

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique d'Alger



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Électrotechnique

Mémoire de Projet de Fin d'Études

pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Électrotechnique

Dimensionnement Électrique et Automatisation de la Station de Pompage Parc Dounia

Réalisé par :

MEGHAZI Abderrahim
BELKEBIR Mohamed Sofiane

Sous la direction de :

M. BERKOUK El Madjid (ENP)
M. BOUNISIAR Madjid (E.U.R.L BEHG)

Présenté et soutenu publiquement le (03/07/2025)

Composition du jury :

Président : Pr. SEBAA Karim (ENP)
Promoteur : Pr. BERKOUK El Madjid (ENP)
Examineur : Pr. BOUGHRARA Kamel (ENP)

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique d'Alger



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Électrotechnique

Mémoire de Projet de Fin d'Études

pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en Électrotechnique

Dimensionnement Électrique et Automatisation de la Station de Pompage Parc Dounia

Réalisé par :

MEGHAZI Abderrahim
BELKEBIR Mohamed Sofiane

Sous la direction de :

M. BERKOUK El Madjid (ENP)
M. BOUNISIAR Madjid (E.U.R.L BEHG)

Présenté et soutenu publiquement le (03/07/2025)

Composition du jury :

Président : Pr. SEBAA Karim (ENP)
Promoteur : Pr. BERKOUK El Madjid (ENP)
Examineur : Pr. BOUGHRARA Kamel (ENP)

ملخص:

يتعلق هذا المشروع النهائي بتصميم النظام الكهربائي وأتمتة محطة ضخ سيتم إنشاؤها في حديقة دنيا، والتي تهدف إلى نقل المياه المستخدمة المعالجة من محطة معالجة بني مسوس إلى خزان سعة 5000 متر مكعب في أولاد فايث. الهدف هو ضمان تصميم مثالي لمصادر الطاقة في المحطة، بناءً على ميزان الطاقة، وكذلك الكابلات وأجهزة حماية المعدات، باستخدام برنامج Caneco. في الوقت نفسه، يتم تنفيذ أتمتة كاملة باستخدام وحدات التحكم القابلة للبرمجة الصناعية SIEMENS التي سيتم برمجتها (PLC) باستخدام TIA Portal V16، لضمان تزويد موثوق وآمن بالطاقة وتشغيل مستقل ومراقب للمحطة.

الكلمات المفتاحية:

محطة ضخ، تصميم كهربائي، ميزان الطاقة Caneco، PLC، أتمتة، TIA Portal V16، مراقبة.

Abstract

This final year project focuses on the electrical sizing and automation of a pumping station that will be installed at Parc Dounia, intended to transfer treated wastewater from the Beni Messous treatment plant to a 5000 m³ reservoir in Ouled Fayet.

The objective is to ensure optimal sizing of the station's energy sources, based on an energy balance, as well as the cables and equipment protection devices, using the Caneco software. At the same time, a complete automation system is being implemented using SIEMENS PLCs that will be programmed with TIA Portal V16, in order to ensure a reliable, secure power supply and an autonomous and supervised operation of the station.

Keywords

Pumping station, Electrical sizing, Energy balance, Caneco, PLC (Programmable Logic Controller), Automation, TIA Portal V16, Supervision

RÉSUMÉ

Ce projet de fin d'études porte sur le dimensionnement électrique et l'automatisation d'une station de pompage qui sera implantée au Parc Dounia, destinée à transférer les eaux usées traitées de la station d'épuration de Beni Messous vers un réservoir de 5000 m³ à Ouled Fayet.

L'objectif est d'assurer un dimensionnement optimal des sources d'énergie de la station, sur la base d'un bilan énergétique, ainsi que des câbles et dispositifs de protection des équipements, en utilisant le logiciel Caneco. Parallèlement, une automatisation complète est mise en place en utilisant un API SIEMENS qui sera programmé à l'aide de TIA Portal V16, afin de garantir une alimentation fiable, sécurisée et un fonctionnement autonome et supervisé de la station.

Mots-clés

Station de pompage, Dimensionnement électrique, Bilan énergétique, Caneco, API, Automatisation, TIA Portal V16, Supervision.

Dédicace

*Je dédie ce travail, fruit de plusieurs années d'efforts et de persévérance,
à mes chers parents **Farid** et **Noura**, à qui je dois tout.*

*Leur amour inconditionnel, leurs sacrifices silencieux, leur patience
et leurs prières constantes ont été les piliers de mon parcours.*

*Papa, Maman, vous m'avez transmis des valeurs de travail, de respect
et de courage. Vous avez cru en moi même quand je doutais, vous avez
tout donné pour me permettre d'avancer, et c'est grâce à vous que
j'arrive aujourd'hui à franchir cette étape si importante de ma vie.*

*À mes deux frères, **Imad** et **Sofiane**, pour leur soutien,
leurs encouragements et leur affection fraternelle.
À leurs familles respectives, et particulièrement à mon neveu **Rassim**,
qui m'inspire par son innocence et sa joie de vivre.*

*À ma grand-mère **Louiza**, source d'affection et de sagesse,
et à l'ensemble de ma famille, merci pour votre présence et vos prières.*

*À mes deux amis fidèles, **Walid** et **Rayan**, pour leur amitié sincère
et leur présence constante dans les bons comme dans les moments plus difficiles.*

*Je vous dédie ce travail avec tout mon cœur.
Je vous souhaite une vie pleine de santé, de sérénité et de bonheur.*

Abderrahim

Dédicace

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents **Tahar** et **Ourida**, pour leur amour inconditionnel, leur patience et les innombrables sacrifices qu'ils ont consentis pour m'offrir les meilleures conditions de réussite. Leur présence et leur confiance ont toujours été une source de force et de motivation.*

*À mes grands frères, **Nassim** et **Nasser**, pour leur soutien constant, leurs conseils avisés et leur bienveillance tout au long de ce parcours. Leur présence m'a été précieuse et m'a donné la force d'aller de l'avant.*

*À toute ma famille, pour leurs encouragements, leurs prières et la fierté qu'ils ont toujours manifestée à mon égard. Une pensée particulière à ma grand-mère **Ouïza**, dont l'affection et les invocations m'ont accompagné à chaque étape.*

À mes amis, pour leur présence, leur soutien constant et tous les moments, défis et étapes que nous avons partagés tout au long de ce parcours.

À toutes les personnes qui m'ont entouré, soutenu ou encouragé, de près ou de loin, tout au long de ce parcours académique.

Sofiane

Remerciements

Avant tout, nous rendons grâce à Dieu, qui nous a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce projet.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à Monsieur BERKOUK, notre enseignant à l'École Nationale Polytechnique, pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils avisés tout au long de notre travail.

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble des ingénieurs et employés de l'entreprise qui nous a accueilli S.A.R.L Hydro-Travaux et du bureau d'étude E.U.R.L BEHG spécialement à mes deux encadrants Hamza AYADI et MAdjid BOUNISIAR, qui ont contribué activement au bon déroulement de notre stage par leur accompagnement technique, leur accueil et leur professionnalisme.

Nous remercions sincèrement les membres du jury pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce mémoire, ainsi que pour leurs remarques constructives.

Nous n'oublions pas les enseignants de l'École Nationale Polytechnique pour la qualité de leur enseignement et leur engagement dans notre formation.

Enfin, nous remercions chaleureusement nos amis et nos camarades pour leur soutien, leurs échanges et leur esprit de collaboration tout au long de notre parcours.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale	15
1 Présentation de la station de pompage Parc Dounia	16
1.1 Introduction	17
1.2 Contexte général du projet	17
1.3 Présentation de la station de pompage de Parc Dounia	20
1.3.1 Description générale de la station de pompage	20
1.3.2 Composition de la station de pompage	20
1.3.2.1 Local transformateur et Groupe électrogène	23
1.3.2.2 La bache d'aspiration	23
1.3.2.3 Salle des Pompes	23
1.3.2.4 Local technique	25
1.3.2.5 Le réservoir anti-bélier	27
1.3.2.6 Un ensemble d'équipements hydromécaniques	27
1.3.3 Fonctionnement de la station de pompage	28
1.4 Conclusion	28
2 Dimensionnement électrique de la station de pompage de Parc Dounia	29
2.1 Introduction	30
2.2 Présentation du schéma unifilaire de la station	30
2.3 Bilan énergétique de la station de pompage de Parc Dounia :	32
2.3.1 Définitions :	32
2.3.2 Récapitulatif des charges électriques de la station de pompage . . .	33
2.3.3 Méthodologie de calcul d'un bilan de puissance	35
2.3.4 Note de calcul de la station de pompage de Parc Dounia :	36
2.3.5 Dimensionnement des sources d'alimentation :	37
2.3.6 Compensation de l'énergie réactive	38
2.3.6.1 Détermination de la puissance réactive à installer	38

2.4	Dimensionnement de la câblerie et choix des dispositifs de protection . . .	41
2.4.1	Dimensionnement de la câblerie	41
2.4.1.1	Méthodologie de Calcul [2]	41
2.4.1.2	Calcul analytique des sections de câbles	53
2.4.1.3	Vérification des résultats de dimensionnement sous Caneco	55
2.4.2	Régime de neutre [6]	58
2.4.2.1	Les différentes configuration pour le régime de neutre	58
2.4.2.2	Choix du régime de neutre	60
2.4.3	Choix des dispositifs de protection	60
2.4.3.1	Protection contre les courts-circuits	60
2.4.3.2	Protection contre les surcharges	61
2.4.3.3	Sélectivité	61
2.4.3.4	Courbe de fonctionnement	62
2.4.3.5	Courant de court-circuit	63
2.5	Conclusion	67
3	Automatisation de la station de pompage Parc Dounia	68
3.1	Introduction	69
3.2	Présentation de l'automate programmable industriel utilisé	69
3.3	Programmation de l'Automate Programmable Industriel	70
3.3.1	Analyse fonctionnelle de la station de pompage	70
3.3.1.1	Gestion du fonctionnement des pompes et des vannes motorisées	71
3.3.1.2	Gestion du niveau du réservoir d'aspiration	72
3.3.1.3	Gestion de la pression de la conduite de refoulement	72
3.3.1.4	Gestion de l'ouverture de la vanne motorisée analogique VM5	72
3.3.2	Architecture générale du programme	73
3.3.3	Présentation du programme d'automatisation	73
3.3.3.1	Conditions de Démarrage	73
3.3.3.2	Permutation cyclique des pompes	74
3.3.3.3	Gestion des Défauts des Pompes	77
3.3.3.4	Commande des Vannes – Ouverture et Fermeture Automatisée	78
3.3.3.5	Gestion des Défauts des Vannes Motorisées	78
3.3.3.6	Traitement du niveau d'eau dans la bache d'aspiration	79
3.3.3.7	Traitement de la pression	82
3.3.3.8	Vanne Motorisée VM5 – Régulation Analogique	82
3.4	Conclusion	84
4	Supervision de la station de pompage	85
4.1	Introduction	86
4.2	Configuration du matériel	86

4.3	Gestion des vues	87
4.3.1	Vue Racine	87
4.3.2	Vue Station	88
4.3.3	Vue état des pompes	89
4.4	Gestion des alarmes	90
4.4.1	Réglage des alarmes	90
4.4.2	Visualisation des alarmes	91
4.5	Archivage des données	92
4.5.1	Réglage de l'archivage	92
4.5.2	Visualisation de l'archive	93
4.6	Conclusion	95
	Conclusion générale	96
	Bibliographie	98
	Annexe A : La norme NFC 15-100	100
	Annexe B : Présentation du logiciel Caneco BT	104
	Annexe C : Les automates programmables et HMI	121
	Annexe D : TIA Portal	129

