

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION SUPÉRIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département d'Automatique

Mémoire de Projet de Fin d'Études

pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en Automatique

Développement d'un système SCADA pour la commande et la supervision de trois stations didactiques commandées par des automates programmables de différente marque

Présenté par : Moustafa BANDIR

sous la Direction de Mr. El Madjid BERKOUK

Présenté et soutenu publiquement le (21/06/2025)

Composition du jury :

President :	Pr. Mohamed TADJINE	ENP
Promoter :	Pr. El Madjid BERKOUK	ENP
Examiner :	Pr. Hakim ACHOUR	ENP

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION SUPÉRIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



Département d'Automatique

Mémoire de Projet de Fin d'Études

pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur d'état en Automatique

Développement d'un système SCADA pour la commande et la supervision de trois stations didactiques commandées par des automates programmables de différente marque

Présenté par : Moustafa BANDIR

sous la Direction de Mr. El Madjid BERKOUK

Présenté et soutenu publiquement le (21/06/2025)

Composition du jury :

President :	Pr. Mohamed TADJINE	ENP
Promoter :	Pr. El Madjid BERKOUK	ENP
Examiner :	Pr. Hakim ACHOUR	ENP

ملخص

يتمحور مشروع تخرجنا حول أتمتة ثلاث محطات تعليمية باستخدام وحدات التحكم المبرمجة من علامات تجارية مختلفة. تعتمد محطتان من هذه المحطات على نظام الضخ. تستخدم المحطة الأولى وحدة تحكم سيمنس إس سبعة - ألف ومائتان، بينما تعمل المحطة الثانية بوحدة التحكم زيليو ولوغو. أما المحطة الثالثة، فتتكون من محرك يتم التحكم فيه بواسطة وحدة تحكم سيمنس إس سبعة - ثلاثمائة من خلال منظم سرعة شنايدر إيه تي في ثلاثمائة واثنان عشر، والذي يقوم بتشغيل حمولة ثابتة. الهدف هو مراقبة والإشراف على التشغيل وفقاً لدفتر شروط محدد مسبقاً.

تم تخصيص ثلاثة فصول لوصف المكونات المادية لكل محطة. بعد ذلك، تم تطوير قانون التحكم باستخدام طريقة زيغلر - نيكولز. وأخيراً، تم عرض نظام سكاذا المصمم للإشراف والتحكم في المحطات الثلاث.

الكلمات المفتاحية: الأتمتة الصناعية - وحدات التحكم المبرمجة - أنظمة الضخ - منظم السرعة - نظام المراقبة والتحكم والحصول على البيانات - طريقة زيغلر نيكولز - المحطات التعليمية

abstract

Our final year project focuses on the automation of three didactic stations using programmable logic controllers (PLCs) from different manufacturers. Two of the stations are based on a pumping system : the first one uses a Siemens S7-1200 PLC, while the second is controlled by Zelio and LOGO! PLCs. The third station involves a motor driven by a Siemens S7-300 PLC, which powers a constant load. The main objective is to monitor and supervise the operation in accordance with a predefined set of specifications.

Three separate chapters are dedicated to the hardware description of each station. then, a control law was developed using the Ziegler-Nichols tuning method. Finally, the SCADA system designed to supervise and control all three stations is presented in detail.

Keywords : SCADA , Ethernet , communication protocole , PLC , HMI , programming s7 1200/s7 300/LOGO!/Zelio , electric wiring , cabinet , FVD schneider ATV312 , materials configuration

Resume

Notre projet de fin d'études porte sur l'automatisation de trois stations didactiques à l'aide d'automates programmables de marques différentes. Deux des stations sont basées sur un système de pompage. La première utilise un automate Siemens S7-1200, tandis que la deuxième fonctionne avec des automates Zelio et LOGO!. Quant à la troisième station, elle consiste en un moteur commandé par un automate Siemens S7-300 à travers un variateur de vitesse schneider atv312 , entraînant une charge constante. L'objectif est de suivre et de superviser le fonctionnement selon un cahier des charges prédéfini.

Trois chapitres ont été consacrés à la description matérielle de chaque station. Par la suite, une loi de commande a été développée à l'aide de la méthode de Ziegler-Nichols. Enfin, le système SCADA conçu pour superviser et contrôler l'ensemble des trois stations a été présenté en détail.

Mots clés : SCADA , Ethernet , protocole de communication, automate , IHM , programmation s7 1200/s7 300/LOGO!/Zelio , schéma électrique , armoire , VdV schneider ATV312 , configuration matérielle

Remerciement

Avant toute chose, je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, source de toute sagesse et de toute force, qui m'a accordé la patience, la persévérance et la santé nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je remercie tout particulièrement mon encadrant **Mr.El Madjid BERKOUK** , pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa disponibilité et sa bienveillance tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont également à mes enseignants, membres du jury pour leurs remarques constructives et leur soutien.

Je tiens ensuite à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je ne saurais oublier ma famille et mes amis, pour leur amour, leur soutien moral constant et leurs encouragements tout au long de mes études.

À toutes et à tous, merci du fond du cœur.

Table des matières

Liste des figures

Liste des abréviations techniques

Introduction generale

15

1 Description du prototype de la station s7 1200

16

1.1	Introduction	16
1.2	Description des équipements Hydro-électrique	18
1.2.1	Unité du pompage	18
1.2.2	Électrovanne	19
1.2.3	Vanne Manuelle	19
1.2.4	Armoire électrique	20
1.2.5	Deux réservoirs	20
1.2.6	Support métallique	20
1.3	Description des équipements électriques : Armoire électrique	20
1.3.1	L'automate simatic s7 1200 - 6ES7 214-1AG40-0XB0	21
1.3.2	Module SM 1232 AQ - Sortie analogique	22
1.3.3	Alimentation SITOP PSU100S 24 V	24
1.3.4	HMI SIMATIC Comfort panel 6AV2124-0JC01-0AX0	25
1.3.5	Contacteur - SIEMENS 3RT2016-1BB41	26
1.3.6	Disjoncteur	27
1.3.7	Relais de commande-électromagnétique	27
1.3.8	Capteur de débit et son interface d'entrée	28
1.3.9	Capteur de distance	30
1.3.10	Convertisseur Courant/Tension	31
1.4	Raccordement électrique et schéma de câblage	31
1.5	Cahier de charges	31
1.5.1	Cahier de charge 1 : fonctionnement en mode Automatique	32
1.5.2	Cahier de charge 2 : fonctionnement en mode Cyclique	32
1.6	Commande et Supervision via SIMATIC HMI TP900 Comfort	34
1.6.1	Vues de la Station	35
1.6.2	Vue principale	35
1.6.3	Vue entrées	36
1.6.4	Vue GRAFCET	36
1.6.5	Vue contrôle et supervision	37
1.7	Conclusion	38

2	Description du prototype de la station LOGO-Zelio	39
2.1	Introduction	39
2.2	Description de la Station de Pompage Commandée par Automate (LOGO & Zelio)	39
2.3	Composition et Fonctionnement	39
2.3.1	Capteurs et Détecteurs	39
2.3.2	Actionneurs	40
2.3.3	Vannes Manuelles	40
2.3.4	Interface Utilisateur	40
2.4	Description du matériel électrique-Armoire électrique	40
2.5	représentation synoptique de station	42
2.6	Description du câblage électrique	42
2.7	Description de cahier de charge	42
2.8	Conclusion	44
3	station s7 300	45
3.1	Introduction	45
3.2	Description du matériel électrique-Armoire électrique	45
3.3	Description de cahier de charge	47
3.4	Parametrage de variateur de vitesse et réalisation de l'armoire électrique	49
3.4.1	Mise en service du moteur	49
3.4.2	Sens de rotation	49
3.4.3	Paramétrage des rampes	49
3.4.4	Parametrage DrC	49
3.4.5	Parametrage des vitesses présélectionnées	50
3.5	Conclusion	50
4	synthèse de la loi de commande du station s7 1200 pour la régulation de niveau	51
4.1	Introduction	51
4.2	Contrôle par régulateur PID	51
4.3	Critères de choix d'un régulateur PID	53
4.4	Réglage P, PI et PID par la méthode empirique de Ziegler-Nichols	53
4.5	Méthode de Ziegler-Nichols en boucle ouverte (première méthode de Ziegler-Nichols)	53
4.6	Méthode de Ziegler-Nichols en boucle fermée (seconde méthode de Ziegler-Nichols)	54
4.7	Application de la deuxième méthode de Ziegler Nichols avec la station s7 1200	55
4.7.1	Archivage des données	55
4.8	Régulation en cascade	56
4.8.1	Critères de choix d'un réglage en cascade	56
4.9	Methodologie de réglage en cascade	58
4.9.1	Regulation de la boucle interne (Debit)	58
4.9.2	Regulation de la boucle externe (Niveau)	58
4.9.3	Commentaire et conclusion	58
4.10	Regulation par un bloc PID compact	58
4.11	Formule PID	59
4.12	Définitions des paramètres	59
4.13	PID Tuning Mode	60
4.13.1	Fonctionnement général du <i>Tuning Mode</i>	60
4.14	Conclusion	62

5	Developpement du sytème SCADA par le logiciel Easy Builder pro	63
5.1	Easy Builder pro	63
5.1.1	Introduction	63
5.1.2	Configuration matérielle et communication	63
5.1.3	Interface de Projet	65
5.1.4	Barre d'outils dans EasyBuilder Pro	66
5.1.5	Déclaration des variables	67
5.1.6	Déclaration des alarmes dans EasyBuilder Pro	68
5.1.7	Acquisition des Données	68
5.2	Simulation , Compilation et le Téléchargement dans EasyBuilder Pro	69
5.2.1	Compilation	69
5.2.2	Simulation en ligne	69
5.2.3	Simulation hors ligne	70
5.2.4	Chargement dans l'IHM	70
5.3	conclusion	70
5.4	Generalite sur les système SCADA	70
5.4.1	Introduction sur des système SCADA	70
5.4.2	L'architecture d'un système SCADA	71
5.4.3	Flux d'information	72
5.4.4	Les protocoles de communication SCADA	73
5.5	Développement d'un système SCADA par Easy Builder pro de Weintek	74
5.5.1	Station simatic s7 1200	77
5.6	Options de la station s7 1200	77
5.7	Option de la station Zelio/LOGO!	82
5.8	Option de la station s7 300	84
5.9	commutateur Reseau	85
5.10	Ethernet Industriel	86
5.10.1	Description générale	86
5.10.2	Caractéristiques techniques	86
5.11	RS232 et RS485	86
5.11.1	RS232	86
5.11.2	RS485	86
5.12	MPI (Multi-Point Interface)	87
5.13	Conclusion	87
	Bibliographie	90
	Annexe A : Variateur de vitesse Altivar 312 Schneider Electric	92
A.1	Variateur de vitesse	92
A.1.1	Définition	92
A.1.2	Constitution d'un variateur	92
A.2	variateur Altivar 312 de schneider electric	93
A.3	Schéma de câblage	94
A.4	Configuration Locale à travers le panneau de commande de l'ATV 312	95
A.5	menus et paramétrage de variateur atv 312	97
A.6	Description des Fonctions principales utilisées lors de programmation de cahier de charge de station s7 300	97
A.6.1	Menu Set-	97
A.6.2	Menu contrôle moteur drC-	98
A.7	Menu commande CtL-	98
A.7.1	Commande 2 fils	98

A.7.2	Commande 3 fils	99
A.7.3	Menu fonctions applicatives FuN-	99
Annexe B : TIA PORTAL		100
B.1	Description de Tia Portal	100
B.2	Creation d'un nouveau projet	100
B.3	Configuration matérielle	101
B.4	Description de la vue projet dans TIA Portal	102
B.5	Adressage et Définition des variables	103
B.6	Organisation des Blocs dans TIA PORTAL	104
B.6.1	OB (Organization Block)	104
B.6.2	FC(Fonction)	104
B.6.3	FB (Function Block)	105
B.6.4	DB (Data Block)	105
B.7	Creation des Fonctions dans TIA PORTAL	105
B.8	Ecrire un programme	106
B.9	Simulation	107
B.10	Régulation de niveau via un bloc PID Compact	108
B.10.1	Creation d'un interrupt cycle	108
B.10.2	Technology option	108
B.10.3	Configuration de bloc PID	109
B.11	Data Logging (Archivage des données de niveau)	111
B.11.1	les étapes de création un data logging	112
B.11.2	Téléchargement de Data via un web server de siemens	114
B.12	Programme de cahier de charge 1 station s7 1200	116
B.13	Programme de cahier de charge 2 station s7 1200	118
B.14	Programme de station s7 300 / step 7	119
ANNEXE C : siemens LOGO		126
C.1	Présentation de LOGO!	126
C.2	Architecture de l'automate	126
C.3	Logiciel LOGO soft confort	126
C.4	Programmation avec LOGO soft confort	127
C.4.1	Étapes pour choisir un module dans LOGO! Soft Comfort	127
C.4.2	Étapes pour choisir un module dans LOGO! Soft Comfort	128
C.4.3	Declaration des variables	128
C.4.4	Download(Transfert) le programme PC vers l'automate LOGO!	128
C.5	Communication entre LOGO et Easy builder pro	129
C.5.1	Qu'est-ce que le TSAP?	129
C.5.2	Configuration dans EasyBuilder Pro	129
C.5.3	configuration des parametres reseau dans logo soft !	130
C.6	Tableau des variables	131
ANNEXE D : Schneider Zelio		132
D.1	Présentation de l'automate Zelio	132
D.2	Architecture de l'automate	132
D.3	Logiciel Zelio soft	133
D.3.1	Creation d'un nouveau projet	133
D.3.2	Les fonctions principales	134
D.4	Interface Fonction Block FBD	137
D.5	La communication EasyBuilder Pro / Zelio	138

Annexe E : EPlan Cablage électrique	140
E.1 Eplan proPanel / Electric	140
E.2 Principales fonctionnalités	140
Business Model Canevas BMC	148

Table des figures

1.1	Vue de station	16
1.2	Vue synoptique s7 1200	17
1.3	Vue de maquette	18
1.4	unité du pompage	18
1.5	Électrovanne	19
1.6	vanne manuelle	20
1.7	Armoire électrique	20
1.8	simatic s7 1200	21
1.9	SM 1232 AO	23
1.10	Cablage SM 1232 AQx14bit	23
1.11	Alimentation 24V	24
1.12	TP900 confort panel	25
1.13	TP900 confort panel	26
1.14	Contacteur siemens	26
1.15	contacteur 3 pole + 1auxilaire	27
1.16	Disjoncteur	27
1.17	relais de commande	28
1.18	Débitmètre	28
1.19	Microcontrôleur	29
1.20	filre passe bas	29
1.21	Capteur Ultrason	30
1.22	Schéma de raccordement	30
1.23	convertisseur C/T	31
1.24	circuit électronique	31
1.25	Schéma de raccordement s7 1200	31
1.26	Grafcet de mode automatique	32
1.27	Grafcet de mode Cyclique	34
1.28	Vue principale	35
1.29	Vue entrées	36
1.30	Vue GRAFCET mode 1	37
1.31	Vue GRAFCET mode 2	37
1.32	Vue contrôle et supervision	38
2.1	vue de la maquette Zelio-LOGO	39
2.2	représentation synoptique de station	42
2.3	Câblage électrique	42
2.4	Grafcet	43
3.1	Armoire s7 300	45
3.2	Câblage électrique	47
3.3	GRAFCET station 3	48

3.4	chronogramme	49
4.1	Regulateur	51
4.2	Regulateur PID	52
4.3	la boucle de réglage	52
4.4	Premier méthode de Ziegler-Nichols	54
4.5	seconde méthode de Ziegler-Nichols	54
4.6	variation de Kp	55
4.7	plot décalée au temps 0s de régime de pompage	56
4.8	Regulation en cascade de station s7 1200	57
4.9	appellations des différents paramètres	57
4.10	PID compact	58
4.11	schema bloc	59
4.12	tuning PID	60
4.13	tuning PID	60
4.14	commissioning et installation	61
4.15	upload les paramètres PID	61
4.16	uploaded paramètres PID	62
5.1	Création d'un Nouveau projet	64
5.2	Configuration matérielle	64
5.3	Configuration des paramètres de l'automate s7 1200	65
5.4	Interface de projet	65
5.5	Barre Edition	66
5.6	Barre Projet	66
5.7	Barre Objet	66
5.8	Barre Données/Historique	66
5.9	Barre IIoT / Énergie	67
5.10	Barre vue	67
5.11	Lire bit et action bit (écrire)	67
5.12	declaration des alarmes	68
5.13	Acquisition des Données	69
5.14	simulation	69
5.15	scada	71
5.16	architecture d'un système SCADA	71
5.17	structure ascendante d'un système SCADA	72
5.18	SCADA	74
5.19	La page d'accueil	74
5.20	Log-in	75
5.21	acquisition des données système	76
5.22	interface de station s7 1200	77
5.23	vue PID setting	78
5.24	vue help PID	78
5.25	vue matériels électriques	79
5.26	vue matériels Hydraulique et station	79
5.27	cahier de charge fonctionnement AUTOMATIQUE	80
5.28	cahier de charge fonctionnement CYCLIQUE	80
5.29	grafcet de mode 1	81
5.30	grafcet de mode 2	81
5.31	vue de supervision niveau/Debit	82
5.32	Vue graphique de station LOGO!/Zelio	82

5.33	Materielles 1 LOGO!/Zelio	83
5.34	Materielles 2 LOGO!/Zelio	83
5.35	cahier de charge	84
5.36	Grafcet station LOGO!/Zelio	84
5.37	Vue graphique de station s7 300	85
5.38	Grafcet station s7 300	85
5.39	switch	86
A.1	constitution de VdV	92
A.2	ATV 312	93
A.3	Schéma de câblage monophasée	94
A.4	Fonctions de l'afficheur et des touches	96
A.5	Structure des menus	97
A.6	commande 2 fils	99
A.7	commande 3 fils	99
B.1	Vue de portail	100
B.2	creation d'un nouveau projet	101
B.3	configuration matérielle 1	101
B.4	configuration matérielle 2	102
B.5	vue de projet	102
B.6	vue portail : programmation API	103
B.7	Adressage	104
B.8	OB FB FC DB	104
B.9	Creation des Fonctions 1	105
B.10	Ladder	106
B.11	Simulation	107
B.12	Interrupt cycle	108
B.13	Technology option	108
B.14	Fenêtre de configuration	109
B.15	Type de Regulation	109
B.16	configuration de paramètre PID	110
B.17	mise a l'échelle (scaling)	110
B.18	Paramètre PID	111
B.19	data logging	112
B.20	dataLogCreate	112
B.21	transférer niveau-DATA	113
B.22	dataLogWrite	114
B.23	web server siemens	114
B.24	web server siemens	115
B.25	norm/scale	116
B.26	PID contrôleur FC1	116
B.27	saturation du commande (MV)	116
B.28	Function de Tolerance FC2	116
B.29	programme de la Function de Tolerance FC2	116
B.30	transition ($NIV \leq TOL(+)$)	117
B.31	Set état x0(s)	117
B.32	Set état x1(s)	117
B.33	Set état x2(s)	117
B.34	Set état x3(s)	117
B.35	Reset état x0(R)	117
B.36	Reset état x1(R)	117
B.37	Reset état x2(R)	118

B.38	Reset état x3(R)	118
B.39	sortie unscale pour le variateur de vitesse	118
B.40	exemple comparateur de NIVEAU	118
B.41	compteur de l'état x_5	118
B.42	convertisseur int-int	119
B.43	timer T_0	119
B.44	timer T_1	119
B.45	signal de sortie	119
B.46	Set état 0	119
B.47	tableau de mémoriques	120
B.48	Reset état 0	120
B.49	Set état 1	120
B.50	Reset état 1	121
B.51	Set état 2	121
B.52	Reset état 2	121
B.53	Set état 3	121
B.54	Reset état 3	122
B.55	Set état 4	122
B.56	Reset état 4	122
B.57	Set état 5	122
B.58	Reset état 5	123
B.59	Timer	123
B.60	Vitesse de référence 0	123
B.61	Vitesse de référence 1	124
B.62	Vitesse de référence 2	124
B.63	Vitesse de référence 3	124
B.64	bobine motor ON	124
B.65	unscale la vitesse de sortie	125
C.1	LOGO	126
C.2	Architecture	126
C.3	Architecture	127
C.4	Architecture	128
C.5	déclaration des variables	129
D.1	Zelio	132
D.2	composition de l'automate Zelio	132
D.3	choix de module	133
D.4	choix de module	134
D.5	Interface Ladder	134
D.6	entrées TOR	135
D.7	entrées Z de forçage	135
D.8	memento M	135
D.9	sorties Q	135
D.10	Temporisation T	136
D.11	Compteur	136
D.12	Comparateurs des compteurs	136
D.13	Fenêtre des Comparateur compteurs	136
D.14	Comparateurs analogique	136
D.15	Fenêtre des Comparateur analogiques	136
D.16	Interface FBD	137
D.17	Blocs SL_{IN} et SL_{OUT} dans le logiciel Zelio Soft	138
D.18	SL_{IN} et SL_{OUT} dans Easy Builder pro	139

TABLE DES FIGURES

D.19	Convertisseur CNA/CAN	139
E.1	EPLAN pro panel , Vue principale	140
E.2	programme logo	147
E.3	programme Zelio	147

Liste d'abréviations techniques

Abréviation	Signification
AI	Analog Input
AO	Analog Output
API	Automate Programmable Industriel
OP	Output
PV	Process Value
SP	Set point
C	Counter / Compteur
CPU	Unité centrale de l'automate (Central Processing Unit)
DB	Data Bloc (Bloc de Données)
DI	Digital Input
DO	Digital Output
E/S	Entrée / Sortie
EV	Électro-Vanne
FB	Function Block (Bloc Fonctionnel)
FC	Function (Fonction)
HMI	Human Machine Interface
IHM	Interface Homme Machine
M	Mnémonique
MLI	Modulation de la Largeur d'Impulsion
NIV	Niveau
OB	Organization Block (Bloc d'Organisation)
P	Pompe
PID	Proportion Intégrale Dérivée
PLC	Programmable Logic Controller (Automate Programmable)
PSU	Power Supply Unit (Unité d'Alimentation)
PWM	Pulse Width Modulation (Modulation par Largeur d'Impulsion)
REF	Référence
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
S/R	Set / Reset (Mise à 1 / Mise à 0)
T	Time / Temps
TIA Portal	Totally Integrated Automation Portal
TOR	Tout Ou Rien

Introduction generale

L'automatisation des processus est devenue un élément important dans l'industrie 4.0. Elle utilise des contrôleurs numériques comme les automates programmables, les cartes Raspberry Pi, Arduino, etc. À l'échelle industrielle, les automates programmables sont les plus utilisés, avec différentes gammes proposées par des marques comme Siemens, Schneider ou ABB.

Dans le but de centraliser le pilotage des installations et de réduire les interventions humaines, les industries utilisent des systèmes SCADA. Un système de contrôle et d'acquisition de données en temps réel (anglais : supervisory control and data acquisition ou SCADA) est un système de télégestion à grande échelle permettant de traiter en temps réel un grand nombre de télémessures et de contrôler à distance des installations techniques . C'est une technologie industrielle dans le domaine de l'instrumentation . l'objectif de notre c'est de developper un système d'acquisition de donnée pour trois station didactique en utilisant le logiciel Easy builder pro de Weintek . Nous avons également développé une loi de commande en nous appuyant sur la méthode non paramétrique de Ziegler-Nichols, afin de déterminer les paramètres du régulateur PID destiné au contrôle du débit, et par conséquent, du niveau.

Dans les trois premiers chapitres, nous avons détaillé le prototype de chaque station en termes de matériel utilisé, accompagné d'un schéma synoptique descriptif ainsi qu'un raccordement électrique. Enfin, nous avons présenté les cahiers des charges à réaliser.

Dans le quatrième chapitre, nous avons développé une loi de commande en nous basant sur la méthode non paramétrique de Ziegler-Nichols pour déterminer les valeurs du régulateur PID pour le contrôle du débit, d'où le niveau.

Dans le cinquième chapitre, nous avons introduit les systèmes SCADA industriels ainsi que les protocoles de communication utilisés. Ensuite, nous avons développé un système SCADA pour les trois stations en utilisant le logiciel EasyBuilder Pro de Weintek.

Enfin, nous avons fourni des annexes sur le variateur de vitesse ATV312, les logiciels d'automatisation utilisés et les étapes de configuration de la connexion entre le système SCADA et les automates programmables.

Chapitre 1

Description du prototype de la station s7 1200

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons fournir une description matérielle détaillée de la maquette S7-1200 ainsi que le raccordement électrique adéquat entre ses composants, afin d'assurer un fonctionnement spécifique à des fins didactiques.

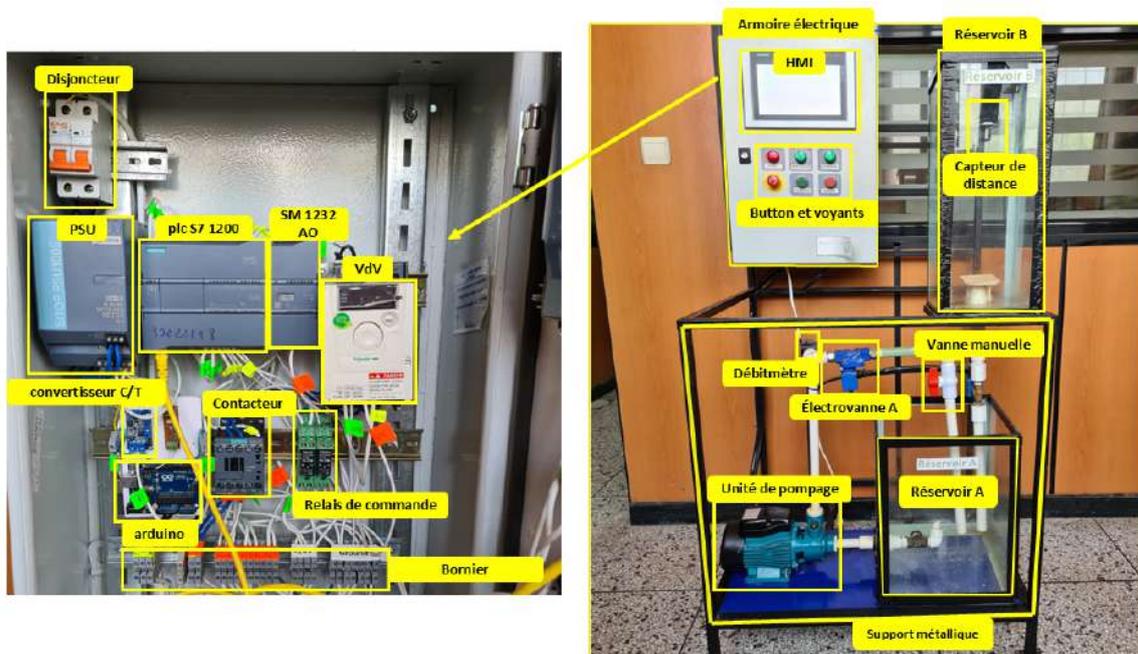


FIGURE 1.1 – Vue de station

La station de pompage est composée principalement d'une pompe reliée à un moteur électrique asynchrone, soit monophasé, soit triphasé. La pompe a pour rôle de fournir l'énergie nécessaire pour déplacer le fluide d'un point A à un point B à une vitesse déterminée. Elle est définie par sa puissance (P) et son débit maximal (Q).

La station étudiée est équipée de deux réservoirs : le réservoir A, situé en position basse, contient l'eau à pomper, tandis que le réservoir B, placé en position haute, reçoit cette eau. Les deux réservoirs sont caractérisés par leur capacité maximale et leur surface rectangulaire.

Le transfert de l'eau entre les réservoirs est assuré par des tuyaux cylindriques et contrôlé par deux électrovannes. Une vanne manuelle permet le retour de l'eau du réservoir B vers le

réservoir A, garantissant ainsi un contrôle précis du débit et un transfert efficace du fluide.

Enfin, des dispositifs de mesure tels qu'un débitmètre et un capteur de niveau sont intégrés à la station pour surveiller le débit et le niveau de l'eau. Ces instruments assurent le suivi des grandeurs physiques essentielles au bon fonctionnement du système.

Vue Synoptique

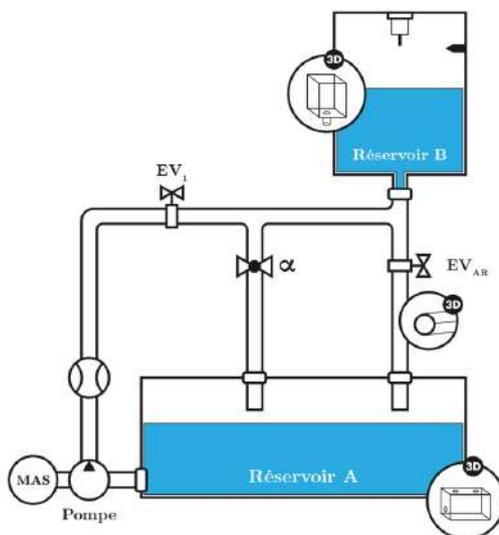


FIGURE 1.2 – Vue synoptique s7 1200

1.2 Description des équipements Hydro-électrique

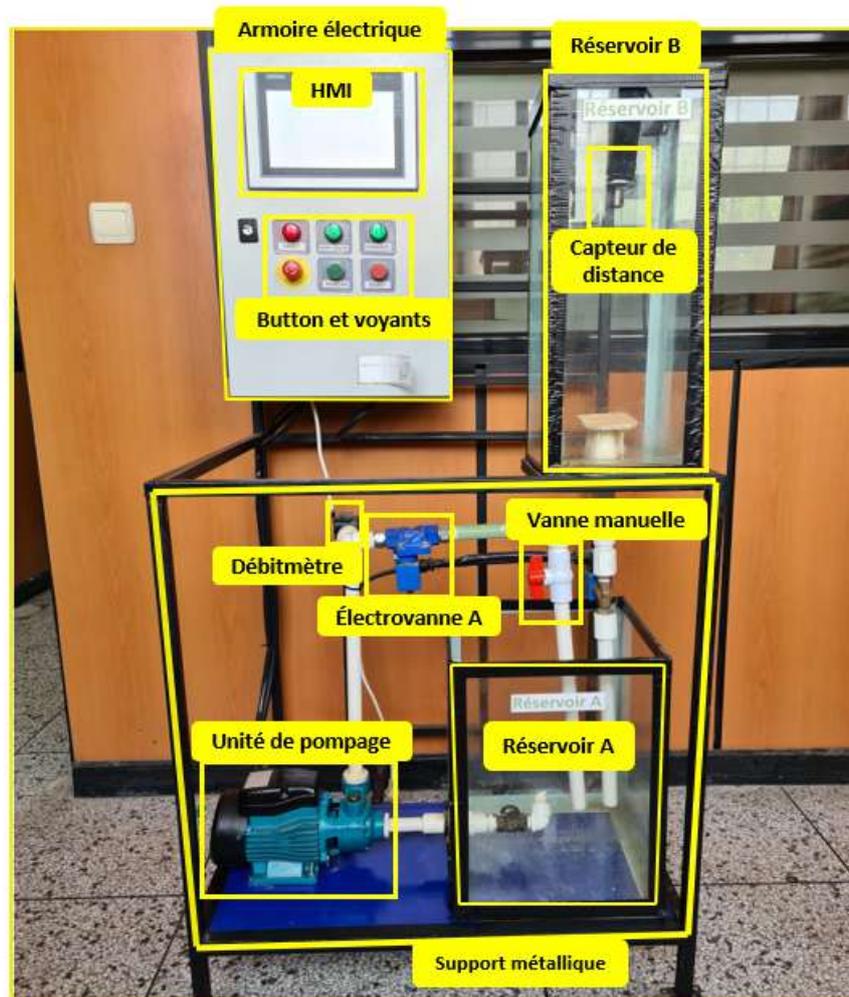


FIGURE 1.3 – Vue de maquette

1.2.1 Unité du pompage

Le prototype de la station de pompage de l'ENP est équipé d'une unité de pompage de la marque LEO, modèle APm37. Cette unité combine à la fois un moteur asynchrone monophasé et une pompe centrifuge dans un même dispositif.



FIGURE 1.4 – unité du pompage

La pompe APm37 est une pompe centrifuge monophasée d'une puissance de 0,37 kW (0,5 HP). Comme toute pompe centrifuge, elle présente un comportement typique : **plus le débit**

Caractéristique	Valeur
Puissance	0.37 kW / 0.5 HP
Type	Monophasé avec la protection thermique intégrée
Classe d'isolation	F
Indice de protection	IPX4
Température ambiante maximale	+40°C

TABLE 1.1 – Caractéristiques du Moteur

augmente, plus la hauteur de refoulement diminue. Cela s'explique par la répartition de l'énergie disponible entre la quantité d'eau déplacée (débit) et la pression (hauteur de refoulement).

Caractéristiques hydrauliques de la pompe APm37 :

Débit Q (m ³ /h)	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
Débit Q (L/min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Hauteur H (m)	40	35	30	25	20	15	10	5	2

Remarque : Au-delà de 2.4 m³/h (soit 40 L/min), la pompe ne peut plus maintenir de pression utile — elle atteint sa limite de capacité.

1.2.2 Électrovanne

Une électrovanne est un composant électromécanique utilisé pour ouvrir ou fermer un circuit en appliquant un courant électrique à une bobine intégrée. Lorsque le courant traverse cette bobine, un champ électromagnétique est généré, activant ainsi le mécanisme de l'électrovanne qui permet de contrôler l'ouverture ou la fermeture du passage du fluide.

Les électrovannes sont couramment employées dans les systèmes de gestion des fluides pour réguler le débit de liquides ou de gaz à travers des conduits et des canalisations.



Caractéristique	Valeur
Alimentation	24V
Pression	0.8 - 10 bar
Nombre d'orifices	2
Nombre de positions	2
Indice de protection	IP 65
Température d'utilisation	90°C

TABLE 1.2 – Caractéristiques de l'Électrovanne

FIGURE 1.5 – Électrovanne

1.2.3 Vanne Manuelle

les vannes manuelles sont celles qui fonctionnent via un opérateur manuel (tel qu'un volant ou un levier à main), qui sont principalement utilisées pour arrêter et démarrer le débit (vannes de blocage ou marche/arrêt), bien que certaines conceptions puissent être utilisées pour l'étranglement de base.



FIGURE 1.6 – vanne manuelle

1.2.4 Armoire électrique

métallique de taille (600 x 400 x 230mm). équipée de composants électriques permettant la mise en marche de la station de pompage.

1.2.5 Deux réservoirs

en verre transparents, A et B, de capacités différentes : le réservoir A, d'une capacité de 40 litres, est situé en bas et connecté directement à la pompe, tandis que le réservoir B, de 20 litres, est placé en hauteur et équipé d'un capteur de niveau pour réguler le liquide.

1.2.6 Support métallique

Le prototype repose sur un support métallique mesurant 0,7 m x 0,7 m et d'une hauteur totale de 1,50 m

1.3 Description des équipements électriques : Armoire électrique

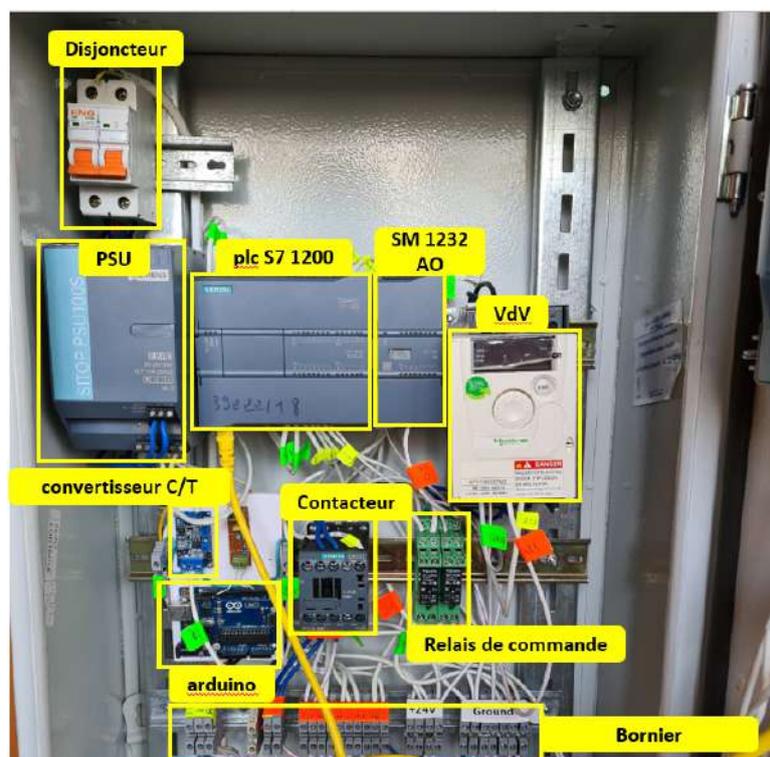


FIGURE 1.7 – Armoire électrique

1.3.1 L'automate simatic s7 1200 - 6ES7 214-1AG40-0XB0

Description

L'automate **SIMATIC S7-1200** est un mini-contrôleur modulaire composé d'une CPU qui est équipée d'un microprocesseur, une alimentation intégrée, des circuits d'entrée et de sortie, un PROFINET intégré, des entrées/sorties rapides de commande de mouvement, ainsi que des entrées analogiques intégrées dans un boîtier compact en vue de créer un contrôleur puissant.

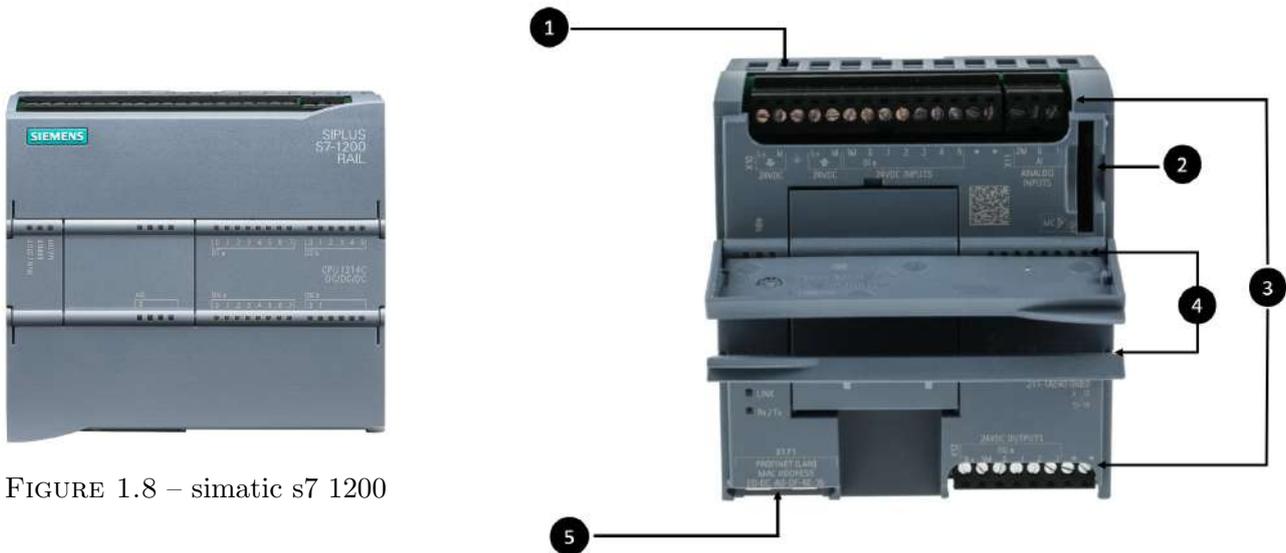


FIGURE 1.8 – simatic s7 1200

1. Prise d'alimentation
2. Logement pour carte mémoire sous le volet supérieur
3. Connecteurs amovibles pour le câblage utilisateur (derrière les volets)
4. LED d'état pour les E/S intégrées
5. Connecteur PROFINET (sur la face inférieure de la CPU)

Caractéristique technique SIMATIC s7 1200

Caractéristique	Valeur
Dimensions (mm)	110 x 100 x 75
Mémoire de travail	50 Ko
Mémoire de chargement	2 Mo
Entrées/Sorties TOR intégrées	14 entrées / 10 sorties
Entrées analogiques intégrées	2 entrées
Modules d'entrées-sorties (SM) pour extension	8
Signal Board (SB) ou Communication Board (CB)	1
Module de communication (CM)	3
Compteurs rapides monophasé	1 à 30 kHz
Compteurs rapides quadrature de phase	1 à 20 kHz
Sorties d'impulsions	2
PROFINET	1 port Ethernet

TABLE 1.3 – Caractéristiques techniques CPU 1214 DC/DC/DC [2]

Modes de fonctionnement de l'automate [3]

1. **RUN-P** : lancer l'exécution de programme par lecture bidirectionnelle de PG ou PCvers CPU ou le contraire.
2. **RUN** : lancer l'exécution de programme par lecture seulement avec PG ou PC.
3. **STOP** : arreter l'execution de programme.
4. **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 l'effacement de la carte mémoire MMC. Clignote à 2 Hz pendant le Reset ou l'effacement de la MMC.

TABLE 1.4 – Modes de fonctionnement

1.3.2 Module SM 1232 AQ - Sortie 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 . [4]



FIGURE 1.9 – SM 1232 AO

Caractéristiques techniques - SM 1232 AQ 4 x 14 bits	
Numéro de commande	6ES7 232-4HD32-0XB0
Dimensions en mm	45 x 100 x 75
Poids	180 g
Dissipation de puissance	2.0 W
Consommation de courant (24DCV)	80 mA
Nombre de sorties	4
Type	Tension ou courant
Plage de sortie	±10 V, 0 à 20 mA ou 4 mA à 20 mA
Résolution	Tension : 14 bits Courant : 13 bits

TABLE 1.5 – Caractéristiques techniques du module SM 1232 AQ 4 x 14 bits

Câblage du module de sortie analogique

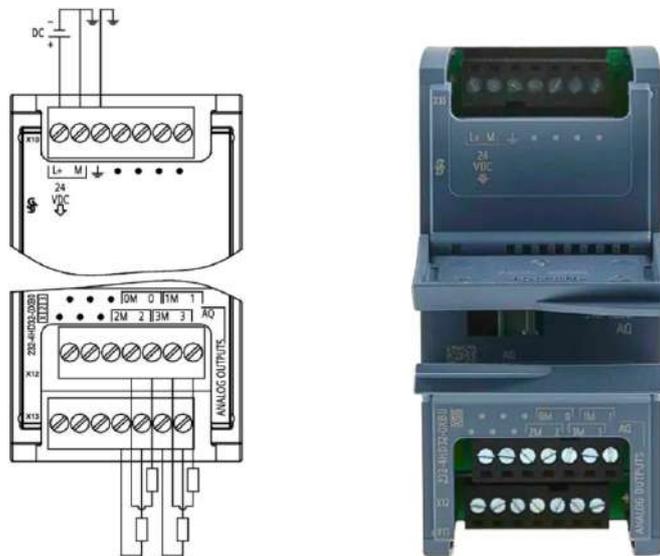


FIGURE 1.10 – Câblage SM 1232 AQx14bit

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 1.6 – Brochage pour le SM 1232 AQ 4 x 14 bit (6ES7232-4HD32-0XB0)

1.3.3 Alimentation SITOP PSU100S 24 V

L'alimentation d'un automate est un composant électrique conçu pour convertir la tension du réseau en différentes tensions continues adaptées aux circuits électroniques de l'automate. [6]



FIGURE 1.11 – Alimentation 24V

Caractéristique	Valeur
Alimentation	stabilise
Puissance	240 W
Intensité nominale	10 A
Plage de tension d'entrée	AC 120/230 V
Tension de sortie	24 V DC.
Indice de protection	IP20
Température max	+70 C
Limitation des ondes harmoniques	Selon EN61000-3-2

TABLE 1.7 – Caracteristiques de l'Alimentation SITOP PSU100S

Critères de sélection d'une alimentation industrielle (Power Supply)

Le choix d'une alimentation industrielle adaptée repose avant tout sur la connaissance de la puissance requise par les différents équipements en aval. La puissance se calcule à l'aide de la formule :

$$P = U \times I$$

où **P** est la puissance en watts, **U** la tension en volts et **I** le courant en ampères.

Une fois la puissance totale déterminée, il convient de sélectionner une alimentation dont la puissance nominale est suffisante. Cependant, d'autres facteurs doivent également être pris en compte pour garantir un fonctionnement optimal, notamment :

- **L'efficacité énergétique** : permet de minimiser les pertes et d'optimiser la consommation.
- **Les interférences électromagnétiques** : peuvent impacter le bon fonctionnement des équipements sensibles.
- **La fiabilité** : assure une alimentation stable et durable.
- **Les conditions environnementales** : température, humidité, vibrations, etc., influencent la performance et la longévité de l'alimentation.

Cette approche permet de choisir une alimentation électrique industrielle adaptée aux exigences spécifiques de chaque application.

1.3.4 HMI SIMATIC Comfort panel 6AV2124-0JC01-0AX0

SIMATIC HMI TP900 Comfort, Comfort Panel, commande tactile, écran large TFT 9", 16 millions de couleurs, interface PROFINET, interface MPI/PROFIBUS DP, 12 Mo de mémoire de configuration, Windows CE 6 :0, configurable à partir de WinCC Comfort V11



FIGURE 1.12 – TP900 comfort panel

Avantage de la supervision

- **Surveillance à distance** : Permet de suivre le fonctionnement du processus et d'intervenir rapidement en cas de problème.
- **Détection des défauts** : Identifie rapidement les anomalies pour minimiser les pertes et les coûts.
- **Gestion des alarmes** : Envoie des alertes pour signaler les situations critiques et faciliter la prise de décision.
- **Traitement des données** : Collecte et analyse les informations pour optimiser les performances et anticiper les problèmes.
- **Amélioration de la sécurité** : Réduit les risques pour les opérateurs en minimisant les interventions physiques sur le terrain.
- **Optimisation des ressources** : Permet une meilleure gestion des équipements et des matières premières, réduisant ainsi les gaspillages.
- **Historisation et traçabilité** : Enregistre les événements et les performances du système pour analyser les tendances et améliorer la maintenance préventive.
- **Réduction des temps d'arrêt** : Grâce à la surveillance en temps réel et aux diagnostics avancés, les pannes peuvent être anticipées et résolues plus rapidement.

Interface et connectique disponible

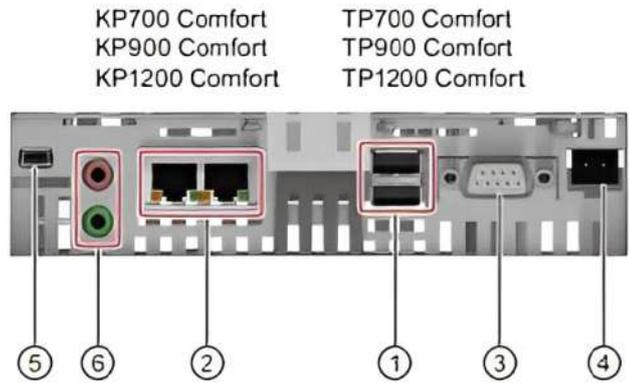


FIGURE 1.13 – TP900 comfort panel

1. **USB type A** : Les appareils précédents MP 277 8” et MP 277 10” disposent de deux ports USB type A.
2. **PROFINET** : Interface réseau Ethernet (100 MB).
3. **PROFIBUS** : Connexion via un port Sub-D RS 422/485.
4. **Alimentation** : Connexion aux sources d’alimentation.
5. **USB type mini B** : Port de connexion USB mini B.
6. **Audio Line IN / OUT** : Entrée et sortie audio pour les périphériques compatibles.

1.3.5 Contacteur - SIEMENS 3RT2016-1BB41

Un contacteur de commande est un type spécifique de relais électromagnétique conçu pour gérer des charges électriques importantes. Il est indispensable lorsque la charge à commander est plus forte que la puissance que peut commander l’élément qui commande : une résistance, un moteur ou d’autres récepteurs de fortes puissances. Les contacteurs ont un fonctionnement semblable à celui des interrupteurs : ils permettent d’établir ou d’interrompre la réception d’un signal électrique. La plus importante différence entre un contacteur et un relais est que les contacteurs sont plus robustes car ils supportent beaucoup plus de courant que les relais (jusqu’à 10-12 ampères). [8]



FIGURE 1.14 – Contacteur siemens

Caractéristique	Valeur
Type de contacteur	AC-3e/AC-3
Courant nominal	9 A
Puissance nominale	4 kW à 400 V
Tension de commande de la bobine	24 V DC
Nombre de pôles	3
Contacts auxiliaires	1 NO
Marque	Siemens
Modèle	3RT2

TABLE 1.8 – Caractéristiques du contacteur Siemens 3RT2

Description de câblage

Pour alimenter la pompe, un contacteur **SIEMENS 3RT2016-1BB41** a été utilisé afin d'assurer la séparation entre le signal de commande et l'alimentation électrique. La pompe monophasée est connectée aux bornes du contacteur, tandis que la sortie du variateur de vitesse est reliée de l'autre côté.

La bobine du contacteur est commandée par la sortie numérique de l'automate **S7-1200**, permettant ainsi de contrôler l'activation du circuit. Cette configuration protège également la pompe contre le fonctionnement à sec (ou dry running en anglais), conformément aux spécifications définies précédemment.

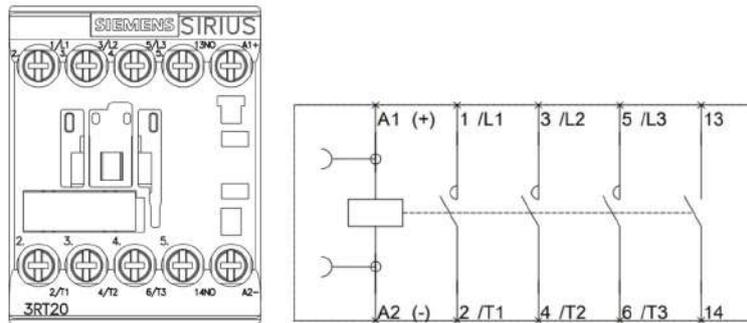


FIGURE 1.15 – contacteur 3 pole + 1auxilaire

1.3.6 Disjoncteur

Le disjoncteur électrique se trouve sur le tableau électrique. Ce dernier recense toutes les arrivées et sorties des différents fils électriques alimentant prises et interrupteurs. Le disjoncteur est placé en bout de ligne du tableau. Une ligne d'un tableau regroupe plusieurs alimentations et correspond à une puissance maximale raccordée qui est dimensionnée par rapport à une capacité.

Le disjoncteur a pour rôle de surveiller l'intensité de cette ligne du tableau électrique et de couper l'ensemble de la ligne si jamais une surtension électrique est constatée. Il intervient également si un incident de quelque nature que ce soit est détecté. Grâce à ce rôle de garde-fou [9]



FIGURE 1.16 – Disjoncteur

Caractéristique	Valeur
Type de disjoncteur	ECB3.BP.25
Pouvoir du coupure	4.5 kA
Frequence	50/60 Hz
Nombre de poles	2 p
Degre de protection	IP20

TABLE 1.9 – Caractéristiques technique du disjoncteur

1.3.7 Relais de commande-électromagnétique

Un relais électromagnétique est un dispositif qui agit comme un interrupteur isolé électriquement (isolation galvanique) et qui peut être activé par une faible tension, qu'elle soit alternative (AC)

ou continue (DC). Son rôle principal est de permettre le contrôle de charges de forte puissance à partir d'un signal de faible puissance. Il offre ainsi une séparation entre le circuit de commande et le circuit de puissance, garantissant une meilleure sécurité et évitant les interférences électriques.



FIGURE 1.17 – relais de commande

Caractéristique	Valeur
Nom de l'appareil	RSB2A080BDS
Description des contacts	2 "O/F"
Résistance de la bobine	1440 Ω
Tension circuit de commande	24 V CC
Courant de commutation	8 A à -40...40 °C
Tension assignée d'emploi	19,2 à 26,4 V CC
Courant commuté minimum	5 mA
Tension de coupure maximale	300 V CC, 400 V CA
Pouvoir de commutation maximum	2000 VA CA, 224 W CC

TABLE 1.10 – Caractéristiques du relais de commande

1.3.8 Capteur de débit et son interface d'entrée

Afin de mesurer le débit de l'écoulement de l'eau dans les conduites du circuit de remplissage, on a utilisé débitmètre adéquat qui possède un senseur à moulinet sur lequel est attaché un aimant. Le senseur à Effet Hall qui équipe également ce débitmètre permet de compter combien de tour fait le moulinet, permettant ainsi mesurer combien de liquide est passé dans ce senseur, donc le signal de sortie est un train d'impulsions, un signal qui ne peut être exploité directement par l'automate, ce qui nécessite un conditionnement en amont.



FIGURE 1.18 – Débitmètre

Caractéristique	Valeur
Alimentation	5 à 24 V_{cc}
Consommation	15 mA (sous 5 V_{cc})
Plage de mesure	1 à 30 l/min
Pression maximale	1.2 MPa
Précision	±3% (entre 1 → 10 l/min)
Formule de conversion	Débit (l/min) = fréquence (Hz) / 7.5
Dimensions	63 × 36 × 35 mm
Température d'utilisation	0 à 80 °C
Poids	43 g
Brochage	
Rouge	+5 à +24 V_{DC}
Noir	Masse
Jaune	Signal

TABLE 1.11 – Caractéristiques techniques et brochage

Le traitement de ce signal se fait en deux phases : d'abord il passe par un microcontrôleur **Arduino Uno** via une entrée digitale, ce dernier est programmé à compter le nombre d'impulsions/seconde et le convertir en un signal PWM, donc la largeur des impulsions représente

le débit mesuré par le capteur. Le programme Arduino est attaché dans l'annexe des capteurs cliquez ici [10]



FIGURE 1.19 – Microcontrôleur

Caractéristique	Valeur
Alimentation	7 à 12 VDC
Microcontrôleur	ATmega 328
Mémoire Flash	32 kB
Mémoire SRAM	2 kB
Mémoire EEPROM	1 kB
Interfaces	14 broches E/S dont 6 PWM, 6 entrées analogiques 10 bits
Bus de communication	Série, I2C, SPI
Intensité par E/S	40 mA
Cadencement	16 MHz

TABLE 1.12 – Caractéristiques techniques du microcontrôleur

Un second conditionneur est placé après la carte Arduino, il s'agit d'un filtre passe-bas. Ce dernier sert à filtrer le signal MLI généré par la carte, il convertit son amplitude originale $U = 5V$ à une fréquence f égale à 480 Hz en un signal d'amplitude variant de 0 à 5V , ce qui donne au signal MLI sa composante continue qui est exploitable par l'API.

