon EN61000-3-2 .



FIGURE 1.11 – Alimentation SITOP PSU100S - Réf : 6EP1334-2BA20 [22].

1.9.3 Critères de choix de l'alimentation industrielle (Power supply)

Il est vrai que la connaissance de la puissance des différents consommateurs en aval est essentielle pour le choix d'une alimentation adaptée. La formule à utiliser pour calculer la puissance est $P = U \times I$, où P est la puissance en watts, U la tension en volts et I le courant en ampères. En connaissant la puissance totale requise pour l'équipement, il est possible de choisir un bloc d'alimentation d'une puissance nominale suffisante. Cependant, il est important de prendre en compte d'autres facteurs tels que l'efficacité énergétique, les interférences électromagnétiques, la fiabilité et les conditions environnementales lors de la sélection de la meilleure alimentation électrique industrielle.

$$P[\text{Watt}] = U[\text{Volt}] \cdot I[\text{Ampère}]$$

Exemple Si nous disposons d'une tension de ligne 230 Vac et nous voulons alimenter un certains nombres d'équipements comme :

2 contacteurs de 30 Watt, 1 automate de 5 Watt, 1 switch Ethernet 3 Watt, avec une tension de 24 Vdc, en appliquant la formule $P=UI$ nous avons L'équation à appliquer :

$$P = 30 + 30 + 5 + 3 = 68W$$

$$U = 24V$$

I devient notre inconnu qui nous permettra de dimensionner l'alimentation.

$$P = U \cdot I$$

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = 68/24 = 2.83A$$

L'alimentation dont vous avez besoin est donc celle qui délivre 5A max [23].

1.10 Disjoncteur

Les disjoncteurs sont un élément crucial de la sécurité électrique. Ils sont conçus pour protéger les circuits électriques contre les surcharges et les courts-circuits en interrompant la circulation du courant électrique lorsque la demande dépasse une certaine limite. Les disjoncteurs peuvent être utilisés pour protéger des équipements individuels ou des circuits entiers dans une installation électrique. Les disjoncteurs modernes sont souvent équipés d'une fonction de déclenchement automatique qui réinitialise le disjoncteur après une surcharge temporaire, évitant ainsi les interruptions de service inutiles.



FIGURE 1.12 – Disjoncteur bipolaire ECB3.BP.25

1.10.1 Caractéristiques techniques

- Pouvoir de coupure : 4.5 kA .
- Fréquence : 50/60 Hz .
- Nombre de pôles : 2 p .
- Degré de protection : IP20. [24].

1.10.2 Critères de choix d'un disjoncteur

- • La tension du réseau (en domestique-tertiaire un pôle et coupure du neutre, famille "UNIPOLAIRE+NEUTRE")
- • Le courant nominal
- • Le nombre de pôles (1 pôle par phase)
- • La fréquence du réseau
- • Le pouvoir de coupure (en général 4,5 kA ou 4500 A (en domestique-tertiaire)
- • La température ambiante
- • Les conditions climatiques (suivant les latitudes...)
- • Le type de courbe (Souvent type C en domestique/tertiaire)

- • La sélectivité [25].

1.11 Contacteur

Un contacteur est un dispositif électrotechnique conçu pour établir ou interrompre le flux de courant, sur la base d'une commande électrique. le flux de courant, sur la base d'une commande électrique. Pour alimenter la pompe, un contacteur SIEMENS 3RT2016-1BB41 a été utilisé pour alimenter la pompe, afin d'assurer la séparation entre le signal de commande et l'alimentation électrique. du signal de commande et de l'alimentation électrique, nous avons donc connecté notre pompe monophasée aux bornes du contacteur notre pompe monophasée et, de l'autre côté, la sortie du variateur de vitesse, et la bobine du contacteur est contrôlée par le signal de commande. La bobine du contacteur est contrôlée par la sortie numérique de l'automate S7-1200, ce qui permet de protéger la pompe contre le fonctionnement à sec. la protection de la pompe contre le fonctionnement à sec comme expliqué dans nos spécifications ci-dessus.



FIGURE 1.13 – Contacteur SIEMENS 3RT2016-1BB41

1.11.1 Caractéristiques techniques

- Tension de la bobine : 24 V/DC
- Tension des contacts : 400 V/AC
- Courant des contacts : 9 A .
- Gamme de puissance : 4 kW
- Nombre de pôles : 3 p .
- Configuration de l'état normal : 3 NO .
- Nombre de contacts auxiliaires : 1 .
- Température d'utilisation maximum : +60 $^{\circ}C$
- Température minimum de fonctionnement : -25 $^{\circ}C$
- Degré de protection : IP20
- Ce contacteur durable a une durée de vie mécanique de 30 millions de cycles de commutation [26]..

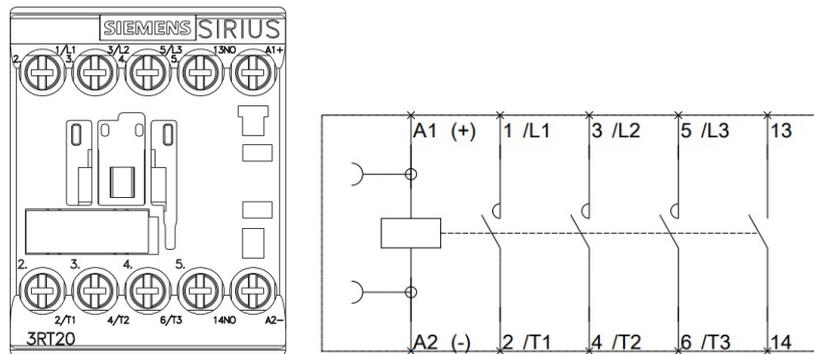


FIGURE 1.14 – Schéma électrique du contacteur SIEMENS 3RT2016-1BB41

1.12 Les Relais de commande

Un relais électronique est un interrupteur isolé (isolation galvanique) qui peut être activé avec une faible tension alternative ou continue. La fonction de l'interrupteur est de contrôler des charges secteur de forte puissance, et il peut avoir des caractéristiques d'alimentation électrique différentes.

1.12.1 Caractéristiques techniques

- Type de contact : 2OF (inverseur)
- Tension de la bobine : 24 *VDC*
- Courant de commutation : 8 *A*
- Nombre de pôles : 2 p
- Résistance de la bobine : 1440 Ω
- Isolation bobine/contact 4 *kV*
- Format : Embrochable
- Température d'utilisation maximum : +60 $^{\circ}C$
- Température minimum de fonctionnement : -25 $^{\circ}C$
- Degré de protection : IP20 [27].



FIGURE 1.15 – Relais de commande

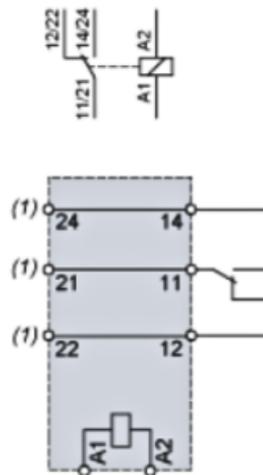


FIGURE 1.16 – Schéma électrique du Relais

1.13 Conditionneur :

1.14 Arduino

Une carte Arduino est une petite carte électronique équipée d'un microcontrôleur. Le microcontrôleur utilise les événements détectés par les capteurs pour programmer et contrôler les actionneurs. contrôler les actionneurs. La carte Arduino est donc une interface programmable

1.14.1 Rôle de la carte dans la station de pompage

Le signal généré par le débitmètre, également appelé train d'impulsions, est transformé en un signal de modulation de la largeur d'impulsion (MLI) à l'aide du microcontrôleur programmé sur la carte. Cette transformation donne une signification physique au signal transformé, où chaque impulsion représente le débit mesuré par le capteur situé en amont.



FIGURE 1.17 – Carte Arduino UNO

Après la carte Arduino, il y a un second conditionneur, qui est un filtre passe-bas, utilisé pour filtrer le signal **MLI** généré par la carte. Il convertit l'amplitude originale $U = 5V$ à une fréquence f de 480 Hz en un signal d'amplitude variant de 0 à 5V, ce qui ajoute une composante continue au signal **MLI**, rendant ainsi le signal exploitable par l'**API**.

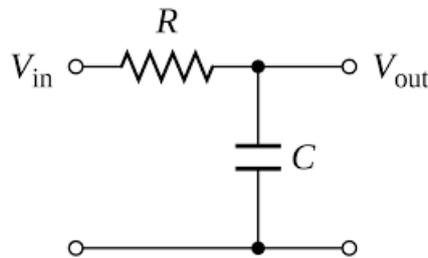


FIGURE 1.18 – Filtre Passe-Bas

1.14.2 Caractéristiques techniques

- Alimentation : 7 à 12 *VDC*
- Microcontrôleur : ATmega 328.
- Mémoire flash : 32 kB.
- Mémoire SRAM : 2 kB.
- Mémoire EEPROM : 1 kB.
- Interfaces : 14 broches d'E/S dont 6 PWM ; 6 entrées analogiques 10 bits ; Bus série, I2C et SPI .
- Intensité par E/S : 40 *mA*.
- Cadencement : 16 *MHz*. [28]

1.15 Capteur

La station de pompage a besoin de deux capteurs pour acquérir les données nécessaires à un contrôle automatique.

1.15.1 Capteur de distance

Les capteurs de distance sont principalement utilisés dans l'industrie et il existe différentes technologies permettant de mesurer la distance : ultrasons, optoélectronique, infrarouge... Suivez le guide pour comprendre un peu mieux ce qu'est un capteur de distance.

Capteurs à ultrasons pour la détection de présence et le contrôle de niveau dans l'industrie.



FIGURE 1.19 – Capteur de distance UM18-51111

Caractéristiques techniques

- Indice de protection : IP65 / IP67
- Tension d'alimentation UV CC 10 V ... 30 V
- Puissance absorbée : $\leq 1,2 W$
- Mode de raccordement Connecteur mâle, M12, 5 pôles
- Objet à mesurer Objets naturels
- Résolution $\geq 0,08 mm$
- Précision 0,17 % /
- Temps de réponse : 32 ms
- Fréquence de commutation : $\pm 15 Hz$
- Durée de sortie : 8 ms
- Fréquence des ultrasons (typique) : 320 kHz

Interface de Sortie

- Type : PNP
- Courant de sortie maximal IA : $\leq 500 mA$
- Température ambiante de fonctionnement : $-25 C^{\circ} \dots +70 C^{\circ}$
- Température ambiante d'entreposage : $-40 C^{\circ} \dots +85 C^{\circ}$

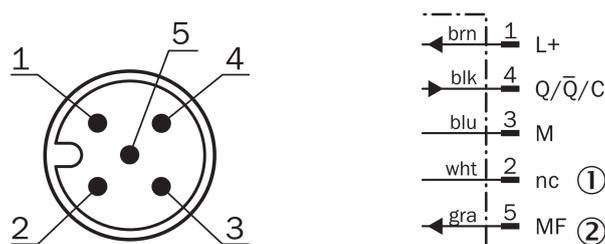


FIGURE 1.20 – Schéma de raccordement

- Fil marron (L+) : Alimentation DC +24 V .
- Fil bleu (M) : Masse.
- Fil blanc (QA) : Sortie analogique de type courant 4-20 mA.
- Entrée non connectée/affectée (nC)
- Entrée multifonction (MF) [29]

1.15.2 Capteur de Débit

Ce dispositif de mesure de débit est composé d'un capteur à effet Hall et d'un rotor. Lorsque l'eau circule à travers le capteur, le rotor tourne et produit des impulsions proportionnelles au débit. La fréquence de sortie est directement liée à la vitesse de rotation du rotor. Il convient de souligner que ce capteur ne peut être utilisé que pour mesurer le débit de l'eau.



FIGURE 1.21 – Capteur de débit UM18-51111

Caractéristiques techniques

- Alimentation : 5 à 24 Vcc
- Consommation : 15 mA (sous 5 Vcc)
- Plage de mesure : 1 à 30 l/min
- Pression maxi : 1,2 MPa
- Précision : +/- 3% (entre 1 → 10 l/min)
- Formule de conversion : débit (en l/min) = fréquence (en Hz) / 7,5
- Dimensions : 63 x 36 x 35 mm
- Température d'utilisation : 0 à 80 °C
- Poids : 43 g [30].

Brochage :

- Rouge : +5 à +24 VDC
- Noir : masse
- Jaune : signal

1.16 Electrovanne

Une électrovanne est un composant électromécanique qui est utilisé pour ouvrir ou fermer un circuit en envoyant un courant électrique à travers une bobine montée sur l'électrovanne. Lorsque le courant traverse la bobine, elle crée un champ électromagnétique qui active le mécanisme de l'électrovanne pour ouvrir ou fermer le circuit. Les électrovannes sont couramment utilisées dans les systèmes de commande de fluides pour contrôler le flux de liquides ou de gaz à travers des tuyaux ou des canalisations. [31]



FIGURE 1.22 – Electrovanne

ils permettent de contrôler le débit d'un liquide dans une canalisation en offrant l'avantage d'un temps de réponse rapide.

1.16.1 Caractéristiques techniques

- Alimentation : 24 *VDC* .
- Pressure : 0.8 - 10 bar
- Nombre d'orifices : 2
- Nombre de positions : 2
- Indice de protection : IP 65 .
- Température d'utilisation : 90 °C .

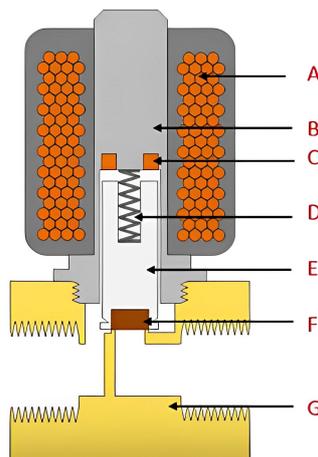


FIGURE 1.23 – Composants d'une électrovanne

Composants d'une électrovanne :[32]

- A : Bobine .
- B : Armature .
- C : Bague de déphasage .
- D : Ressort .
- E : Plongeur .

- F : Joint .
- G : Corps de vanne .

1.16.2 Vanne manuelle

La vanne manuelle est employée comme une fuite contrôlée du réservoir pour étudier la réponse du système à des changements de volume, ainsi que pour assurer un contrôle manuel du système.



FIGURE 1.24 – Vanne manuel

1.17 Description Equipement de la deuxième station

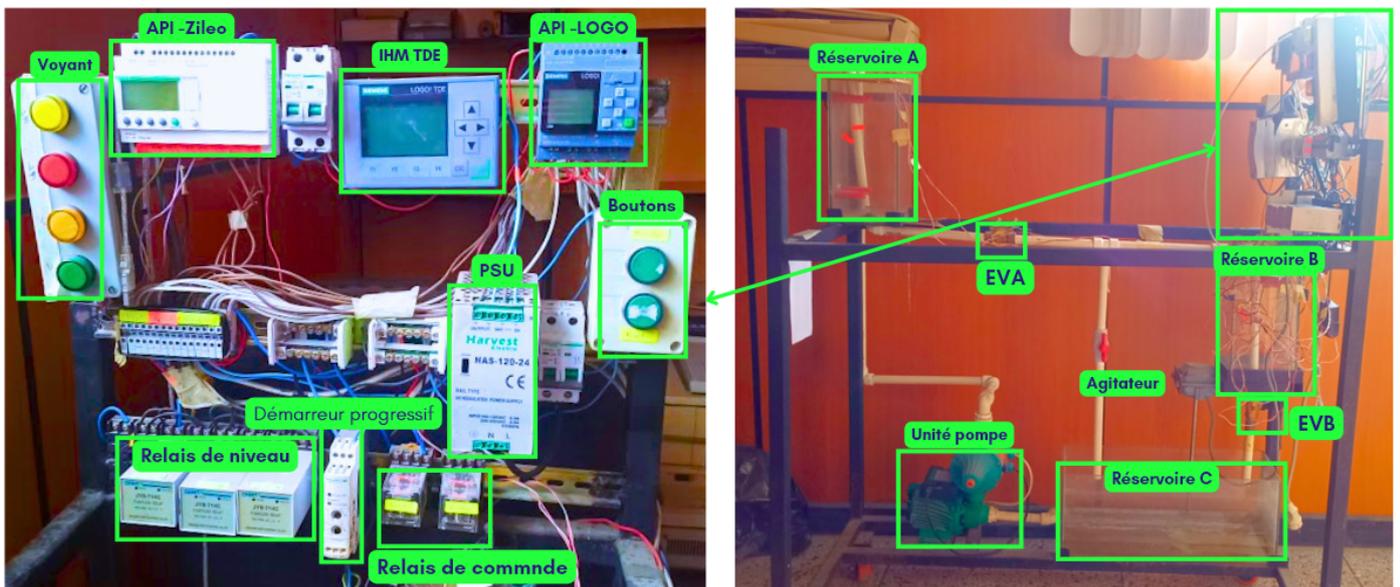


FIGURE 1.25 – Le prototype de la deuxième station

[34] [33]

1.18 Conclusion

Ce chapitre fournit une description détaillée de tous les équipements utilisés dans la station de pompage. Les caractéristiques de chaque composant sont mentionnées, ainsi que leurs applications et leurs rôles dans le fonctionnement de la station.

En comprenant le contenu de ce chapitre, nous pu comprendre comment la station fonctionne et comment elle a été assemblée pour pomper l'eau. De plus, on sait maintenant que la station pompe l'eau du point bas au point haut, tout en recueillant des informations importantes pour la gestion de l'eau et de l'environnement.

Chapitre 2

Modélisation et Synthèse de commande

2.1 Introduction

Le chapitre suivant traite de la modélisation mathématique de la station de pompage et de la synthèse des commandes nécessaires pour contrôler le niveau d'eau dans la station de pompage.

2.2 Modélisation mathématique

Le raisonnement de ce modèle repose sur la variation du volume d'eau dans le réservoir A qui est causée par la circulation des différents flux au niveau de la station.

Le modèle obtenu est utilisé pour synthétiser une loi de commande afin de contrôler le système et de simuler son comportement attendu. Pendant la simulation, le système réagit aux excitations en produisant des réponses qui fournissent des informations sur la stabilité et les performances globales du système. Les résultats obtenus prouvent la validité du modèle. [35]

Les équations de la physique :

Dans le réservoir B, il y a deux types de débits : les débits entrants et les débits sortants. Les deux débits font varier le volume de l'eau V de manière directe :

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out} \quad (2.1)$$

HYPOTHÈSE : L'entraînement du rotor génère un débit noté " Q_{in} ". Ce débit présente une proportionnalité à la tension de variation avec un coefficient K . On écrit :

$$Q_{in} = Q_{pompe} = Kv$$

Selon la formule de Torricelli [36], le carré de la vitesse d'écoulement d'un fluide soumis à sa gravité est proportionnel à deux fois la hauteur du fluide dans le cylindre qui le contient et à la gravité de la terre. Elle est proportionnelle à la hauteur du fluide dans le cylindre qui le contient et à la gravité de la terre. On note " w " la vitesse d'écoulement sous l'effet de la gravité :

$$w^2 = 2gh$$

L'expression du débit de sortie s'écrit sous la formule suivante :
 α étant le taux d'ouverture de la vanne manuelle :

$$Q_{out} = \alpha \cdot Kv + \alpha \cdot s \cdot w$$

On remplace la formule de la vitesse w dans Q_{out} :

$$Q_{out} = \alpha \cdot Kv + \alpha \cdot s \sqrt{2gh}$$

La somme des expressions des débits donne :

$$\frac{dV}{dt} = Kv - \alpha \cdot Kv - \alpha \cdot s\sqrt{2gh}$$

le réservoir B est un parallélépipède rectangulaire de surface S et de hauteur h , le volume d'eau est exprimé par V qui est le produit de ces deux derniers : $V = S.h$ On aboutit à l'équation régissant sur le système :

$$\frac{dh}{dt} = (1 - \alpha)\frac{K}{S}v - \alpha\frac{s}{S}\sqrt{2gh}$$

L'équation ci-dessus représente le modèle mathématique. Les paramètres, leurs symboles et leurs valeurs numériques sont exprimées dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Symbole	Valeur numérique
Surface du réservoir A	S_A	885 cm ²
Surface du réservoir B	S_B	390 cm ²
La surface de l'ouverture du réservoir	s	4,91 cm ²
Coefficient de proportionnalité	K	58,33 cm ³ /s.V
Gravité terrestre	g	9,81 m/s ²
Le taux d'ouverture de la vanne manuelle	α	0 \Leftrightarrow 1
Hauteur du réservoir B	h	0 \Leftrightarrow 28 cm
La tension de réglage	v	0 \Leftrightarrow 10V

TABLE 2.1 – Table significative des paramètres

2.2.1 Représentation d'État du modèle mathématique

Afin de synthétiser une commande, on choisit d'écrire le modèle mathématique sous sa représentation d'état.

On pose :

- x** : la variable d'état représentant la hauteur h du réservoir B
- u** : la variable de commande représentant la tension de commande v
- y** : la hauteur h à observer

$$\Sigma_{NL} : \begin{cases} \dot{x} = F(x, u) = (1 - \alpha)\frac{K}{S_B}u - \alpha\frac{s}{S_B}\sqrt{2gx} \\ y = h(x) = x \end{cases} \quad (2.2)$$

Durant la simulation, la valeur de alpha va changer dans le but de tester la robustesse de la commande qu'on va synthétiser

2.2.2 Fonction de transfert et synthèse de la commande linéaire

Pour synthétiser une commande linéaire, il est important de linéariser le système en considérant les variations autour d'un point de fonctionnement. Cela permet de simplifier le modèle et de concevoir un contrôleur qui peut réguler le système de manière précise, rapide et stable.

Soit le point d'équilibre $P_0 \begin{pmatrix} h_0 \\ t_0 \end{pmatrix}$, tel que pour $x = x_0, x \rightarrow$ l'équilibre.

On calcule les paramètres suivants :

$$\begin{aligned} A &= \left. \frac{dF(x, u)}{dx} \right|_{P_0} = -\frac{\alpha g s}{S_B} \frac{1}{\sqrt{2gh_0}} \\ B &= \left. \frac{dF(x, u)}{du} \right|_{P_0} = (1 - \alpha) \frac{K}{S_B} \\ C &= \left. \frac{dh(x)}{dx} \right|_{P_0} = 1 \end{aligned}$$

Tous les points de fonctionnement, à l'exception de $\begin{pmatrix} 0 \\ v_0 \end{pmatrix}$, sont des points d'équilibre. Donc on choisit une valeur arbitraire de h_0 entre 0 et 0,28 m et v_0 entre 0 et 10v. Les paramètres A, B et C sont déterminés puis on écrit la représentation d'état du système linéarisé :
Pour $h_0 = 0,25m$,
on écrit :

$$\begin{aligned} A &= -0,055\alpha \\ B &= 0,1495 \cdot (1 - \alpha) \\ C &= 1 \end{aligned}$$

$$\Sigma_L : \begin{cases} \Delta \dot{x} = A\Delta x + B\Delta u \\ \Delta y = C\Delta x \end{cases} \quad (2.3)$$

La relation suivante permet d'obtenir la fonction de transfert $G(s)$ du système à partir de la représentation d'état du modèle linéarisé :

$$G(s) = \frac{B}{C[s - A]} \quad (2.4)$$

On donne $\alpha = 0,5$

On aura donc la fonction de transfert suivante :

$$G(s) = \frac{7,5 \cdot 10^{-2}}{s + 0,0275}$$

Le pôle $p = -0,275$ est un pôle à partie réelle négative indiquant que le système est stable en BO.

A travers la réponse indicielle en BF du système représentée par la figure suivante, on choisira le correcteur linéaire correspondant aux performances voulues.

FT-BF-non-corrigé

D'après la réponse indicielle en BF, on choisit les performances suivantes

- Réponse stable en BF
- Temps de réponse minimal à $\pm 5\%$
- Dépassement minimal

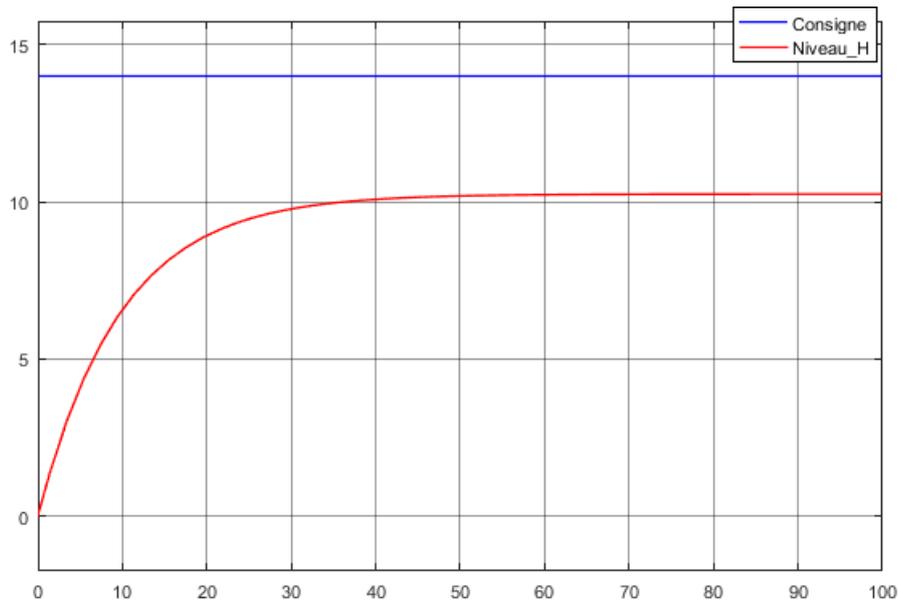


FIGURE 2.1 – Réponse indicielle du système non-corrigé

Erreur statique nulle $\epsilon_{01} = 0$

L'utilisation d'un régulateur **PI** (proportionnel-intégral) dans un système en boucle fermée **BF** assure la stabilité du système en éliminant l'erreur statique. Le contrôleur PI ajoute une composante intégrale à la réponse proportionnelle du système, corrigeant ainsi l'erreur statique. En outre, le régulateur PI permet d'ajuster le temps de réponse du système en ajustant les coefficients proportionnels et intégraux. Cela permet d'obtenir une réponse rapide et précise du système.

Afin de synthétiser le correcteur PI, nous avons travaillé sur l'environnement MATLAB pour le calcul des paramètres du correcteur PI et son intégration dans la chaîne principale de commande dans le but de simuler tous l'ensemble.

Les valeurs de gain du correcteur ont été obtenues à l'aide de la boîte à outils "**PI tuner**" de **MATLAB**. Cette boîte à outils prend en compte la fonction de transfert $G(s)$ mentionnée précédemment pour calculer les gains. Les valeurs de gain obtenues sont listées dans le tableau ci-dessous :

Action	Gain	Valeur numérique
Proportionnelle	K_p	0.8
Intégrale	K_i	0.08

TABLE 2.2 – Les gains du correcteur PI

La formule du correcteur PI :

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = 0,8 + \frac{0,08}{s}$$

2.2.3 Synthèse du correcteur en mode glissant

La commande robuste est un type de commande qui vise à garantir les performances et la stabilité d'un système face à des perturbations du milieu et les incertitudes du modèle.

Les modes glissants constituent une manière simple et robuste de réglage des systèmes automatiques. Cette technique connaît des développements importants dans les domaines de la régulation des processus et de la commande automatique. [37]

Le principe de cette commande est la recherche de l'équation appelée "surface de glissement Σ " déterminée par la surface de Slotine.

$$\Sigma = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{r-1} e(x) \quad (2.5)$$

avec :

- e : l'écart de la variable à régler.
- λ : coefficient positif interprétant la bande passante de commande.
- r : le degré relatif est le nombre de fois qu'il faut dériver la sortie pour que la commande apparaisse.

Le résultat du calcul de la surface de Slotine est exprimée par l'expression suivante :

$$\Sigma = e(x) = x_{ref}(t) - x(t)$$

L'objectif est de maintenir l'état x sur la courbe $\Sigma = 0$. Ce qui fait que l'état x revient toujours à suivre la référence d'entrée que nous imposons. On vérifie les conditions d'invariance et d'attractivité :

I. Condition d'invariance ($\dot{\Sigma} = 0$)

$$\frac{d\Sigma}{dt} = \dot{x} - \dot{x}_{ref} = 0 \Rightarrow \dot{x} = 0$$

Si $u = u_c = \frac{s}{K} \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \sqrt{2gx}$, on aura donc $\dot{\Sigma} = 0$ et la condition d'invariance est satisfaite.

II. Condition d'attractivité ($\Sigma \cdot \dot{\Sigma} \leq 0$)

Afin de maintenir l'erreur à l'origine ($\Sigma = 0$), on rajoute à la commande équivalente u_e une commande commutante notée u_c .

$$u_c = -k \text{sign}(\Sigma) \text{ et } u = u_c + u_e.$$

Cela permet de vérifier la condition d'attractivité :

$\Sigma \cdot \dot{\Sigma} \leq 0 \Rightarrow -\frac{(S_B)}{K(1-\alpha)} k |\Sigma| \leq 0$ est toujours vérifiée pour k positif. Puisque les deux conditions ont été vérifiées pour la surface de glissement Σ , on aura à la fin la commande synthétisée par mode glissant :

$$u_{MG} = \frac{s}{K} \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \sqrt{2gx} - k \cdot \text{sign}(x_{ref} - x)$$

2.3 Synthèse de la commande Backstepping

L'idée de base du Backstepping est de stabiliser au départ le premier sous système par une fonction stabilisante connue via une fonction de **Lyapunov** choisie, ensuite d'ajouter à son

entrée un intégrateur. On procède de même pour le prochain sous système augmenté et ainsi de suite pour les sous-systèmes successifs pour aboutir enfin à une fonction de **Lyapunov** globale donnant la loi de commande globale qui stabilise le système.[38]

Considérons le système défini par : 2.3

Hypothèse : Il existe une loi de commande en boucle fermée continuellement dérivable :

$$u = ? \text{ pour } x = x_{ref}$$

$$V(x) = \frac{1}{2} \cdot (x - x_{ref})^2 \text{ est FDP } x \in R$$

$$\dot{V}(x) = \dot{x} \cdot (x - x_{ref}) \text{ est FDN } x \in R$$

$$\dot{V}(x) = (x - x_{ref}) \cdot [f(x) + g(x) \cdot u] = -\lambda(x - x_{ref})^2$$

$$u = \frac{1}{g(x)} [-\lambda \cdot (x - x_{ref}) - f(x)]$$

$$\Rightarrow u_{BS} = \frac{s}{K} \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} \sqrt{2gx} - \frac{\lambda}{g(x)} \cdot (x - x_{ref})$$

2.4 Simulation et interprétation des résultats

Dans cette section, nous présentons des simulations de trois contrôleurs.

2.4.1 Simulation avec correcteur PI

Le régulateur **PI** est implémenté dans la chaîne de contrôle pour observer le comportement du système corrigé en absence/présence de non-linéarité. Cette étape est essentielle car elle permet de savoir si le contrôle effectué dans le domaine de Laplace reste valable aussi pour le modèle non linéaire du système. Les courbes suivantes montrent les deux réponses obtenues par la simulation :

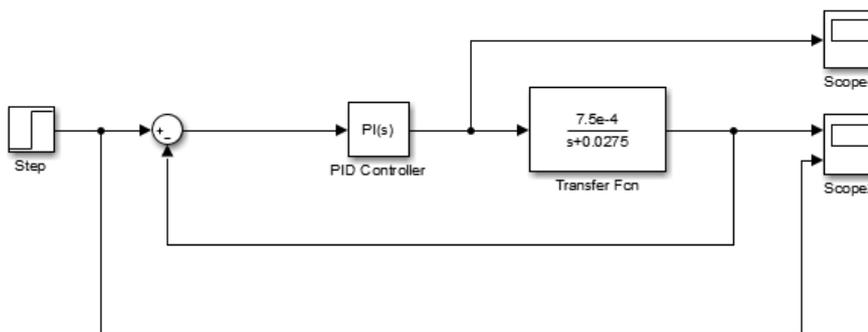


FIGURE 2.2 – Schéma bloc du système en BF avec contrôleur PI

Simulation en boucle fermée du système linéaire

La fonction de transfert en boucle fermée (FTBF) du système avec correction est définie sous la forme suivante :

$$FTBF(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{6 \cdot 10^{-2} \cdot s + 6 \cdot 10^{-3}}{s^2 + 0.0875 \cdot s + 6 \cdot 10^{-3}}$$

La réponse de la FTBF du niveau h à une référence imposée soit 14 cm est présenté dans la figure suivante :

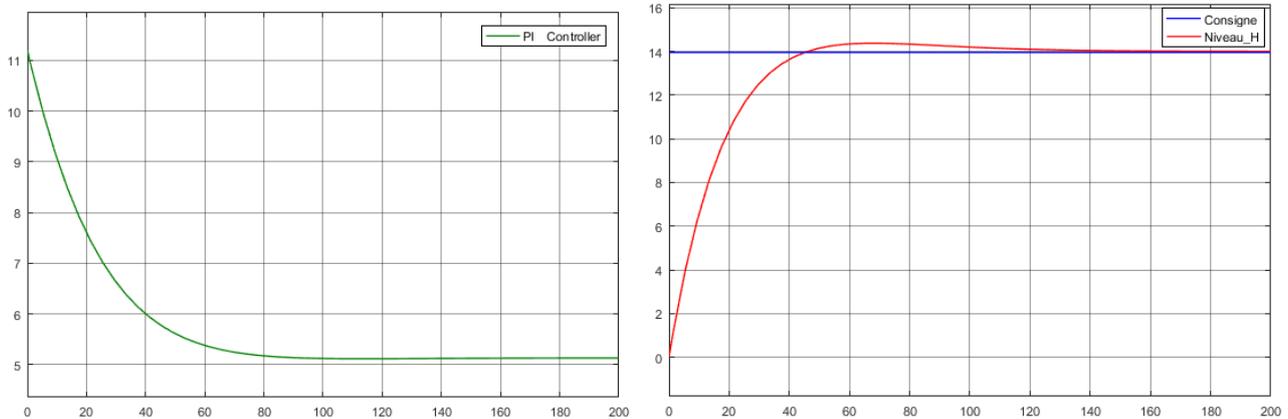


FIGURE 2.3 – Réponse de la FTBF à une consigne

La courbe permet de conclure sur les performances du système avec correcteur **PI** :

- Réponse stable en BF
- Temps de réponse minimal a $\pm 5\%$
- Dépassement minimal 14,4 cm
- Erreur statique nulle $\epsilon_{01} = 0$

Simulation en boucle fermée d'un système non linéaire

En gardant la même consigne de 14 cm, j'observe des changements dans les performances du système lorsque je remplace le système linéaire par le système non linéaire.