Table des figures

1.1	Carte du transfert des eaux usées traitées depuis la STEP de Beni Messous jusqu'au réservoir de Ouled Fayet	19
1.2	Plan d'aménagement de la station de pompage de Parc Dounia	21
1.3	Vue en plan de la salle des pompes et du local technique	22
1.4	Pompe ATMOS GIGA-N 125/250.1-132/2	24
1.5	Courbe caractéristique de la pompe centrifuge choisie [1]	25
1.6	Armoire générale	26
2.1	Schéma unifilaire de la station de pompage de Parc Dounia	30
2.2	Représentation vectorielle de la compensation de la puissance réactive par ajout de condensateurs [5]	39
2.3	Organigramme de la méthodologie de calcul et de sélection des conducteurs électriques selon la norme NFC 15 100	42
2.4	Dimensionnement de la pompe centrifuge	55
2.5	Résultats du dimensionnement de la pompe centrifuge	56
2.6	Schéma de liaison à la terre en régime TT (Terre-Terre) [6]	58
2.7	Schéma de Raccordement TN [6]	59
2.8	Schéma de Raccordement IT [6]	59
2.9	Comparaison entre la sélectivité partielle et la sélectivité totale [8]	62
2.10	Courbe de déclenchement des disjoncteurs [9]	63
3.1	API choisi avec les extensions utilisés	70
3.2	Réseau de contrôle des conditions préalables au démarrage du système . .	74
3.3	Programme du comptage du temps de fonctionnement des pompes (Pompe 1)	75
3.4	Fonction de détection de la pompe avec le temps de fonctionnement Maximal	75
3.5	Fonction Move pour désigner de la pompe à arrêter	76
3.6	Programme de la permutation (Pompe 1 et 2)	76
3.7	Programme de gestion des défauts pour les pompes (Pompe 1)	77
3.8	Programme de réaffectation de la pompe en défaut comme quatrième pompe (Pompe 1)	77
3.9	Programme de gestion d'ouverture des vannes motorisées (VM1)	78
3.10	Programme de défaut et effacement de défaut des vannes motorisées (VM1)	79

3.11	Programme du traitement de la valeur analogique du réservoir d'aspiration	80
3.12	Programme de détection de défaut du capteur analogique de niveau	80
3.13	Programme d'intégration des niveaux du réservoir avec le capteur analogique	81
3.14	Programme d'intégration des poires de niveaux	82
3.15	Traitement de la pression dans TIA Portal	82
3.16	Intégration de la sortie analogique de la vanne motorisée VM5	83
3.17	Programme de l'ouverture de VM5 à 50%	83
3.18	Programme de l'ouverture de VM5 à 80%	83
3.19	Programme de l'ouverture de VM5 à 100%	84
4.1	Connexion PLC (CPU 1215C) et HMI (TP1500 Comfort) via PROFINET	87
4.2	Vue d'accueil de l'IHM de Supervision	88
4.3	Vue synoptique de la station à travers l'IHM	89
4.4	Vue "État des Pompes" de l'IHM de Supervision	90
4.5	Reglage des alarmes dans TIA Portal	91
4.6	Vue "Alarmes" de l'IHM de Supervision	91
4.7	Réglage de l'archive du niveau du réservoir et de la pression de la conduite de refoulement	92
4.8	Réglage de l'archive des défauts	93
4.9	Fichier d'archive des défauts (.csv)	93
4.10	Fichier d'archive du niveau du réservoir et de la pression de la conduite de refoulement (.csv)	94
A.1	Logo de la norme NF C 15-100	101
B.2	Interface de départ de Caneco BT	107
B.3	Choix du fichier constructeur	107
B.4	Fiche de choix des paramètres du transformateur	108
B.5	Fiche de choix de la protection utilisé en amont du transformateur	109
B.6	Fiche de choix des paramètres du premier moteur	110
B.7	Fiche de choix des paramètres du deuxième moteur	111
B.8	Fiche de choix des paramètres du chauffage	112
B.9	Fiche de choix des paramètres de l'éclairage	113
B.10	Schéma unifilaire de l'installation	114
B.11	Sélectivité entre la protection du moteur et la protection du TGBT principale	115
B.12	Fiche du schéma unifilaire de l'installation	116
B.13	Fiche du bilan énergétique	117
B.14	Fiche des sections de câbles utilisés	118
B.15	Fiche des protections utilisés pour les circuits	119
B.16	Fiche de conformité d'un circuit	120
C.1	Structure d'un système automatisé [13]	122

C.2	Gamme simatic-S7 [14]	124
C.3	Présentation et caractéristiques du Siemens Simatic S7 1200	126
D.1	Interface d'accueil de TIA Portal	130
D.2	Menu de configuration du matériel	131
D.3	Sélection du contrôleur	132
D.4	Environnement de travail de TIA Portal	132
D.5	Grafset de l'exemple à programmer	134
D.6	Programmation des équations d'activation des états	134
D.7	Programmation des équations de désactivation des états	135
D.8	Programmation du Timer	135
D.9	Programmation des sorties de l'API	136
D.10	Lancement de la simulation sur TIA Portal	136
D.11	Chargement du programme dans le PLC via TIA Portal	137
D.12	Interface de S7-PLCSIM V16 (Création d'un nouveau projet)	137
D.13	Configuration de la Table SIM dans TIA Portal pour la simulation	138
D.14	Vue d'ensemble d'un programme Ladder et de la Table SIM dans TIA Portal	138
D.15	Sélection et ajout d'un HMI dans TIA Portal	139
D.16	Configuration de la connexions HMI-PLC	140
D.17	Création de vues pour un pupitre opérateur (HMI) dans TIA Portal	140
D.18	Création et configuration des boutons pour activer les vues dans l'HMI	141
D.19	Éléments et graphiques de TIA Portal	142
D.20	Interface d'accueil	142
D.21	Visualisation des états	143
D.22	Supervision du système	143

Liste des tableaux

1.1	Caractéristiques électriques de la pompe	24
2.1	Facteur de correction k_u selon le type de charge [2]	32
2.2	Coefficient de simultanéité (K_s) selon le type d'utilisation [2]	32
2.3	Caractéristiques des pompes centrifuges	33
2.4	Caractéristiques du pont roulant et des vannes motorisées	33
2.5	Caractéristiques des équipements de climatisation et ventilation	34
2.6	Caractéristiques des équipements d'éclairage	34
2.7	Caractéristiques de l'onduleur	34
2.8	Caractéristiques des prises de courant	35
2.9	Tableau récapitulatif des équipements et de leur puissance électrique . . .	36
2.10	Tableau récapitulatif des puissances totales de la station pour le dimensionnement du transformateur	37
2.11	Tableau récapitulatif des puissances totales de la station pour le dimensionnement du groupe électrogène	37
2.12	Tableau du facteur de correction K_1 (influence du mode de pose) [2]	44
2.13	Tableau du facteur de correction K_2 (influence du groupement des circuits) [2]	45
2.14	Tableau du facteur de correction K_3 (influence de la température) [2] . . .	46
2.15	Tableau du facteur de correction K_4 (Influence de la configuration de la pose pour un câble enterré) [2]	47
2.16	Tableau du facteur de correction K_5 (Influence du groupement des circuits) [2]	47
2.17	Tableau du facteur de correction K_6 (Influence de la nature du sol) [2] . .	48
2.18	Tableau du facteur de correction K_7 (Influence de la température) [2] . . .	48
2.19	Tableau des courants admissibles (I_z') pour les câbles non-enterrés selon la section, le type d'isolant et la méthode de pose.	50
2.20	Tableau des courants admissibles I_z' des câbles enterrés selon la section, le type d'isolant et le nombre de conducteurs chargés	51
2.21	Tableau des chutes de tension maximales admissibles	52
2.22	Tableau récapitulatif des calculs de dimensionnement des câbles via la méthode analytique	54
2.23	Tableau de synthèse du dimensionnement des câbles	57
2.24	Tableau comparatif entre la protection par disjoncteur et par fusible	61

2.25	Tableau récapitulatif des courant de court-circuit pour les équipement de la station	65
2.26	Tableau récapitulatif des courant de court-circuit pour les équipement de la station	66
3.1	Tableau des caractéristiques du SIMATIC S7-1200 CPU 1215C	69
D.1	Description des zones de l'environnement TIA Portal	133

Liste des abréviations

API	: Automate Programmable Industriel
ASI	: Alimentation Sans Interruption
ATS	: Automatic Transfer Switch
BT	: Basse Tension
CPU	: Central Processing Unit
CSV	: Comma-Separated Values
DB	: Data Block
DEF	: Défaut
DP	: Démarreur Progressif
FBD	: Function Block Diagram
FB	: Function Block
GE	: Groupe électrogène
HMT	: Hauteur Manométrique Totale
IEC	: International Electrotechnical Commission
IHM	: Interface Homme-Machine
IL	: Instruction List
IO	: Input Output
Kd	: Facteur de Démarrage
Ks	: Facteur de Simultanéité
Ku	: Facteur d'Utilisation
LAD	: Ladder Diagram
LED	: Light Emitting Diode
NFC	: Norme Française de Certification
NH	: Niveau Haut
NTH	: Niveau Très Haut
NS	: Niveau de Sécurité
OB	: Organizational Block
PC	: Partie Commande
PLC	: Programmable Logic Controller
PLCSIM	: Programmable Logic Controller Simulator
PO	: Partie Opérative
PR	: Partie Relation
PT	: Poste Transformateur
RVG	: Relais de Tension Général
SCL	: Structured Control Language
SFC	: Sequential Function Chart
SR	: Set/Reset
STEP	: Station de Traitement des Eaux Polluées
TOR	: Tout Ou Rien
TT	: Schéma de Liaison à la Terre TT
TGBT	: Tableau Général Basse Tension
UPS	: Uninterruptible Power Supply
VM	: Vanne Motorisée
WinCC	: Windows Control Center (SCADA de Siemens)

Introduction générale

Dans un contexte mondial où les ressources naturelles sont de plus en plus rares, la gestion durable de l'eau devient un enjeu critique. L'Algérie, qui est caractérisée par un climat semi-aride, fait face à une pression importante sur ses ressources hydriques depuis de nombreuses années, surtout avec le réchauffement climatique qui a provoqué la baisse significative de la pluviométrie, et la croissance du nombre de la population, engendrant l'augmentation de la demande en eau dans les secteurs agricole, urbain et industriel. Face à cette réalité, l'exploitation exclusive des sources conventionnelles d'eau comme les nappes souterraines ou les barrages devient insuffisante.

Conscientes de cette problématique, les autorités algériennes ont mis en évidence dans leur programme de gestion des eaux la nécessité d'exploiter des ressources non conventionnelles comme les eaux usées traitées pour l'arrosage des espaces verts, l'irrigation agricole ou l'arboriculture urbaine afin de réduire l'utilisation des ressources conventionnelles classiques et de s'inscrire dans une logique de développement durable.

L'exploitation de ces eaux usées repose non seulement sur leur traitement dans des stations d'épuration, mais également sur un ensemble d'équipements et d'ouvrages hydrauliques en ligne indispensables pour assurer le transfert vers les zones d'usage, comme les stations de pompage.

Sur le plan électrique, ces stations doivent être conçues en respectant les normes internationales mises en place. Donc un bon dimensionnement électrique est primordial, car il garantit une alimentation fiable des équipements et une protection adéquate contre les incidents électriques, assurant une meilleure longévité pour l'installation.

Par ailleurs, dans un environnement de plus en plus automatisé où l'intervention de l'homme doit être minimisée, la commande et la supervision des stations de pompage deviennent indispensables. L'automatisation permet un fonctionnement autonome des équipements, tout en facilitant la gestion à distance en termes de maintenance.