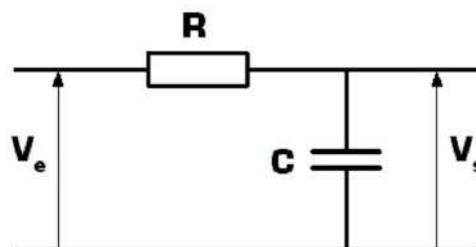


FIGURE 1.20 – filtre passe bas

1.3.9 Capteur de distance

Pour le contrôle de niveau, les capteurs à ultrasons mesurent avec précision le niveau de liquides ou de solides dans des réservoirs . Insensibles aux variations de couleur, de transparence ou de température.



FIGURE 1.21 – Capteur Ultrason

Caractéristiques techniques	Valeur
Indice de protection	IP65 / IP67
Tension d'alimentation	10 V - 30 V CC
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	± 15 Hz
Durée de sortie	8 ms
Fréquence des ultrasons (typique)	320 kHz
Interface de sortie	Valeur
Type	PNP
Courant de sortie maximal	≤ 500 mA
Température de fonctionnement	-25 °C à +70 °C
Température d'entreposage	-40 °C à +85 °C

TABLE 1.13 – Caractéristiques techniques du capteur ultrason UM18-51111

[10]

Raccordement des fils

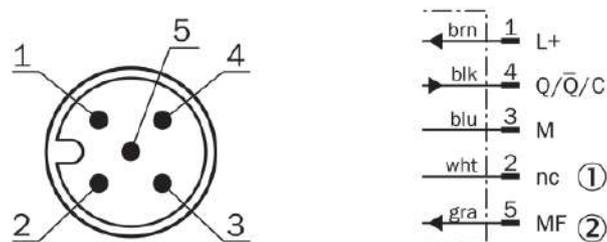


FIGURE 1.22 – Schéma de raccordement

- Fil marron (L+) : Alimentation DC +24 V .
- Fil bleu (M) : Masse.
- Fil blanc (QA) : Sortie analogique de type courant 4-20 mA.
- Entree non connectee/affectee (nC)
- Entree multifonction (MF)

1.3.10 Convertisseur Courant/Tension

Étant donné que le capteur de distance fournit en sortie une plage de courant de 4 à 20 mA, tandis que l'API requiert une entrée de tension de 0 à 10 V, il est nécessaire d'utiliser un dispositif de conditionnement pour convertir le courant en tension à base d'amplificateur opérationnel



FIGURE 1.23 – convertisseur C/T

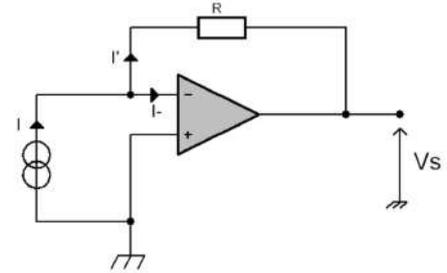


FIGURE 1.24 – circuit électronique

1.4 Raccordement électrique et schéma de câblage

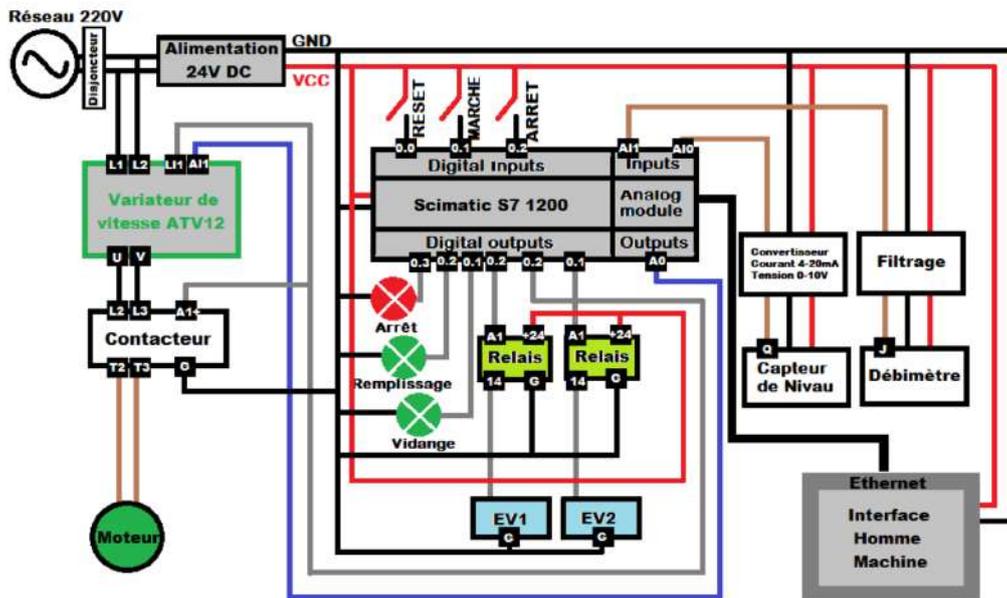


FIGURE 1.25 – Schéma de raccordement s7 1200

1.5 Cahier de charges

Les cahiers des charges définissent le mode de fonctionnement de la station de pompage. Le système exécute des opérations selon des conditions, dictées par l'utilisateur et implémentées dans l'Automate Programmable. Puis, le contrôle de ces opérations est fait à partir de l'Interface Homme/Machine.

1.5.1 Cahier de charge 1 : fonctionnement en mode Automatique

Le premier cahier de charges englobe le processus de réglage de niveau dans le réservoir B en réalisant un asservissement avec des performances optimales.

Le mode opératoire autonome est le mode de fonctionnement en boucle fermée de la station. En donnant la consigne à partir de l'IHM, le système effectue les opérations suivantes :

1. **Remplissage** : Si le système est en marche et que la consigne choisie est strictement supérieure au niveau h , la pompe et l'électrovanne **EV1** se déclenchent, l'électrovanne **EV2** se ferme, et le voyant de remplissage s'allume. L'opération s'arrête lorsque la consigne devient inférieure ou égale au niveau h , puis le système revient à l'état d'arrêt.
2. **Vidange** : Si le système est en marche et que la consigne choisie est strictement inférieure au niveau h , l'électrovanne **EV2** s'ouvre et le voyant de vidange s'allume. L'opération s'arrête lorsque la consigne devient supérieure ou égale au niveau h , puis le système revient à l'état d'arrêt.
3. **Arrêt d'urgence** : Lorsque le système est en marche et que le bouton d'arrêt d'urgence est déclenché, le système s'interrompt et s'arrête immédiatement.

Maintenant, connaissant le cahier des charges à développer, nous élaborons le GRAFCET suivant :

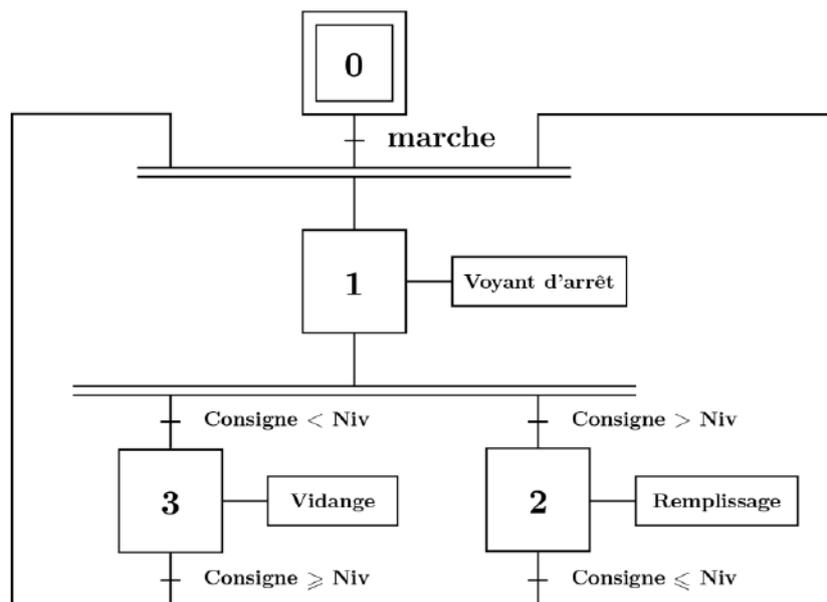


FIGURE 1.26 – Grafcet de mode automatique

1.5.2 Cahier de charge 2 : fonctionnement en mode Cyclique

Le mode de fonctionnement cyclique permet au système d'exécuter des fonctions dans un aspect répétitif. L'utilité de ce mode est lorsque on souhaite maintenir un état fixe de la station par rapport à une période de temps. Le fonctionnement cyclique de la station de pompage est déclenché dans notre cas lorsqu'on veut maintenir le niveau d'eau dans le réservoir à un niveau déterminé en fixant une durée de temps T . On a rajouté aussi un compteur qui s'incrémente n fois pour s'assurer que le niveau d'eau reste toujours à la valeur déterminée pendant la durée de T/n .

Pendant ce mode, le système effectue les opérations suivantes :

1. **Première temporisation** : lorsque le système est en marche, et que le niveau est inférieur à 60% de sa valeur maximale. Le système initialise une temporisation d'une minute et passe à la phase de remplissage. Dans le cas où le niveau est supérieur à 60% de sa valeur maximale, le système passe directement à la seconde temporisation.
2. **Remplissage** : si le niveau h est inférieur à 60% de sa valeur maximale, et que la première temporisation est écoulée, la pompe et l'électrovanne 1 se déclenchent, l'électrovanne 2 se ferme et le voyant de remplissage s'allume jusqu'à ce que le niveau atteigne au moins 60% de sa valeur maximale.
3. **Seconde temporisation** : quand le niveau h est au moins à 60% de sa valeur maximale, la seconde temporisation se déclenche et s'écoule pendant 1 journée (10 s dans le programme de simulation).
4. **Opération de comptage** : le comptage de cycles commence lorsque la deuxième temporisation s'est écoulée. Le cycle est répété 3 fois, de la première temporisation à la seconde. Si la valeur de comptage est inférieure à 3, le cycle est répété. Le comptage se termine au quatrième cycle et la machine entre dans l'état de vidange.
5. **Vidange** : l'étape du vidange s'exécute automatiquement lorsque la valeur de comptage est supérieure à 3, ce qui entraîne l'ouverture de l'électrovanne 2 et l'allumage du voyant de vidange. L'opération s'arrête lorsque le niveau h est au plus égal au niveau h minimal, puis le système revient à son état initial et le compteur est remis à zéro.

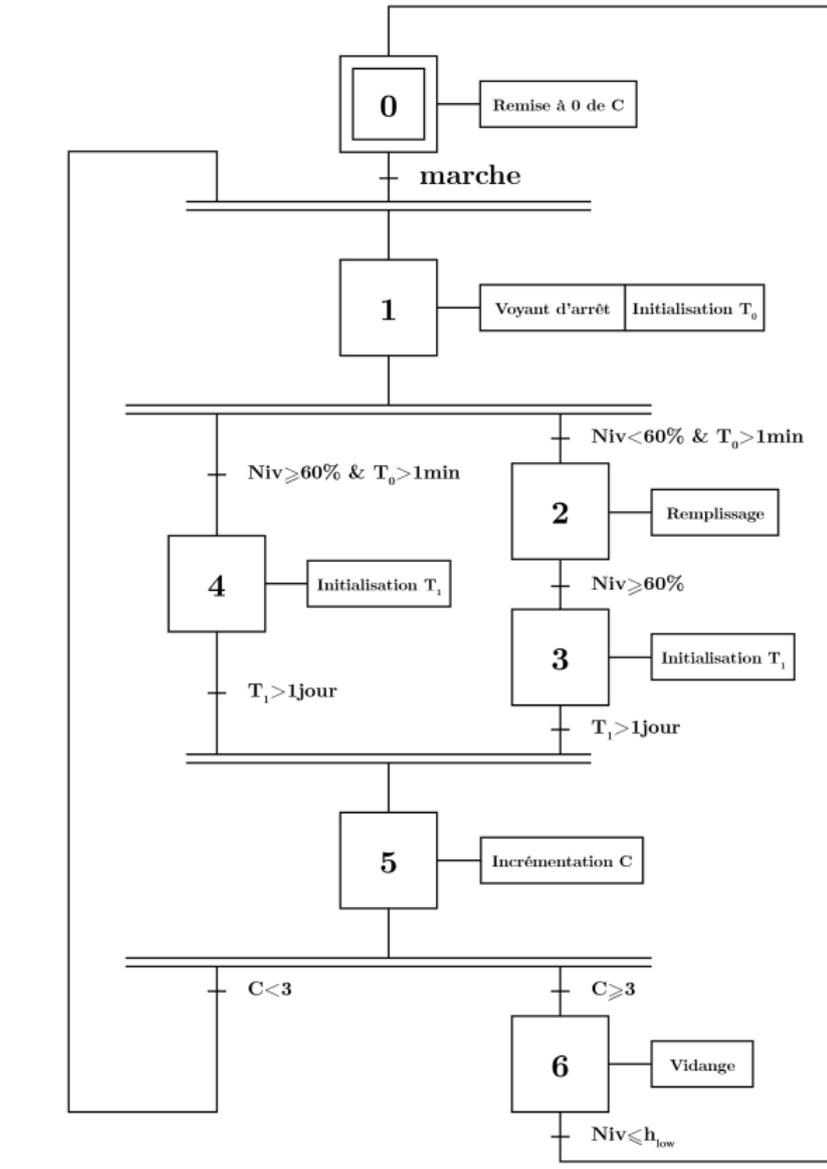


FIGURE 1.27 – Grafset de mode Cyclique

1.6 Commande et Supervision via SIMATIC HMI TP900 Comfort

La station basée sur l'automate **SIMATIC S7-1200** est équipée d'une interface Homme-Machine (IHM) intégrée, qui permet de commander et de superviser localement les différentes opérations de la station. Toutefois, dans le cadre de notre projet, l'objectif est de mettre en œuvre un système de commande et de supervision à distance à travers une architecture **SCADA**.

Pour cela, nous avons choisi d'utiliser le logiciel **EasyBuilder Pro**, développé par la firme **Weintek**, qui permet de concevoir des interfaces SCADA compatibles avec des écrans tactiles industriels et d'assurer une communication fluide avec l'automate. Cette approche offre une plus grande flexibilité et une meilleure visualisation du processus en temps réel.

Les détails relatifs à la programmation de la station de pompage à l'aide du logiciel **TIA Portal** sont présentés en annexe du mémoire. Toutefois, nous avons choisi d'inclure dans ce chapitre une description détaillée de l'interface Homme-Machine (IHM), développée avec **TIA Portal – WinCC**.

Cette IHM permet de visualiser, piloter et surveiller les différentes étapes du processus de

manière intuitive et ergonomique, offrant ainsi un aperçu clair du fonctionnement de la station en temps réel.

1.6.1 Vues de la Station

Le logiciel **WinCC** permet la création de différentes vues (ou écrans) personnalisées en fonction des besoins de l'utilisateur. Chaque vue peut afficher des informations spécifiques sur les équipements, les états du système et les variables surveillées, facilitant ainsi la compréhension et l'interaction avec la station de pompage.

Dans notre projet, nous avons conçu quatre vues principales :

1. Vue principale
2. Vue des entrées
3. Vue GRAFCET
4. Vue de contrôle et supervision

1.6.2 Vue principale

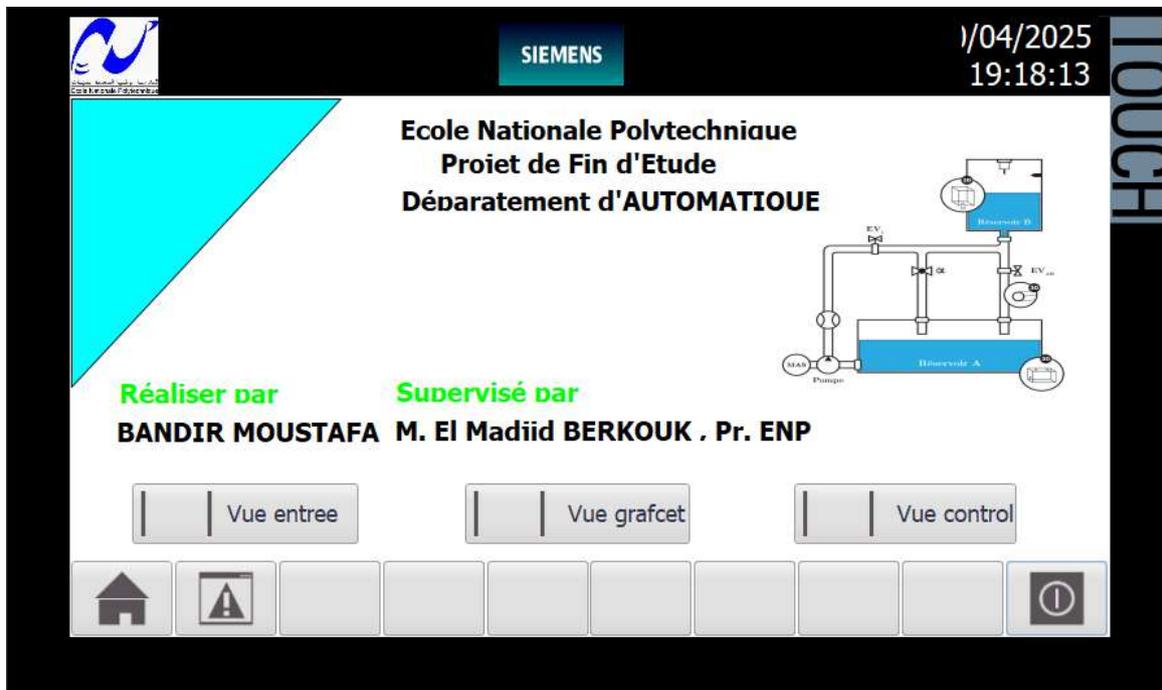


FIGURE 1.28 – Vue principale

Cette vue sert d'écran d'accueil du système. Elle présente :

- Une illustration du processus de la station de pompage, avec les principaux composants : réservoirs, électrovannes (EV), pompe, capteurs, etc.
- Des boutons de navigation permettant d'accéder rapidement aux autres vues : Vue entrée, Vue grafcet, Vue control.

Cette interface permet d'orienter l'utilisateur dans l'environnement de supervision et de commande.

1.6.3 Vue entrées

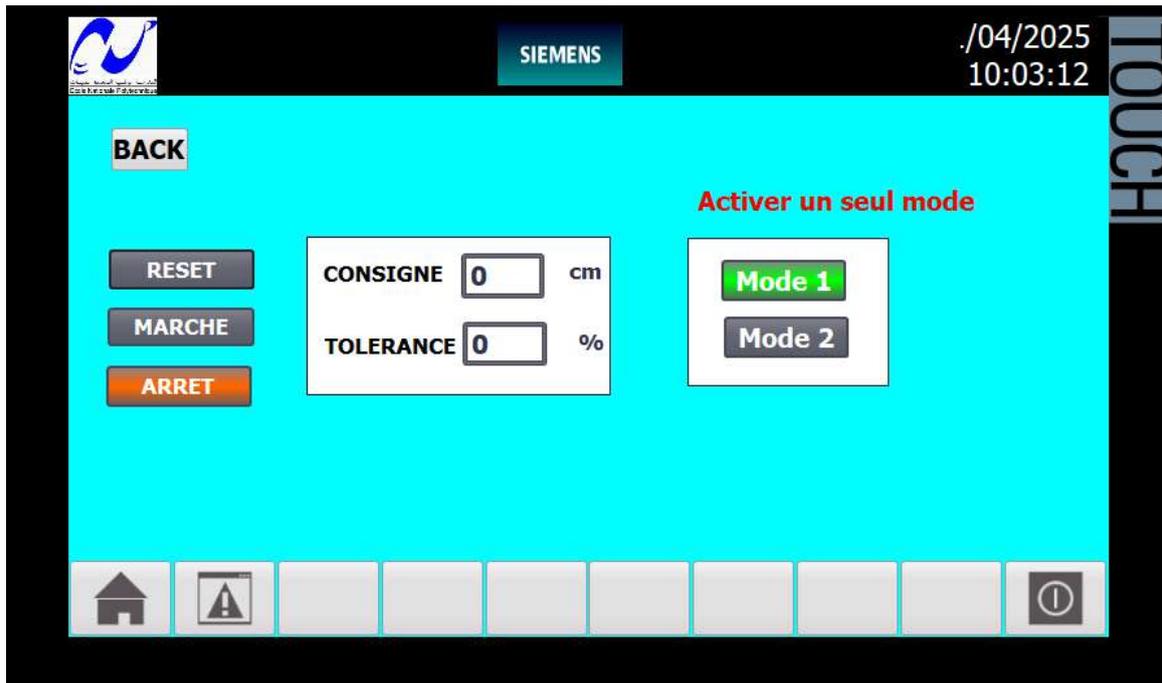


FIGURE 1.29 – Vue entrées

Cette vue permet à l’opérateur de configurer les paramètres initiaux du système. Elle offre une interface claire pour entrer les valeurs de consigne et de tolérance, et permet également le choix du mode de fonctionnement. Elle se compose des éléments suivants :

- Trois boutons de commande :
 - **RESET** : pour réinitialiser le système.
 - **MARCHE** : pour démarrer le cycle de fonctionnement.
 - **ARRET** : pour interrompre ou arrêter le processus.
- Deux champs de saisie :
 - **CONSIGNE** : la valeur cible de niveau (en cm).
 - **TOLÉRANCE** : marge d’erreur acceptée (en %).
- Deux boutons de sélection de mode :
 - **Mode 1**
 - **Mode 2**

Une seule option peut être activée à la fois, conformément à l’indication affichée *”Activer un seul mode”*.

- Un bouton **BACK** pour revenir à la vue principale.

1.6.4 Vue GRAFCET

Cette vue affiche le GRAFCET du processus automatisé, une représentation graphique de la logique de fonctionnement

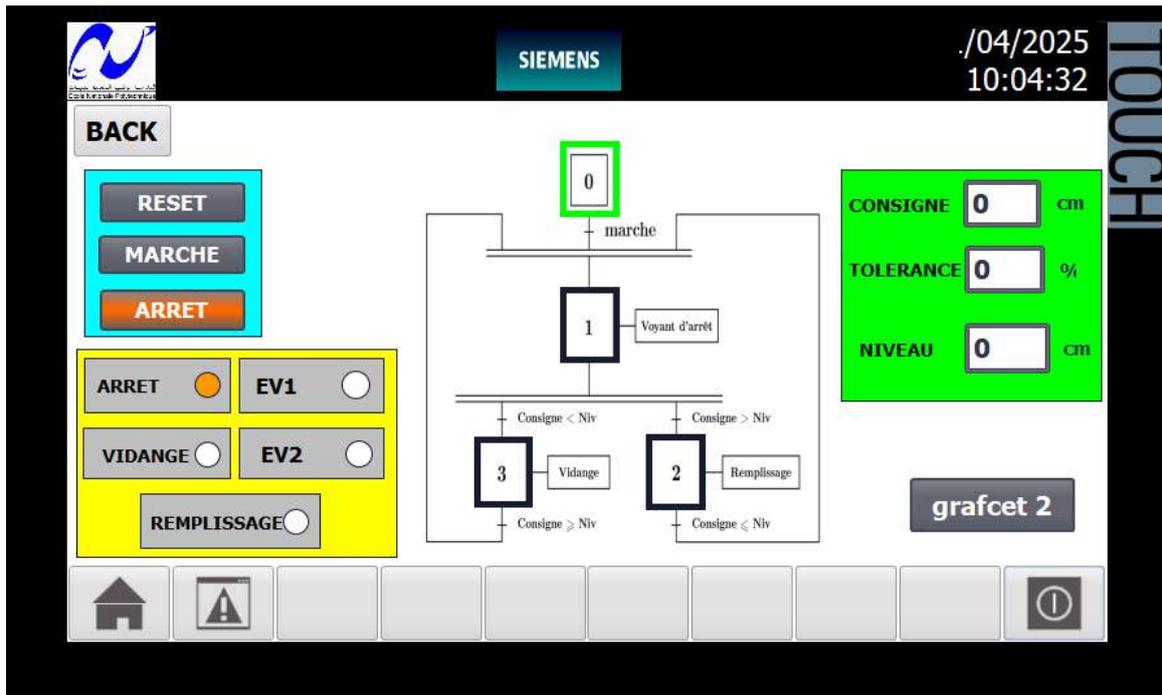


FIGURE 1.30 – Vue GRAFCET mode 1

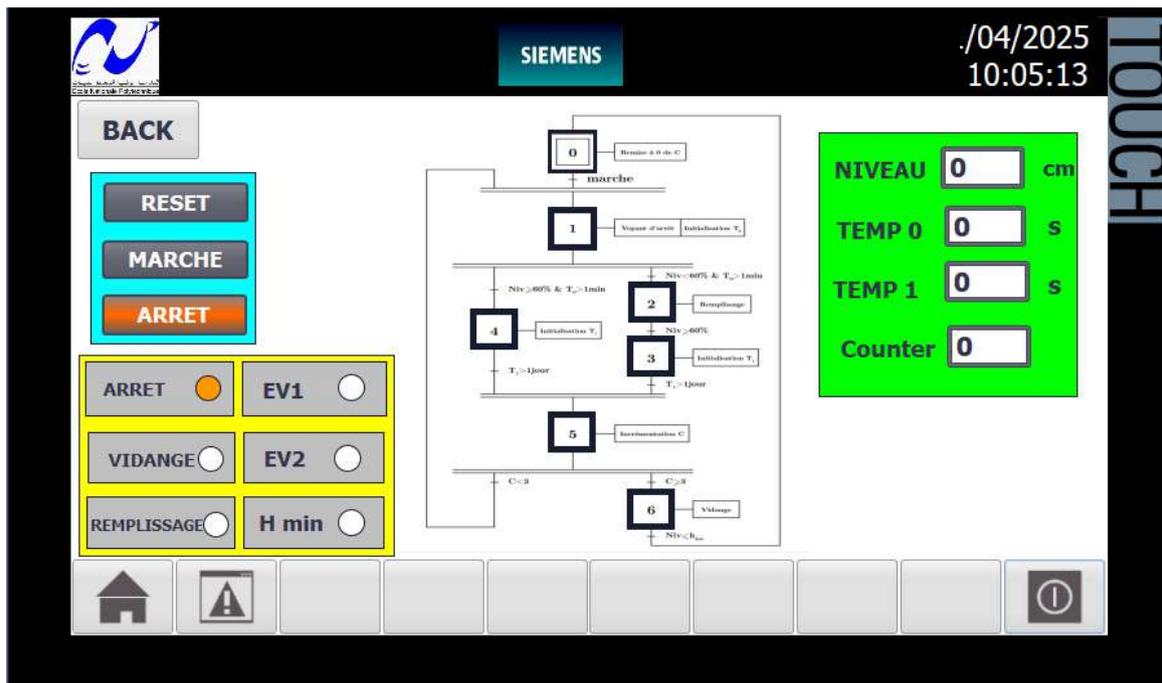


FIGURE 1.31 – Vue GRAFCET mode 2

- Elle permet de suivre le déroulement du cycle automatique (initialisation, temporisations, remplissage, comptage, vidange...).
- À droite, des indicateurs affichent en temps réel les valeurs du niveau, des temporisations, et du compteur de cycles.
- À gauche, des boutons de commande manuelle pour activer (RESET , MARCHE , arrêt). Cette vue est essentielle pour le suivi visuel de l'état du système et l'analyse des transitions.

1.6.5 Vue contrôle et supervision

Cette interface permet :

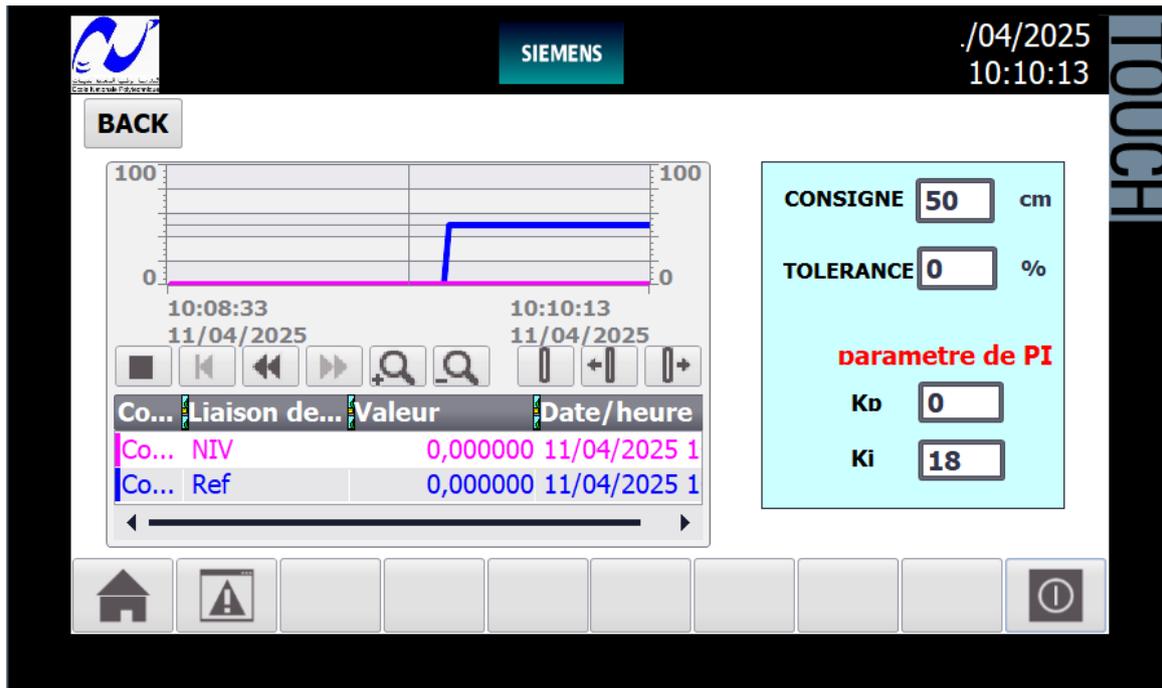


FIGURE 1.32 – Vue contrôle et supervision

- La visualisation en temps réel des courbes de niveau d'eau et de la consigne de référence.
- Le réglage de la consigne (en cm), de la tolérance (en %) et des paramètres du régulateur PI (K_d , K_i).

1.7 Conclusion

Ce chapitre présente une description détaillée de l'ensemble des équipements utilisés dans la station de pompage. Les caractéristiques techniques de chaque composant y sont exposées, de même que leurs rôles et leurs applications dans le fonctionnement global du système.

La compréhension de ce contenu permet de saisir le principe de fonctionnement de la station et les différentes étapes de son assemblage pour assurer le pompage de l'eau. Il a également été mis en évidence que la station permet le transfert de l'eau du point bas vers le point haut, tout en assurant la collecte de données essentielles à la gestion de l'eau.

Par ailleurs, l'IHM (Interface Homme-Machine) développée avec WinCC constitue un outil indispensable pour l'opérateur. Elle facilite la supervision, le contrôle en temps réel et l'interaction avec le système, tout en offrant une visualisation claire de l'état des équipements. Grâce à ses différentes vues (principale, entrées, Grafset, contrôle/supervision), elle garantit une utilisation intuitive et sécurisée de la station.

Chapitre 2

Description du prototype de la station LOGO-Zelio

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter la description matérielle de la station Zelio-Logo. Nous aborderons également le câblage et le raccordement des différents composants, accompagnés d'une représentation synoptique du système. Enfin, le chapitre se conclura par la présentation du cahier des charges à réaliser.

2.2 Description de la Station de Pompage Commandée par Automate (LOGO & Zelio)

Cette station de pompage est un système automatisé conçu pour assurer le transfert et la gestion des niveaux d'eau entre différentes cuves en utilisant un **automate programmable** (LOGO et ZELIO). Elle est pilotée par une **armoie électrique** intégrant divers composants électrotechniques et capteurs permettant de surveiller et de contrôler le processus.

2.3 Composition et Fonctionnement

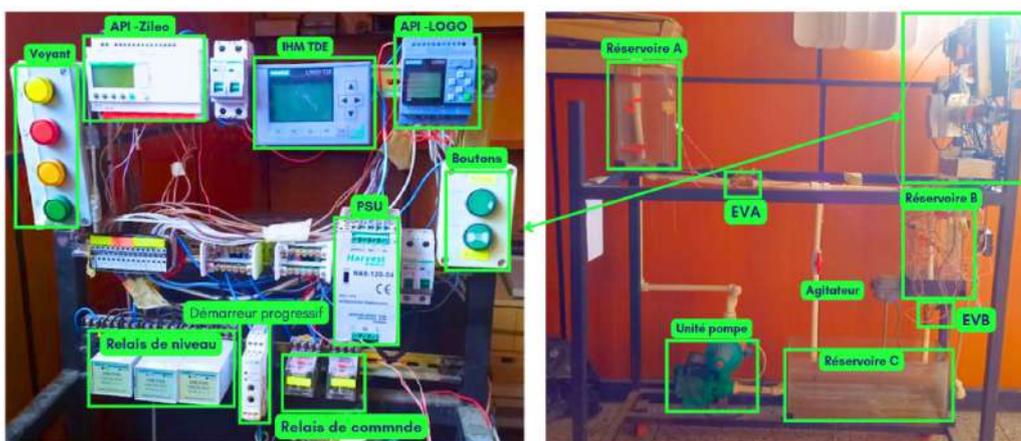


FIGURE 2.1 – vue de la maquette Zelio-LOGO

2.3.1 Capteurs et Détecteurs

- **Capteurs à ultrasons (A & B)** : Mesurent le niveau d'eau dans les cuves A et B.
- **Flotteurs (HA, LA, HB, LB)** : Détectent les niveaux haut (H) et bas (L) des cuves pour déclencher les actions de pompage et de vidange.

2.3.2 Actionneurs

- **Pompe 1** : Permet de transférer l'eau de la source vers la cuve A et éventuellement vers la cuve B.
- **Électrovannes (EVA & EVB)** :
 - **EVA** : Régule le passage de l'eau entre la cuve A et la cuve B.
 - **EVB** : Permet l'évacuation de l'eau de la cuve B vers un réservoir de stockage.
- **Agitateur** : S'active après la vidange complète de la cuve B pour assurer un brassage du contenu avant l'arrêt du processus.

2.3.3 Vannes Manuelles

- **Vanne A** : Doit être ouverte avant le démarrage du système.
- **Vanne B** : Doit être fermée avant le démarrage pour éviter une vidange involontaire.

2.3.4 Interface Utilisateur

- **Bouton START / RESET** : Permet d'initier ou de réinitialiser le processus.
- **Feux de signalisation** : Indiquent l'état du système (Marche, Arrêt, Alerte).

Équipement	Description
Support métallique	Le prototype repose sur un support métallique mesurant 1,5 mètre sur 1 mètre, avec une hauteur de 1,5 mètre.
Réservoir	Mesurant 50 cm sur 20 cm avec une hauteur de 20 cm, le réservoir est utilisé pour l'eau et fait partie intégrante du procédé.
Cuve A	La cuve mesure 15 cm de côté et a une hauteur de 30 cm.
Cuve B	La cuve mesure 15 cm de côté et a une hauteur de 25 cm.
Robinets	Deux robinets d'arrêt à opercule DN40 sont installés pour assurer la flexibilité du prototype.
Éléments de tuyauteries	En polyéthylène haute densité (PEHD), avec un diamètre de DN40.
agitateur	un dispositif alimenté en 220V utilisé pour créer un mouvement dans le liquide afin d'homogénéiser la solution.
Pompe , électrovanne	ils sont identiques à celles utilisées dans la maquette S7-1200, dont les descriptions peuvent être trouvées dans le chapitre 1.

TABLE 2.1 – Équipements de l'installation de la station de pompage LOGO-Zelio.

2.4 Description du matérielle électrique-Armoire électrique

Équipement	Nom de l'Équipement	Description
	Automate LOGO!	Automate LOGO! (0BA8!) Siemens avec écran. 8DI entrées digitales (4 peuvent être configurées en AI) 4DO sorties digitales (relais) Alimentation 24V/DC
	Automate Zelio	Automate Zelio de Schneider Electric (SR2 B201BD) est équipé d'une horloge et d'un écran d'affichage digital. Entrées TOR : 12 dont entrées analogiques 0-10V : 6 Sorties à relais : 8
	Afficheur TDE	Afficheur LCD Siemens conçu pour afficher des informations provenant de l'Automate LOGO!
	Relais électromécaniques	Ils offrent une isolation, une amplification de courant et une commutation de circuits, assurant une protection contre les surcharges.
	Relais de Niveau	Quatre relais JYB-714C alimentés en 220V, jouent un rôle crucial dans la surveillance et le contrôle du niveau de liquide.
	Alimentation Redressée Stabilisée	Convertit et stabilise la tension électrique pour fournir une alimentation continue et fiable aux équipements électroniques.
	Démarrateur Progressif	ATS01N03FT Schneider, assure un démarrage en douceur des moteurs à courant alternatif en réduisant les surcharges électriques et mécaniques.
	Capteurs Ultrasons	Deux capteurs ultrason HC-05 utilisés pour la mesure du niveau.
	Circuit convertisseur	Deux circuits reçoivent un signal PWM de la carte Arduino et délivrent un signal analogique vers les automates.

TABLE 2.2 – Tableau des équipements avec images et descriptions.

2.5 représentation synoptique de station

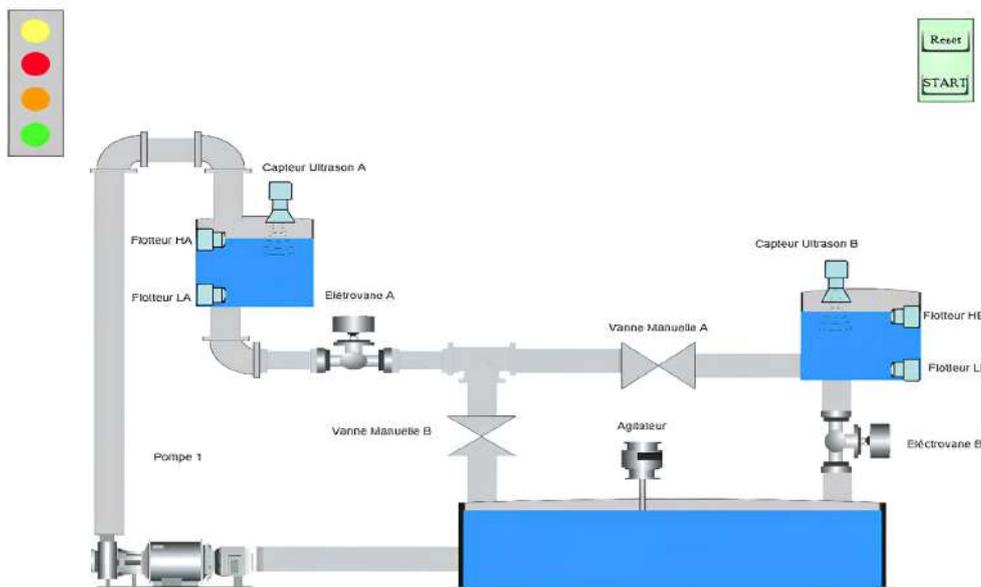


FIGURE 2.2 – représentation synoptique de station

2.6 Description du câblage électrique

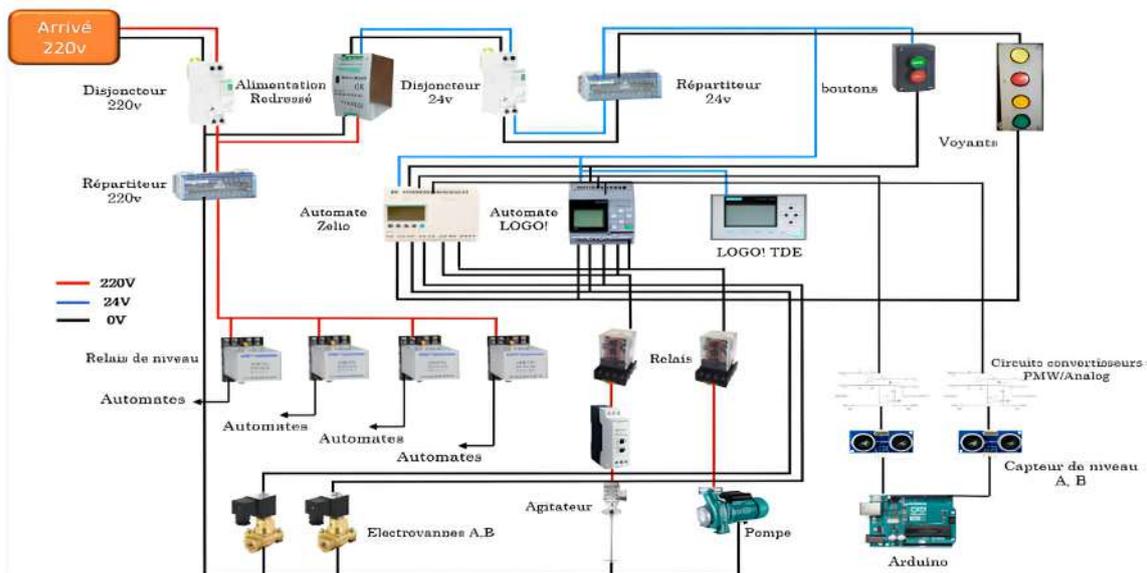


FIGURE 2.3 – Câblage électrique

2.7 Description de cahier de charge

Lorsque la station est à l'arrêt, un appui sur le bouton « Marche » déclenche l'un des quatre scénarios suivants :

- Si le niveau haut de la cuve A n'est pas atteint, la pompe démarre afin d'acheminer l'eau vers la cuve A jusqu'à ce que le niveau haut (Ha) soit atteint.
- Si le niveau haut de la cuve B n'est pas atteint, l'électrovane EVA s'ouvre pour transférer l'eau de la cuve A vers la cuve B, jusqu'à ce que le niveau haut (Hb) de la cuve B soit atteint.

- **Si les niveaux Ha et Hb ne sont pas atteints**, la pompe démarre et l'électrovanne EVA s'ouvre simultanément pour alimenter les deux cuves. Lorsque le niveau haut de la cuve B est atteint, l'électrovanne EVA se ferme, tandis que la pompe continue de fonctionner jusqu'à ce que le niveau haut de la cuve A soit atteint.
- **Si les deux niveaux sont atteints**, l'électrovanne **EVB** s'ouvre pour évacuer l'eau de la cuve B vers le réservoir. Une fois la cuve B vidée, l'agitateur démarre pendant une durée de 10 secondes. Ce cycle est répété **3 fois** avant l'arrêt du processus.

NB :

- Avant le démarrage du processus, la vanne manuelle **A** doit être ouverte et la vanne manuelle **B** doit être fermée.
- Si le niveau d'eau de la cuve A dépasse **28 cm** et/ou celui de la cuve B dépasse **23 cm**, le système revient automatiquement à son état initial.

À partir de ce cahier des charges, nous développons le GRAFCET suivant :

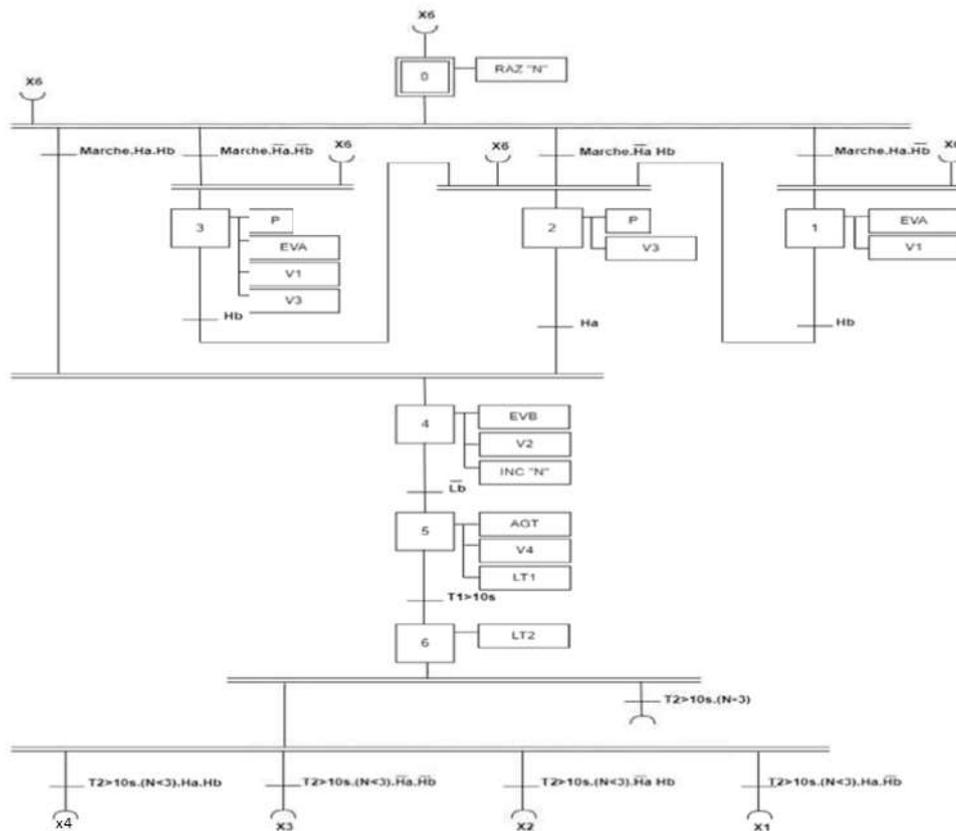


FIGURE 2.4 – Grafcet

Abréviation	Description
RAZ "N"	Remise à zéro du compteur de cycles
V1, V2, V3, V4	Voyants de signalisation visuelle des différentes étapes
EVA	Électrovanne A : permet le transfert d'eau de la cuve A vers la cuve B
EVB	Électrovanne B : permet la vidange de la cuve B vers le réservoir
P	Pompe : achemine l'eau vers la cuve A
Ha	Niveau haut atteint dans la cuve A
Hb	Niveau haut atteint dans la cuve B
INC "N"	Incrémentation du compteur de cycles après chaque vidange
LT1	Temporisateur 1 : assure un délai de 10 secondes pour l'agitateur
LT2	Temporisateur 2 : assure un délai de 10 secondes avant redémarrage du cycle
AGT	Agitateur : s'active pendant 10 secondes après vidange de la cuve B
$T1 > 10s$	Condition de temporisation pour la durée de l'agitateur
$T2 > 10s.(N < 3).Ha.Hb$	Condition de répétition du cycle (3 cycles maximum si les niveaux sont atteints)

TABLE 2.3 – Signification des abréviations dans le GRAFCET de gestion des cuves

2.8 Conclusion

Ce chapitre a présenté une description détaillée des équipements électriques et hydrauliques qui composent la maquette. Il a également fourni une vue synoptique permettant de mieux visualiser le fonctionnement de la station. Ensuite, le raccordement électrique des différents composants de l'armoire électrique a été expliqué. Enfin, un cahier des charges a été proposé, accompagné de son GRAFCET, afin de mettre en œuvre et superviser le fonctionnement séquentiel de la station à l'aide du logiciel SCADA EasyBuilder Pro.

Chapitre 3

station s7 300

3.1 Introduction

Ce chapitre présente la réalisation de la station 3, programmée à l'aide de l'automate S7-300. Cette station est conçue pour répondre aux exigences du cahier des charges relatif à l'entraînement d'un convoyeur électrique par un moteur asynchrone. Par la suite, le fonctionnement du système sera supervisé à l'aide de notre interface SCADA, développée avec EasyBuilder, tout en veillant à assurer une bonne communication ainsi qu'un raccordement matériel fiable.

3.2 Description du matériel électrique-Armoire électrique

L'ensemble des éléments et les caractéristiques du prototype réalisé sont décrits ci-dessous :

- Le prototype est monté sur une table de dimensions **1,50 m × 1,00 m**, avec une hauteur de **1,50 m**. Cette structure supporte l'ensemble des composants de l'installation.
- Une armoire électrique de dimensions **0,15 m × 0,15 m** et d'une hauteur comprise entre **0,25 m** et **0,30 m** contient les différents éléments de commande et de puissance.
- Le moteur utilisé est un **moteur asynchrone triphasé**, couplé en étoile et alimenté sous une tension de **380 V**.

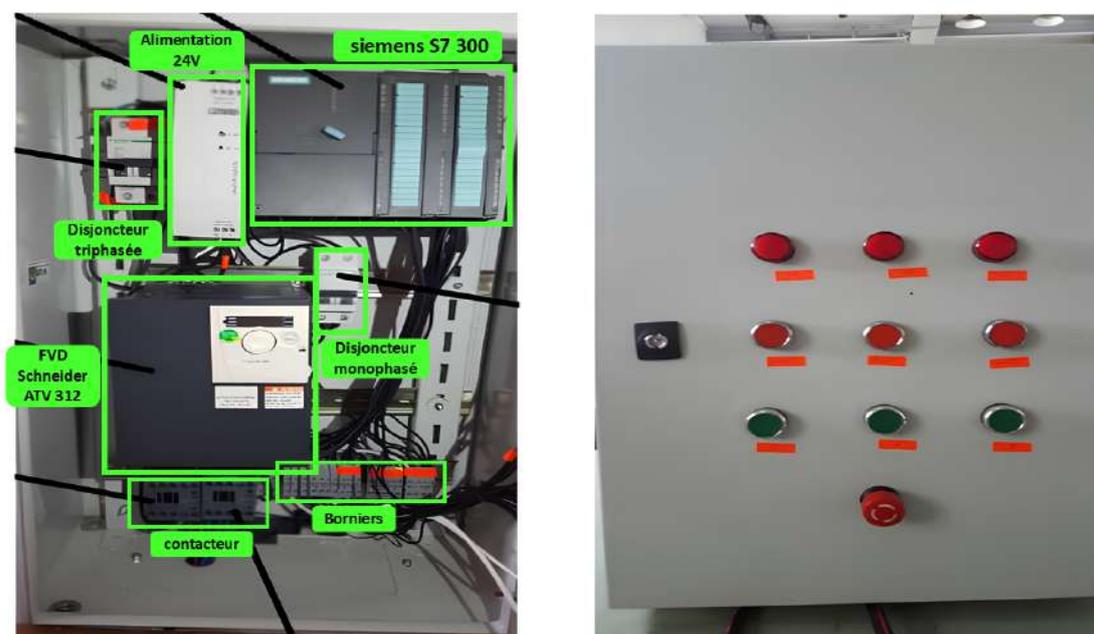


FIGURE 3.1 – Armoire s7 300

Équipement	Nom de l'Équipement	Description
	6ES7314-5AE03-0AB0, SIEMENS SIMATIC S7-300	<ul style="list-style-type: none"> - SIMATIC CPU 314 IFM COMPACT CPU - doté d'une mémoire de travail 48Ko . - Un module d'entrées/sorties 20DI / 16DO - Un module d'entrées/sorties AI4/AO1 - Un port MPI. - Une alimentation S307 2A alimenté en mono-phasé 220 V et qui délivre du 24V
	alimentation redresse	Une alimentation stabilisée (PHOENIX CONTACT UNO POWER 220V AC/24V DC), alimenté en monophasé 220 V et qui délivre du 24V.
	variateur de vitesse	Un variateur de vitesse ATV 312 qui améliore les performances de démarrage et permet une variation de vitesse contrôlé du moteur
	2 contacteurs siemens	Un contacteur lié au bouton d'arrêt d'urgence pour assurer la coupure totale de l'alimentation de l'armoire en cas de problèmes. Une autre servant comme interface de sortie entre l'automate et le moteur.
	disjoncteur triphasée	Un disjoncteur triphasé pour la sécurité de toute l'installation
	disjoncteur Mono-phasée	protection de circuit de commande contre le court-circuit
	buttons d'urgence	un buttons d'urgence lies au contacteur permet de la coupure totale de l'alimentation dans l'armoire
	voyants + buttons	sert dans la supervision et le bon fonctionnement de cahier de charge

TABLE 3.1 – Tableau des équipements avec images et descriptions station s7 300

Schéma de raccordement de l'armoire électrique

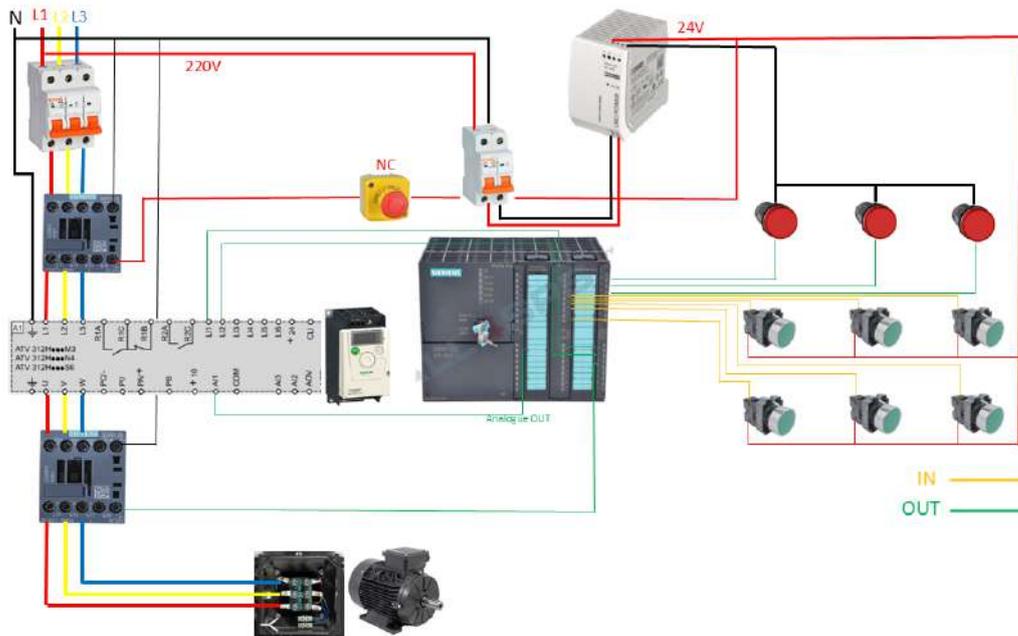


FIGURE 3.2 – Câblage électrique

3.3 Description de cahier de charge

On va mettre en œuvre une application d'entraînement d'un convoyeur sur un plan horizontal par un moteur asynchrone triphasé. Le moteur asynchrone à courant alternatif va être commandé par le variateur de vitesse ATV 312. Une station SIMATIC S7-300 (CPU314 IFM) va être utilisée pour la gestion de l'installation.