Les performances du système non-linéaire

- Stable en BF
- Temps de réponse minimal a $\pm 5\%$
- Dépassement minimal 14 cm
- Erreur statique nulle $\epsilon_{01} = 0$

— Test de robustesse du correcteur PI

Le principe consiste à régler les coefficients du correcteur **PI** (K_p et K_i) et à faire varier le taux d'ouverture α , ce qui génère une perturbation dans le modèle mathématique. Si le correcteur permet au système de suivre la consigne et de rejeter la perturbation, on peut conclure que le correcteur est robuste.

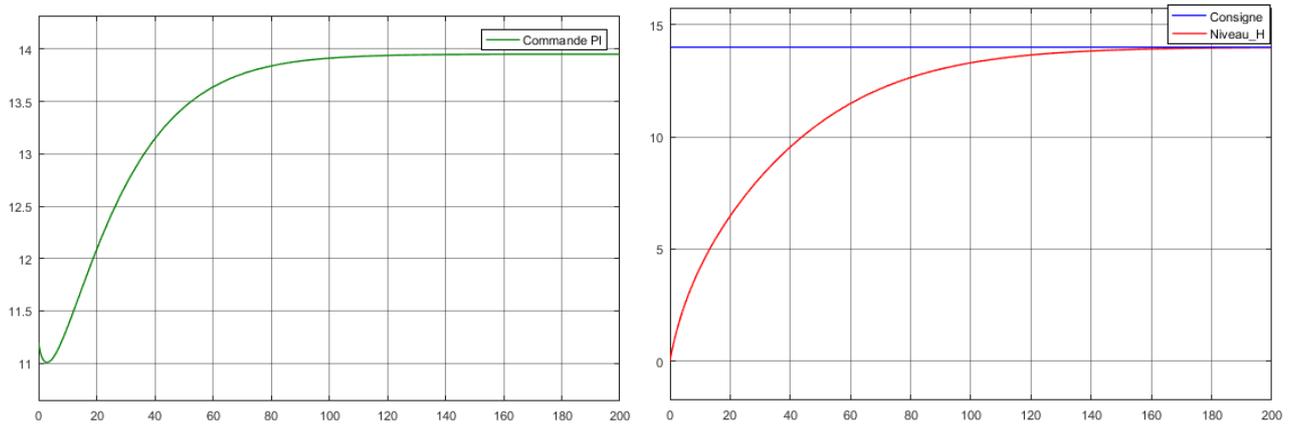
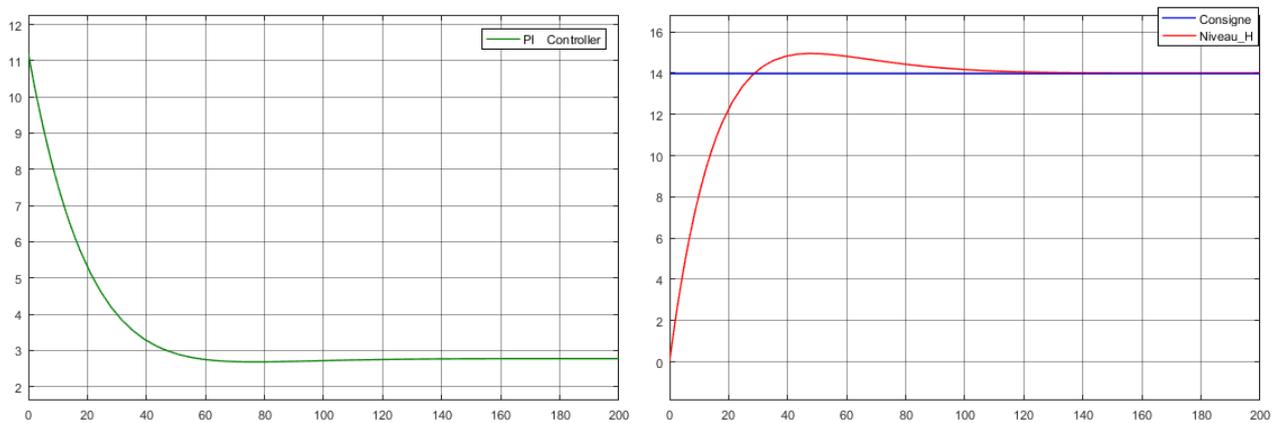
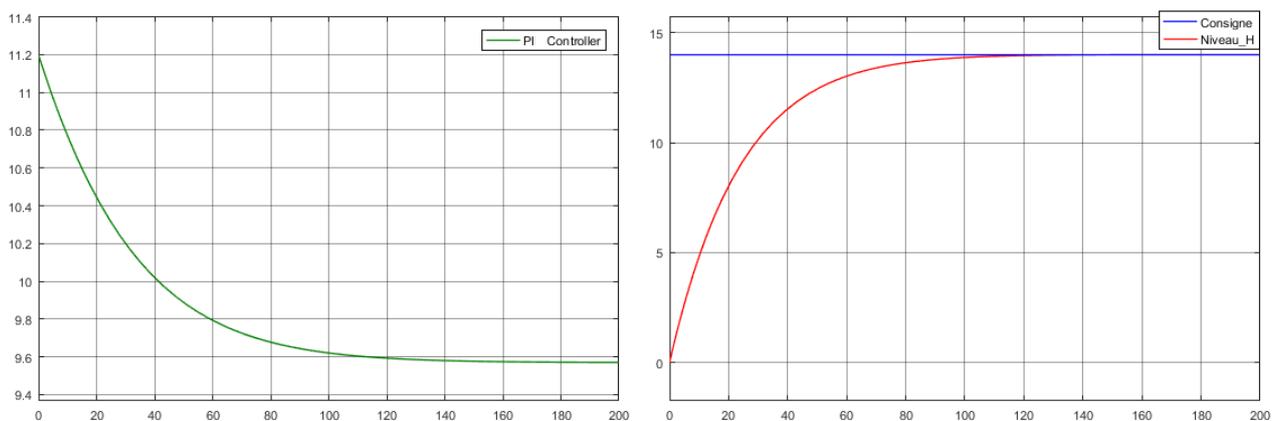


FIGURE 2.4 – Réponse du système non-linéaire à une consigne

— cas $\alpha = 35\%$ FIGURE 2.5 – Réponse du système corrigé avec perturbation ($\alpha = 35\%$)— cas $\alpha = 65\%$ FIGURE 2.6 – Réponse du système corrigé avec perturbation ($\alpha = 65\%$)

2.4.2 Simulation avec correcteur en mode glissant(Sliding Mode)

Le correcteur synthétisé par mode glissant est une méthode de commande non-linéaire qui peut garantir une performance robuste du système en présence de perturbations. Cette méthode impose une trajectoire de référence pour le système qui doit être suivie malgré les perturbations. Le correcteur en mode glissant doit satisfaire les spécifications du cahier des charges du système, telles que la précision, la rapidité et la stabilité

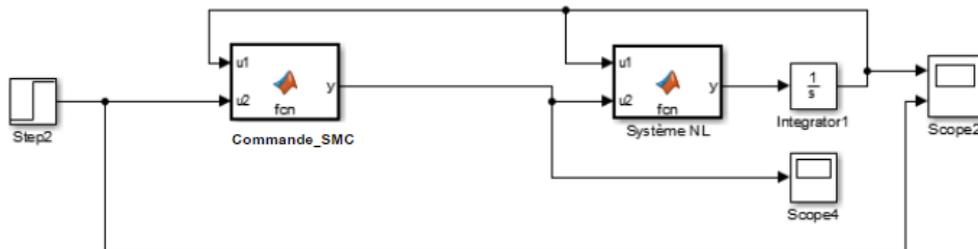


FIGURE 2.7 – Schéma bloc du système en BF avec contrôleur MG

Dans la pratique, le système a été évalué en utilisant le contrôleur en mode glissant pour voir s'il répondait aux exigences spécifiées. La figure ci-dessous montre la réponse du système corrigé avec le contrôleur MG à un point de consigne donné.

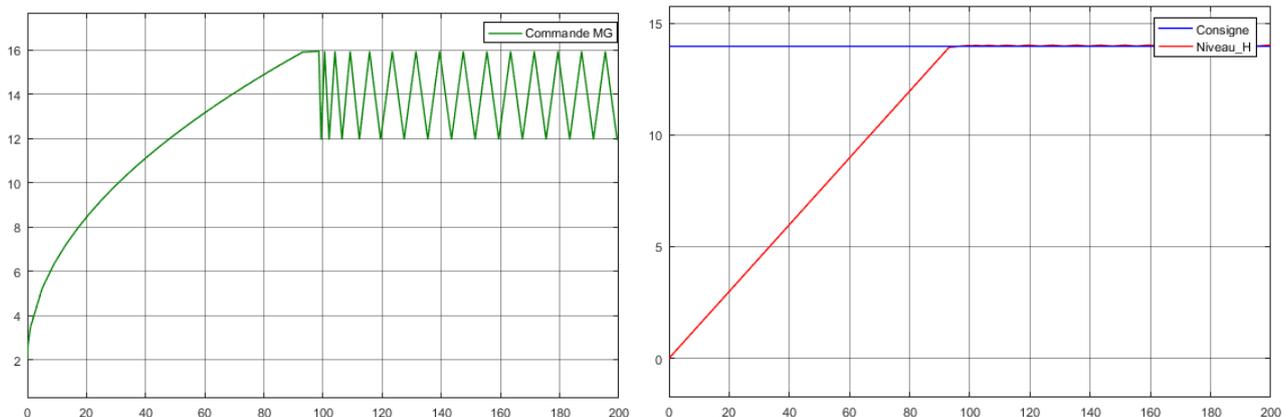


FIGURE 2.8 – Réponse à un point de consigne du système avec le correcteur MG

Les performances du système corrigé par le correcteur en **MG** :

- Stable en BF
- Temps de réponse minimal a $\pm 5\%$
- Absence de dépassement ;
- Erreur statique minimale $\epsilon_{01} = 0$

— **Test de robustesse du correcteur Mode glissant**

Le test de robustesse consiste à effectuer des variations de la valeur du taux d'ouverture α afin de perturber le modèle du système. Parallèlement, le correcteur **MG** est intégré au système perturbé pour démontrer sa capacité à maintenir des performances solides.

— **cas $\alpha = 35\%$**

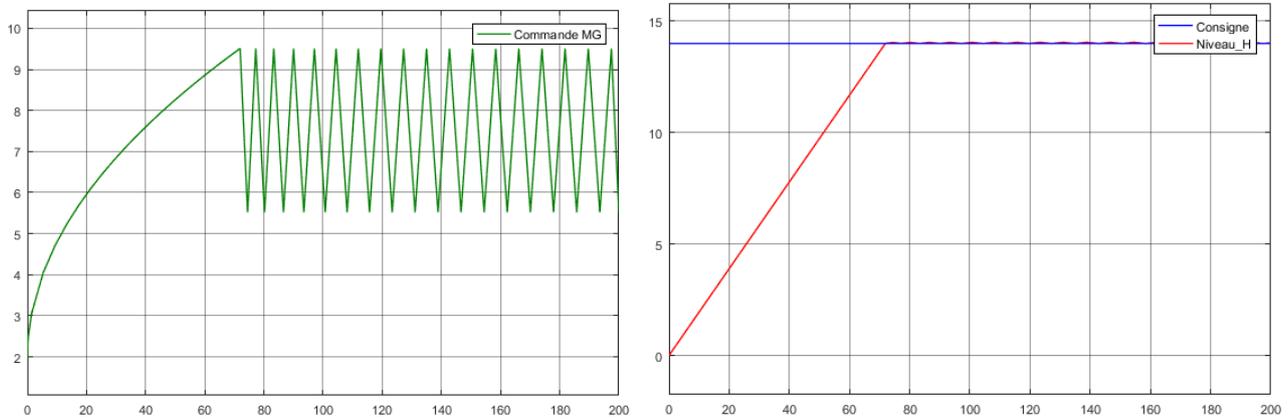


FIGURE 2.9 – Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 35\%$)

— **cas $\alpha = 65\%$**

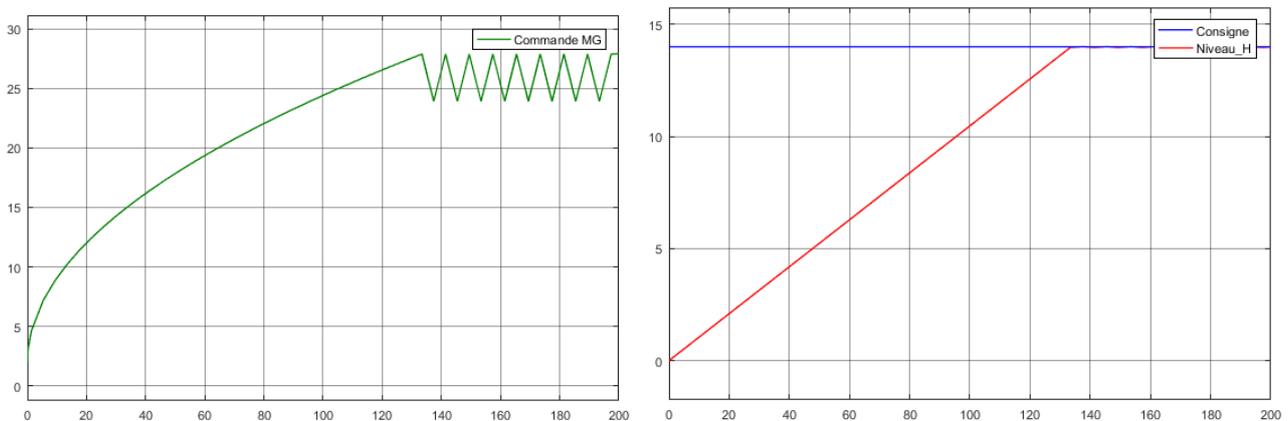


FIGURE 2.10 – Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 65\%$)

— **Commentaire**

On constate qu'une augmentation de la valeur de la commande et du temps de réponse.

2.4.3 Simulation avec correcteur Backstepping

Le correcteur synthétisé par la méthode de Backstepping est une approche de commande non linéaire qui vise à assurer une performance robuste du système même en présence de perturbations. Cette méthode impose une trajectoire de référence au système, qui doit être suivie malgré les perturbations. Le correcteur Backstepping doit répondre aux spécifications du cahier des charges du système, telles que la précision, la réactivité et la stabilité, afin d'assurer un fonctionnement optimal.

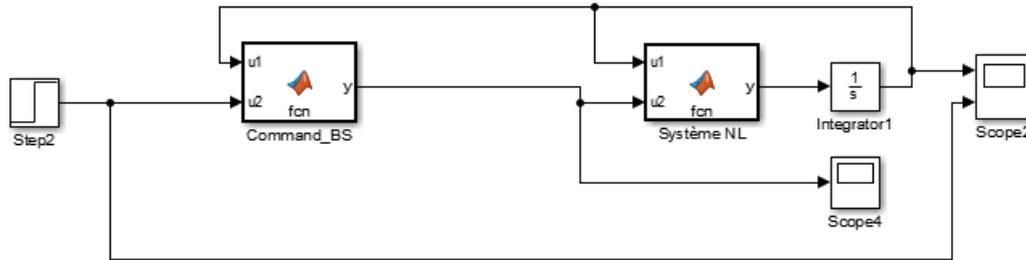


FIGURE 2.11 – Schéma bloc du système en BF avec contrôleur BS

Le système a été évalué en utilisant le contrôleur en Backstepping afin de vérifier s'il répondait aux exigences spécifiées. La figure ci-dessous présente la réponse du système corrigé avec le contrôleur **BS** à un point de consigne donné

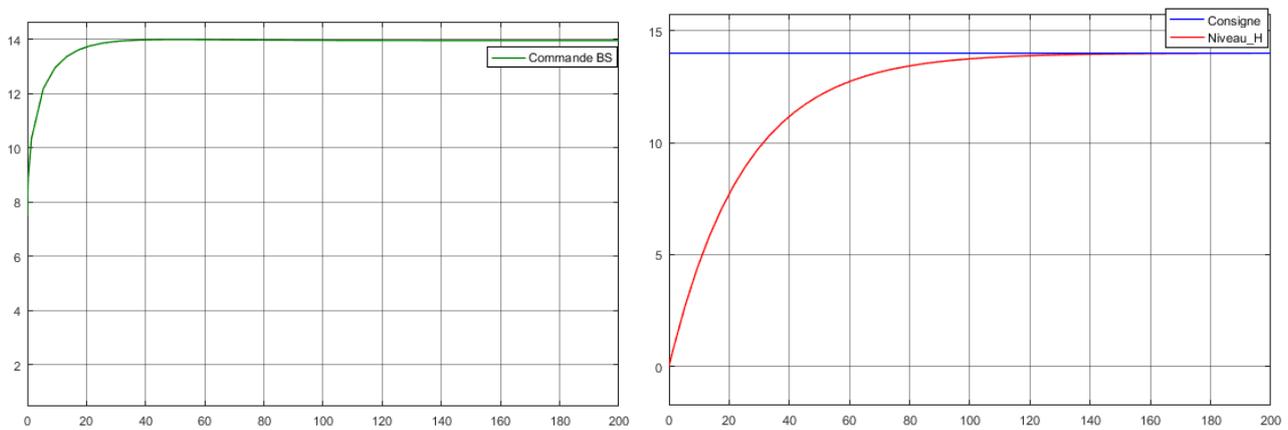


FIGURE 2.12 – Réponse à un point de consigne du système avec le correcteur BS

Les performances du système corrigé par le correcteur en **BS** :

- Stable en BF
- Temps de réponse minimal à $\pm 5\%$
- Absence de dépassement ;
- Erreur statique minimale $\epsilon_{01} = 0$

— Test de robustesse du correcteur Backstepping

Le test de robustesse consiste à effectuer des variations de la valeur du taux d'ouverture α afin de perturber le modèle du système. Parallèlement, le correcteur **BS** est intégré au système perturbé pour démontrer sa capacité à maintenir des performances solides.

— cas $\alpha = 35\%$

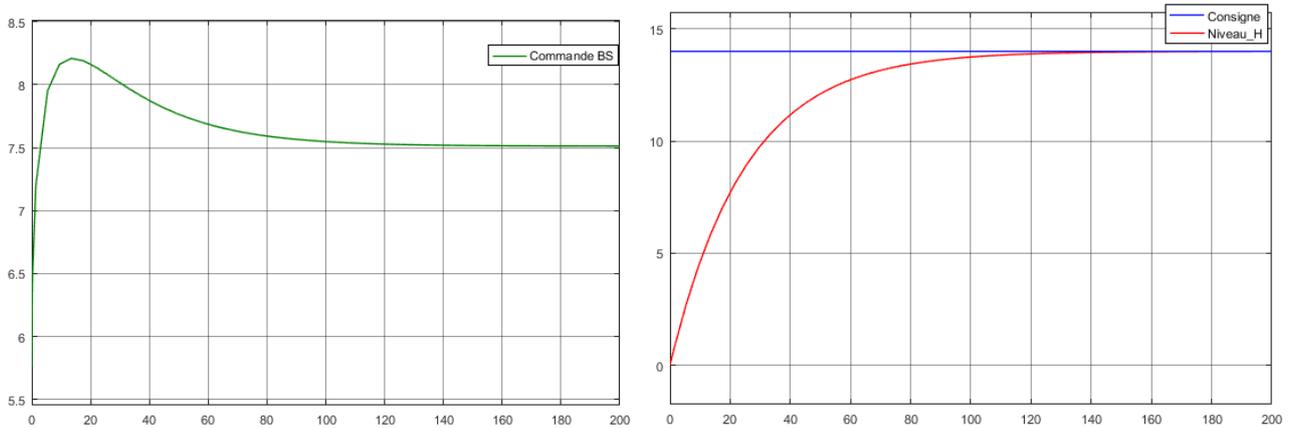


FIGURE 2.13 – Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 35\%$)

— cas $\alpha = 65\%$

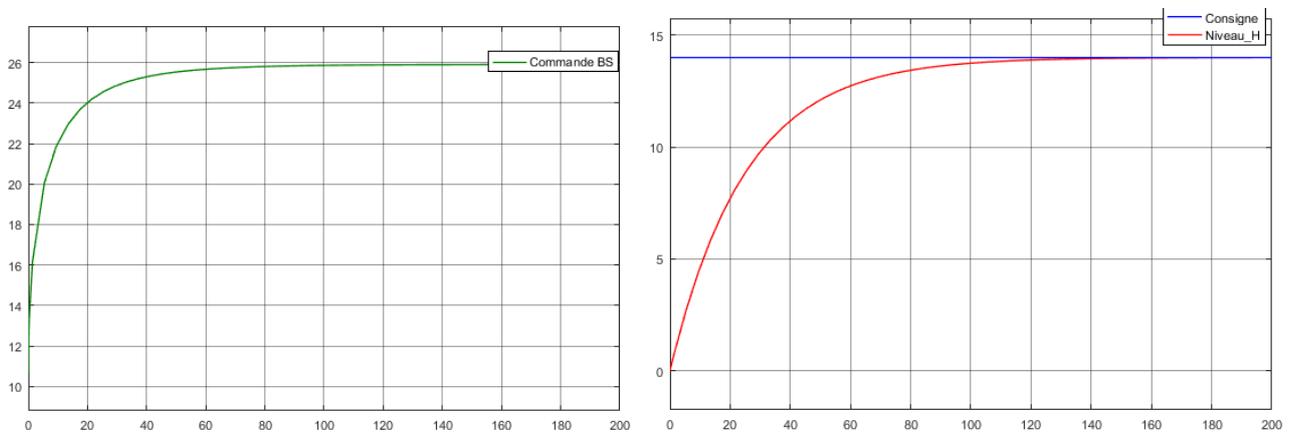


FIGURE 2.14 – Réponse à une consigne avec perturbation ($\alpha = 65\%$)

— Commentaire

On constate qu'une augmentation de la valeur de la commande et du temps de réponse

— Remarque

En analysant les graphiques ci-dessus, nous pouvons conclure que les trois commande (PI, MG, BS) démontre une robustesse en permettant au système de suivre la consigne malgré la perturbation causée par le taux d'ouverture α . En outre, le temps de réponse et la valeur de contrôle de chaque commande sont différents.

2.5 Conclusion

La modélisation a permis de produire trois commandes qui permettent de contrôler le système et de simuler son comportement. Les résultats obtenus sont satisfaisants, car le système répond aux consignes qui lui sont imposées et suit le comportement souhaité, avec la capacité d'assurer un suivi robuste des consignes. Il est important de noter que la sélection de composants fiables pour le système est tout aussi importante que la conception du contrôle.

Chapitre 3

Communication et réseaux industriels

3.1 Introduction

Dans le cadre d'une évolution vers une automatisation globale, il doit pouvoir être connecté à d'autres équipements à base de processeurs, et pouvoir dialoguer avec les agents d'exploitation. Il est donc nécessaire de considérer ses liens avec son environnement et les fonctions qu'il doit assurer en plus de son rôle premier de contrôle d'un appareil de production.

L'automate doit être connecté à d'autres équipements à base de processeurs, et pour pouvoir dialoguer avec les agents d'exploitation, il est nécessaire de prendre en compte ses liens avec son environnement avec son environnement et les fonctions qu'il doit remplir. Il existe plusieurs bus de terrain qui sont universels ou limités (le bus est spécifique à l'entreprise), on note quelques les protocoles de communication : **Modbus, DeviceNet, ControlNet, BusCAN, CANopen, Profibus, Profinet, MPI, ...etc**

3.2 Historique

L'histoire des réseaux locaux industriels remonte à la fin des années 70, avec l'émergence des équipements industriels numériques intelligents et des réseaux informatiques de bureau.avec l'émergence des équipements industriels numériques intelligents et des réseaux informatiques de bureau. Leur apparition répondait

- d'une part, à la demande croissante de productivité dans le domaine industriel par l'automatisation de la communication entre les différents équipements industriels (de contrôle et de mesure) afin d'éliminer les pertes de temps et les risques d'erreurs dus aux interventions humaines,
- d'autre part, à la nécessité d'interconnexion des équipements industriels informatisés des équipements qui ont été introduits dans l'environnement industriel de manière anarchique, c'est-à-dire en résolvant chaque problème séparément sans tenir compte de l'intégrité de l'ensemble du système industriel.

3.3 SIMATIC NET

Les solutions de réseau SIMATIC NET font partie intégrante de l'offre Totally Integrated Automation (TIA) de Siemens. TIA est une plateforme cohérente et complète qui permet de créer des solutions d'automatisation personnalisées pour les clients, et Siemens est le seul constructeur à offrir cette possibilité.

SIMATIC NET présente plusieurs caractéristiques exceptionnelles, notamment

Une communication fluide entre le terrain et la direction de l'entreprise.

L'utilisation de l'Ethernet industriel pour l'évaluation des données de terrain.

La promotion de la communication mobile.

L'intégration des technologies de l'information.

Ces réseaux de communication permettent aux utilisateurs de combiner les produits SIMATIC et les appareils intelligents sur site en fonction de leurs besoins. Les standards flexibles et ouverts des réseaux de communication SIMATIC permettent la connexion de différents systèmes

et la réalisation d'extensions.[39]

3.4 Critères de choix d'un réseau industriel

Le choix d'un réseau industriel repose sur un certain nombre de critères, notamment

- Exigences détaillées de l'application
- les capacités technologiques du réseau, y compris les exigences en matière de vitesse et de synchronisation
- Facilité d'intégration avec les nouveaux équipements
- Disponibilité des composants pour la mise en œuvre
- Coûts d'installation, d'équipement, de formation et de maintenance
- Fiabilité : degré de criticité d'une défaillance potentielle du réseau
- Temps de réponse du réseau
- Sécurité du réseau. [40]

3.5 Topologies de réseaux

La topologie d'un réseau est une représentation graphique de la façon dont les appareils sont reliés entre eux. Les types de topologie rencontrés dans les réseaux industriels sont illustrés dans le schéma :

3.5.1 Connexion point à point

La connexion la plus simple est une connexion point à point entre deux appareils. Il peut s'agir d'une connexion entre un **automate** et un **PC**, par exemple. L'un des principaux inconvénients de cette connexion est que si un appareil doit communiquer avec plusieurs autres appareils, une connexion séparée doit être établie dans chaque cas.



FIGURE 3.1 – Connexion point à point

3.5.2 Topologie linéaire / en bus

La connexion d'appareils en série pour former une topologie linéaire est également appelée topologie de bus. La topologie linéaire est également appelée topologie de bus. Les appareils sont tous connectés à un seul support de transmission. Les systèmes de bus de terrain tels que **PROFIBUS** ont ce type de topologie.

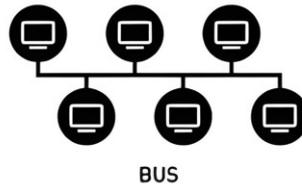


FIGURE 3.2 – Topologie linéaire / en bus

3.5.3 Topologie en anneau

Lorsque des appareils sont connectés dans une topologie en anneau, chaque appareil peut essentiellement communiquer avec tous les autres appareils via deux canaux (dans le sens des aiguilles d’une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d’une montre).

Et c’est là le principal avantage de la communication entre les appareils est toujours maintenue, même si une section du réseau est interrompue. même si une section du réseau est interrompue. Ce type de structure en anneau redondante peut être réalisée avec **EtherCat**,

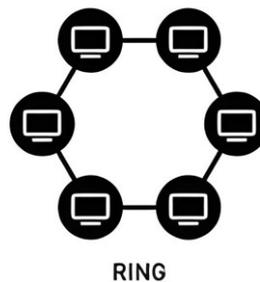


FIGURE 3.3 – Topologie en anneau

3.5.4 Topologie en étoile

Dans une topologie en étoile, un composant de distribution est nécessaire pour former le centre de l’étoile.

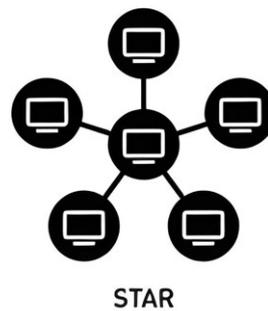


FIGURE 3.4 – Topologie en étoile

3.5.5 Topologie en arbre

Un arbre a plusieurs composantes de distribution, en fonction de sa taille, et peut donc être considéré comme une étoile "étendue". selon sa taille, Un exemple de cette typologie est le type courant de réseau **Ethernet** de bureau. qui utilise des commutateurs comme composant de distribution.[41]

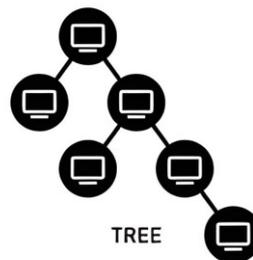


FIGURE 3.5 – Topologie en arbre

3.6 Protocoles de communication d'un réseau local industriel

Les protocoles de communication industrielle sont un ensemble de règles établies qui visent à créer une communication transparente entre les appareils et les systèmes industriels. Ces dernières années, de nombreux protocoles de communication ont été développés, chacun d'entre eux étant dédié à un objectif et à un environnement spécifiques.

Ces protocoles sont utilisés pour fournir aux dispositifs de terrain tels que les capteurs sans fil et les machines une connectivité au sein des réseaux industriels et entre eux. En général, les réseaux industriels peuvent être séparés en quatre couches différentes :

- **Couche physique** : Cette couche est constituée de transducteurs, d'actionneurs ou de capteurs sans fil. Ces dispositifs recueillent des informations sur le processus ou le

contrôle de l'environnement et les transmettent aux systèmes de contrôle ou de surveillance. Ils exécutent également des commandes sur le terrain, telles que le mouvement physique du rotor.

Exemple de protocoles de communication industrielle utilisés dans cette couche : **DIN-Meßbus**. Bus de mesures maître/esclave.

GPiB - IEEE 488. Bus d'instrumentation digitale.

HART. Protocole de communication avec des capteurs distants.

LXI. Réseau d'instrumentation numérique.

M-bus. Réseau d'équipements programmables (énergie).

Modem HART. Interface de communication avec des capteurs distants.

Profibus-PA. Profibus pour l'automatisation de procédé.

- **Couche de contrôle** : Cette couche est composée de contrôleurs logiques, tels que les PLC ou les systèmes de contrôle distribués (DCS). Leur rôle principal est d'assurer le contrôle local des différents équipements d'un réseau industriel.

Exemple de protocoles de communication industrielle utilisés dans cette couche :

CAN bus. Réseau de systèmes programmables.

ControlNet. Réseau déterministe temps réel.

Drivecom. Interface de communication (variateurs de fréquence).

Ethercat. Protocole Ethernet pour le contrôle automatisé.

MACRO. Protocole temps réel pour réseau de contrôleurs multi-axes.

Mechatrolink. Bus de terrain pour le contrôle d'axes.

Powerlink. Protocole Ethernet déterministe et temps réel.

Profinet. Profinet pour les variateurs de fréquence.

SERCOS. Protocole temps réel (réseaux de variateurs).

SynqNet. Réseau Fast-Ethernet pour les intégrateurs (OEM).

- **Couche de supervision** : Cette couche comprend un SCADA/IHM pour un meilleur contrôle et une meilleure supervision de l'activité industrielle.

Exemple de protocoles de communication industrielle utilisés dans cette couche :

ArcNet. Réseau local à jeton.

BitBus - IEEE 1118. Réseau local ouvert non propriétaire.

CC-link. Bus de contrôle et de communication.

CIP. Protocole industriel d'ordre général.

Ethernet IP. Protocole Ethernet industriel.

Fieldbus. « Bus de terrain ».

FIP : Protocole d'instrumentation industrielle.

Modbus. Protocole de communication industrielle standard.

Profibus. Réseau local propriétaire.

Profinet. Profibus sur Ethernet.

SafetyBUS. Bus de sûreté.

- **Couche d'exécution et de planification** : Cette couche est un intermédiaire important entre les objectifs commerciaux et opérationnels. La planification des ressources de l'entreprise est un bon exemple de fonction d'exécution dans cette couche. [42]

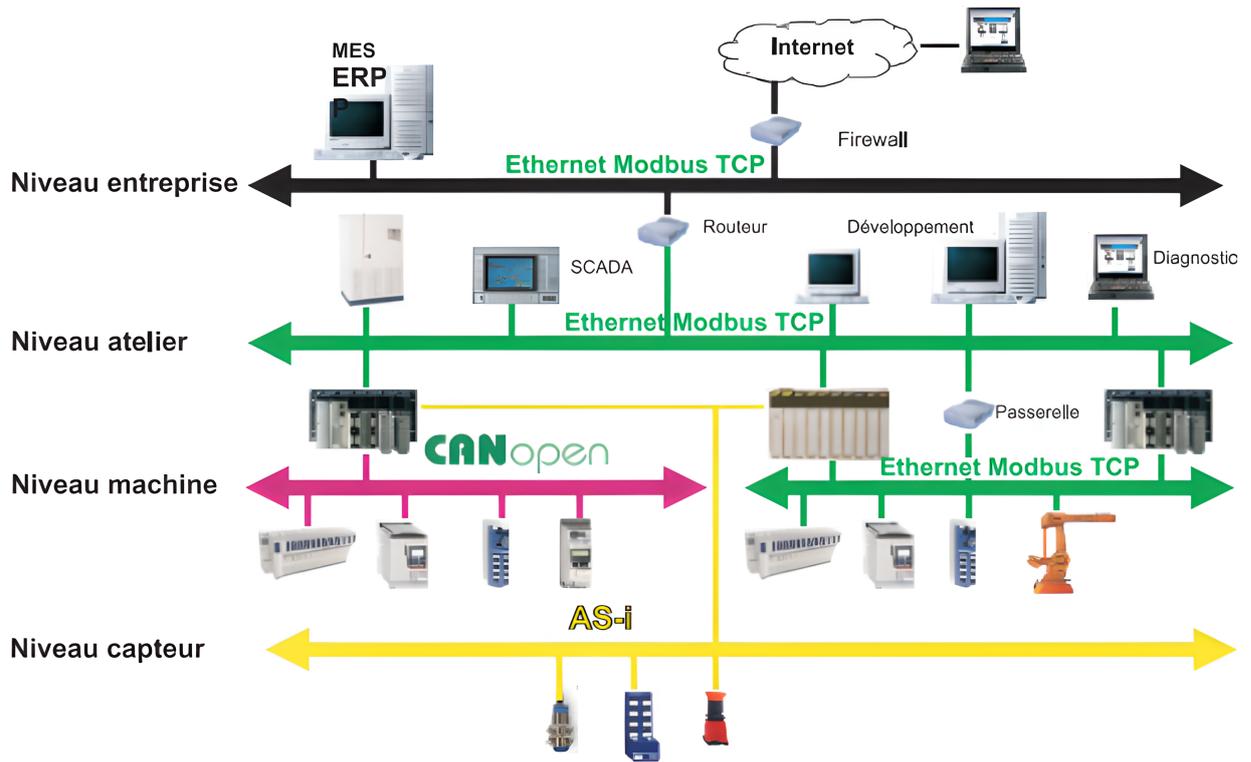


FIGURE 3.6 – Architecture d'un réseau local industriel

3.6.1 Le Profinet

Profinet est une norme de communication ouverte utilisée dans l'automatisation industrielle. Dans le cadre de la Totally Integrated Automation (TIA) de SIEMENS, PROFINET



FIGURE 3.7 – SIEMENS PROFINET

est la combinaison logique de :

- Profibus DP, le bus de terrain établi (l'ancienne norme)
- Ethernet industriel

Profinet IO, en tant que norme d'automatisation basée sur Ethernet de Profibus PROFIBUS NET définit un modèle de communication, d'automatisation et d'ingénierie non propriétaire. Il s'agit d'un modèle de communication, d'automatisation et d'ingénierie non propriétaire. Il utilise une technologie de commutation qui permet à chaque partenaire d'accéder au réseau à tout moment. La transmission simultanée des données de plusieurs partenaires rend le fonctionnement du réseau beaucoup plus efficace. Le réseau est beaucoup plus efficace. La transmission et la réception simultanées sont rendues possibles par l'utilisation d'Ethernet. Profinet IO est basé sur l'utilisation d'Ethernet commuté en duplex intégral avec une bande passante de 100Mbit/s

Câble et connecteurs PROFINET

PROFINET est basé sur la technologie ETHERNET et peut donc être exploité avec des câbles et connecteurs ETHERNET conventionnels. Cependant, les contraintes de l'environnement industriel sont plus sévères, c'est pourquoi PROFINET a défini des câbles spécifiques et des connecteurs renforcés.