Ainsi, les stations de pompage représentent un maillon technique important dans la réutilisation des eaux usées. Leur bon fonctionnement repose sur des choix de conception rigoureux, que ce soit dans l'aspect hydraulique, électrique ou dans la commande.

Chapitre 1

Présentation de la station de pompage Parc Dounia

1.1 Introduction

La gestion durable des ressources hydrauliques représente un défi majeur en Algérie, où ces dernières font face à une pression constante qui s'aggrave d'année en année en raison de la raréfaction des ressources en eau, de la sécheresse persistante et d'une gestion encore insuffisamment optimisée.

L'un des leviers majeurs envisagés pour répondre à cette crise est la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation agricole et l'arrosage des espaces verts.

En ce sens, la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'Alger a lancé un projet visant à réutiliser les eaux usées épurées de la station d'épuration de Beni Messous.

Ces eaux épurées serviront à l'arrosage des espaces verts et aux besoins du site du Parc des loisirs Dounia Grand Vent.

Cette eau servira aussi à l'arrosage du terre-plein central de l'autoroute Ben Aknoun-Zeralda.

1.2 Contexte général du projet

Ce projet de réutilisation des eaux est un projet complexe, qui passe par plusieurs étapes. L'eau usée brute piégée à travers un ensemble de collecteurs proviennent du bassin versant de Bouzareah et des Communes de Ain Benian et Staouali. Ces eaux usées seront transférées vers la station d'épuration de Beni Messous, où elle subira trois étapes de traitement : Le traitement primaire, le traitement secondaire et le traitement tertiaire.

- Le traitement primaire : est une phase physico-mécanique qui élimine les déchets solides et les particules en suspension. Il comprend le dégrillage (élimination des gros déchets), le dessablage et le déshuilage (séparation des sables et graisses), ainsi que la décantation primaire, qui permet de déposer les matières lourdes au fond des bassins.
- Le traitement secondaire : est un processus biologique visant à dégrader la matière organique dissoute. Il repose sur l'action de bactéries dans des bassins d'aération (boues activées) ou sur des filtres biologiques. Dans certaines zones, le lagunage est utilisé, permettant une épuration naturelle grâce aux bactéries et aux algues.
- Le traitement tertiaire : est une phase d'affinage qui améliore la qualité de l'eau avant son rejet. Il inclut la filtration sur sable ou membranes, la désinfection par chloration, UV ou ozone, et parfois l'élimination des nutriments comme l'azote et le phosphore pour prévenir la pollution.

La gestion des eaux épurées s'articule autour d'un système de transfert complexe. Les eaux sont initialement stockées dans un réservoir, puis acheminées vers une station de pompage principale dans la STEP, ses caractéristiques sont les suivantes :

- Débit : $1080m^3/h$
- Hauteur Manométrique Totale (HMT) : $147m$
- Mode de fonctionnement : 2+1 (deux pompes en service, une en réserve)

Cette station principale refoule les eaux épurées sur un linéaire de 13 km vers le réservoir d'Ouled Fayet, d'une capacité de 5 000 m³ et dont la cote de trop-plein est de 257m.

Le transfert de ces eaux vers le réservoir d'Ouled Fayet nécessite l'intervention de deux stations de reprise :

1. Première station de reprise :

- **Localisation** : Au niveau des lagunes.
- **Débit** : $1200m^3/h$
- **Hauteur manométrique totale (HMT)** : $192m$
- **Mode de fonctionnement** : 2+1 (deux pompes en service, une en réserve)

2. Deuxième station de reprise : située à Parc Dounia qui fait l'objet de notre projet.

Pour faciliter la compréhension de l'acheminement des eaux traitées et des différentes étapes du processus, le circuit complet depuis la STEP (Station d'Épuration) jusqu'au réservoir de Ouled Fayet est détaillé de manière schématique. Cette figure illustre visuellement les points clés du transfert.

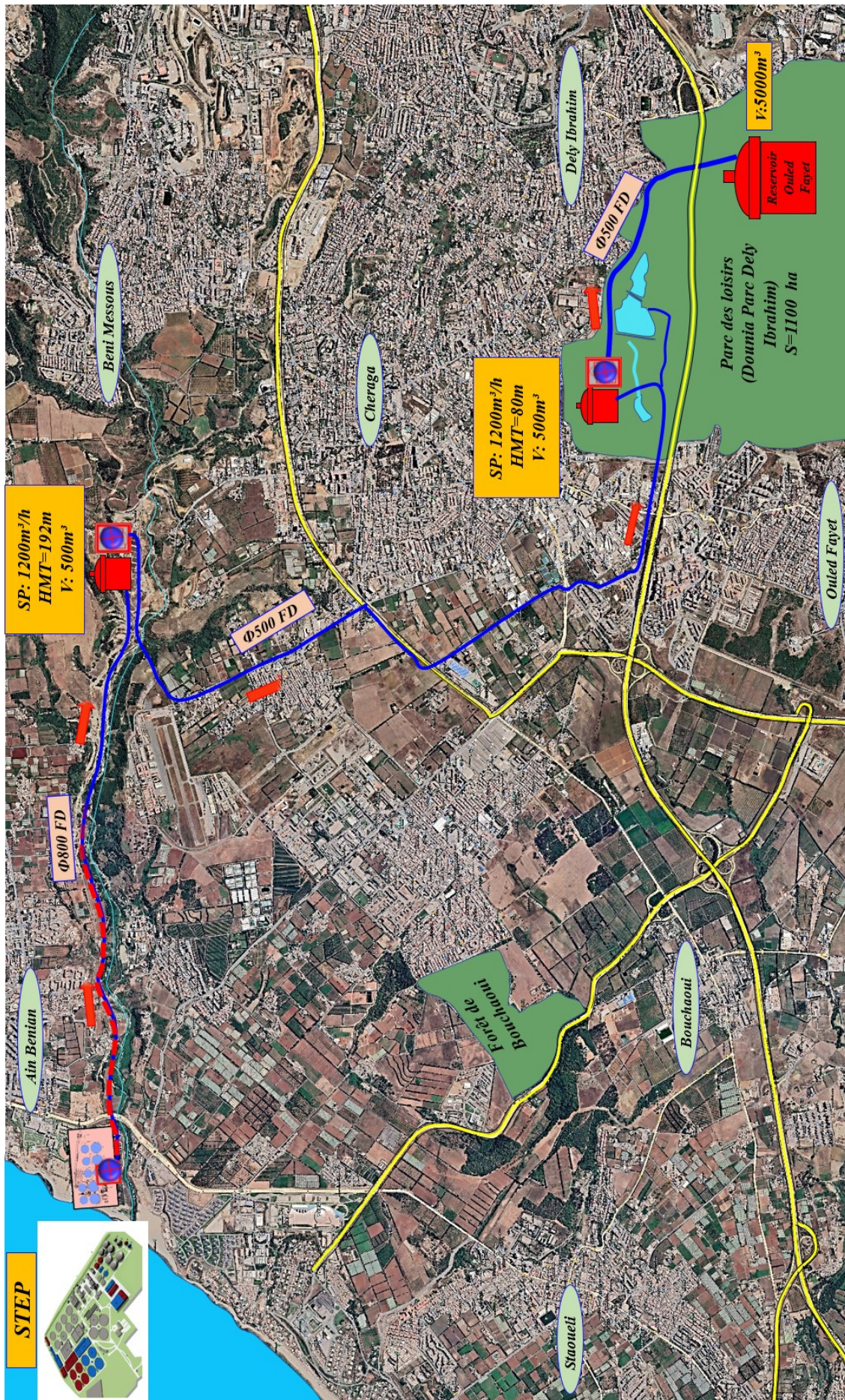


FIG. 1.1 : Carte du transfert des eaux usées traitées depuis la STEP de Beni Messous jusqu'au réservoir de Ouled Fayet

1.3 Présentation de la station de pompage de Parc Dounia

1.3.1 Description générale de la station de pompage

La station de pompage de Parc Dounia est une station de reprise située à Parc Dounia, qui fait partie du système de réutilisation des eaux usées. Son rôle est de collecter les eaux pompées depuis la station précédente et de les refouler vers le réservoir de 5000 m³ de Ouled Fayet.

Les caractéristiques hydrauliques établies par les ingénieurs hydrauliciens du bureau d'études sont les suivantes :

- **Débit** : $1200m^3/h$
- **HMT** : 80 m
- **Mode de fonctionnement** : 3 Pompes + 1 (en réserve)

1.3.2 Composition de la station de pompage

La station de pompage est constituée d'un ensemble de composants clés, dont l'agencement et le rôle sont essentiels à son bon fonctionnement.

Le plan d'aménagement de la station de pompage de Parc Dounia est organisé comme suit :

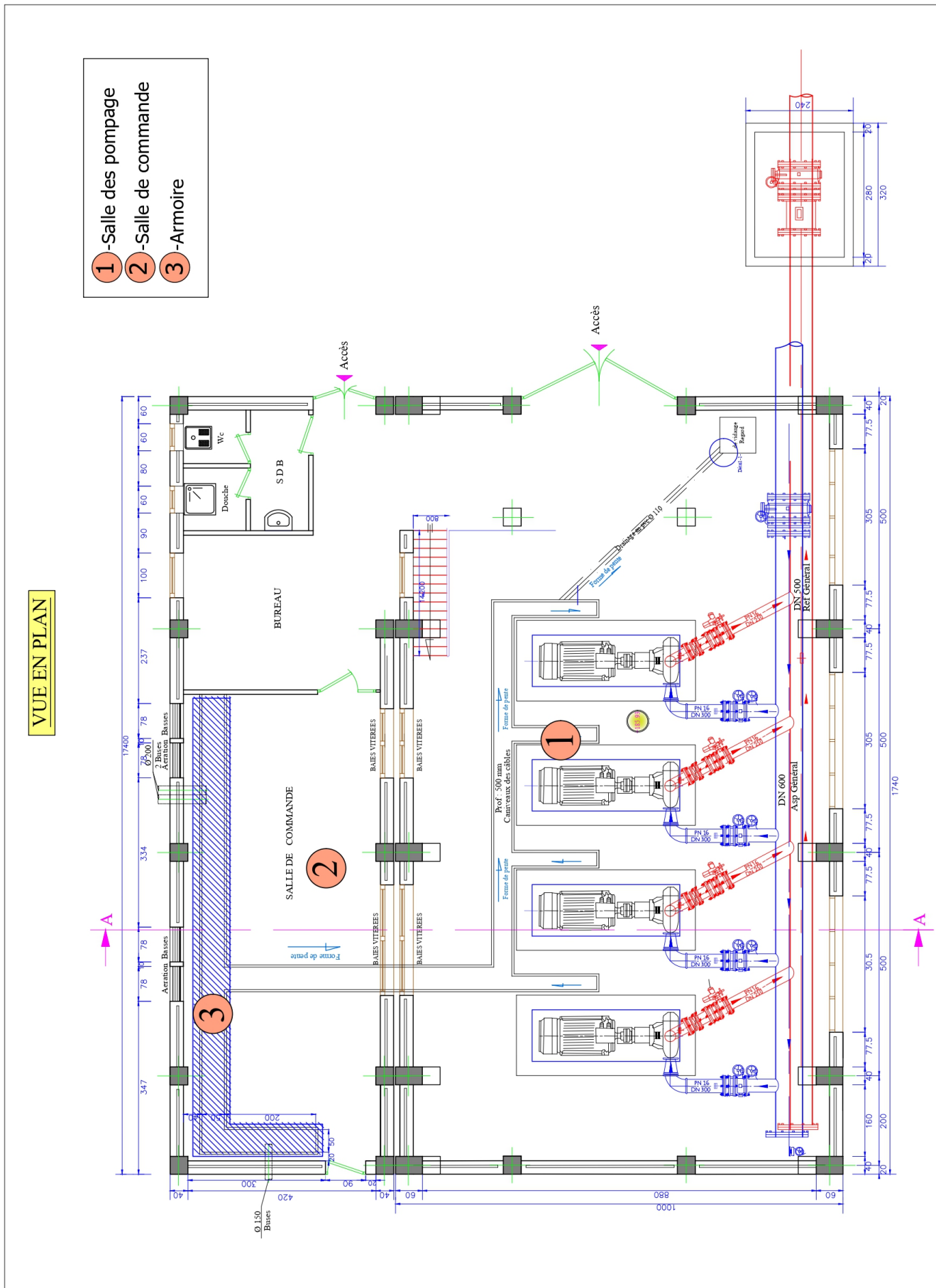


FIG. 1.3 : Vue en plan de la salle des pompes et du local technique

Remarque

Hauteur Manométrique Totale (HMT) : est la hauteur d'eau équivalente qu'une pompe doit vaincre pour faire circuler un fluide entre deux points. Elle prend en compte :

- La hauteur géométrique entre le niveau de l'eau dans la bache et le point de rejet.
- Les pertes de charge dans les tuyauteries (frottement, coudes, vannes...)
- La pression à l'aspiration et au refoulement.