L'automate Siemens S7-300 aura pour tâche principale de contrôler les actionneurs, comme le moteur, le variateur de vitesse et les voyants. Il servira aussi à garantir la sécurité de l'installation en évitant les erreurs de manipulation de l'opérateur. Enfin, il permettra aux équipements de communiquer avec le système de supervision.

Cahier de charge En appuyant brièvement sur le bouton "MARCHE", le convoyeur **commence** à se déplacer en avant avec une vitesse V_1 . Dès que le bouton "A" est appuyé, le convoyeur s'arrête et un **temporisateur** T_1 est lancé.

Après l'écoulement des 10 secondes programmées du temporisateur T_1 , le convoyeur redémarre à une vitesse V_2 , toujours en avant, jusqu'à ce que le bouton "B" soit brièvement appuyé. Un second temporisateur T_2 est alors activé.

Une fois les 10 secondes du temporisateur T_2 écoulées, le convoyeur se déplace en **marche arrière** avec une vitesse V_3 .

En appuyant sur la touche "ARRÊT", le déplacement du convoyeur est immédiatement stoppé.

Pendant les phases de marche avant, le convoyeur accélère progressivement jusqu'à atteindre la vitesse demandée. Lorsqu'on appuie sur le bouton "A", il entre dans une phase de freinage. Le convoyeur ralentit jusqu'à l'arrêt complet, et cela s'applique également aux autres phases du déplacement.

Normes à respecter :

- La durée pour atteindre le régime haut de fréquence (50 Hz) doit être de **10 secondes** ;
- Le moteur doit s'arrêter en **3 secondes** (pour une fréquence de 5 Hz) ;

- Le chariot se déplace à une fréquence $F_1 = 30$ Hz pendant la **première phase** ;
- Le chariot se déplace à une fréquence $F_2 = 50$ Hz pendant la **deuxième phase** ;
- Lors de la phase de marche arrière (**troisième phase**), la nouvelle consigne devient $F_3 = 10$ Hz.

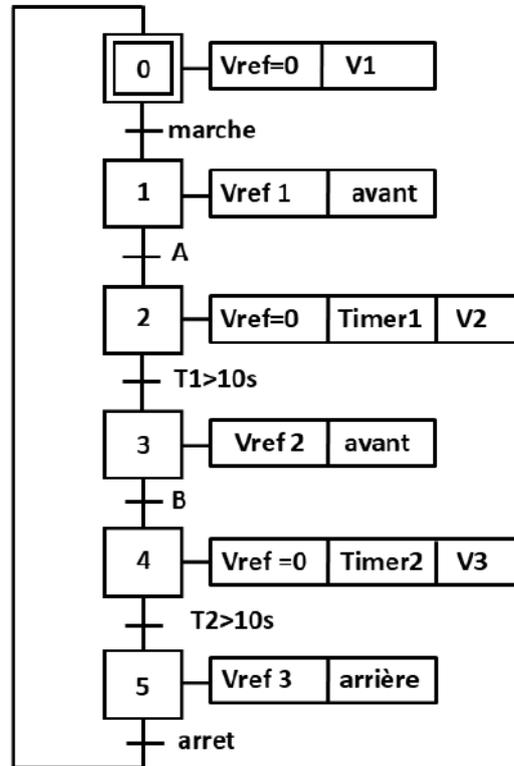


FIGURE 3.3 – GRAFCET station 3

Abréviation	Description
V1, V2, V3	Voyants de signalisation
Vref1	Vitesse de référence pendant l'étape 1 (déplacement avant)
Vref2	Vitesse de référence pendant l'étape 3 (déplacement avant)
Vref3	Vitesse de référence pendant l'étape 5 (déplacement arrière)
Timer1	Temporisation entre les étapes 2 et 3 (durée > 10 s)
Timer2	Temporisation entre les étapes 4 et 5 (durée > 10 s)

TABLE 3.2 – Signification des abréviations utilisées dans le GRAFCET

Le chronogramme suivant illustre le fonctionnement séquentiel du cahier de charges.

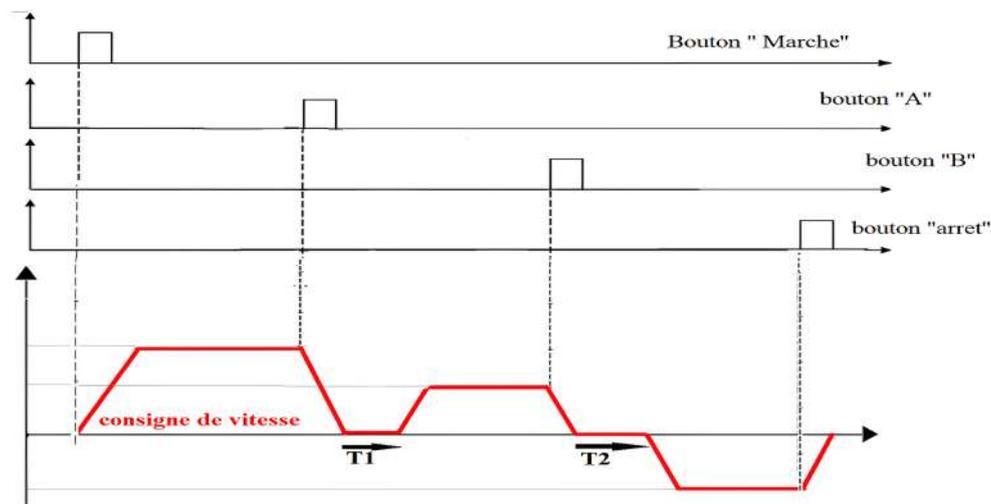


FIGURE 3.4 – chronogramme

3.4 Paramétrage de variateur de vitesse et réalisation de l'armoire électrique

dans cette partie , nous allons aborder le câblage de variateur ATV312 avec l'automate pour assurer le fonctionnement automatique de cahier de charge

les réglages effectués pour adapter le variateur à notre application :

3.4.1 Mise en service du moteur

- La borne **AI1** (entrée analogique du variateur) a été connectée à la **sortie analogique** de l'automate Siemens S7-300 pour permettre le contrôle de la vitesse.
- La borne **LI1** a été reliée à une **sortie digitale** de l'automate pour activer le **sens de marche avant**.

3.4.2 Sens de rotation

- **Marche avant** : Dès que l'entrée **LI1** est activée, le variateur démarre le moteur en **marche avant** et l'amène à la vitesse définie dans le cahier des charges.
- **Marche arrière** : Pour faire tourner le moteur en **sens inverse**, la borne **LI2** a été connectée à une autre sortie digitale de l'automate. Lorsqu'elle est activée, le moteur tourne en **marche arrière**.

3.4.3 Paramétrage des rampes

Quel que soit le sens de rotation, le variateur applique les **rampes d'accélération et de décélération**. Les paramètres suivants ont été définis :

- **ACC** : temps d'accélération = 3 secondes
- **DEC** : temps de décélération = 3 secondes

3.4.4 Paramétrage DrC

les étapes à suivre :

- Lire les données de la **plaque signalétique du moteur**.

- Entrer ces informations dans le variateur à l'aide du menu **drC**.
- Lancer l'autoréglage en activant la fonction **tUn**.

paramètres à saisir :

- **UnS** : Tension nominale du moteur (par exemple : **380 V**)
- **FrS** : Fréquence nominale du moteur (par exemple : **50 Hz**)
- **nCr** : Intensité nominale du moteur (par exemple : **10 A**)
- **COS** : Facteur de puissance ($\cos \varphi$) du moteur (par exemple : **0,9**)

fonction autoréglage

- Régler le paramètre **tUn** sur **YES**.
- Valider en appuyant sur la touche **ENT** pendant au moins 2 secondes.
- Si l'opération réussit, le variateur affiche **Done**.

3.4.5 Parametrage des vitesses présélectionnées

Les variateurs de vitesses Schneider sont préconfigurés en vitesses présélectionnées. Nous ne détaillerons pas cette partie, seulement un exemple simple à utiliser :

- Vitesse lente de 5 Hz si l'entrée **LI3** est activée.
- Vitesse moyenne de 10 Hz si l'entrée **LI4** est activée.
- Vitesse rapide de 15 Hz si **LI3** et **LI4** sont activées.
- Vitesse variable entre 0 et 15 Hz si les entrées **LI3** et **LI4** sont désactivées — vitesse variable donnée par le potentiomètre.

Quel que soit la vitesse choisie, il est **nécessaire** que :

- l'ordre de Marche Sens Avant (**LI1**) ou
- l'ordre de Marche Sens Arrière (**LI2**) soient **activés**.

Les paramètres suivants ont été forcés :

- ⇒ Menu **FUN PSS PS2** = 15 Hz
- ⇒ Menu **FUN PSS SP3** = 30 Hz
- ⇒ Menu **FUN PSS SP4** = 50 Hz

3.5 Conclusion

Le chapitre trois nous a donné une description détaillée des éléments électriques constituant l'armoire. Par la suite, nous avons élaboré le cahier des charges avec un fonctionnement séquentiel programmé par un Grafcet. Enfin, nous avons mis l'accent sur la configuration du variateur de vitesse **ATV312**.

Chapitre 4

synthèse de la loi de commande du station s7 1200 pour la régulation de niveau

4.1 Introduction

La régulation de niveau dans la station S7-1200 repose sur l'utilisation d'une boucle de contrôle en boucle fermée, permettant d'assurer la stabilité et la précision du système face aux perturbations et aux variations des conditions de fonctionnement. L'objectif est de maintenir le niveau du procédé à une valeur de consigne, en ajustant en temps réel les actions de commande. Le choix du régulateur et de la stratégie de contrôle s'appuie sur des critères tels que la robustesse, la simplicité de mise en œuvre, la réactivité du système, ainsi que la compatibilité avec l'environnement industriel.

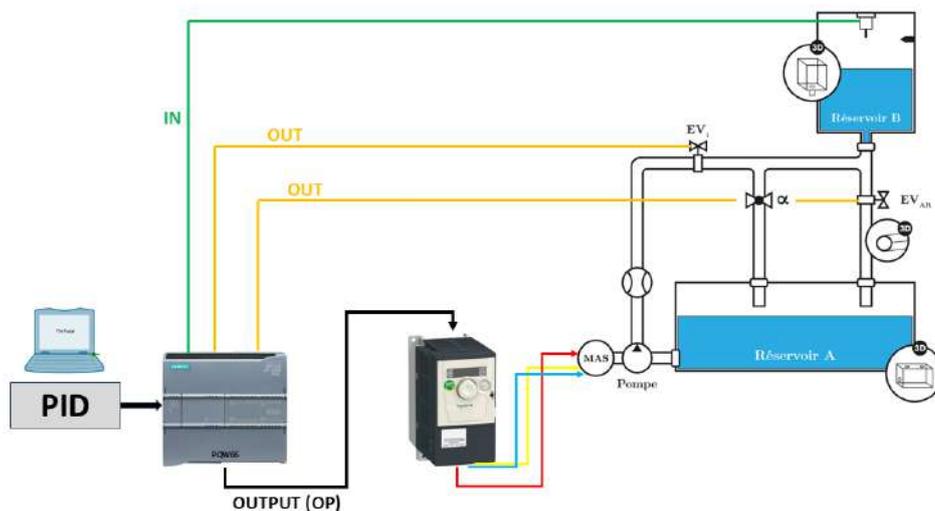


FIGURE 4.1 – Regulateur

4.2 Contrôle par régulateur PID

Le régulateur à actions proportionnelle, intégrale et dérivée « PID » est certainement le plus utilisé dans l'industrie, grâce à la simplicité de sa mise en œuvre, les effets complémentaires de ses trois actions le rend adaptable à la plupart des processus industriels.

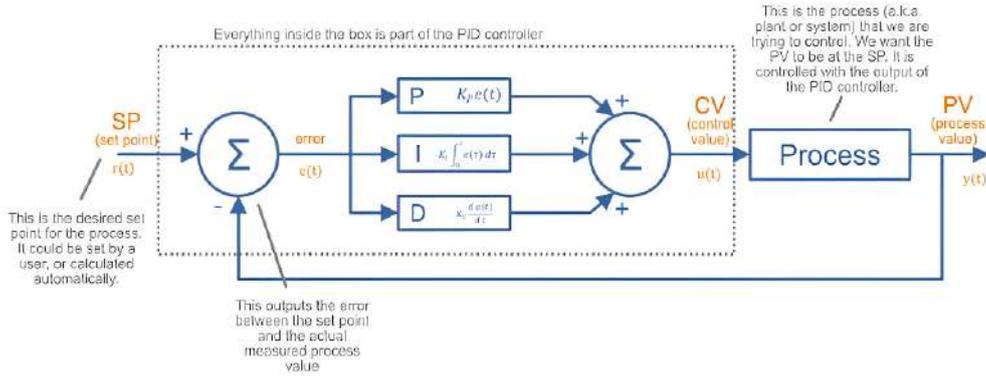


FIGURE 4.2 – Regulateur PID

Une interprétation du PID est qu’il agit selon les erreurs présente, passée et future. En effet, la partie proportionnelle de la commande se base sur l’erreur présente. L’intégrale de l’erreur cumule les erreurs passées. La dérivée de l’erreur (donc sa pente) prédit en quelque sorte vers où se dirige l’erreur dans le futur.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \tag{4.1}$$

Où :

- $u(t)$: sortie du régulateur (signal de commande),
- $e(t)$: erreur entre la consigne et la sortie du système,
- K_p : gain proportionnel,
- K_i : gain intégral,
- K_d : gain dérivatif.

L’idée de cet organe de contrôle est de modifier intentionnellement la valeur de l’erreur qui subsiste entre la consigne et la mesure effectuée.

La boucle fermée de notre système se représente comme la figure le montre ci-dessous, en joignant les composants avec leur emplacement dans la boucle de réglage :

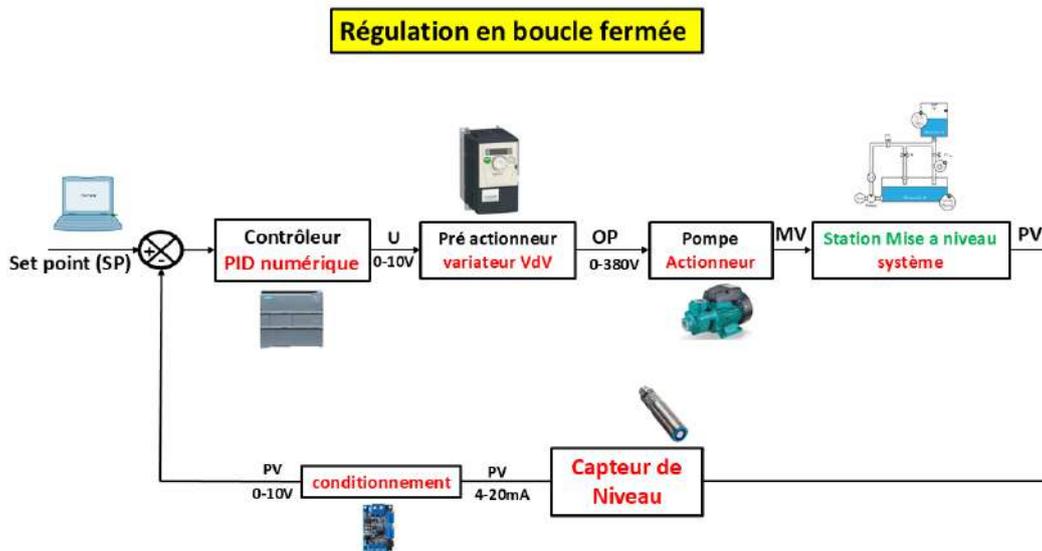


FIGURE 4.3 – la boucle de réglage

4.3 Critères de choix d'un régulateur PID

Le choix d'un régulateur PID pour la régulation de processus industriels, tels que le contrôle de niveau dans une station automatisée, se justifie par plusieurs critères techniques et pratiques. Contrairement à des méthodes de commande plus avancées telles que le LQR (Linear Quadratic Regulator), la commande par mode glissant, le backstepping ou encore la commande adaptative, le régulateur PID présente les avantages suivants :

- **Simplicité de mise en œuvre** : Le PID est facile à comprendre, à configurer et à implémenter, même pour les ingénieurs ayant une connaissance de base en automatisme.
- **Faible exigence en modélisation** : Contrairement aux régulateurs avancés qui nécessitent un modèle mathématique précis du système, le PID peut être appliqué avec une connaissance limitée du processus.
- **Bonne robustesse** : Le PID offre une réponse stable et robuste pour un large éventail d'applications industrielles standards, avec peu de réglages nécessaires.
- **Implémentation industrielle répandue** : Le PID est intégré nativement dans la plupart des automates programmables industriels (comme la gamme Siemens S7), ce qui en facilite l'intégration et la maintenance.
- **Coût et maintenance réduits** : Les solutions PID nécessitent généralement moins de ressources de calcul, ce qui permet d'utiliser des équipements plus simples et plus économiques.

En revanche, des régulateurs avancés comme LQR, commande adaptative ou backstepping peuvent offrir de meilleures performances dans des systèmes complexes, fortement non linéaires ou soumis à de fortes perturbations. Toutefois, ces méthodes requièrent des compétences mathématiques poussées, une modélisation rigoureuse et des ressources de calcul plus importantes, ce qui peut limiter leur utilisation dans des applications industrielles classiques.

4.4 Réglage P, PI et PID par la méthode empirique de Ziegler-Nichols

En 1942, Ziegler et Nichols ont proposé deux approches expérimentales destinées à fixer rapidement les paramètres des régulateurs P, PI et PID. Aucune information n'est habituellement fournie quand au régulateur PD. La première nécessite l'enregistrement de la réponse indicielle du système à régler, alors que la deuxième exige d'amener le système en boucle fermée à sa limite de stabilité.

Ces méthodes ne requièrent pas de modèle explicite, tiré des lois physiques, du système à commander. Elles permettent rarement de satisfaire des spécifications sévères. En particulier, le dépassement de la valeur de consigne est souvent trop important. Il est important de souligner que ces méthodes ne s'appliquent en général qu'à des systèmes sans comportement oscillant et dont le déphasage en hautes fréquences dépasse -180 . Ces systèmes possèdent souvent un retard pur et/ou plusieurs constantes de temps. On les rencontre surtout dans les processus physicochimiques tels que les régulations de température, de niveau, de pression, etc [19]

4.5 Méthode de Ziegler-Nichols en boucle ouverte (première méthode de Ziegler-Nichols)

Sur l'enregistrement de la réponse indicielle du système à régler en boucle ouverte et sans régulateur, on trace la tangente au point d'inflexion de la courbe. On mesure ensuite les temps correspondants au point d'intersection entre l'abscisse et la tangente ainsi que le temps t_r , temps de montée de la tangente.

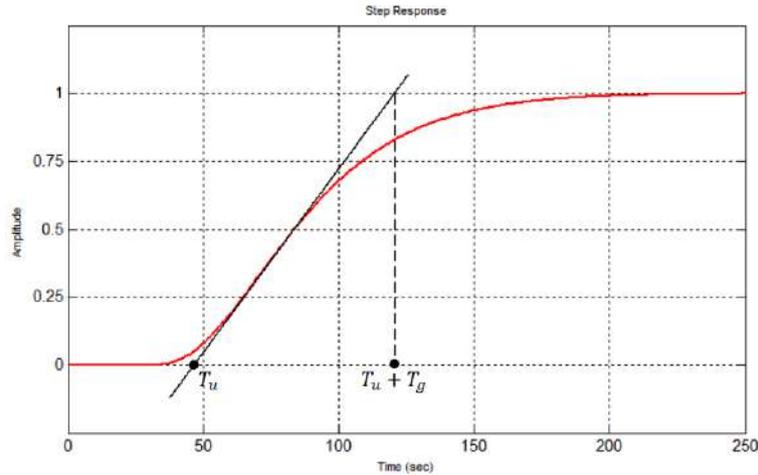


FIGURE 4.4 – Premier méthode de Ziegler-Nichols

On peut alors calculer les coefficients du régulateur choisi à l’aide du tableau suivant

Type	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T_g}{T_u}$	-	-
PI	$0.9 \times \frac{T_g}{T_u}$	$3.3 \times T_i$	-
PID	$1.2 \times \frac{T_g}{T_u}$	$2.0 \times T_i$	$0.5 \times T_i$

TABLE 4.1 – Paramètres de réglage PID selon la méthode de Ziegler-Nichols

4.6 Méthode de Ziegler-Nichols en boucle fermée (seconde méthode de Ziegler-Nichols)

Parfois, dans des installations déjà équipées de leurs régulateurs, il est physiquement difficile, voire dangereux, de débrancher ces régulateurs pour mener un essai indiciel en boucle ouverte sur le seul processus à commander. C’est entre autres le cas pour des systèmes qui ne sont pas stables en boucle ouverte. La seconde méthode de Ziegler-Nichols, adaptée à ce genre de situations, se base sur un essai conduit en boucle fermée avec simple régulateur proportionnel. Le gain de ce régulateur est ajusté jusqu’à la limite de stabilité, ce qui se manifeste par un régime permanent oscillatoire (pompage). La démarche est illustrée dans la figure suivante [19]

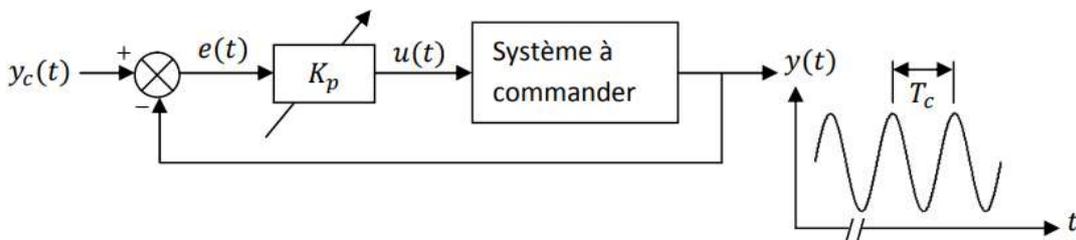


FIGURE 4.5 – seconde méthode de Ziegler-Nichols

Le gain K_{pc} du régulateur générant ce régime, dit **gain critique**, et la période T_c des oscillations, rencontrée sous le nom de **période critique**, sont mesurés. On peut calculer les paramètres du régulateur choisi à l’aide du tableau ci-dessous.

Type	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 \times K_{pc}$	-	-
PI	$0.45 \times K_{pc}$	$0.83 \times T_c$	-
PID	$0.6 \times K_{pc}$	$0.5 \times T_c$	$0.125 \times T_c$

TABLE 4.2 – Paramètres de réglage du régulateur selon la méthode du gain critique

Choix de consigne dans la méthode de Ziegler-Nichols en boucle fermée Une valeur constante, typiquement un **échelon (step)** , par exemple une augmentation brusque de la consigne de niveau ou de débit.

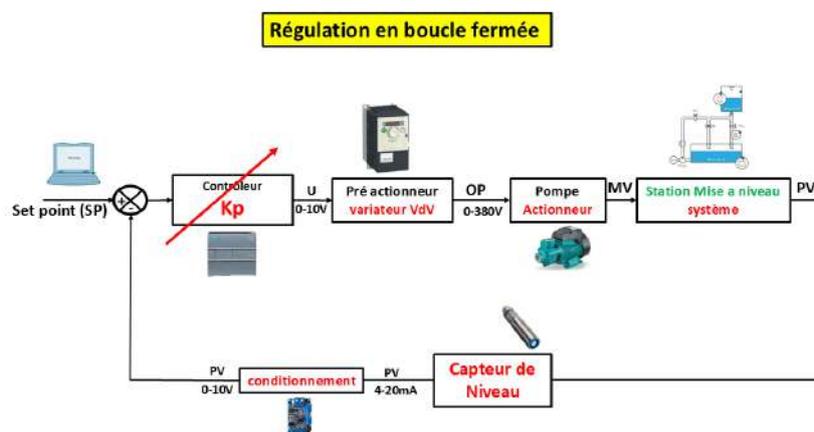
- Si on règle la boucle de niveau (PID1) , Une consigne de niveau stable (ex. 70 % du réservoir).
- Si on règle la boucle de débit (PID2) dans une regulation en cascade , on peut fixer une consigne de débit fixe (par ex. 50 L/min si ton capteur le permet).

Remarque La valeur de la consigne n'a pas besoin d'être élevée, elle doit juste être suffisamment différente de la valeur initiale pour déclencher une réponse du système.

4.7 Application de la deuxième méthode de Ziegler Nichols avec la station s7 1200

4.7.1 Archivage des données

Tia portal nous fournit une option de **DataLogging** pour archiver les données d'une variable sous forme d'un fichier **csv** ouvert dans l'excel , voir l' annexe sur Tia portal .


 FIGURE 4.6 – variation de K_p

en arrivant au regime oscillatoire (pompage) , nous enregistrons la valeur de K_{pc} puis en exploitant ce fichier pour extraire la valeur de T_c

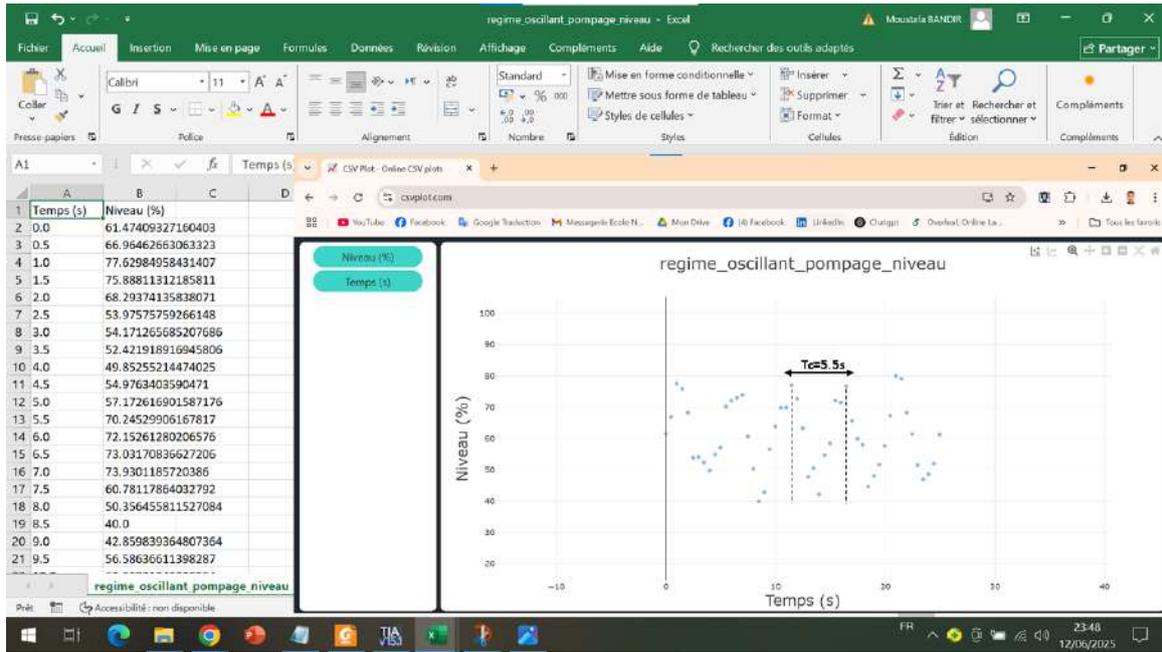


FIGURE 4.7 – plot décalée au temps 0s de regime de pompage

avec K_{pc} et T_c mesurées , on fait l'application numérique pour trouver des paramètres PID en utilisant le tableau

Type	K_p	T_i (s)	T_d (s)
P	110	-	-
PI	99	4.57	-
PID	132	2.75	0.69

TABLE 4.3 – Valeurs PID selon Ziegler-Nichols pour $K_{pc} = 220$ et $T_c = 5.5$ s

4.8 Régulation en cascade

La régulation cascade est une technique utilisée pour permettre aux procédés qui ont une dynamique lente d'avoir une réponse rapide face aux perturbations extérieures ainsi qu'aux changements de consigne. [5] L'idée repose sur la décomposition d'un processus complexe en plusieurs sous-systèmes. On suppose pour fixer les idées une décomposition en deux sous-systèmes, ce que remène à utiliser deux boucles de régulation imbriquées :

- Une boucle externe (maître) qui régule la grandeur principale (dans notre cas : le niveau h du réservoir).
- Une boucle interne (esclave) qui régule une grandeur secondaire influençant directement la principale (ici : le débit Q de la pompe).

4.8.1 Critères de choix d'un réglage en cascade

1. Le niveau varie lentement (grandeur inertielle).
2. Le débit réagit plus vite, donc on peut utiliser une boucle rapide pour le stabiliser.
3. Cela permet une meilleure réactivité et stabilité du système global.

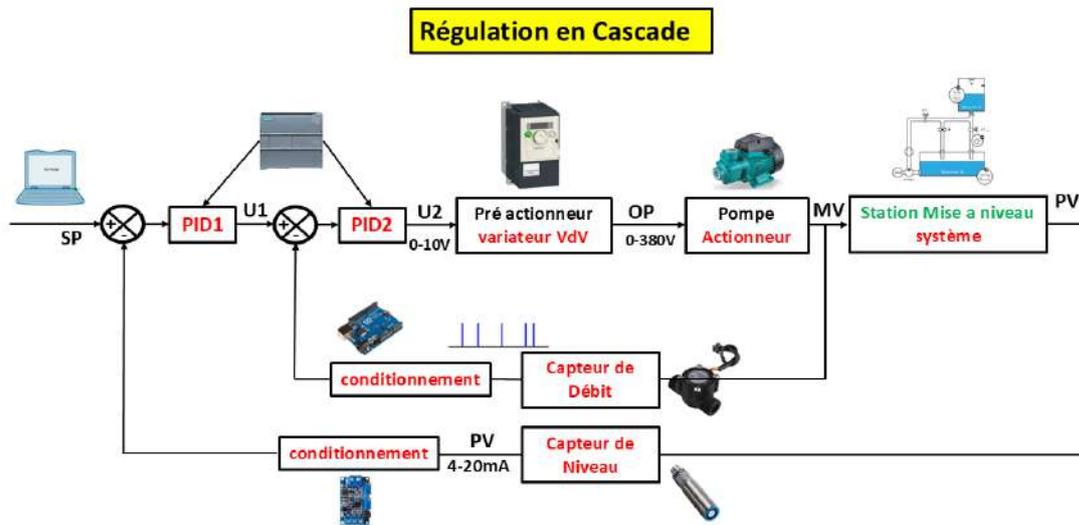


FIGURE 4.8 – Regulation en cascade de station s7 1200

Le tableau ici regroupe les appellations des différents paramètres :

Grandeur ou Paramètre	Consigne	Commande	Sortie	Gain Proportionnel	Constante de Temps Intégral	Constante de Temps Dérivé
Nomenclature Théorique	R(s) R(t)	U(s) U(t)	Y(s) Y(t)	K_c	T_i	T_d
Nomenclature Pratique	SP (Set Point)	OP (OutPut)	PV (Process Variable)	Gain (Ou P-gain)	Reset (Ou I-gain)	Rate ou Preact (Ou D-gain)

FIGURE 4.9 – appellations des différents paramètres

Dans ce système , On considère :

1. Un réservoir principal P avec sa boucle de régulation contrôlée par le régulateur de niveau **PID1**
2. Le niveau est la principale variable à réguler PV(Maitre).
3. La variable de commande est U_1
4. La variable manipulée ou régulante est le débit, mais pas directement (Esclave)
5. La commande du régulateur principale U_1 constitue d'abord le SP d'un autre régulateur appelé secondaire.
6. Le régulateur secondaire **PID2** est un contrôleur de débit, il reçoit la mesure **MV** du capteur de débit conditionnée et constitue ses deux valeurs d'entrée U_1 et **MV** , puis génère un signal de sortie U_2 qui commande le débit d'entrée.

4.9 Methodologie de réglage en cascade

4.9.1 Regulation de la boucle intene (Debit)

1. **Isoler la boucle interne** : Fixer une consigne de débit, boucler uniquement PID2 avec le capteur de débit et désactiver temporairement PID1 .
2. **Appliquer la méthode de Ziegler-Nichols** : en réglant le PID2 en mode **P** puis augmenter le gain K_c jusqu'à obtenir des oscillations stables.

PID2 doit être plus rapide que PID1, donc sa **constante de temps** doit être plus faible.

4.9.2 Regulation de la boucle externe (Niveau)

1. **Reconnecter la cascade** : la sortie de **PID1** devient la consigne de débit (entrée de PID2).
2. Appliquer la méthode de Ziegler-Nichols . [34]

Grâce à la rapidité de la boucle interne, PID1 verra un système plus stable et pourra mieux réguler le niveau.

4.9.3 Commentaire et conclusion

Le système secondaire est très utile quand il y a une fluctuation de débit d'entrée, qui sera vite réglée au niveau secondaire. Sans le système secondaire, c'est à dire sans cascade, une fluctuation de débit, surtout pour les réservoirs de grande capacité ou inertie, prendra beaucoup de temps pour être perçue. On peut remarquer la boucle secondaire n'a pas de consigne fixe comme pour un système sans cascade .

4.10 Regulation par un bloc PID compact

Le bloc PID_Compact est utilisé dans **TIA Portal** pour réguler(calibrer) automatiquement une grandeur (comme un niveau, une température, une pression, etc.) en utilisant un régulateur PID (*Proportionnel – Intégral – Dérivé*).

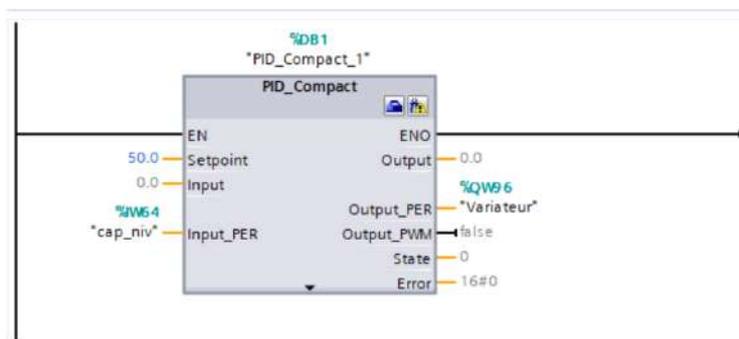


FIGURE 4.10 – PID compact

Signification des entrées/sorties du bloc

- **EN** : Permet d'activer le bloc.
- **Setpoint** : La consigne (valeur souhaitée). Ici, elle est de 50.0.
- **Input** : La valeur mesurée, ici connectée à %IW64 nommé "cap_niv" (capteur de niveau).
- **Input_PER** : Input peripherique a travers le module d'entree de 0 a 27648 bits

- **Output** : La sortie calculée du PID (la commande)
- **Output_PER** : sortie peripherique de 0 a 27648 bits
- **Output_PWM** : Sortie PWM si on utilise un signal PWM pour piloter un actionneur.
- **State** : État du régulateur.
- **Error** : Code d'erreur si le régulateur rencontre un problème.

4.11 Formule PID

L'algorithme PID fonctionne selon la formule suivante :

$$y = K_p \left[(b \cdot w - x) + \frac{1}{T_I \cdot s} (w - x) + \frac{T_D \cdot s}{a \cdot T_D \cdot s + 1} (c \cdot w - x) \right]$$

4.12 Définitions des paramètres

Paramètre	Description
y	Valeur de réglage de l'algorithme PID
K_p	Gain proportionnel
s	Opérateur de Laplace
b	Pondération de l'action proportionnelle (P)
w	Consigne (valeur cible)
x	Mesure (valeur réelle du processus)
T_I	Temps d'intégration (action intégrale I)
a	Coefficient de l'action par dérivation, utilisé pour définir $T_1 = a \cdot T_D$
T_D	Temps de dérivation (action dérivée D)
c	Pondération de l'action dérivée (D)

Le schema bloc suivant illustre l'intégration des paramètres dans l'algorithme PID.

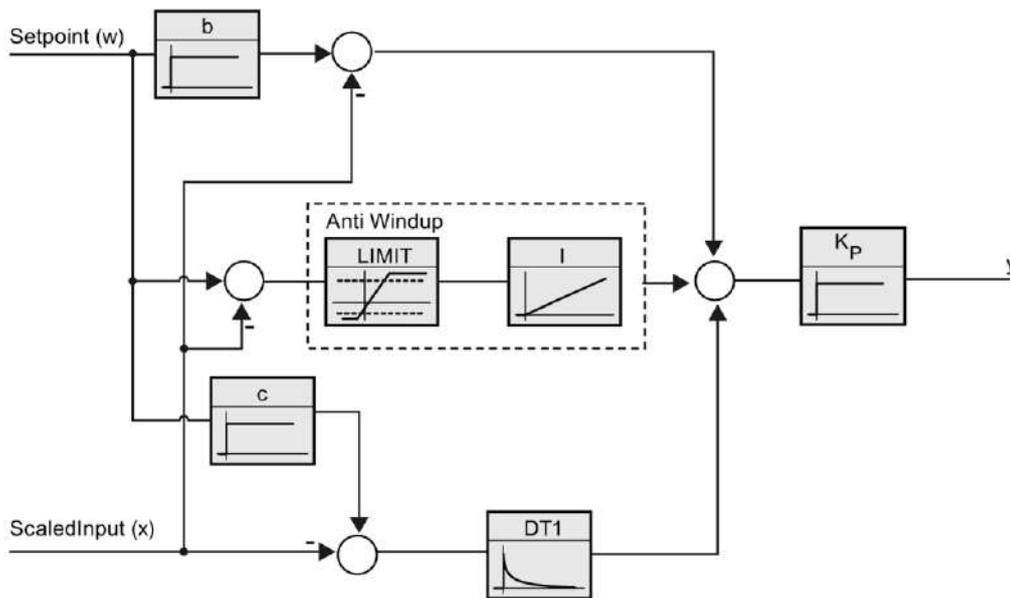


FIGURE 4.11 – schema bloc

4.13 PID Tuning Mode

Le *Tuning Mode* est une fonctionnalité intégrée dans TIA Portal permettant le réglage automatique ou semi-automatique des paramètres PID (K_p , T_i , T_d) d'un régulateur PID_Compact. Cette fonctionnalité facilite l'ajustement des boucles de régulation sans nécessiter un réglage manuel complet.

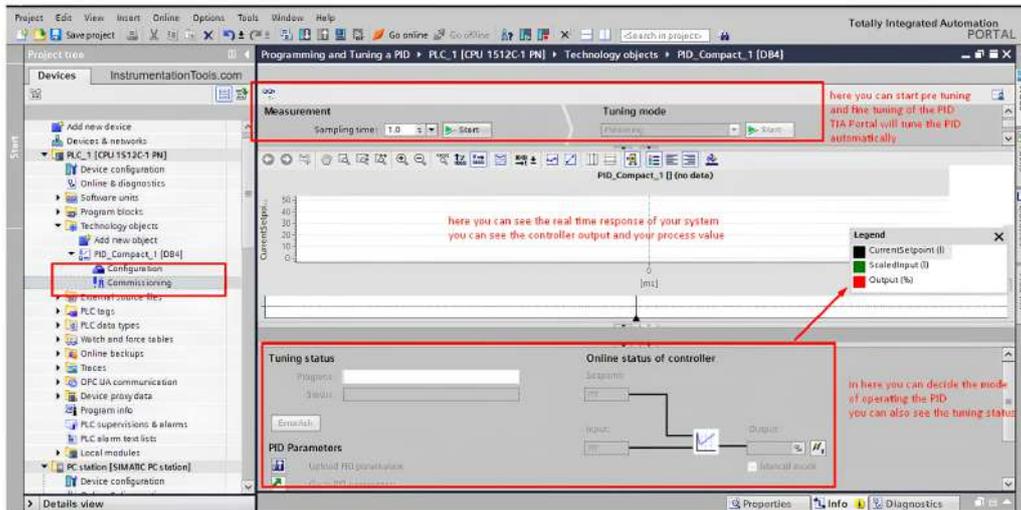


FIGURE 4.12 – tuning PID

4.13.1 Fonctionnement général du *Tuning Mode*

[33] Le logiciel identifie le comportement dynamique (temps de réponse, dépassement, oscillations). Des algorithmes, inspirés de méthodes comme Ziegler-Nichols, calculent automatiquement les paramètres PID.

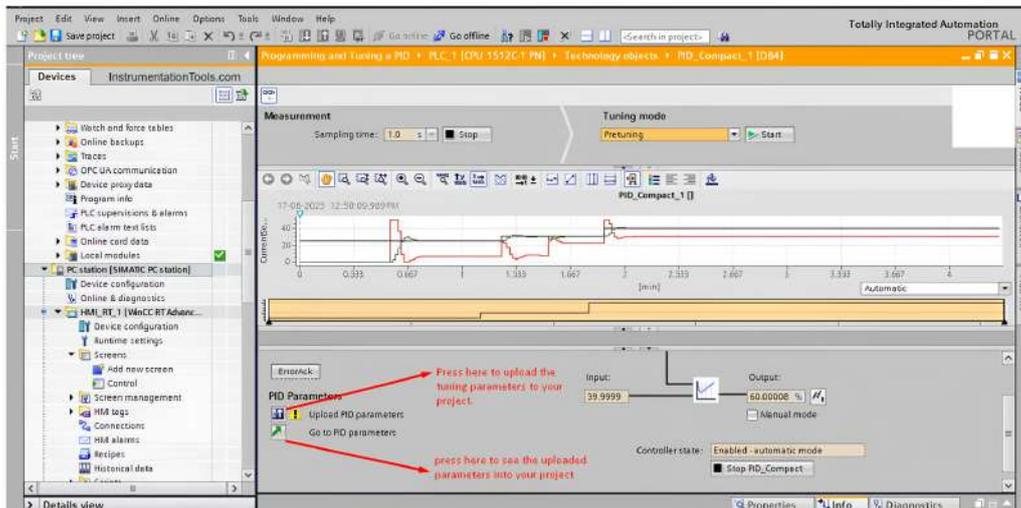


FIGURE 4.13 – tuning PID

commissioning et configuration du PID_Compact

il est important de suivre les étapes de commissioning et de configuration pour garantir un réglage optimal du bloc PID_Compact. Ce processus inclut le *pretuning* et le *fine tuning*, afin de déterminer et enregistrer les paramètres PID adaptés au processus contrôlé.

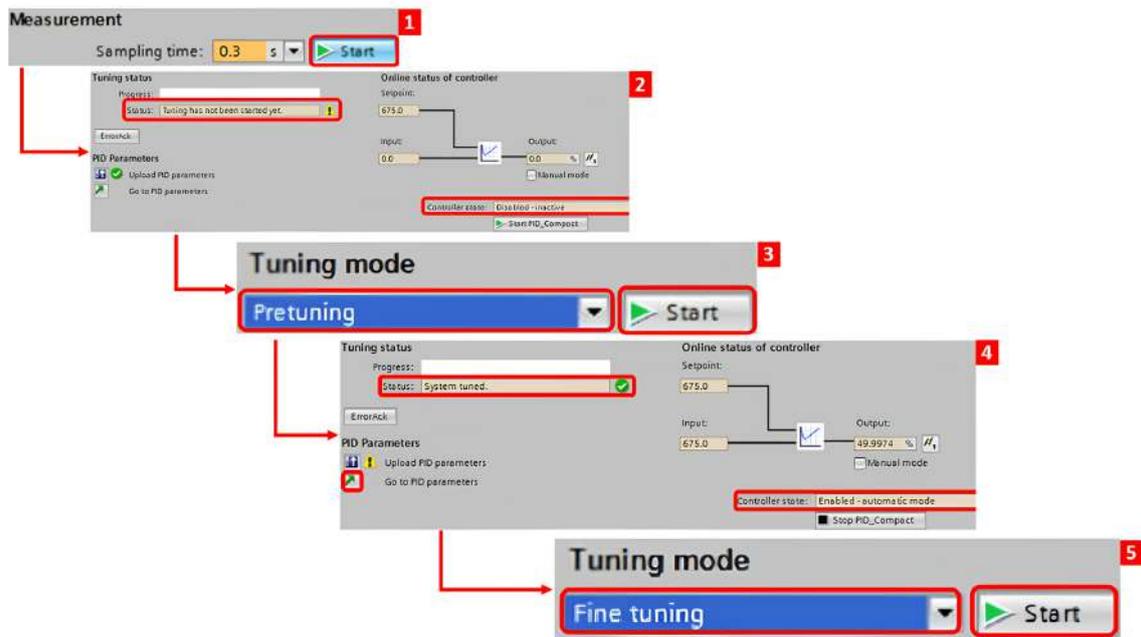


FIGURE 4.14 – commissioning et installation

1. Démarrez la mesure.
2. Le *statut du tuning* indique que le tuning n'a pas encore commencé. Après le premier démarrage de la CPU, le régulateur est en mode « *Disabled - inactive* ».
3. Vous obtiendrez les meilleurs résultats si vous effectuez un **pretuning** suivi d'un **fine tuning** après le premier démarrage depuis l'état inactive.
 - Entrez un **setpoint** idéalement situé dans la zone centrale de la plage de la valeur réelle (par exemple via une table de monitoring; dans le projet la valeur initiale du setpoint a déjà été prédéfinie).
 - Démarrez le **pretuning**.
4. Après un **pretuning** réussi, le régulateur passe en *automatic mode*.
 - Les valeurs déterminées peuvent être consultées via « *Go to PID parameters* ».
 - En sélectionnant « *Upload PID parameters* », les valeurs calculées sont écrites comme **start values** dans le bloc de données d'instance du PID_Compact.
5. Entrez un **setpoint**, dans le projet la valeur initiale du setpoint a déjà été prédéfinie. Ensuite, démarrez le **fine tuning**.

Après la fin réussie du **fine tuning**, vous pouvez à nouveau *upload the PID parameters* as start values dans le bloc de données d'instance du PID_Compact.

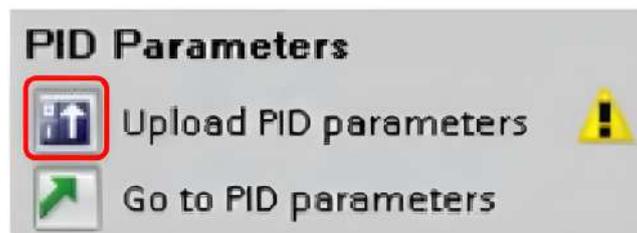


FIGURE 4.15 – upload les paramètres PID

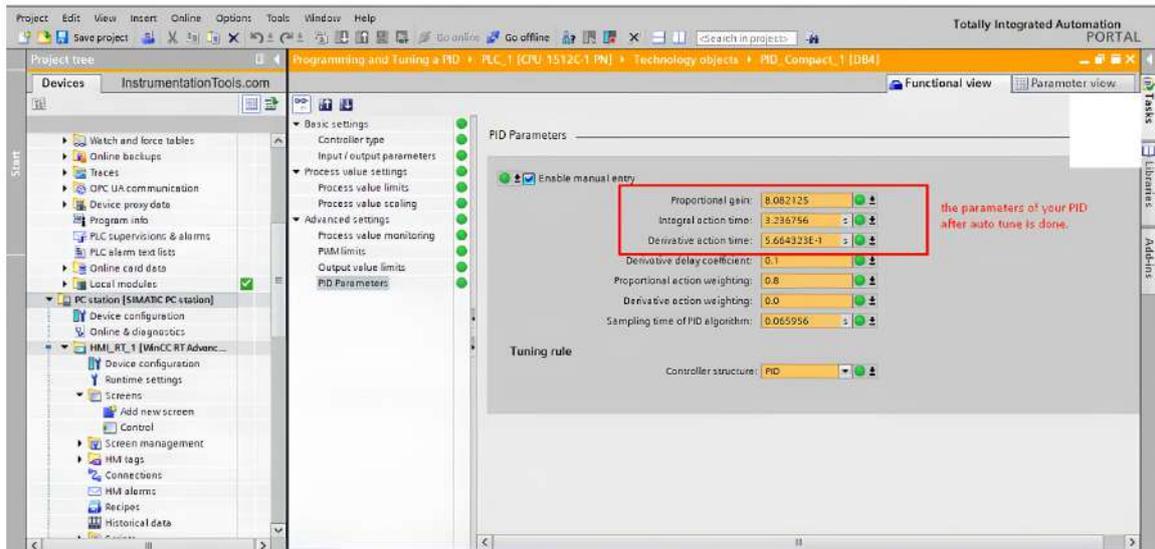


FIGURE 4.16 – uploaded parametres PID

4.14 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons adopté une approche de commande basée sur un régulateur PID, en appliquant la méthode empirique de Ziegler-Nichols en boucle fermée pour le réglage des paramètres. Par la suite, nous avons exploré la stratégie de régulation en cascade, dans le but d'analyser l'effet de l'ajout d'une boucle interne plus rapide. Cette approche permet d'améliorer les performances dynamiques du système, notamment en termes de rapidité et de stabilité de la réponse .

Chapitre 5

Developpement du sytème SCADA par le logiciel Easy Builder pro

5.1 Easy Builder pro

5.1.1 Introduction

EasyBuilder Pro, développé par Weintek, est une plateforme logicielle destinée à la programmation des dispositifs IHM (Interface Homme-Machine) Weintek. Grâce à une interface utilisateur conviviale, elle prend en charge plus de 300 pilotes de communication, permettant la connexion à une gamme variée d'appareils tels que les automates programmables.

Les fonctionnalités avancées de la plateforme incluent l'importation automatique des bases PLC, facilitant ainsi la configuration et la programmation des interfaces IHM. La simulation hors ligne/en ligne permet de vérifier le bon fonctionnement de l'application avant le déploiement, tandis que le cMT Diagnostoser aide à diagnostiquer et à résoudre les problèmes de communication entre les appareils et les interfaces IHM.