Câble PROFINET :

Les câbles Ethernet sont répartis en plusieurs catégories dont les plus abordées restent la catégorie 5e, la catégorie 6a, la catégorie 6 et la catégorie 7. La principale différence entre ces catégories réside dans la vitesse de transmission. Pour illustrer les câbles Cat 5e disposent d'une bande passante de 100Mhz tandis que les Cat 6 proposent 250Mhz.

Connecteurs PROFINET

Les connecteurs PROFINET sont conçus pour être robustes et faciles à assembler grâce au concept de déplacement de l'isolation du système Fast Connect (déjà utilisé sur **PROFIBUS**).

Il existe 3 familles de connecteurs :

- RJ45 en IP20 ou IP65
- M12 en IP 66/67
- RJ45 Hybride pour les équipements TV alimentés

Outre la solution 100 Mb/s qui est la plus utilisée, il existe également des solutions de câbles et de connecteurs permettant des interconnexions à 1Gb/s ou des liaisons en fibre optique.[43]



FIGURE 3.8 – Connecteurs PROFINET

3.7 Introduction à OPC

En informatique industrielle, il est souvent nécessaire de faire communiquer un PC et un automate pour concevoir des systèmes de supervision sur PC. Différents moyens sont disponibles pour établir cette communication, par exemple en utilisant le protocole Modbus si l'automate dispose d'un port RS-485. Cependant, dans certains cas où l'automate ne dispose pas d'interfaces de communication dédiées ou lorsque plusieurs marques d'automates sont utilisées, l'utilisation d'un serveur OPC est la solution idéale. Si vous êtes un spécialiste de l'automatisation et que vous n'avez jamais travaillé avec des serveurs OPC, ces concepts peuvent sembler déroutants au premier abord. Cependant, une fois que vous aurez acquis les bases des serveurs OPC, vous pourrez facilement concevoir des communications PC/API et développer vos propres applications de supervision à l'aide de langages tels que Visual Basic, C, WinDev, etc.

3.7.1 Open Platform Communications OPC

OPC est une norme de communication qui a été développée pour permettre la communication entre plusieurs applications dans un environnement industriel. En utilisant OPC, il est possible de connecter des équipements provenant de différents fabricants et utilisant différents protocoles de communication, ce qui facilite l'interopérabilité entre les différents systèmes.[44]



FIGURE 3.9 – Open Platform Communications OPC

Spécifications de la norme OPC

La norme OPC se compose de plusieurs spécifications :

- **OPC Classic** : Cette spécification est la version originale de la norme OPC et a été développée pour permettre la communication entre des appareils de différents fabricants. Elle est basée sur la technologie COM/DCOM de Microsoft et utilise des interfaces standardisées pour la communication.
- **OPC UA (Unified Architecture)** : cette spécification est la dernière version de la norme OPC et a été développée pour répondre aux besoins de communication d'un environnement industriel moderne. OPC UA est basé sur des normes industrielles telles que XML et SOAP, et utilise une architecture orientée service pour la communication.
- **OPC DA (Data Access)** : cette spécification de la norme OPC est axée sur l'échange de données en temps réel entre les appareils. Elle permet de collecter des données en temps réel à partir de différents équipements de production et de les afficher sur un système de supervision.
- **OPC AE (Alarms and Events)** : Cette spécification est axée sur la surveillance des événements qui se produisent dans un environnement de production. Elle permet de surveiller des événements tels que les alarmes, les pannes, les arrêts de production, etc.

- **OPC HDA (Historical Data Access)** : Cette spécification porte sur l'enregistrement et l'historisation des données de production. Elle permet de stocker les données de production sur une longue période à des fins d'analyse et de prise de décision. [44]

3.7.2 La différence entre OPC classique et OPC-UA :

OPC classique nécessite un système d'exploitation Microsoft Windows pour implémenter la fonctionnalité de serveur COM/DCOM. En utilisant la SOA et les services Web, OPC UA est un système indépendant de la plate-forme qui élimine la dépendance précédente vis-à-vis d'un système d'exploitation Windows. En utilisant SOAP/XML sur HTTP, OPC UA peut se déployer sur une variété de systèmes embarqués, qu'il s'agisse d'un système d'exploitation à usage général, tel que Windows, ou d'un système d'exploitation déterministe en temps réel

3.7.3 L'architecture d'un réseau fonctionnant avec le standard OPC

L'architecture d'un réseau fonctionnant avec le standard OPC se compose toujours d'au moins 3 parties :

Un dispositif matériel ou logiciel qui contient les données à exploiter. Ce dispositif peut être un automate, un SNCC, une base de données, un fichier Excel, un RTU ou un logiciel SCADA, entre autres.

Un serveur OPC, qui est un logiciel capable de comprendre le langage propriétaire du dispositif matériel ou logiciel où il collecte les données à exploiter. Il existe des serveurs OPC pour les différentes marques d'automates ainsi que pour des applications telles que Excel ou les bases de données, ainsi que pour les protocoles de communication courants tels que Modbus ou DNP3. En générale, les fabricants de PLC proposent leurs propres serveurs OPC, comme Siemens avec Simatic Net, Rockwell avec RSLINX, National Instruments, Schneider avec OFS OPC Server, etc. Cependant, il existe également des entreprises spécialisées dans la conception de serveurs OPC, telles que Matrikon, **Kepware** avec **KepserverEx**, Softing, etc.

Un client OPC, qui est un logiciel qui met en œuvre les spécifications du standard OPC et qui peut communiquer avec n'importe quel serveur OPC, quel que soit le fabricant. Si l'on veut créer une application de supervision, on peut utiliser le standard OPC DA. Un client OPC peut être une application écrite en Visual Basic, C, LabVIEW, etc. Pour créer son propre client OPC, il faut utiliser les bibliothèques ou les fichiers DLL fournis par la Fondation OPC. [44]

3.7.4 Kepserver

KEPServerEX est une plateforme de connectivité industrielle qui permet de connecter, gérer et contrôler différentes machines à travers une interface utilisateur intuitive. Grâce à sa configuration flexible, il offre plus de 200 interfaces de communication et informatiques (serveur OPC, SNMP, ODBC, services web...) pour assurer l'interopérabilité des systèmes d'automatisation. Cette solution vous permet d'envoyer les données de votre environnement industriel via une source unique. KEPServerEX offre une solution ouverte, facile à utiliser et évolutive, ce qui en fait une référence en matière d'IoT et d'industrie 4.0. [45]



FIGURE 3.10 – KEPServerEX (Serveur OPC)

3.7.5 Historique

Kepware Technologies a commencé à développer des solutions de communication en 1995, en se concentrant sur l'interopérabilité des systèmes d'automatisation industrielle. Ils ont créé le logiciel KepsServer pour permettre la connexion, la gestion et le contrôle de machines industrielles à travers une interface utilisateur intuitive.[46]

3.7.6 Avantages du KEPServerEX

KEPServerEX offre plusieurs avantages en termes de connectivité, d'optimisation, d'agrégation, d'accessibilité, de sécurité et de diagnostic. Voici une description détaillée de chacun de ces avantages :

Connectivité : KEPServerEX propose une large gamme de pilotes prenant en charge divers périphériques et réseaux utilisés dans l'automatisation industrielle. Il prend en charge des réseaux filaires et sans fil tels qu'Ethernet, série et des réseaux propriétaires, ainsi que divers supports de télémétrie. Il permet également la connectivité aux bases de données, aux applications logicielles personnalisées et à d'autres serveurs OPC. De plus, KEPServerEX prend en charge la simulation pour faciliter la mise en œuvre et les tests avant le déploiement.

Optimisation : KEPServerEX améliore les communications en réduisant la charge sur le réseau et les périphériques. Il effectue la conditionnement et la réduction des données, offre un équilibrage de charge personnalisé et optimise les communications spécifiques au protocole. Il prend également en charge les liens de machine à machine et la redondance pour une performance optimale.

Agrégation : KEPServerEX permet la connexion à des milliers de sources de données et fournit des informations à des centaines d'applications grâce à une architecture unique. Cela élimine le besoin d'utiliser et de maintenir des applications disparates pour la connectivité discrète, ce qui simplifie la gestion et l'exploitation des données.

Accessibilité : KEPServerEX offre une grande accessibilité aux principaux logiciels d'automatisation, de Big Data et d'analyse. Il prend en charge les normes OPC, les protocoles propriétaires ainsi que des protocoles informatiques tels que MQTT, REST, ODBC et SNMP. Les données historiques sont également accessibles via les normes OPC, les journaux de tendances et la mesure électronique des débits (EFM) pour les hydrocarbures.

Sécurité : KEPServerEX dispose d'outils intégrés permettant aux administrateurs de contrôler l'accès des utilisateurs et de réguler les privilèges de navigation, de lecture et d'écriture pour assurer des communications de données sécurisées. Il prend en charge plusieurs normes de

sécurité client telles que SNMP, OPC et HTTPS, afin de restreindre l'accès au serveur. De plus, il prend en charge plusieurs protocoles de périphériques sécurisés pour répondre aux exigences des sources de données DNP3, SNMP et OPC UA.

Diagnostic : KEPServerEX fournit des outils de diagnostic robustes pour isoler et résoudre facilement les problèmes de communication des périphériques et des applications. Ces fonctionnalités de diagnostic aident les utilisateurs à identifier rapidement les problèmes et à prendre des mesures correctives, ce qui réduit les temps d'arrêt et améliore l'efficacité opérationnelle.[47]

3.7.7 Options du serveur OPC KEPServerEX

Le serveur OPC KEPServerEX propose plusieurs options, telles que :

- Le protocole Server U-CON, qui permet de développer rapidement des pilotes de communication pour divers périphériques série ou Ethernet (scanner de code à barres, lecteur RFID, imprimante, capteur, etc.).
- La suite SNMP, qui offre une vue en temps réel de l'état des dispositifs Ethernet et de l'ensemble du trafic réseau aux opérateurs via un client OPC.
- Le plug-in DataLogger, qui permet une connexion transparente entre tous les tags/éléments OPC de KEPServerEX et une base de données compatible ODBC telle qu'Access, SQL et MySQL.
- Les options Advanced Tag et le plug-in Tags Advanced, qui permettent de générer de nouvelles données et d'agrèger les données existantes en une information utilisable pour un niveau plus élevé d'archives et d'analyses (traitement direct sur les données).
- La suite Oracle Connectivity et "Oracle Business and Operations Management", qui permettent une connectivité en temps réel avec des équipements et des opérations dans les usines, ainsi que des outils de connectivité personnalisés et des analyses.[49]

3.7.8 Autre produits de KEPServerEx

KEPServerEx propose également d'autres produits, notamment :

- **ThingWorx Native Interface :** Il s'agit d'un plug-in pour KEPServerEX qui permet de connecter directement les données de capteurs et d'automates à la plateforme IoT ThingWorx. Cette interface fournit des outils de configuration et de surveillance pour les dispositifs IoT et les équipements industriels.
- **KEPServerEX ClientAce :** Il s'agit d'un outil de développement d'applications qui permet de créer des interfaces utilisateur personnalisées pour interagir avec les données du serveur KEPServerEx.
- **KEPServerEX Advanced Tags :** Ce produit étend les capacités du serveur KEPServerEx en permettant la création de tags avancés avec des fonctionnalités telles que la conversion d'unités, les calculs mathématiques, la génération de données simulées, etc.
- **KEPServerEX IoT Gateway :** C'est un composant logiciel permettant de connecter le serveur KEPServerEx à des plateformes IoT telles que ThingWorx (également développée par PTC) pour l'intégration des données industrielles dans des solutions IoT.
- **KEPServerEX LinkMaster :** Ce produit permet de connecter plusieurs instances de serveur KEPServerEx ensemble pour faciliter l'échange de données entre différents systèmes et protocoles. [48]

- **KEPServerEX RedundancyMaster** : Il offre des fonctionnalités de redondance pour les serveurs KEPServerEx, permettant une haute disponibilité des données en cas de panne d'un serveur principal.
- **KEPServerEX DataLogger** : Cet outil permet de capturer et d'enregistrer les données provenant du serveur KEPServerEx dans une base de données ou un fichier journal, facilitant ainsi l'analyse et la traçabilité des données historiques. [49]

3.8 Conclusion

Ce chapitre traite du protocole de communication industrielle et de l'OPC (Open Platform Communication). Son objectif est de faciliter l'échange d'informations entre les équipements industriels, améliorant ainsi la communication et la coordination des processus de production. OPC, en tant que norme ouverte, offre une architecture standardisée pour la communication entre les systèmes de contrôle et les applications industrielles. Sa principale caractéristique est de promouvoir l'interopérabilité entre différents logiciels et matériels, simplifiant ainsi l'intégration et la gestion des systèmes industriels.

Chapitre 4

Programmation et supervision

4.1 Introduction

Le secteur des stations de pompage est en constante évolution, avec l'intégration de technologies avancées pour améliorer la fiabilité et la durabilité des systèmes. L'automatisation est l'une des principales avancées dans ce domaine, permettant le contrôle et la surveillance en temps réel des opérations de la station. Les automates programmables (PLC) sont des éléments clés de l'automatisation industrielle, permettant l'acquisition rapide d'informations et une prise de décision rapide pour résoudre les anomalies. Ils sont également utilisés pour améliorer la gestion de l'énergie, la maintenance préventive et la télésurveillance des stations de pompage. Ces réformes visent à fournir des solutions durables et rentables pour répondre aux besoins croissants de la gestion des ressources en eau et de l'approvisionnement en eau.

A la fin de ce chapitre, nous aurons réalisé toutes les étapes nécessaires à la mise en place d'un système de gestion autonome pour notre station de pompage 1, depuis l'élaboration du cahier des charges jusqu'à l'implémentation des programmes de contrôle et des interfaces de supervision. De plus, notre station de pompage 1 pourra communiquer et contrôler la station de pompage 2, établissant ainsi une coordination entre les deux stations.

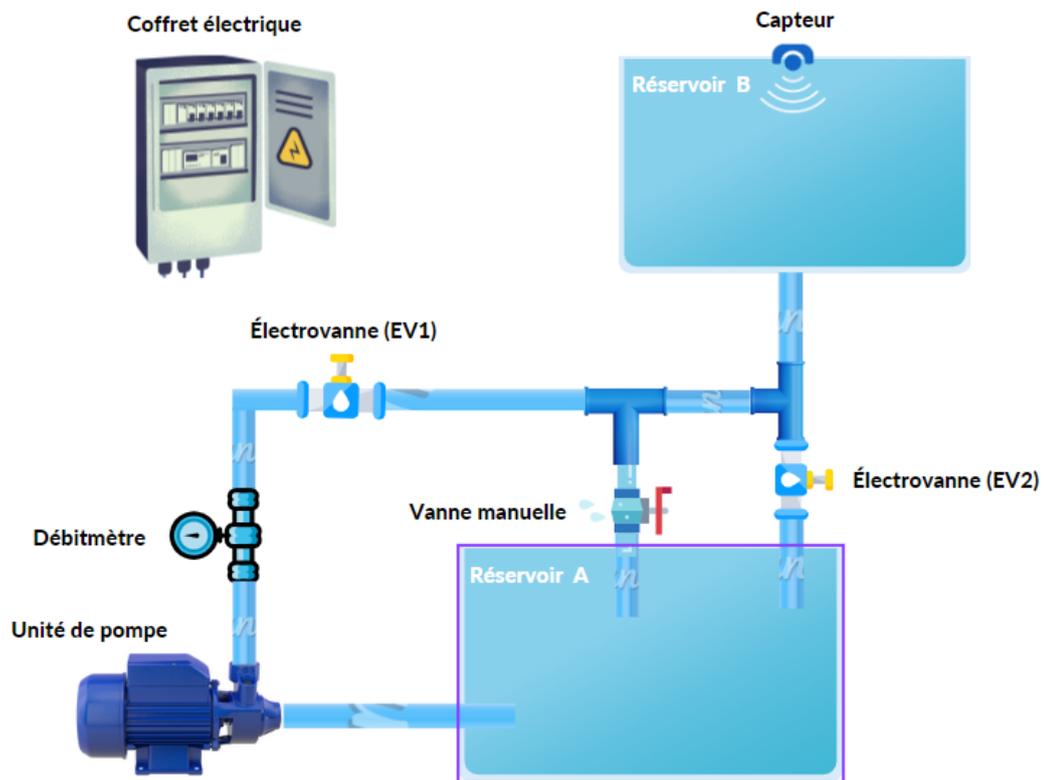


FIGURE 4.1 – Image représentative de la station de pompage

4.2 GRAFCET

Le GRAFCET est une représentation bien adaptée aux systèmes qui ont un aspect séquentiel. Elle permet la décomposition de ces systèmes en plusieurs étapes distinctes, ce qui facilite leur implémentation dans les logiciels de programmation ainsi que l'interprétation des informations qu'ils contiennent. Le GRAFCET se compose de plusieurs états, chacun ayant des conditions d'activation et de désactivation spécifiques, ainsi que des sorties qui se déclenchent lorsque l'état est actif.

4.3 Cahiers de Charges

Les documents de spécifications détaillent la manière dont la station de pompage doit fonctionner. Les opérations sont exécutées par le système en suivant des conditions établies par l'utilisateur et programmées dans l'Automate Programmable **PLC**. La supervision et le contrôle de ces opérations sont ensuite effectués à partir de l'Interface Homme/Machine **IHM**.

4.3.1 Cahiers de charges I : Mode de fonctionnement automatique

Le premier cahier des charges décrit le processus de contrôle du niveau du réservoir B à l'aide d'une servocommande aux performances optimales. Ce contrôle est effectué au moyen des trois commandes résumées au chapitre 2.

Le fonctionnement autonome de la station est un mode de fonctionnement en boucle fermée. En utilisant l'Interface Homme Machine pour définir le point de consigne, le système exécute les opérations suivantes :

Le mode de fonctionnement en boucle fermée de la station implique les opérations suivantes :

Remplissage : si le système est en marche et que le point de consigne sélectionné plus la valeur de tolérance (+) est supérieur au niveau h, la pompe et l'électrovanne EV1 sont activées, l'électrovanne EV2 est fermée et l'indicateur de remplissage s'allume. L'opération s'arrête lorsque le point de consigne plus la valeur de tolérance (+) descend en dessous du niveau h, puis le système retourne à l'état d'arrêt.

Vidange : si le système est en marche et que le point de consigne sélectionné plus la valeur de tolérance (-) est inférieur au niveau h, l'électrovanne EV2 s'ouvre et le voyant de vidange s'allume. L'opération s'arrête lorsque le point de consigne plus la valeur de tolérance (-) dépasse le niveau h, et le système retourne à l'état d'arrêt.

Arrêt d'urgence : lorsque le système est en marche et que le bouton d'arrêt d'urgence est enclenché, le système s'arrête immédiatement. À partir des cahiers des charges, nous développons le GRAFCET suivant :

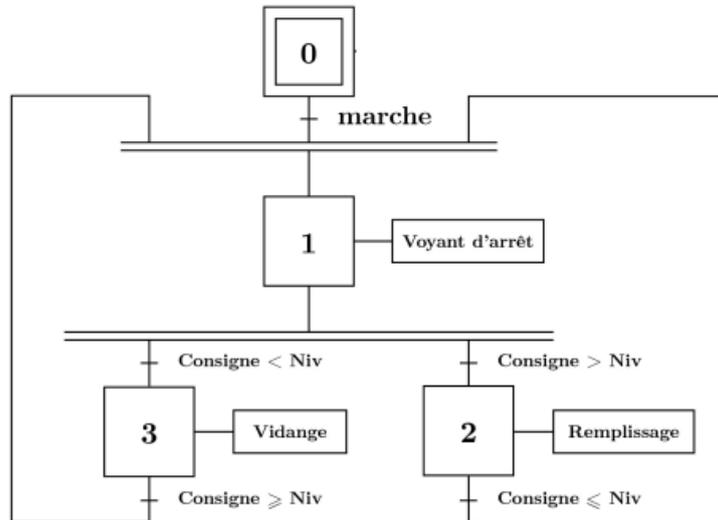


FIGURE 4.2 – GRAFCET décrivant le Cahier de Charges I

4.3.2 Cahiers de charges II : Mode de fonctionnement cyclique

Le système utilise un mode de fonctionnement cyclique pour exécuter des fonctions de manière répétitive. Ce mode est utile pour maintenir un état fixe de la station pendant une période donnée. En ce qui concerne notre cas, la station de pompage fonctionne de manière cyclique pour maintenir le niveau d'eau dans le réservoir à un niveau prédéterminé, en fixant la durée T et en utilisant un compteur qui s'incrémente n fois. Cela garantit que le niveau d'eau reste constant pendant la durée T/n. Pendant ce mode, le système effectue les opérations suivantes :

Première temporisation : Si le niveau d'eau est inférieur à 60% de sa capacité maximale lorsque le système est en marche, une temporisation d'une minute est initialisée, suivie de la phase de remplissage. Si le niveau est supérieur à 60%, le système passe directement à la deuxième temporisation.

Remplissage : Si le niveau d'eau est inférieur à 60% de sa capacité maximale et que la première temporisation est terminée, la pompe et l'électrovanne **EV1** sont enclenchés, l'électrovanne **EV2** est fermée et le voyant de remplissage s'allume jusqu'à ce que le niveau atteigne au moins 60%.

Seconde temporisation : Lorsque le niveau d'eau est au moins à 60% de sa capacité maximale, la seconde temporisation s'active et dure une journée (10 secondes dans le programme de simulation).

Comptage des cycles : Le comptage des cycles commence lorsque la seconde temporisation est terminée. Le cycle est répété trois fois, de la première à la seconde temporisation. Si le comptage est inférieur à 3, le cycle est répété. Le comptage se termine au quatrième cycle et la machine passe en mode de vidange.

Vidange : L'étape de vidange est automatiquement activée lorsque le comptage est supérieur à 3, ce qui ouvre l'électrovanne 2 et allume le voyant de vidange. L'opération s'arrête lorsque le niveau d'eau atteint le niveau minimal, puis le système revient à son état initial et le compteur est remis à zéro.

À partir des cahiers des charges, nous développons le GRAFCET suivant :

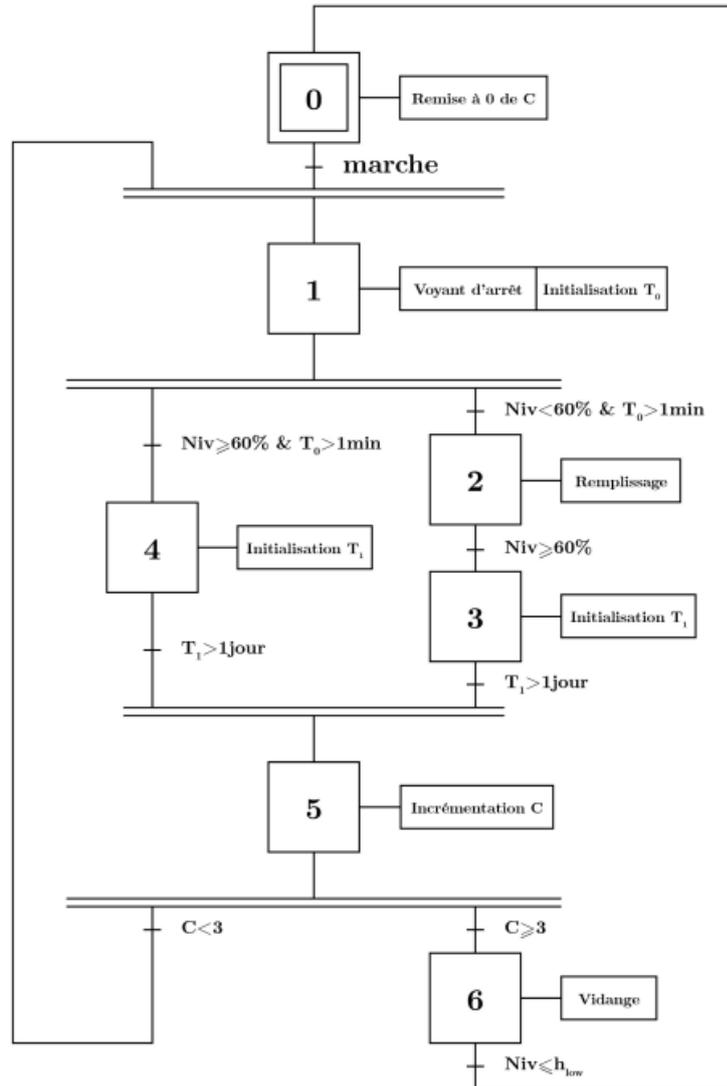


FIGURE 4.3 – GRAFCET décrivant le Cahier de Charges II

4.4 Mise en œuvre des spécifications sur TIA Portal

4.4.1 Programme de l'API

Pour écrire un programme sur TIA Portal, il est important de suivre une structure spécifique, car les programmes d'API sur ce logiciel sont composés de plusieurs blocs qui remplissent des fonctions bien définies. TIA Portal comprend plusieurs types de blocs, notamment :

- Les blocs d'organisation (OB : Organization Block)
- Les fonctions (FC : Fonction)
- Les blocs fonctionnels (FB : Function Block)
- Les blocs de données (DB : Data Block) Dans la suite de cet article, nous allons décomposer un programme écrit dans le logiciel STEP7 de TIA Portal en plusieurs parties, en fonction des types de blocs utilisés.

Bloc d'organisation - Main

Les blocs d'organisation servent d'interface entre l'utilisateur et le système d'exploitation, qui est souvent Microsoft Windows. Ils remplacent le bloc principal de notre programme, appelé Main, et contiennent toutes les instructions API à exécuter.

Fonctions et Blocs Fonctionnels

- **Fonction de limitation** : Cette fonction permet de fixer des seuils pour limiter la valeur d'une variable telle que la référence de niveau d'entrée, la tolérance de niveau ou les paramètres du correcteur PI. Elle prend en entrée la quantité à limiter, ainsi que ses valeurs maximale et minimale.

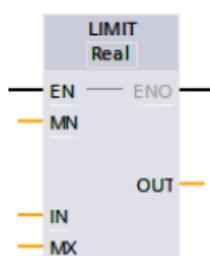


FIGURE 4.4 – Fonction de limitation

- **Fonction d'initialisation** : La fonction est activée lorsque le système fonctionne et son rôle est d'initialiser les paramètres du correcteur PI s'ils sont nuls. Les paramètres d'initialisation sont ceux du correcteur synthétisé au chapitre précédent. Cette fonction prend en entrée les paramètres Kp, Ki qui sont introduits à partir de l'IHM.

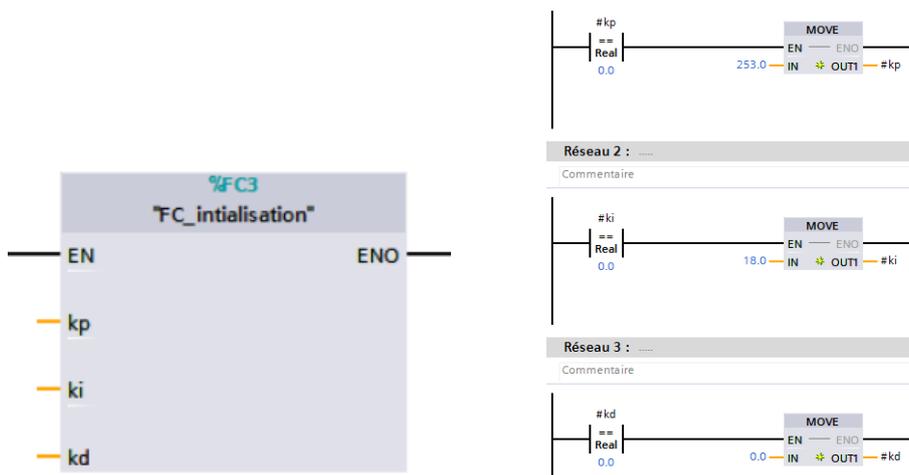


FIGURE 4.5 – Fonction d'initialisation

- **Fonction PI** : L'objectif de la fonction est de calculer la commande PI qui a été synthétisée précédemment. Elle prend en entrée les paramètres PID (Kp, Ki, Kd), la référence de niveau, le niveau h et la valeur initiale de la somme intégrale. Elle renvoie la commande u qui est calculée selon l'équation suivante :

$$u = Kp * erreur + Ki * somme$$

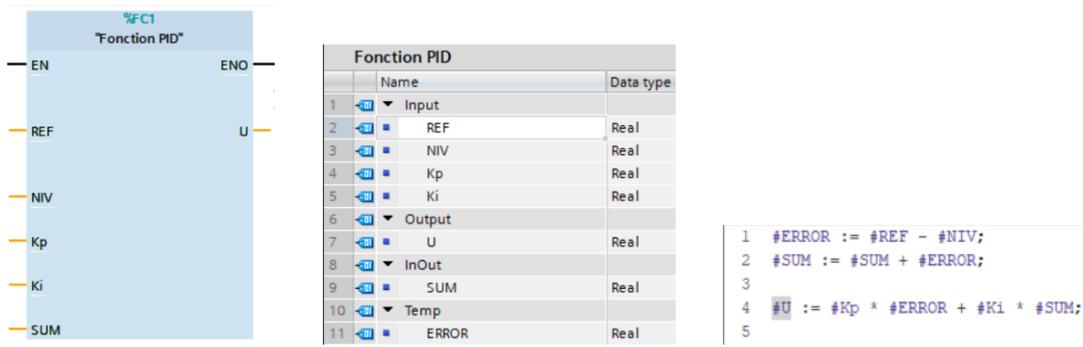


FIGURE 4.6 – Fonction PI

- **Fonction SMC** : Cette fonction calcule la commande par mode glissant (SMC) qu'on a synthétisé précédemment. Elle prend comme arguments le gain de commutation KSMC, la référence de niveau et le niveau h . Elle retourne la commande u écrite sous cette équation :

$$u = 37.28 * \sqrt{(niveau)} - KSMC * sign(reference - niveau)$$

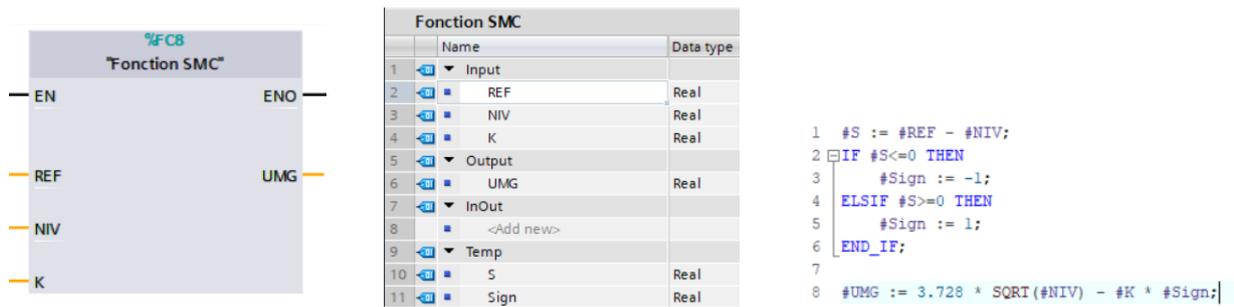


FIGURE 4.7 – Fonction SMC

- **Fonction BS** : Cette fonction calcule la commande par Backstepping (BS) qu'on a synthétisé précédemment. Elle prend comme arguments le gain λ , la référence de niveau et le niveau h . Elle retourne la commande u écrite sous cette équation :

$$u = 37.28 * \sqrt{(niveau)} - \lambda * (reference - niveau)$$



FIGURE 4.8 – Fonction BS

- **Fonction de tolérance** : Cette fonction calcule la référence tolérée par le système. L'utilisateur introduit la tolérance en pourcentage et la référence de niveau. La fonction retourne la valeur tolérée de la référence.

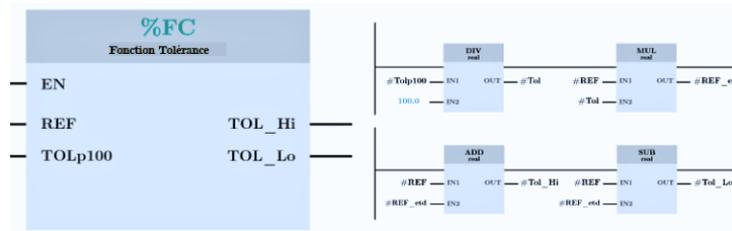


FIGURE 4.9 – Fonction de tolérance

- **Fonction Scale** : La fonction met à l'échelle une quantité analogique telle que la lecture du capteur de niveau ou du débitmètre. Elle normalise ensuite cette valeur et la multiplie par un intervalle défini par l'utilisateur. En sortie, elle renvoie une valeur réelle mise à l'échelle.