Cote Terrain Naturel (CTN) : elle correspond à l'altitude du sol à un endroit précis, généralement exprimée en mètres.

1.3.2.1 Local transformateur et Groupe électrogène

Ce local représente la source d'énergie de la station. Dans ce local sont posés un transformateur pour l'alimentation des équipements de la station en service continu, et un groupe électrogène qui intervient en cas de panne de réseau pour assurer l'intérêt.

1.3.2.2 La bache d'aspiration

La bache d'aspiration est un réservoir placé en amont des pompes. Son rôle est de stocker l'eau avant son transfert. Elle permet de garantir un débit constant durant la phase d'aspiration. Pour la station de pompage de Parc Dounia, le volume de cette bache est de 500 m³.

1.3.2.3 Salle des Pompes

La salle des pompes est la pièce maîtresse de la station. C'est dans cette salle que les phases d'aspiration et de refoulement du fluide se passent.

Dans cette salle, les pompes centrifuges sont posées. Leur rôle est d'assurer le refoulement du fluide vers sa prochaine destination. Étant donné son importance dans le fonctionnement de la station de pompage, le choix de la pompe représente une étape très importante, car une pompe mal dimensionnée peut avoir des répercussions néfastes sur notre installation.

- Débit insuffisant.
- Pression inadéquate.
- Surcharge du moteur.
- Usure accélérée des équipements.

Pour le cas de notre station de pompage nous avons établi la pompe qu'on va utiliser, avec le logiciel **WILO Select 5**.

Avant de choisir la pompe souhaitée, il est indispensable de déterminer les deux paramètres suivants :

- **Le débit** : Pour pouvoir assurer le débit totale de la station, il faut que chaque pompe ait un débit de 111l/s équivalent à $400\text{m}^3/\text{h}$.
- **La hauteur manométrique totale (HMT)** : qui est égale à 80 m.

On introduit ces deux paramètres dans le logiciel WILO Select, ainsi que les caractéristiques du fluide que la pompe doit transporter (de l'eau). Une sélection de pompes s'offre à nous ; on choisit celle qui répond à nos besoins en visualisant les courbes caractéristiques. Le choix se fait en tenant compte de la plus grande plage de fonctionnement, du meilleur rendement ainsi que de l'aspect économique.

Pour notre station, nous avons opté pour la pompe suivante : ATMOS GIGA-N 125/250.1-132/2.

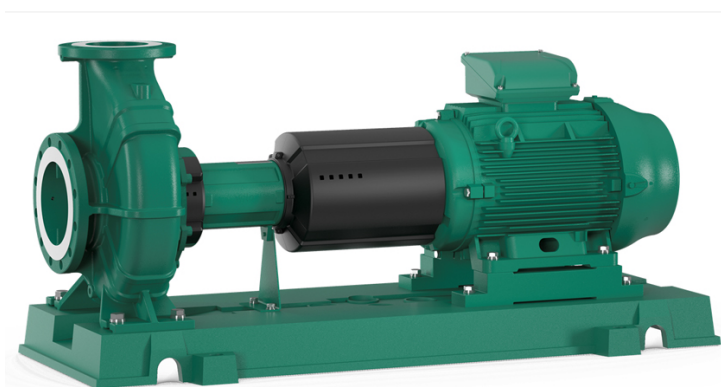


FIG. 1.4 : Pompe ATMOS GIGA-N 125/250.1-132/2

Les caractéristiques électriques de la pompe choisie sont les suivantes :

Constructeur	Atmos
Modèle	GIGA-N 125/250.1-132/2
Tension d'alimentation	400 V / 50 Hz
Puissance moteur	132 kW
Couple nominal	422 N/m
Courant nominal	224 A

TAB. 1.1 : Caractéristiques électriques de la pompe

Pour la courbe caractéristique du fonctionnement de la pompe, nous notons le point de fonctionnement souhaité qui est l'intersection entre la hauteur manométrique totale $HMT = 80m$ et le débit qui est égal à $Q = 111l/s$.

On remarque que ce point est inclus dans la plage de fonctionnement de la pompe choisie, cette inclusion est une validation fondamentale de notre sélection, garantissant que la pompe pourra atteindre les performances requises.

De plus, une marge de sécurité est également incluse, ce qui assure le fonctionnement de nos pompes que ce soit pour un débit inférieur ou supérieur à la valeur du point de fonctionnement.

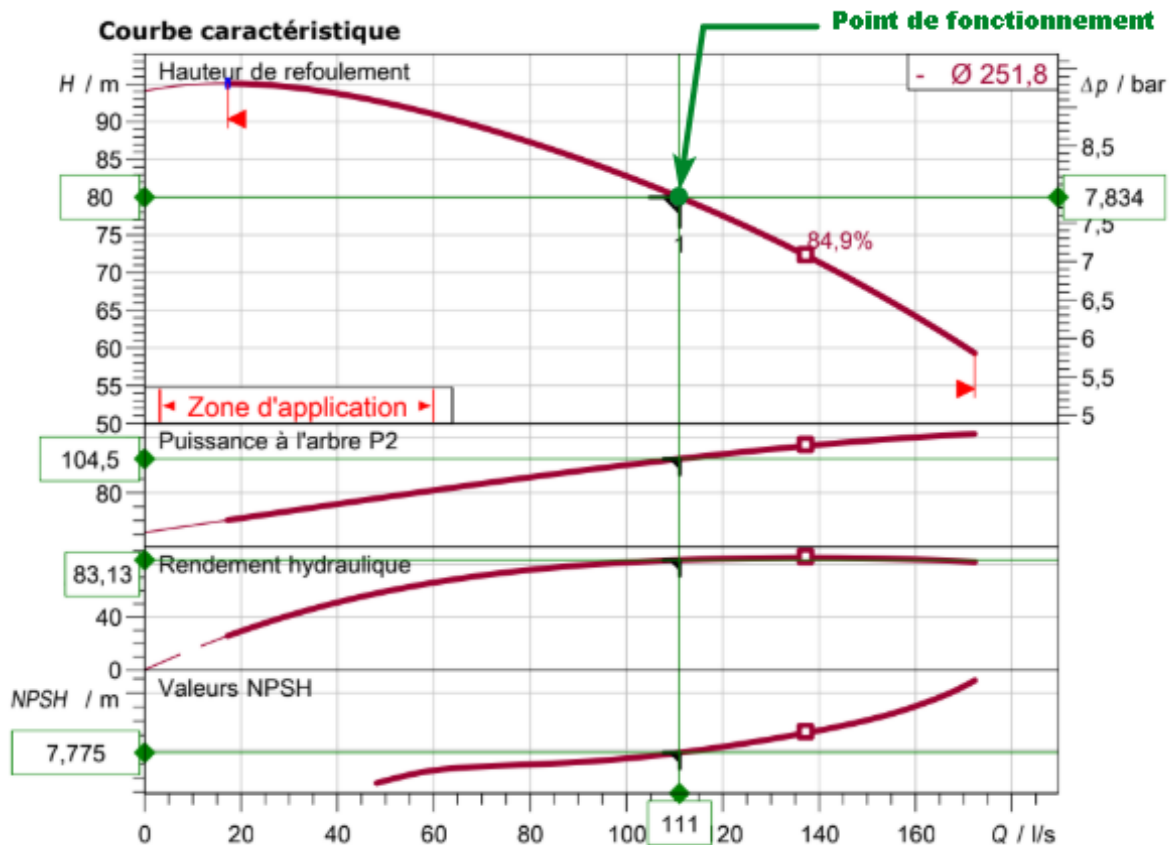


FIG. 1.5 : Courbe caractéristique de la pompe centrifuge choisie [1]

Remarque

NPSH (Net Positive Suction Head) : est la hauteur de pression disponible à l'aspiration de la pompe, nécessaire pour éviter la cavitation.

1.3.2.4 Local technique

Ce local représente la salle de commande et de contrôle de la station. C'est dans cette salle que toutes les informations sont recueillies et c'est à partir de cette dernière que le fonctionnement de la station est coordonné.

Pour ce faire, des armoires électriques sont installées pour commander et superviser la station de pompage. L'armoire se décompose en plusieurs compartiments assemblés les uns avec les autres, chaque coffret assure une fonction différente comme le montre la figure suivante :



FIG. 1.6 : Armoire générale

1 - **Coffret Automatic Transfer Switch (ATS)** : Ce compartiment est alimenté directement depuis les deux sources d'énergie (Transformateur et groupe électrogène) son rôle est de faire le Switch entre les deux sources d'énergie en cas de panne du réseau principal (Transformateur) afin d'assurer une alimentation continue pour assurer le fonctionnement de la station en toute condition.

2 - **Coffret TGBT** : Ce compartiment représente le point central de la distribution de l'énergie électrique.

- A l'intérieur, elle contient le disjoncteur principal de tête de la station, un jeu de barres pour repartir l'énergie vers les différents circuits et les disjoncteurs de ces derniers pour assurer la protection individuel pour chaque équipement.
- Sur sa façade, elle porte des voyants de signalisation de la présence des phases ainsi que l'unité de mesure du courant et de la tension.

(3 et 4) - **Coffret groupe de pompage** : Ces coffrets assurent le bon fonctionnement des pompes, leur commande ainsi que leur protection.

- A l'intérieur, elle contiennent un démarreur progressif qui va assurer le démarrage de la pompe pour limiter l'appel du courant pendant les phases de démarrage et

d'arrêt, ainsi que les divers composants des circuits de puissance et de commande de la pompe, comme des relais thermique, des relais de phase, des contacteurs...

- Sur sa façade, on trouve les différentes signalisations et boutons poussoirs afin de permettre l'intervention de l'opérateur en cas de problème.
Pour la signalisation on trouvera des voyants étiqueté pour afficher l'état des pompes ou la présence de défauts et un compteur horaire pour signaler le temps de travail des pompes. Pour l'intervention, on va trouver des bouton poussoirs pour démarrer les pompes, effacer les défauts et pour effectuer l'arrêt d'urgence des pompes ainsi qu'un commutateur pour switcher entre le mode automatique (Avec automate) ou mode dégradé (Avec le mode câblé).

5 - Coffret équipements annexes : Ce coffret contient les circuits de puissance et de commande des équipements annexes comme les vannes motorisées, le pont roulant et le compresseur de l'anti-bélier.