5.1.2 Configuration matérielle et communication

Création d'un nouveau projet

1. Lancez EasyBuilder Pro, cliquez sur Fichier et sélectionnez Nouveau.
2. Choisissez un modèle HMI
3. cliquez sur le bouton **OK**

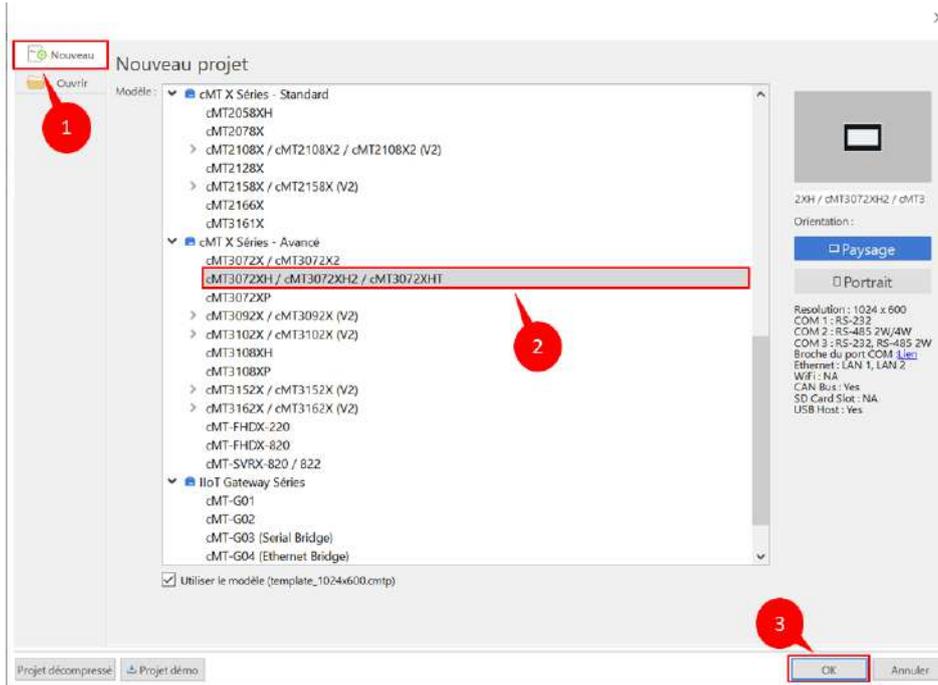


FIGURE 5.1 – Création d'un Nouveau projet

Configuration matérielle

après avoir choisi le modèle HMI , suivez ces étapes pour terminer la création de nouveau projet avec notre configuration matérielle désirée :

4. Ajoutez un nouveau périphérique en cliquant sur **Nouveau périphérique/serveur”** .
5. cliquez ”type de peripherique”
6. d’abord ,spécifiez la Firm d’automate utiliser
7. ensuite choisissiez la gamme d’automate à utiliser

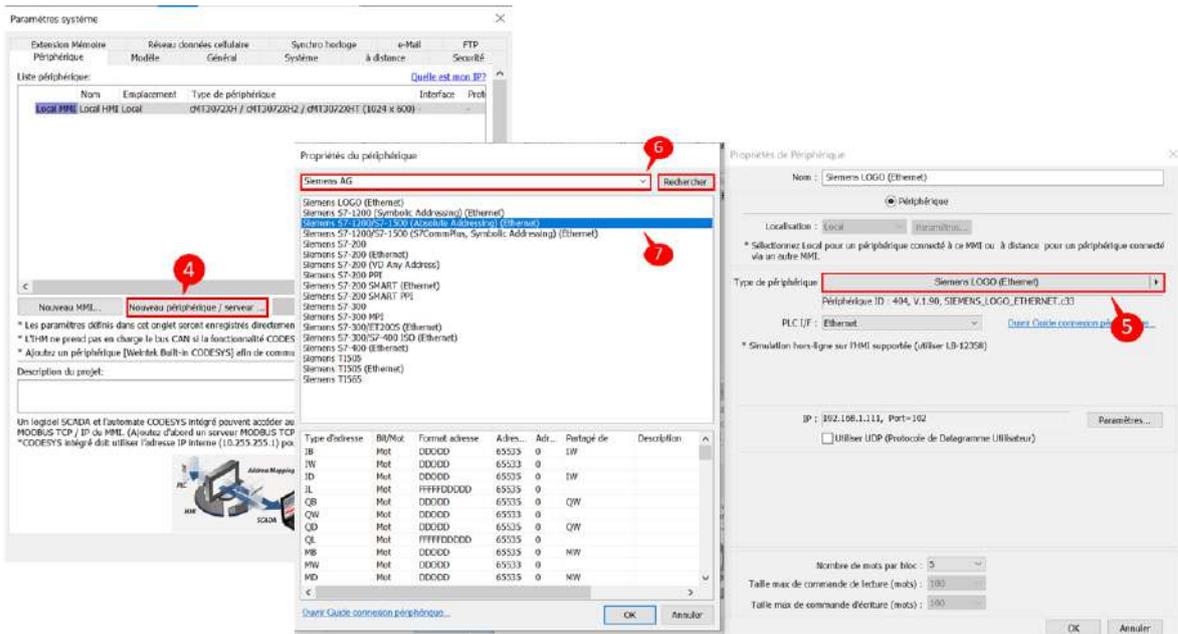


FIGURE 5.2 – Configuration matérielle

8. choisissez le type de communication de l'automate
9. saisissez l'adress IP appropriée de Easy builder

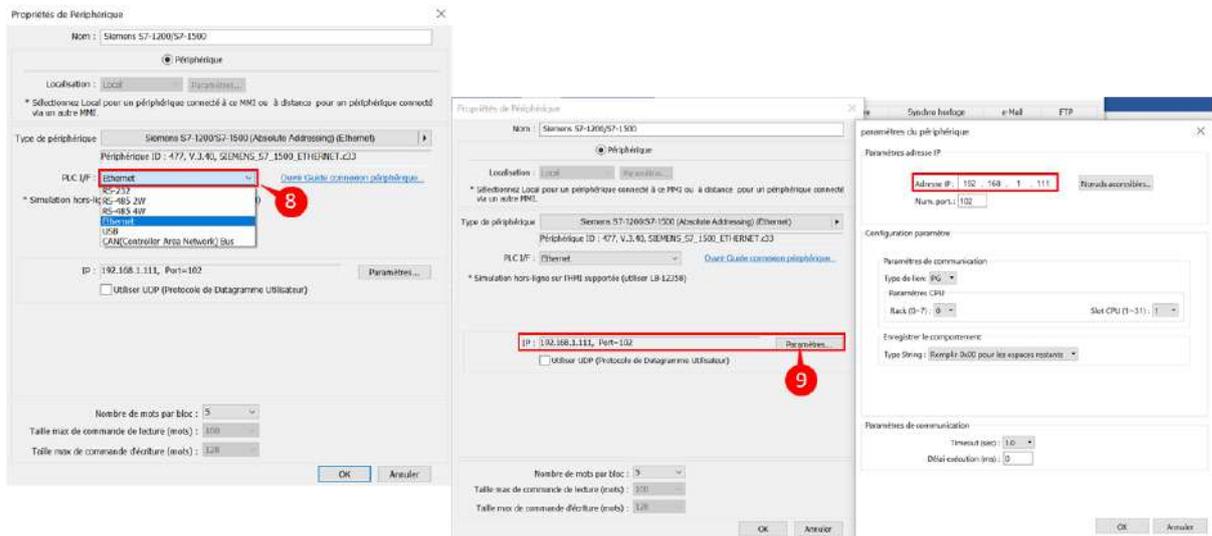


FIGURE 5.3 – Configuration des paramètres de l'automate s7 1200

5.1.3 Interface de Projet

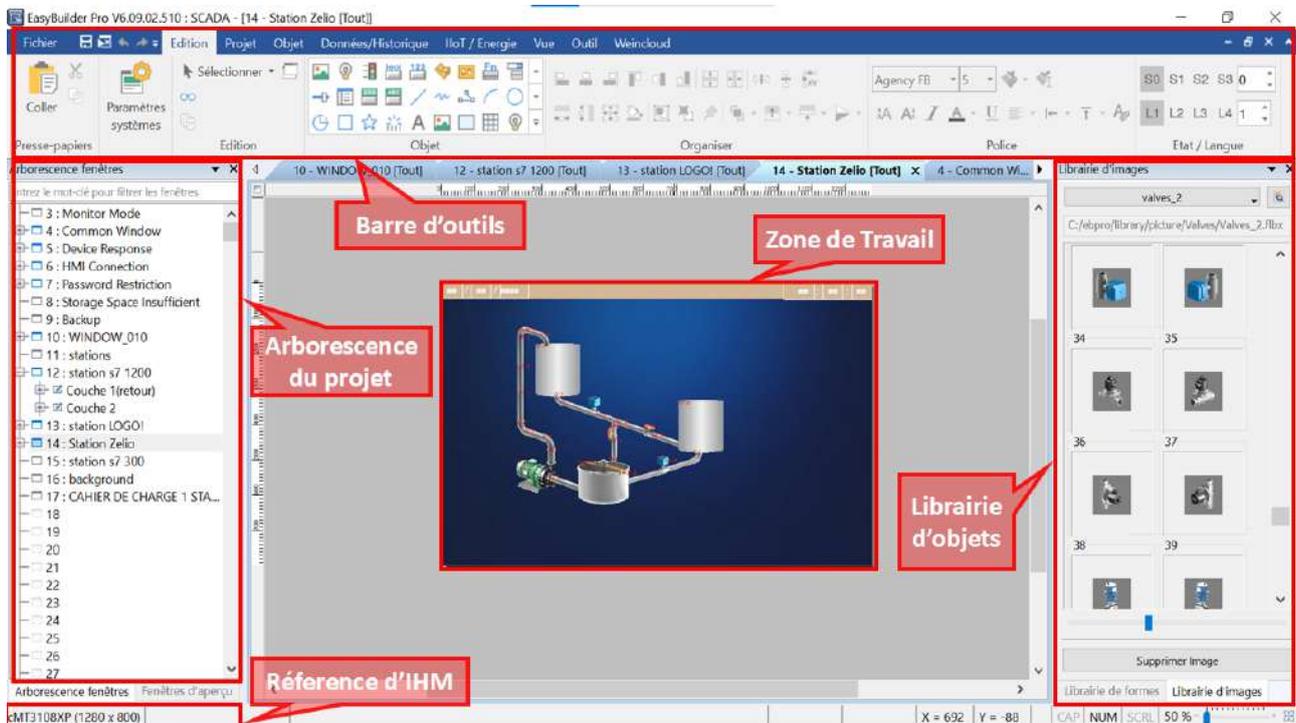


FIGURE 5.4 – Interface de projet

5.1.4 Barre d'outils dans EasyBuilder Pro

La barre d'outils d'Easy Builder Pro est divisée en plusieurs sections, chacune offrant un ensemble spécifique de fonctionnalités pour faciliter la commande et la supervision des automates . Voici un aperçu des principaux composants de la barre d'outils :

1. **Édition** : Cet outil est essentiel pour personnaliser et ajuster les objets sur votre interface. Il vous permet de modifier facilement la taille, la position et l'apparence des éléments, assurant ainsi une disposition précise et esthétique.



FIGURE 5.5 – Barre Edition

2. **Projet** : Ce groupe d'outils offre une suite de fonctionnalités pour gérer votre projet dans son ensemble. De la compilation à la simulation, permettant de vérifier son bon fonctionnement, jusqu'au transfert du programme vers l'IHM pour une exécution en temps réel, ces outils vous permettent de superviser et de contrôler toutes les étapes du processus de développement.

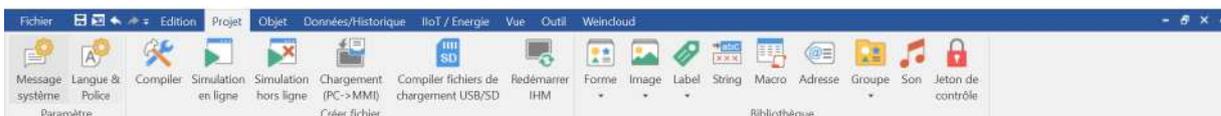


FIGURE 5.6 – Barre Projet

3. **Objet** : Avec ces outils, vous pouvez créer et configurer une grande variété d'éléments interactifs pour votre IHM, tels que des boutons, des voyants, des curseurs et des affichages numériques. Cette fonctionnalité permet de concevoir une interface conviviale et intuitive pour les utilisateurs.



FIGURE 5.7 – Barre Objet

4. **Données/Historique** : Cette série d'outils est spécialement conçue pour la gestion des données. Vous pouvez définir des alarmes pour surveiller les conditions critiques, effectuer l'acquisition de données en temps réel, et afficher l'historique des données pour une analyse approfondie des performances du système.



FIGURE 5.8 – Barre Données/Historique

5. **IIoT / Énergie** : Ces outils sont dédiés à la configuration des aspects réseau et alimentation de votre IHM physique. Ils permettent de paramétrer facilement les connexions réseau pour assurer une communication fluide avec d'autres équipements, ainsi que de gérer l'alimentation électrique afin de garantir un fonctionnement stable et fiable de l'IHM.



FIGURE 5.9 – Barre IloT / Énergie

6. **Vue** : L'ensemble d'outils Vue vous permet d'ajuster les paramètres d'affichage de votre projet IHM. Vous pouvez personnaliser l'apparence visuelle en réglant la transparence des objets, en activant ou désactivant la grille pour un alignement précis, et en ajustant d'autres paramètres visuels selon vos préférences.



FIGURE 5.10 – Barre vue

5.1.5 Déclaration des variables

Dans easy builder pro , nous avons deux types de variable : les variables **bit** (variable TOR) et les variables **mot** (variable analogique) Pour déclarer une variable, nous suivons les étapes suivantes :

1. Accéder à la barre **Object**.
2. Sélectionner l'objet souhaité : voyants, bouton, diagramme, etc.
3. Configurer les paramètres de l'objet en sélectionnant le type de périphérique (l'automate) et l'adresse de la variable.

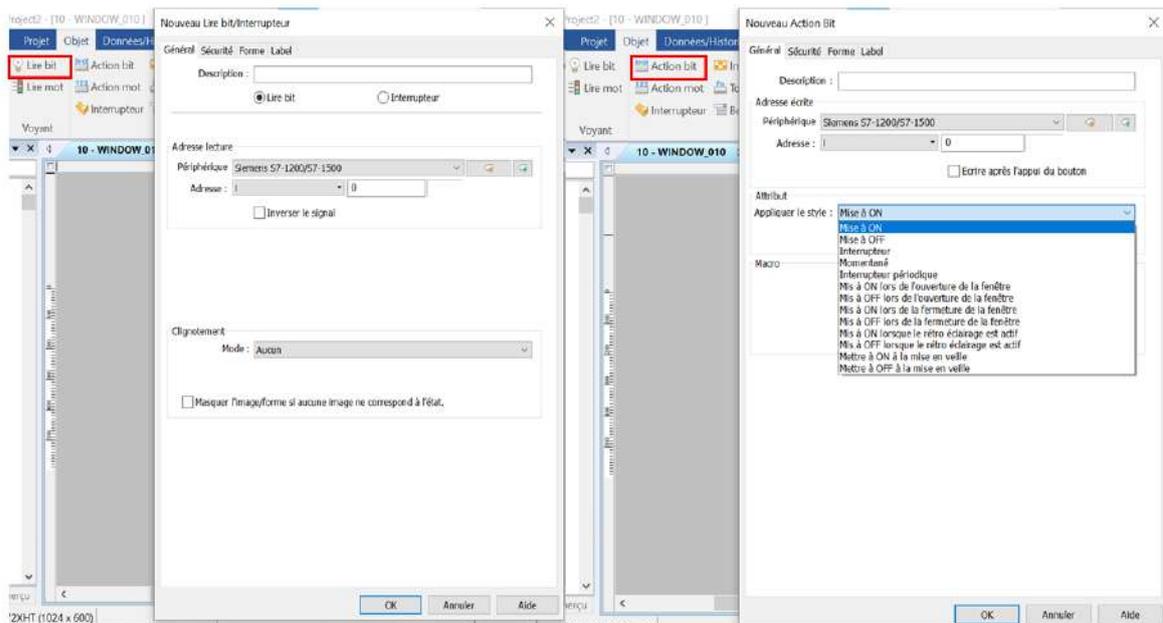


FIGURE 5.11 – Lire bit et action bit (écrire)

5.1.6 Déclaration des alarmes dans EasyBuilder Pro

Pour déclarer les alarmes, nous suivons les étapes suivantes :

1. Accéder à la barre **Données/Historiques**.
2. Sélectionner l'icône **Déclaration des alarmes**.
3. Cliquer sur **Nouveau** pour déclarer une nouvelle alarme (elle peut être de type bit ou de type mot).
4. Configurer les paramètres de l'alarme en sélectionnant le type de périphérique (l'automate), l'adresse de la variable et la condition d'enclenchement de cette alarme.

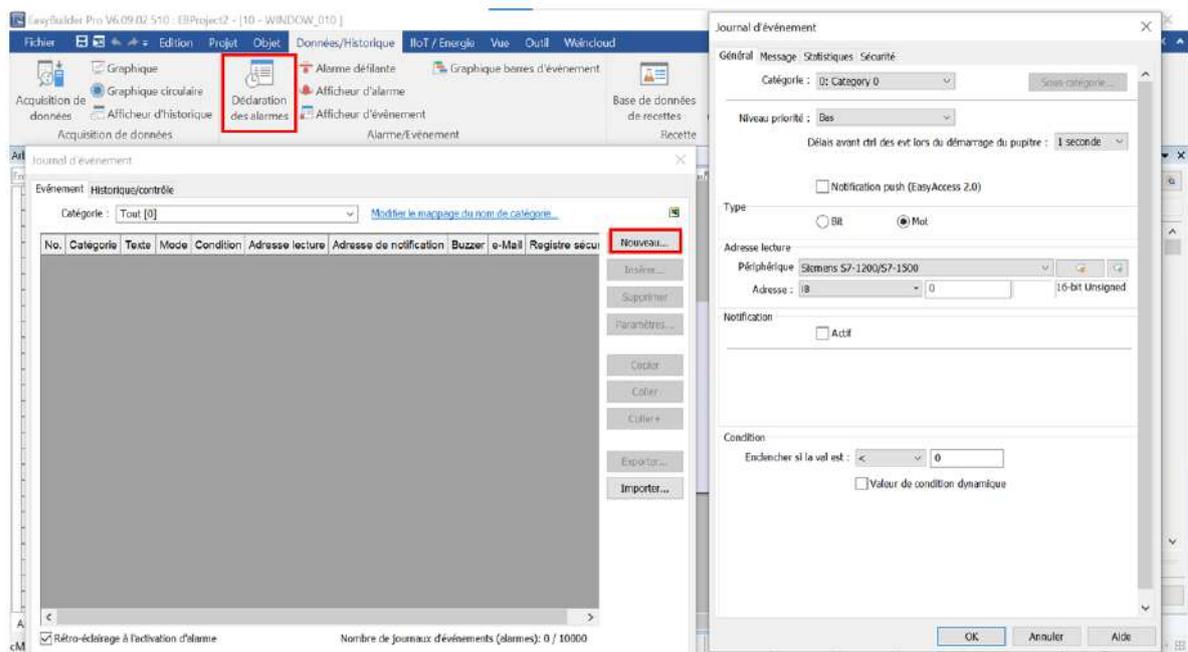


FIGURE 5.12 – déclaration des alarmes

5.1.7 Acquisition des Données

Voici les étapes pour l'acquisition des données dans EasyBuilder Pro :

1. Accéder à la barre **Données/Historiques**.
2. Sélectionner l'icône **Acquisition des données**.
3. Cliquer sur **Nouveau** pour déclarer une nouvelle donnée. Les données sont toujours de type mot.
4. Sélectionner le type du périphérique (l'automate) et l'adresse de la variable.
5. Sélectionner le format de donnée souhaité et cliquer sur **OK**.

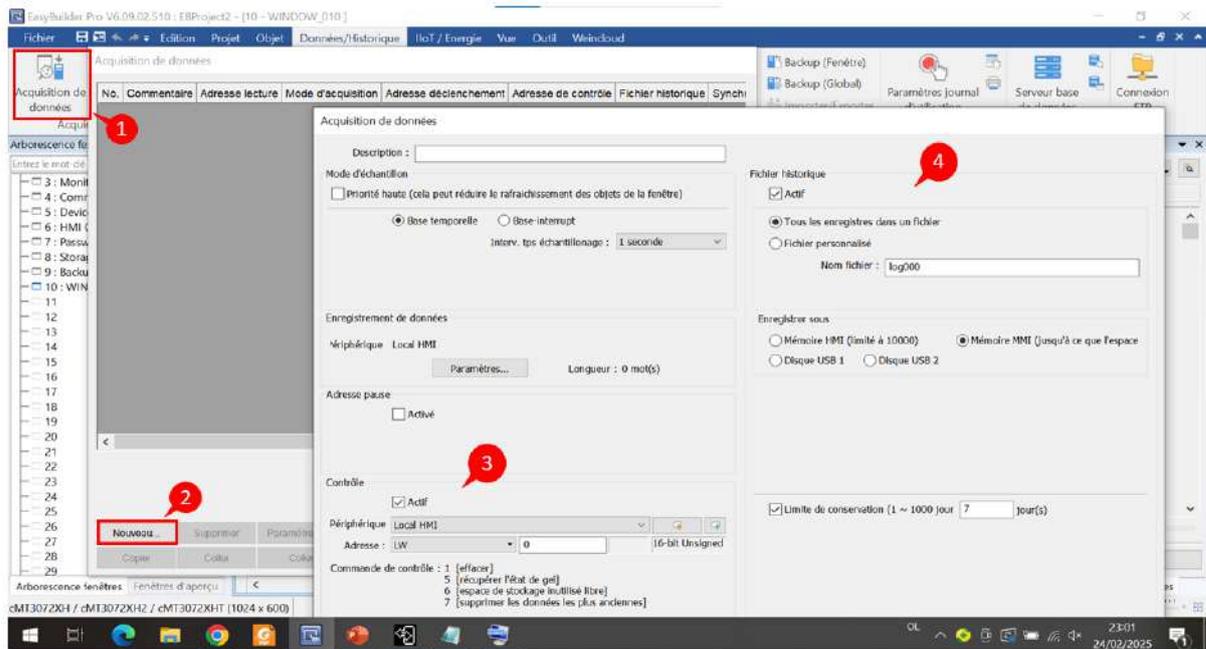


FIGURE 5.13 – Acquisition des Données

5.2 Simulation , Compilation et le Téléchargement dans EasyBuilder Pro

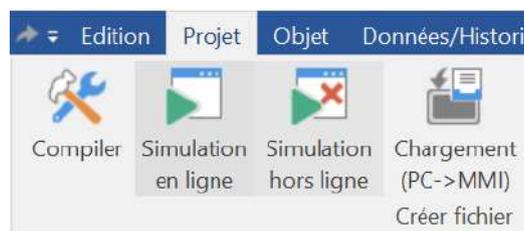


FIGURE 5.14 – simulation

5.2.1 Compilation

Avant toute simulation ou transfert vers l'IHM, il est nécessaire de compiler le projet. L'option **Compiler** vérifie l'ensemble du projet, notamment la cohérence des objets graphiques, des adresses de variables, et des scripts associés. Cela permet de détecter d'éventuelles erreurs ou incohérences avant le déploiement. Une compilation réussie garantit que le projet est prêt à être simulé ou transféré vers l'interface HMI.

Dans EasyBuilder Pro, nous disposons de deux modes de simulation : la simulation en ligne et la simulation hors ligne (offline) :

5.2.2 Simulation en ligne

La simulation en ligne permet de superviser le processus en temps réel, à condition que l'automate soit connecté via l'interface ou le protocole de communication approprié. Cependant, certaines gammes d'API disposent d'un simulateur spécifique, qui permet de simuler en temps réel sans connexion physique à l'automate. Il suffit alors de forcer les entrées du système dans le logiciel de programmation, qui joue le rôle de serveur. Cela permet de tester le fonctionnement de l'interface homme-machine (IHM) en interaction directe avec le programme automate simulé.

5.2.3 Simulation hors ligne

La simulation hors ligne permet de tester l'interface graphique (IHM) sans avoir besoin de connecter l'automate ni d'utiliser un simulateur externe. Ce mode permet de visualiser le comportement de l'IHM, d'interagir avec les objets graphiques (boutons, voyants, champs de saisie, etc.) et de vérifier le bon enchaînement des pages. En revanche, aucune logique automate n'est exécutée dans ce mode. C'est une méthode pratique pour valider l'ergonomie, les liaisons entre objets et les conditions d'affichage, avant de passer à une simulation plus poussée ou au test en conditions réelles.

5.2.4 Chargement dans l'IHM

L'option **Chargement (PC→MMI)** permet de transférer le projet compilé vers le terminal HMI (Man-Machine Interface). Cette opération se fait généralement via un câble USB, un port série ou une connexion Ethernet, selon le matériel utilisé. Une fois le projet chargé, l'interface peut fonctionner de manière autonome, en interaction directe avec l'automate. Cette étape est essentielle pour la mise en service ou les tests sur site.

5.3 conclusion

EasyBuilder Pro s'est révélé être un outil efficace et simple d'utilisation pour la supervision et le contrôle des processus industriels. Il nous a permis de développer des systèmes SCADA performants, assurant une acquisition fiable des données à travers l'ensemble des stations pilotées par des automates industriels, et ce malgré la diversité des protocoles de communication requis.

5.4 Généralité sur les systèmes SCADA

5.4.1 Introduction sur des systèmes SCADA

SCADA, pour Supervisory Control And Data Acquisition, est une technologie qui permet à un utilisateur de collecter des données à partir d'une ou de plusieurs installations distantes et d'envoyer des instructions de contrôle limitées à ces installations .

Un système SCADA permet à un opérateur situé dans un emplacement central d'un processus largement réparti, tel qu'un champ pétrolier ou gazier, un système de pipelines, un système d'irrigation ou un complexe de production hydroélectrique, d'apporter des modifications aux points de consigne des contrôleurs de processus distants, d'ouvrir ou de fermer des vannes ou des interrupteurs, de surveiller les alarmes et de recueillir des informations de mesure.

SCADA englobe l'interface opérateur et la manipulation des données liées aux applications, mais ne se limite pas à cela. SCADA intègre également des éléments tels que les équipements de communication, les protocoles de transmission de données les unités terminales distantes (Remote Terminal Unit RTU), les contrôleurs logiques programmables (Programmable Logic Controller PLC). L'interface opérateurs permet aux utilisateurs de visualiser et d'analyser les données en temps réel, et aussi de recevoir des alarmes et des alertes .

Pour illustrer concrètement l'environnement de contrôle et de surveillance des systèmes SCADA, la Figure ci-dessous présente une image d'une salle de contrôle typique utilisée dans ces installations. [24]



FIGURE 5.15 – scada

5.4.2 L'architecture d'un système SCADA

Les systèmes SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sont structurés autour de trois couches principaux :

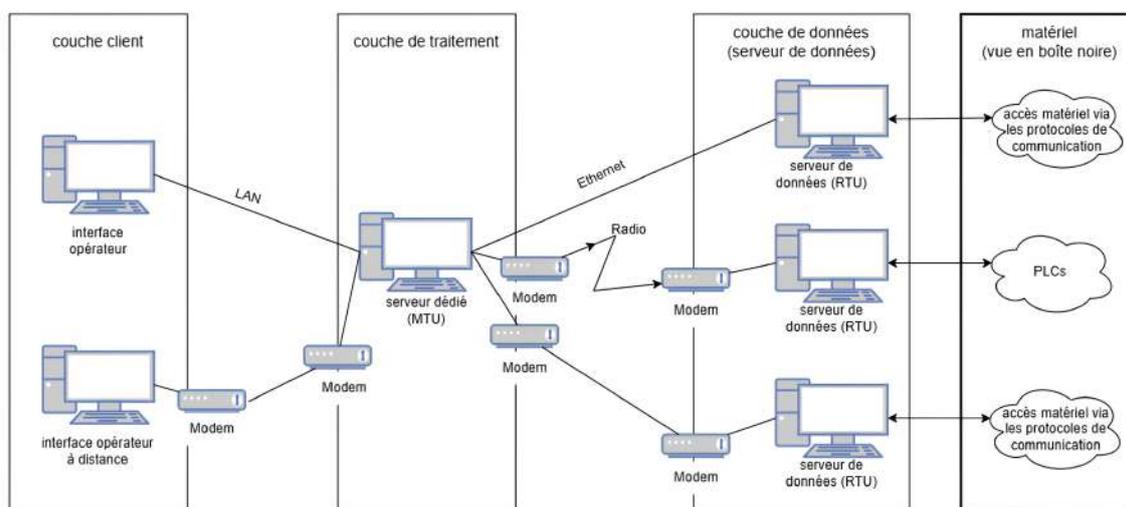


FIGURE 5.16 – architecture d'un système SCADA

Cette architecture illustre les aspects suivants :

- La séparation des couches client, de traitement et de données.
- La distinction entre les composants SCADA et les équipements contrôlés.
- Les différents moyens de communication utilisés pour l'échange de données entre la couche client et la couche de traitement, entre la couche de traitement et la couche de données, et enfin entre la couche de données et le matériel [25]

Nous allons maintenant expliquer les tâches accomplies par chacune des couches.

1. Couche client

Au centre d'un système SCADA se trouvent les opérateurs qui accèdent au système par

le biais d'une interface homme-machine (IHM), également appelée console d'opérateur ou interface utilisateur. La principale tâche de la couche client est d'afficher et de visualiser les informations reçues de la couche de traitement et d'interagir avec l'utilisateur [25]

2. **Couche de traitement**

Après avoir mentionné ce qui précède, il est clair que l'IHM interagit directement avec une unité terminale maître (Master Terminal Unit MTU) qui est située dans la couche de traitement. Les avantages de l'utilisation d'une MTU sont les suivants [25]

- Exécution automatique des tâches sans interaction de l'opérateur,
- Déclenchement d'alertes en cas de dépassement des seuils prédéfinis,
- Réalisation de calculs complexes au niveau du MTU pour éviter la redondance de calculs sur les clients,
- Distribution efficace des données aux clients de manière événementielle afin de minimiser la transmission d'informations via un moyen de communication à faible débit [25]

3. **Couche de données** La couche de serveur de données dans un système SCADA assure la liaison avec le matériel et l'acquisition des données. Les serveurs de données, appelés unités terminales distantes (Remote Terminal Unit RTU), sont connectés aux MTU via différents supports de communication.[25] Ils sont responsables de la collecte des données à partir des équipements matériels tels que les automates programmables (Programable Logic Controller PLC) via des protocoles de communication. [25]

5.4.3 Flux d'information

- **Montée (terrain vers MTU)** : données collectées par les capteurs → RTU → MTU → opérateurs.
- **Descente (MTU vers terrain)** : commandes → RTU → équipements de terrain.

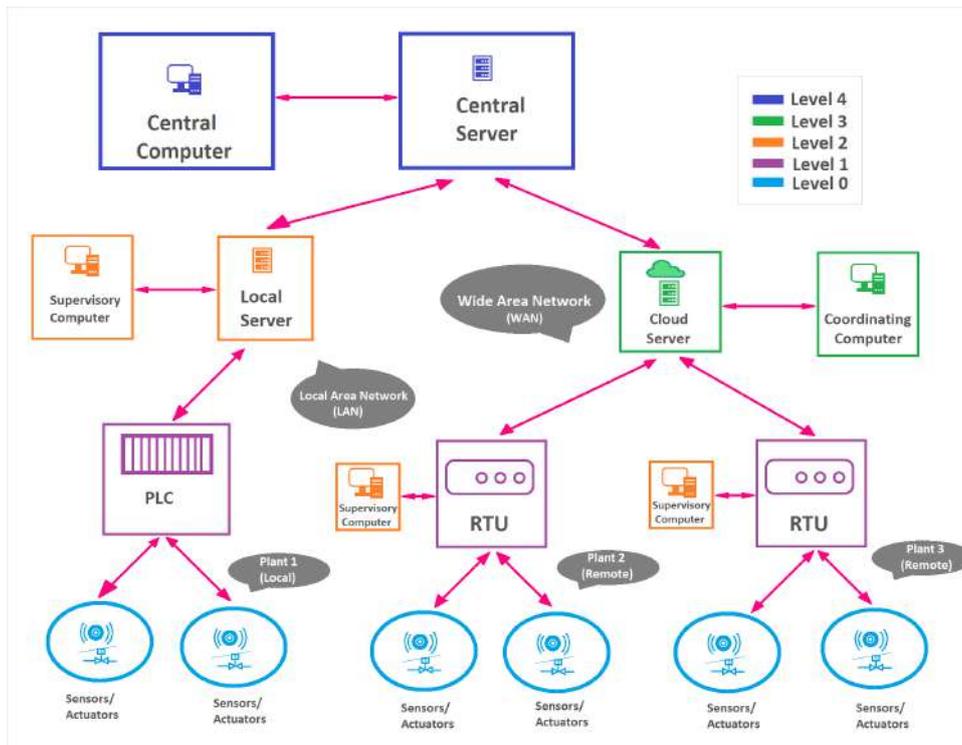


FIGURE 5.17 – structure ascendante d'un système SCADA

[24]

5.4.4 Les protocoles de communication SCADA

La communication joue un rôle crucial dans les systèmes SCADA. Elle permet l'échange de données entre différents éléments du système, tels que les capteurs, les actionneurs, les contrôleurs logiques programmables, les mainframes, les interfaces utilisateur, ...etc. Les systèmes SCADA utilisent des protocoles de communication spécifiques pour créer des connexions entre les différentes unités du système. Les protocoles couramment utilisés sont Modbus, DNP3, Profibus, et CEI 60870-5 [1]

Modbus Modbus est un protocole de communication largement utilisé dans les domaines de l'automatisation industrielle et des systèmes de contrôle supervisés (SCADA). Il a été développé dans les années 1970 par Modicon, une société qui fait maintenant partie de Schneider Electric. ce protocole de communication est conçu pour permettre l'échange de données entre un dispositif maître (tel qu'un ordinateur central ou un serveur SCADA) et des dispositifs esclaves tels que des capteurs, des actionneurs ou des automates programmables

DNP3 DNP3 (Distributed Network Protocol Version 3.3) est une norme de télécommunication utilisée pour la communication entre les stations maîtresses, les RTU et d'autres appareils électroniques intelligents. Il garantit l'interopérabilité dans des domaines tels que l'énergie, le pétrole et le gaz, l'eau et les eaux usées, et la sécurité. DNP3 est conçu pour les systèmes SCADA et se concentre sur la transmission fiable de petits paquets de données avec une déterministe séquence d'arrivée.

Profibus Profibus (Process Field Bus) C'est une norme de réseau en général, utilisé au sein des systèmes de contrôle industriels. Plusieurs systèmes peuvent être utilisés avec la norme Profibus, tels que : le système SCADA, le système numérique de contrôle et de commande, système de contrôle distribué (Distributed Control System DCS), l'automate, l'assemblage et la manipulation des appareils de terrain, le système de contrôle industriel (Industrial Control System ICS)

5.5 Développement d'un système SCADA par Easy Builder pro de Weintek

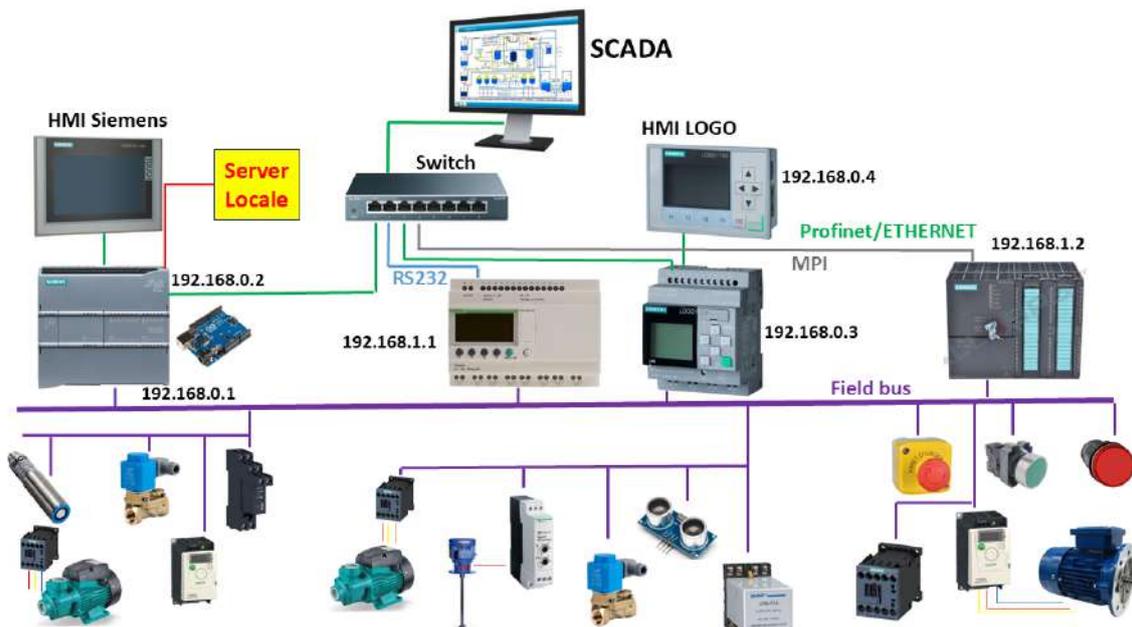


FIGURE 5.18 – SCADA

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) a été développé à l'aide du logiciel EasyBuilder Pro pour la supervision et la commande de trois stations didactiques de pompage. Ces stations sont chacune pilotées par des automates programmables de marques différentes : Siemens S7-1200, Siemens S7-300 et Siemens LOGO! /Schneider Zelio.

FIGURE 5.19 – La page d'accueil

La page d'accueil du système constitue le point d'entrée principal pour l'utilisateur. Elle regroupe les informations essentielles du projet, telles que le titre, les noms de l'étudiant et de

l'encadrant, ainsi que les logos des institutions impliquées. En plus de cet aspect informatif, cette page assure également une fonction de **navigation** grâce à des raccourcis dédiés qui permettent d'accéder rapidement à l'interface de chaque station. ainsi que un accès sécurisée pour le **Login Log out**

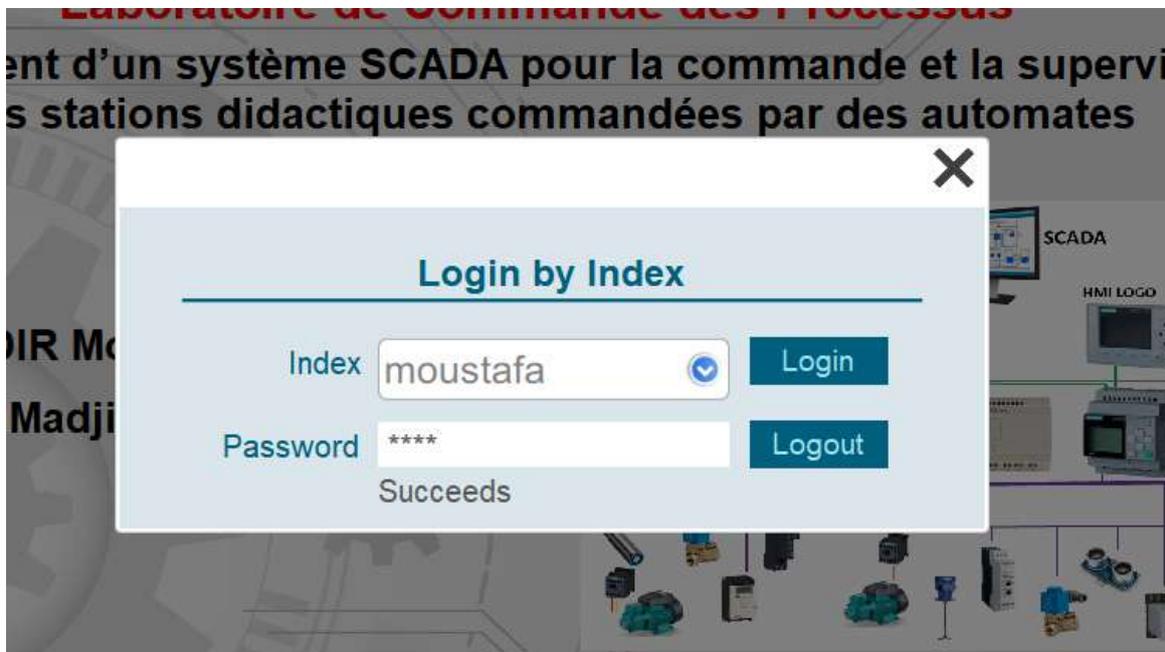


FIGURE 5.20 – Log-in

Flux d'acquisition des données

Avant de rentrer dans les détails techniques, il convient de présenter le **flux d'acquisition des données analogiques** que le système reçoit à chaque période d'échantillonnage.

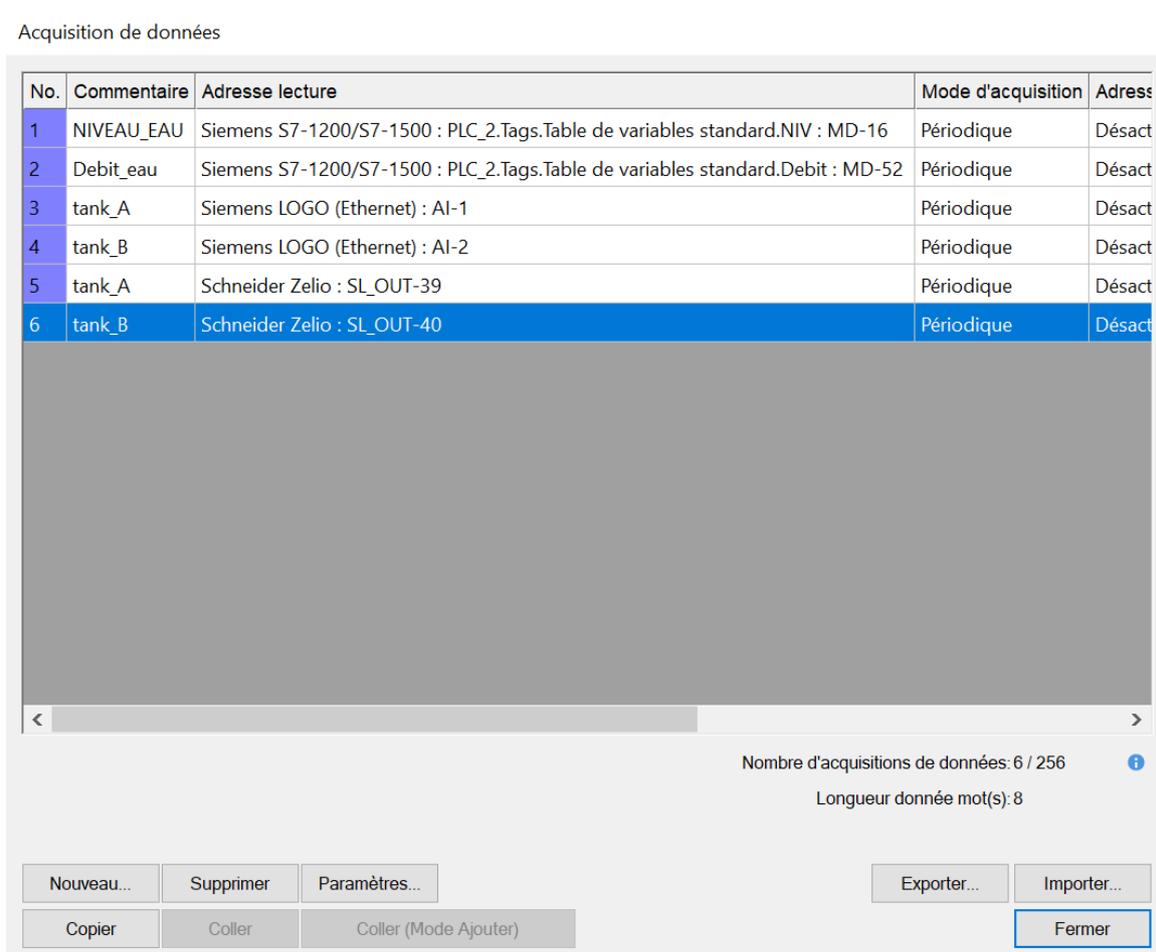


FIGURE 5.21 – acquisition des données système

La figure 5.21 illustre la fenêtre d'acquisition de données dans le logiciel **EasyBuilder Pro**. On y observe la configuration des sources de données analogiques en provenance de différents automates programmables :

- **Siemens S7-1200/S7-1500** : avec lecture périodique des variables analogiques NIVEAU_EAU et Debit_eau, issues des adresses mémoire MD16 et MD52 ;
- **Siemens LOGO** (via Ethernet) : acquisition des niveaux des réservoirs tank_A (AI-1) et tank_B (AI-2) ;
- **Schneider Zelio** : lecture des sorties analogiques SL_OUT-39 et SL_OUT-40, correspondant respectivement à tank_A et tank_B.

Toutes les acquisitions sont configurées en **mode périodique**, ce qui permet une mise à jour automatique et continue des données, garantissant ainsi un suivi en temps réel du système supervisé. Ce mécanisme est essentiel pour assurer la cohérence et la réactivité de l'interface SCADA dans le cadre de la supervision industrielle.

5.5.1 Station simatic s7 1200

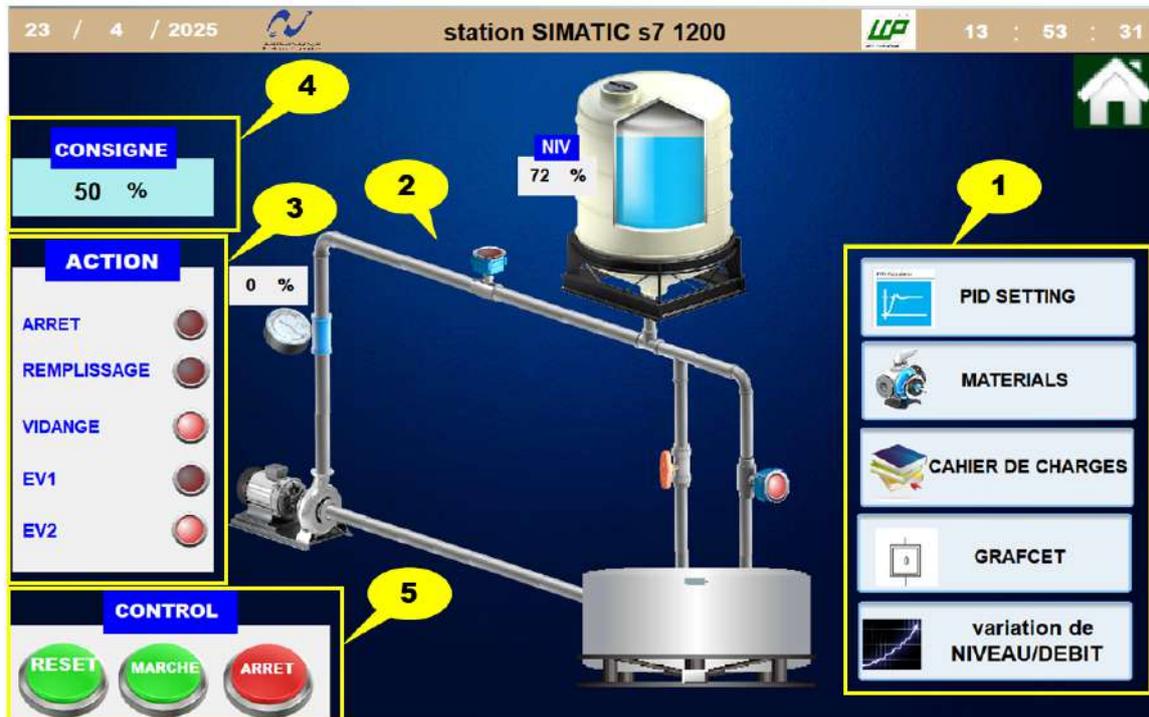


FIGURE 5.22 – interface de station s7 1200

Cette vue montre les différents composants et les informations nécessaires au suivi et au contrôle.

1. Menu principale qui Contient plusieurs boutons d'accès rapide
2. Graphique illustrative de raccordement hydraulique de station
3. des voyants de supervision
4. un section pour saisir la consigne de niveau souhaité
5. boutons de commande

5.6 Options de la station s7 1200

1. **PID setting** : pour ajuster et réguler les paramètres de régulateur PID du système ainsi que pour activer et désactiver les différentes mode de fonctionnement

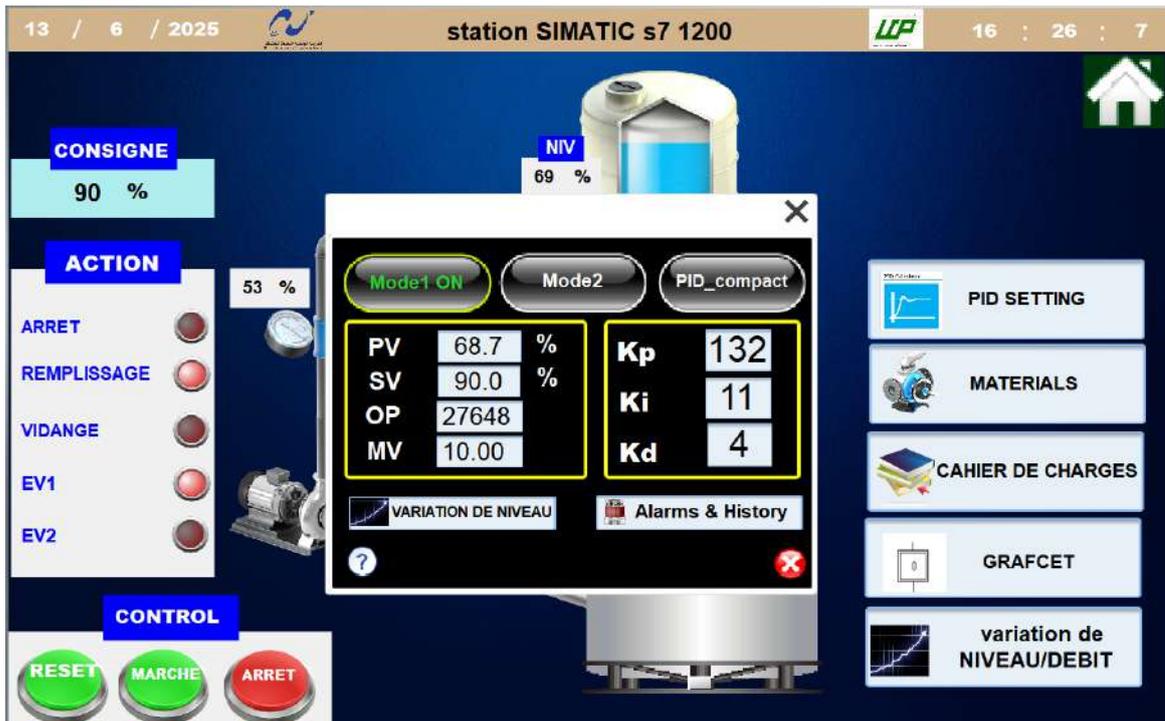


FIGURE 5.23 – vue PID setting

En dessous, on trouve les boutons de navigation **Variation de niveau / Débit**, **Alarme & Historique**, ainsi qu'un bouton **Help** permettant de mieux comprendre certaines normes industrielles (**PV**, **SP**, **OP**, etc.).