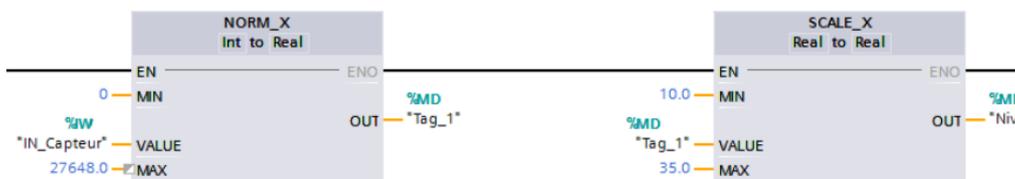


FIGURE 4.10 – Fonction Scale

- **Fonction Unscale** : Cette fonction effectue l'opération inverse de la fonction précédente. Elle normalise une valeur calculée dans l'API, telle que la commande PI ou la commande de mode glissant, dans une plage définie par l'utilisateur. Elle multiplie ensuite cette valeur par une échelle de 0 à 27648. En sortie, elle renvoie une valeur entière.



FIGURE 4.11 – Fonction Unscale

- **Bloc Fonctionnel - Cahier de charges I** Du fait de la similitude des premier cahiers de charges, nous avons opté pour la création d'un bloc fonctionnel intégrant l'ensemble du deuxième cahier de charges. Ce bloc fonctionnel est alimenté par les arguments suivants :

- 1 Les états du GRAFCET (x0 à x3).
- 2 Le niveau h.
- 3 Consigne

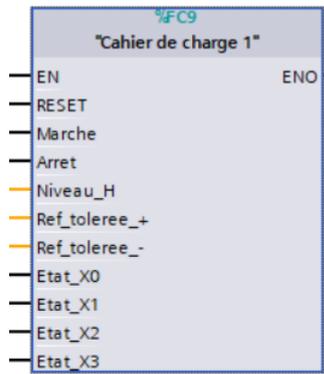


FIGURE 4.12 – Fonction (FC) - Cahier de charges I

— **Bloc Fonctionnel - Cahier de charges II** Du fait de la similitude des deux cahiers de charges, nous avons opté pour la création d’un bloc fonctionnel intégrant l’ensemble du deuxième cahier de charges. Ce bloc fonctionnel est alimenté par les arguments suivants :

- 1 Les états du GRAFCET (x0 à x6).
- 2 Le niveau h.
- 3 La condition du niveau inférieure

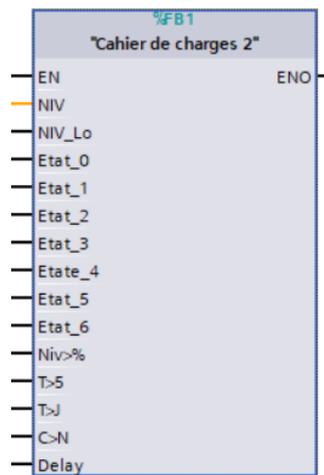


FIGURE 4.13 – Bloc Fonctionnel - Cahier de charges II

Blocs de Données

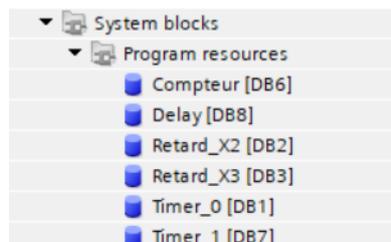


FIGURE 4.14 – Bloc de Données

4.4.2 Programme de l'IHM

Il est nécessaire de visualiser l'état et le mode de fonctionnement d'une installation industrielle automatisée pour en assurer la supervision et le contrôle. Pour ce faire, il est indispensable d'équiper l'automate d'un intermédiaire de communication, qui est généralement une interface homme-machine (IHM). Dans le cas de la station de pompage, l'IHM est créée à l'aide de WinCC, un système de contrôle et d'acquisition de données disponible sur le portail TIA. WinCC offre la possibilité de personnaliser chaque vue en fonction des besoins de l'utilisateur, en incluant toutes les informations relatives aux équipements de la station.

WinCC gère les tâches suivantes :

- Représentation du process
- Commande du process
- Affichage d'alarmes
- Documentation des valeurs et des alarmes
- Archivage des valeurs de process et des alarmes

Les vues

Les vues sont les éléments principaux du projet. Elles permettent de visualiser et de contrôler la station. L'interface graphique de notre station est composée de plusieurs vues :

Vue Principale La vue principale est la vue d'accueil de l'IHM, elle permet d'accéder à la navigation sur les autres vues



FIGURE 4.15 – Vue principale de l'IHM

Vue GRAFCET La vue correspond aux deux GRAFCET définis dans nos cahiers de charges. Elle permet d’afficher les états des GRAFCET lorsqu’ils sont activés, ainsi que certaines variables telles que les valeurs de temporisation d’un temporisateur et de comptage d’un compteur.

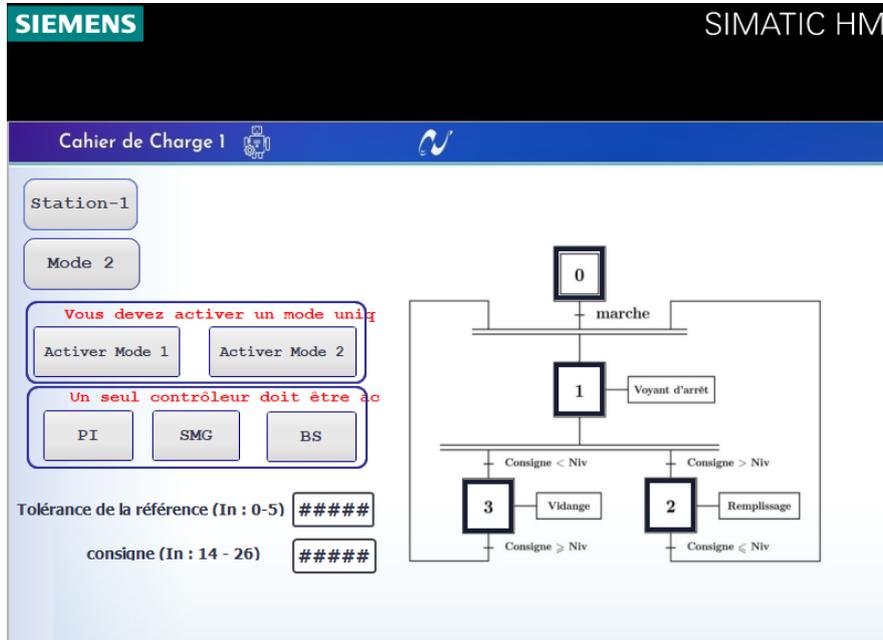


FIGURE 4.16 – Vue GRAFCET I de l’IHM

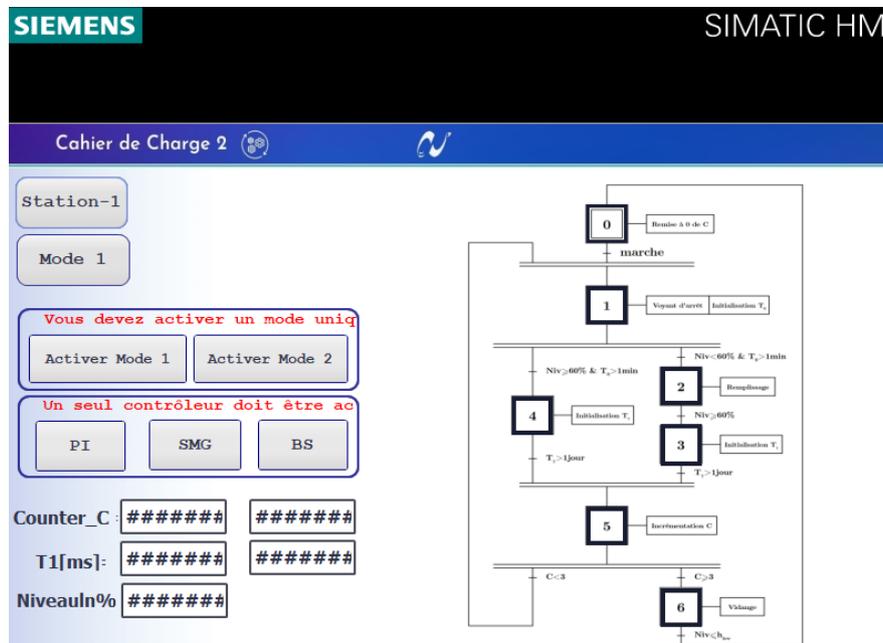


FIGURE 4.17 – Vue GRAFCET II de l’IHM

Vue Contrôle La vue de contrôle permet une supervision graphique de la courbe de niveau d’eau et de la référence d’entrée,

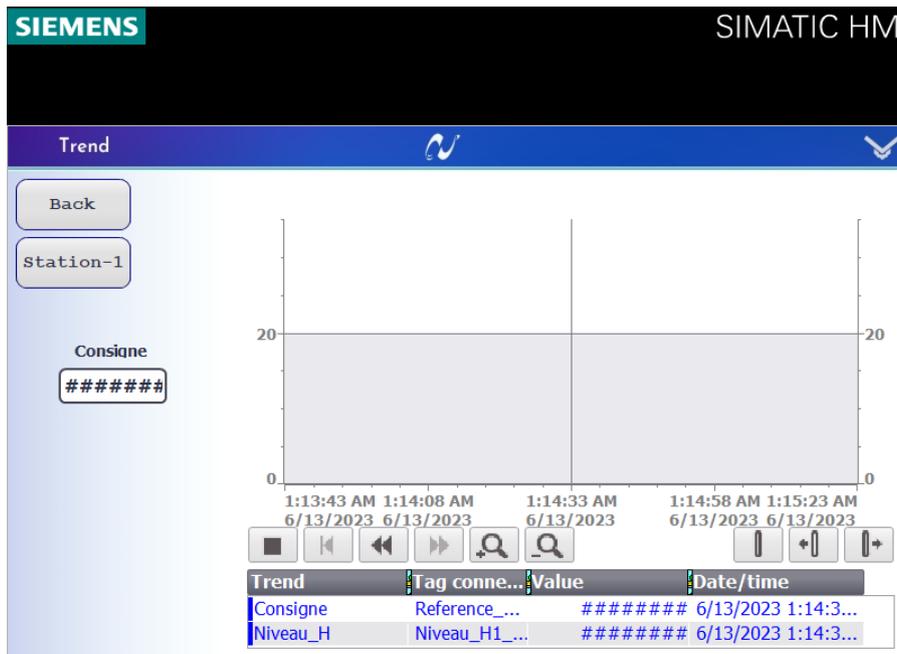


FIGURE 4.18 – Vue Contrôle de l’IHM

Vue Station Dans cette vue, il est possible de lire les valeurs du capteur de niveau, ainsi que d’observer les indicateurs des phases de remplissage, de vidange et d’arrêt de la station.

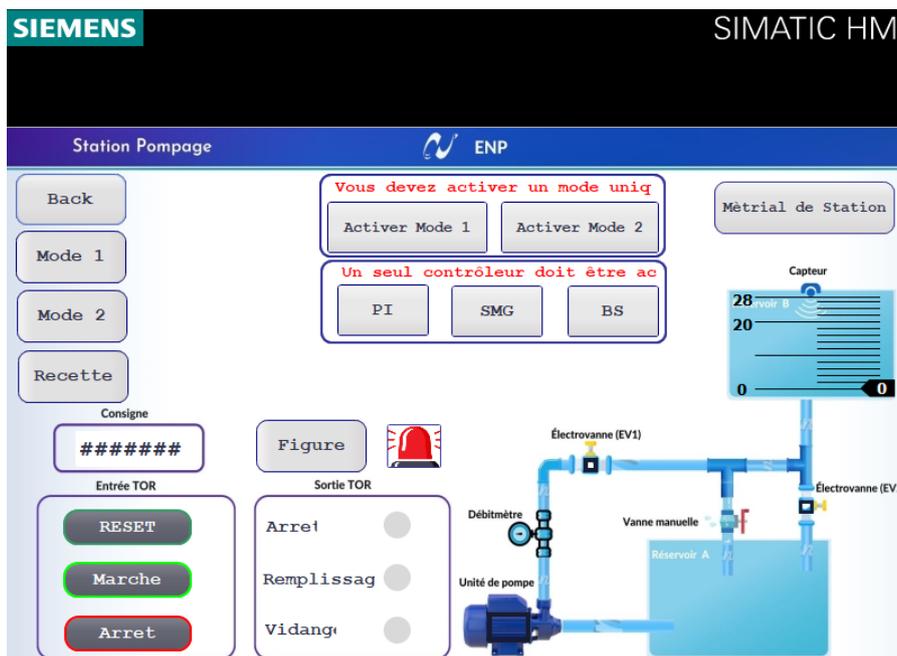


FIGURE 4.19 – Vue Station-1 de l’IHM

Vue d’équipement

Cette vue montre les différents composants utilisés dans la station.



FIGURE 4.20 – Vue de l'équipement de la station -1

Vue Alarmes La vue des alarmes donne accès à toutes les alarmes produites pendant le fonctionnement de la machine et permet de les gérer. Les alarmes sont déclenchées lorsque :

1 Alarme TOR :

Le bouton d'arrêt d'urgence a été déclenché.

2 Alarmes analogiques :

- Le niveau d'eau atteint la valeur maximale
- Le niveau d'eau atteint la valeur minimale
- Le débit d'eau atteint la valeur maximale
- Le référence dépasse le seuil supérieur
- Le référence dépasse le seuil inférieur

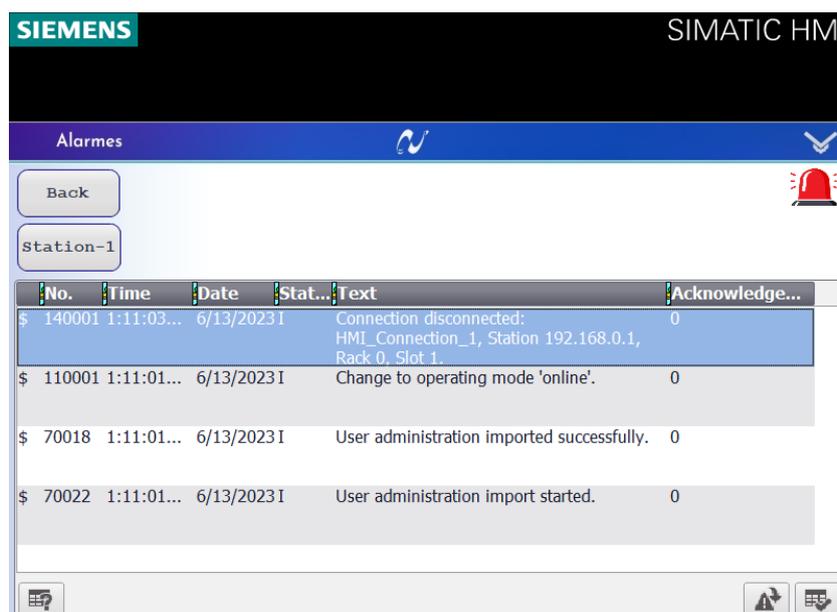


FIGURE 4.21 – Vue Alarmes de l'IHM

Vue recettes On crée dans la vue recette une structure de données qui permet de personnaliser un processus en fonction des variables choisies.

Nous utilisons des recettes pour définir les paramètres des contrôleurs **PI** et **SMC** et **BS**

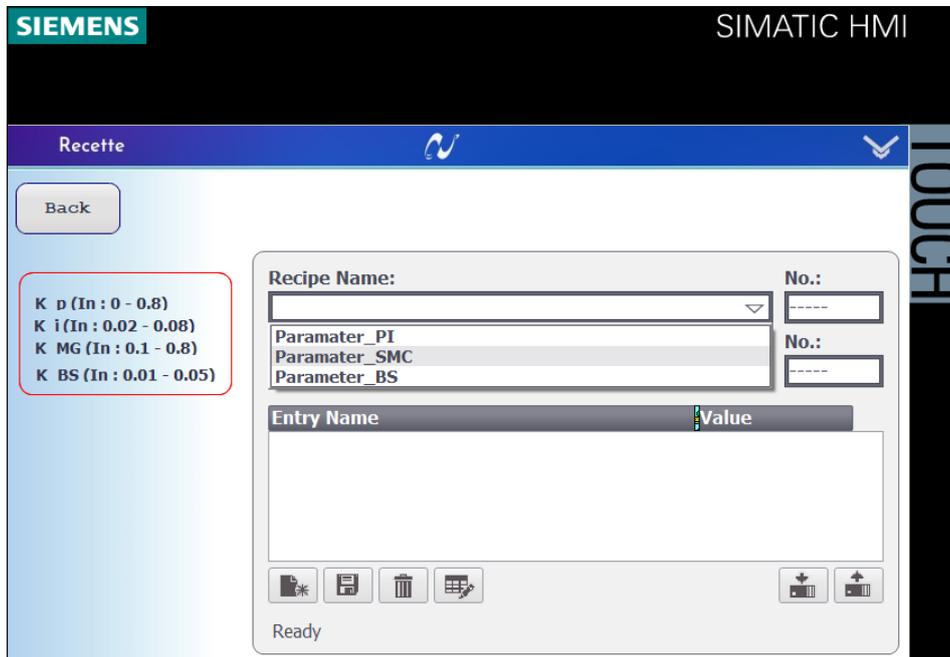


FIGURE 4.22 – Vue recettes

4.4.3 Archivage des données

Le système HMI permet d'archiver les données de processus et les alarmes, ce qui permet de documenter les caractéristiques du processus et d'y accéder ultérieurement.

Dans notre cas, nous avons archivé les données des variables suivantes de manière cyclique dans un fichier .CSV, qui peut être ouvert avec Microsoft Excel.

- Le niveau du réservoir
- L'état de remplissage
- L'état de vidange

4.5 Connecter API S7 1200 avec Kepserver

4.5.1 Configuration TIA

⇒ Définissez l'adresse IP Ethernet de votre automate

⇒ Dans le navigateur de projet, cliquez avec le bouton droit de la souris sur le module CPU PLC et sélectionnez Propriétés.

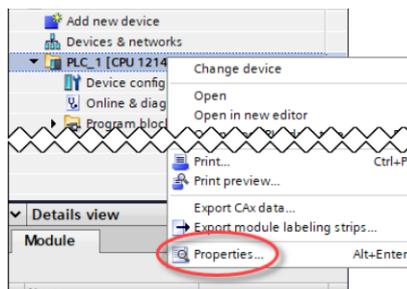


FIGURE 4.23 – Propriete PLC

⇒ Dans l'onglet Général, sélectionnez Interface PROFINET.

⇒ Choisissez Définir l'adresse IP dans ce projet, définissez l'adresse IP et le masque de sous-réseau.

⇒ les autoriser dans CPU (Siemens les désactive par défaut pour des raisons de sécurité). Ouvrez l'onglet "Protection Security" et cochez "Permit access with PUT/GET communication from the remote partner".

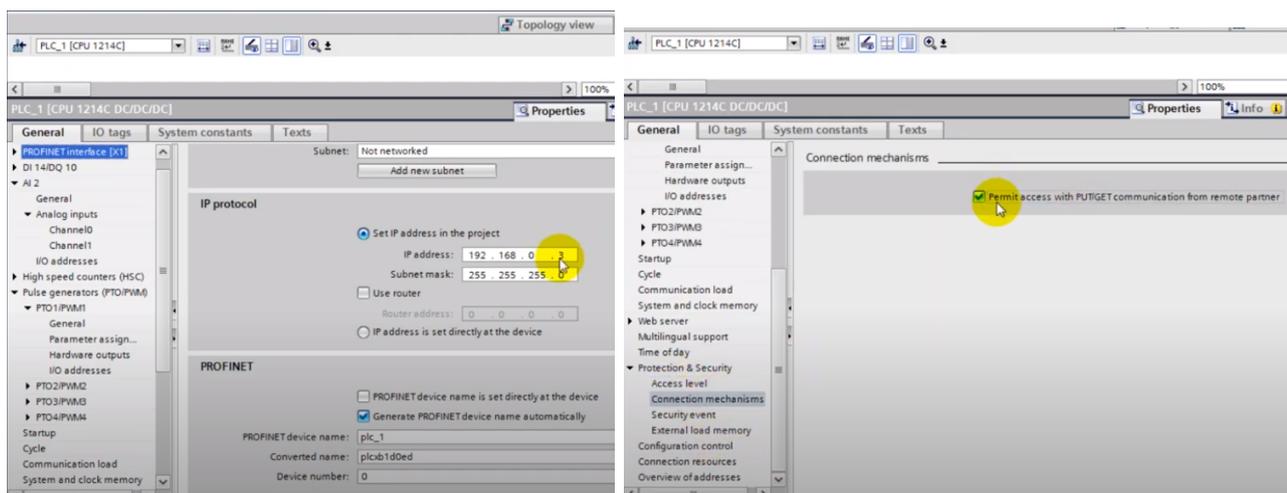


FIGURE 4.24 – Configuration TIA Portal

⇒ créer un projet :

→ Dans "Program blocs" Écrire un programme dans **OB1** ou dans une autre fonction (Remarque : Si vous avez écrit votre programme en (FC,FB), vous devez le mettre en "OB1").

→ Créez les variables que nous partagerons avec "Kepserver".

→ Cliquer sur  : pour compiler .

→ Cliquer sur , ou sélectionnez à nouveau le dossier (par exemple dans noter projet "CPU_1214C DC/DC/DC") et cliquez sur l'icône Charger dans l'appareil, Pour charger l'ensemble de la CPU.

4.5.2 Configuration Kepserver

⇒ Cliquez sur l'icône  "Kepserver" : Le "Kepserver" s'ouvre

⇒ "Click to add a channel"  [Click to add a channel.](#) :

→ Sélectionnez le type de canal à créer (par exemple dans noter projet "Siemens TCP/IP Ethernet")

→ Cliquer sur "Nexit" (Nous laissons les paramètres par défaut)

→ Cliquer sur "Nexit" : Adaptateurs réseau disponibles

→ Cliquer sur "Nexit" (Nous laissons les paramètres par défaut) ... "Finich"

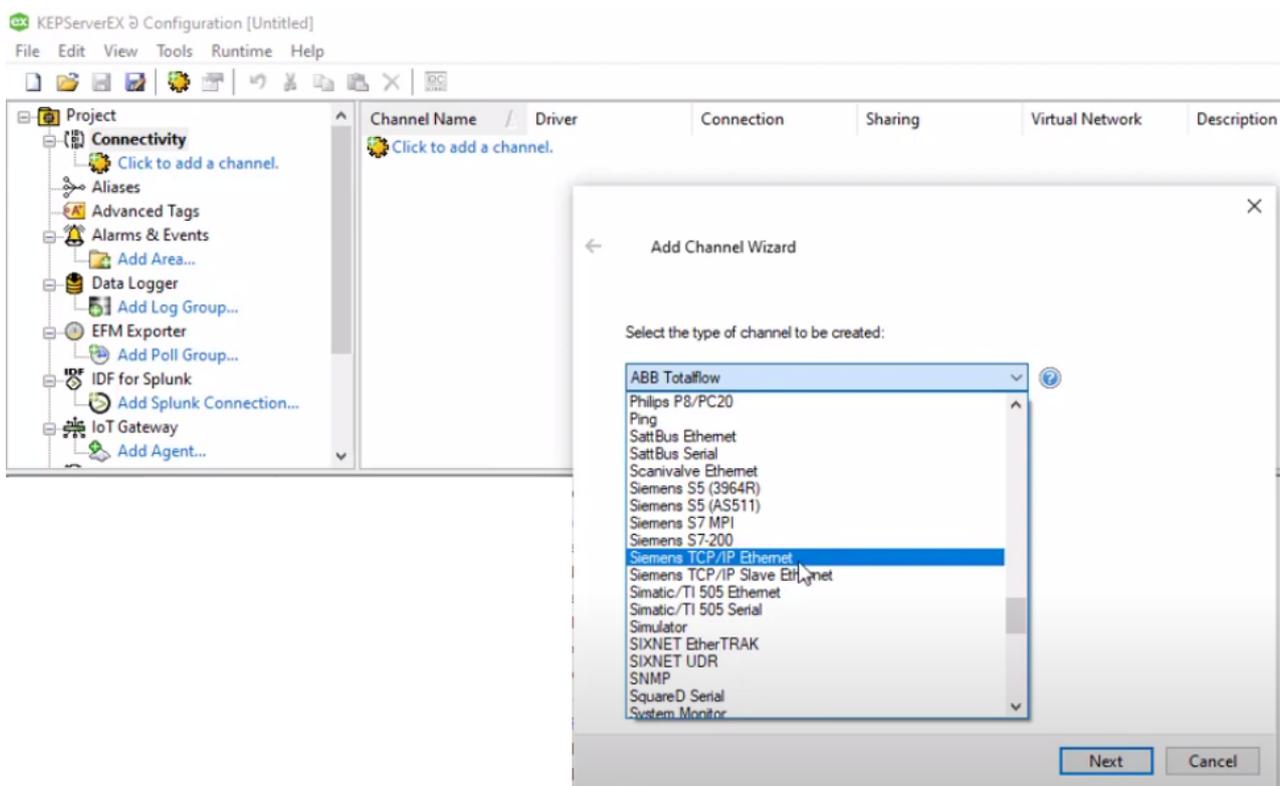


FIGURE 4.25 – Ajouter un canal partie 1

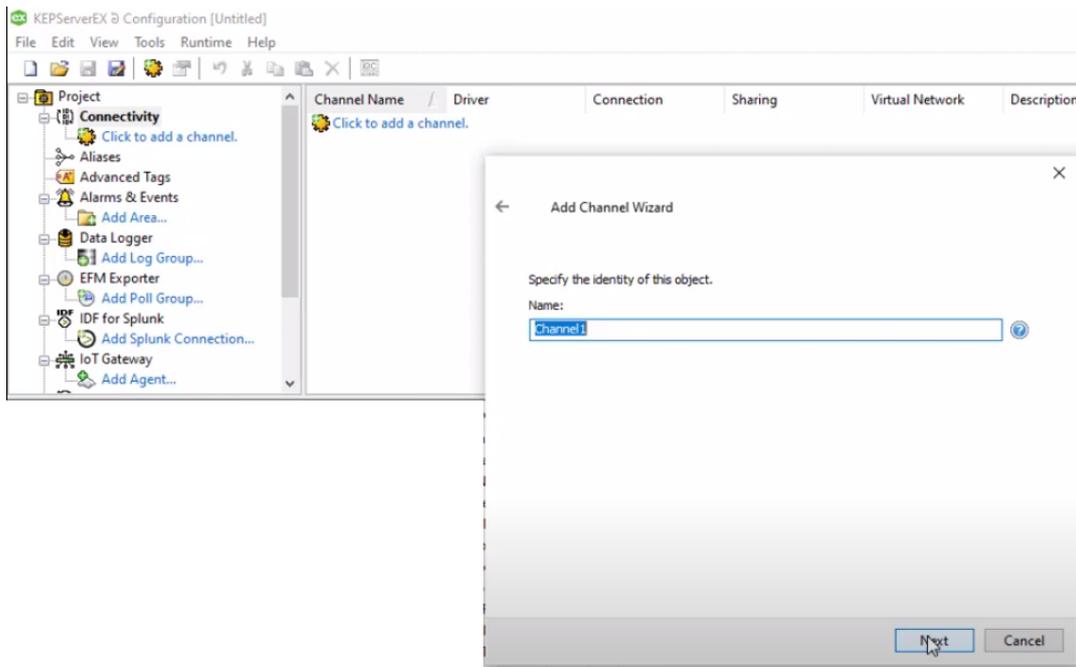


FIGURE 4.26 – Ajouter un canal partie 2

→ Sélectionner réseau ou Nous laissons les paramètres par défaut

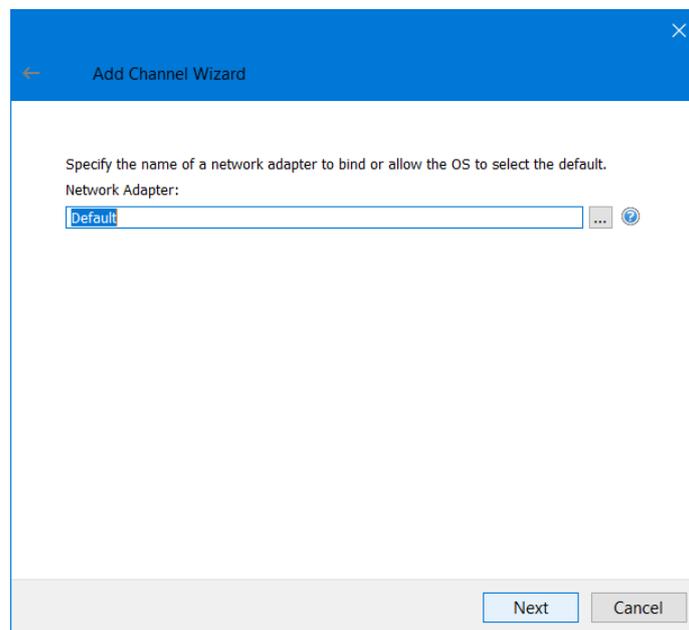


FIGURE 4.27 – Sélectionner réseau

⇒ Cliquez sur  Click to add a device. : pour ajouter un appareil

→ Sélectionnez le type spécifique de dispositif associé à cet identifiant. Les options dépendent du type de communication utilisé (par exemple dans notre projet "S7-1200")

→ Cliquez sur "Next" .

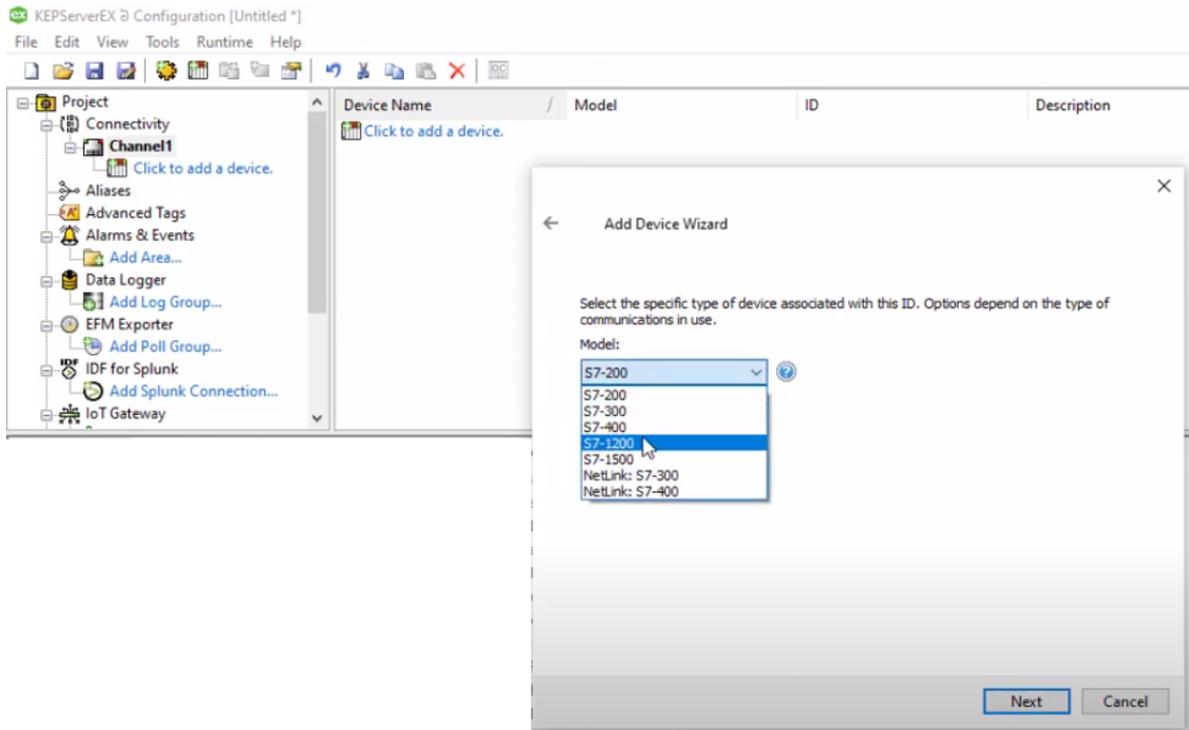


FIGURE 4.28 – Ajouter un dispositif

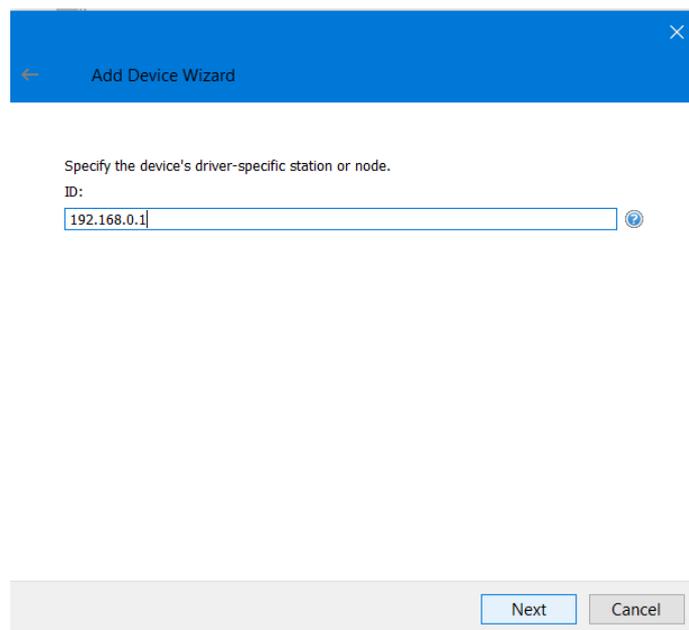


FIGURE 4.29 – Définir l'adresse IP de l'automate

⇒ Cliquez sur l'icône  : pour déclare les variables

Keptserver récupère les variables affectées par le logiciel de programmation TiaPortal dans l'automate. Pour chaque variable, il faut paramétrer :

- Son adresse et son nom de source,
- Un nom plus convivial pour sa récupération sur Keptserver,
- Son type de données.

→ Dans la partie "Identification", créez le nom de la variable (par exemple dans noter projet "Marche_Phy")

→ Et dans la partie de "Data Properties" créer l'adresse correspondant au nom de la variable (par exemple "I0.1")

→ Cliquez sur "OK" .