- A l'intérieur on va trouver les différents composants pour la commande et la protection des circuits annexes pour assurer l'ouverture et la fermeture des vannes ou la mise en marche du compresseur de l'anti-bélier.
- Sur sa façade, on trouve la signalisation nécessaires pour faciliter l'intervention de l'opérateur comme la mise en marche des équipements et leur défauts.

6 - Coffret d'automatisation : Ce compartiment assure le fonctionnement automatique du système et intègrent un automate programmable pour la gestion des pompes et des vannes.

- À l'intérieur de l'armoire, on trouve : Un automate programmable **SIEMENS Simatic S7-1200** qui assure le contrôle et l'automatisation du processus, ainsi qu'un onduleur qui assure l'alimentation sans interruption (ASI) de l'automate et l'écran de supervision.
- Sur sa façade, on va trouver un écran de supervision (IHM) permettant de visualiser l'état des différents paramètres de notre système, comme les pompe la pression de la conduite, niveau de réservoir d'aspiration...

1.3.2.5 Le réservoir anti-bélier

Le réservoir anti-bélier est un dispositif de protection hydraulique, qui est conçu afin de réduire les ondes de pression provoquées lors de l'arrêt brusque du fluide dans une conduite. Il est rempli d'eau (environ 2/3) et d'air (1/3), afin d'absorber l'onde de choc et protéger les canalisations et les équipements.

1.3.2.6 Un ensemble d'équipements hydromécaniques

Dans cette partie, nous allons trouver les différents équipements hydromécaniques qui constituent la station, essentiels à son fonctionnement. On peut citer les éléments suivants :

- Tuyauteur aspiration et refoulement : Réseau de canalisations pour le transport de l'eau vers et depuis les pompes.
- Clapet anti-retour : Dispositif unidirectionnel empêchant le reflux de l'eau et protégeant l'installation (notamment les pompes) contre les coups de bélier, tout en maintenant la pression dans le réseau.
- Vanne motorisée : Vannes automatisées servant à réguler le débit/la pression, ou contrôler le démarrage/arrêt des pompes, essentielles pour la protection et le fonctionnement séquentiel de l'installation.

1.3.3 Fonctionnement de la station de pompage

Le fonctionnement de cette station de pompage repose sur une régulation automatisée, afin de garantir une alimentation sécurisée en eaux vers le réservoir final d'Ouled Fayet. Le fonctionnement de la station de pompage est le suivant : Les eaux traitées en provenance de la station de reprise précédente sont dirigées vers la bache d'aspiration en premier lieu. Cette dernière a pour rôle le stockage temporaire avant l'étape du pompage, afin de garantir un niveau suffisant et un débit stable lors des cycles de pompage. Une fois le niveau requis atteint dans la bache, les pompes centrifuges entrent en action automatiquement. Ces dernières aspirent les eaux traitées, puis le refoulent vers sa destination finale à travers un réseau de conduites.

Par ailleurs, des capteurs de niveau, de pression et de débit sont intégrés afin d'assurer une surveillance en temps réel du système.

1.4 Conclusion

Ce chapitre a présenté en détail la station de pompage de Parc Dounia, maillon essentiel du système de réutilisation des eaux usées issues de la station d'épuration de Beni Messous. Nous avons décrit son rôle qui est le transfert des eaux épurées vers le réservoir d'Ouled Fayet en précisant ses caractéristiques hydrauliques.

Puis nous avons décrit la composition de la station en terme d'infrastructure et d'équipements, allant des sources d'énergie (Transformateur et groupe électrogène), jusqu'au local technique avec ses armoires électriques en passant par la bache d'aspiration et la salle des pompes, pièce maîtresse de la station de pompage en précisant l'importance de ces dernières ainsi que leur dimensionnement.

Chapitre 2

Dimensionnement électrique de la station de pompage de Parc Dounia

2.1 Introduction

Ce chapitre est consacré au dimensionnement électrique de la station de pompage de Parc Dounia. Notre étude doit garantir une gestion d'énergie efficace et une sécurité absolue de la station, le tout en respectant les exigences de la norme NFC 15-100.

Nous entamerons cette étude par l'établissement d'un bilan énergétique de la station en listant les différents équipements qui composent notre station, afin de dimensionner les sources d'énergie de la station (Transformateur, Groupe électrogène).

Puis on va passer au dimensionnement des sections de nos câbles en respectant la méthodologie de la norme NFC 15-100. On utilisera le logiciel Caneco BT pour la vérification des résultats analytiques et pour le choix des protections nécessaires pour chaque circuit.

2.2 Présentation du schéma unifilaire de la station

La figure ci-dessous présente le schéma unifilaire de notre système. Elle permet de visualiser la distribution de l'alimentation électrique, depuis la source principale jusqu'aux différents récepteurs de la station, en passant par les dispositifs de protection et les tableaux de répartition.

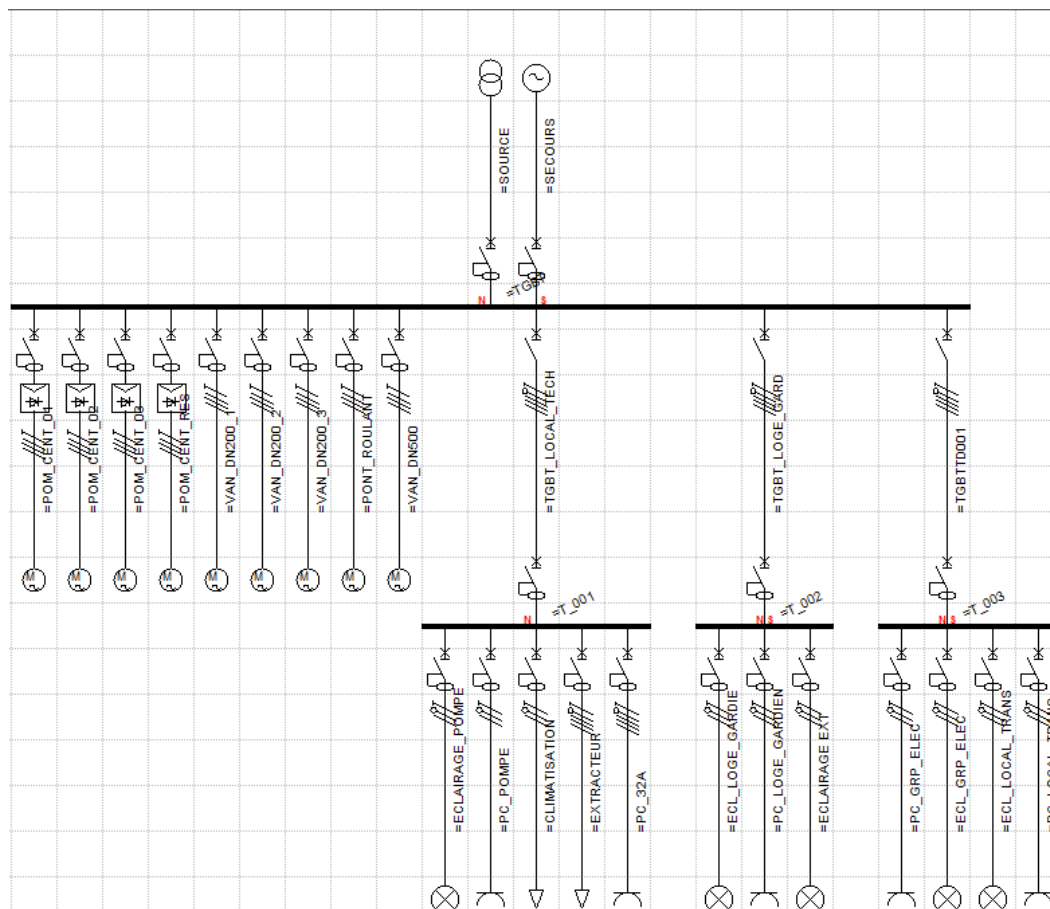


FIG. 2.1 : Schéma unifilaire de la station de pompage de Parc Dounia

Le schéma unifilaire de la station se décompose comme suit :

– **Alimentation principale**

L'alimentation du système est assurée par une ligne triphasée. Un disjoncteur différentiel est intégré afin d'assurer la sécurité de chaque départ.

– **Barre de distribution**

La barre principale de distribution permet de répartir l'énergie électrique vers les différents départs moteurs ainsi que vers les vannes des TGBT de la loge gardien, du local technique et du local Poste transformateur et groupe électrogène. Elle constitue l'axe central de la distribution interne de l'armoire.

– **Départ moteurs**

Chaque départ moteur est protégé individuellement par des disjoncteurs moteurs adaptés. Parmi les charges alimentées, on trouve quatre pompes centrifuges assurant le refoulement de l'eau. Chaque pompe est commandée de manière autonome, permettant un fonctionnement sélectif selon les besoins du système.

– **Départ vannes motorisées**

Chaque vanne motorisée est alimentée par un départ dédié, protégé par un disjoncteur. Ces vannes permettent le contrôle automatique du débit d'eau dans le réseau de la station de pompage. Leur commande est généralement assurée par l'automate, permettant l'ouverture et la fermeture en fonction des consignes du processus.

– **Départ pont roulant**

Le pont roulant est alimenté par un départ spécifique, protégé par un disjoncteur. Ce départ assure l'alimentation de l'ensemble du système de levage et éventuellement de rotation.

– **Départ local technique**

Un départ dédié pour l'alimentation du Tableau divisionnaire situé dans le local technique. Ce départ est protégé par un disjoncteur dimensionné en fonction de la puissance maximale admissible par le tableau secondaire. Il assure la distribution électrique vers plusieurs circuits tels que l'éclairage des pompes et leurs prises de courant, ainsi que les équipements de climatisation et d'extraction d'air installés dans la station. Ce sous-tableau permet une gestion décentralisée pour faciliter les interventions de maintenance, et garantit une sélectivité optimale entre les différents niveaux de protection.

– **Départ loge gardien**

Un autre départ est prévu pour l'alimentation de la loge du gardien. Ce départ est protégé par un disjoncteur. Il assure la distribution de l'électricité vers les circuits tels que l'éclairage et les prises de courant pour cette loge. Cette organisation permet de centraliser les protections électriques propres à la loge, tout en garantissant son autonomie fonctionnelle.

– **Départ local poste transformateur et groupe électrogène**

Ce départ est prévu pour alimenter le local transformateur et groupe électrogène. Il assure l'alimentation des circuits d'éclairage et des prises de courant des deux compartiments : le local groupe électrogène et le local transformateur.

2.3 Bilan énergétique de la station de pompage de Parc Dounia :

2.3.1 Définitions :

Avant d'entamer le calcul du bilan de puissance de notre station, on va commencer par définir les termes techniques utilisés :

- **Facteur d'utilisation (k_u)** : Ce facteur caractérise le taux d'utilisation de la charge en fonction du temps. Le facteur d'utilisation d'un récepteur (k_u) représente le rapport entre sa puissance utilisée et sa puissance nominale installée, si on ne dispose pas de ces informations on peut utiliser les coefficients proposés par la norme NFC 15-100.

Type de charge	k_u
Éclairage ou chauffage	1
Prises de courant (hors indication particulière)	1
Moteurs	0.75

TAB. 2.1 : Facteur de correction k_u selon le type de charge [2]

- **Facteur de simultanéité (k_s)** : Ce facteur caractérise l'utilisation de plusieurs charges électriques en même temps. Il tient compte du fait que dans la pratique, toutes les charges d'une installation ne fonctionnent jamais simultanément. Selon l'utilisation sa valeur varie, la norme NFC 15-100 a mis en place des valeurs générales si on ne dispose d'information sur k_s .