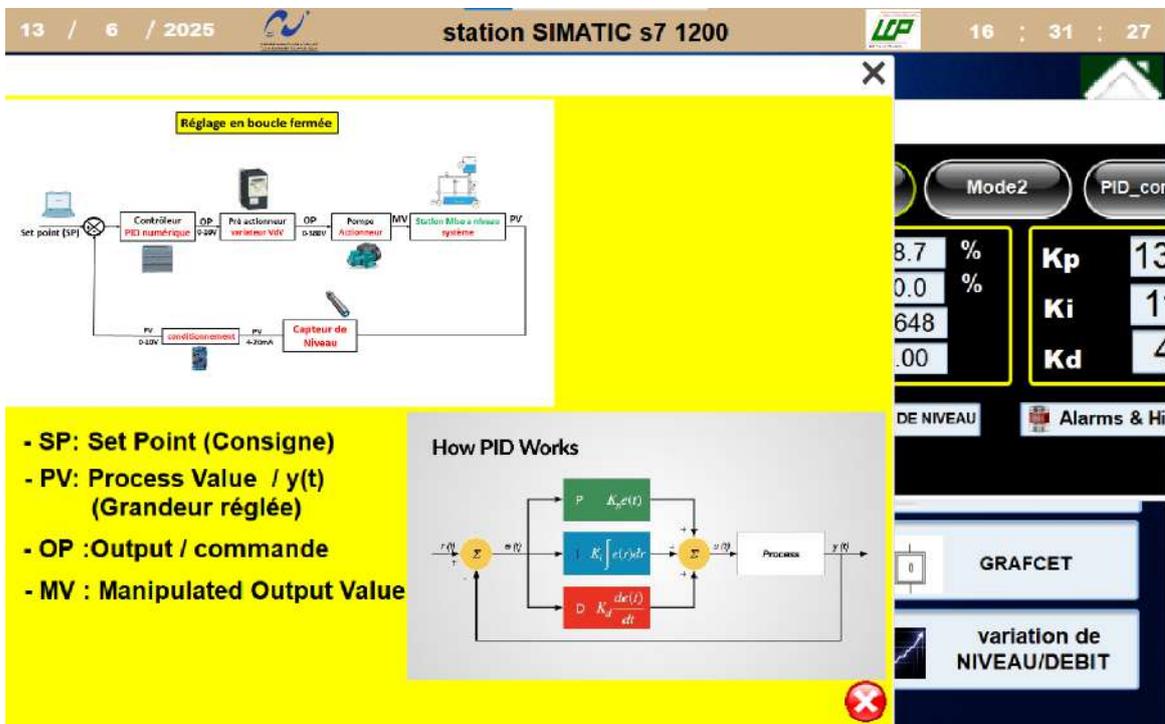


FIGURE 5.24 – vue help PID

2. Materials

Cette vue permet de naviguer le matériels Hydrauliques et électriques utilisées dans la maquette

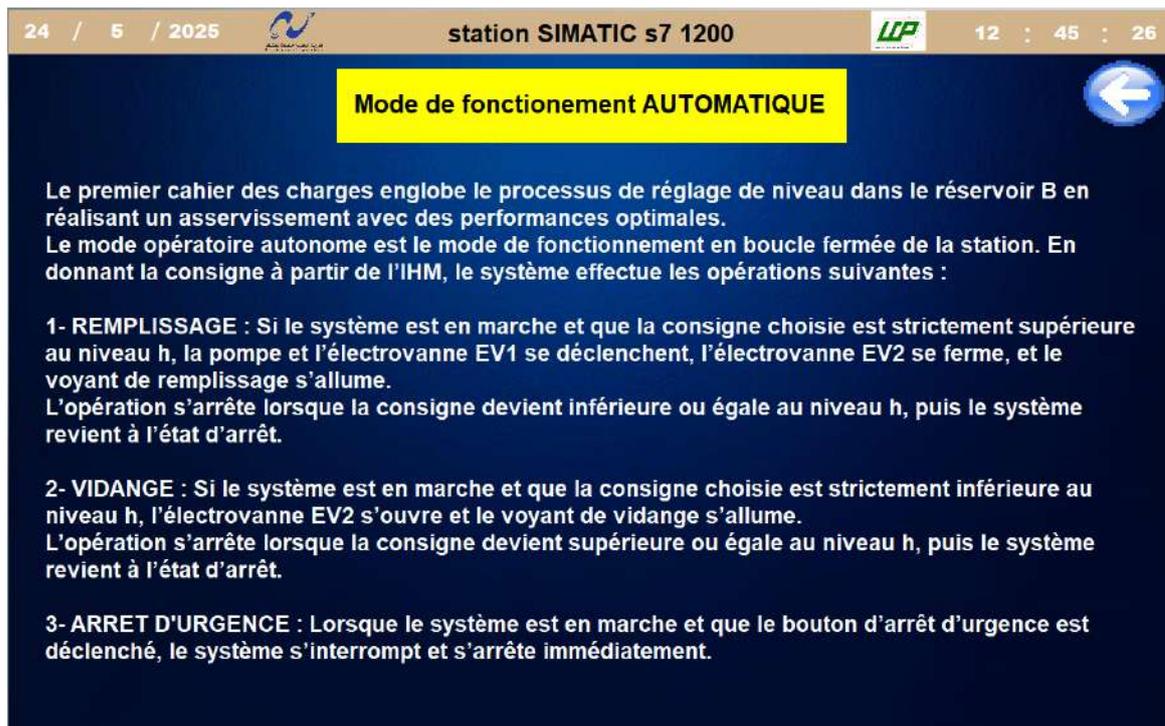


FIGURE 5.27 – cahier de charge fonctionnement AUTOMATIQUE

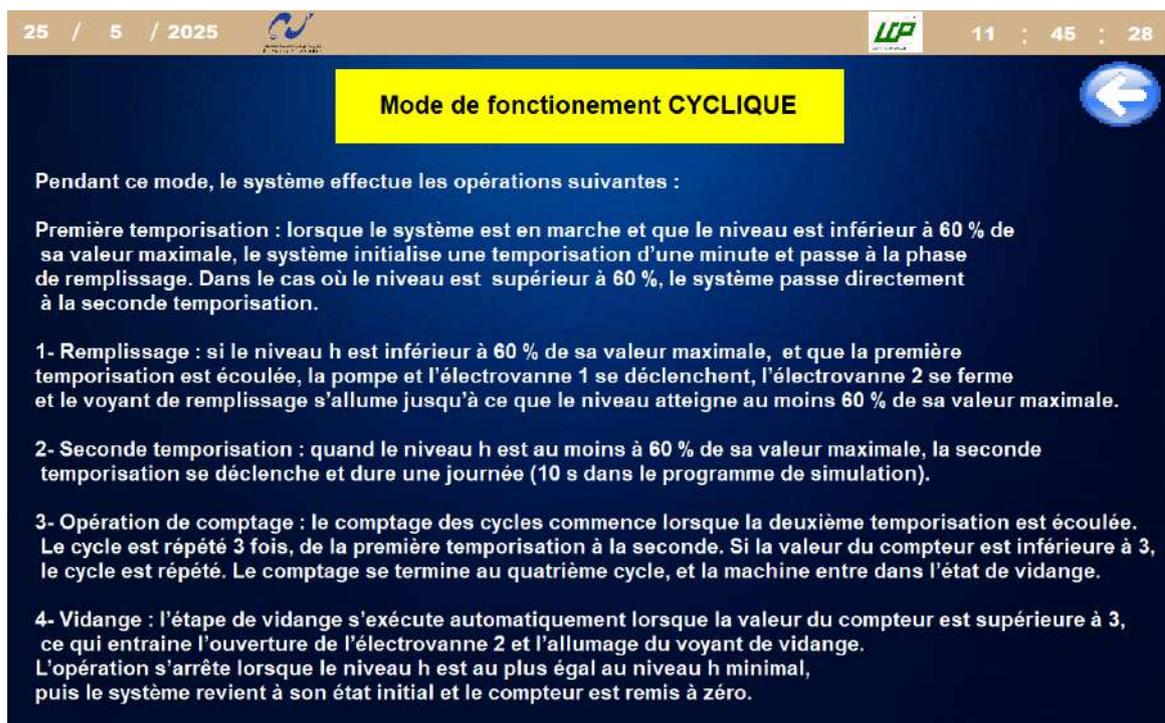


FIGURE 5.28 – cahier de charge fonctionnement CYCLIQUE

4. GRAFCET

Cette vue montre le fonctionnement séquentielle de la station , il nous permet de superviser chaque étapes de notre système

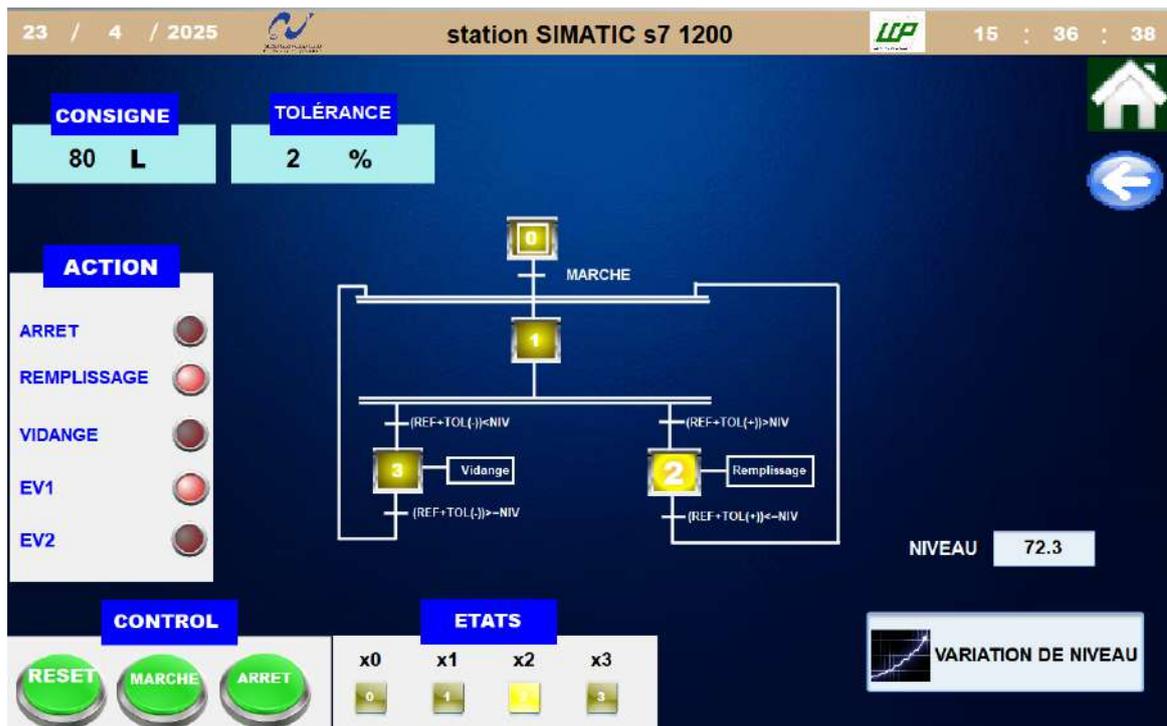


FIGURE 5.29 – grafcet de mode 1

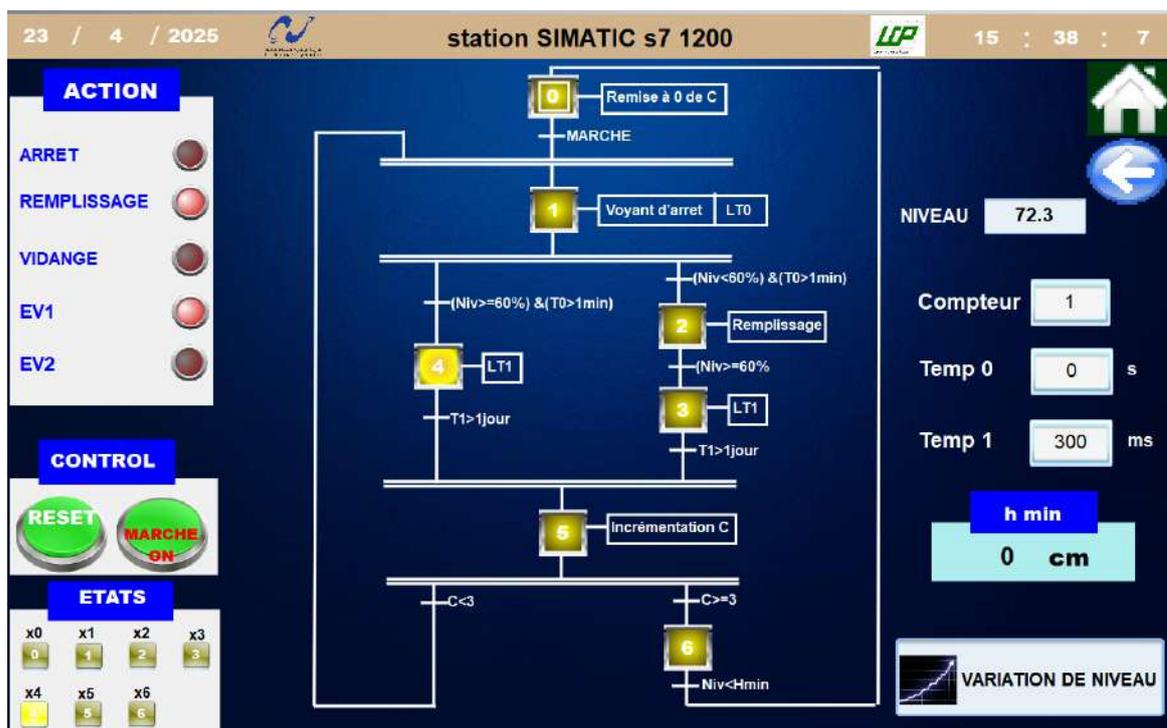


FIGURE 5.30 – grafcet de mode 2

5. variation de NIVEAU/DÉBIT

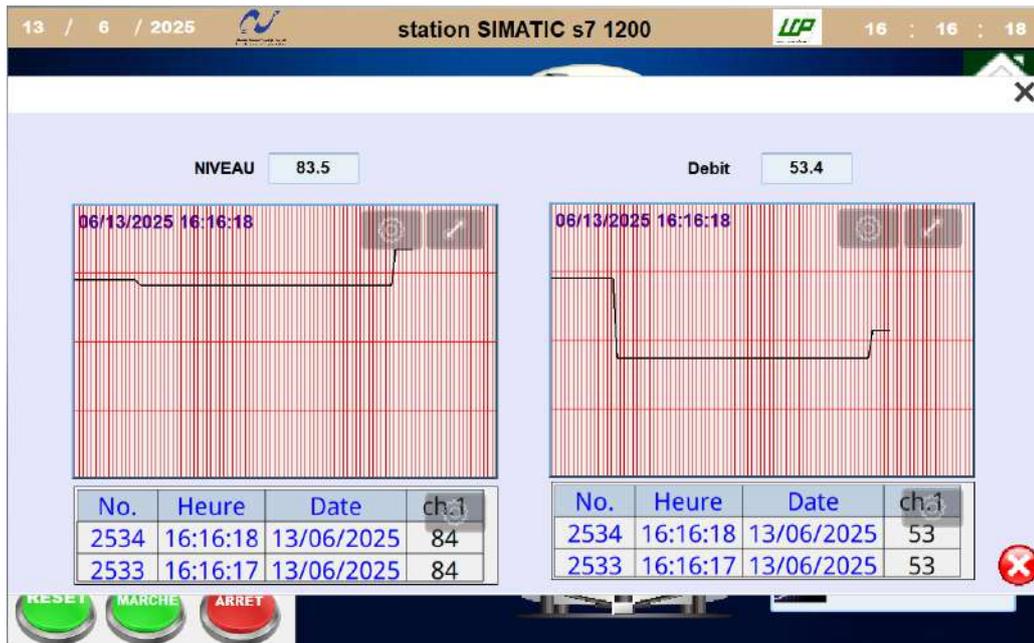


FIGURE 5.31 – vue de supervision niveau/Debit

5.7 Option de la station Zelio/LOGO !

1. Vue graphique de station LOGO !/Zelio

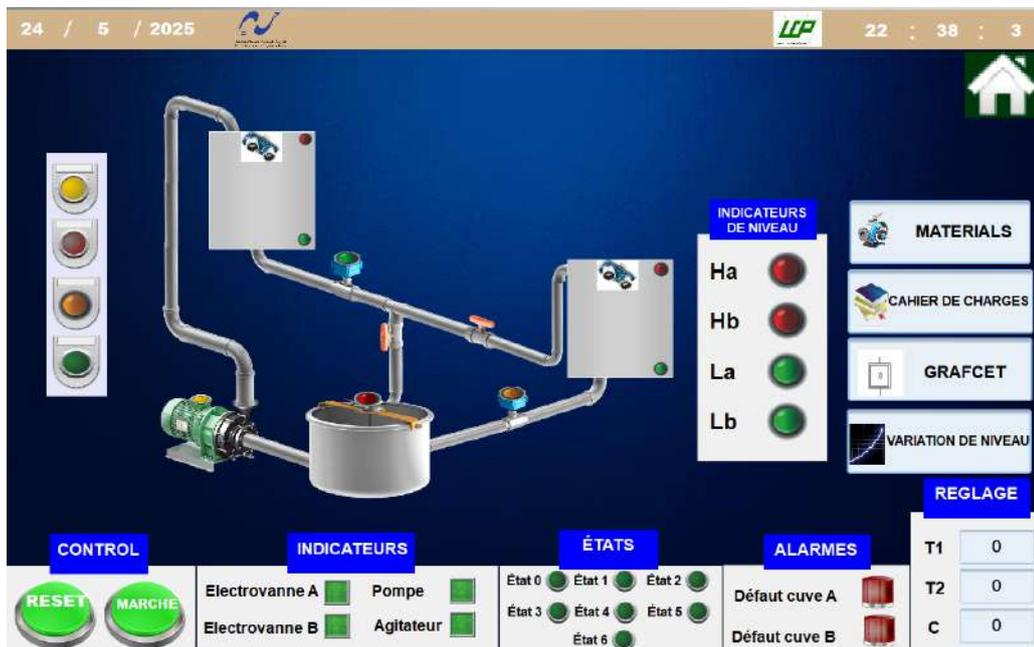


FIGURE 5.32 – Vue graphique de station LOGO !/Zelio

2. Matérielles utilisées



FIGURE 5.33 – Matérielles 1 LOGO!/Zelio

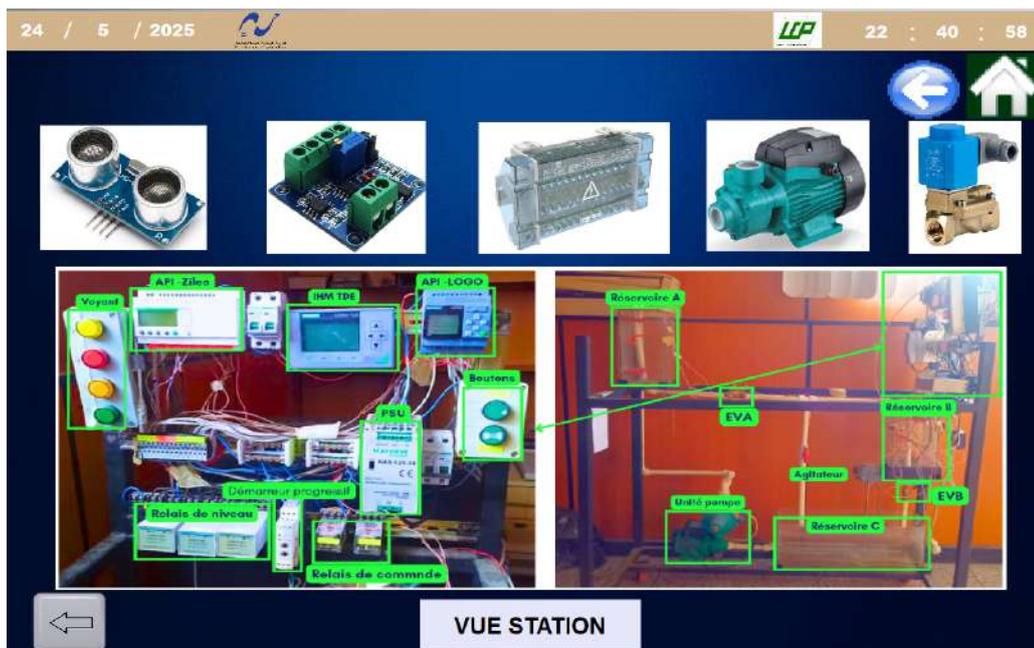


FIGURE 5.34 – Matérielles 2 LOGO!/Zelio

3. Cahier de charge

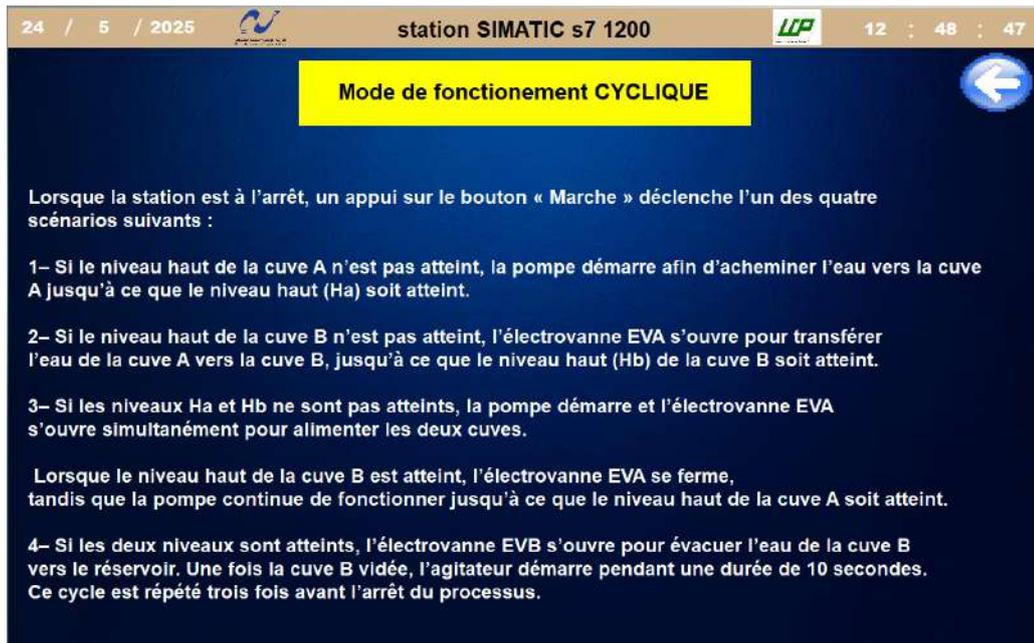


FIGURE 5.35 – cahier de charge

4. **Grafcet** cette vue représente le fonctionnement séquentiel de système afin de faciliter ainsi la compréhension du déroulement logique de notre système.

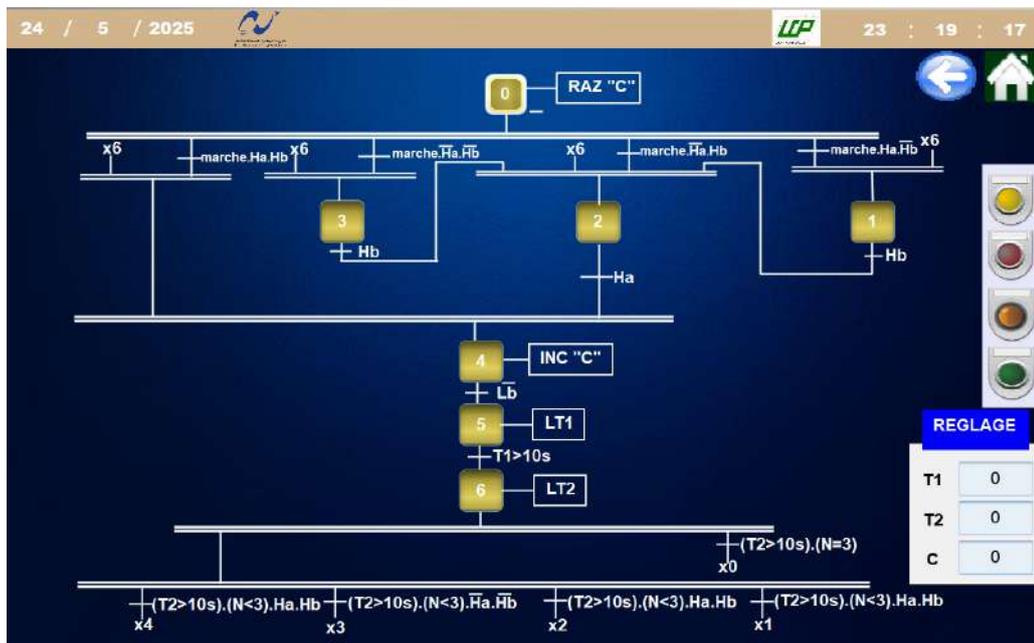


FIGURE 5.36 – Grafcet station LOGO!/Zelio

5.8 Option de la station s7 300

1. **Vue graphique de station s7 300** Dans cette station, nous avons un automate S7-300 qui assure le fonctionnement souhaité d'un moteur à travers un variateur de vitesse commandé par l'automate. On considère que le moteur entraîne une charge constante, que l'on modélisera par un convoyeur électrique, comme illustré dans la vue ci-dessous.



FIGURE 5.37 – Vue graphique de station s7 300

2. Grafcet

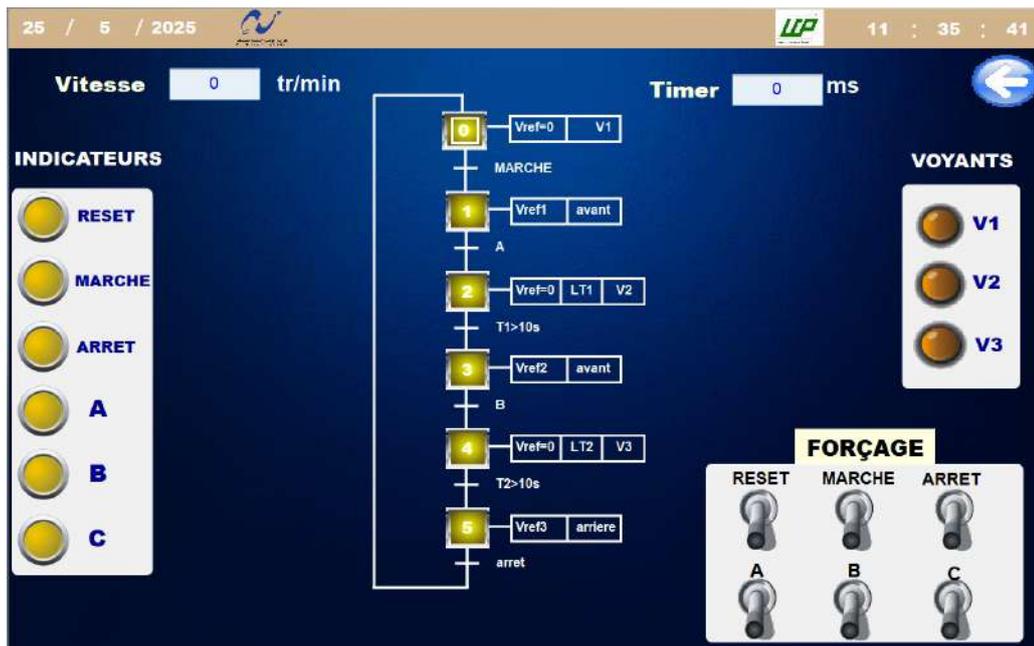


FIGURE 5.38 – Grafcet station s7 300

5.9 commutateur Reseau

Un switch est un dispositif utilisé dans les réseaux informatiques pour connecter plusieurs appareils entre eux. Il permet d'acheminer les données efficacement en établissant des connexions directes entre les dispositifs qui communiquent. [30]

Nous utiliserons ce switch pour connecter les trois stations au système SCADA via des adresses IP différentes attribuées à chaque PLC/HMI.



FIGURE 5.39 – switch

Les protocoles de communication industrielle utilisés

5.10 Ethernet Industriel

5.10.1 Description générale

Ethernet est un protocole de communication basé sur la norme IEEE 802.3. Il est très utilisé dans les réseaux informatiques et adapté au milieu industriel pour relier automates, capteurs, robots, IHM, etc.

5.10.2 Caractéristiques techniques

- Support physique : câble RJ45 (cuivre), fibre optique, sans fil.
- Débit : 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps et plus.
- Topologie : étoile, arbre.
- Distance : jusqu'à 100 m (cuivre), plusieurs km (fibre).
- Protocoles associés : TCP/IP, UDP, Modbus TCP, PROFINET, EtherNet/IP.

5.11 RS232 et RS485

5.11.1 RS232

Caractéristiques

- Communication point à point.
- Débit : jusqu'à 115,2 kbps.
- Distance : max. 15 m.
- 1 maître \iff 1 esclave.

5.11.2 RS485

Caractéristiques

- Communication multipoint (bus).
- Débit : jusqu'à 10 Mbps (selon la distance).
- Distance : jusqu'à 1 200 m.
- Jusqu'à 32 nœuds (voire plus).

5.12 MPI (Multi-Point Interface)

Description générale

MPI est un protocole propriétaire de Siemens utilisé pour la communication entre automates programmables (S7-300/400), PC, pupitres HMI, etc.

Caractéristiques techniques

- Basé sur RS485.
- Débit : 187,5 kbps à 12 Mbps.
- Jusqu'à 32 participants.
- Topologie : Bus multipoint.

Protocole	Type	Débit	Portée max	Communication
Ethernet	Réseau	10 Mbps à 1 Gbps	100 m (cuivre), km (fibre)	Point à point, multipoint
RS232	Série	Jusqu'à 115 kbps	15 m	Point à point
RS485	Série	Jusqu'à 10 Mbps	1200 m	Multipoint (bus)
MPI	Siemens (RS485)	187,5 kbps à 12 Mbps	50–100 m	Multipoint

5.13 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de développer un système SCADA à l'aide du logiciel EasyBuilder Pro de Weintek, afin de visualiser, commander et superviser le fonctionnement des trois stations. Pour cela, une communication entre toutes les stations a été mise en place à l'aide d'un switch réseau, en s'appuyant sur un protocole adapté, permettant ainsi l'acquisition centralisée des données.

Conclusion générale

Ce projet de développement d'un système SCADA nous a permis d'acquérir de nombreuses compétences techniques relatives aux automates programmables industriels, ainsi qu'une maîtrise approfondie des logiciels de programmation et des méthodologies d'implémentation.

Cette réalisation nous a offert l'opportunité d'appliquer concrètement nos connaissances en régulation des processus industriels à travers le logiciel TIA Portal, où nous avons développé et implémenté un bloc PID. Le logiciel TIA Portal met à disposition un bloc PID_Compact intégrant une fonction d'optimisation **Pre/Fine Tuning** permettant l'ajustement précis des paramètres \mathbf{K}_c , \mathbf{T}_d et \mathbf{T}_i du régulateur PID.

Chaque station comprend une armoire électrique équipée principalement d'un automate programmable et d'un variateur de vitesse nécessitant une configuration spécifique. Cette exigence implique la réalisation de schémas électriques avec un raccordement matériel rigoureusement défini, ce qui nous a permis de développer nos compétences en dépannage (*troubleshooting*) et d'affiner notre capacité d'analyse critique des circuits et des câblages.

Nous avons également mené une étude comparative entre la régulation en boucle fermée et la régulation en cascade, en tenant compte des limitations du matériel utilisé et de la fiabilité des capteurs (débitmètre, capteur ultrason, capteur de niveau, conditionnement et convertisseur I/U, etc.).

Ce projet nous a ainsi permis de consolider nos acquis théoriques par une approche pratique et professionnelle, tout en développant notre autonomie technique et notre capacité à résoudre des problématiques industrielles complexes.

Perspectives

L'objectif de ce projet est d'améliorer l'automatisation du procédé et de développer des compétences en commande des procédés industriels. Cependant, comme toute manipulation pratique, certaines limites peuvent affecter les performances du système. Parmi ces limitations, on peut citer :

- La chaîne de conditionnement des signaux provenant des capteurs (capteur de niveau, débitmètre, arduino) joue un rôle essentiel dans la fiabilité des données mesurées. Une mauvaise qualité de ces signaux peut entraîner une régulation inefficace.
- Il existe de nombreuses différences entre les systèmes SCADA utilisés à grande échelle dans l'industrie et les maquettes pédagogiques composées uniquement d'actionneurs et de capteurs à des fins éducatives ou académiques. Ces maquettes, bien que très utiles pour l'apprentissage, ne permettent pas toujours de reproduire fidèlement les contraintes, la complexité et les performances des systèmes industriels réels.

Il serait pertinent d'étendre ce travail à l'échelle industrielle afin de confronter l'approche de régulation développée à des contraintes concrètes, notamment dans des secteurs comme la pétrochimie ou l'hydraulique, où les procédés sont plus complexes, les dynamiques plus lentes ou plus rapides, et les exigences en termes de robustesse et de sécurité plus élevées.

On peut envisager l'application des notions d'identification des procédés (IDP) afin d'obtenir un modèle mathématique (par exemple selon les méthodes de Strejc ou Broïda) du système étudié. Sur cette base, il devient alors possible de recourir à des méthodes de synthèse systématique de commande (placement de pôles, LQR, etc.) pour déterminer de manière rigoureuse les gains optimaux du régulateur PID.

Concernant la station 3 du S7-300, nous proposons l'ajout d'un (tachymètre/encodeur/ capteur de position) sur le rotor du moteur afin de permettre la mesure en temps réel de la vitesse de sortie. Cette information permettrait d'implémenter une boucle fermée de régulation de vitesse, en comparant la vitesse de référence imposée avec la vitesse mesurée

Bibliographie

- [1] Gordon Clarke, Deon Reynders, *Practical Modern SCADA Protocols : DNP3, 60870.5 and Related Systems*, 2004, p.66.
- [2] Siemens, *Caractéristiques techniques SIMATIC S7-1200*. Disponible en ligne : <https://www.automation24.fr/siemens-cpu-1214c-6es7214-1ag40-0xb0>
- [3] Amel HAMDI CHERIF, Imane MAYOUF, *Commande et supervision d'une station de pompage à base d'automates programmables*, PFE Automatique 2018 , ENP
- [4] Siemens, *Caractéristiques techniques de module SM 1232*. Disponible en ligne : <https://media.automation24.com/datasheet/fr/6ES72324HD320XB0.pdf>
- [5] Hichem ZAYANI, Walid CHEBBI, Youssef AGREBI ZORGANI, *Banc didactique de régulation PID niveau-débit en cascade par API*. Disponible en ligne : https://www.researchgate.net/publication/367743428_Didactic_Level-flow_rate_PID_cascade_control_training_bench_by_PLC_Banc_didactique_de_regulation_PID_niveau-debit_en_cascade_par_API
- [6] Siemens, *Caractéristiques alimentation PSU 100S*. Disponible en ligne : <https://mall.industry.siemens.com/mall/fr/fr/Catalog/Product/6EP1334-2BA20>
- [7] Amar TIOURGUIOUINE, Mohamed Hocine SOUMATIA, *Réalisation d'une armoire à variateur de vitesse commandé par automate programmable*, PFE Electrotechnique 2019, ENP
- [8] Siemens, *Caractéristiques techniques contacteur Siemens*. Disponible en ligne : <https://fr.rs-online.com/web/p/contacteurs/7061122>
- [9] ENG, *Caractéristiques techniques de disjoncteur*. Disponible en ligne : https://energical.com/fr/produit/disjoncteur-bipolaire-ecb3-bp-25/?srsltid=AfmB0oqCXgDHPNACPQbBYhkVUEHmBGqWgkDJBSs0EciDJRNV19iSJo_k
- [10] Siemens, *Caractéristiques techniques microcontrôleur*. Disponible en ligne : https://www.wikidebrouillard.org/wiki/Item:Arduino_Uno
- [11] Mohamed Amine KOUSSA, Mohamed Ramzi BOUZA, *Commande, Simulation et Supervision d'un prototype de station de pompage avec Automate Programmable Industriel SIEMENS S7-1200*, PFE Automatique 2021. ENP
- [12] Siemens, *Caractéristiques techniques alimentation redresseur Phoenix*. Disponible en ligne : <https://us.rs-online.com/product/phoenix-contact/2902994/70518405/>
- [13] Siemens, *Caractéristiques techniques S7-300 CPU 314 IFM*. Disponible en ligne : <https://www.all4sps.com/SIMATIC-S7-300-SIMATIC-CPU-314-IFM-COMPACT-CPU-6ES7314-5AE03-0AB0>
- [14] *TIA Portal Blocks Organization*. Disponible en ligne : <https://www.ltiengenharia.com.br/2021/02/16/plcs-siemens-ob-fc-fb-e-db/>
- [15] BOUZID Osema, *Développement d'un système SCADA pour la supervision de deux stations de pompage à base du système KEPServerEX*, PFE Automatique 2023, ENP

- [16] *Variateur de vitesse Altivar 312*. Disponible en ligne : <https://www.bectrol.com/DATA/media/2023/06/ATV312-PROGRAMMATION.pdf>
- [17] *Variateur de vitesse Altivar 312 Description*. Disponible en ligne : <https://blog.formatis.pro/altivar-312/>
- [18] *TIA Portal Description*. Disponible en ligne : <https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/tia-portal-le-logiciel-tout-en-un.html>
- [19] *Cours L3 Régulation électromécanique*. Disponible en ligne : https://fac.umc.edu.dz/fstech/cours/elt/L3_cours_regulation_electromecanique.pdf
- [20] *PID Compact*. Disponible en ligne : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/401/100746401/att_984768/v1/100746401_S71x00_PidCompact_DOC_V2.0_en.pdf
- [21] *PID Compact Document*. Disponible en ligne : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/036/108210036/att_74026/v1/s71500_pid_control_function_manual_frFR_fr-FR.pdf
- [22] *Vidéo YouTube : TIA Portal archivage des données sur S7-1200*. Disponible en ligne : <https://www.youtube.com/watch?v=Tp7FGDRu5z4&t=1259s>
- [23] *Serveur Web Siemens*. Disponible en ligne : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/560/59193560/att_109203/v1/s71500_webserver_function_manual_fr-FR_fr-FR.pdf
- [24] Tarek CHERIFI, *Développement d'un protocole SCADA temps réel sécurisé à base de l'IEC 60870-5-101*. Disponible en ligne : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/560/59193560/att_109203/v1/s71500_webserver_function_manual_fr-FR_fr-FR.pdf
- [25] BELHASSANI Yasmine, SOLTANI Ourida, *Développement d'une passerelle Modbus RTU/Modbus TCP pour communication SCADA sécurisée*.
- [26] Siemens LOGO, *Manuel logiciel LOGO Comfort*. Disponible en ligne : https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82565/v1/Logo_f.pdf
- [27] Siemens LOGO, *Manuel logiciel LOGO Comfort*. Disponible en ligne : https://media.automation24.com/manual/fr/109826499_logo_system_manual_fr-FR_fr-FR.pdf
- [28] Schneider Zelio, *Notice d'utilisation de l'automate Zelio*. Disponible en ligne : <https://electrotoile.eu/automate-zelio-logic-2-schneider.php>
- [29] Chaïb Ibtissam, *Étude et mise au point d'une boucle de régulation de niveau en cascade avec le débit dans la station didactique FESTO*. Disponible en ligne : <https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/3288/1/CHAIB.Ibtissem.pdf>
- [30] *Switch réseau*. Disponible en ligne : <https://www.appvizer.fr/magazine/services-informatiques/gestion-informatique/switch-glossaire>
- [31] *Méthode de Ziegler-Nichols pour la paramétrisation du PID*. Disponible en ligne : <https://energycrew.org/methode-de-ziegler-nichols-pour-la-parametrisation-du-pid/>
- [32] Freddy Mudry, *Ajustage des paramètres des régulateurs PID*. Disponible en ligne : https://freddy.mudry.org/public/NotesApplications/NAPidAj_06.pdf
- [33] *PID Control with PID Compact SIMATIC S7-1200*. Disponible en ligne : https://asutp.org/S7-1200/100746041_s7-1200_pid_compact_doku_v1d0_en.pdf
- [34] *Cascade Control*. Disponible en ligne : [https://www.et.byu.edu/~tom/classes/436/ClassNotes/Class34\(Cascade%20Control\).pdf](https://www.et.byu.edu/~tom/classes/436/ClassNotes/Class34(Cascade%20Control).pdf)

ANNEXE A : Variateur de vitesse altivar 312 Schneider Electric

A.1 Variateur de vitesse

A.1.1 Définition

Un variateur de vitesse permet de modifier la fréquence d'alimentation d'un moteur électrique, ce qui permet de réguler sa vitesse de rotation. Dans le cas des moteurs asynchrones, cette variation se fait souvent par modulation de largeur d'impulsions (MLI). Le fonctionnement d'un variateur dépend du type de moteur qu'il commande : synchrone ou asynchrone. Les variateurs proposés par la marque WEG, par exemple, sont reconnus pour leur format compact et leur installation simplifiée.

A.1.2 Constitution d'un variateur

Un variateur de fréquence (VFD) est conçu pour répondre aux besoins croissants du secteur industriel. Il est généralement constitué de trois parties principales :

- **Le redresseur** : il transforme la tension alternative d'entrée en tension continue, souvent à l'aide d'un pont de diodes.
- **Le bus continu (ou liaison CC)** : il sert à stabiliser la tension continue et à filtrer les perturbations.
- **L'onduleur** : composé de transistors IGBT, il reconvertit la tension continue en tension alternative modulée en fréquence et en amplitude selon les besoins de l'utilisateur, grâce à la MLI.

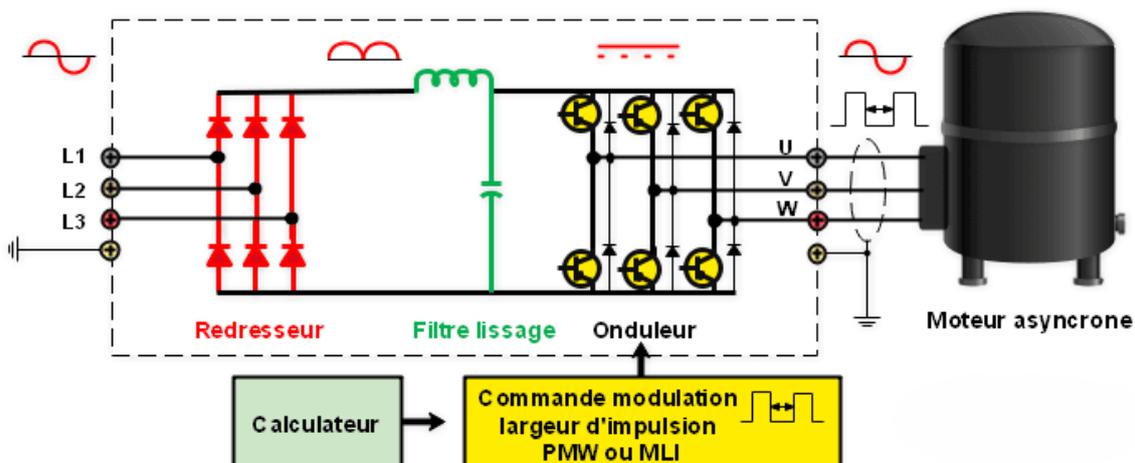


FIGURE A.1 – constitution de VdV

Dans l'industrie moderne, les moteurs électriques basse tension sont souvent associés à des convertisseurs de fréquence à MLI, devenant des composants essentiels entre la source d'énergie et les moteurs à induction.

A.2 variateur Altivar 312 de schneider electric

Le variateur Altivar 312 est un convertisseur de fréquence pour des moteurs asynchrones triphasés 200...600 V de 0,18 à 15 kW. Le variateur Altivar 312 est robuste, compact et facile à installer. Ses fonctions intégrées sont particulièrement adaptées pour répondre aux applications de machines industrielles simples.

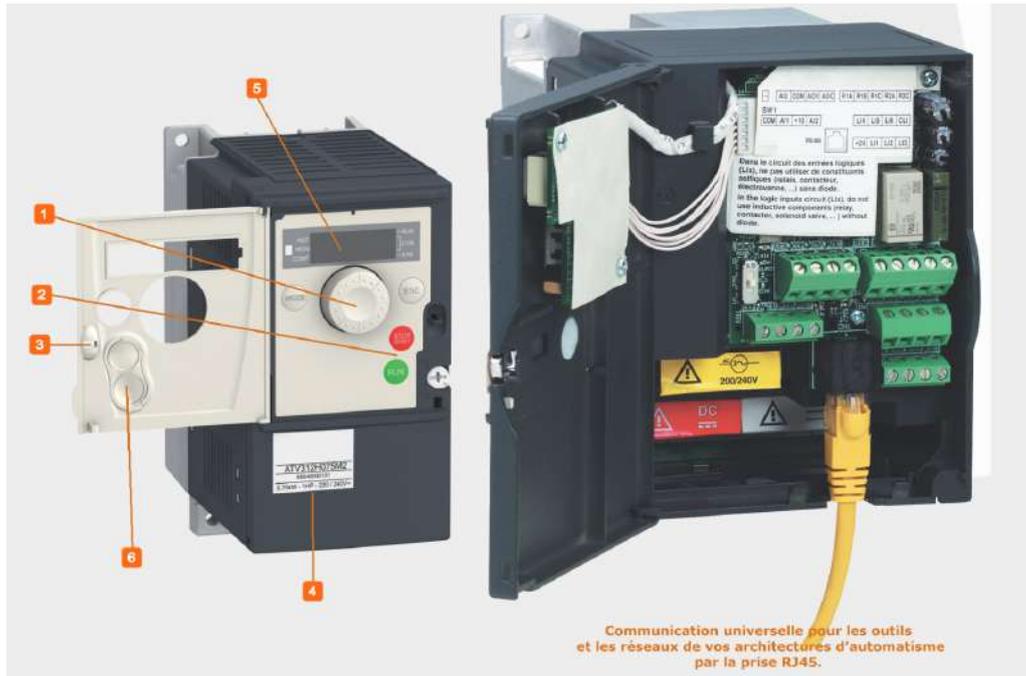


FIGURE A.2 – ATV 312

1. Bouton de navigation simplifiée : Il permet de naviguer dans les menus, de modifier les valeurs et de modifier la vitesse du moteur en mode local.
2. Commandes Marche-Arrêt : Les touches “RUN” et “STOP/RESET” permettent de commander la marche et l'arrêt du moteur en mode local. Ces deux touches peuvent être rendues accessibles en face avant en ôtant l'obturateur (6) de la porte.
3. Verrouillage possible par plombage.
4. Zone de marquage.
5. Afficheur à 4 digits permet d'afficher les états, les défauts et les valeurs des paramètres du variateur.

Le variateur Altivar 312 intègre en standard les protocoles de communication Modbus et CANopen. Ils sont accessibles par la prise de type RJ45 située sous le variateur.

En complément aux protocoles Modbus et CANopen accessibles en standard, le variateur Altivar 312 peut se connecter sur les principaux bus et réseaux de communication industriels en remplaçant la carte entrées/sorties de contrôle du variateur par l'une des cartes de communication disponibles en option : CANopen Daisy chain (chaînage), DeviceNet, PROFIBUS DP. Le réseau Modbus TCP et le bus Fipio sont également accessibles via des passerelles dédiées

A.3 Schéma de câblage

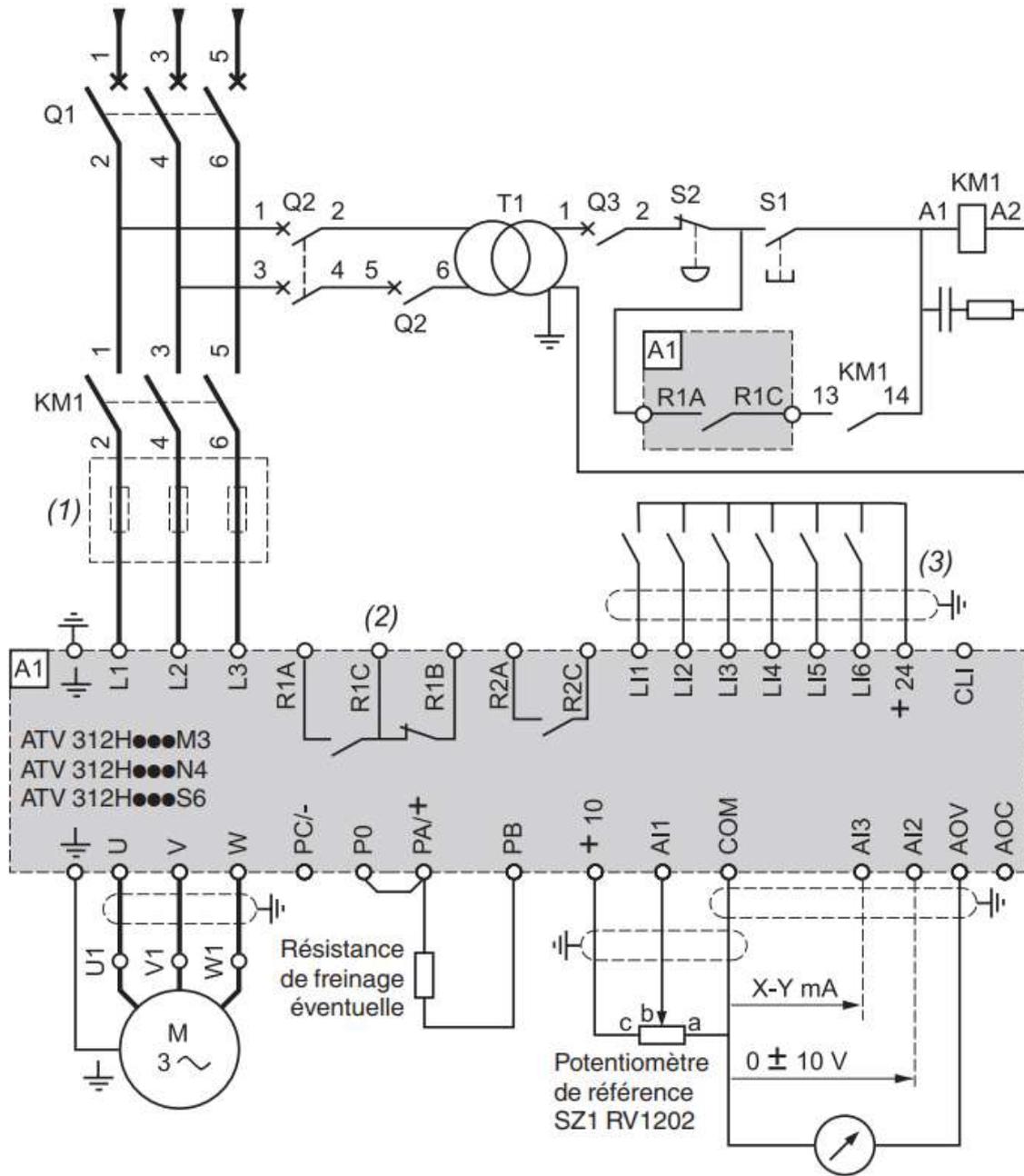


FIGURE A.3 – Schéma de câblage monophasée

[?]

Fonction	Bornier	Caractéristiques
Sources internes disponibles	—	Protégées contre courts-circuits - 10V pour le potentiomètre de consigne (2,2 à 10 kW), débit maximal 10 mA - 24V pour les entrées logiques de commande débit maximal 100 mA.

Fonction	Bornier	Caractéristiques
Entrées analogiques	AI1, AI2, AI3	Tension : 0-10 V (AI1), 10V (AI2), courant : 0-20 mA (AI3), résolution 10 bits, précision $\pm 0,4\%$
Sorties analogiques	AOV, AOC	0-10 V (AOV) ou 0-20 mA (AOC), résolution 8 bits, précision $\pm 1\%$
Sorties à relais	R1A, R1B, R1C, R2A, R2B	Contact NO/NC, 5 A max, 250 V AC max, durée de commutation <10 ms
Entrées logiques	LI1...LI6	6 entrées, 24 V, temps de réponse <4 ms, impédance 3,5 k Ω
Protocole disponible	Modbus/CANopen	- connecteur de type RJ45 - interface physique : RS485 - Mode de transmission : RTU

TABLE A.1 – Caractéristiques électriques de contrôle

[17]

A.4 Configuration Locale à travers le panneau de commande de l'ATV 312

Le panneau de commande sert au paramétrage, à la commande et à la surveillance de variateur et moteurs directement au pied de l'appareil. Il fait partie de l'appareil en version de base

Fonctions de l'afficheur et des touches

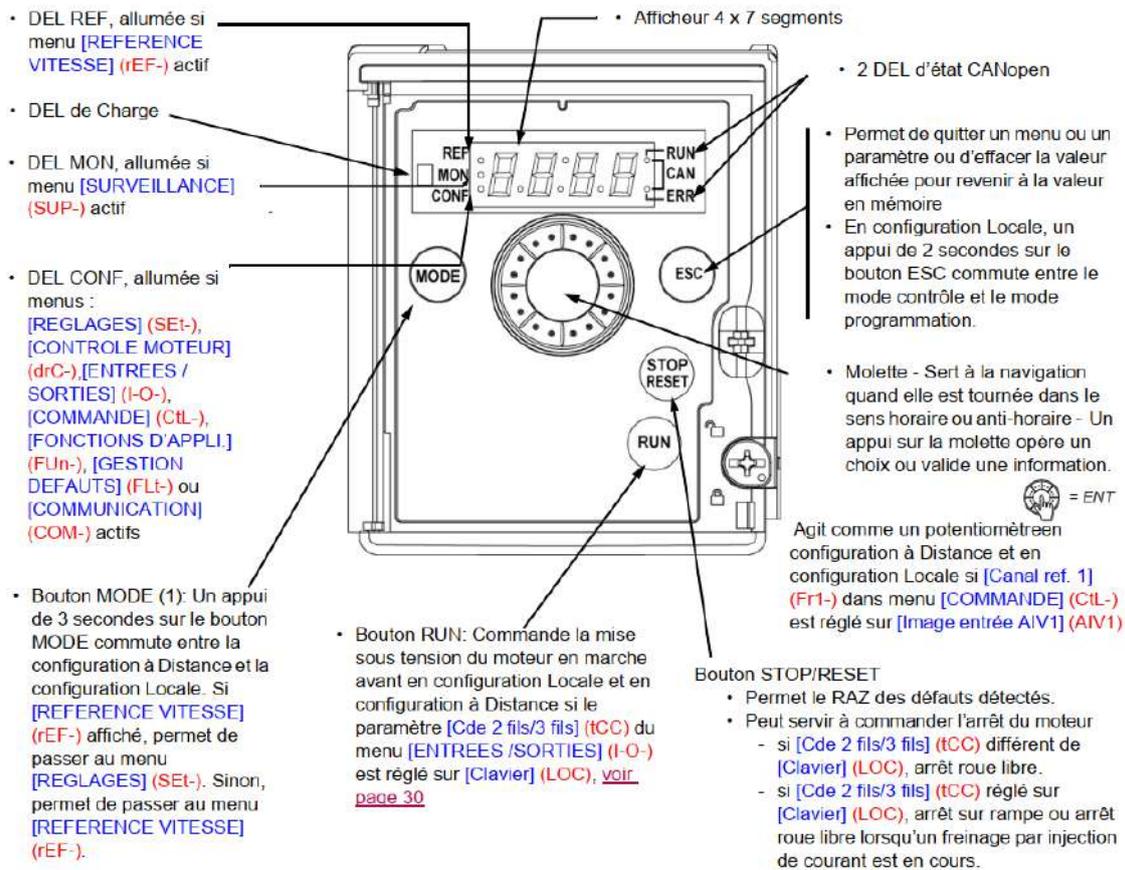


FIGURE A.4 – Fonctions de l'afficheur et des touches

Structure des menus et navigation locale 8 menus comme illustrés dans la figure.

L'ensemble des paramètres est accessible à travers

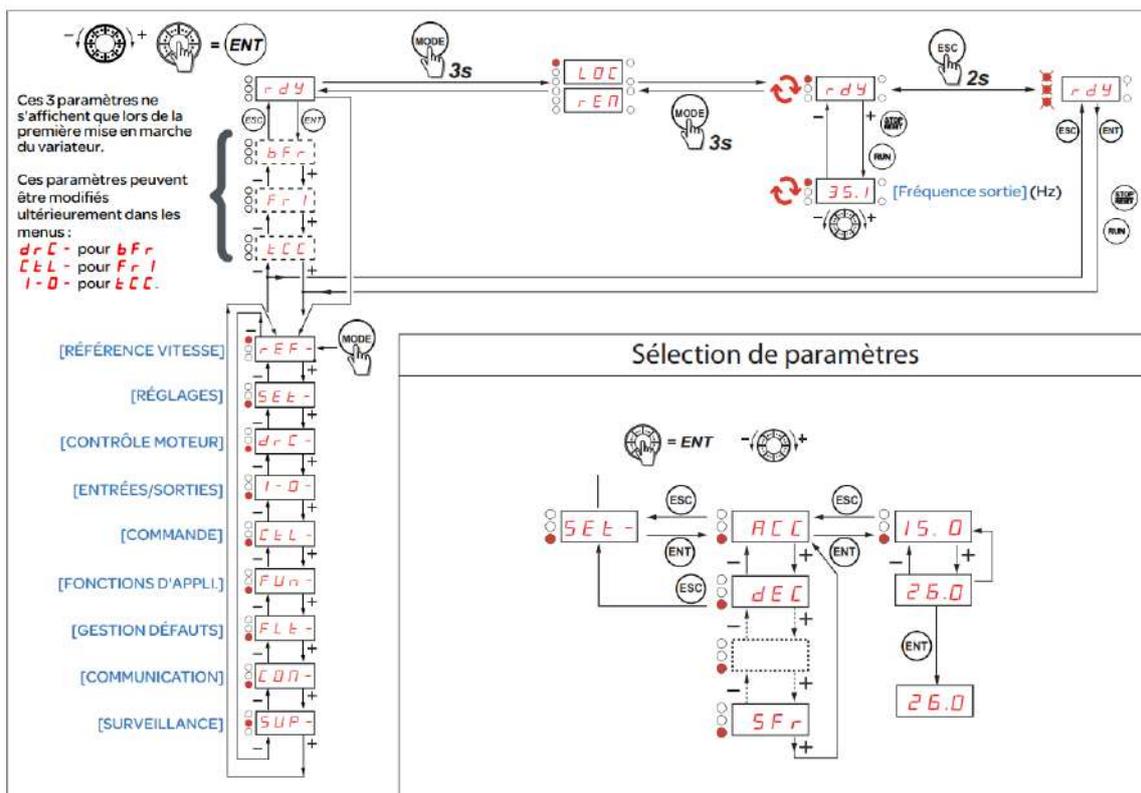


FIGURE A.5 – Structure des menus

A.5 menus et paramétrage de variateur atv 312

Menu	Code	Nom du Menu	Exemples de Sous-fonctions
1	SEt-	Réglages	ACC (Accélération), dEC (Décélération), LSP (Petite vitesse), HSP, ItH
2	drC-	Contrôle moteur	bFr (Fréquence standard), FrS, UfT (Choix U/F), tun (Auto-réglage)
3	I-O-	Entrées / Sorties	LI1 à LI6, AI1 à AI3, R1, R2, AOC, AOV
4	CtL-	Commande	Fr1, Fr2, tCC (commande 2/3 fils), CCS, LCC
5	FUn-	Fonctions d'application	JOG, PS2, PS3, PS4, PI, bLC (frein), Pr2, rPt
6	FLt-	Gestion défauts	OPL (perte phase moteur), EtF, rSF, Atr
7	COM-	Communication	tbr (vitesse Modbus), Adr, LIA, AIA, nEt
8	SUP-	Surveillance	rFr (Fréquence sortie), LIA, AIA

A.6 Description des Fonctions principales utilisées lors de programmation de cahier de charge de station s7 300

A.6.1 Menu Set-

Le menu Set- permet d'effectuer quelques réglages de principaux paramètres de vitesse (LSP, HSP) et d'accélération (ACC, DEC)

Paramètre	Description
ACC	Temps de la rampe d'accélération (0.1 à 999.9 s). Défini pour accélérer entre 0 et la fréquence nominale FrS
dEC	Temps de la rampe de décélération (0.1 à 999.9 s). Défini pour accélérer entre la fréquence nominale FrS et 0
LSP	Petite vitesse, peut aller de 0 à la fréquence moteur à consigne minimum
HSP	Grande vitesse, peut aller de LSP à la fréquence moteur à consigne maximum. (Il faut s'assurer que ce réglage convient au moteur et à l'application)
Ith	l'intensité du courant nominale de moteur

TABLE A.2 – Principaux paramètres du Set-

A.6.2 Menu contrôle moteur drC-

Ce menu permet de fixer les paramètres du moteur commandé par le variateur.