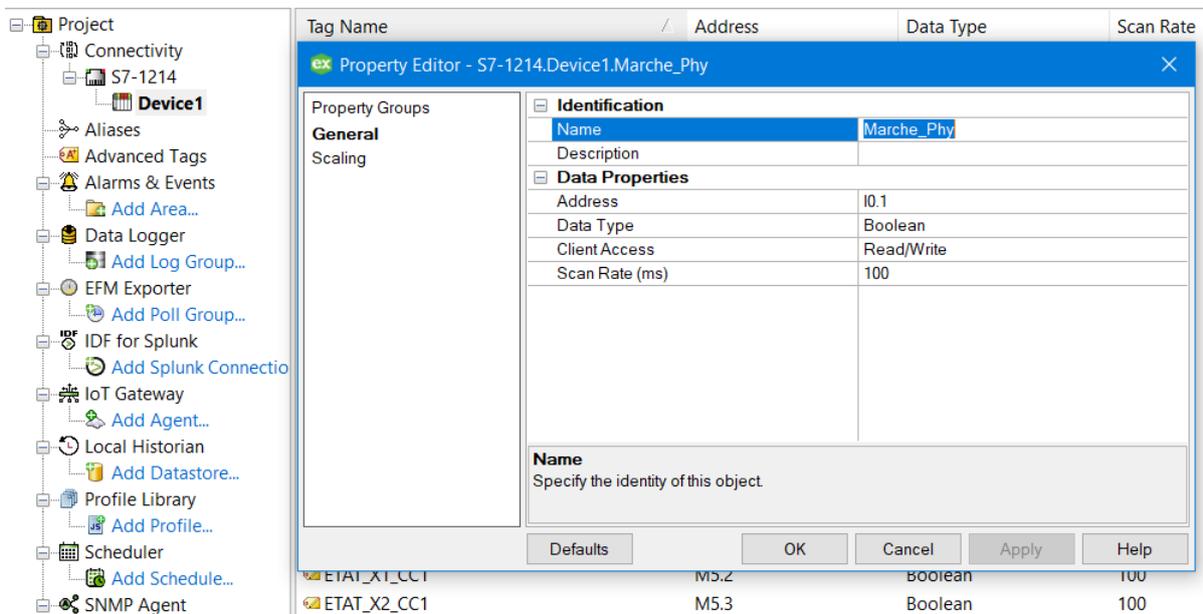


FIGURE 4.30 – Créer des variables

⇒ Variables créées

Tag Name	Address	Data Type	Scan Rate
2-ETAT_X0_CC2	M120.3	Boolean	100
2-ETAT_X1	M120.4	Boolean	100
2-ETAT_X2	M120.5	Boolean	100
2-ETAT_X3	M120.6	Boolean	100
2-ETAT_X4	M120.7	Boolean	100
2-ETAT_X5	M121.0	Boolean	100
2-ETAT_X6	M121.1	Boolean	100
a-Activate_MODE_1	M121.4	Boolean	100
a-Activate_MODE_2	M121.3	Boolean	100
Activate_BS	M400.2	Boolean	100
Activate_PI	M400.0	Boolean	100
Activate_SMC	M400.1	Boolean	100
Alarme_TOR	MW92	Word	100
Arret_IHM	M5.0	Boolean	100
Arret_Phy	I0.2	Boolean	100
Counter	MW98	Word	100
Counter_OUT	MW118	Word	100
ETAT_X0_CC1	M5.1	Boolean	100
ETAT_X1_CC1	M5.2	Boolean	100
ETAT_X2_CC1	M5.3	Boolean	100
ETAT_X3_CC1	M5.4	Boolean	100
Marche_IHM	M0.4	Boolean	100
Marche_Phy	I0.1	Boolean	100
Niveau_H	MD66	DWord	100
NiveauLn_%	MD34	DWord	100
Pompe	Q0.0	Boolean	100
Reset_IHM	M5.5	Boolean	100
Reset_Phy	I0.0	Boolean	100
Timer_T1_IN	MD70	DWord	100
Timer_T1_OUT	MD114	DWord	100
Valeur de capteur - Débit	MD62	DWord	100
Voyant_Arret	Q0.3	Boolean	100
Voyant_Remplissage_Relais_Electrovanne_1	Q0.2	Boolean	100
Voyant_Vidange_Relais_Electrovanne_2	Q0.1	Boolean	100

FIGURE 4.31 – Variables créées

⇒ Cliquez sur l'icône : Pour enregistrer le projet

⇒ Cliquez sur l'icône OPC Quick Client Trouvez votre "tag" dans la liste des "items" et confirmez que vous obtenez la valeur correcte.

⇒ Sélectionner le "canal" et le "dispositif" du projet

Item ID	Data Type	Value	Timestamp
S7-1214.Device1_CurrentPDUS...	Word	960	21:59:44.469
S7-1214.Device1_Rack	Byte	0	21:59:44.469
S7-1214.Device1_Slot	Byte	1	21:59:44.469
S7-1214.Device1.2-ETAT_X0_C...	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.2-ETAT_X1	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.2-ETAT_X2	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.2-ETAT_X3	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.2-ETAT_X4	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.2-ETAT_X5	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.2-ETAT_X6	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.a-Activate_M...	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.a-Activate_M...	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Activate_BS	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Activate_PI	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Activate_SMC	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Alarme_TOR	Word	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Arret_IHM	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Arret_Phy	Boolean	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Counter	Word	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.Counter_OUT	Word	Unknown	21:59:44.473
S7-1214.Device1.ETAT_X0_CC1	Boolean	Unknown	21:59:44.473

FIGURE 4.32 – Visualiser les variables du système

4.6 Communication entre API S7 1200 et API LOGO via KEPserverEX

Dans cette section, nous allons connecter les deux stations via le logiciel KEPserver, dans le but de contrôler la deuxième station via l'API et l'IHM de la première station, en suivant les étapes ci-dessous :

Premièrement, préprogrammer la deuxième station à l'aide du logiciel "LOGO! Soft Comfort", puis nous créons un emplacement mémoire pour les variables de la deuxième station dans l'automate de la première station via le logiciel portail TIA, et enfin, dans le logiciel Kepserve, nous créons les canaux et les variables pour chaque automate, et nous relient les variables des deux automates.

4.6.1 Configuration LOGO Soft Comfort

Dans le logiciel "LOGO Soft Comfort", nous implémentons dans l'automate LOGO le chargeur suivant pour contrôler la station de pompage [34]

LOGO Soft Comfort

LOGO Soft Comfort est un logiciel de programmation graphique utilisé pour programmer et configurer les automates programmables industriels de la série LOGO! de Siemens. Il permet aux utilisateurs de créer et de modifier des programmes de contrôle en utilisant une interface conviviale et intuitive, sans avoir besoin de connaissances approfondies en programmation. LOGO Soft Comfort offre des fonctionnalités telles que la création de diagrammes de contact, la logique de programmation, la simulation et le débogage des programmes. Il est largement utilisé dans l'automatisation industrielle pour contrôler et surveiller des processus et des machines dans divers secteurs tels que l'industrie manufacturière, l'automobile, l'énergie et bien d'autres.

Cahiers de charges

Lorsque le bouton "**Marche**" est cliqué, conformément aux spécifications, la pompe démarre et l'électrovanne **EVA** s'ouvre. L'électrovanne **EVA** reste ouverte jusqu'à ce que le réservoir B soit entièrement chargé et que le capteur TOR détecte ce niveau (**HB**). Après cela, l'électrovanne **EVA** est désactivée, mais la pompe continue de fonctionner jusqu'à ce que le réservoir A soit également entièrement chargé et que le capteur TOR détecte ce niveau (**Ha**). À ce stade, l'électrovanne **EVB** est activée pour permettre la vidange du réservoir B, tandis que le capteur TOR détecte ce niveau (**LB**). Ensuite, l'agitateur est mis en marche pendant un certain temps afin de mélanger le produit. Enfin, le système s'arrête.

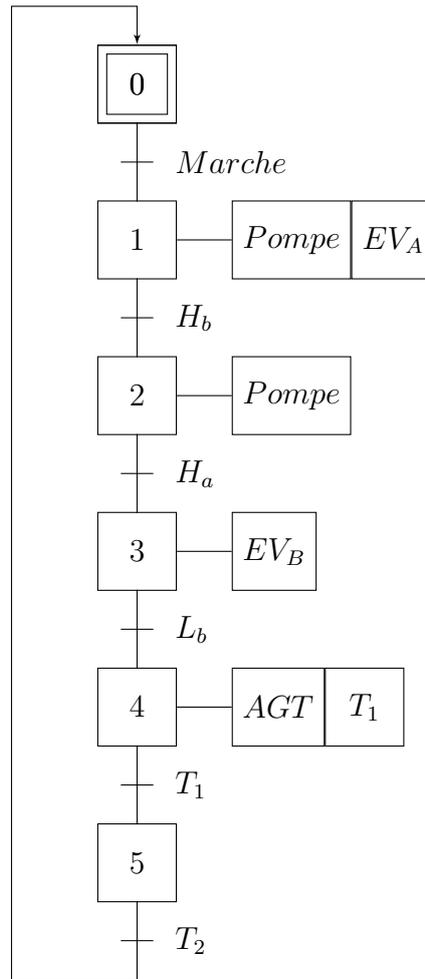


FIGURE 4.33 – GRAFCET décrivant le Cahier de Charges

4.6.2 Configuration TIA portal

Dans le portail TIA, nous créons les variables pour le deuxième système dans l’automate ”S7-1214”. et supervisons ce système dans l’IHM ”TP900”.

Program b...	68	Marche_S7_1214_LOGO	Default tag table	Bool	%M400.3
Technolog...	69	Ha_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M400.4
External so...	70	Hb_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M400.5
PLC tags	71	Lb_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M400.6
Show a...	72	T1_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M400.7
Add ne...	73	T2_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.0
Default...	74	Pompe_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.1
PLC data t...	75	EVA_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.2
Watch and...	76	EVB_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.3
Online bac...	77	RESET_S7_1214_LOGO	Default tag table	Bool	%M401.4
Traces	78	X0_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.5
Device pro...	79	X1_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.6
	80	X2_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M401.7
	81	X3_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M402.0
	82	X4_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M402.1
	83	X5_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M402.2
	84	AGT_LOGO_S7_1214	Default tag table	Bool	%M402.3

FIGURE 4.34 – Variables créées dans l’API S7-1214

Configurer les vues dans l'IHM. "TP900"

Vue station 2 Cette vue permet d'observer le fonctionnement de la station 2.

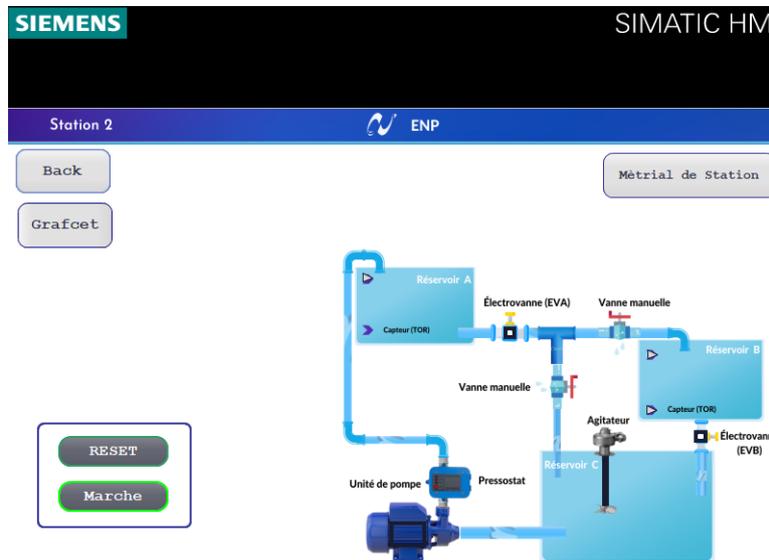


FIGURE 4.35 – Vue Station-2 de l'IHM

Vue de Grafcet La vue correspond à un GRAFCET défini dans nos spécifications. Elle affiche les états des GRAFCET lorsqu'ils sont activés et les sorties du système.

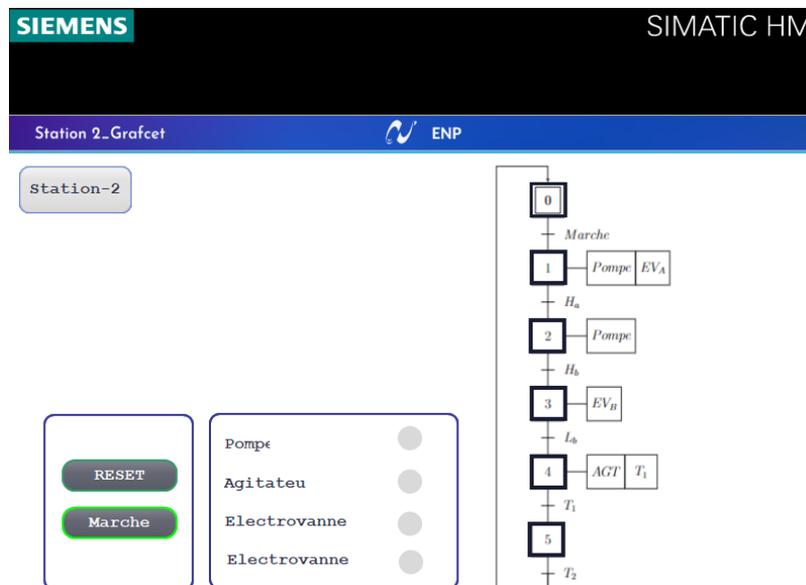


FIGURE 4.36 – Vue du Grafcet

Vue d'équipement Cette vue montre les différents composants utilisés dans la station.



FIGURE 4.37 – Vue d’équipement

4.6.3 Configuration KEPserverEX

— Créer des variables dans le canal "LOGO"

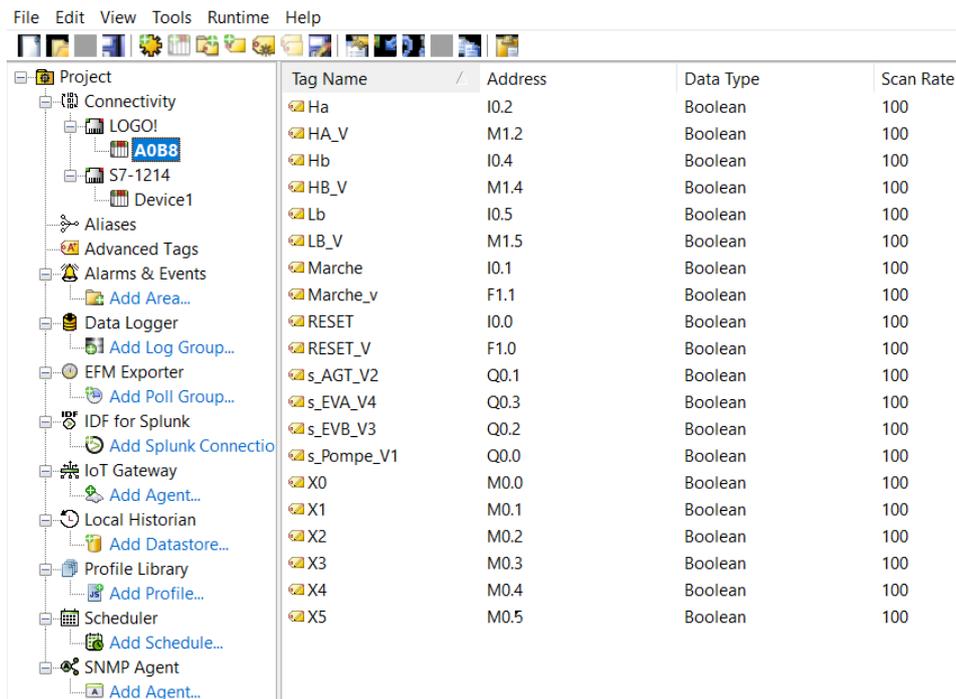


FIGURE 4.38 – Les variables du système crée dans LOGO

- Créer des variables dans le canal "S7-1214"
- Créer des variables dans "Advanced Tags"

 z_AGT	M402.3	Boolean
 z_EVA	M401.2	Boolean
 z_EVB	M401.3	Boolean
 z_Ha	M400.4	Boolean
 z_Hb	M400.5	Boolean
 z_Lb	M400.6	Boolean
 z_Marche	M400.3	Boolean
 z_pompe	M401.1	Boolean
 z_RESET	M401.4	Boolean
 z_X0	M401.5	Boolean
 z_X1	M401.6	Boolean
 z_X2	M401.7	Boolean
 z_X3	M402.0	Boolean
 z_X4	M402.1	Boolean
 z_X5	M402.2	Boolean

FIGURE 4.39 – Les variables système créées dans S7-1214

Advanced Tags for KEPServerEX permet de relier des balises Machine to Machine (M2M), d'utiliser des fonctions logiques et mathématiques pour les communications et les analyses opérationnelles. Il centralise le traitement des données sur le serveur de communication plutôt que sur de nombreuses applications clientes, et comprend des fonctionnalités permettant de relier deux étiquettes de données, de définir un déclencheur basé sur des états logiques et de calculer de nouvelles valeurs à partir de mesures brutes.

→ Créez des balises à l'aide des icônes d'ajout rapide situées dans la barre d'outils ou en cliquant avec le bouton droit de la souris sur l'icône "**Advanced Tags**".

Dans notre projet en utilisant la balise Link 

Les balises de liaison permettent de transférer des données entre deux balises existantes dans le serveur. Par exemple, vous pouvez prendre une sortie d'un automate programmable Allen-Bradley et l'utiliser comme entrée d'un registre Modbus.

Créer une balise de lien "**Link Tag**"

Dans l'arborescence, faire un clic droit sur l'icône Balises avancées et sélectionner Nouvelle balise de lien. Entrez un nom pour la balise.

- 1 Dans **Input**, cliquez sur l'ellipse située à droite de la zone de texte et sélectionnez la balise du serveur à partir de laquelle les données seront extraites. Cet exemple utilise "**S7-1214.Device1.z_Marche**".
- 2 Dans **Output**, cliquez sur l'ellipse située à droite de la zone de texte et sélectionnez une balise dans laquelle l'entrée sera écrite. Cet exemple utilise "**LOGO!.A0B8.Marche_v**".
- 3 Laissez tous les autres paramètres à leur valeur par défaut, puis cliquez sur **OK** pour quitter la fenêtre et créer la balise.

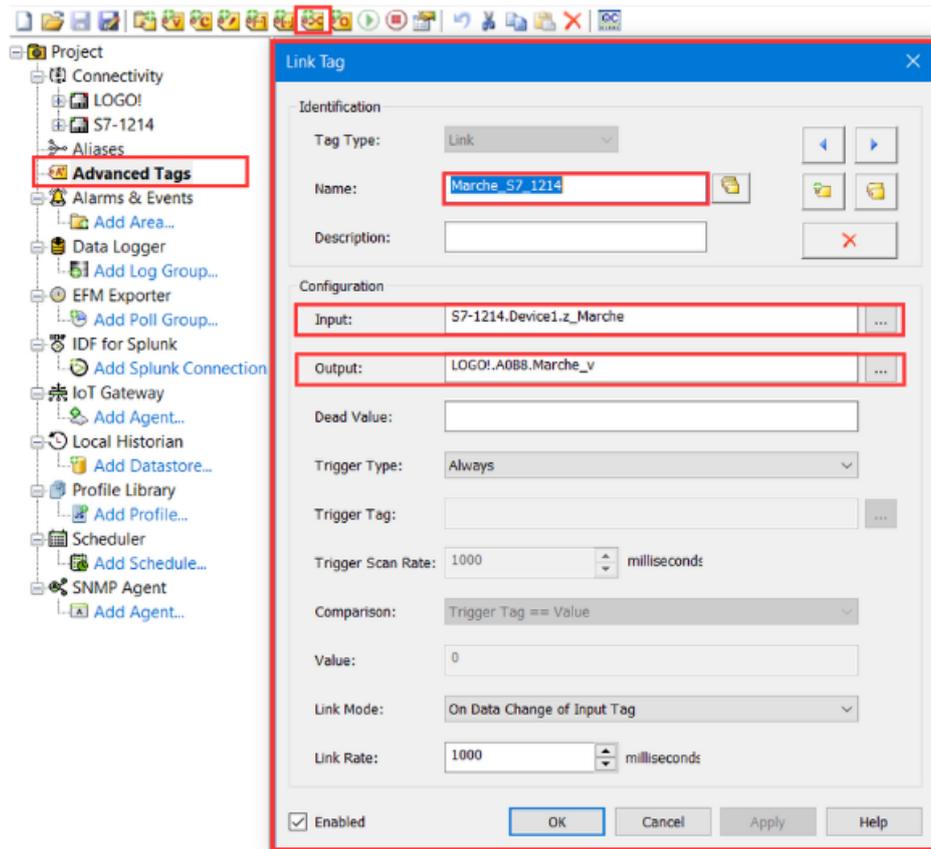


FIGURE 4.40 – Créer un "Link Tag" (étiquette de lien)

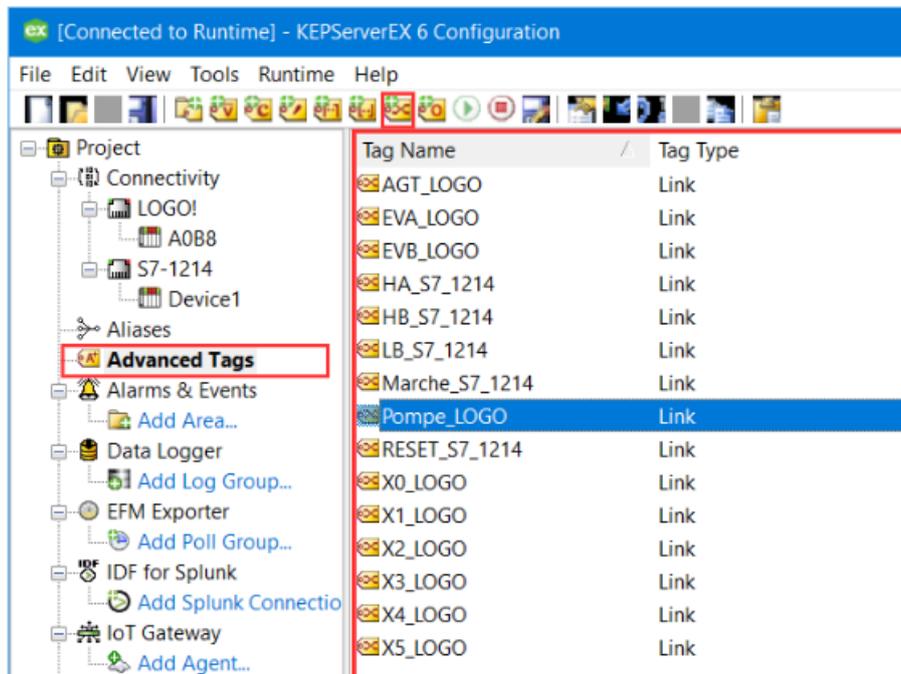


FIGURE 4.41 – Variables créées dans "Advanced Tags"

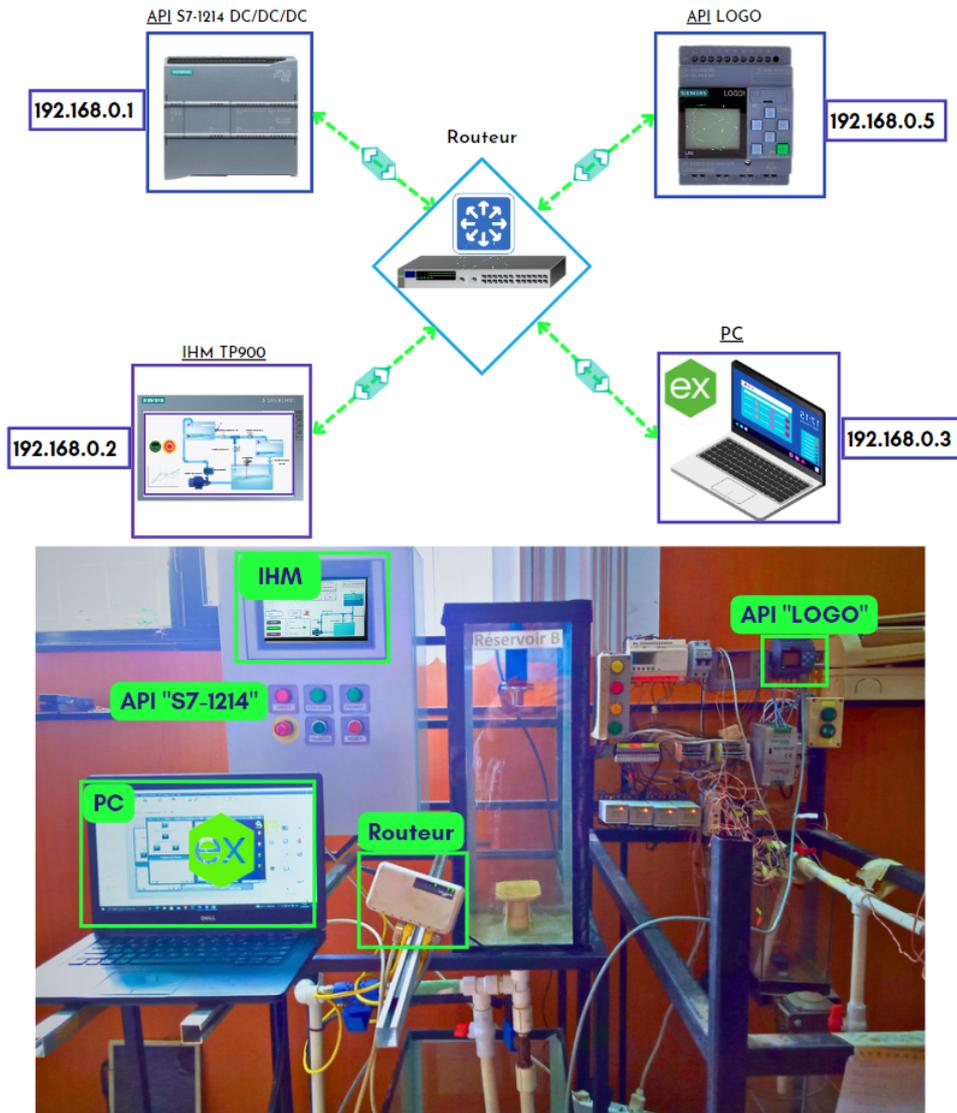


FIGURE 4.42 – La communication entre les deux stations
[34] [33]

4.7 Conclusion

Ce chapitre a couvert les étapes cruciales de la mise en place d'un système de gestion autonome pour notre station de pompage 1. Malgré l'absence d'essais pratiques complets en raison d'une panne de pompe et des délais de réparation, nous avons pu avoir une idée approximative du fonctionnement de la station grâce à la simulation effectuée sur TIA Portal. Cette simulation nous a permis de valider nos programmes de contrôle et de nous assurer de leur bon fonctionnement. Nous avons réussi à atteindre notre objectif, depuis l'élaboration du cahier des charges jusqu'à la mise en œuvre des programmes de contrôle et des interfaces de supervision. Il est également important de noter que notre station de pompage 1 est désormais capable de communiquer et de se coordonner avec la station de pompage 2, ce qui favorisera une coordination efficace entre les deux stations. Cette réalisation marque une étape importante dans l'amélioration de l'efficacité et de la performance de l'ensemble de notre système.

Conclusion et perspectives

En conclusion, ce projet final consistait à développer des spécifications pour étendre l'utilisation du premier prototype de station de pompage précédemment assemblé par les étudiants en automatisation de l'École nationale polytechnique. L'objectif principal était d'augmenter la fonctionnalité de la station de pompage.

Au cours de notre étude, nous avons réussi à mettre en place un système de gestion de la station de pompage à l'aide du logiciel TIA Portal, sur la base des spécifications définies, et nous avons constaté que le logiciel était fiable et flexible. grâce à lui, nous avons pu exploiter la plupart des fonctionnalités du contrôleur et de son interface Comfort TP-900, ce qui a permis un fonctionnement efficace de la station de pompage.

Nous avons également pu programmer la deuxième station à l'aide du logiciel LOGO Soft Comfort. Nous avons ensuite établi une connexion entre les deux stations à l'aide de **KEPserverEX**. Cette intégration a permis une communication efficace entre les deux systèmes, ouvrant de nouvelles possibilités pour l'exploitation et le contrôle des deux stations de pompage via l'IHM.

Bibliographie

- [1] L'Usine Nouvelle . SIMATIC S7-1200 - Contrôleur modulaire compact pour solutions d'automatisation . <https://www.usinenouvelle.com/expo/simatic-s7-1200-controleur-modulaire-p196958.html>. [Accédé :02/03/2023]
- [2] Techniques de l'Ingenieur. Automates programmables industriels. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-automatique-et-ingenierie-systemes-tias0/archive-1/automates-programmables-industriels-s8015/utilisation-et-choix-d-un-des-api-s8015niv10004.html>. .
- [3] Automation Sense. Comment câbler un automate programmable . <https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/comment-cabler-un-automate-programmable.html>. [Accédé :18/03/2023]
- [4] NEGUEZ Saïd, Association variateur de vitesse et moteur asynchrone avec communication Profinet par automate programmable siemens S7-1200, thèse de master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2022.
- [5] RS-online.com. Module E/S pour automate Siemens SM 1232 pour Série SIMATIC S7-1200. <https://fr.rs-online.com/web/p/accessoires-pour-automates/7877977> . [Accédé :19/03/2023]
- [6] Siemens. Mise à jour du Manuel système du S7-1200, édition 09/2016. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/003/109743003/att_917088/v1/s71200_manual_update_fr-FR_fr-FR.pdf. [Accédé :19/03/2023]
- [7] RS. Ecran HMI tactile, TP900 TFT 9 pouces Coloré, 800 x 480pixels 274 x 190 x 63 mm. <https://fr.rs-online.com/web/p/interfaces-homme-machine-ihm/8643973>. [Accédé :17/03/2023]
- [8] RS. Comfort Panels Migration Guide. <https://docs.rs-online.com/c763/0900766b8168d28e.pdf>. [Accédé :17/03/2023]
- [9] Siemens Industry Online, Basic Panels 2nd Generation, https://cache.industry.siemens.com/dl/files/350/90114350/att_904654/v1/HWBasicPanels2GfrFR_fr-FR.pdf [Accédé :17/03/2023]
- [10] Schneider Electric. Altivar ATV12 - variateur de vit. - 0,37kW 0,55CV - 200..240V - 1ph - radiateur, <https://www.se.com/dz/fr/product/ATV12H037M2/altivar-atv12-variateur-de-vit-037kw-055cv-200-240v-1ph-radiateur>. [Accédé :18/03/2023]/
- [11] RS-online.com Variateur de fréquence Schneider Electric ATV 12, 0,37 kW 230 V c.a. 1 phase, 4,9 A, 400Hz. <https://fr.rs-online.com/web/p/variateurs-de-frequence-et-de-vitesse/6695770>. [Accédé :18/03/2023]
- [12] elecnaudeau.free.fr . Couv ATV 12_FR.indd . http://elecnaudeau.free.fr/Cat_ATV12_Fr.pdf. [Accédé :18/03/2023]

- [13] moteur électrique pro. Variateur de fréquence—comment choisir?. <https://moteur-electrique-pro.fr/variateur-de-frequence/#:~:text=En%20pratique%20il%20faut%20choisir,a%20pas%20d'importance>). [Accédé :17/03/2023]
- [14] Schneider Electric. SoMove. <https://www.se.com/fr/fr/product-range/2714-somove/#overview> ,[Accédé :1/06/2023]
- [15] Techniques de l'ingénieur. Pompes et moteurs. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/transmission-de-puissance-hydraulique-et-pneumatique-42187210/pompes-et-moteurs-bm6031/notion-de-cylindree-bm6031niv10002.html>. [Accédé :18/03/2023]
- [16] Le Garrec. Les différents types de pompes industrielles. <https://www.legarrec.com/entreprise/differentes-pompes-industrielles/> [Accédé :18/03/2023]
- [17] Universalis.fr. moteur électrique. <https://junior.universalis.fr/encyclopedie/moteur-electrique/>. [Accédé :18/03/2023]
- [18] [electromenager-compare.com/](https://www.electromenager-compare.com/) . Moteur asynchrone . <https://www.electromenager-compare.com/definition-de-moteur-asynchrone.htm> . [Accédé :19/03/2023]
- [19] WEG France . Moteur asynchrone, le moteur à induction par excellence . <https://www.wegfrance.news/moteurasynchrone/#:~:text=Le%20moteur%20asynchrone%20dispose%20d,peuvent%20%C3%AAtre%20monophas%C3%A9s%20ou%20triphas%C3%A9s> . . [Accédé :19/03/2023]
- [20] LEO GROUP . Pompe périphérique APm . <http://leopompe.fr/1-1-1-4-peripheral-pump/> .[Accédé :19/03/2023]
- [21] Alibaba.com . Leo Apm37 Electric Transfer Clean Cast Iron Peripheral Water Pump . https://www.alibaba.com/product-detail/Leo-Apm37-Electric-Transfer-Clean-Cast_60764161684.html .[Accédé :19/03/2023]
- [22] SIEMENS . 6EP1334-2BA20 . <https://mall.industry.siemens.com/mall/fr/fr/Catalog/Product/6EP1334-2BA20> . [Accédé :18/03/2023]
- [23] Tech Energy and Automation. Comment choisir son Automate programmable et Dimensionner une Alimentation .<https://techenergyandautomation.com/comment-choisir-son-automate-programmable-et-dimensionner-une-alimentation/>. [Accédé :18/03/2023]
- [24] ENERGICAL . Disjoncteur bipolaire ECB3.BP.25 . <https://energical.com/produit/disjoncteur-bipolaire-ecb3-bp-25/> . [Accédé :20/03/2023]
- [25] Académie de Normandie. Choix d'un disjoncteur.http://lycees.ac-rouen.fr/maupassant/Melec/co/Techno/Disjoncteur/co/choix_d_un_disjoncteur.html. [Accédé :20/03/2023]
- [26] RS . Contacteur Siemens série 3RT2, 3 pôles , 3NO, 9 A, 24 V c.c., 4 kW . <https://fr.rs-online.com/web/p/contacteurs/7061122> . [Accédé :20/03/2023]
- [27] RS . Schneider Electric RSB Relais de puissance 2 RT, bobine 24V c.c. En-fichable . <https://fr.rs-online.com/web/p/relais-de-puissance/2205134> .