Utilisation	K_s
• Éclairage	1
• Chauffage et conditionnement d'air	1
• Prise de courant	0.1 – 0.2
• Moteurs :	
Moteur le plus puissant	1
Moteur suivant	0.75
Autres moteurs	0.60

TAB. 2.2 : Coefficient de simultanéité (K_s) selon le type d'utilisation [2]

- **Puissance d'utilisation (P_u)** : Elle représente la puissance électrique réellement absorbée par une installation. Elle est calculée en ajustant la puissance installée par des facteurs de correction, notamment le facteur de simultanéité (k_s) et le facteur d'utilisation (k_u), afin de refléter la consommation effective et non la somme des puissances nominales de tous les récepteurs. Cette approche permet un dimensionnement plus juste des équipements électriques en considérant que l'ensemble des récepteurs ne fonctionne pas simultanément ni constamment à pleine charge.

2.3.2 Récapitulatif des charges électriques de la station de pompage

Pour établir un bilan de puissance quelconque on doit tout d'abord définir toutes les charges qui composent notre station avec leurs caractéristiques électriques. Voici un récapitulatif de toutes les charges présentes dans notre station.

Les pompes centrifuges

La station se compose de quatre pompes centrifuges, dont trois sont en service et une est maintenue en réserve. Ainsi, pour l'établissement du bilan de puissance, seules trois pompes seront prises en compte. [1]

Équipements	Nombre	Tension (V)	P_u (kW)	Rendement η	$\cos \varphi$
Pompe centrifuge	3	400	132	0,94	0,86

Tab. 2.3 : Caractéristiques des pompes centrifuges

Vannes motorisées et pont roulant

La station dispose de quatre vannes motorisées TOR DN 200 correspondant aux quatre pompes, dont une reste en réserve. Elle comprend également une vanne motorisée analogique DN 500 pour la conduite de refoulement, ainsi qu'un pont roulant.

Équipements	Nombre	Tension (V)	P_u (kW)	Rendement η	$\cos \varphi$
Pont roulant	1	400	5,8	0,73	0,81
Vannes motorisées DN200	3	400	0,12	0,58	0,85
Vannes motorisées DN500	1	400	0,4	0,76	0,83

Tab. 2.4 : Caractéristiques du pont roulant et des vannes motorisées

Extraction d'air et Climatisation

Le système de ventilation est assuré par quatre extracteurs d'air identiques. En ce qui concerne la climatisation, la station est équipée de deux climatiseurs d'une puissance unitaire de 18000 BTU.

Équipements	Nombre	Tension (V)	P_u (kW)	Rendement η	$\cos \varphi$
Extracteur d'air	4	400	0,224	0,9	0,5
Climatiseur 18000 BTU	2	400	1,62	0,9	0,9

Tab. 2.5 : Caractéristiques des équipements de climatisation et ventilation

L'éclairage

Afin d'assurer l'éclairage complet de la station, avec tous ses compartiments et son éclairage extérieur, un système d'éclairage a été mis en place qui se compose 14 points d'éclairage pour l'éclairage interne, et de 10 points d'éclairage pour l'éclairage externe.

Équipements	Nombre	Tension (V)	P_u (kW)	Rendement η	$\cos \varphi$
Éclairage intérieur	14	230	0,07	0.9	0.95
Éclairage extérieur	10	230	0.2	0.9	0.95

Tab. 2.6 : Caractéristiques des équipements d'éclairage

Onduleur

La station dispose d'un onduleur utilisé pour l'alimentation sécurisée, ses caractéristiques sont les suivantes :

Équipements	Nombre	Tension (V)	P_u (kW)	Rendement η	$\cos \varphi$
Onduleur	1	400	2,6	0,9	0,8

Tab. 2.7 : Caractéristiques de l'onduleur

Prises de courant

Pour assurer l'alimentation des équipements auxiliaires, des prises de courant ont été mis en place.

Il existe 10 prises de courant monophasés de 16 A et 1 prise de courant triphasé de 32 A

Équipements	Nombre	Tension (V)	P_u (kW)	Rendement η	$\cos \varphi$
Prise de courant 16 A	10	230	3,68	1	0.8
Prise de courant 32 A	1	400	22,16	1	0.8

Tab. 2.8 : Caractéristiques des prises de courant

2.3.3 Méthodologie de calcul d'un bilan de puissance

Pour déterminer le bilan énergétique de la station nous devons calculer les puissances de tous nos équipements en utilisant les formule ci-dessous :

- Puissance absorbée en kW :

$$P_a = \frac{P_n}{\eta}$$

- Puissance utilisée en kW :

$$P_u = P_a \times K_u \times K_s \times \text{Nbr}$$

- Puissance apparente absorbée en régime permanent en kVA :

$$S_a = \frac{P_u}{\cos \varphi}$$

avec :

- K_u : Coefficient d'utilisation
- K_s : Coefficient de simultanéité
- P_u : Puissance utilisée (kW)
- S_a : Puissance apparente absorbée en régime permanent (kVA)
- S_t : Puissance apparente en régime transitoire (kVA)
- Nbr : Nombre d'équipements
- η : Rendement (%)
- $\cos \varphi$: Facteur de puissance

2.3.4 Note de calcul de la station de pompage de Parc Dounia :

Le tableau ci-dessous représente la note de calcul qu'on a effectué pour déterminer les besoins en énergie de notre station :

Équipements	Nbr.	U (V)	Pn (kW)	Rend.	Pa(kW)	Ks	Ku	Pu(kW)	FP	Q(kVAr)	S(kVA)
Première pompe (en service)	1	400	132	0.94	140.43	1	1	140.43	0.86	80.31	161.77
Deuxième pompe (en service)	1	400	132	0.94	140.43	1	1	140.43	0.86	80.31	161.77
Troisième pompe (en service)	1	400	132	0.94	140.43	1	1	140.43	0.86	80.31	161.77
Quatrième pompe (Réserve)	1	400	0	0.94	0	1	1	0	0.86	0	0
Pont Roulant	1	400	5.8	0.73	7.95	1	0.75	5.96	0.81	4.31	7.36
Vanne motorisée DN200	1	400	0.12	0.58	0.21	1	0.75	0.16	0.85	0.09	0.18
Vanne motorisée DN200	1	400	0.12	0.58	0.21	1	0.75	0.16	0.85	0.09	0.18
Vanne motorisée DN200	1	400	0.12	0.58	0.21	1	0.75	0.16	0.85	0.09	0.18
Vanne motorisée DN200 (Réserve)	1	400	0	0.58	0	1	0.75	0	0.85	0	0
Vanne motorisée DN500	1	400	0.4	0.76	0.53	1	0.75	0.4	0.83	0.27	0.48
Onduleur	1	400	2.6	0.9	2.89	1	0.75	2.17	0.8	1.62	2.71
Extracteur d'air	4	400	0.224	0.9	0.25	1	0.75	0.75	0.8	0.55	0.93
Climatiseur 1800 BTU	2	400	1.62	0.9	1.8	1	1	3.6	0.9	1.74	4
Éclairage Intérieur	14	230	0.07	0.9	0.08	1	1	1.12	0.95	0.37	1.18
Éclairage Extérieur	10	230	0.2	0.9	0.22	1	1	2.2	0.95	0.72	2.32
Prise de courant 16 A	10	230	3.68	1	3.68	0.2	1	6.99	0.9	3.38	7.76
Prise de courant 32 A	1	400	22.16	1	22.16	0.2	1	4.43	0.9	2,14	4,92
Total								449,39		256,3	

TAB. 2.9 : Tableau récapitulatif des équipements et de leur puissance électrique

2.3.5 Dimensionnement des sources d'alimentation :

– **Source normale (Transformateur) :**

Pour notre station de pompage, nous allons utiliser un transformateur triphasé qui sera fourni par la société nationale d'électricité algérienne, SONELGAZ.

Le réseau de distribution en place offre une tension de 30 kV. Il est donc nécessaire d'utiliser un transformateur de type 30 kV/400 V pour ajuster cette tension au niveau utilisable par les appareils de la station.

Le choix de la puissance du transformateur doit assurer un fonctionnement optimal sans engendrer de surcoût ou de pertes inutiles. D'après le bilan de puissance établi, la somme des puissances de l'ensemble des récepteurs (en utilisant la formule de Boucherot) donne une puissance apparente totale de 517,34 kVA. En intégrant une marge de réserve de 25 % pour couvrir les éventuelles extensions ou surcharges, la puissance nécessaire s'élève à environ 646,67 kVA. **Ainsi, le choix se porte sur un transformateur de 800 kVA, garantissant une alimentation fiable de la station.**

Désignation	Valeur
Puissance totale utilisée des équipements (en régime permanent)	449,39 kW
Puissance réactif totale des équipements	256,3 kVAr
Puissance apparente totale des équipements	517,34 kVA
Puissance apparente totale avec une réserve de 25 %	646,67 kVA
Puissance du transformateur choisie	800,00 kVA

TAB. 2.10 : Tableau récapitulatif des puissances totales de la station pour le dimensionnement du transformateur

– **Source de secours (groupe électrogène) :**

Pour garantir la continuité des opérations en cas de panne du réseau électrique, la station sera aussi dotée d'une source alternative sous la forme d'un groupe électrogène. Ce groupe électrogène sera dimensionné pour répondre aux besoins de la station. Il s'activera automatiquement dès que la source d'alimentation principale est coupée via un ATS (Automatic Transfer Switch). Cette approche assure la continuité des opérations. Le groupe électrogène doit être adapté afin de pouvoir couvrir l'ensemble des charges de la station de pompage. Par conséquent, nous avons choisi un groupe électrogène de 800 kVA [3], assurant ainsi le fonctionnement de l'installation.

Désignation	Valeur (kVA)
Puissance du groupe électrogène (Service secourue)	800,00

TAB. 2.11 : Tableau récapitulatif des puissances totales de la station pour le dimensionnement du groupe électrogène

– **Alimentation sans interruption :**

L'alimentation sans interruption (ASI) est un système qui permet à un appareil électrique de continuer à fonctionner même lorsque l'alimentation électrique est coupée. Les ASI sont généralement constitués d'une batterie qui fournit de l'énergie de secours. Lorsque l'alimentation électrique principale est coupée, l'ASI prend immédiatement le relais pour fournir de l'énergie et maintenir l'alimentation des équipements critiques tels que les automates, l'IHM et les systèmes de commande.

Pour les faibles puissances, notamment la partie commande qui concerne l'automate et l'IHM, l'ASI doit garantir un fonctionnement continu. À cet effet, une puissance de 3kVA a été retenue [4], suffisante pour alimenter correctement ces équipements sensibles.

2.3.6 Compensation de l'énergie réactive

Le facteur de puissance global de la station est de 0,86. Cela indique une circulation d'énergie réactive dans le réseau interne, principalement causée par les récepteurs inductifs tels que les moteurs.

Cette forte circulation d'énergie réactive entraîne plusieurs conséquences négatives :

- Accroissement de la chute de tension dans les câbles.
- Augmentation des pertes Joule dans les câbles.
- Facture d'électricité élevée.
- Usure prématurée de l'appareillage.

Pour contrer cela, il faut compenser cette énergie réactive en installant de batteries de condensateurs, qui fournissent localement l'énergie réactive capacitive requise par les équipements inductifs. Cette approche améliore le facteur de puissance et réduit le transit d'énergie réactive inutile dans le réseau interne.

Le facteur de puissance doit être ramené au minimum au seuil 0,92 pour éviter les pénalités appliquées par le distributeur d'énergie.