Paramètre	Description
bFr	Fréquence standard du moteur. Ce paramètre modifie les préreglages des paramètres : HSP, Ftd, FrS et tFR
UnS	Tension nominale lue sur le moteur lue sur sa plaque signalétique
FrS	Fréquence nominale du moteur lue sur sa plaque signalétique
nCr	Courant nominal du moteur lu sur sa plaque signalétique
nSP	Vitesse nominale du moteur lue sur sa plaque
COS	Cosinus Phi du moteur lu sur sa plaque signalétique (de 0.5 à 1)

TABLE A.3 – Principaux paramètres du drC-

A.7 Menu commande CtL-

Ce menu permet de définir les canaux de commande et de consigne. Les commandes (marche, arrêt ...) peuvent être données par :

- les entrées logiques du bornier (pupitre opérateur/sortie d'un automate) reliés aux bornes LI1 à LI6
- le clavier (RUN/STOP) en façade du variateur
- un terminal déporté, les signaux Modbus et CANopen

A.7.1 Commande 2 fils

Permet la commande du sens de marche par contact à position maintenue (bouton). Validation par 1 ou 2 entrées logiques (1 ou 2 sens de marche)

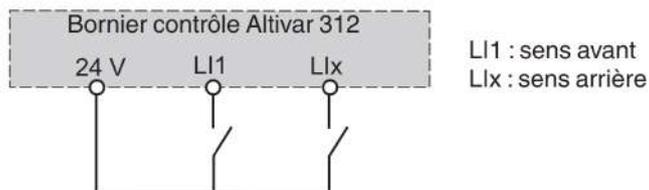


FIGURE A.6 – commande 2 fils

A.7.2 Commande 3 fils

Permet la commande du sens de marche et de l'arrêt par contacts à impulsions (bouton poussoir). Validation par 2 ou 3 entrées logiques (1 ou 2 sens de marche). Fonction dédiée à toutes les applications à 1 ou 2 sens de marche

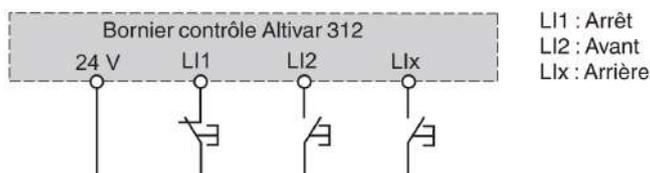


FIGURE A.7 – commande 3 fils

A.7.3 Menu fonctions applicatives FuN-

Ce menu permet d'activer et de configurer des fonctions avancées, comme la commande 2 fils / 3 fils, les vitesses présélectionnées, ou le réarmement automatique.

Paramètre	Description
tCC	Type de contrôle 2C = commande 2 fils (par des interrupteurs) 3C = commande 3 fils (par des boutons)
rrS	Sens arrière : si tCC = 2C → LI2 si tCC = 3C → LI3
PS2 PS3 PS4	Entrée logique pour vitesses présélectionnées : Si LI3=0 et LI4=0 : vitesse = consigne Si LI3=1 et LI4=0 : vitesse = SP2 Si LI3=1 et LI4=1 : vitesse = SP3 Si LI3=0 et LI4=0 : vitesse = SP4 SP2 à SP4 : vitesses présélectionnées, réglables de 0 à fréquence nominale
rSF	Réarmement de défaut

TABLE A.4 – Principaux paramètres du menu FuN-

On trouve aussi dans la menu fonction d'applications Fun les types de freinage et ce variateur dispose de quatre types de freinage :

1. **rMp** : Sur rampe
2. **FSt** : Arrêt rapide
3. **nSt** : Arrêt roue libre
4. **dCI** : Arrêt par injection de courant continu. (Que l'on a choisi pour freiner le moteur)

Annexe B : TIA PORTAL

B.1 Description de Tia Portal

La plateforme de développement TIA Portal de Siemens permet de faire un gain important en temps lors du développement de systèmes d'automatisation. C'est une plateforme tout en un comportant le logiciel Step 7 pour la programmation d'automates et WinCC Flexible pour les interfaces homme-machine. Cette plateforme est très architecturée, proposant les sections HMI pour les interfaces, réseaux et Motion pour la commande de moteurs et variateurs. Grâce à PLCSim, on peut simuler de manière intuitive les projets avant de la déployer sur un contrôleur. [18]

B.2 Creation d'un nouveau projet

1. Lors du lancement du "Portail TIA", l'environnement de travail est divisé en deux types de vues :
 - **vue portail** : offre un accès direct à la création d'un nouveau projet ou à l'ouverture d'un projet déjà existant.
 - **vue de projet** : offre une organisation structurée des éléments du projet, avec une barre de menu en haut, un navigateur à gauche, et les outils de programmation à droite.

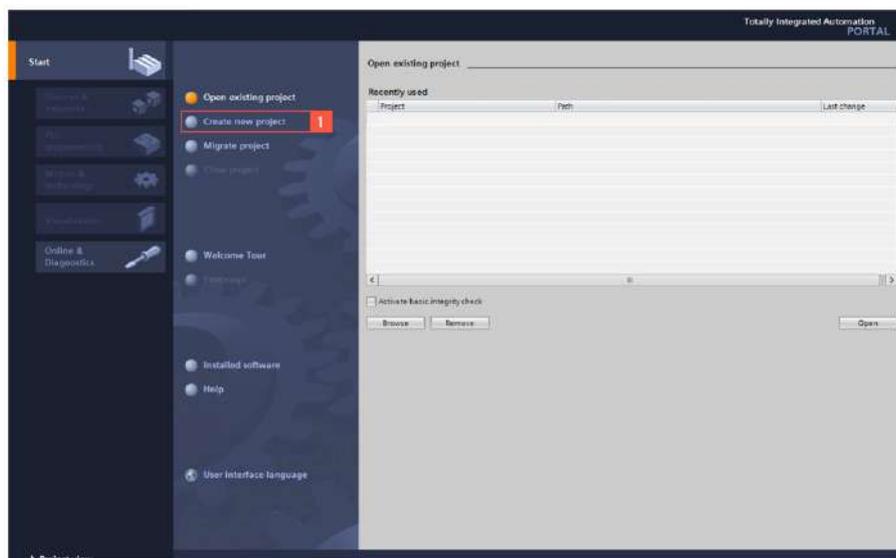


FIGURE B.1 – Vue de portail

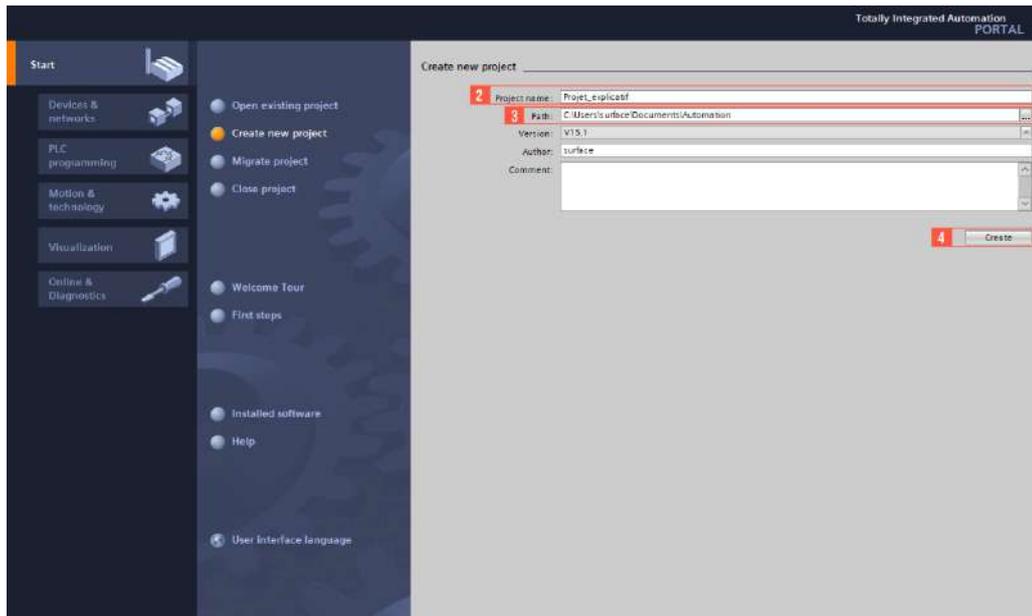


FIGURE B.2 – creation d'un nouveau projet

2. affecter un nom au projet
3. parcourir un path spécifique pour le projet
4. a la fin valider les informations et cliquer **Create**

B.3 Configuration matérielle

1. après la création d'un projet , un vue de configuration materielle s'ouvre

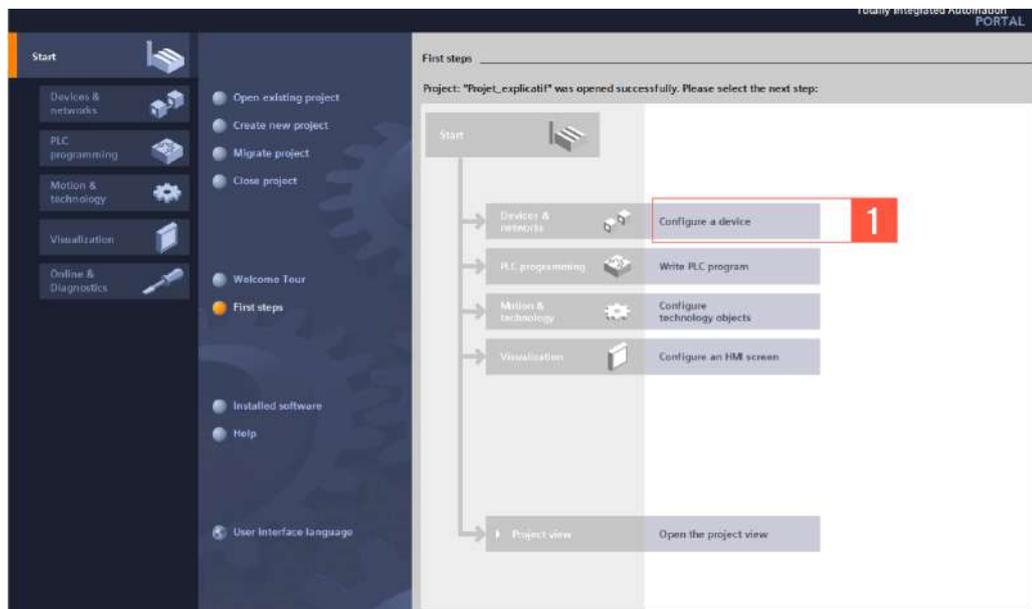


FIGURE B.3 – configuration matérielle 1

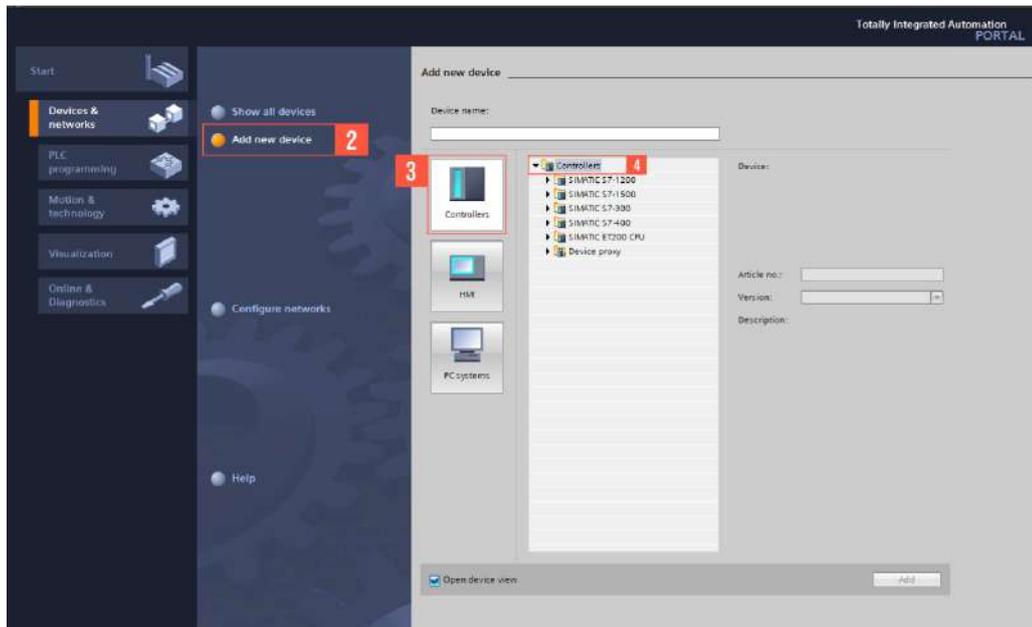


FIGURE B.4 – configuration matérielle 2

2. cliquez sur "Ajouter un nouveau appareil"
3. on choisit soit un contrôleur(automate programmable) , un "HMI" ou un autre appareil qu'on a besoin dans le projet
4. on doit spécifier la Gamme de microcontrôleur (s7 300 , s7 1200 ...ect)

B.4 Description de la vue projet dans TIA Portal

L'environnement TIA Portal est structuré de manière intuitive pour faciliter la conception, la configuration et la programmation d'un projet d'automatisme. La figure ci-dessous présente les différentes zones principales de l'interface :

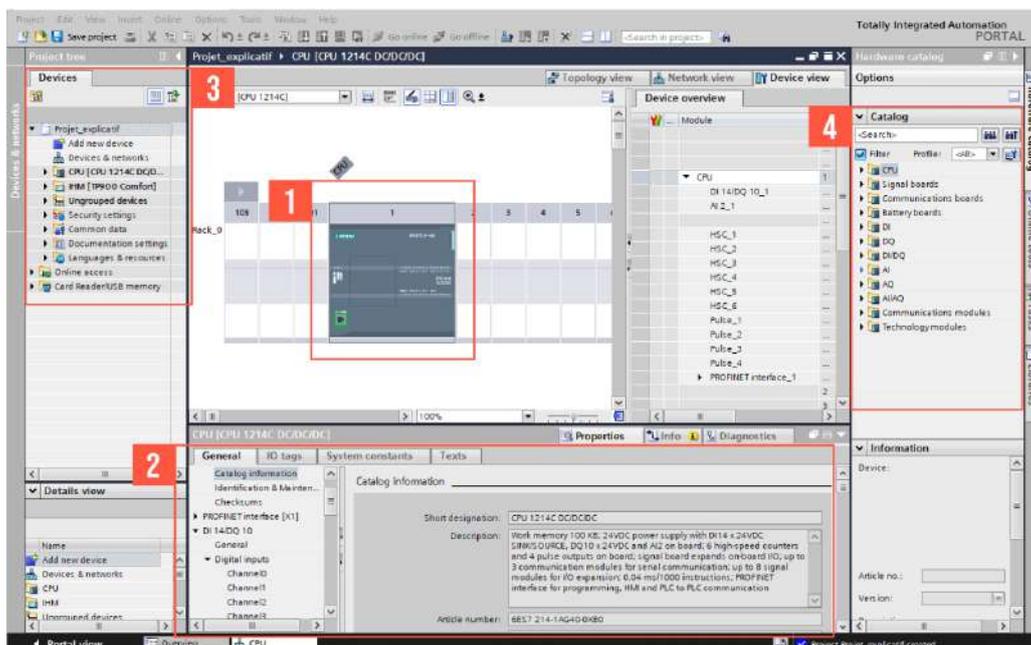


FIGURE B.5 – vue de projet

1. **Zone de travail (Workspace / Device & Network View)**
Située au centre, elle permet de visualiser et configurer les équipements du projet. L'utilisa-

teur peut y ajouter des modules, établir des connexions et organiser la structure matérielle de manière graphique.

2. Vue détaillée (Details View)

Cette zone affiche les propriétés et paramètres détaillés de l'élément sélectionné. On y trouve les informations sur l'interface PROFINET, les étiquettes d'entrées/sorties, les constantes système, etc.

3. Navigateur de projet (Project Tree)

Situé à gauche, ce navigateur présente l'arborescence complète du projet. Il permet d'accéder à tous les composants (automates, HMI, bibliothèques, configurations, blocs de programme, etc.) pour les consulter ou les modifier.

4. Catalogue matériel (Hardware Catalog)

Placée à droite, cette section contient la bibliothèque des composants Siemens. Elle permet d'ajouter facilement des CPU, modules d'E/S, cartes de communication, alimentations, etc., à la configuration matérielle du projet.

B.5 Adressage et Définition des variables

1. En revenant à la vue Portail, choisissez **PLC Programming (Programmation API)**, puis cliquez sur **Show All Objects (Afficher tous les objets)**.
2. Après un double-clic sur **Main (OB1)**, le programme principal s'ouvre pour l'édition.

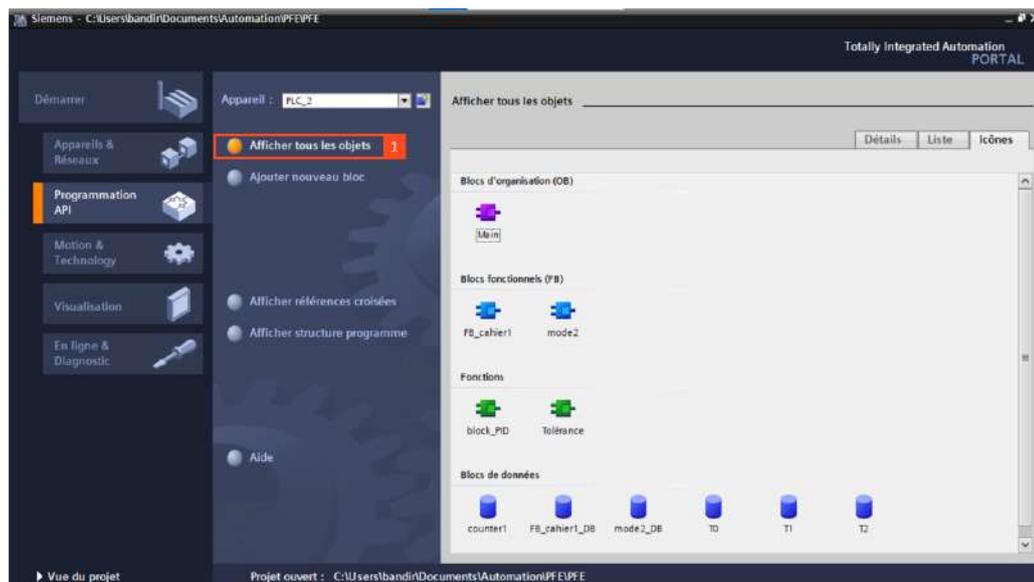


FIGURE B.6 – vue portail : programmation API

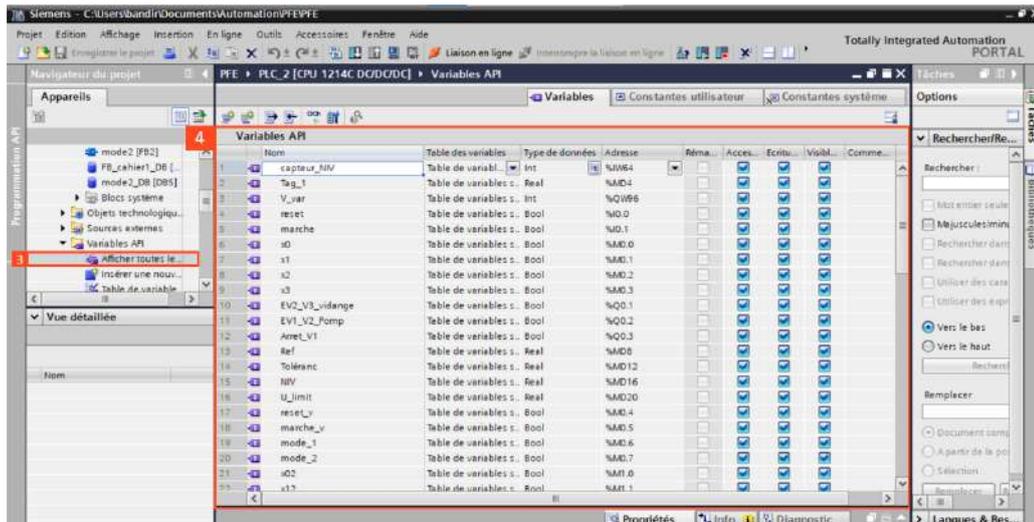


FIGURE B.7 – Adressage

3. cliquez sur "afficher tous les variables "
4. La case 4 montre toutes les variables adressées avec leurs noms, type et adresse dans la mémoire de la CPU

B.6 Organisation des Blocs dans TIA PORTAL

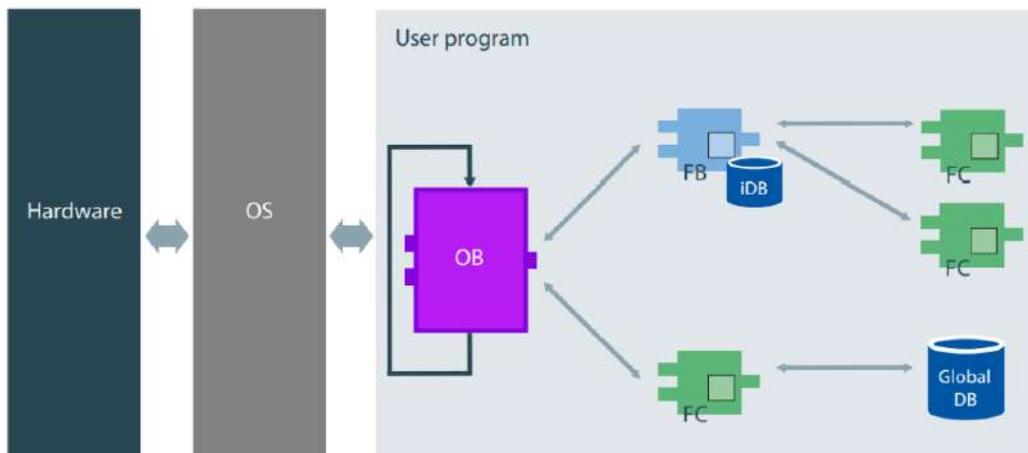


FIGURE B.8 – OB FB FC DB

[14]

B.6.1 OB (Organization Block)

Les blocs d'organisation, OB, fournissent l'interface entre le système d'exploitation du processeur et le programme développé par le développeur. Ces blocs contrôlent l'initialisation du système, le traitement cyclique, l'exécution des interruptions et la gestion des erreurs matérielles et logicielles

B.6.2 FC(Fonction)

Les fonctions, FC, sont des blocs de programme qui n'ont pas de mémoire, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de stocker des valeurs de paramètres dans ces blocs de programme.

B.6.3 FB (Function Block)

Les blocs fonctionnels, FB, sont des blocs de programme qui stockent des données dans leurs instances. Les données peuvent être en entrée, en sortie ou en entrée et sortie. Ces blocs peuvent également avoir des variables temporaires, dont les valeurs ne sont stockées que pendant un cycle d'exécution.

B.6.4 DB (Data Block)

Les blocs de données, DB, sont utilisés, comme leur nom l'indique, pour stocker des données. Les données de ce type de bloc sont accessibles par les OB, les FC et les FB (« Global DB »). Ce type de bloc peut même stocker des données UDT (User-defined Data Type). Un bloc de type FB aura toujours une base de données associée (« Instance DB »).

B.7 Création des Fonctions dans TIA PORTAL

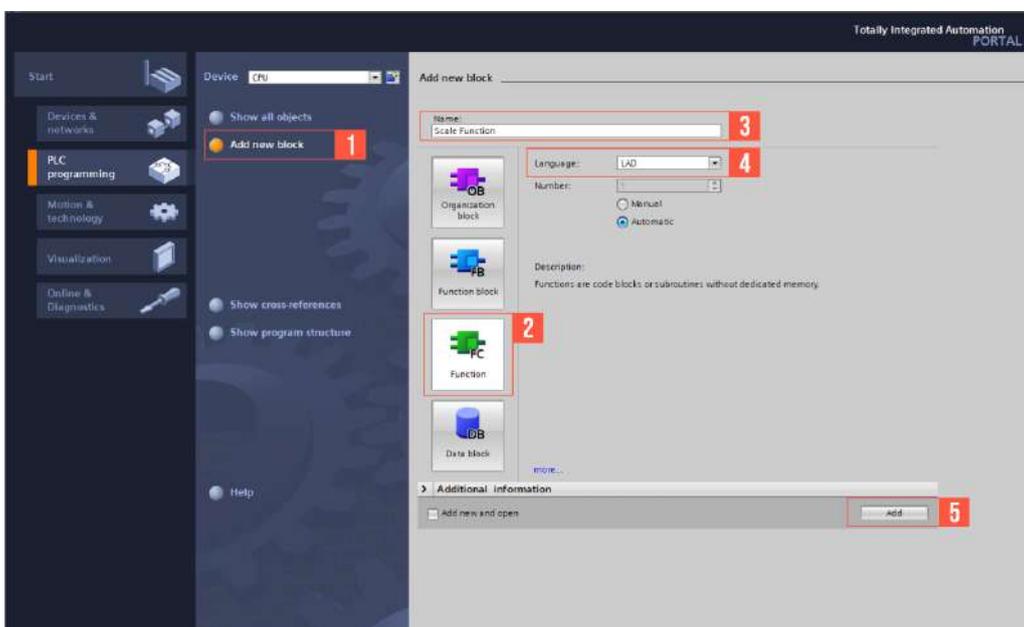
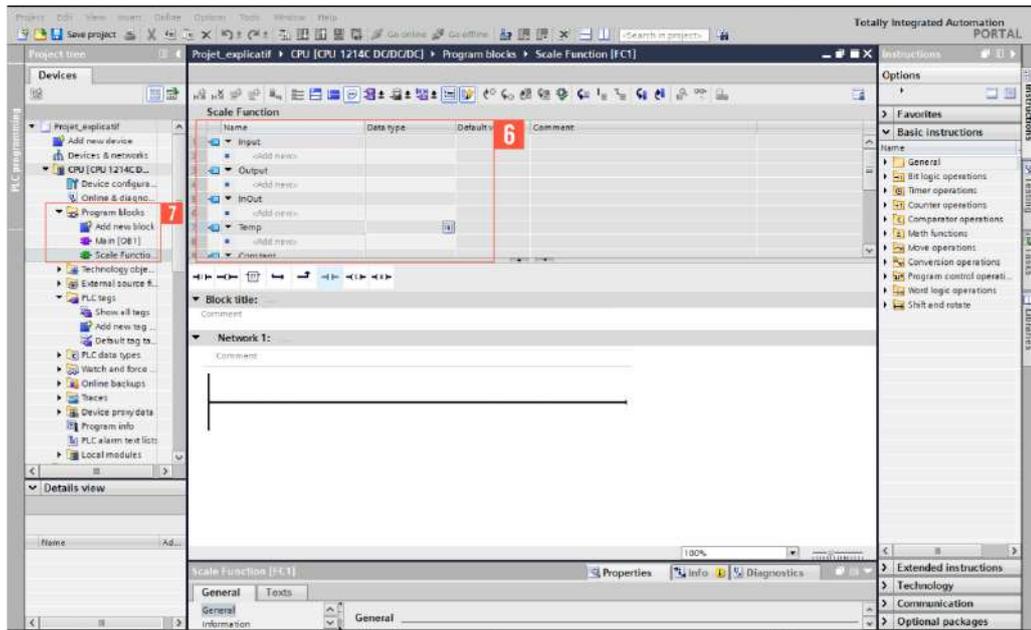


FIGURE B.9 – Création des Fonctions 1

1. Dans la vue **PLC programming**, cliquez sur *Add new block* pour initier la création d'un nouveau bloc.
2. Sélectionnez le type de bloc souhaité : **Function (FC)**, **Function Block (FB)** ou **Data Block (DB)**.
3. Donnez un **nom** au bloc, par exemple *Scale Function*.
4. Choisissez le **langage de programmation** (LAD, FBD, STL, etc.).
5. Cliquez sur le bouton **Add** pour créer le bloc.



6. Cette case représente les variables locales propres à la fonction créée. Il y a les entrées, les sorties, les entrées/sorties, les constantes et les variables temporaires.
7. La case suivante montre les différents blocs créés par l'utilisateur (noter qu'il y pas de différence flagrante entre le bloc MAIN et les blocs FC, la seule différence est dans les variables locale du bloc FC qui sont accessible qu'à l'intérieur).

B.8 Ecrire un programme

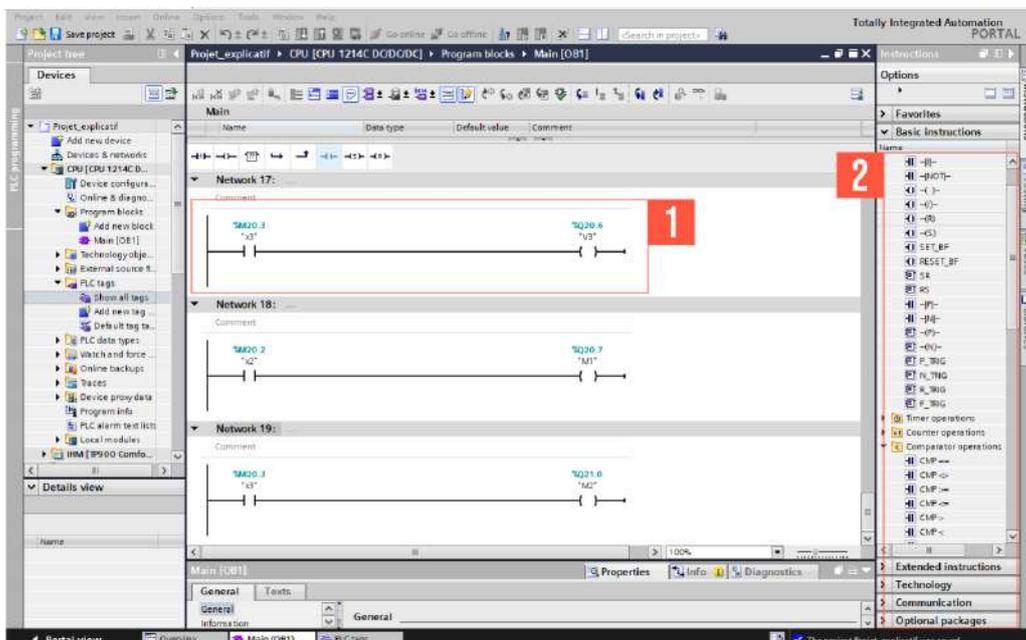


FIGURE B.10 – Ladder

1. La partie centrale représente le réseau de programmation en langage **LAD (ladder)**. Chaque réseau contient des instructions logiques (contacts et bobines) permettant de contrôler les sorties (par exemple : %Q20.6) en fonction des entrées (par exemple : %M20.3).

2. Le panneau de droite contient la **bibliothèque d'instructions** classées par catégories (instructions de base, temporisateurs, compteurs, comparateurs, etc.). Ces blocs peuvent être glissés-déposés dans les réseaux pour construire le programme.

B.9 Simulation

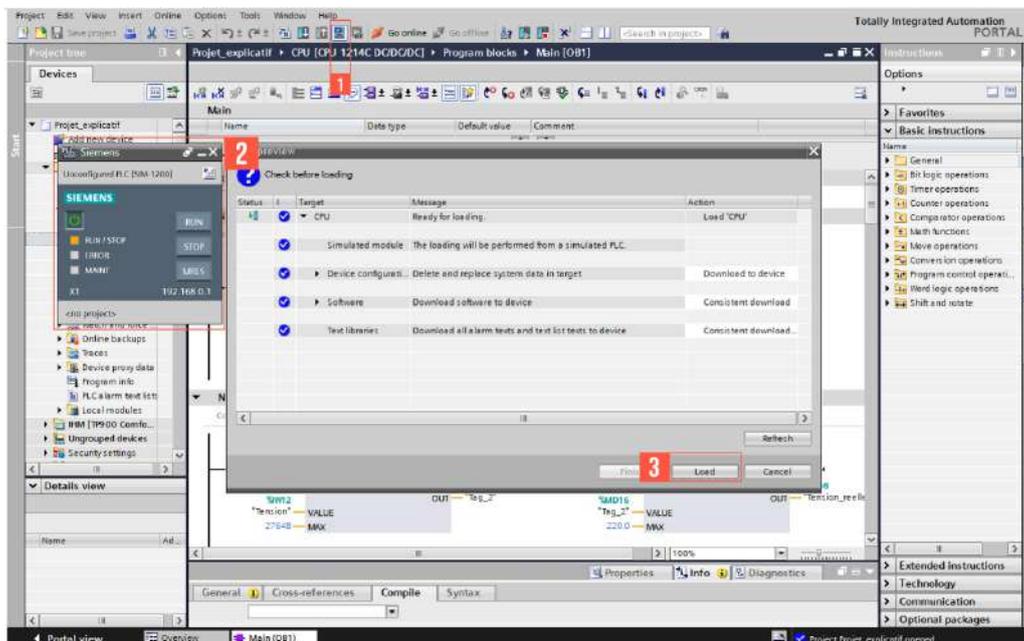


FIGURE B.11 – Simulation

1. Cliquez sur l'icône **“simulation”** pour transférer le programme vers le contrôleur (simulé).
2. Une fenêtre de sélection s'ouvre (2) . Assurez-vous que le bon automate (par exemple SIM 1200) est bien détecté dans la section **“Accessible devices”**.
3. Vérifiez que tous les éléments nécessaires sont sélectionnés (configuration, logiciel, bibliothèques de texte, etc.), puis cliquez sur le bouton **“Load”** (3) pour lancer le téléchargement vers le simulateur.

B.10 Régulation de niveau via un bloc PID Compact

B.10.1 Creation d'un interrupt cycle

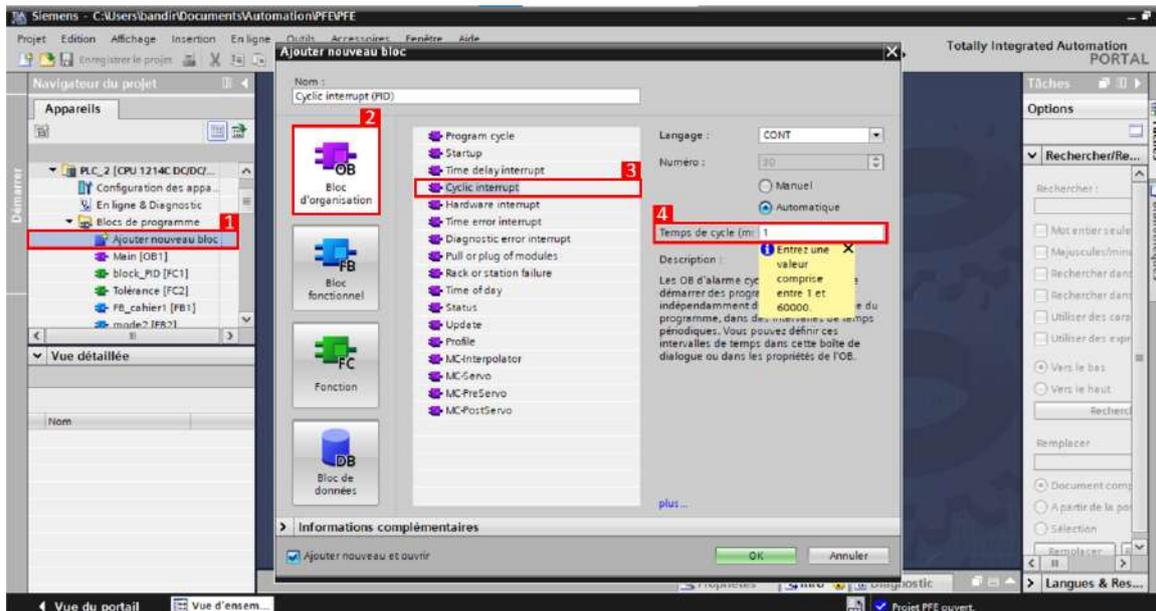


FIGURE B.12 – Interrupt cycle

dans le navigateur de projet → appareils → Bloc de programme → ajouter un nouveau bloc → Bloc d'organisation → Cyclic interrupt → Temps de cycle (ms)

B.10.2 Technology option

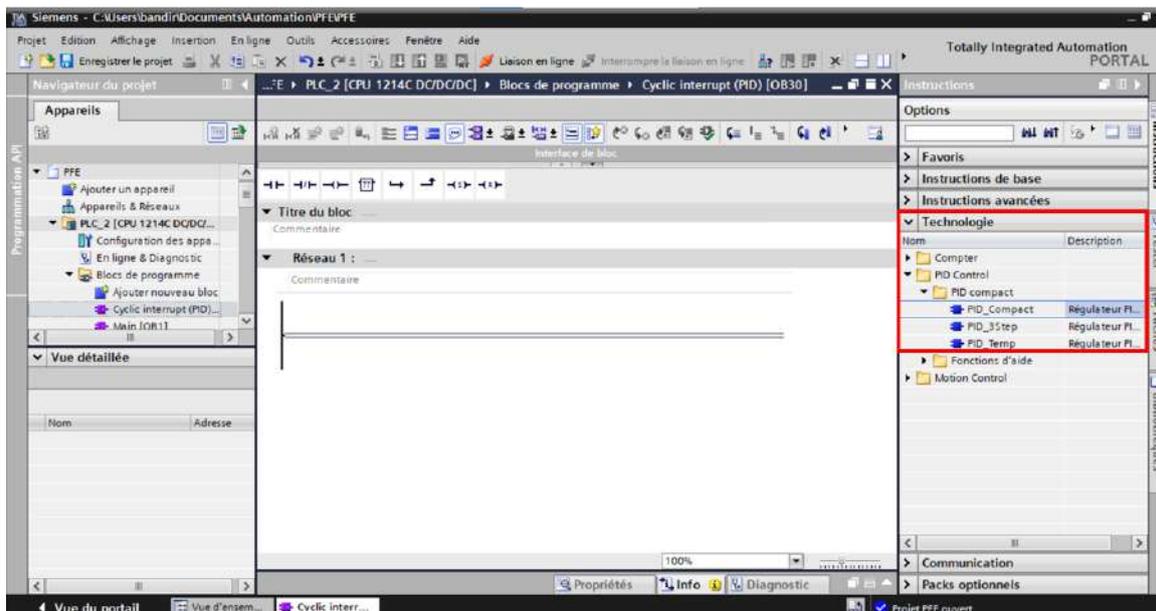


FIGURE B.13 – Technology option

dans les instructions → Technology → PID control → PID_compact

B.10.3 Configuration de bloc PID

1. double clic sur le bouton illustrée dans la figure

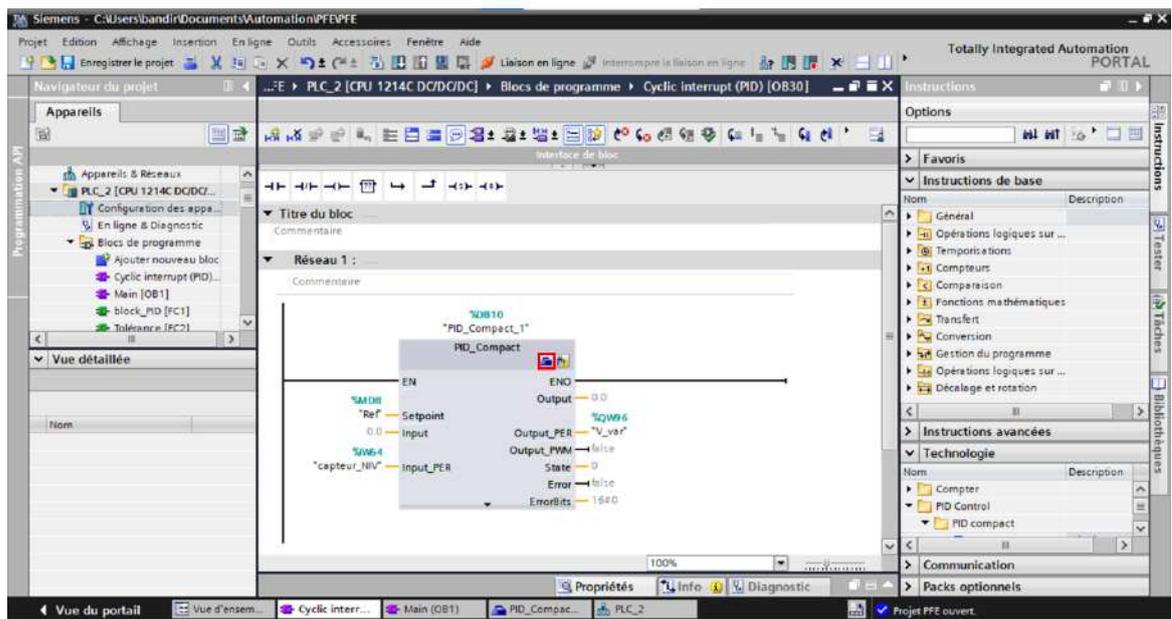


FIGURE B.14 – Fenêtre de configuration

2. choisissons le type de réglage visée par le bloc PID

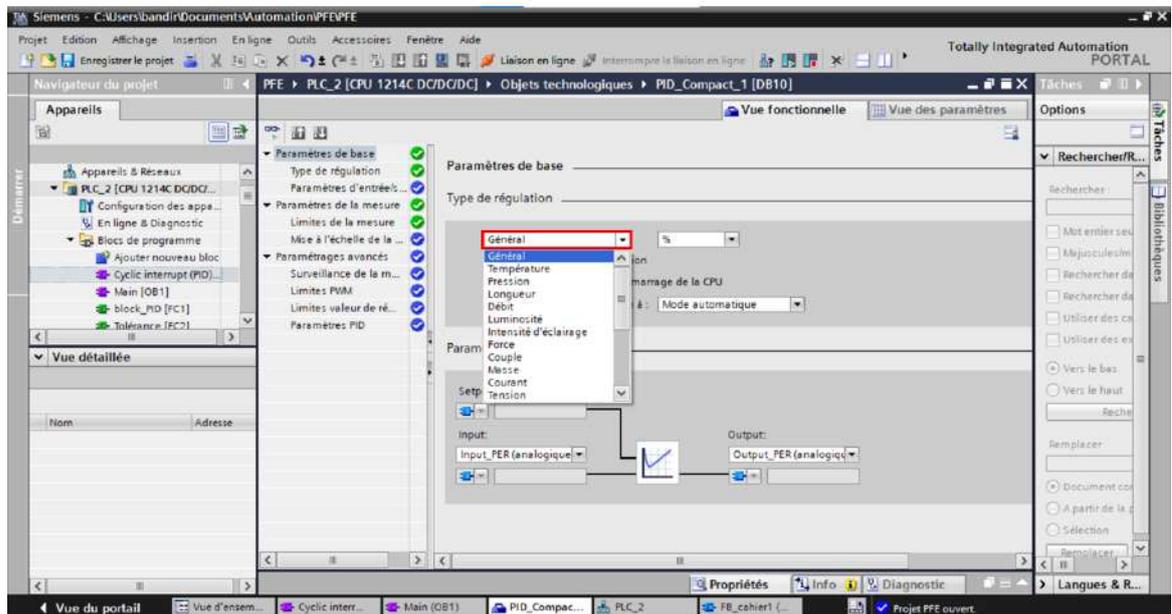


FIGURE B.15 – Type de Regulation

3. activation de mode automatique

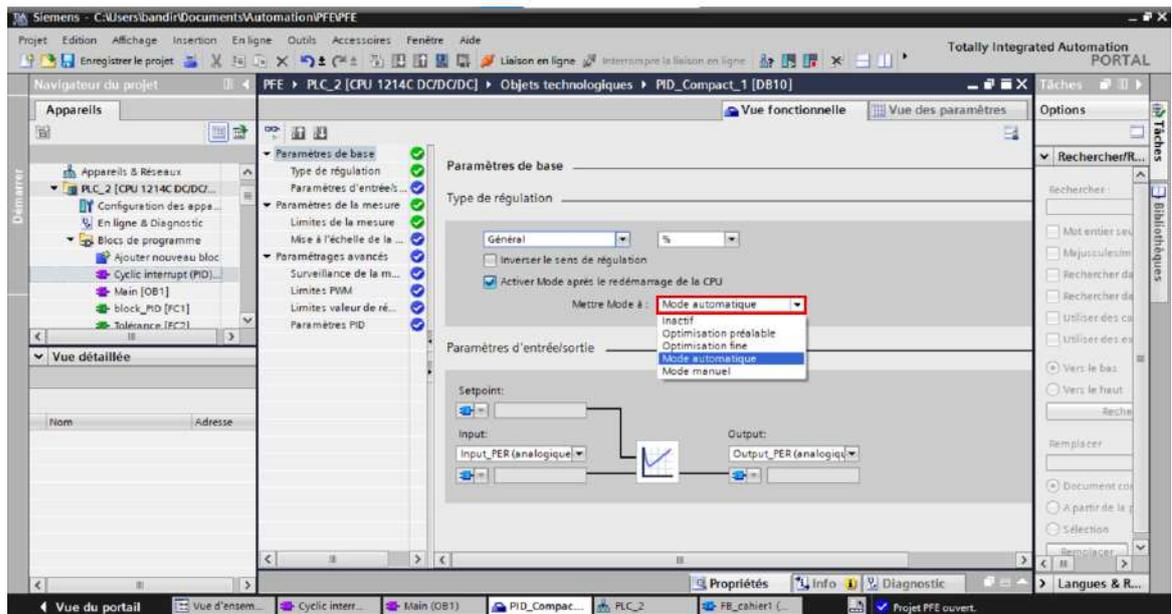


FIGURE B.16 – configuration de paramètre PID

4. mise à l'échelle de variable réglée -niveau- ce qu'on appelle **scaling**

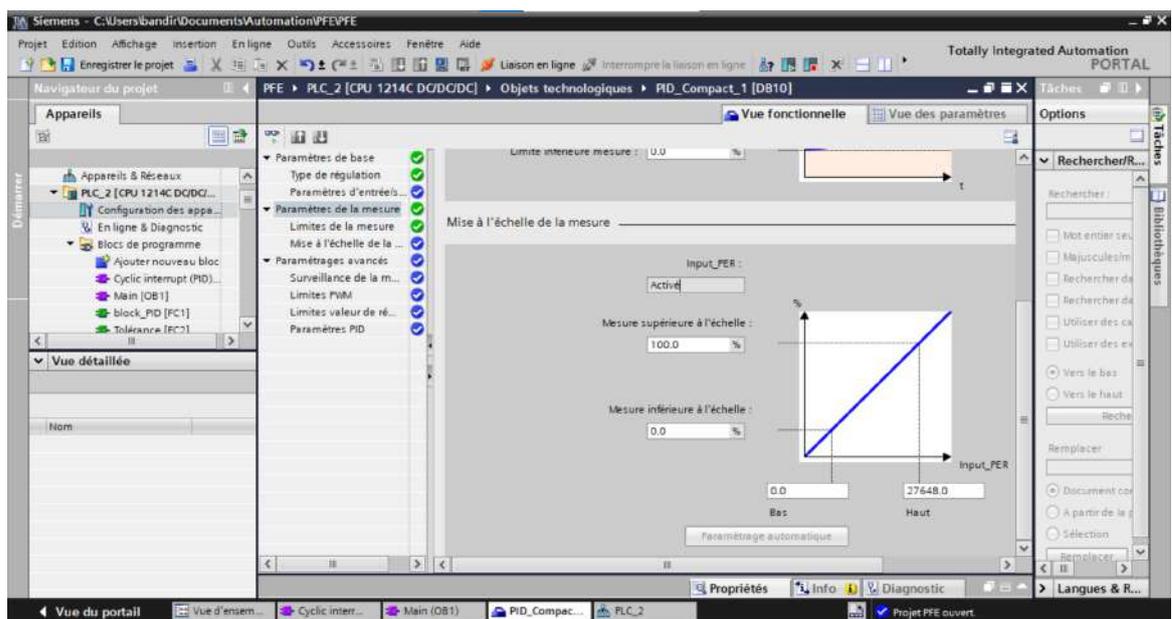


FIGURE B.17 – mise a l'échelle (scaling)

5. régulation des paramètres PID on peut inserer les paramètres PID manuellement en cliquant sur **activer la siasir manuelle**

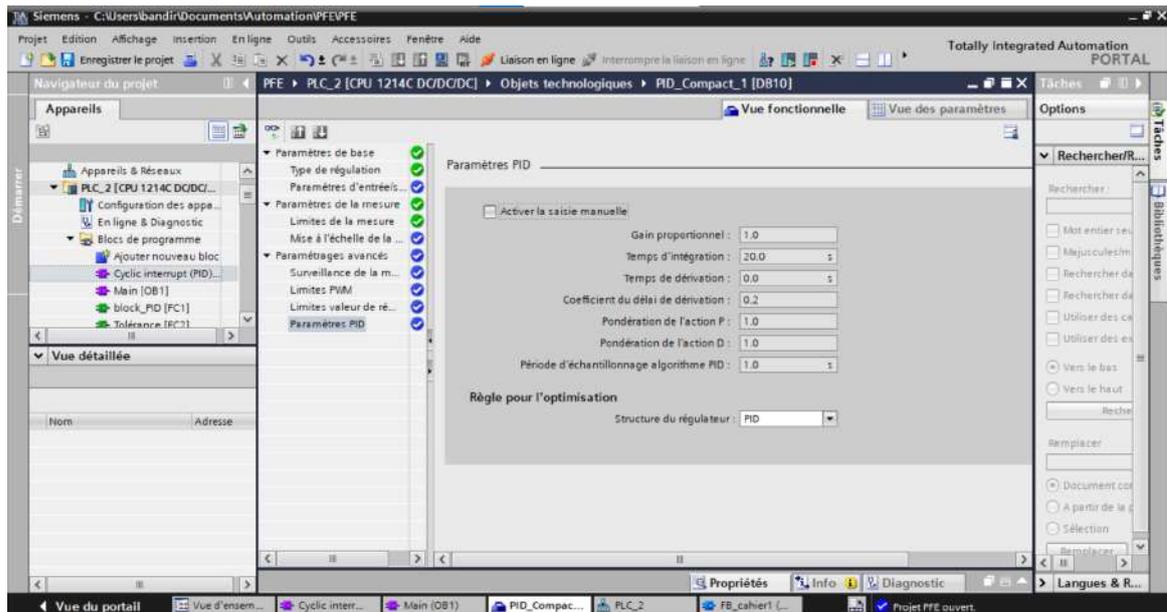


FIGURE B.18 – Paramètre PID

B.11 Data Logging (Archivage des données de niveau)

Data Logging est une instruction avancée dans le logiciel TIA Portal qui permet d'archiver les données de niveau dans un fichier csv (Excel), afin de pouvoir les exploiter dans le développement des lois de commande par la méthode de Ziegler-Nichols.