- [Accédé :20/03/2023]
- [28] Arduino . Arduino Uno Rev3 . <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> . [Accédé :21/03/2023]
- [29] SICK USA . Capteurs à ultrasons UM18 / UM18-1 . <https://www.sick.com/be/fr/capteurs-de-distance/capteurs-a-ultrasons/um18/um18-51111/p/p222375> . [Accédé :21/03/2023]
- [30] Go Tronic . Capteur de débit YFS201 . <https://www.gotronic.fr/art-capteur-de-debit-yfs201-18979.htm> . [Accédé :21/03/2023]
- [31] Bola Systems .Water solenoid valve Danfoss EV220B DN 40, 24 VAC . <https://www.bolasystems.com/water-solenoid-valve-danfoss-ev220b-dn-40-24-vac>. [Accédé :21/03/2023]
- [32] Tameson.fr . Électrovannes - Leur fonctionnement . <https://tameson.fr/pages/electrovannes-leur-fonctionnement> . [Accédé :22/03/2023]
- [33] Hamdi Cherif Amel Mayouf Imane. Commande et supervision d'une station de pompage à base d'automates programmables : (Automates Schneider et Siemens), thèse de master, ENP, 2018.
- [34] KAMEL Rania Fairouz. Développement des techniques de commande et de supervision d'une station de pompage, thèse de master, ENP, 2023.
- [35] Docsity. « Modeling Of The Double Tank Process-Fluid Mechanics- Handout ». In : Amet University Fluid mechanics (2012). <https://www.docsity.com/en/modeling-of-the-double-tank-process-fluid-mechanics-handout/85473/>. [Accédé :19/05/2023]
- [36] Wikipédia. Formule de Torricelli. 2020. [urlhttps://fr.wikipedia.org/wiki/Formule_de_Torricelli](https://fr.wikipedia.org/wiki/Formule_de_Torricelli) . [Accédé :24/05/2023]
- [37] Wikipédia. Commande robuste. 2020. https://fr.wikipedia.org/wiki/Commande_robuste . [Accédé :20/05/2023]
- [38] MADA-ETI, ISSN 2220-0673, Vol.2, 2017, www.madarevues.gov.mg
- [39] Siemens. Communication avec SIMATIC. https://cache.industry.siemens.com/dl/files/686/1254686/att_46479/v1/S7komm_f.pdf. [Accédé :24/04/2023]
- [40] Automation-sense . Les protocoles réseaux industriels. <https://www.automation-sense.com/blog/les-protocoles-reseaux-industriels.html>. [Accédé :30/03/2023]
- [41] Électronique Mixte. Réseaux industriels. <https://www.electronique-mixte.fr/wp-content/uploads/2018/07/Formation-Interface-communication-15.pdf>. [Accédé :30/03/2023]
- [42] iotindustriel.com. Protocoles de communication industriels : Définition, Types et fonctionnalités. <https://iotindustriel.com/guides/protocoles-de-communication/>. [Accédé :30/03/2023]
- [43] Agilicom. PROFINET. <https://agilicom.fr/tutoriels/profinet#c422>. [Accédé :31/03/2023]
- [44] Automation Sense. Les serveurs OPC pour les nuls. <https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/les-serveurs-opc-pour-les-nuls.html>. [Accédé :25/04/2023]

- [45] 4CAD Group. KEPWARE LA CONNECTIVITÉ INDUSTRIELLE POUR ACCÉDER À LA BONNE INFORMATION, AU BON MOMENT.<https://www.4cadgroup.com/ca/ptc-kepware>. [Accédé :10/04/2023]
- [46] [kepware.fr](https://www.kepware.fr/presentation/). Qu'est-ce que KEPware.<https://www.kepware.fr/presentation/>. [Accédé :10/04/2023]
- [47] AcuSYS. Kepware KEPServerEX OPC Communications Drivers. <https://www.acusys.co.za/integration/kepware-device-drivers>. [Accédé :28/05/2023]
- [48] BRODESEN. Kepware OPC. <https://brodersen.com/products/kepware-opc/>. [Accédé :28/05/2023]
- [49] Zone industrie. Serveur OPC - KEPServerEX. <https://www.zoneindustrie.com/Produit/Serveur-OPC-10215.html>. [Accédé :26/04/2023]
- [50] BOURAS Kamel CHKEBKEB Daoud. Réalisation, commande et supervision d'un prototype d'une station de pompage, thèse de master, ENP, 2019.

Annexes

Annexe A

TiaPortal

A.1 Introduction

Cette annexe traite de la programmation du système de contrôle de la station de pompage automatisée. Elle décrit les outils logiciels utilisés pour programmer l'automate SIEMENS et son IHM, en expliquant chaque étape de la programmation pour une meilleure compréhension du fonctionnement de ce système.

A.2 Présentation de TIA Portal V15

Le portail Totally Integrated Automation, ci-après appelé Portal TIA, offre la fonctionnalité complète pour réaliser notre tâche d'automatisation, regroupée dans une plateforme logiciel globale. Le portail TIA permet également de disposer, au sein d'un cadre, d'un environnement de travail commun pour une ingénierie transparente avec différents systèmes SIMATIC. Tous les progiciels requis, de la configuration matérielle à la visualisation du processus en passant par la programmation, sont intégrés dans un cadre complet d'ingénierie.

Le logiciel TIA Portal est l'outil de programmation des nouveaux automates **API** comme :

- SIMATIC S7-1500
- SIMATIC S7-1200
- SIMATIC S7-400
- SIMATIC S7-300

ET Interface homme-machine **IHM** comme :

- SIMATIC Comfort Panel
- SIMATIC Basic Panel
- SIMATIC Mobile Panel
- SIMATIC WinCC Runtime Advanced

Avec TIA Portal , les fonctions suivantes peuvent être utilisées pour automatiser une installation :

- Création et gestion des projets.
- La création des programmes.

- Configuration et paramétrage du matériel , paramétrage protocoles de communication.
- Gestion des mnémoniques.
- Test de l'installation d'automatisation.
- Le diagnostic lors des perturbations dans l'installation.
- Documentation et archivage.
- Génération d'écrans de visualisation pour les Basic Panels SIMATIC avec WinCC Basic intégré. Il est également possible de générer des écrans de visualisation pour les PC et autres Panels à l'aide de WinCC Run Time (WinCC RT).

A.3 Traitement des programmes

A.3.1 Traitement linéaire du programme

Pendant la programmation linéaire, l'appareil de commande traite les instructions une par une, dans l'ordre où elles sont écrites dans la mémoire programme. Si le programme atteint sa fin (BE), le traitement recommence depuis le début. Ce processus est appelé traitement cyclique.

La durée qu'un appareil met pour effectuer une itération de traitement est connue sous le nom de durée de cycle. Le traitement linéaire du programme est souvent employé pour des commandes simples et de faible volume, et peut être effectué dans un seul bloc opératoire.

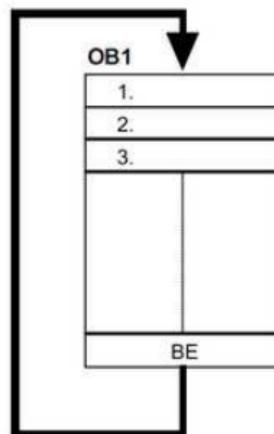


FIGURE A.1 – Traitement linéaire du programme

A.3.2 Traitement structuré du programme

Le programme d'un ensemble de tâches volumineux est divisé en petits blocs de programmes clairs, chacun associé à une fonction. Cette méthode offre l'avantage de pouvoir tester chaque bloc individuellement et de les faire fonctionner ensemble à l'aide d'une fonction globale.

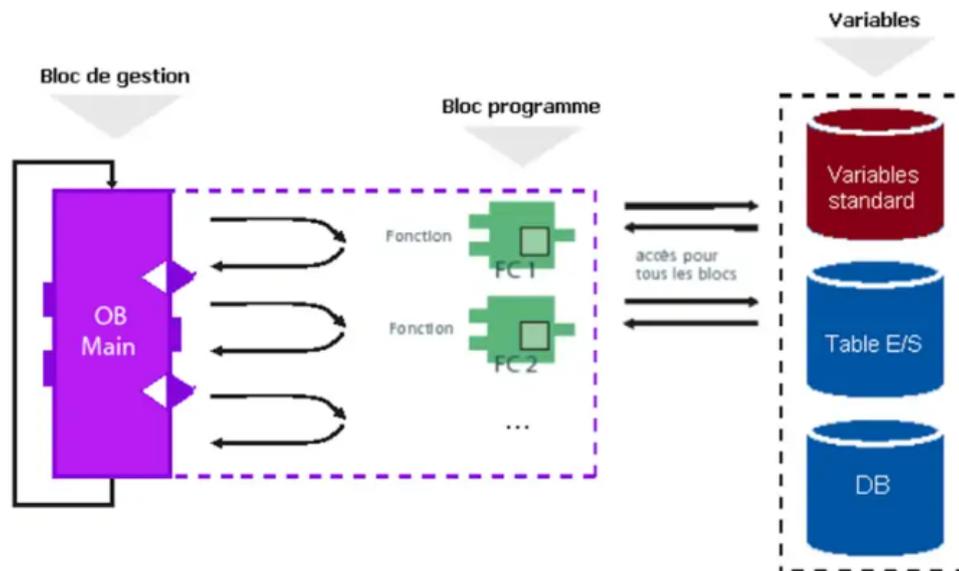


FIGURE A.2 – Traitement structuré du programme

A.4 Création d'un nouveau projet sur TIA PORTAL

Les étapes suivantes montrent comment démarrer un projet, configurer le matériel à la disposition de l'utilisateur, écrire le programme avec les différents langages.

Vue du portail et vue du projet

Lors du lancement du "Portail TIA", l'environnement de travail est divisé en deux types de vues :

- **La vue du portail** : offre une vue d'ensemble du projet et un accès facile aux outils nécessaires à sa réalisation. Vous pouvez rapidement trouver l'outil approprié pour accomplir une tâche spécifique. Si vous sélectionnez une tâche, la vue du projet s'affiche automatiquement. Cette interface simplifie grandement la préparation et la mise en œuvre du projet.
- **La Vue du projet** : La vue projet est une présentation organisée de tous les éléments qui composent un projet. Conformément à la norme, la barre de menu avec les fonctions se situe en haut de la fenêtre, tandis que le navigateur de projet et les éléments du projet se trouvent sur la gauche. Les menus associés aux différentes tâches, y compris les instructions et les bibliothèques, sont quant à eux disposés sur la droite.

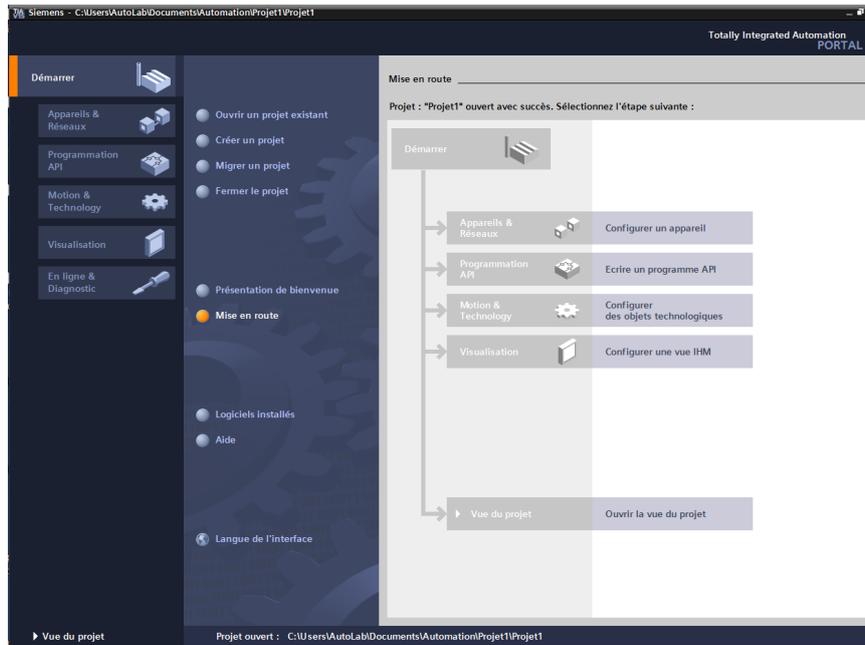


FIGURE A.3 – Vue du Portail

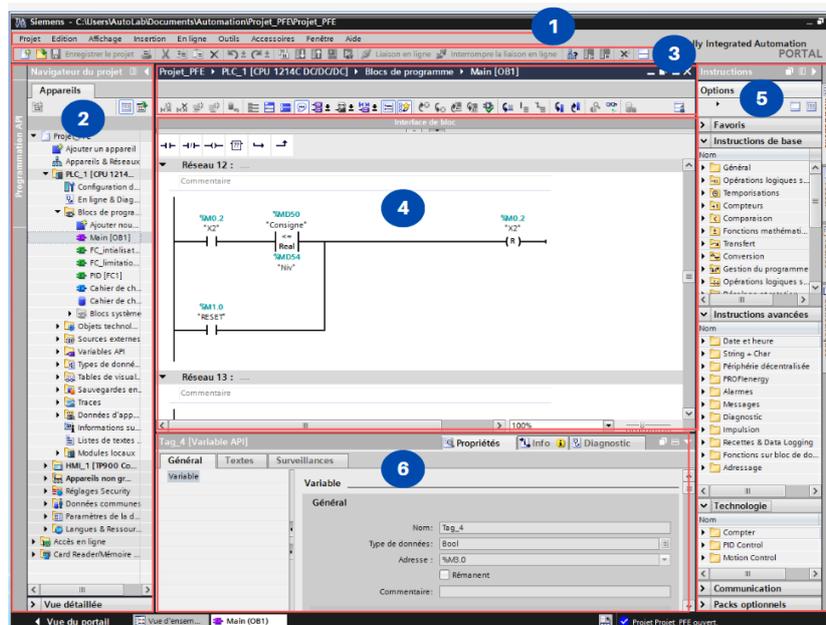


FIGURE A.4 – Vue du Projet

- 1 Barre de menu
- 2 Navigateur de projet
- 3 Barre d’outil
- 4 Espace de travail : éditeurs
- 5 Catalogue / Bibliothèque
- 6 Fenêtre d’inspection

Étape 1 : Création d’un projet

→ Pour créer un projet dans la vue du portail, sélectionnez l’action ”Créer un projet”



Vous pouvez donner un nom au projet, choisir un chemin d’accès où il sera sauvegardé, indiquer

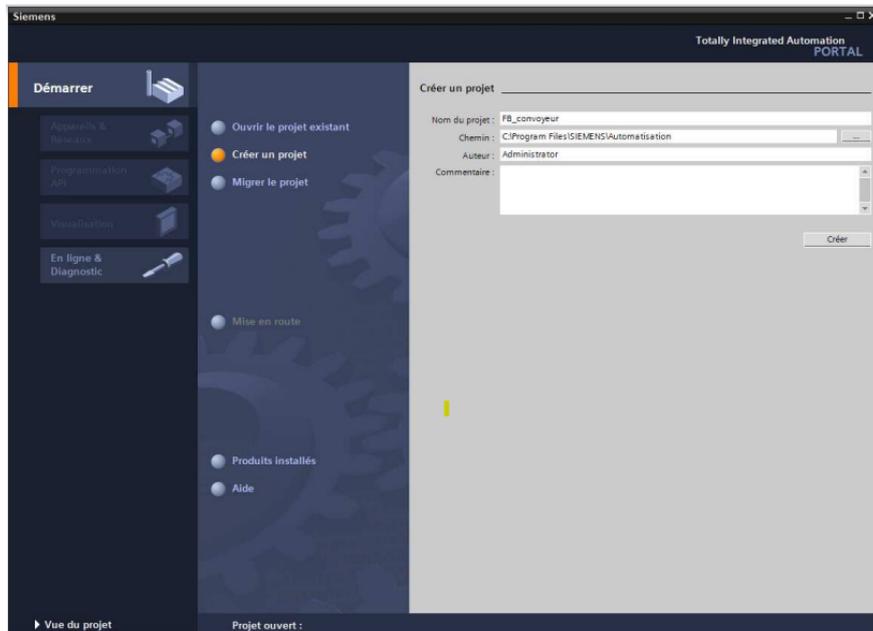


FIGURE A.5 – Création d'un projet

un commentaire ou définir l'auteur du projet.

→ Lorsque le projet est créé, cliquer sur **"Vue du projet"**  **Open existing project**.

Étape 2 : Configuration d'un appareil

Dans le navigateur de projet, double-cliquez sur **"add device"** et sélectionnez l'automate S7 de votre choix (dans ce cas, on choisit la CPU 1214C DC/DC/DC). Et Cliquer sur icon **"add"** afin de choisir l'IHM (dans cet exemple on a pris l'interface Confort TP900 6AV 124-0JC01-0AX0) Cliquez sur le bouton **"ok"** pour ajouter l'automate.

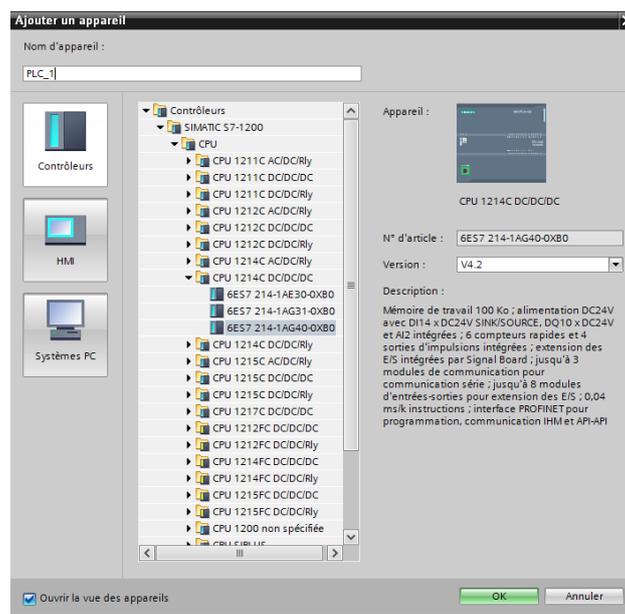


FIGURE A.6 – Configuration d'un appareil

Les compléments PLC peuvent être ajoutés à l'aide du **catalogue**. Si vous souhaitez ajouter un écran ou un autre automate ou module d'entrée/sortie, vous devez utiliser la commande "add device" dans le navigateur de projet.

"**Catalogue**" Contient tous les éléments que l'on peut ajouter à la CPU

"**Information**" Permet d'avoir une information sur le matériel sélectionné

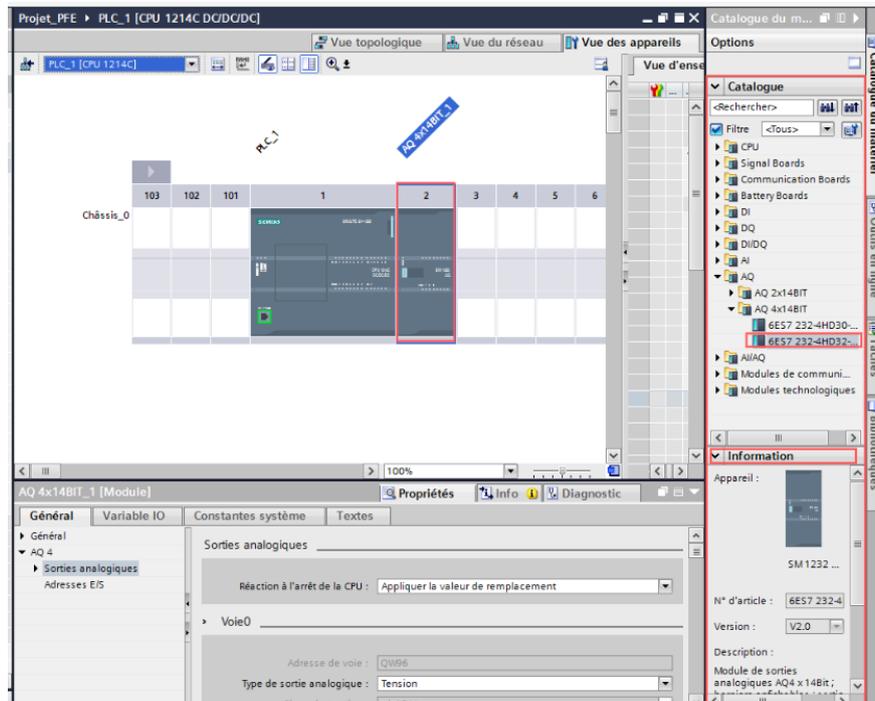


FIGURE A.7 – Ajouter un module supplémentaire

Étape 3 : Créer et adresser des E/S

Pour accéder à l'adressage des entrées et sorties de la configuration matérielle, vous devez vous rendre dans la section "Appareil et réseau" dans le navigateur de projet. Dans la fenêtre de travail, assurez-vous que l'onglet "Vue des appareils" est sélectionné et choisissez l'appareil désiré. Sélectionnez la CPU, puis utilisez les deux flèches pour faire apparaître l'onglet "Vue d'ensembles des appareils". Les adresses des entrées et sorties s'affichent, et vous pouvez les modifier en entrant une nouvelle valeur dans la case correspondante.

Ou aller à la section "I/O tags" ("Variables IO" en français) dans les propriétés de l'API.

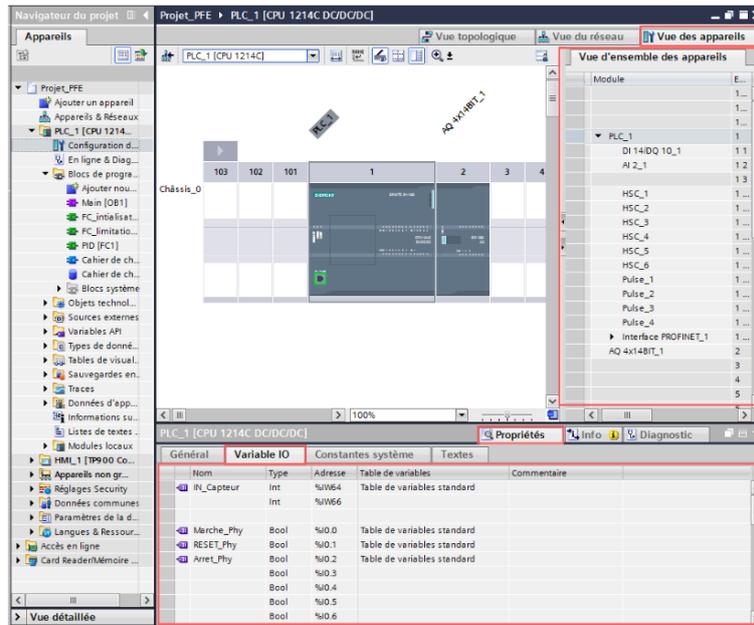


FIGURE A.8 – Adressage des E/S

Table des variables API

La table des variables API est l'endroit où toutes les variables et constantes utilisées dans le programme peuvent être déclarées. Lors de la définition d'une variable API, il faut définir :

- **Un nom** : c'est l'adressage symbolique de la variable
- **Le type de donnée** : BOOL, INT, REAL, ...
- **L'adresse absolue** : par exemple Q 0.7, M1.0, ...

→ Dans la navigation du projet, Cliquer sur "**PLC tags**" ("Variables API" en français), puis sur "**Show all tags**" ("Table des variables standard" en français) afin de passer à la configuration des mnémoniques.

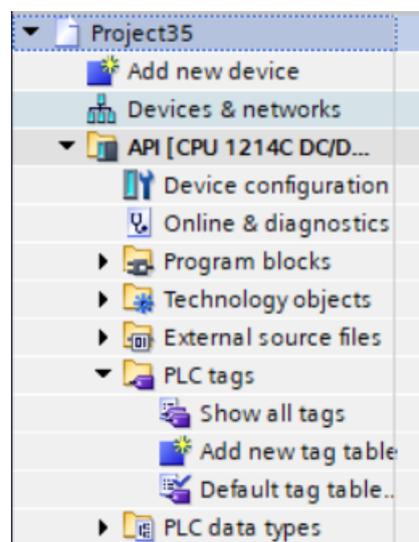


FIGURE A.9 – Table des variables API

Étape 4 : Adresse Ethernet de la CPU (API)

Pour établir une liaison entre l'unité centrale et la console de programmation, il est important d'attribuer des adresses appartenant au même sous-réseau aux deux appareils. (par exemple l'adresse 192.168.0.2 est utilisée pour le PLC).

⇒ Dans le navigateur de projet, cliquez avec le bouton droit de la souris sur le module CPU PLC et sélectionnez Propriétés.

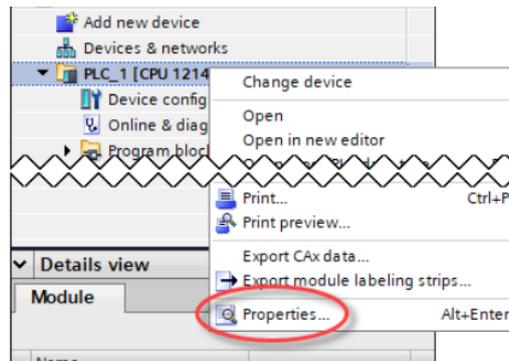


FIGURE A.10 – Propriétés API

⇒ Dans l'onglet Général, sélectionnez Interface PROFINET.

⇒ Choisissez Définir l'adresse IP dans ce projet, définissez l'adresse IP et le masque de sous-réseau.

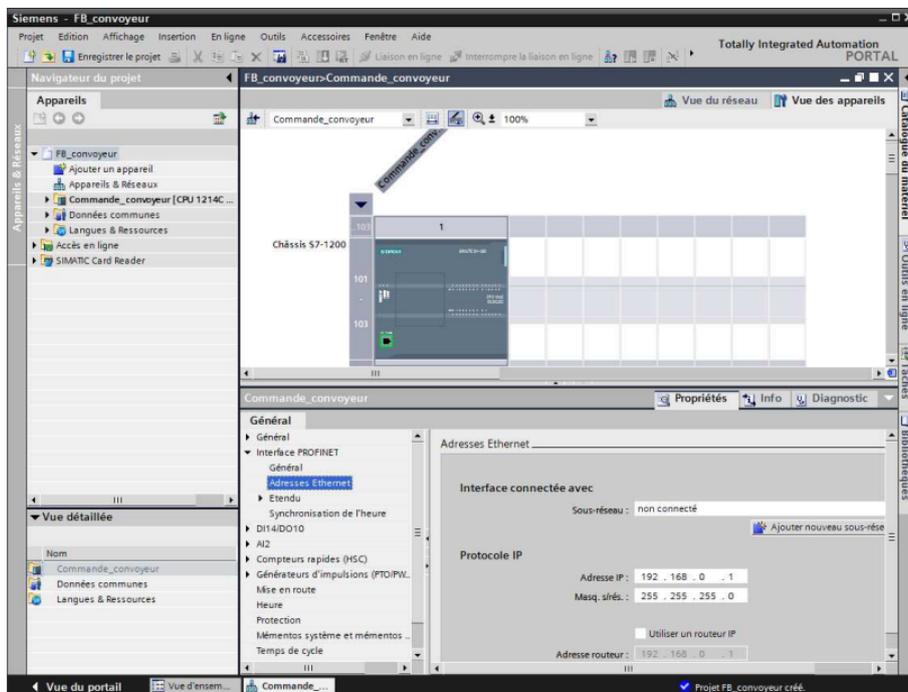


FIGURE A.11 – Adresse Ethernet de la CPU

Étape 5 : l'insertion des blocs suivants : OB – FB - FC – DB

Cette étape concerne à l'insertion des blocs suivants : OB – FB - FC – DB

– **Bloc d'organisation OB** : Les blocs d'organisation définissent la structure du programme utilisateur. (Ex : OB1_Main : permet le traitement cyclique du programme.) ..

Ils constituent l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur. Ils sont appelés par le système et traitent les opérations suivantes :

- Traitement cyclique du programme :OB1
- Comportement au démarrage : OB100,
- Traitement des erreurs OB80,
- Traitement Cycle périodique : OB30,
- Déclenchement d'actions par alarme

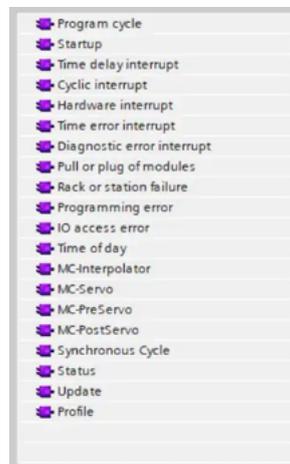


FIGURE A.12 – Blocs Organisationnels

– **Fonction FC** : Bloc permettant la transmission de paramètres sans mémoire. (Ex : FC1_IMG_E : permet d'obtenir l'images des entrées.)

– **Bloc Fonctionnel FB** : Bloc permettant la transmission et possédant une mémoire. (Ex : FB600_FLIP_FLOP : commande d' un sortie sur un temps de pilotage/temp de repos)

– **Bloc de données BD** :Bloc permettant d'enregistrer des données utilisateur.(Ex :DB_IMG_E : contient les variables images.)

– **UDT** : Bloc permettant d'enregistrer un type de données utilisateur. (le but de créer des modèles / bibliothèques de données.)

→ Cliquez sur "**Program blocs**" ("Blocs de programme" en français)

→ **OB1** est automatiquement appelé

Dans l'onglet de la section instruction  **Instructions** sont représentées les différentes instructions utiles à l'écriture du programme, il y a celles dédiées à la conversion de type, à la comparaison, aux opérations arithmétiques, à la mise à l'échelle, ... etc.

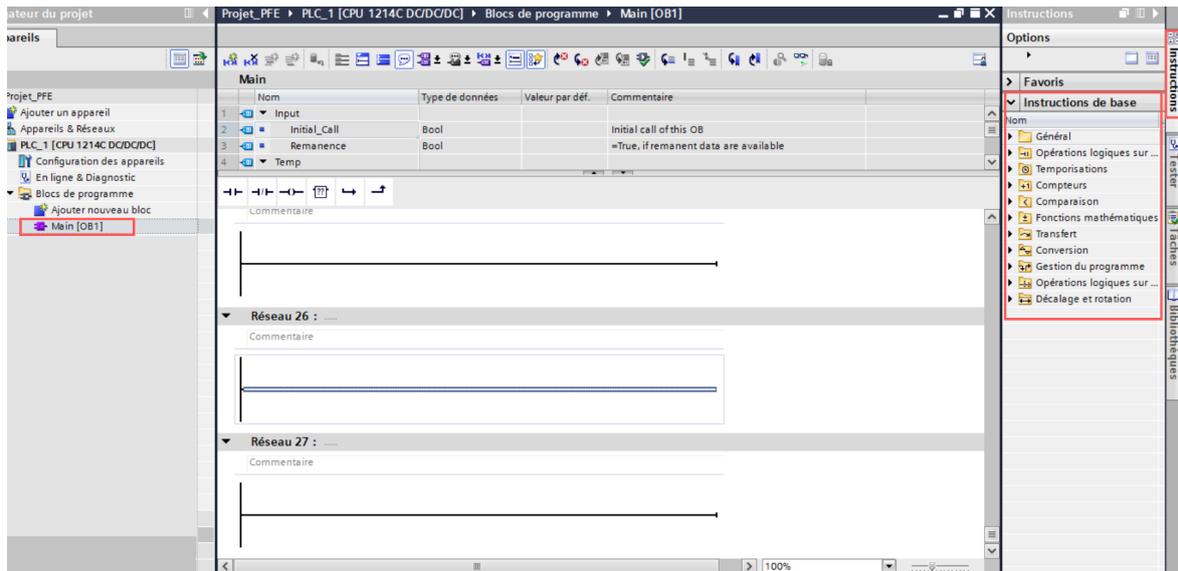


FIGURE A.13 – Insertion De Blocs

→ Cliquer sur "Add new bloc" ("Ajouter nouveau bloc" en français) → Sélectionnez l'un de ces **blocs** (**OB** - **FB** - **FC**) par exemple, on choisit le bloc (**FC**) (Remarque : Si vous avez écrit votre programme en (FC,FB), vous devez le mettre en "OB1".existe l'explication ici A.4)
 → Sélectionner un des **langages** de programmation (**CONT** - **LOG** - **SCL** - **LIST** -**SFC**) par exemple, on choisit la langue **CONT**
 → Cliquer sur **OK**

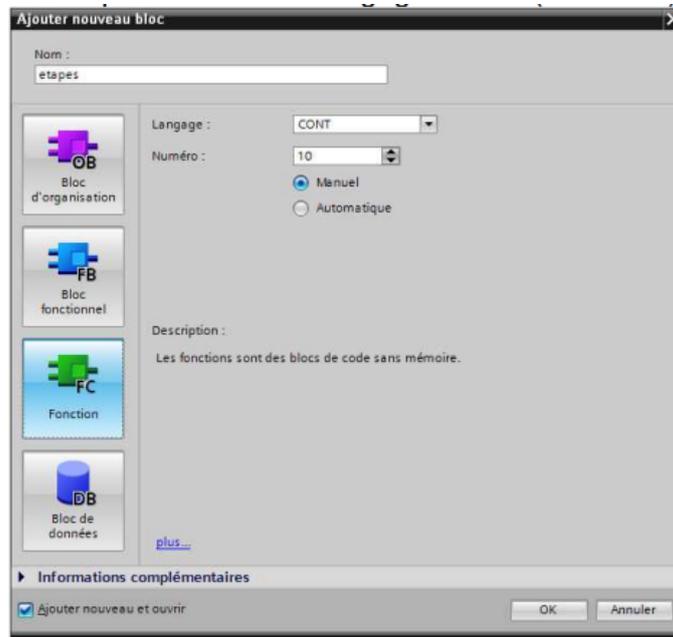


FIGURE A.14 – Insertion De Blocs

→ On constate que le **Bloc_FC** a été ajouté.



FIGURE A.15 – Blocs créés

→ Le bloc **Block** s'ouvre automatiquement. Avant de pouvoir écrire le programme, cependant, on doit déclarer les variables locales, qui ne sont connues que dans le bloc.