2.3.6.1 Détermination de la puissance réactive à installer

L'ajout de condensateurs permet ainsi de compenser une partie de la puissance réactive inductive, ce qui réduit la puissance apparente du système sans affecter la puissance active, qui demeure constante. La figure ci-dessous illustre cette variation de l'angle de déphasage φ en fonction de la puissance réactive fournie par les condensateurs Q_c .

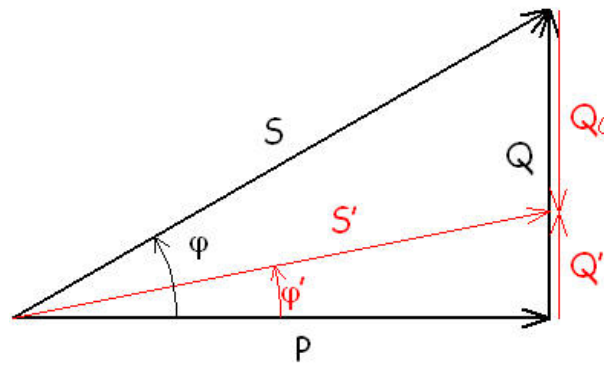


FIG. 2.2 : Représentation vectorielle de la compensation de la puissance réactive par ajout de condensateurs [5]

Le facteur de puissance avant compensation est donné par :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \text{et donc} \quad \tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

Ainsi, la puissance réactive avant compensation est :

$$Q = P \cdot \tan \varphi$$

Et celle après compensation devient :

$$Q' = P \cdot \tan \varphi'$$

La puissance réactive que doivent fournir les condensateurs, notée Q_c , correspond à la différence entre la puissance réactive initiale Q et la puissance réactive après correction Q' . Elle s'exprime comme suit :

$$Q_c = Q - Q' = P \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

où :

- P : puissance active (en W),
- φ : angle de déphasage initial,
- φ' : angle de déphasage après correction.

Les tangentes des angles sont données par :

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$\tan \varphi' = \frac{Q'}{P}$$

En remplaçant dans l'expression de Q_c , on obtient :

$$Q_c = P \cdot \tan \varphi - P \cdot \tan \varphi' = P(\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Capacité nécessaire pour la compensation

Une fois Q_c déterminée, on peut calculer la capacité des condensateurs à installer selon le mode de couplage :

- **Couplage étoile :** Dans ce cas, la puissance réactive fournie est donnée par :

$$Q_c = U^2 C \omega$$

On en déduit la capacité C :

$$C = \frac{Q_c}{U^2 \omega} = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{U^2 \cdot 2\pi f}$$

Application numérique :

$$C = \frac{Q_c}{U^2 \cdot \omega} = \frac{47235,68}{400^2 \cdot 314,16} \approx 5,43 \times 10^{-3} \text{ F} = \boxed{5430 \text{ } \mu\text{F}}$$

- **Couplage triangle :** Ici, la puissance réactive fournie est :

$$Q_c = 3U^2 C \omega$$

Et la capacité correspondante s'exprime par :

$$C = \frac{Q_c}{3U^2 \omega} = \frac{P(\tan \varphi - \tan \varphi')}{3U^2 \cdot 2\pi f}$$

Application numérique :

$$C = \frac{Q_c}{3U^2 \cdot \omega} = \frac{47235,68}{3 \cdot 400^2 \cdot 314,16} \approx 1,81 \times 10^{-3} \text{ F} = \boxed{1810 \text{ } \mu\text{F}}$$

2.4 Dimensionnement de la câblerie et choix des dispositifs de protection

2.4.1 Dimensionnement de la câblerie

Il s'agit d'un processus de sélection de différents paramètres conduisant à déterminer la section du conducteur pour une intensité d'emploi donnée. L'objectif de ce calcul est de s'assurer que la température des conducteurs ne dépasse pas la température maximale admissible fixée par les normes, tout en véhiculant le courant maximal d'emploi et ses pointes transitoires normales, sans que les chutes de tension ne dépassent les valeurs admissibles. Pour ce faire, on dimensionnera les sections de nos câbles en utilisant la méthode de calcul analytique, puis on fera vérifier nos résultats en utilisant le logiciel de calcul Caneco.

2.4.1.1 Méthodologie de Calcul [2]

Afin de mieux comprendre les différentes étapes du dimensionnement des câbles électriques, il est utile de représenter la méthodologie de calcul sous forme d'un organigramme. Ce schéma permet de visualiser de manière claire et séquentielle le cheminement logique suivi pour déterminer la section appropriée des conducteurs.

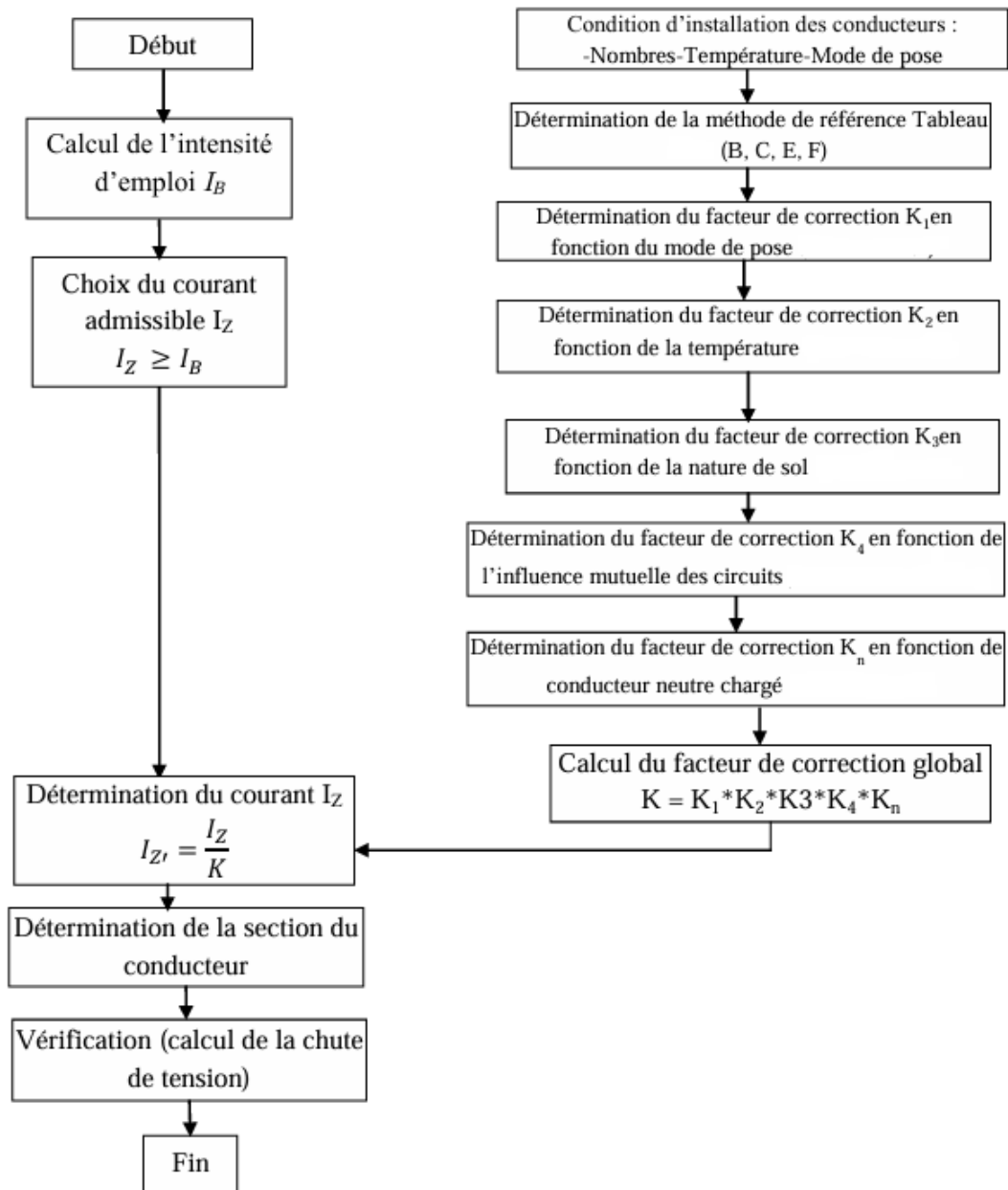


FIG. 2.3 : Organigramme de la méthodologie de calcul et de sélection des conducteurs électriques selon la norme NFC 15 100

Donc notre travail de dimensionnement de la câblerie va se reposer sur le suivi de cette démarche méthodique en accomplissant les étapes suivantes :

- Calcul du courant d'emploi I_b et détermination du courant admissible I_z .
- Détermination du coefficient de correction K en fonction des différents critères.
- Calcul du courant admissible fictif I'_z .
- Détermination de la section du conducteur.
- Vérification de la chute de tension.

Calcul du courant d'emploi I_b :

Le courant maximal d'emploi, noté I_b , est défini selon la norme **NFC 15-100** comme étant le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal, tout en tenant compte des différents facteurs pouvant intervenir (facteurs de simultanéité, d'utilisation, etc.).

Sa valeur s'exprime comme suit :

- **En monophasé :**

$$I_b = \frac{P_a}{V \cdot \cos \varphi}$$

- **En triphasé :**

$$I_b = \frac{P_a}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}$$

Où :

- P_a : Puissance absorbée, en tenant compte des différents facteurs (utilisation, simultanéité),
- V : Tension simple en monophasé (230 V),
- U : Tension composée en triphasé (400 V),
- $\cos \varphi$: Facteur de puissance du récepteur.

Choix du courant admissible :

Le courant de réglage, noté I_n (ou I_r dans le cas d'un disjoncteur industriel réglable), correspond au courant assigné du dispositif de protection. Il est destiné à protéger les conducteurs contre les surcharges.

Conformément à la norme **NFC 15-100**, la condition suivante doit être respectée afin d'assurer le bon fonctionnement des disjoncteurs :

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Où :

- I_b : Courant d'emploi du circuit,
- I_n : Courant de réglage du disjoncteur,
- I_z : Courant admissible dans la canalisation, compte tenu des facteurs de correction éventuels.

Afin de simplifier le choix du courant admissible I_z , on adopte généralement la relation suivante :

$$I_n = I_z$$

Détermination du facteur de correction global K :

Le facteur de correction K caractérise l'influence des différentes conditions de l'installation ou nos câbles seront installés, comme le mode de pose, la température, le groupement des câbles.

Donc le facteur K représente le produit des différents facteurs qu'on va détailler ci-dessous :

- Pour un câble non-enterrée :

– Facteur de correction K1 (Mode de pose) :

Le facteur de correction K1 mesure l'influence du mode de pose, chaque mode de pose a une lettre de sélection et une valeur qui lui est assignée.

Le tableau suivant montre les différents modes de poses ainsi que leurs facteurs de correction.

Lettre de sélection	Installation	K1
B	• Câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	• Conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	• Câbles multiconducteurs	0,90
	• Vides de construction et caniveaux	0,95
C	• Pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	• Autres cas	1

TAB. 2.12 : Tableau du facteur de correction K1 (influence du mode de pose) [2]

– Facteur de correction K2 (groupement) :

Le facteur K2 mesure l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte. On considère que la pose est jointive lorsque La distance entre deux conducteurs, est inférieure au double du diamètre d'un conducteur.

Le tableau suivant indique les valeurs de K2 selon le nombre de circuit.

Lettre de sélection	Disposition des câbles jointifs	Facteur de correction K2											
		Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B , C	Encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
C	Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	0,70		
	Simple couche au plafond	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61		
E , F	Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72		
	Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78		

TAB. 2.13 : Tableau du facteur de correction K2 (influence du groupement des circuits) [2]

Dans le cas où les câbles sont disposés en plusieurs couches, on doit appliquer en plus de cela un facteur de correction supplémentaire.