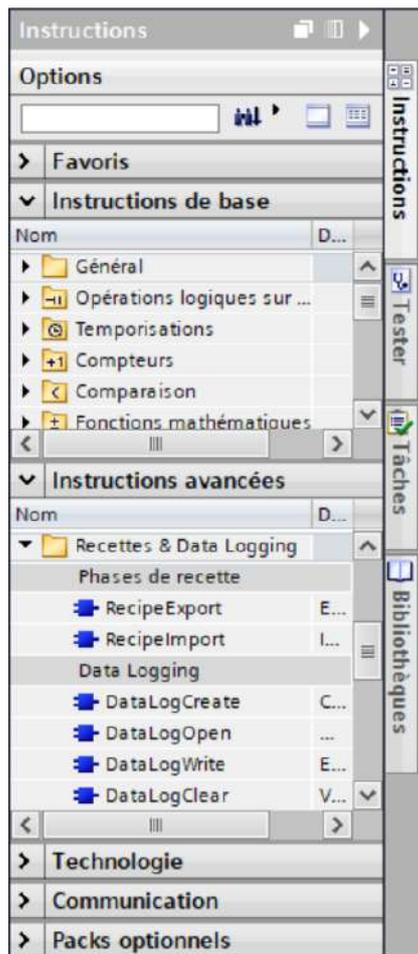


FIGURE B.19 – data logging

B.11.1 les étapes de création un data logging

1. DataLogCreate Créer Data Log

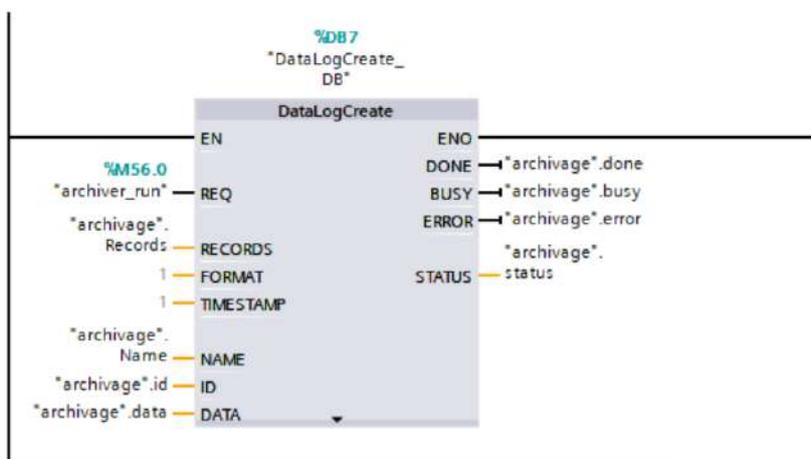


FIGURE B.20 – dataLogCreate

Paramètre	Déclaration	Type de données	Zone mémoire	Description rapide
REQ	Input	BOOL	I, Q, M, L, D, T, C	Déclenche la création du Data Log sur front montant
RECORDS	Input	UDInt	I, Q, M, L, D	Nombre max. d'enregistrements (FIFO si plein)
FORMAT	Input	UInt	I, Q, M, L, D	Format du fichier : 1 = CSV
TIMESTAMP	Input	UInt	I, Q, M, L, D	Ajout automatique d'horodatage
NAME	Input	VARIANT	L, D	Nom du fichier CSV créé
ID	InOut	DWORD	I, Q, M, L, D	ID unique pour identifier le Data Log
HEADER	InOut	VARIANT	D	Titre optionnel dans le fichier CSV
DATA	InOut	VARIANT	D	Structure de données à enregistrer
DONE	Output	BOOL	I, Q, M, L, D	Terminé avec succès
BUSY	Output	BOOL	I, Q, M, L, D	Traitement en cours
ERROR	Output	BOOL	I, Q, M, L, D	Erreur détectée
STATUS	Output	WORD	I, Q, M, L, D	Code d'état détaillé (à copier si besoin)

TABLE B.1 – Résumé des paramètres de l'instruction `DataLogCreate`

- Mise à jour périodique de la donnée à archiver Avec une impulsion périodique (par exemple ton horloge 0.5 Hz, `%M500.7`), copie la valeur du niveau (`%MD16 = NIV`) vers le champ data du DB d'archivage. Cette opération alimente la valeur qui sera ensuite écrite dans le fichier d'archives.

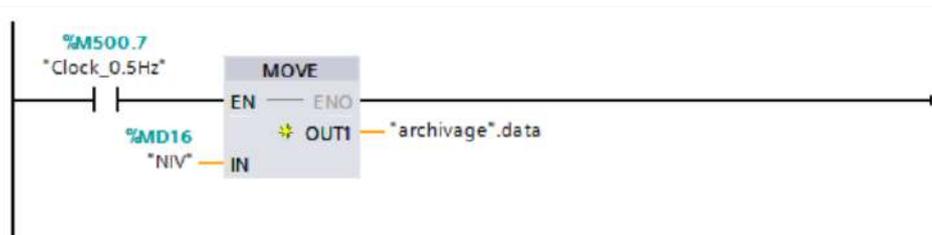


FIGURE B.21 – transférer niveau-DATA

- `DataLogWrite` Écriture des données dans le fichier SCV

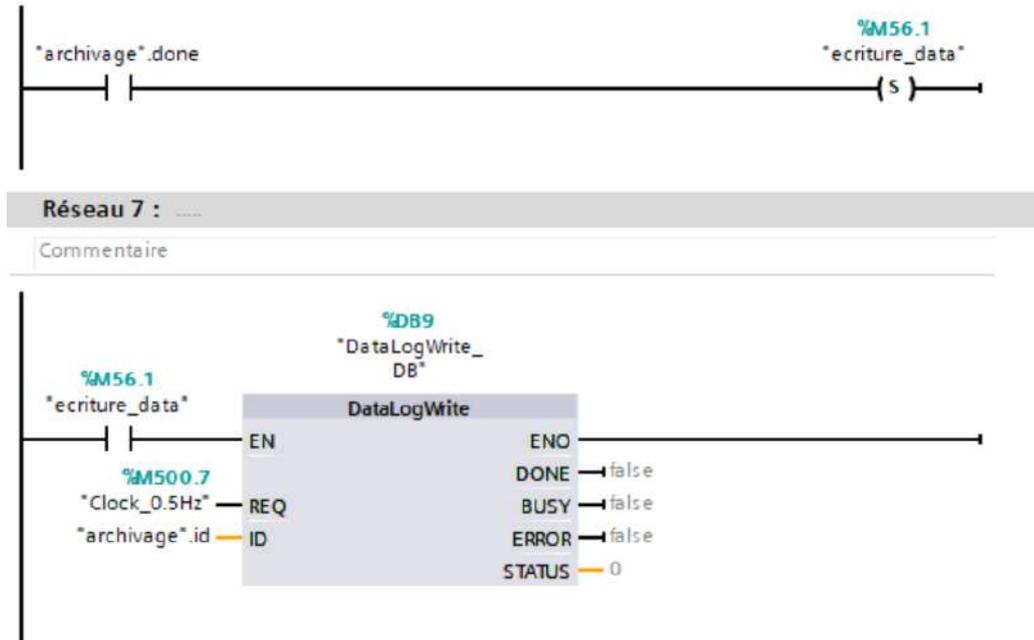


FIGURE B.22 – dataLogWrite

B.11.2 Téléchargement de Data via un web server de siemens

1. L'automate doit être connecté physiquement via un câble Ethernet pour que le serveur web fonctionne; il est accessible à travers l'adresse IP de l'automate S7-1200.

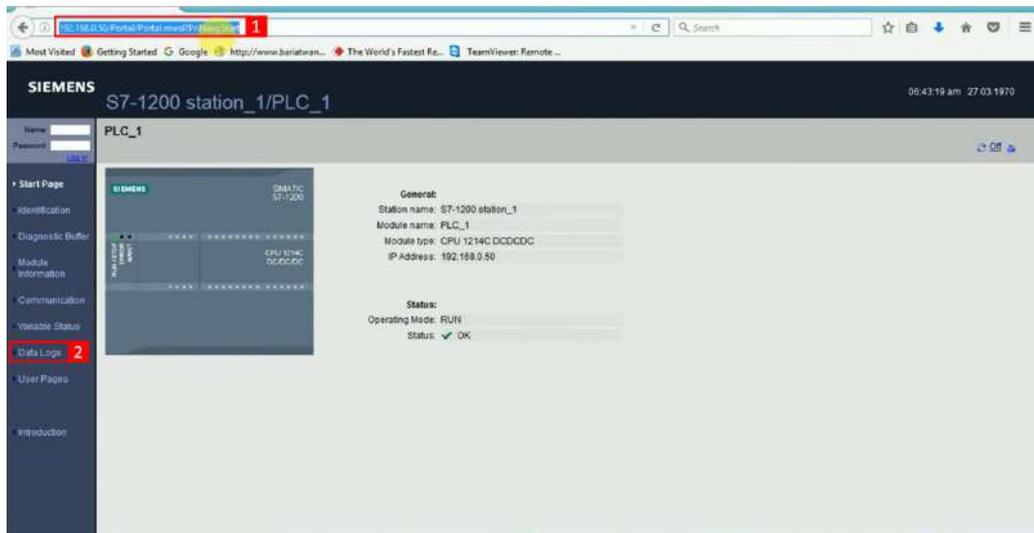


FIGURE B.23 – web server siemens

2. on clic sur l'option Data logs

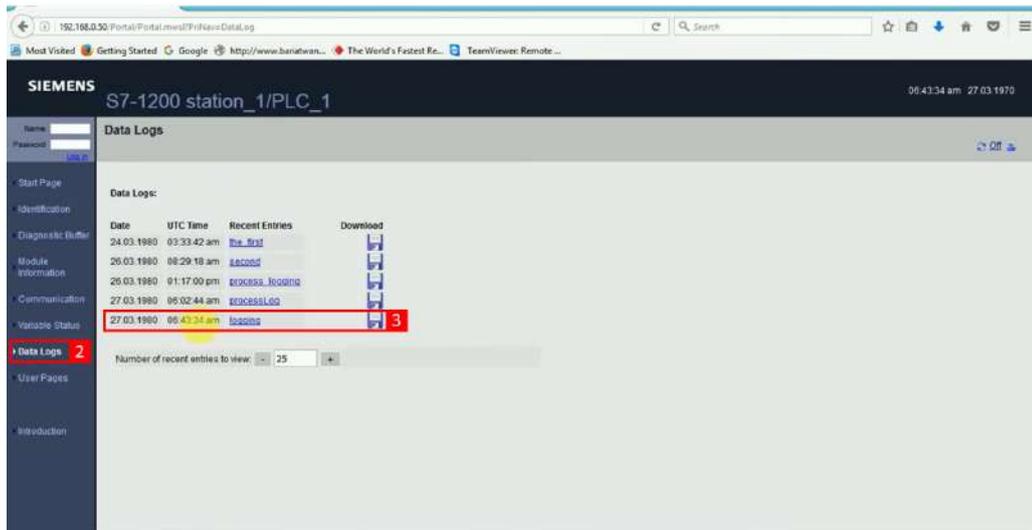


FIGURE B.24 – web server siemens

3. Le serveur nous fournit un fichier CSV **logging** téléchargeable, que l'on peut ensuite ouvrir avec Excel.

B.12 Programme de cahier de charge 1 station s7 1200



FIGURE B.25 – norm/scale

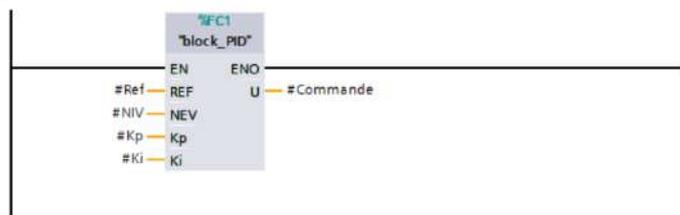


FIGURE B.26 – PID contrôleur FC1

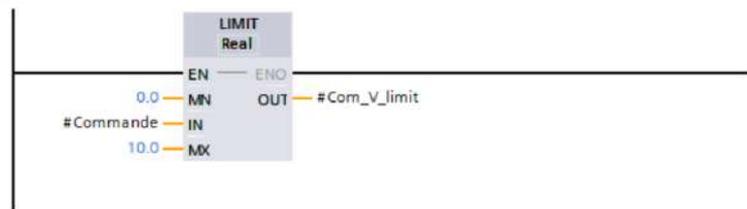


FIGURE B.27 – saturation du commande (MV)

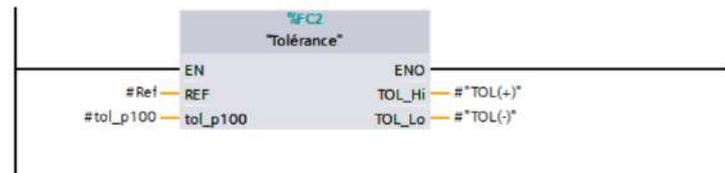


FIGURE B.28 – Fonction de Tolerance FC2

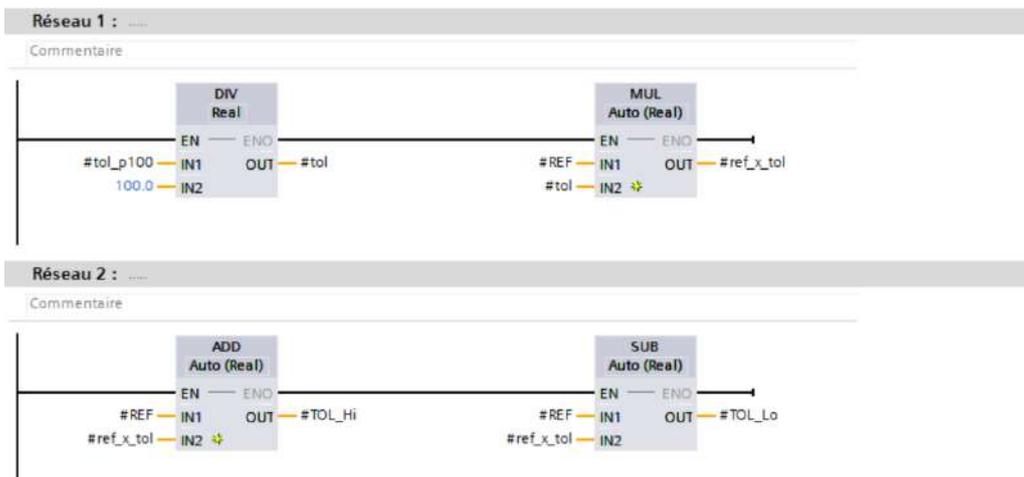


FIGURE B.29 – programme de la Fonction de Tolerance FC2



FIGURE B.30 – transition ($NIV \leq TOL(+)$)

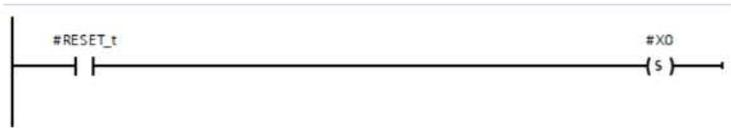


FIGURE B.31 – Set état x0(s)

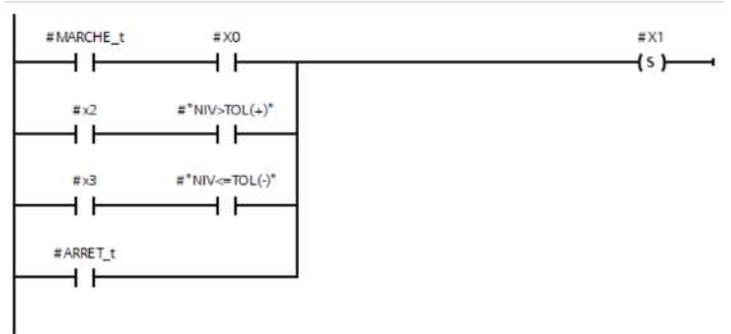


FIGURE B.32 – Set état x1(s)

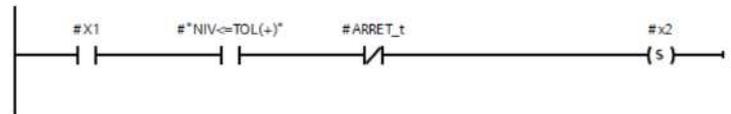


FIGURE B.33 – Set état x2(s)

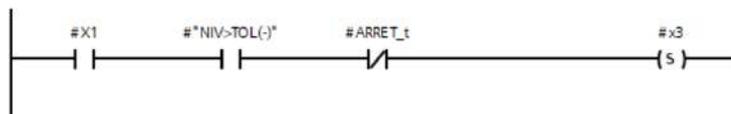


FIGURE B.34 – Set état x3(s)

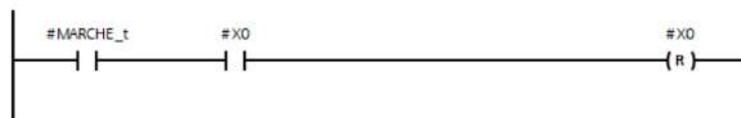


FIGURE B.35 – Reset état x0(R)

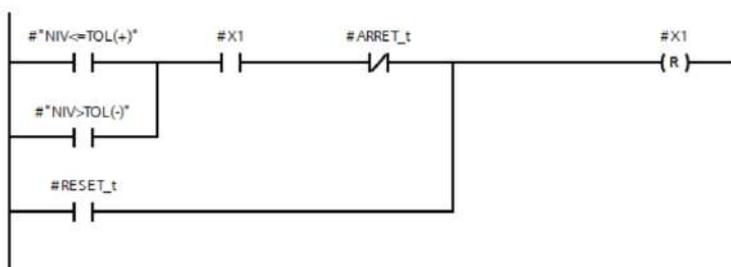


FIGURE B.36 – Reset état x1(R)

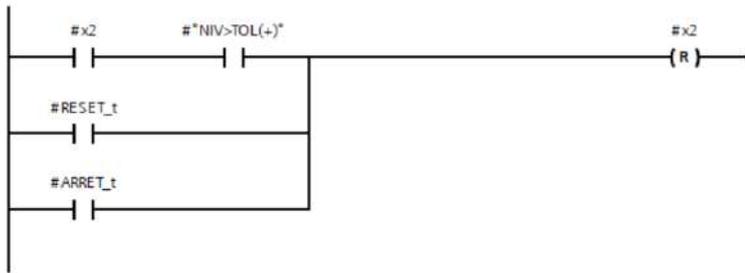


FIGURE B.37 – Reset état x2(R)

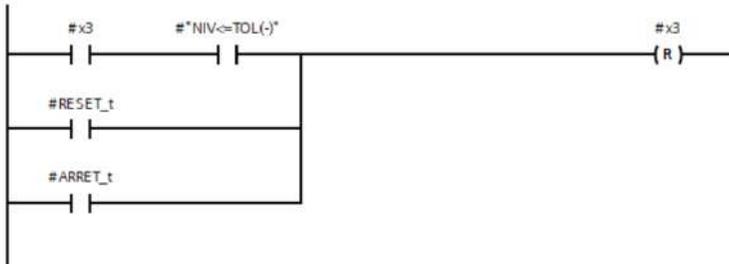


FIGURE B.38 – Reset état x3(R)

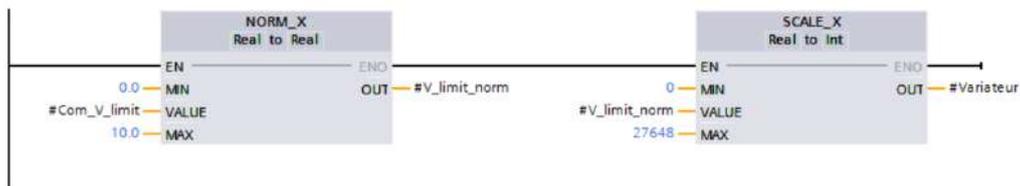


FIGURE B.39 – sortie unscale pour le variateur de vitesse

B.13 Programme de cahier de charge 2 station s7 1200

la fonction `scale(entree)` , bloc `PID` , `saturation(limitation)` , `unscale(sortie)` ne se change pas



FIGURE B.40 – exemple comparateur de NIVEAU

Remarque

Les équations des états $x(S)$ et $x(R)$ peuvent être programmées de la même manière que dans le premier cahier des charges. Il n'est donc pas nécessaire de les réécrire ici.

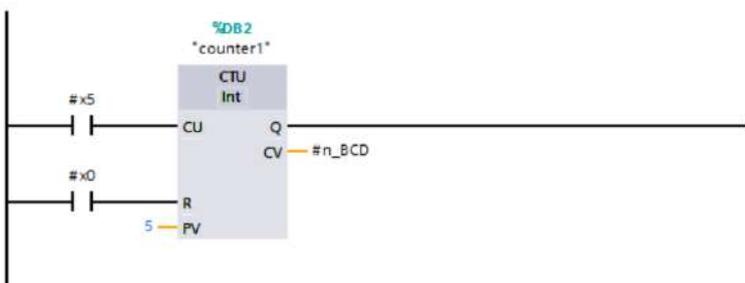


FIGURE B.41 – compteur de l'état x_5

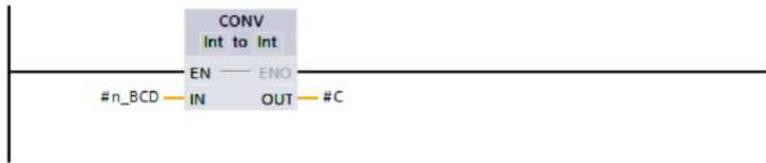


FIGURE B.42 – convertisseur int-int



FIGURE B.43 – timer T_0

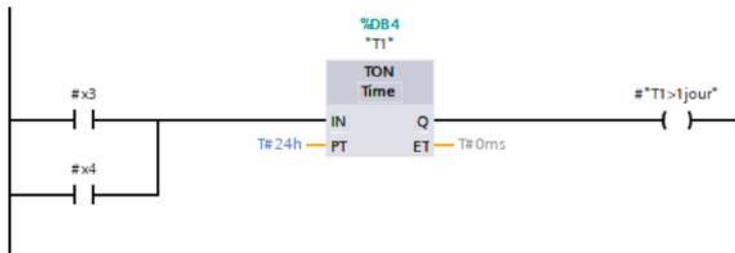


FIGURE B.44 – timer T_1

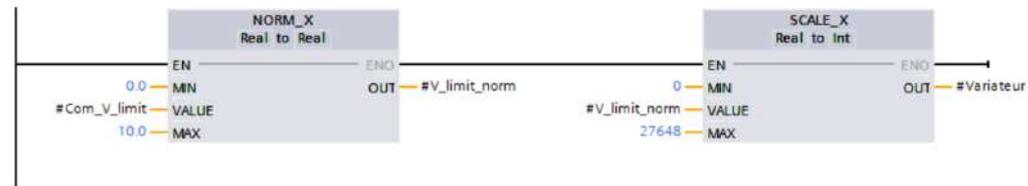


FIGURE B.45 – signal de sortie

B.14 Programme de station s7 300 / step 7

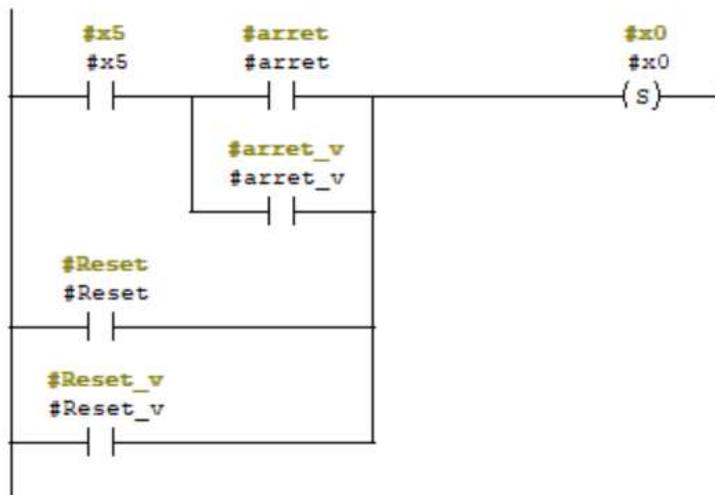


FIGURE B.46 – Set état 0

Editeur de mnémoniques - [Programme S7(1) (Mnémoniques) -- PFE_station3_s7_300_314\Station SIMATIC 300\CPU314 IFM(1)]

Table Edition Insertion Affichage Outils Fenêtre ?

Tous les mnémoniq

Etat	Mnémonique	Opérande	Type de	Commentaire
1		I 124.2	BOOL	
2	A_T	M 30.3	BOOL	
3	A_v	M 1.2	BOOL	
4	Arret	I 124.5	BOOL	
5	arret_T	M 30.2	BOOL	
6	Arret_v	M 1.5	BOOL	
7	arrivee	Q 124.3	BOOL	
8	avant	Q 124.4	BOOL	
9	B	I 124.3	BOOL	
10	B_T	M 30.4	BOOL	
11	B_v	M 1.3	BOOL	
12	C	I 124.4	BOOL	
13	C_T	M 30.5	BOOL	
14	C_v	M 1.4	BOOL	
15	cahier de charge	FC 1	FC 1	
16	Cycle Execution	OB 1	OB 1	
17	marche	I 124.1	BOOL	
18	marche_T	M 30.1	BOOL	
19	marche_v	M 1.1	BOOL	
20	motor_stat	M 0.8	BOOL	
21	Reset	I 124.0	BOOL	
22	reset_T	M 30.0	BOOL	
23	Reset_v	M 1.0	BOOL	
24	T1	T 1	TIMER	
25	T2	T 2	TIMER	
26	time_ecouli	MW 10	INT	
27	UNSCALE	FC 106	FC 106	Unscaling Values
28	V1	Q 124.0	BOOL	
29	V2	Q 124.1	BOOL	
30	V3	Q 124.2	BOOL	
31	vitesse	MD 4	REAL	
32	vitesse_sortie	PQW 128	INT	
33	x0	M 0.0	BOOL	
34	x1	M 0.1	BOOL	
35	x2	M 0.2	BOOL	
36	x3	M 0.3	BOOL	
37	x4	M 0.4	BOOL	
38	x5	M 0.5	BOOL	
39				

Pour obtenir de l'aide, appuyez sur F1.

NUM

FIGURE B.47 – tableau de mémoriques

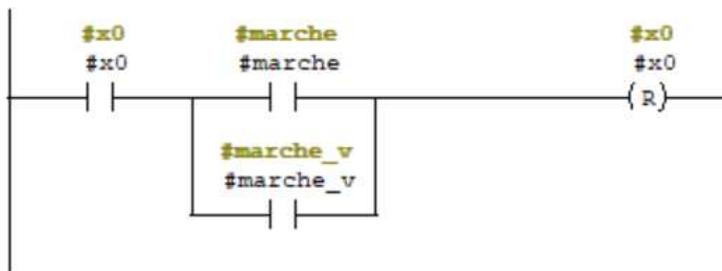


FIGURE B.48 – Reset état 0

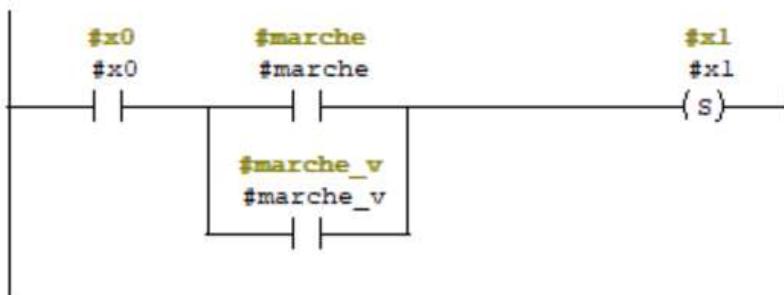


FIGURE B.49 – Set état 1

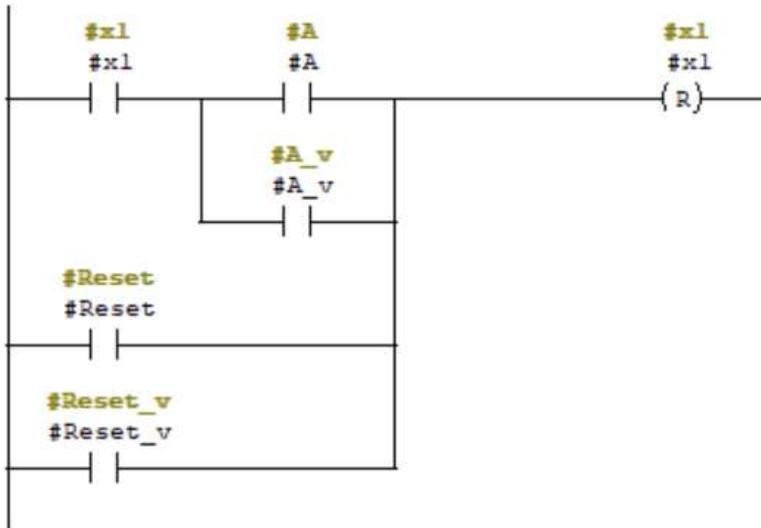


FIGURE B.50 – Reset état 1

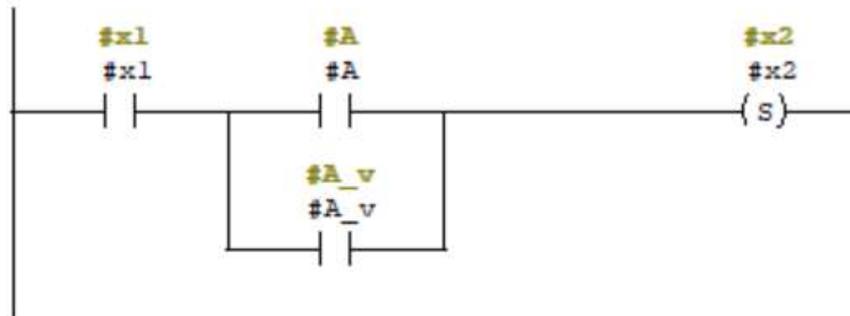


FIGURE B.51 – Set état 2

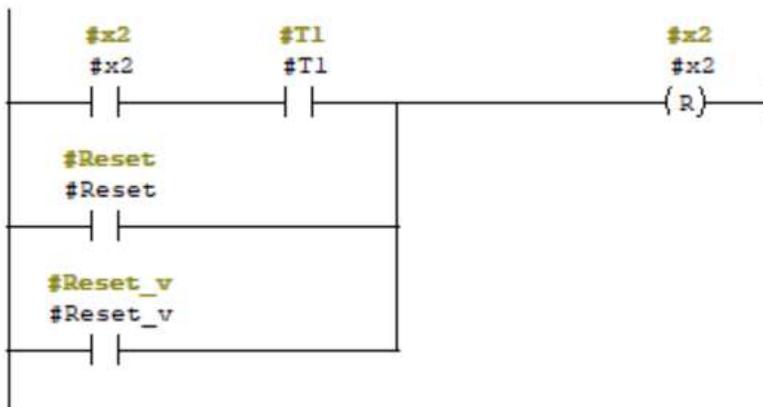


FIGURE B.52 – Reset état 2

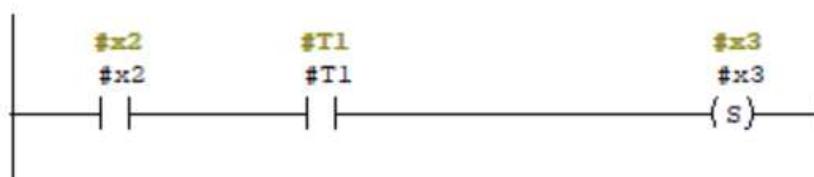


FIGURE B.53 – Set état 3

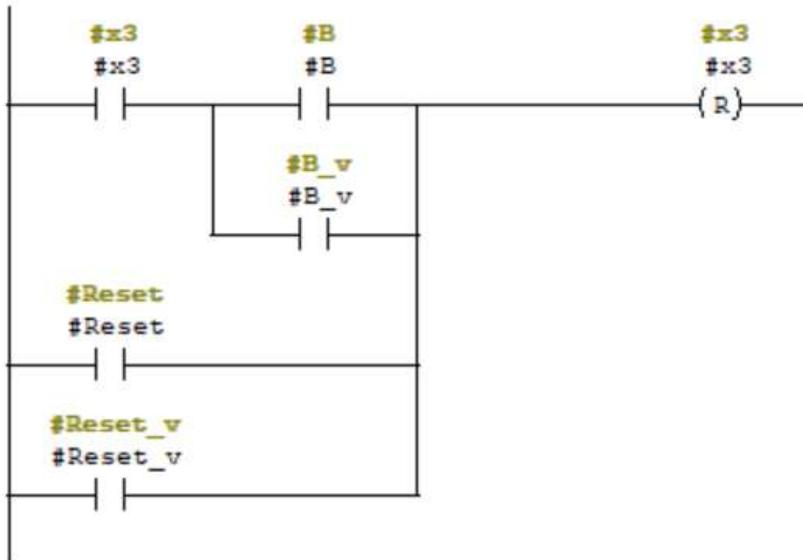


FIGURE B.54 – Reset état 3

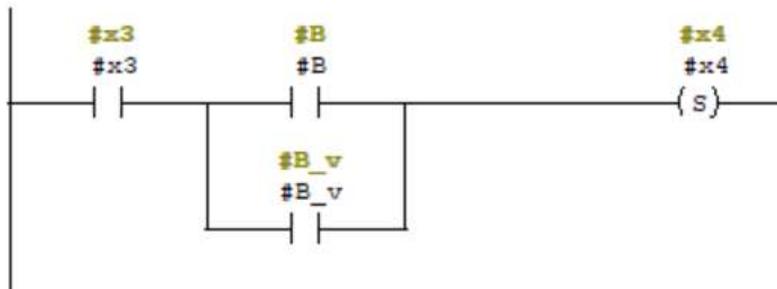


FIGURE B.55 – Set état 4

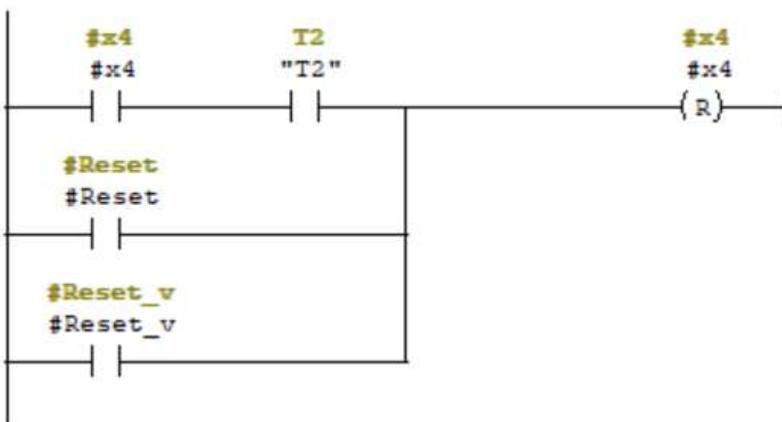


FIGURE B.56 – Reset état 4

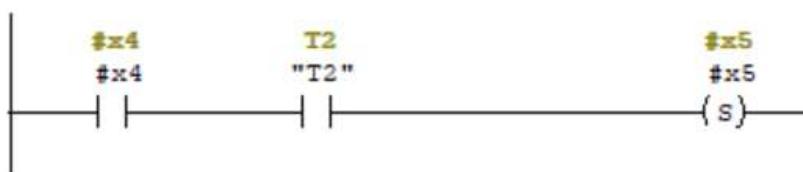


FIGURE B.57 – Set état 5

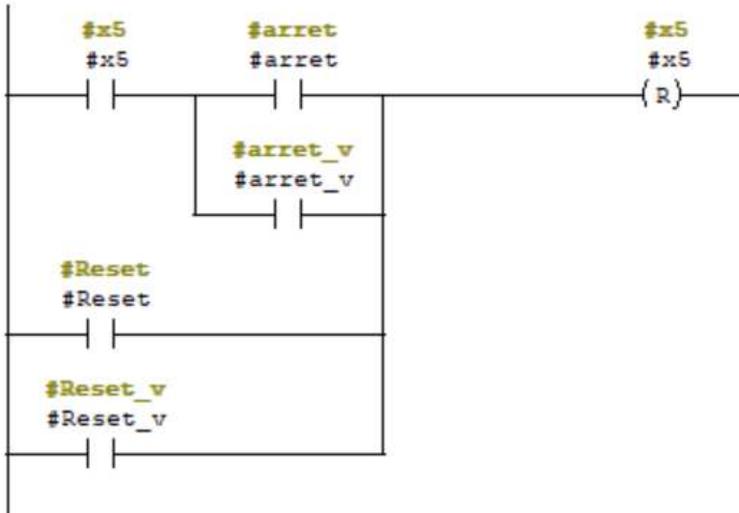


FIGURE B.58 – Reset état 5

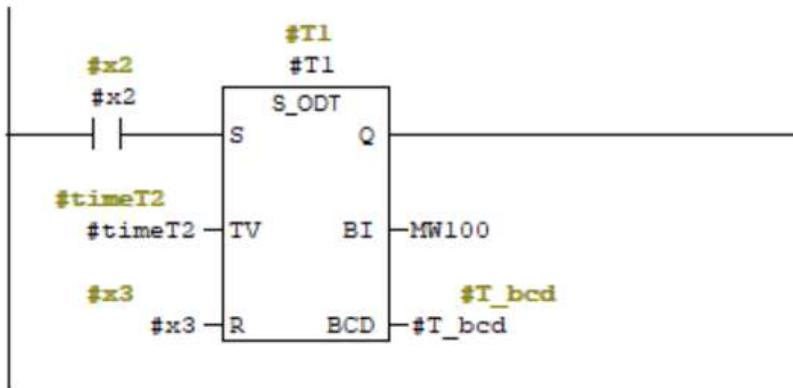


FIGURE B.59 – Timer

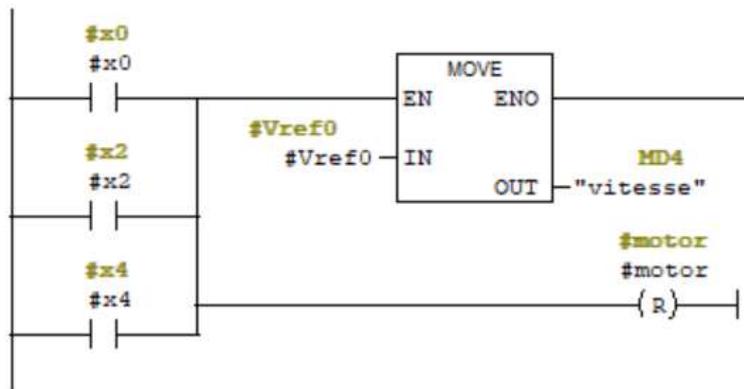


FIGURE B.60 – Vitesse de référence 0

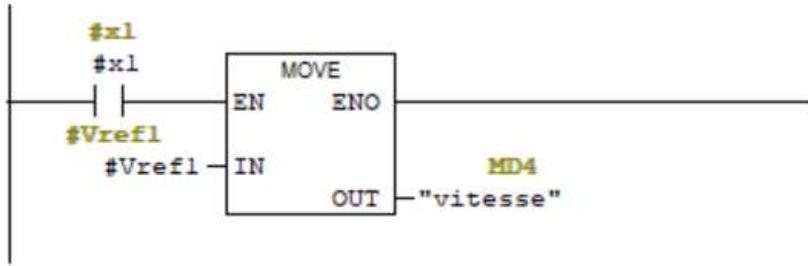


FIGURE B.61 – Vitesse de référence 1

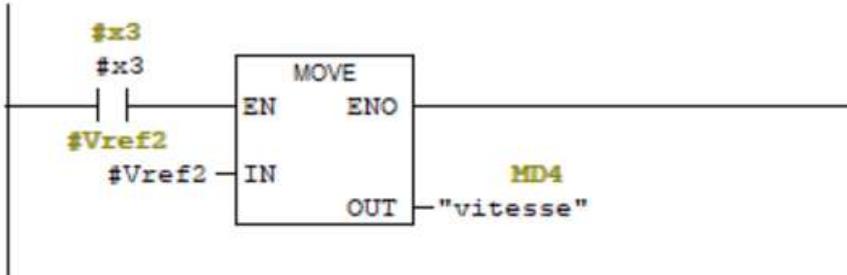


FIGURE B.62 – Vitesse de référence 2

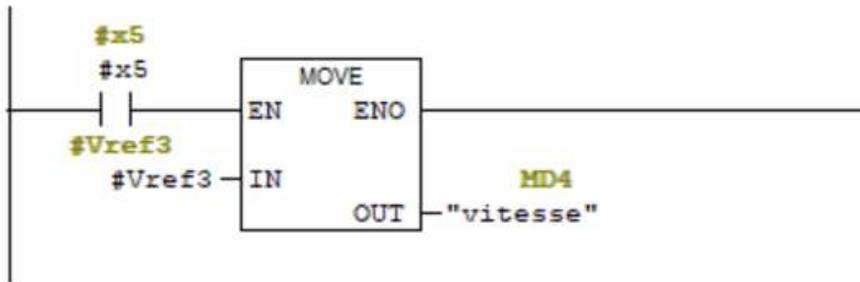


FIGURE B.63 – Vitesse de référence 3

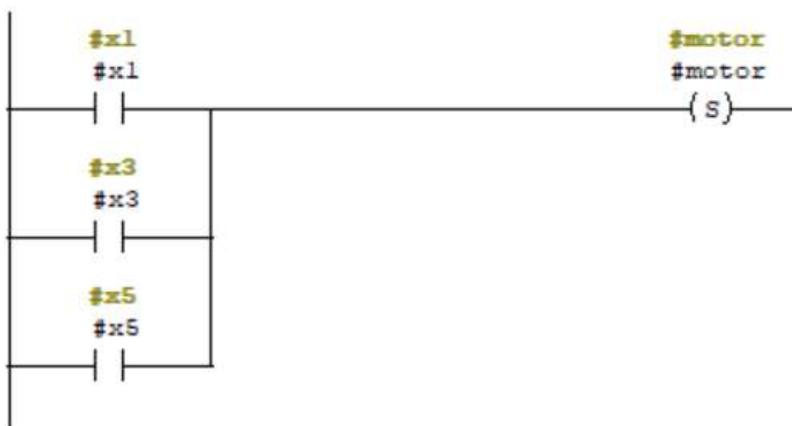


FIGURE B.64 – bobine motor ON

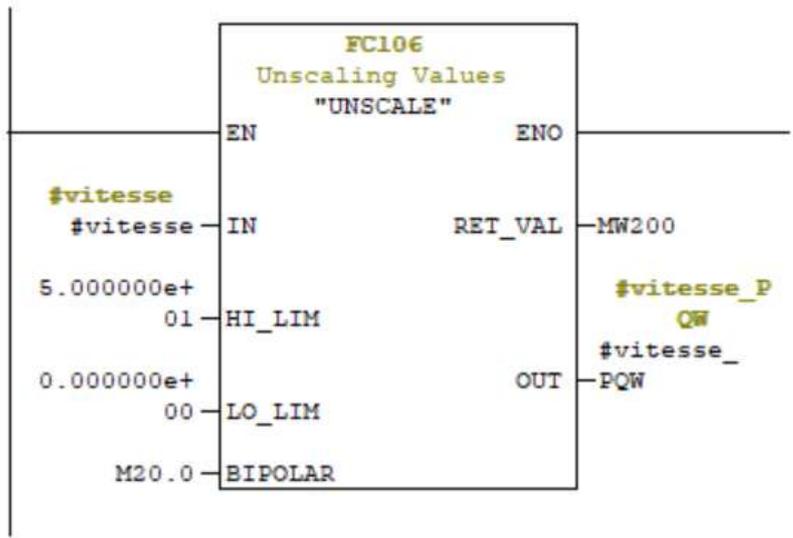


FIGURE B.65 – unscale la vitesse de sortie

ANNEXE C : siemens LOGO

C.1 Présentation de LOGO!



FIGURE C.1 – LOGO

LOGO! est le module logique universel développé par Siemens, conçu pour automatiser des tâches simples dans le domaine de la commande industrielle. Ce module compact intègre une unité de commande et d'affichage avec rétroéclairage, une alimentation, ainsi que des interfaces pour modules d'extension et de programmation (carte mémoire ou câble PC). LOGO! propose un large éventail de fonctions de base prédéfinies, telles que l'enclenchement ou le déclenchement temporisé, le relais à impulsion ou encore le commutateur logiciel. Il comprend également des minuteries, des mémoires numériques et analogiques, ainsi que des entrées et sorties variables selon le modèle de l'appareil.

C.2 Architecture de l'automate

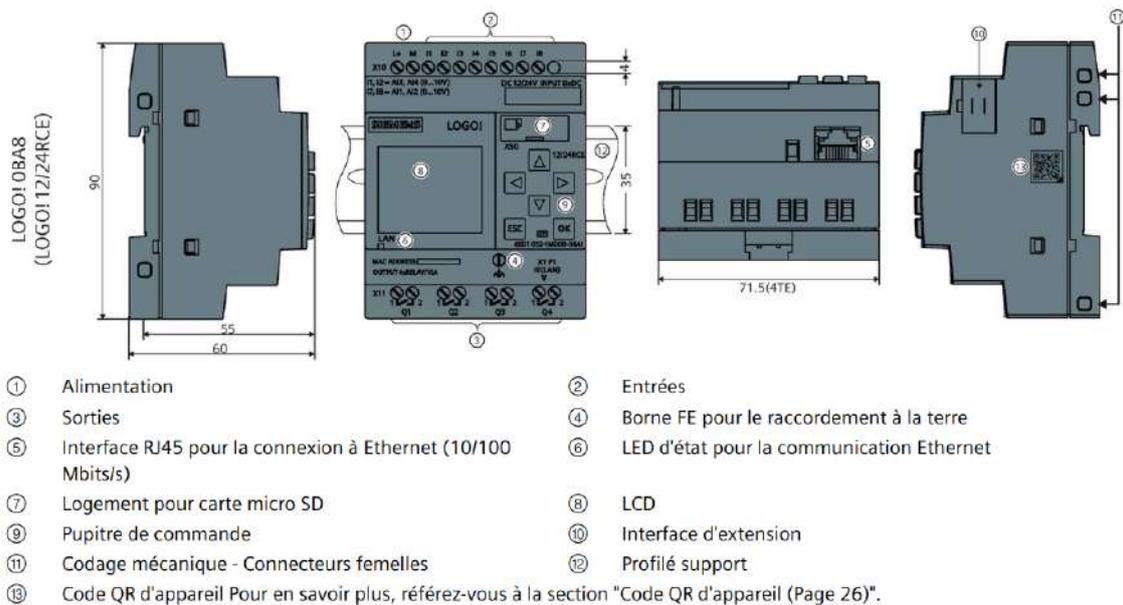


FIGURE C.2 – Architecture

C.3 Logiciel LOGO soft comfort

LOGO! Soft Comfort est le logiciel de programmation dédié aux modules logiques LOGO! de Siemens. Il offre une interface intuitive et conviviale permettant de concevoir, simuler, tester et documenter des programmes de commande automatisée.

C.4 Programmation avec LOGO soft confort

C.4.1 Étapes pour choisir un module dans LOGO! Soft Comfort

En double-cliquant sur l'icône du logiciel dans la barre d'outils, puis en sélectionnant **Nouveau**, une fenêtre contextuelle s'ouvre pour permettre le choix du module.

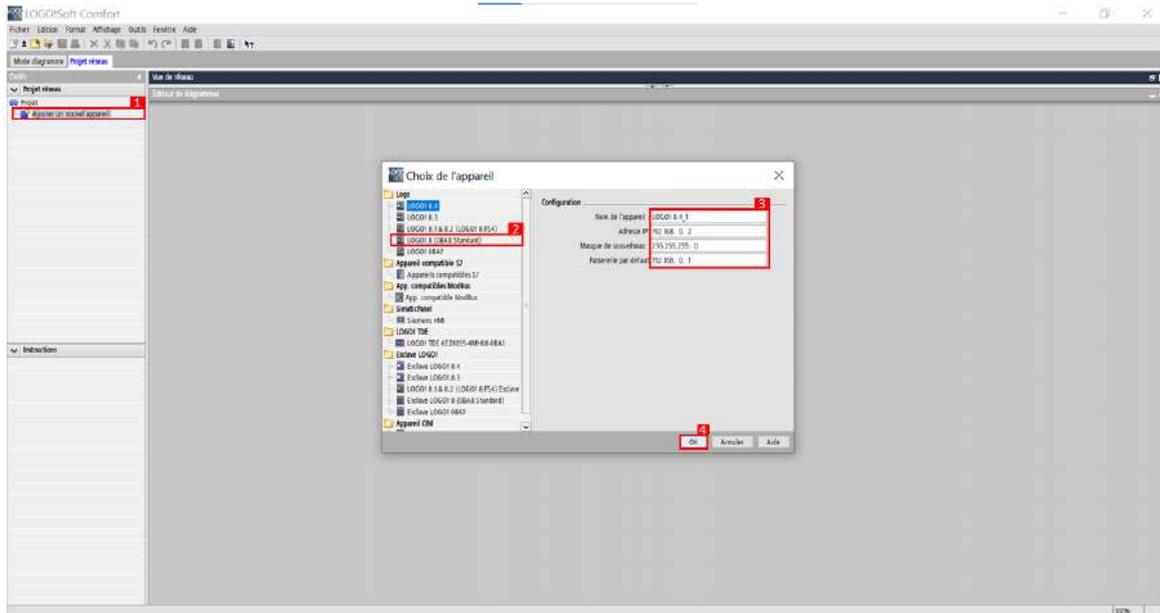


FIGURE C.3 – Architecture

Étape 1 : Cliquez sur **Ajouter un nouvel appareil** dans le panneau de gauche sous l'onglet *Projet réseau*.

Étape 2 : Dans la fenêtre « Choix de l'appareil », sélectionnez le type de module souhaité (par exemple **LOGO! 0BA8 Standard**).

Étape 3 : Renseignez les paramètres réseau du module :

- **Nom de l'appareil** : par exemple, LOGO! 8.4.1
- **Adresse IP** : par exemple, 192.168.0.2
- **Masque de sous-réseau** : 255.255.255.0
- **Passerelle par défaut** : 192.168.0.1

Étape 4 : Cliquez sur **OK** pour valider le choix du module.

C.4.2 Étapes pour choisir un module dans LOGO! Soft Comfort

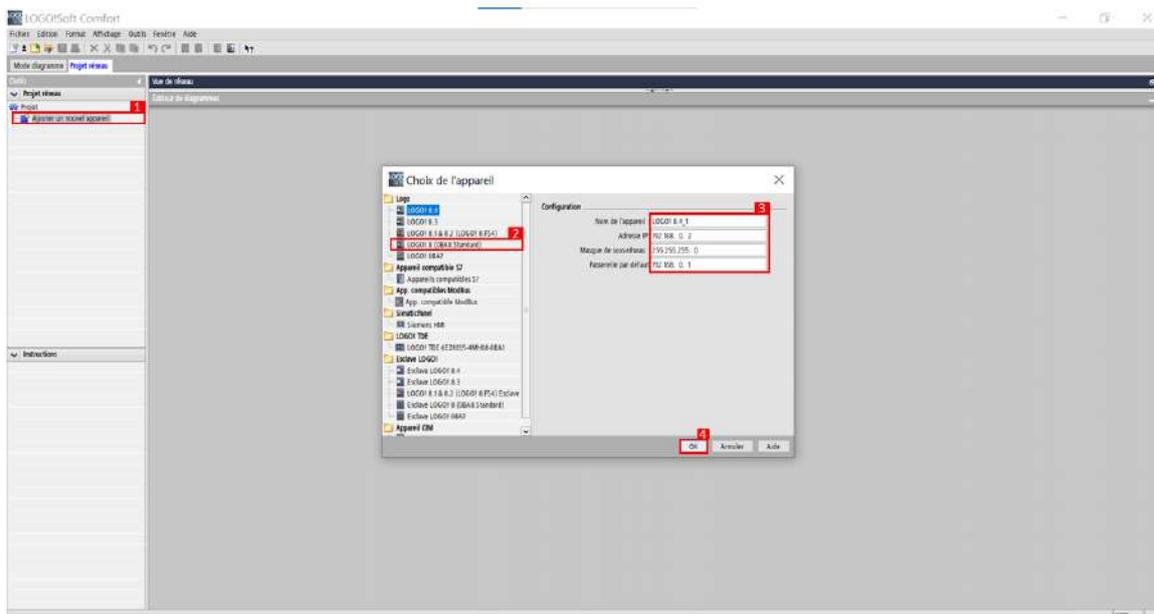


FIGURE C.4 – Architecture

- 1 **Barre de menu** : permet d'accéder aux fonctions classiques (fichier, édition, affichage, outils, etc.).
- 2 **Barre d'outils standard** : raccourcis pour les actions fréquentes (ouvrir, sauvegarder, simuler...).
- 3 **Barre d'outils du diagramme** : contient les outils pour manipuler et modifier les blocs dans l'espace de programmation.
- 4 **Zone de dessin (éditeur de diagramme)** : espace central où vous construisez votre programme logique en disposant les blocs.
- 5 **Explorateur de projet** : affiche la hiérarchie des modules du projet, y compris les appareils ajoutés.
- 6 **Bibliothèque d'instructions** : regroupe les blocs fonctionnels disponibles (entrées/sorties, temporisations, compteurs, etc.).

C.4.3 Déclaration des variables

1. Cliquez sur **Paramètres** dans le panneau de gauche sous l'onglet *Projet réseau*.
2. une fenêtre contextuelle s'ouvre pour permettre la déclaration des variables **I/O**

C.4.4 Download(Transfert) le programme PC vers l'automate LOGO!

1. Cliquez sur le bouton « **PC → LOGO!** » pour lancer le transfert du programme vers l'automate LOGO!.
2. Cliquez ensuite sur le bouton « **Actualiser** » pour afficher les appareils LOGO! disponibles. Cette étape permet de vous assurer que le bon périphérique de destination est sélectionné pour le transfert.
3. Validez les fenêtres suivantes en cliquant sur **OK** ou **Oui**, selon les cas.

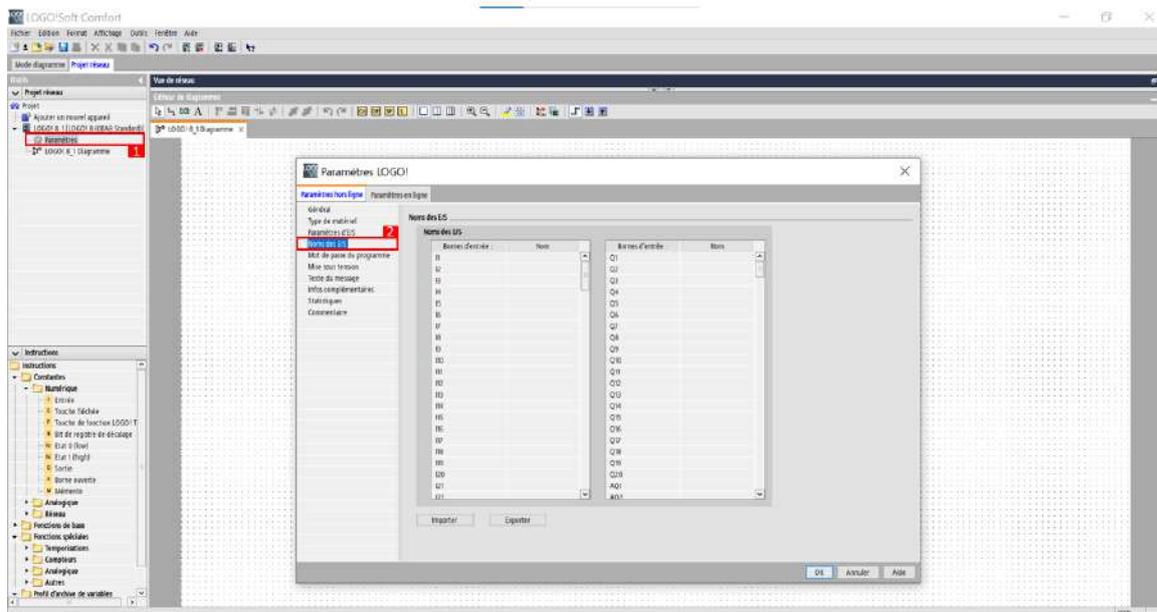


FIGURE C.5 – déclaration des variables

C.5 Communication entre LOGO et Easy builder pro

La communication entre **LOGO!** (Siemens) et **EasyBuilder Pro** (Weintek) utilise un câble **Ethernet** et repose sur le protocole ISO/OSI. Un point essentiel dans cette communication est le **TSAP** (Technical Service Access Point).