Les variables sont divisées en 2 groupes :

Les paramètres qui forment l'interface du bloc pour les appels dans le programme :

- Paramètres d'entrée "**Input**" : Paramètre dont la valeur est lue par le bloc
- Paramètres de sortie "**Output**" : Paramètre dont la valeur est écrite par le bloc
- Paramètres d'entrée/sortie "**InOut**" : Paramètre dont la valeur est lue par le bloc quand elle est appelée, et qui après traitement est écrite dans le même paramètre

Les données locales utilisées pour un stockage des résultats intermédiaires :

- Données locales temporaires "**Temp**" Variables utilisées pour un stockage temporaire des résultats intermédiaires. Les données temporaires sont conservées pour un cycle seulement
- Données locales statiques "**Static**" Variables utilisées pour un stockage statique des résultats intermédiaires dans le bloc de données d'instance. Les données statiques sont conservées jusqu'à leur réécriture, soit pour plusieurs cycles

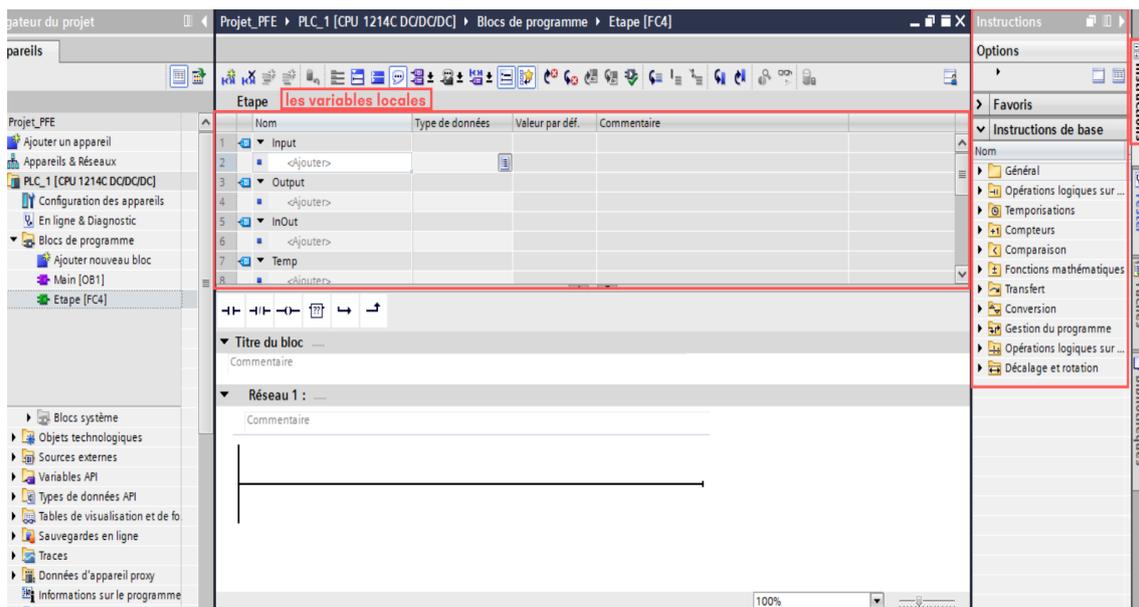


FIGURE A.16 – Bloc_FC

→ Le bloc de type **FC** sera appelé dans l'**OB1**

- Double-cliquez sur **OB1** , **OB1** s'ouvre
- Glisser-déposer **Block_1** dans la fenêtre **OB1**

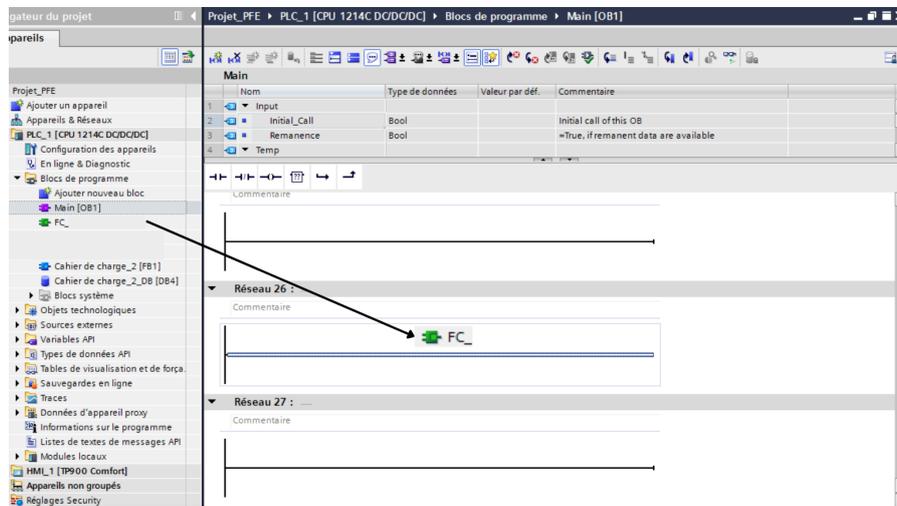


FIGURE A.17 – Appel du bloc FC

Après avoir terminé le projet, nous devons le sauvegarder, le compiler et, une fois compilé, le télécharger vers l'API.

- Cliquez sur  : Pour Enregistrer le projet
- Transférer votre programme et la config API dans la mémoire de l'API.

En premier, sélectionnez l'interface qui convient. L'opération s'effectue en trois étapes.

- Étape 1 : Type de l'interface PG/PC : PN/IE
- Étape 2 : Interface PG/PC : Realtek PCIe FE Family Controller
- Étape 3 : Connexion avec interface/sous-réseau : "PN/IE_1"

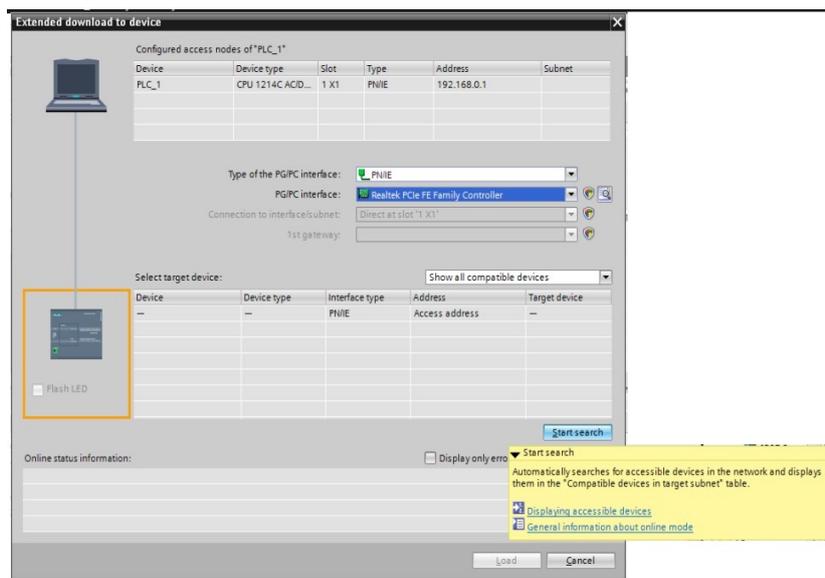


FIGURE A.18 – Charger dans l'automate

Si la compilation s'est correctement déroulée, cela s'affiche dans la fenêtre. Cliquez maintenant sur "Load" ("Charger" en français), puis "Finish" ("Terminer" en français).

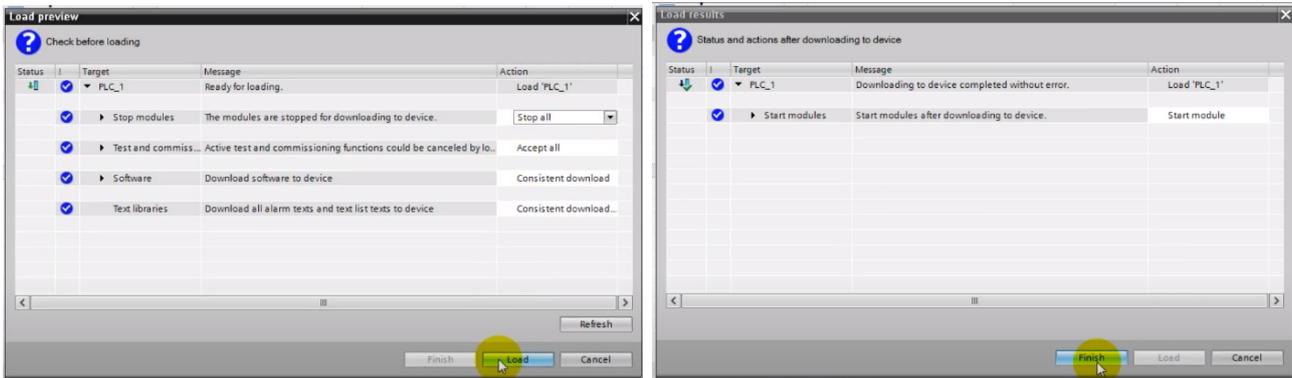


FIGURE A.19 – Charger dans l'automate

A.4.1 Application de la supervision

Il faut d'abord créer une liaison HMI entre la CPU et l'HMI, cela pour pouvoir lire les données qui se trouvent dans l'automate.

→ Dans la navigateur de projet, Vous pouvez choisir **IHM** Cliquez-sur "Connexions" → et Cliquez-sur "Ajouter" pour créer le lien de communication entre votre API et l'IHM.

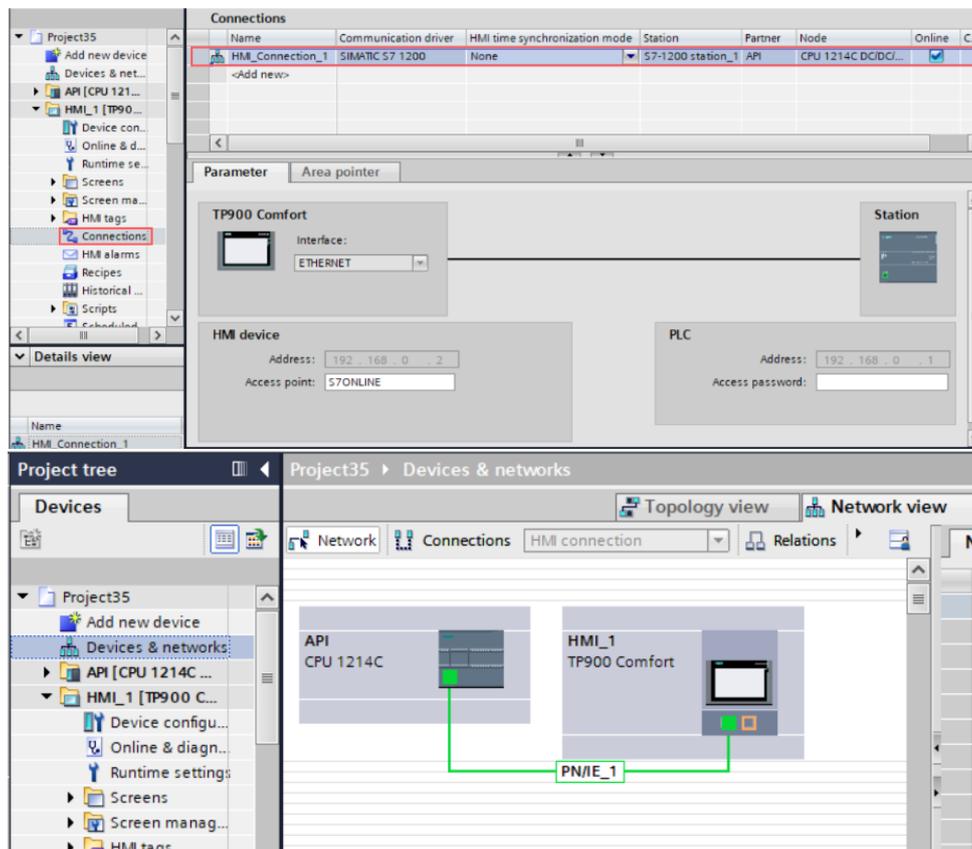


FIGURE A.20 – Création de la liaison API-IHM

Programmation de l'HMI

La deuxième partie de la programmation consiste à créer une interface de communication IHM entre l'utilisateur (client ou technicien) et la station de pompage. Cette interface sera composée d'un écran pour le contrôle ou le suivi du système

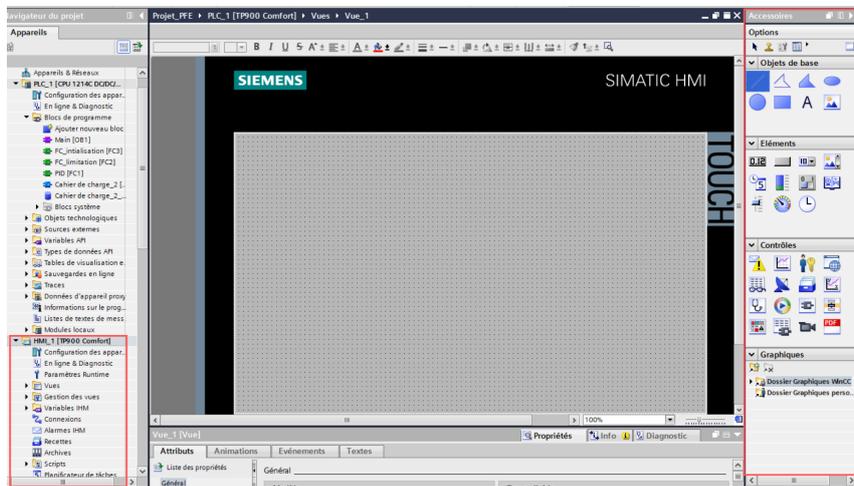


FIGURE A.21 – Application de la supervision

Variables HMI

Il existe deux types de variables, les variables externes et les variables internes :

- Les variables externes sont utilisées pour partager et échanger des données entre les différents composants d'un processus automatisé, ou entre un pupitre opérateur et un automate.
- Les variables internes, quant à elles, ne sont pas liées à l'automate et sont stockées dans la mémoire du pupitre.

(1) Déclaration des variables de l'IHM .

Nom	Type de données	Connexion	Nom API	Variable API	Adresse
Arrêt	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	Arrêt	
Consigne	Real	HMI_Liaison_1	PLC_1	Consigne	
EV1	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	EV1	
EV2	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	EV2	
M1	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	M1	
Merche	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	Merche	
Merche_Vir	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	Merche_Vir	
Numéro_vue_variable	UInt	<variable intern...		<indéfini>	
RESET	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	RESET	
RESET_Vir	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	RESET_Vir	
V1	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	V1	
X0	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	X0	
X1	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	X1	
X2	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	X2	
X3	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	X3	
<ajouter>					

FIGURE A.22 – Variables HMI

(2) Add new screen (Création de vues) :

Après avoir configuré l'IHM, vous accédez à la vue du projet qui ressemble beaucoup à celle utilisée pour écrire des programmes. Cette vue se compose principalement d'un champ représentant l'écran de l'IHM sur lequel vous souhaitez travailler et d'une **bibliothèque** d'éléments graphiques. Cette **bibliothèque** contient différents types d'éléments graphiques qui peuvent être utilisés pour créer l'interface utilisateur souhaitée.

Vue racine ou vue initiale : est créée automatiquement et a été définie comme vue initiale. Ici, l'installation est présentée dans son intégralité.

Ajouter des vues (par exemple : **Vue Alarmes** , **Vue Entrées** , **Vue Sorties** , **Vue Etats** , **Vue Système**)

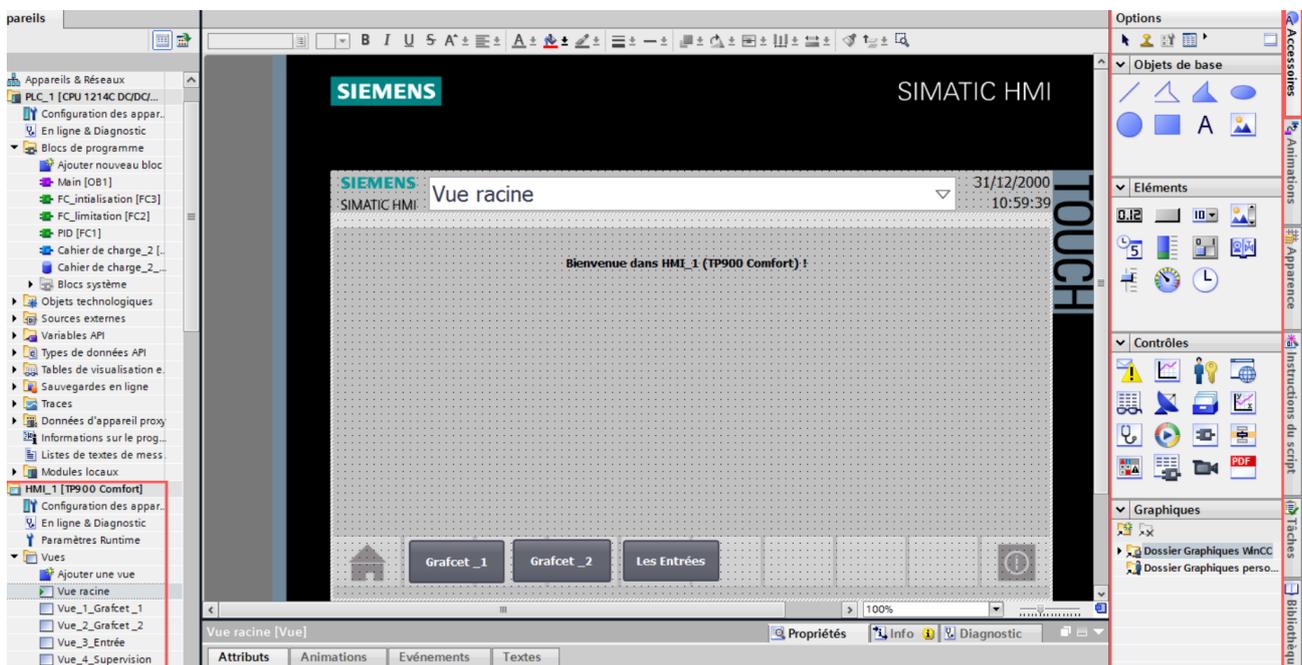


FIGURE A.23 – Vues de l'IHM

(3) Gestion des **alarmes TOR** et **Analogiques** :

Pour accéder à la configuration des alarmes, vous pouvez cliquer sur "**HMI Alarms**"

. Il y a généralement deux types d'alarmes :

les alarmes TOR (Tout Ou Rien)  qui se déclenchent lorsqu'une variable discrète indique une alerte ou une erreur (selon sa classe), ou simplement lorsqu'elle change d'état (de 0 à 1 logique). **Les alarmes analogiques** , quant à elles, se déclenchent lorsque la variable analogique dépasse un seuil défini. Chaque alarme est identifiée par un identifiant, un nom, un message et une classe (alerte, erreur, danger, etc.).

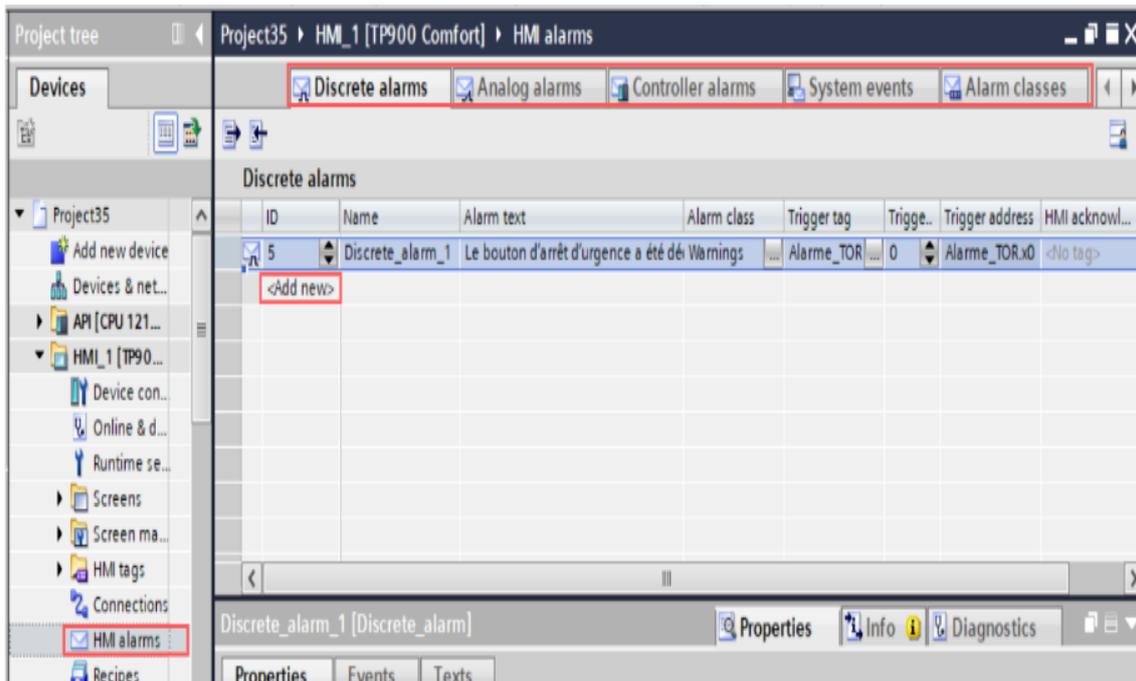


FIGURE A.24 – Alarmes IHM

- (4) Cliquer sur l'icône  pour compiler le programme
- (5) Cliquez sur l'icône  "Upload" pour charger le programme dans l'IHM.

Annexe B

PLC, IHM, Variateur de vitesse

B.1 Raccordement des API

Câblage : cas de l'automate Siemens S7-1214C DC/DC/DC

Dans le manuel d'utilisation de l'automate S7-1214C, vous pourrez trouver le schéma de câblage ci-dessous vous montrant comment câbler des entrées digitales et analogiques à l'automate. Comme énoncé plus haut, dans la majorité des cas, le schéma de câblage est donné, vous pouvez donc vous référer au manuel en cas de doute. Ici on a un CPU comportant des entrées 24V DC et des sorties 24 V DC de type transistor. Ici, le "commun" des entrées digitales de l'automate 1M est connecté au 0 V. Les entrées de l'automate sont donc activées par une "logique positive".

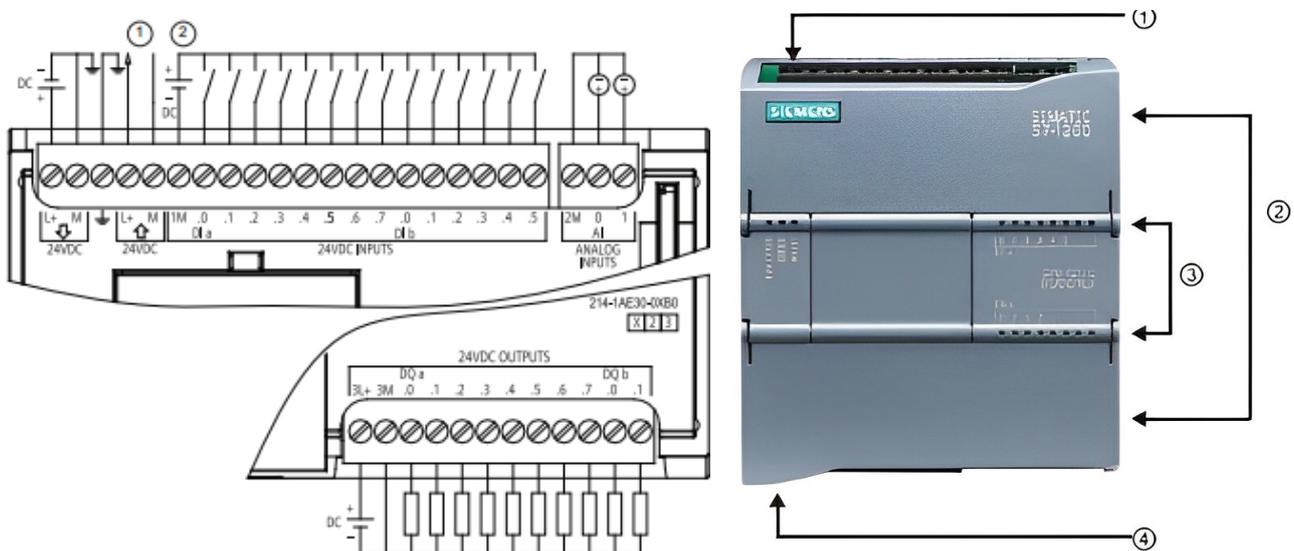


FIGURE B.1 – Raccordement l'atomete Siemens S7-1214C DC/DC/DC
[3]

- (1) Alimentation 24V
- (2) Borniers insérables pour un câblage utilisateur (Ferrière les caches plastique)
- (3) Diodes électroluminescentes pour les I/O intégrées et le mode de fonctionnement de la CPU
- (4) Connexion TCP/IP (sous la CPU)

B.2 Raccordement du PC de configuration à un Basic Panel avec interface PROFINET

Un PC de configuration vous offre les possibilités suivantes :

- • Transférer un projet.
- • Transférer une image du pupitre opérateur.
- • Réinitialiser le pupitre opérateur aux paramètres d'usine.

Utilisez un câble Ethernet CAT5 ou supérieure pour le raccordement du PC de configuration

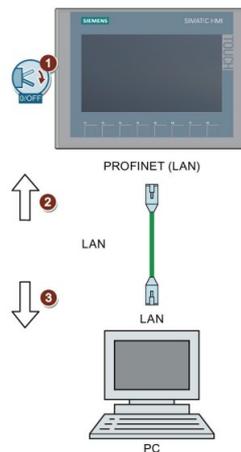


FIGURE B.2 – interfaces

- 1. Mettez le pupitre opérateur hors tension.
- 2. Raccordez un connecteur RJ45 du câble LAN au pupitre opérateur.
- 3. Raccordez un connecteur RJ45 du câble LAN au PC de configuration

B.3 Raccordement d'un automate à un Basic Panel avec interface PROFINET

Vous pouvez raccorder des Basic Panels avec interface PROFINET aux automates SIMATIC suivants :

- • SIMATIC S7-200
- • SIMATIC S7-300/400
- • SIMATIC S7-1200
- • SIMATIC S7-1500
- • WinAC
- • SIMOTION
- • LOGO! Vous pouvez raccorder des Basic Panels avec interface PROFINET aux automates suivants :
- • Modicon Modbus TCP/IP
- • Allen Bradley EtherNet/IP
- • Mitsubishi MC TCP/IP

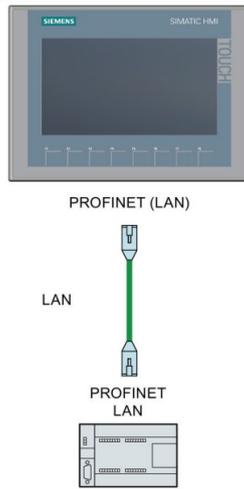


FIGURE B.3 – Interfaces
[9]

B.4 Câblage Variateur de vitesse

- Câblez le variateur à la terre.
 - Vérifiez le calibre du disjoncteur ou la valeur nominale des fusibles .
 - Vérifiez que la tension du moteur est compatible avec la tension du variateur.
- Tension du moteur V .
- Câblez le variateur au moteur.
 - Câblez le variateur à l'alimentation secteur.

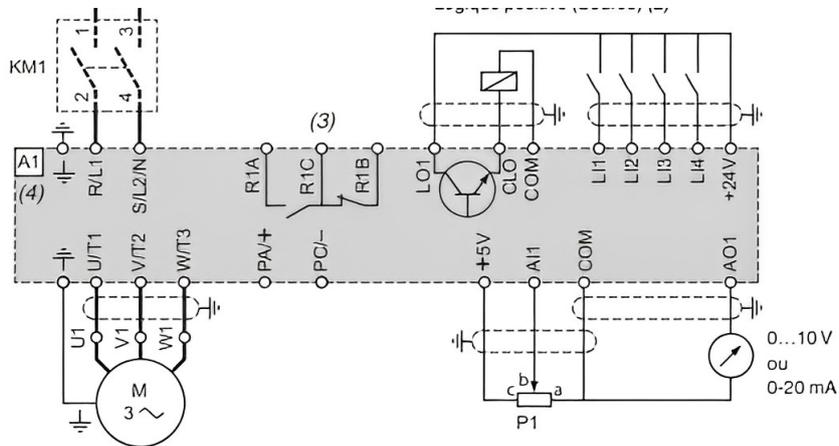


FIGURE B.4 – Câblage Variateur de vitesse

Annexe C

KEPserverEX

C.1 Introduction

KEPserverEX de Kepware est une plateforme de connectivité industrielle largement utilisée qui permet la communication entre différents dispositifs industriels, équipements et applications logicielles. Il agit en tant que serveur de communication, permettant à différents dispositifs et applications d'échanger des données de manière transparente.

KEPserverEX prend en charge un large éventail de protocoles industriels, notamment OPC (OLE pour le contrôle des processus), Modbus, SNMP (Simple Network Management Protocol), DNP3 (Distributed Network Protocol) et bien d'autres. Ces protocoles sont couramment utilisés dans des industries telles que la fabrication, le pétrole et le gaz, les services publics, l'automatisation des bâtiments, etc.

C.2 Interface de KepserverEX

Les sections principales de l'interface de KepserverEX sont :

- **Barre de Menu** : La barre de menu contient différentes options pour accéder aux fonctionnalités et aux paramètres de configuration de KEPserverEX, où nous trouverons les menus de : Fichier, Édition, Vue, Outils, Aide, Runtime.
- **Barre des boutons** : La barre des boutons regroupe des icônes qui fournissent un accès rapide aux fonctionnalités couramment utilisées. Ces boutons peuvent inclure des actions telles que la configuration, le démarrage ou l'arrêt des serveurs, l'ajout de canaux, etc.
- **Arborescence du projet** : L'arborescence du projet est une vue hiérarchique qui permet d'organiser les différents éléments du projet, tels que les canaux, les périphériques, les groupes d'éléments, etc. Elle offre une vue structurée et organisée de la configuration du projet et elle regroupe les éléments suivant :
 1. **Connectivity** : Cette section regroupe les canaux et les périphériques utilisés pour établir la connectivité entre KEPserverEX et les dispositifs ou logiciels externes.
 2. **Aliases** : Permet de créer des noms conviviaux et faciles à utiliser pour les tags ou les adresses mémoire utilisées dans votre configuration. Nous pouvez créer des alias pour simplifier la manipulation des données dans les applications ou systèmes clients.
 3. **Advanced Tags** : Cette section permet de configurer des options avancées pour les variables tel que : telles que des expressions mathématiques comme calcule le maximum , le minimum et la moyenne, et relier les variables entre eux.

4. **Alarms and Events** : Cette section nous permet de configurer des alarmes et des événements pour surveiller les changements d'état ou les conditions spécifiques dans données. nous pouvez définir des seuils, des déclencheurs, des actions à effectuer en cas d'alarme, etc.
 5. **DataLogger** : L'enregistreur de données permet de capturer et de stocker des données historiques provenant des périphériques.
 6. **EFM Exporter** : Où les données sur les flux et les tendances peuvent être saisies et coordonnées.
 7. **IDF for Splunk** : Où il est possible de configurer les flux de données pour la gestion et l'exploration des données.
 8. **IoT Gateway** : Facilite l'intégration de KEPServerEX avec les plateformes IoT (Internet of Things) et les solutions de gestion des périphériques connectés. Elle permet la collecte et la transmission des données vers les applications IoT.
 9. **Local Historian** : est un outil intégré de KEPServerEX qui permet de stocker et de gérer les données historiques localement, sans nécessiter une base de données externe. Il facilite l'accès aux données historiques pour l'analyse et la prise de décision.
 10. **Scheduler** : Le planificateur permet de configurer des tâches automatisées, telles que des sauvegardes planifiées, des exportations de données, des mises à jour de configuration, etc.
 11. **SNMP Agent** : Permet de superviser et de gérer KEPServerEX via le protocole SNMP (Simple Network Management Protocol). Il facilite l'intégration de KEPServerEX avec les systèmes de gestion réseau et de surveillance.
- **Vue détaillée** : La vue détaillée affiche les détails spécifiques de l'élément sélectionné dans l'arborescence du projet.
 - **Journal des événements** : est une fenêtre qui enregistre les informations et les événements importants liés à KEPServerEX. Il peut afficher des messages de diagnostic, des erreurs, des avertissements, des connexions établies ou perdues, etc.
 - **Barre d'état** : La barre d'état est située en bas de l'interface et affiche des informations sur l'état actuel du serveur KEPServerEX. Cela peut inclure des indications telles que la connectivité, l'état des canaux, la disponibilité des périphériques, etc.

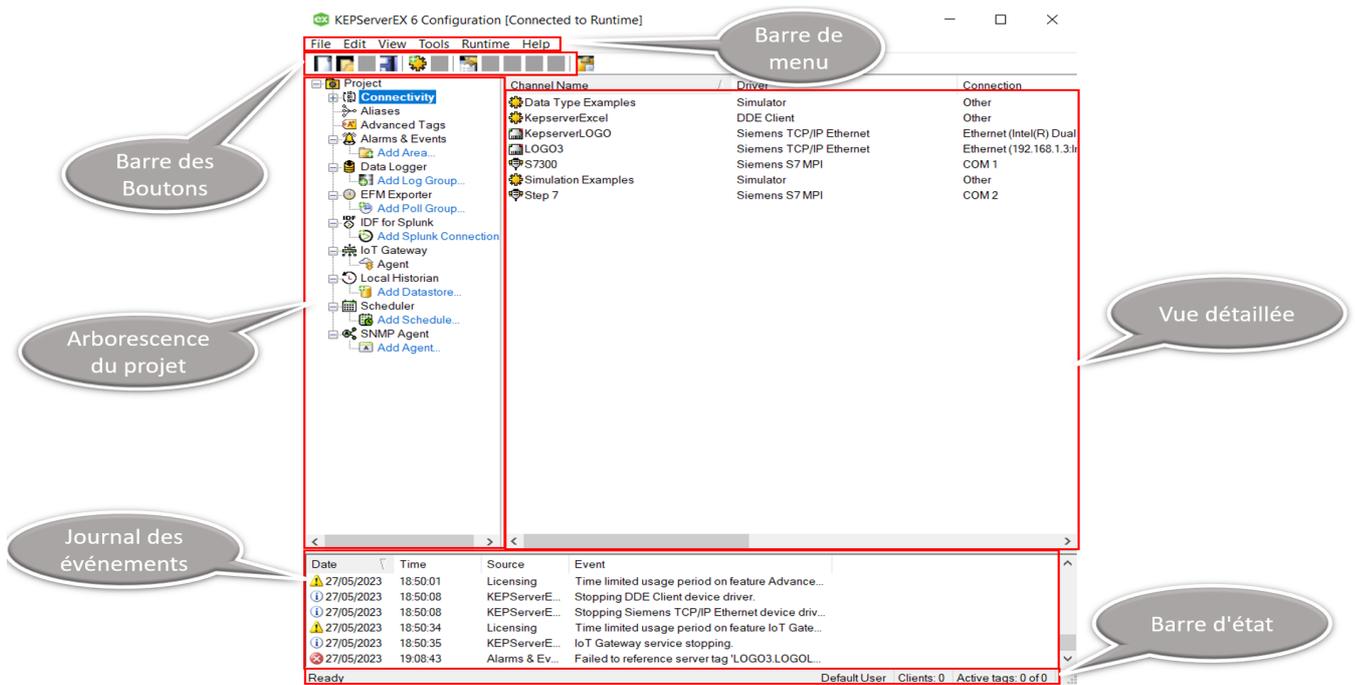


FIGURE C.1 – Interface de projet de KepserverEX

C.3 Création des canneaux

Pour créer un canal dans KEPServerEX, nous suivons les étapes suivantes :

1. Nous cliquons avec le bouton droit de la souris sur **Connectivity** dans l'arborescence de projet, puis sélectionnons **New Channel**.
2. Dans la fenêtre de configuration du canal, choisissons le type de canal souhaité à partir de la liste déroulante des protocoles pris en charge.

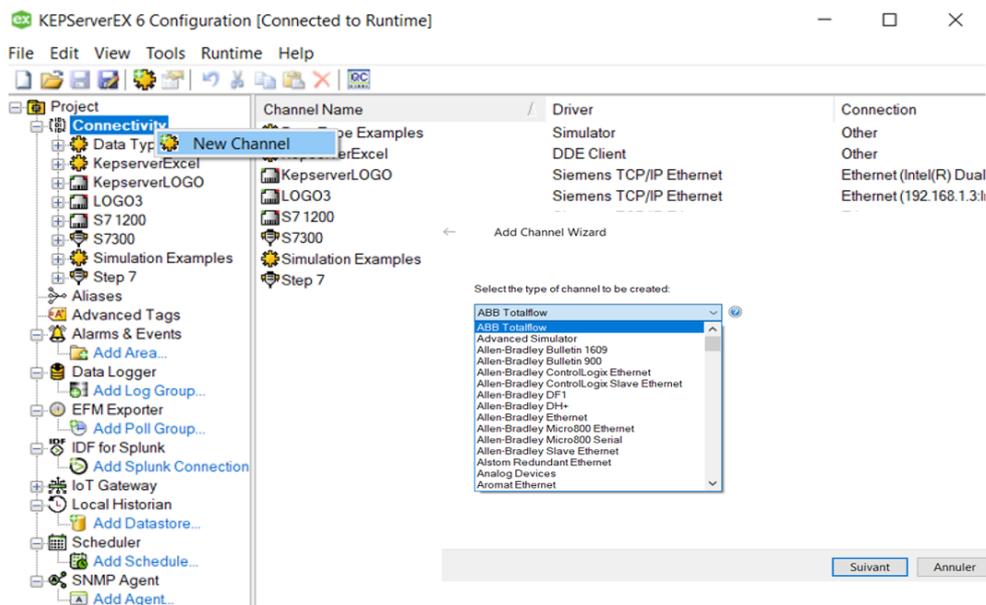


FIGURE C.2 – Insérer un nouveau canal

3. Complétons les paramètres spécifiques au canal sélectionné, tels que l'adresse IP, le numéro de port, les options de sécurité, les délais, etc. Les paramètres varient en fonction du canal choisi.

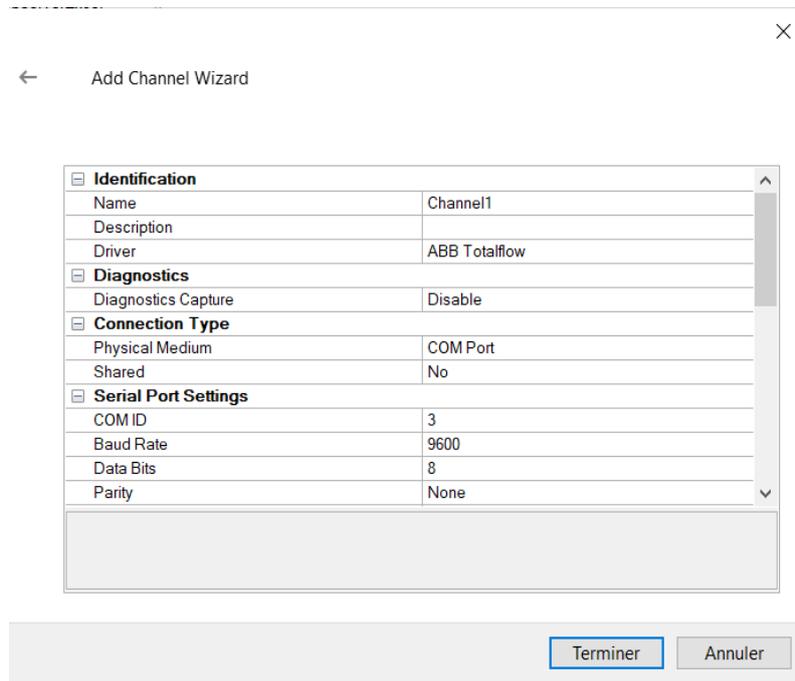


FIGURE C.3 – Paramètres du canal

a. Configuration d'un canal Excel

Pour créer un canal Excel dans KEPServerEX, nous devons choisir le canal DDE dans la liste déroulante des types de canaux. DDE (Dynamic Data Exchange) est le protocole utilisé pour la communication avec les applications Microsoft Excel.

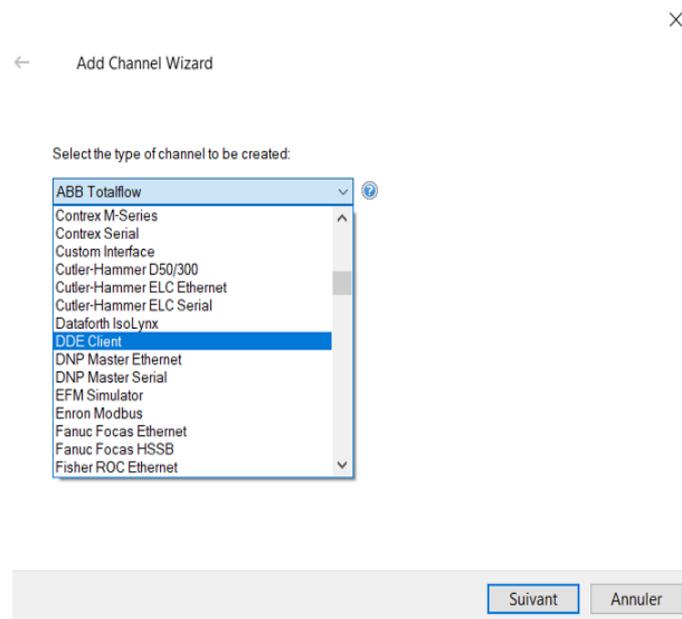


FIGURE C.4 – Canal DDE

Dans KEPServerEX, l'adresse des variables Excel est définie selon le format suivant :

DDE Service Name — **Topic Name !Item Name**. La signification de chaque partie de l'adresse est :

- **DDE Service Name** : Il s'agit du nom du service DDE utilisé pour communiquer avec Excel. Dans le cas d'Excel, le nom du service DDE est **Excel**.
- **Topic Name** : Le nom du topic fait référence à la page ou à la feuille d'Excel avec laquelle nous souhaitons établir une communication dans notre La page est nommée par **Systeme**.
- **Item Name** : Il s'agit du nom de la variable ou de la cellule spécifique que vous souhaitez utiliser dans KEPServerEX. nous pouvons faire référence à une cellule spécifique en utilisant sa notation (par exemple, A1, B2, etc.)

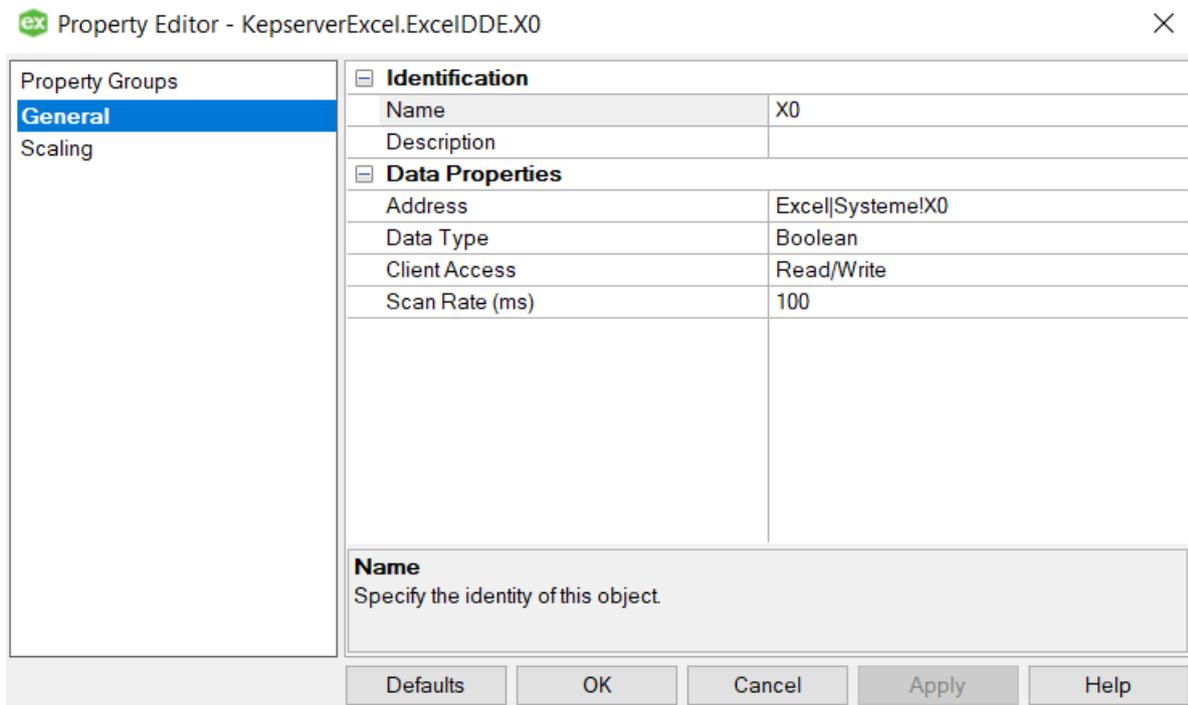


FIGURE C.5 – Déclaration variable excel dans KepserverEX

b. Configuration d'un canal LOGO!

Pour créer un canal LOGO! dans KEPServerEX, nous devons choisir le canal **Siemens TCP/IP Ethernet** dans la liste déroulante des types de canaux et on choisit le type d'automate S7 1200, car il est compatible avec LOGO!.

La compatibilité entre les adresses de LOGO! et S7 1200 sont définie comme suit :

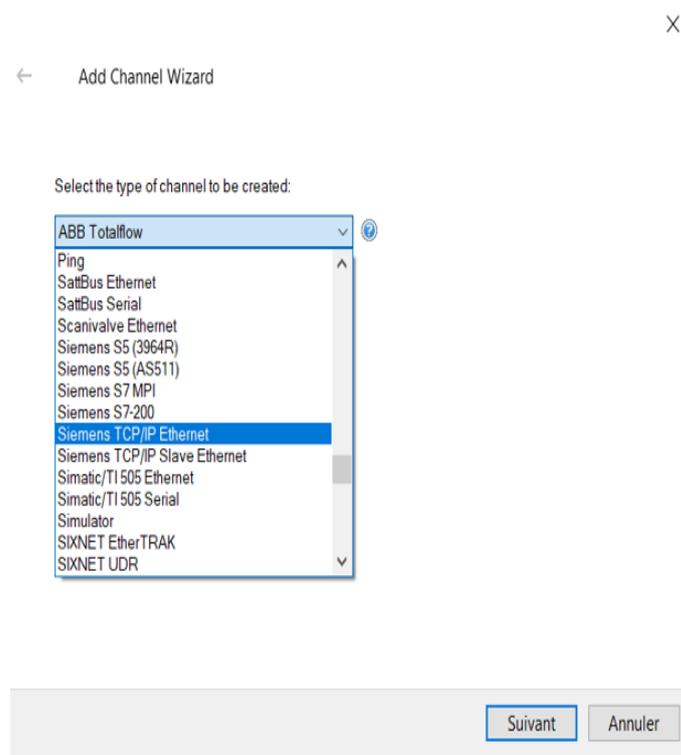


FIGURE C.6 – Canal LOGO!

I	Address	Q	Address	M	Address
I1	I0.0	Q1	Q0.0	M1	M0.0
I2	I0.1	Q2	Q0.1	M2	M0.1
I3	I0.2	Q3	Q0.2	M3	M0.2
I4	I0.3	Q4	Q0.3	M4	M0.3
I5	I0.4	Q5	Q0.4	M5	M0.4
I6	I0.5	Q6	Q0.5	M6	M0.5
I7	I0.6	Q7	Q0.6	M7	M0.6
I8	I0.7	Q8	Q0.7	M8	M0.7
I9	I1.0	Q9	Q1.0	M9	F1.0
I10	I1.1	Q10	Q1.1	M10	F1.1
I11	I1.2	Q11	Q1.2	M11	M1.2
I12	I1.3	Q12	Q1.3	M12	M1.3
I13	I1.4	Q13	Q1.4	M13	M1.4
I14	I1.5	Q14	Q1.5	M14	M1.5
I15	I1.6	Q15	Q1.6	M15	M1.6
I16	I1.7	Q16	Q1.7	M16	M1.7
I17	I2.0			M17	M2.0
I18	I2.1			M18	M2.1
I19	I2.2			M19	M2.2
I20	I2.3			M20	M2.3
I21	I2.4			M21	M2.4
I22	I2.5			M22	M2.5
I23	I2.6			M23	M2.6
I24	I2.7			M24	M2.7
				M25	M3.0
				M26	M3.1
				M27	M3.2

FIGURE C.7 – Compabilité des adresses

C.4 Créer des alarmes et des événements

Pour créer des alarmes et des événements, suivez les étapes ci-dessous :

- 1 cliquez sur "alarmes & Events" et cliquez sur "Ajouter une zone" puis sur "OK".
- 2 et cliquer sur "Ajouter une source" pour choisir la variable créée dans le canal.
- 3 après avoir choisi le "tag" cliquer sur "Add Condition" et cliquer sur "Nexit" puis définir la description et le message qui seront affichés et cliquer sur "Nexit" pour définir la limite de la marge pour cette variable.
- 4 cliquez sur "OK"

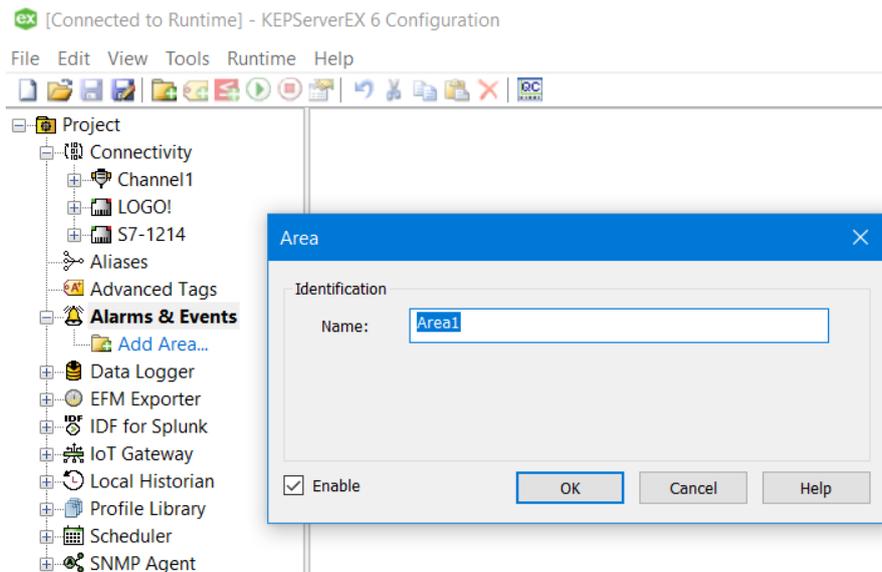


FIGURE C.8 – Ajouter une zone "Add Area"

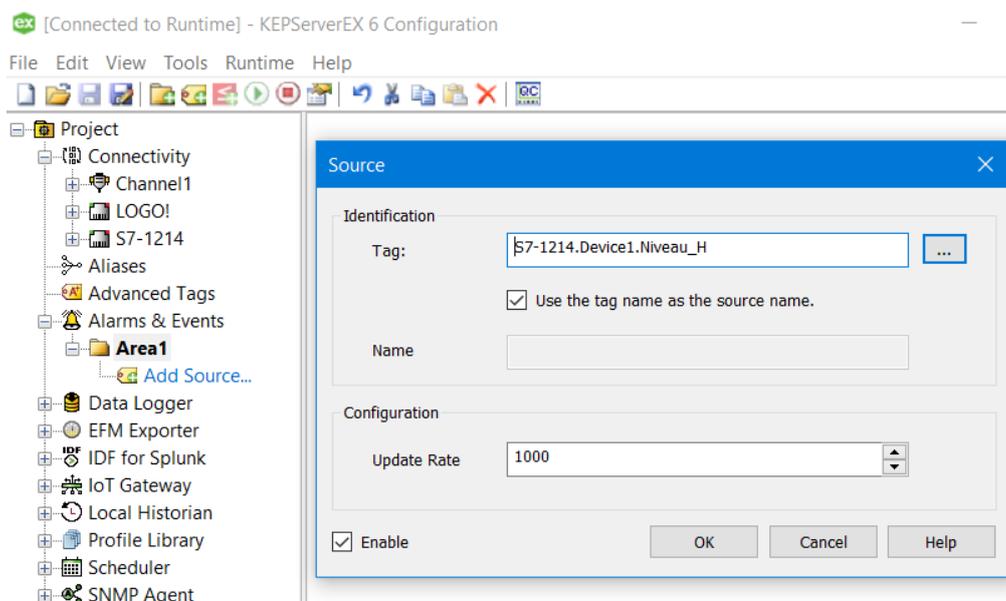


FIGURE C.9 – Ajouter une source "Add Source"

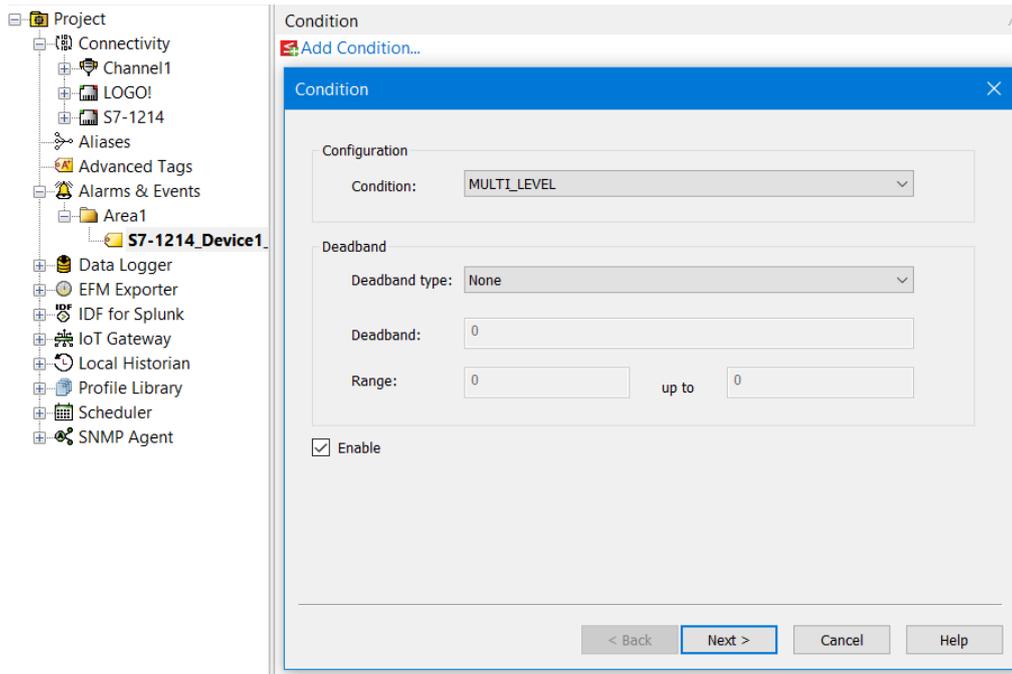


FIGURE C.10 – Ajouter une condition "Add condition"

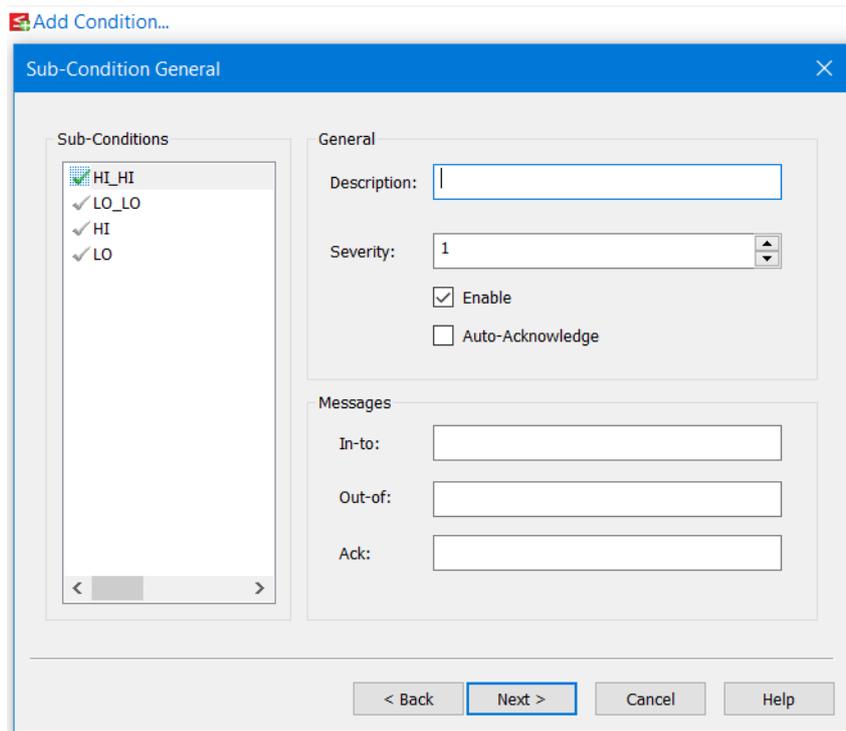


FIGURE C.11 – Définir la description et le message

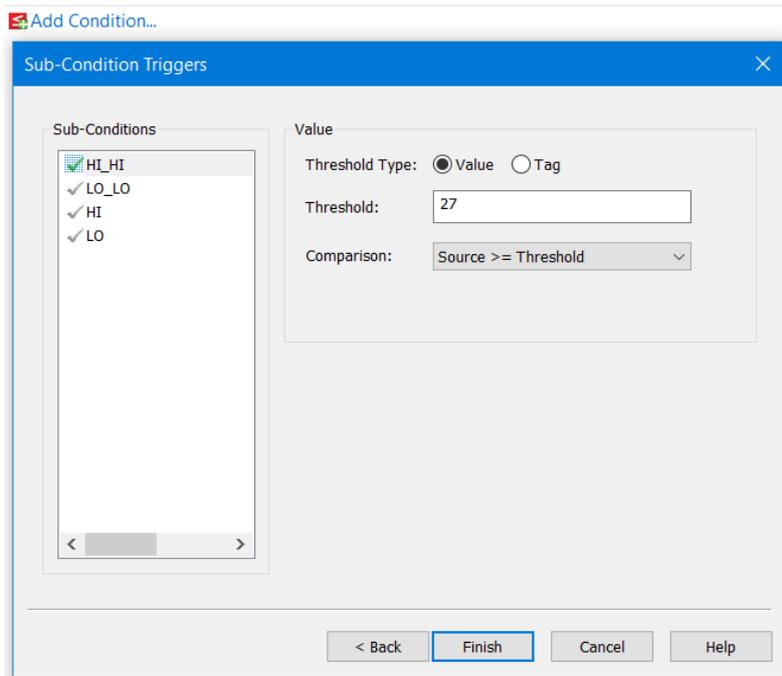


FIGURE C.12 – Définir la limite de la marge "HI-HI"

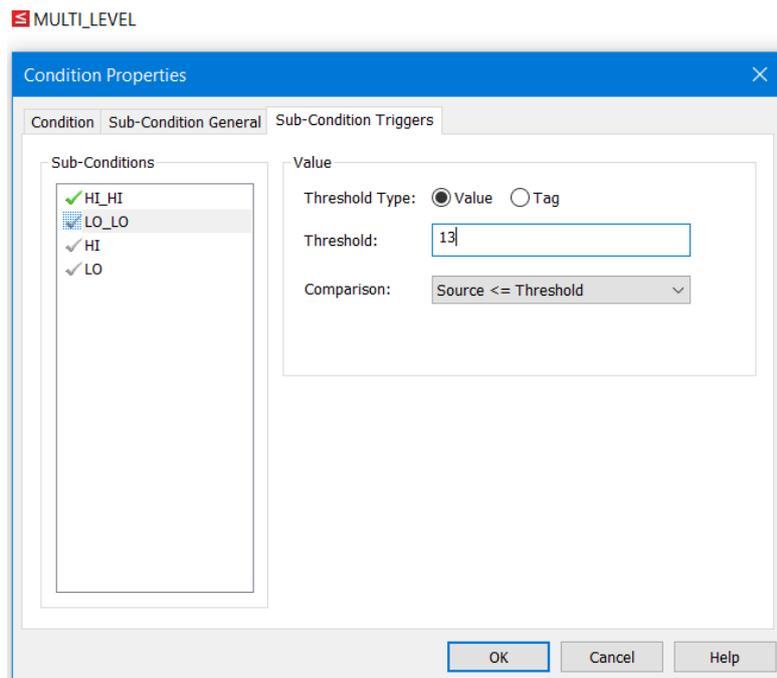


FIGURE C.13 – Définir la limite de la marge "LO-LO"

C.5 Crée un enregistreur de données "Data Logger"

Pour créer un enregistreur de données, suivez les étapes ci-dessous :

- (1) Dans la section "Data Logger", cliquez sur "LogGroup" pour définir les paramètres de l'enregistreur de données (nom de la table ,taux de mise à jour,unités de taux de mise à jour ,sélection de la table ,...)

- (2) Cliquez sur "Log item" pour sélectionner la variable à enregistrer.

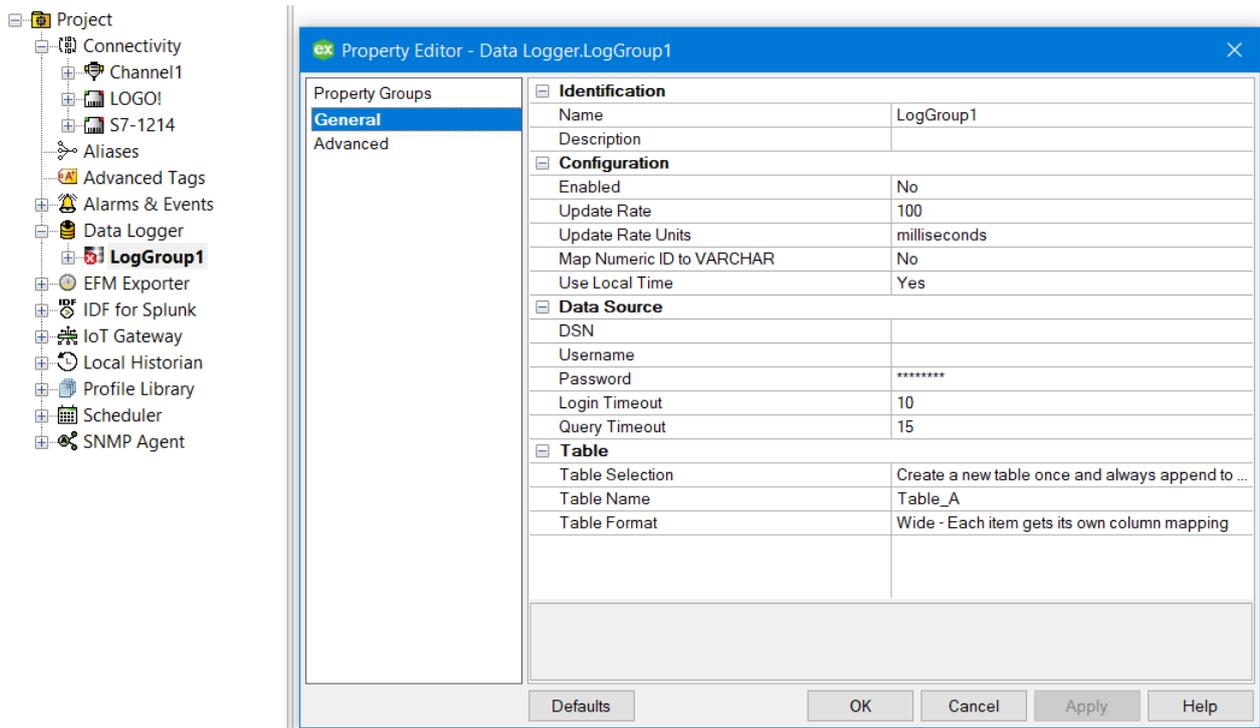


FIGURE C.14 – Paramètre de l'enregistreur de données

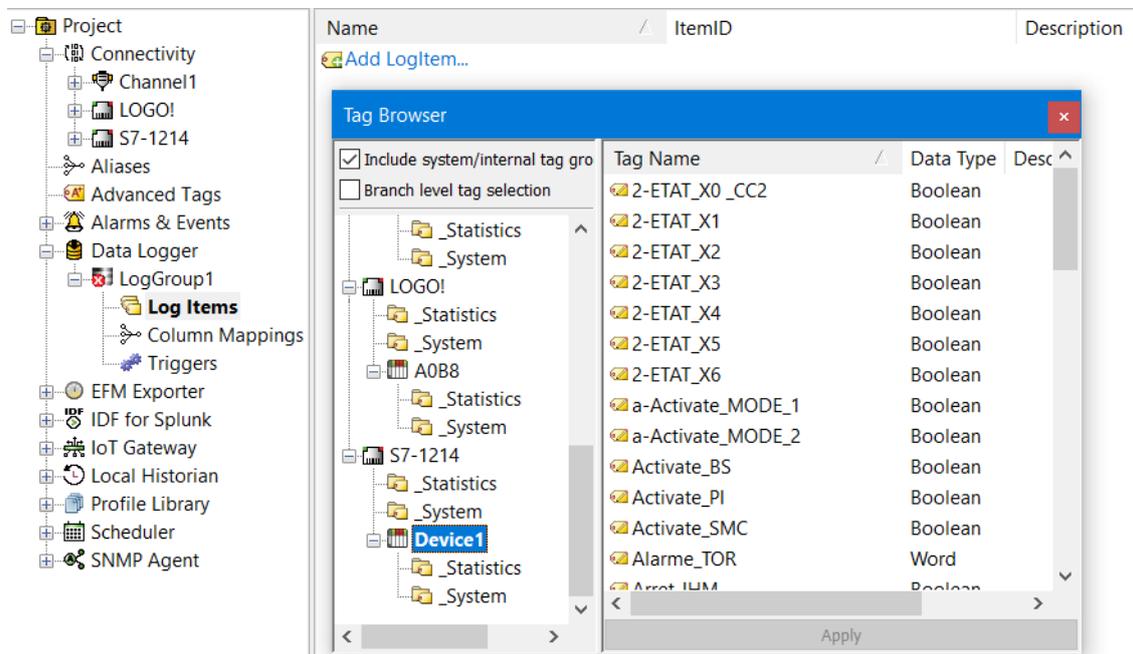


FIGURE C.15 – Ajouter un élément d'étiquetage "Add tag item"

Name	ItemID	Description
LogItem1	S7-1214.Device1.Activate_BS	
LogItem2	S7-1214.Device1.Activate_PI	
LogItem3	S7-1214.Device1.Activate_SMC	
LogItem4	S7-1214.Device1.Alarme_TOR	
LogItem5	S7-1214.Device1.Arret_IHM	
LogItem6	S7-1214.Device1.Arret_Phys	
LogItem7	S7-1214.Device1.Counter	
LogItem8	S7-1214.Device1.Counter_OUT	
LogItem9	S7-1214.Device1.ETAT_X0_CC1	
LogItem10	S7-1214.Device1.ETAT_X1_CC1	
LogItem11	S7-1214.Device1.ETAT_X2_CC1	
LogItem12	S7-1214.Device1.ETAT_X3_CC1	
LogItem13	S7-1214.Device1.Marche_IHM	
LogItem14	S7-1214.Device1.Niveau_H	
LogItem15	S7-1214.Device1.Pompe	
LogItem16	S7-1214.Device1.Reset_IHM	
LogItem17	S7-1214.Device1.Reset_Phys	
LogItem18	S7-1214.Device1.Timer_T1_IN	
LogItem19	S7-1214.Device1.Valeur de capteur - ...	
LogItem20	S7-1214.Device1.Voyant_Arret	
LogItem21	S7-1214.Device1.Voyant_Remplissage...	
LogItem22	S7-1214.Device1.Voyant_Vidange_Rel...	

FIGURE C.16 – Les variables qui seront enregistrées.

Annexe D

Prespectives

Le projet que j'ai réalisé est le résultat de mes efforts déployés pendant mon cours d'automatisation. J'ai acquis de nombreuses compétences et appris de nombreuses notions que j'ai cherché à appliquer à mon projet. Cependant, pour exploiter pleinement toutes ces informations, il est important d'être encore plus motivé et de profiter pleinement du temps qui m'est imparti pour atteindre mon objectif.

En ce qui concerne les perspectives d'avenir de ce projet, j'aimerais que les étudiants utilisent la station de manière encore plus efficace en :

Développant davantage de spécifications et en utilisant plus largement les outils offerts par le logiciel **TIA Portal**. Par exemple, le module **Webserver** pourrait être utilisé pour visualiser les données, ce qui permettrait une meilleure analyse et une meilleure compréhension du fonctionnement de la station.

Exploitant les données collectées grâce à l'archivage pour identifier concrètement le modèle de la station et le comparer à celui établi par la méthode théorique. Cela permettrait de détecter les écarts entre le modèle théorique et le comportement réel de la station, ce qui pourrait conduire à des améliorations ou à des ajustements.

Réalisant un système **SCADA** via **Node Red** en reliant les deux stations de pompage du laboratoire à un PC pour la supervision. Cela permettrait d'avoir une vue d'ensemble en temps réel de l'état des stations, de surveiller les paramètres importants et de prendre des décisions plus éclairées en cas de besoin.