C.5.1 Qu'est-ce que le TSAP ?

Le TSAP est un identifiant utilisé pour spécifier les points d'accès aux services des couches de transport et d'application. Il permet d'identifier de manière unique une connexion entre deux dispositifs. Il est généralement représenté par deux octets hexadécimaux :

$$\text{TSAP} = \text{XX YY}$$

où :

- **XX** : Identifiant de la station (LOGO!, EasyBuilder Pro, etc.).
- **YY** : Identifiant du service ou du port spécifique.

Configuration du LOGO! Dans le logiciel LOGO! Soft Comfort, le TSAP est défini par un code hexadécimal. Par exemple :

$$\text{TSAP LOGO! / server} = 2000$$

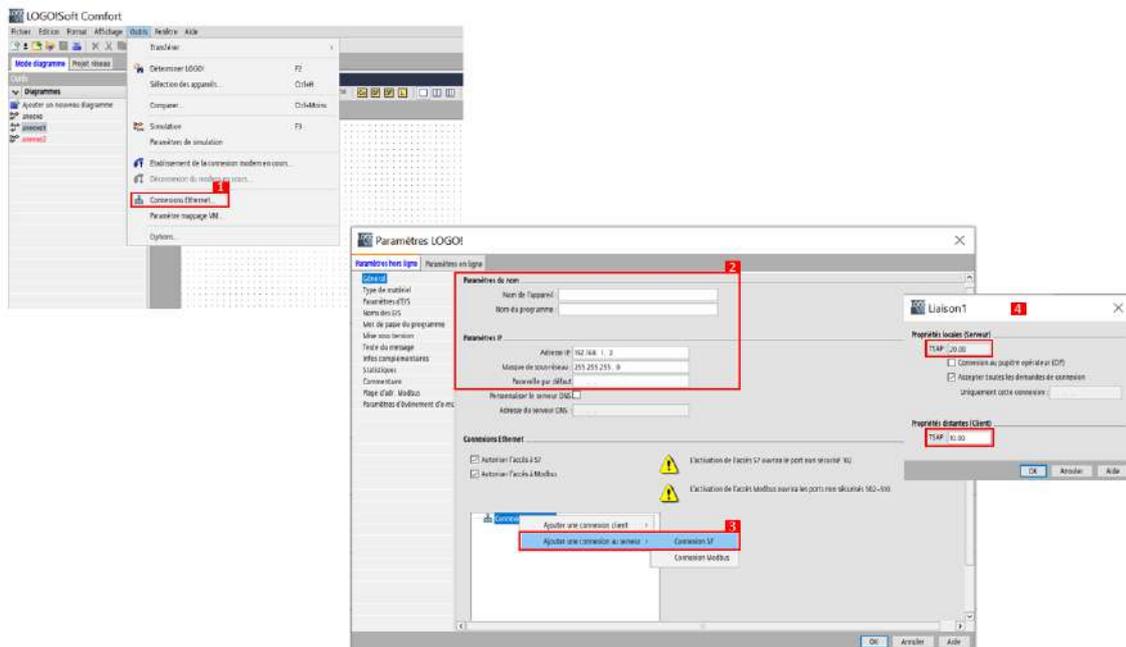
C.5.2 Configuration dans EasyBuilder Pro

Dans EasyBuilder Pro, le TSAP correspondant doit être configuré de manière à correspondre à celui du LOGO!. Par exemple :

$$\text{TSAP EasyBuilder Pro / client} = 1000$$

Les deux dispositifs échangeront des données uniquement si les TSAP sont correctement configurés.

C.5.3 configuration des paramètres reseau dans logo soft !



1. Accéder aux paramètres Ethernet

Pour accéder aux paramètres Ethernet, allez dans le menu :

Outils → Connexions Ethernet...

Cela permet de configurer les connexions réseau pour le module LOGO!.

2. Configuration des paramètres IP

Dans la fenêtre **Paramètres LOGO!**, sous l'onglet **Paramètres hors ligne**, saisissez les informations suivantes :

- Adresse IP : 192.168.1.3
- Masque de sous-réseau : 255.255.255.0
- Passerelle par défaut : 192.168.1.1 (si nécessaire)

3. Ajouter une connexion S7

Dans la section **Connexions Ethernet**, cliquez sur :

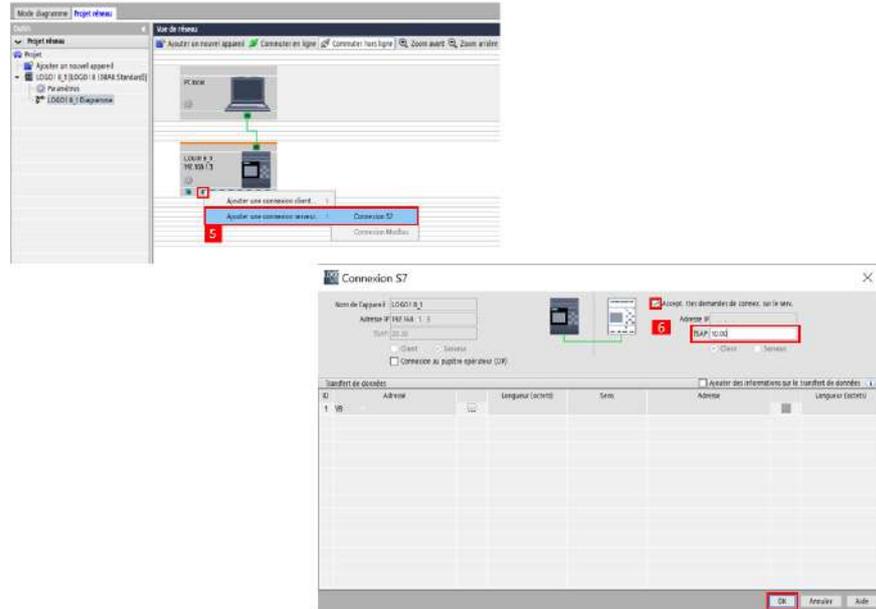
Ajouter une connexion serveur → **Connexion S7**

4. Configuration des TSAP

Dans la fenêtre **Liaison1**, configurez les paramètres TSAP :

- **TSAP Serveur (local)** : 20.00
- **TSAP Client (distant)** : 10.00

Ces valeurs doivent être identiques dans EasyBuilder pour établir une communication correcte.



C.6 Tableau des variables

ce tableau ci-dessous nous montre les entrées-sorties de notre système :

Les Entrées		Les Sorties		Mémoros	
Adresses	Variables	Adresses	Variables	Adresses	Variables
I1	Reset	Q1	Pompe_V1	M1	X0
I2	Marche	Q2	Agitateur_V2	M2	X1
I3	LA	Q3	EVB_V3	M3	X2
I4	HA	Q4	EVA_V4	M4	X3
I5	LB			M5	X4
I6	HB			M6	X5
AI1	Capteur A			M7	X6
AI2	Capteur B				

TABLE C.1 – Table d’Affectation des Variables

ANNEXE D : Schneider Zelio

D.1 Présentation de l'automate Zelio



FIGURE D.1 – Zelio

L'automate Zelio de marque Schneider Electric est un module programmable regroupant dans un seul bloc les entrées et les sorties. En fonction de la référence de l'automate, le type et la tension d'alimentation seront différents, il en va de même pour la tension des entrées. Les sorties quant à elles seront à relais jusqu'à 6 A.

D.2 Architecture de l'automate

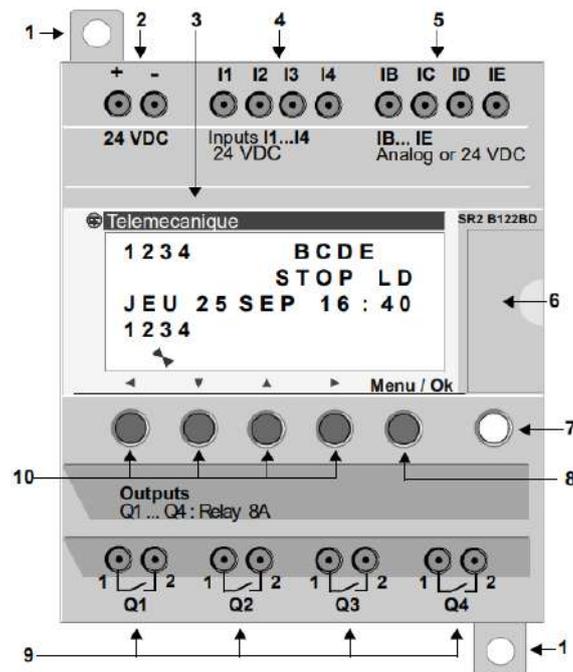


FIGURE D.2 – composition de l'automate Zelio

Repère	Description
1	Pattes de fixation rétractables.
2	Bornier à vis d'alimentation.
3	Afficheur LCD, 4 lignes, 18 caractères
4	Bornier à vis des entrées
5	Bornier à vis des entrées analogiques 0-10 Volts utilisables en entrées TOR
6	Emplacement mémoire de sauvegarde ou câble de raccordement PC
7	Touche Shift
8	Touche de sélection et validation
9	Bornier à vis sorties relais
10	Touches de navigation ou après configuration boutons poussoir Z

TABLE D.1 – Description des composants de l'appareil

D.3 Logiciel Zelio soft

Le logiciel de programmation Zelio Soft 2 est conçu pour programmer les modules logiques de la gamme Zelio Logic. Zelio Soft 2 vous permet de choisir entre les langages de programmation, d'afficher les données du programme et des paramètres, de charger et télécharger des applications, ainsi que d'imprimer la documentation de l'application.

D.3.1 Creation d'un nouveau projet

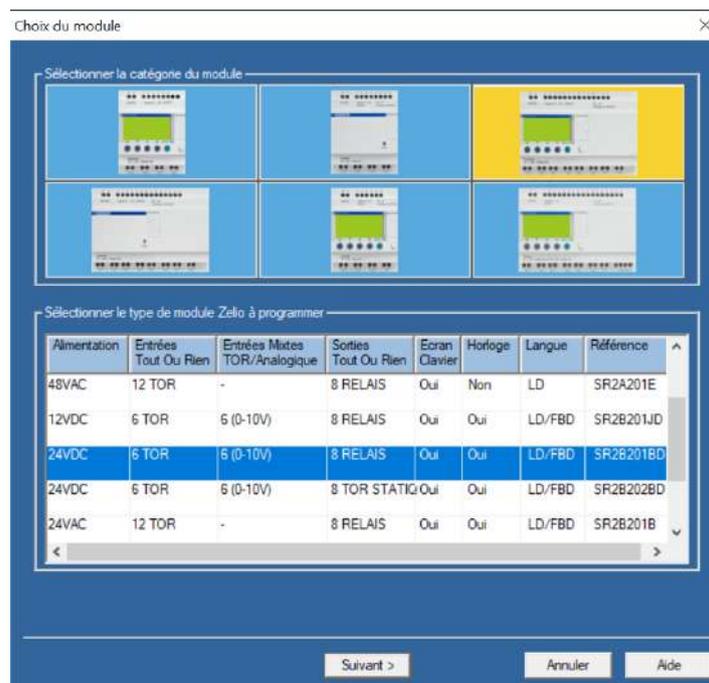


FIGURE D.3 – choix de module

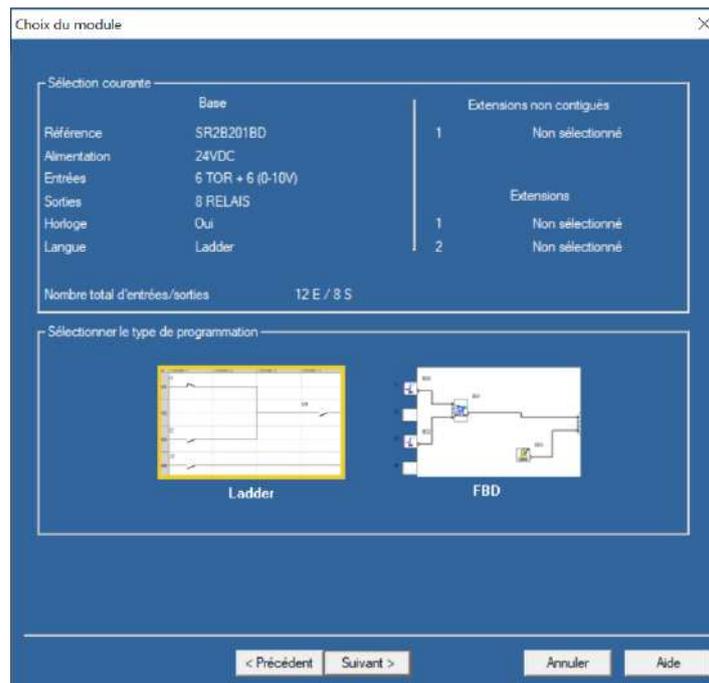


FIGURE D.4 – choix de module

D.3.2 Les fonctions principales

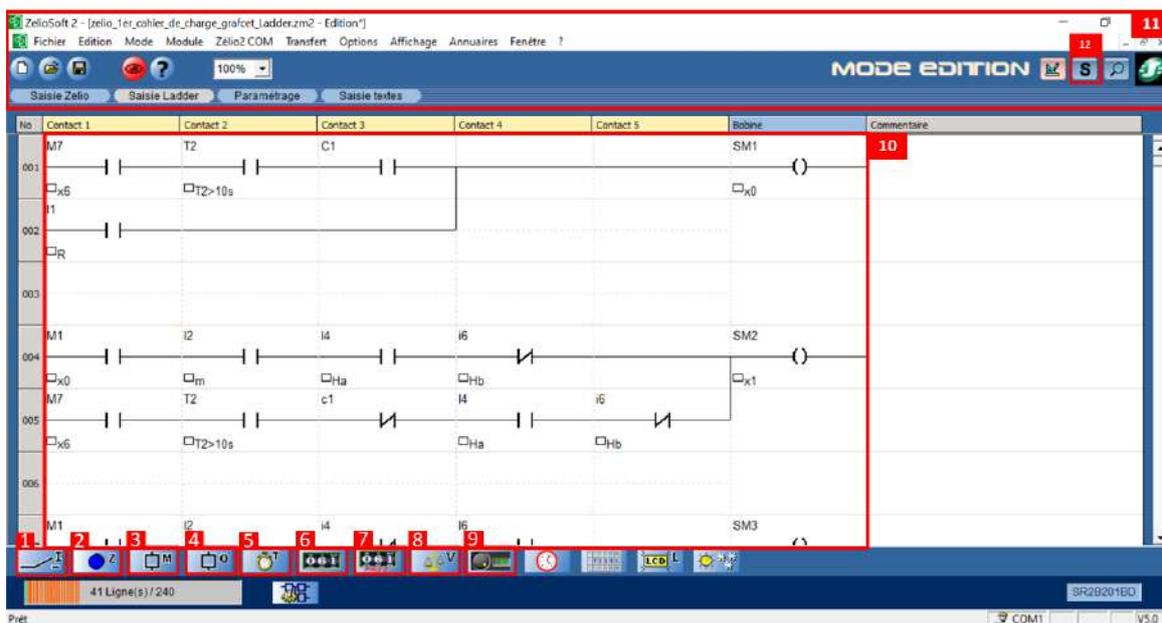


FIGURE D.5 – Interface Ladder

1. Entrées TOR ($I_1...I_6$) / analogique ($I_B...I_G...$)
2. Entrées (Bouton poussoir) de forçage $Z_1..Z_4$
3. Memento $M_1M_2...$
4. Sorties $Q_1...Q_8$
5. Temporisation T
6. Compteur/Decompteur C
7. compteur rapide

- 8. Compateur de compteur **V**
- 9. Compateur analogique **A**
- 10. Workspace (Zone de travail)
- 11. Barre d'outils
- 12. Simulation

No		Commentaire
01	I1	R
02	I2	m
03	I3	La
04	I4	Ha
05	I5	Lb
06	I6	Hb
07	IB	CapteurA
08	IC	CapteurB
09	ID	
10	IE	
11	IF	
12	IG	



FIGURE D.6 – entrées TOR

No		Commentaire
01	Z1	
02	Z2	
03	Z3	
04	Z4	



FIGURE D.7 – entrées Z de forçage

No		Commentaire	No		Commentaire
01	M1	S R x0	29	N1	S R
02	M2	S R x1	30	N2	S R
03	M3	S R x2	31	N3	S R
04	M4	S R x3	32	N4	S R
05	M5	S R x4	33	N5	S R
06	M6	S R x5	34	N6	S R
07	M7	S R x6	35	N7	S R
08	M8	S R alarmA	36	N8	S R
09	M9	S R alarmB	37	N9	S R
10	MA	S R	38	NA	S R
11	MB	S R	39	NB	S R
12	MC	S R	40	NC	S R
13	MD	S R	41	ND	S R
14	ME	S R	42	NE	S R
15	MF	S R	43	NF	S R
16	MG	S R	44	NG	S R
17	MH	S R	45	NH	S R
18	MJ	S R	46	NJ	S R
19	MK	S R	47	NK	S R
20	ML	S R	48	NL	S R
21	MN	S R	49	NN	S R
22	MP	S R	50	NP	S R
23	MQ	S R	51	NQ	S R
24	MR	S R	52	NR	S R
25	MS	S R	53	NS	S R
26	MT	S R	54	NT	S R
27	MU	S R	55	NU	S R
28	MV	S R	56	NV	S R



FIGURE D.8 – memonto M

No		Commentaire
01	Q1	V1 EVA
02	Q2	V2 EVB
03	Q3	V3 Pompe
04	Q4	V4 Agitateur
05	Q5	
06	Q6	
07	Q7	
08	Q8	



FIGURE D.9 – sorties Q

No		Commentaire	No		Commentaire
01	T1	T R T1>10s	15	TF	T R
02	T2	T R T2>10s	16	TG	T R
03	T3	T R	17	TH	T R
04	T4	T R	18	TJ	T R
05	T5	T R	19	TK	T R
06	T6	T R	20	TL	T R
07	T7	T R	21	TN	T R
08	T8	T R	22	TP	T R
09	T9	T R	23	TQ	T R
10	TA	T R	24	TR	T R
11	TB	T R	25	TS	T R
12	TC	T R	26	TT	T R
13	TD	T R	27	TU	T R
14	TE	T R	28	TV	T R

FIGURE D.10 – Temporisation T

No		Commentaire	No		Commentaire
01	C1	C D R	15	CF	C D R
02	C2	C D R	16	CG	C D R
03	C3	C D R	17	CH	C D R
04	C4	C D R	18	CJ	C D R
05	C5	C D R	19	CK	C D R
06	C6	C D R	20	CL	C D R
07	C7	C D R	21	CN	C D R
08	C8	C D R	22	CP	C D R
09	C9	C D R	23	CQ	C D R
10	CA	C D R	24	CR	C D R
11	CB	C D R	25	CS	C D R
12	CC	C D R	26	CT	C D R
13	CD	C D R	27	CU	C D R
14	CE	C D R	28	CV	C D R

FIGURE D.11 – Compteur

No		Commentaire
01	V1	
02	V2	
03	V3	
04	V4	
05	V5	
06	V6	
07	V7	
08	V8	

FIGURE D.12 – Comparsateurs des compteurs

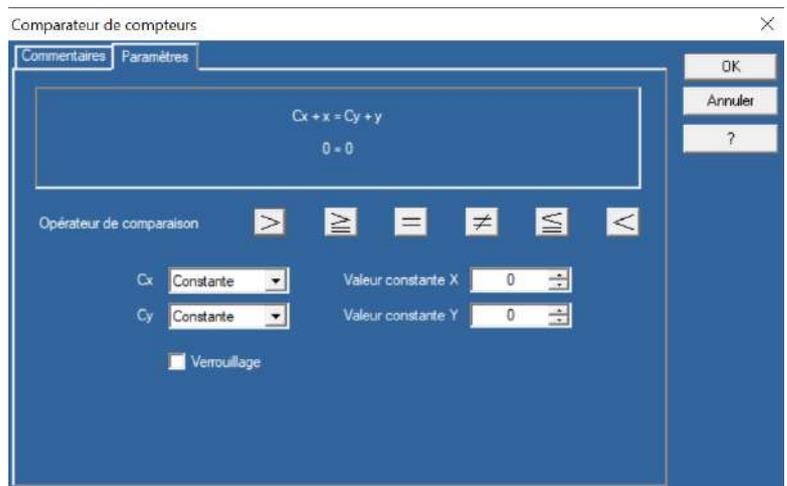


FIGURE D.13 – Fenêtre des Comparateur compteurs

No		Commentaire
01	A1	
02	A2	
03	A3	
04	A4	
05	A5	
06	A6	
07	A7	
08	A8	
09	A9	
10	AA	
11	AB	
12	AC	
13	AD	
14	AE	
15	AF	
16	AG	

FIGURE D.14 – Comparateurs analogique

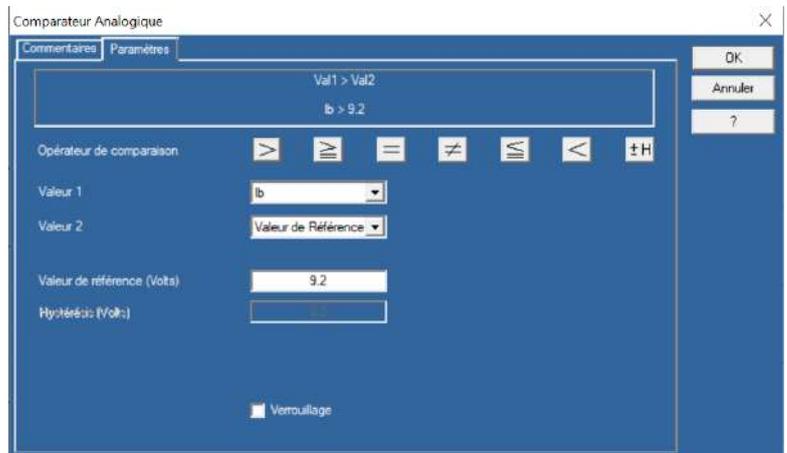


FIGURE D.15 – Fenêtre des Comparateur analogiques

D.4 Interface Fonction Block FBD

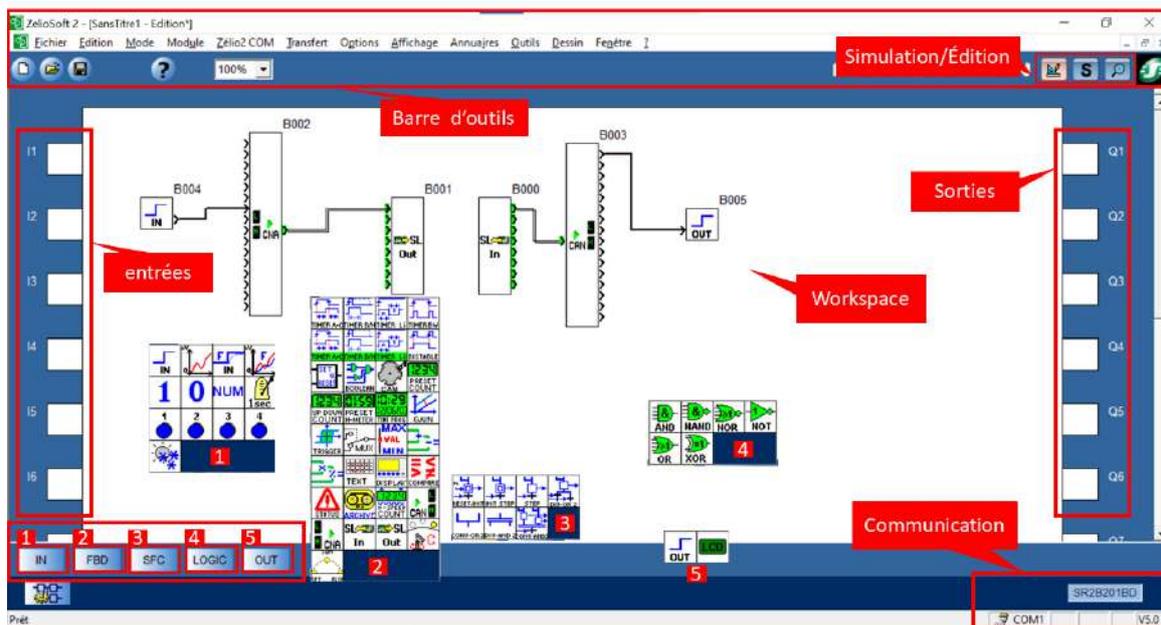


FIGURE D.16 – Interface FBD

1. Barre de menus (en haut)

Contient les menus classiques : Fichier, Édition, Mode, Module, Zelio COM, etc. Ces menus permettent de créer un nouveau projet, ouvrir, enregistrer, simuler ou transférer un programme au relais.

2. Espace de programmation (centre)

C'est ici que vous construisez votre programme en *langage à blocs fonctionnels (FBD)*. Les blocs comme IN, OUT, CAN, SL, etc., représentent les fonctions d'entrée, de communication ou de logique interne. Les liaisons entre blocs sont faites par des traits de connexion.

3. Barre de sélection des blocs (en bas, de 1 à 5)

Permet de choisir des catégories de blocs à insérer :

- IN : Entrées, minuteries, compteurs, comparateurs
- FBD : Blocs fonctionnels classiques (timers, compteurs, etc.)
- SFC : Diagrammes séquentiels (STEP, RESET, etc.)
- LOGIC : Fonctions logiques (ET, OU, NON, etc.)
- OUT : Sorties et affichage LCD

4. Colonnes des entrées et sorties (gauche et droite)

- À gauche : **Entrées physiques** I1 à I6 (représentent des capteurs, boutons...)
- À droite : **Sorties physiques** Q1 à Q7 (représentent des actionneurs comme des lampes, moteurs...)

5. Boutons rapides (en haut à droite)

Icônes de *simulation*, *sauvegarde*, *transfert vers automate*, etc. Le bouton "S" entouré indique probablement une sauvegarde rapide du projet.

6. Indication de module et version (en bas à droite)

Le modèle du relais utilisé ici est SR2B201BD. Version du logiciel : V5.0. Port de communication : COM1.

Les Entrées		Les Sorties		Mémentos	
Adresses	Variables	Adresses	Variables	Adresses	Variables
I1	Reset	Q1	Pompe	M1	X0
I2	Marche	Q2	Agitateur	M2	X1
I3	LA	Q3	EVB	M3	X2
I4	HA	Q4	EVA	M4	X3
I5	LB	Q5	V1	M5	X4
I6	HB	Q6	V2	M6	X5
IB	Capteur A	Q7	V3	M7	X6
IC	Capteur B	Q8	V4		

TABLE D.2 – Table d’Affectation des Entrées et Sorties sur Zelio Logic

D.5 La communication EasyBuilder Pro /Zelio

La communication entre EasyBuilder Pro et Zelio est assurée par un câble RS-232 ainsi que par des blocs SL_{IN} et SL_{OUT} , qui sont de type mot.

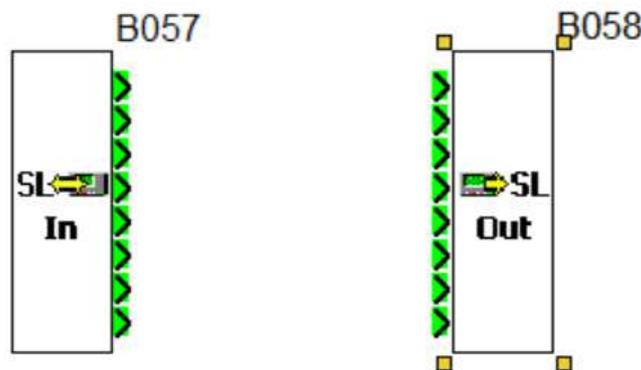


FIGURE D.17 – Blocs SL_{IN} et SL_{OUT} dans le logiciel Zelio Soft

- SL_{IN} : Permet d’envoyer 24 commandes (de 1 à 24) de EasyBuilder Pro vers l’automate Zelio (programme exécuté par l’API).
- SL_{OUT} : Permet d’envoyer 24 commandes (de 25 à 48) de l’automate Zelio vers EasyBuilder Pro.

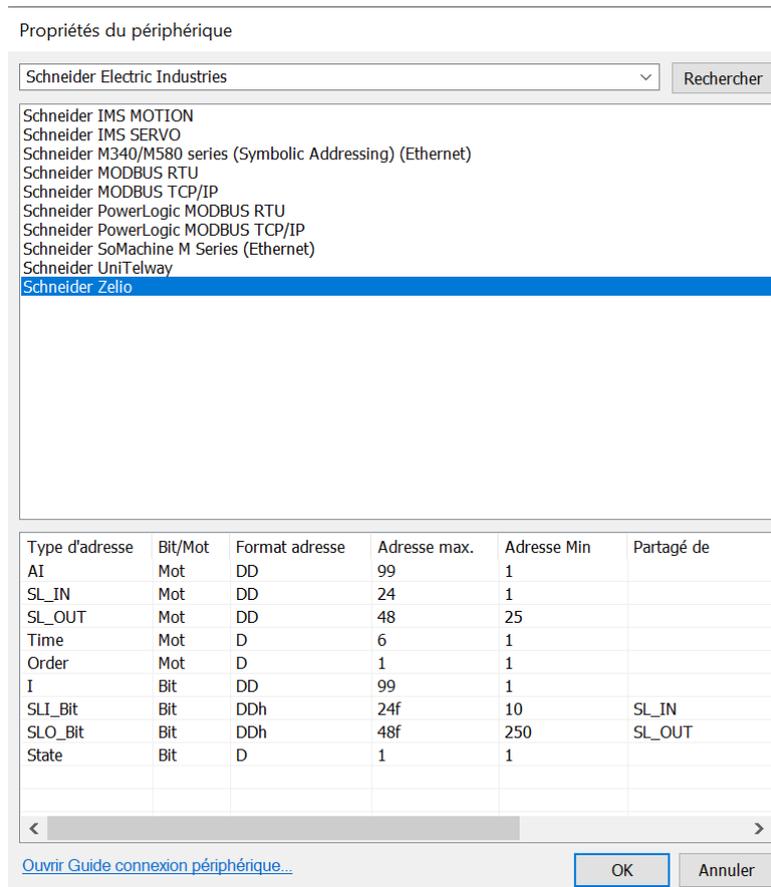


FIGURE D.18 – SL_{IN} et SL_{OUT} dans Easy Builder pro

On a mentionné que les blocs SL_{IN} et SL_{OUT} sont de type mot, mais cela n’empêche pas l’envoi de commandes numériques de l’automate vers EasyBuilder Pro à travers l’utilisation des blocs **CNA**.

Inversement, si l’on souhaite envoyer des commandes analogiques d’EasyBuilder Pro vers l’automate Zelio, cela est possible grâce à l’utilisation d’un convertisseur analogique-numérique **CAN**.

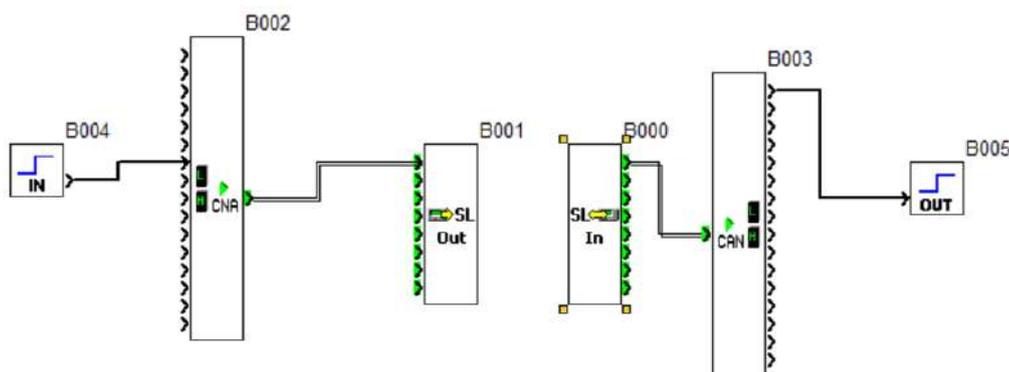


FIGURE D.19 – Convertisseur CNA/CAN

Annexe E : EPlan Cablage électrique

E.1 Eplan proPanel / Electric

EPLAN est une suite logicielle de CAO/DAO (Conception et Dessin Assisté par Ordinateur) puissante utilisée pour la conception de systèmes électriques, d'automatisation et de contrôle industriel. Elle est très répandue dans les secteurs de l'ingénierie électrique, l'automatisation industrielle et la conception de systèmes SCADA. L'image que vous avez fournie montre une interface du logiciel EPLAN Pro Panel 2022, utilisée ici pour la conception du schéma électrique d'un système SCADA à trois stations.

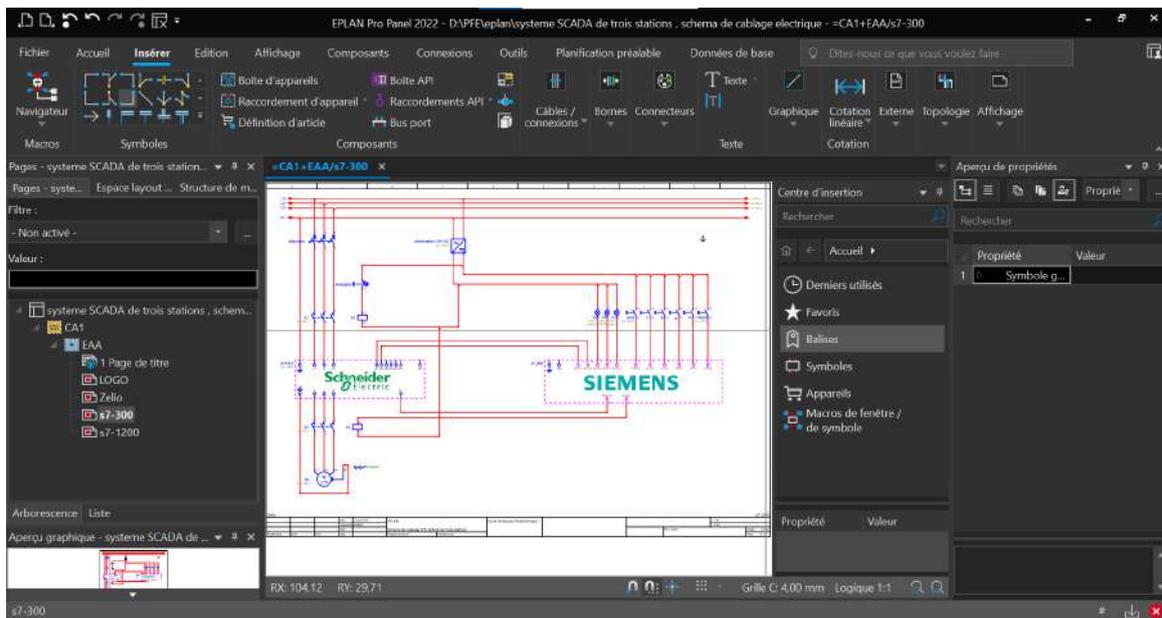


FIGURE E.1 – EPLAN pro panel , Vue principale

Elle est utilisée principalement dans les domaines suivants :

- Ingénierie électrique
- Automatisation industrielle
- Conception de systèmes pneumatiques et hydrauliques
- Développement de systèmes de contrôle et de supervision (PLC, SCADA, etc.)

EPLAN permet de produire des schémas électriques normalisés, des plans de câblage, des armoires électriques 3D, ainsi que la documentation technique complète des projets industriels.

E.2 Principales fonctionnalités

1. Schémas électriques intelligents

EPLAN facilite la création de schémas électriques multifilaires et unifilaires à l'aide de

symboles normalisés (IEC, NFPA, etc.), tout en identifiant automatiquement les bornes, les fils et les composants.

2. Génération automatique

Le logiciel permet la génération automatique des numérotations de composants, la création de nomenclatures, ainsi que les listes de câbles, de borniers et de connecteurs.

3. Connexion avec les automates programmables (PLC)

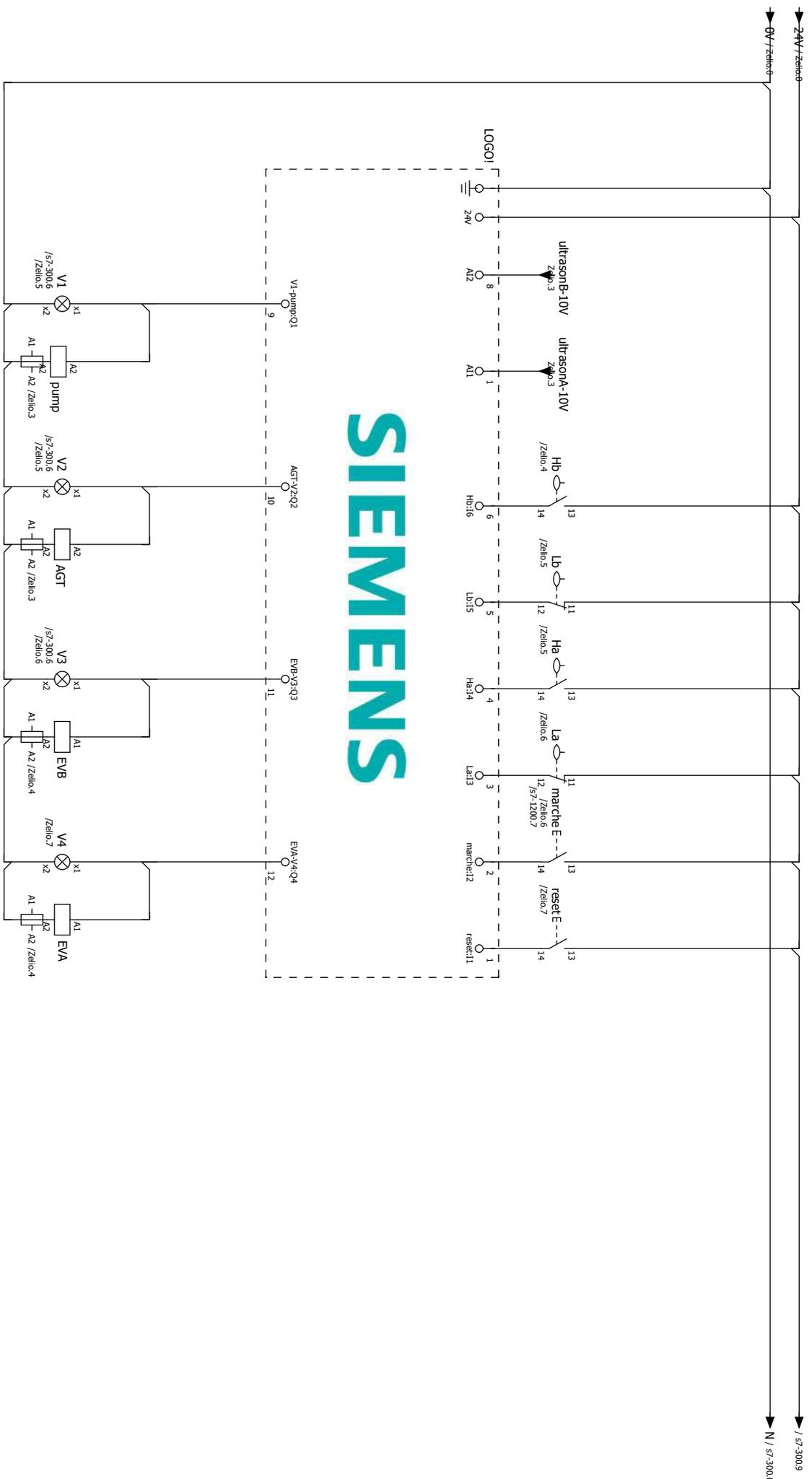
EPLAN peut importer ou exporter des listes d'entrées/sorties pour les automates programmables comme Siemens (S7-300, S7-1200), Schneider, etc. Il permet aussi la génération automatique des cartes d'E/S et facilite leur intégration dans les schémas.

4. Pro Panel : modélisation 3D

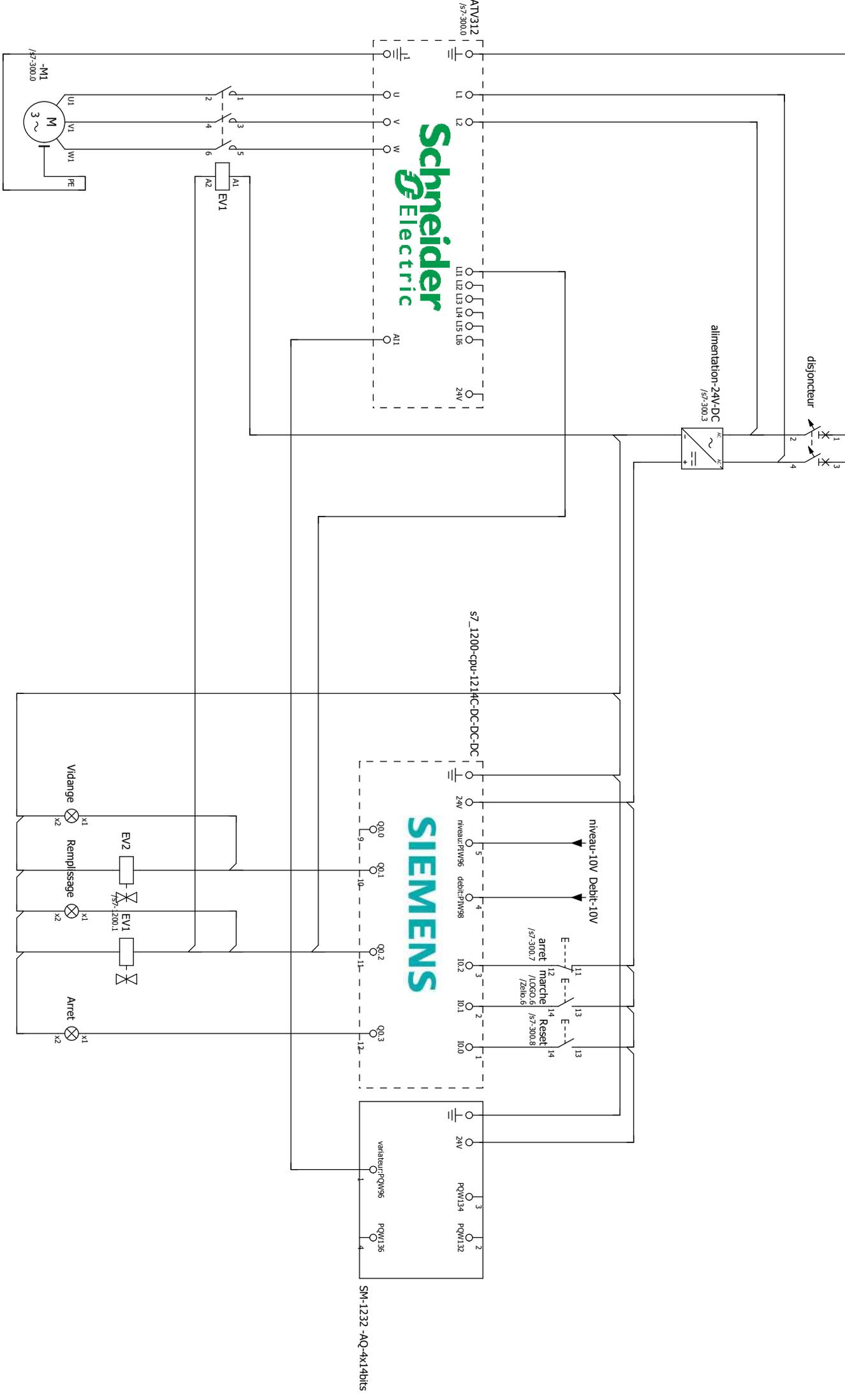
Grâce à EPLAN Pro Panel, il est possible de concevoir des armoires électriques en 3D, de positionner les composants, d'optimiser les câblages, et de détecter les conflits physiques. Le routage des câbles peut également être automatisé.

5. Gestion de projet collaborative

Plusieurs utilisateurs peuvent travailler sur un même projet avec des bases de données partagées. EPLAN assure la traçabilité des modifications, la gestion de versions, et l'organisation hiérarchique des pages et composants du projet.



Modification	Date	Norm	Date	Traitement	BAWDJR	EPLAN	Schema de cablage PFE SCADA de trois stations	Remplacement de	Remplacé par	Ecole Nationale Polytechnique	IFC_Das001	Feuille	LOGO
			23/05/2025									2 / 5	



Date	23/05/2025	EP/LAN	Ecole Nationale Polytechnique	Page	5 / 5
Traitement	BAND R	Remplacement de		Feuille	s7-1200
Orig.		Remplacé par			
Verif.					
Norm					
Modification					
Date					

Programme FBD LOGO!/ Zelio

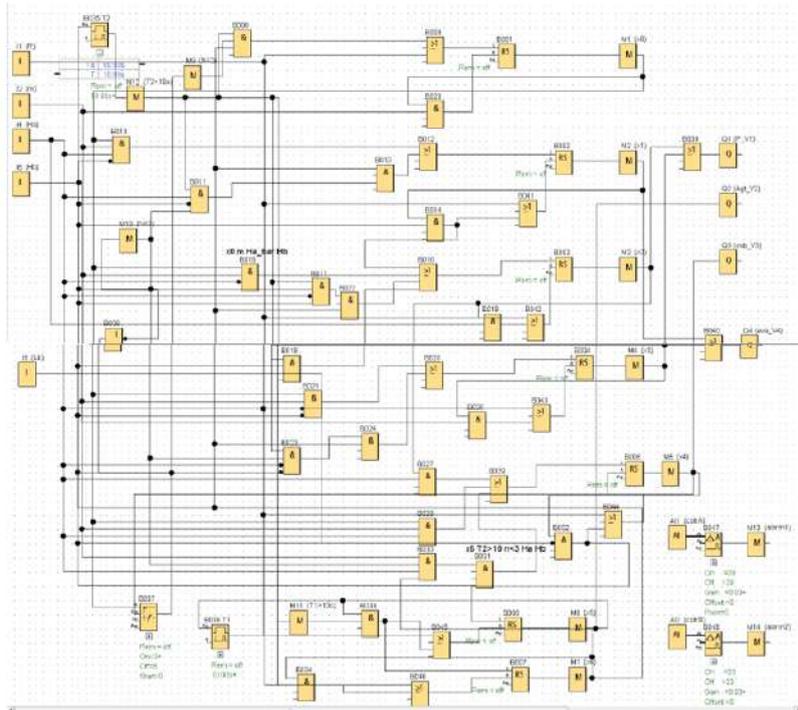


FIGURE E.2 – programme logo

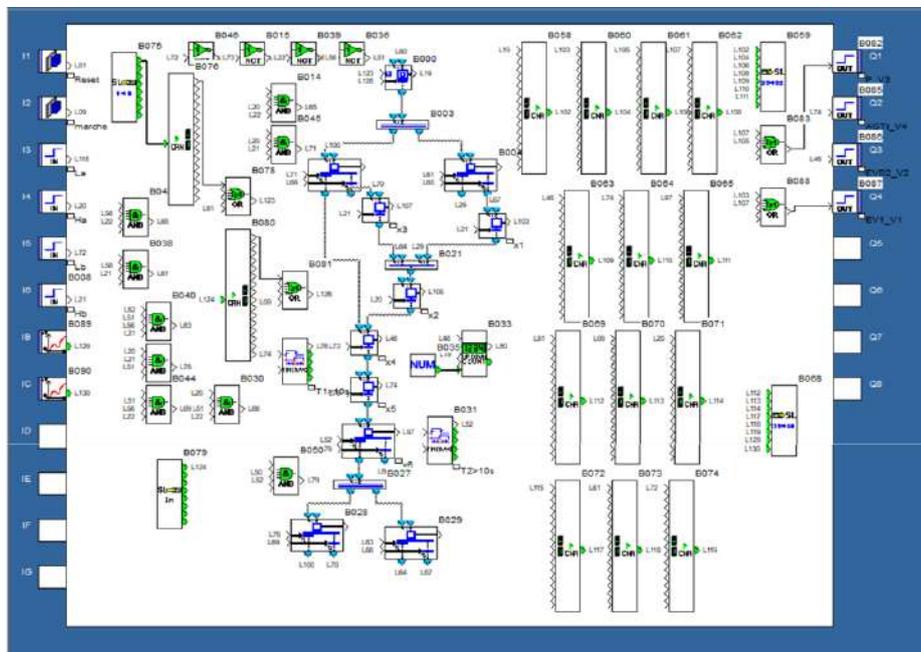


FIGURE E.3 – programme Zelio

Annexe F : Business Model Canvas BMC

Introduction au Business Model Canvas

Dans le cadre du développement de notre projet de fin d'études intitulé « *Développement d'un système SCADA pour la commande et la supervision de trois stations didactiques commandées par des automates programmables de différentes marques* », il est essentiel d'étudier le modèle économique associé à la solution proposée.

Le **Business Model Canvas (BMC)**, outil stratégique développé par *Alexander Osterwalder*, constitue un moyen simple et visuel de représenter les principaux éléments d'un modèle d'affaires. Il permet de structurer les composantes clés qui définissent la manière dont une organisation crée, délivre et capture de la valeur.

Le BMC est divisé en neuf blocs principaux :

- **Partenaires clés**
- **Activités clés**
- **Ressources clés**
- **Propositions de valeur**
- **Relations clients**
- **Canaux**
- **Segments de clients**
- **Structure des coûts**
- **Sources de revenus**

Dans notre projet, cet outil facilite l'analyse des aspects économiques, techniques et organisationnels du système SCADA développé avec *EasyBuilder Pro*. Il permet de mieux comprendre les interactions entre les différentes parties prenantes (fournisseurs, clients, partenaires) et de planifier la pérennité du projet, notamment en milieu pédagogique.

Le Business Model Canvas proposé ci-après synthétise donc les éléments essentiels relatifs au déploiement et à l'exploitation de notre solution SCADA au sein des instituts pédagogiques.

Business Model Canvas

Conçu pour:

les institutions pédagogique

Conçu par:

BANDIR Moustafa

Date:

21 / 06 / 2025

Version:

V1.0

Partenaires clés 1- Siemens (fournisseur des automates S7-1200, S7-300, HMI) 2- Schneider Electric (composants électriques, capteurs, relais) 3- Weintek (éditeur d'EasyBuilder Pro) 4- Fournisseurs de composants industriels (capteurs, moteurs, variateurs) 5- Institut pédagogique (partenaire pour tests et validation) 6- Éventuellement : distributeurs de matériel industriel	Activités Clés 1- Développement et configuration du système SCADA sous EasyBuilder Pro 2- Intégration multi-automates (Siemens, Schneider...) 3- Mise en place et configuration des réseaux de communication (Profinet, MPI, RS232, Fieldbus) 4- Supervision en temps réel (interface HMI / SCADA) 5- Tests et validation sur stations didactiques 6- Formation et documentation utilisateur	Propositions de valeur 1- Solution SCADA accessible et évolutive adaptée à un environnement pédagogique 2- Supervision centralisée de plusieurs automates de marques différentes 3- Réduction des coûts et des erreurs humaines grâce à l'automatisation 4- Plateforme de formation et de démonstration pour les étudiants 5- Facilité d'utilisation via une interface graphique conviviale 6- Compatibilité avec des réseaux hétérogènes	Relation Client 1- Support technique et assistance pour la prise en main 2- Formation des utilisateurs (étudiants, enseignants) 3- Maintenance préventive / évolutive 4- Documentation technique complète 5- Relation de proximité (présence locale dans l'institut)	Clients 1- Instituts pédagogiques et écoles techniques 2- Centres de formation professionnelle 3- Universités proposant des filières en automatisation / électrotechnique 4- Futur : entreprises souhaitant un démonstrateur SCADA low-cost
Ressources clés 1- Ressources physiques : automates programmables, PC de supervision, capteurs, moteurs, variateurs, réseaux Ethernet / Fieldbus 2- Ressources intellectuelles : expertise en automatisation, programmation SCADA, protocoles industriels 3- Ressources humaines : développeur / Intégrateur SCADA, formateur 4- Ressources logicielles : EasyBuilder Pro, logiciels de programmation automates (TIA Portal, LOGO Soft, etc.)	Canaux 1- Installation sur site (auprès de l'institut) 2- Sessions de formation et de démonstration 3- Documentation numérique (guides utilisateurs, tutoriels vidéo) 4- Plateforme interne de l'institut pour la diffusion des supports 5- Présentations lors de salons pédagogiques ou portes ouvertes	Revenus 1- Vente de la solution clé en main 2- Prestations de formation 3- Support technique / maintenance (contrat annuel) 4- Personnalisation / évolution du système sur demande		
Coûts 1- Achat des licences logiciels (EasyBuilder Pro, TIA Portal si requis) 2- Acquisition des équipements matériels (automates, capteurs, HMI...) 3- Développement et intégration du système 4- Frais de formation et de documentation 5- Maintenance et mises à jour du système				