- 0,80 pour deux couches.
- 0,73 pour trois couches.
- 0,70 pour quatre ou cinq couches.
- **Facteur de correction K3 (Température) :**
Le facteur K3 mesure l'influence de la température ambiante sur la capacité de transport du courant des conducteurs électriques. Il est déterminé en fonction de la température ambiante et de la nature de l'isolant, et permet de réduire le courant admissible pour éviter la surchauffe des conducteurs.
Le tableau suivant indique les valeurs de K3 selon la température est le type d'isolation.

Température ambiante (°C)	Isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1.22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,93	0.96
40	0.82	0,87	0.91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55		0.61	0.76
60		0,50	0.71

TAB. 2.14 : Tableau du facteur de correction K3 (influence de la température) [2]

- Pour un câble enterré :

Pour les câbles enterrés, la lettre de sélection D, on doit déterminer le coefficient K qui représente le produit des facteurs de correction qu'on va détailler ci-dessous :

– **Facteur de correction K4 (Mode de pose) :**

Le facteur de correction K4 mesure l'influence de la configuration de la pose du câble enterré.

Le tableau suivant indique les valeurs de K4 selon le type de pose, l'espace entre les circuits et leurs nombres.

Type de pose des câbles enterrés	Espace entre conduits ou circuits	Nombre de conduits ou circuits					
		1	2	3	4	5	6
Pose sous fourreaux	• Seul	0,80					
Pose directement dans le sol	• Seul	1					
	• jointif		0,76	0,64	0,57	0,52	0,49
	• un diamètre		0,79	0,67	0,61	0,56	0,53
	• 0.25 m		0,80	0,74	0,69	0,65	0,60
	• 0.5 m		0,88	0,79	0,75	0,71	0,69
	• 1.0 m		0,92	0,85	0,82	0,80	0,78

TAB. 2.15 : Tableau du facteur de correction K4 (Influence de la configuration de la pose pour un câble enterré) [2]

– **Facteur de correction K5 (Groupement) :**

Le facteur de correction K5 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.

Le tableau suivant indique les valeurs de K5 selon le nombre de circuits posés côte à côte.

Influence mutuelle des circuits dans un même conduit	Disposition des câbles jointifs	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16
	Enterrés	1	0,71	0,58	0,5	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	0,29	0,25

TAB. 2.16 : Tableau du facteur de correction K5 (Influence du groupement des circuits) [2]

Dans le cas où les câbles sont disposés en plusieurs couches, on doit multiplier K5 par :

- 0,80 pour 2 couches.
- 0,73 pour 3 couches.
- 0,70 pour 4 ou 5 couches.
- 0,68 pour 6 à 8 couches.
- 0,66 pour 9 couches et plus.

– **Facteur de correction K6 (Nature de sol) :**

Le facteur de correction K6 prend en compte l'influence de la nature du sol (sec, humide, normal...)

Influence de la nature du sol	Nature du sol	
	• Terrain très humide	1,21
	• Humide	1,13
	• Normal	1,05
	• Sec	1,00
	• Très sec	0,86

TAB. 2.17 : Tableau du facteur de correction K6 (Influence de la nature du sol) [2]

– **Facteur de correction K7 (Température) :**

Comme pour les câbles non enterrés, ce facteur mesure l'influence de la température. Il permet de réduire le courant admissible afin d'éviter les surchauffes.

Température du sol (°C)	Isolation	
	Polychlorure de vinyle (PVC)	Polyéthylène réticulé (PR) Éthylène, propylène (EPR)
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65

TAB. 2.18 : Tableau du facteur de correction K7 (Influence de la température) [2]

On peut aussi ajouter deux facteurs de correction complémentaires pour les deux modes de pose :

- **Facteur de correction K_n (Conducteur de neutre chargé) :**

$$K_n = 0,84 \quad \text{ou} \quad K_n = 1,45$$

- **Facteur de correction K_s (Symétrie des câbles en parallèle) :**

- $K_s = 1$ pour 2 ou 4 câbles par phase avec respect de la symétrie.
- $K_s = 0,8$ pour 2, 3 ou 4 câbles par phase si la symétrie n'est pas respectée.

Donc pour déterminer K on doit faire le produit de tous les facteurs cités précédemment :

- **Pour un câble non enterré :**

$$K = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_n \times K_s$$

- **Pour un câble enterré :**

$$K = K_4 \times K_5 \times K_6 \times K_7 \times K_n \times K_s$$

Détermination du courant admissible fictif I_z' :

Pour calculer le courant admissible fictif, il suffit de faire le rapport entre le *courant admissible* I_z et le *coefficient de correction* K :

$$I_z' = \frac{I_z}{K}$$

Détermination de la section du câble :

Après avoir déterminé le courant admissible fictif I_z' , l'étape suivante consiste à déterminer la section du câble appropriée. Cette détermination se fait en consultant des tableaux de sections de câbles normalisés.

Selon la nature de la pose (Enterrée ou non-enterrée), il existe un tableau pour déterminer la section adéquate.

- Pour les câbles non-enterrés :

Lettre de sélection		Isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		Caoutchouc			Butyle ou PR ou Éthylène PR					
B		PVC3	PVC2		PR3		PR2			
C			PVC3		PVC2	PR3		PR2		
E				PVC3		PVC2	PR3		PR2	
F					PVC3		PVC2	PR3		PR2
Section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	85	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1083
	630					855	1005	1088		1254
Section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	406	440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

TAB. 2.19 : Tableau des courants admissibles (I_z') pour les câbles non-enterrés selon la section, le type d'isolant et la méthode de pose.

- Pour les câbles enterrés :

		Isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)			
		Caoutchouc ou PVC		Butyle ou PR ou éthylène PR	
		3 conducteurs	2 conducteurs	3 conducteurs	2 conducteurs
Section cuivre (mm ²)	1,5	26	32	31	37
	2,5	34	42	41	48
	4	44	54	53	63
	6	56	67	66	80
	10	74	90	87	104
	16	96	116	113	136
	25	123	148	144	173
	35	147	178	174	208
	50	174	211	206	247
	70	216	261	254	304
	95	256	308	301	360
	120	290	351	343	410
	150	328	397	387	463
	185	367	445	434	518
	240	424	514	501	598
	300	480	581	565	677
Section aluminium (mm ²)	10	57	68	67	80
	16	74	88	87	104
	25	94	114	111	133
	35	114	137	134	160
	50	134	161	160	188
	70	167	200	197	233
	95	197	237	234	275
	120	224	270	266	314
	150	254	304	300	359
	185	285	343	337	398
	240	328	396	388	458
	300	371	447	440	520

TAB. 2.20 : Tableau des courants admissibles I_z' des câbles enterrés selon la section, le type d'isolant et le nombre de conducteurs chargés

Remarque

La détermination de la section du câble de protection des masses S_{pe} est définie à partir de la section de la phase en suivant les cas suivants :

$$\begin{cases} \text{Pour } S_{\text{phase}} \leq 16 \text{ mm}^2 & S_{pe} = S_{\text{phase}} \\ \text{Pour } 16 \text{ mm}^2 < S_{\text{phase}} \leq 35 \text{ mm}^2 & S_{pe} = 16 \text{ mm}^2 \\ \text{Pour } S_{\text{phase}} > 35 \text{ mm}^2 & S_{pe} = \frac{S_{\text{phase}}}{2} \end{cases}$$

Vérification des chutes de tension

L'impédance d'une canalisation est faible mais non nulle, lorsqu'elle est traversée par le courant d'emploi, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité. Or le bon fonctionnement d'un récepteur est conditionné par la tension à ses bornes. Il est donc nécessaire de limiter les chutes de tension en ligne par un dimensionnement correct des canalisations d'alimentation. La limite maximale de la chute de tension varie d'un pays à l'autre. Conformément à la norme NFC 15-100, la chute de tension entre l'origine de l'installation et tout point d'utilisation ne doit pas être supérieure aux valeurs du tableau suivant :

	Éclairage	Autres usages
Type A - Installations alimentées directement par un branchement à basse tension, à partir d'un réseau de distribution publique à basse tension	3 %	5 %
Type B - Installations alimentées par un poste de livraison ou par un poste de transformation à partir d'une installation à haute tension et installations de type A dont le point de livraison se situe dans le tableau général BT d'un poste de distribution publique.	6 %	8 %

TAB. 2.21 : Tableau des chutes de tension maximales admissibles

Lorsque la chute de tension est supérieure aux valeurs du tableau ci-dessus, il est nécessaire d'augmenter la section de câble du circuit concerné afin de revenir dans les domaines de tolérance.

La chute de tension sur une canalisation est calculée par la formule :

$$\Delta V = b (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times I$$

Où :

– ΔV : Chute de tension (V)

- b : Coefficient de correction, égal à 1 pour un circuit triphasé et 2 pour un circuit monophasé.

- R : Résistance du circuit :

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

- X : Réactance du circuit :

$$X = \lambda L$$

- ρ : Résistivité du conducteur en service normal. Les valeurs usuelles sont :

$$\rho = 0,0225 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \text{ pour le cuivre}$$

$$\rho = 0,036 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \text{ pour l'aluminium}$$

- L : Longueur du câble (m)

- S : Section du conducteur (mm^2)

- $\cos \varphi$: Facteur de puissance

- I : Courant maximal d'emploi (A)

- λ : Réactance linéique du conducteur. Les valeurs usuelles de λ en Basse Tension (BT) sont données comme suit :

$$\lambda = 0,08 \times 10^{-3} \Omega/\text{m} \text{ pour les câbles tripolaires}$$

$$\lambda = 0,09 \times 10^{-3} \Omega/\text{m} \text{ pour les câbles unipolaires serrés (en nappe ou en triangle)}$$

$$\lambda = 0,15 \times 10^{-3} \Omega/\text{m} \text{ pour les câbles unipolaires espacés}$$

2.4.1.2 Calcul analytique des sections de câbles

En appliquant la méthodologie citée précédemment, nous avons pu déterminer les sections de câbles nécessaires pour tous les équipements de la station. Les résultats obtenus sont rédigés dans le tableau ci-dessous :

Équipement	Mode de pose	L (m)	Ib (A)	Iz (A)	K	Iz' (A)	S (mm ²)	S _{PE} (mm ²)	ΔU (%)
Pompe centrifuge	Câbles dans des caniveaux ouverts	20	235.97	250	0.67	375.94	185	70	0.26
Vanne motorisée 200 DN	Chemin de câbles horizontal ou vertical	23	0.44	2	0.82	2.44	2.5	2.5	0.01
Vanne motorisée 500 DN	Chemin de câbles horizontal ou vertical	40	0.68	2	1	2.00	2.5	2.5	0.07
Pont roulant	Chemin de câbles horizontal ou vertical	20	10.20	16	1	16.00	2.5	2.5	0.78
Climatiseur 1800 BTU	Chemin de câbles horizontal ou vertical	12	5.20	6	0.88	6.82	2.5	2.5	0.74
Extracteur	Chemin de câbles horizontal ou vertical	20	2.17	6	0.77	7.79	2.5	2.5	0.05
Éclairage (Salle Pompes)	Chemin de câbles horizontal ou vertical	25	2.13	6	0.77	7.79	1.5	1.5	0.45
Prise de courant (Salle pompes)	Chemin de câbles horizontal ou vertical	15	6.41	10	0.77	12.99	2.5	2.5	3.36
Prise de courant Triphasé (32 A)	Chemin de câbles horizontal ou vertical	25	32.04	32	0.77	41.56	6	6	1.07
Éclairage Extérieur	Chemin de câbles horizontal ou vertical	80	3.38	6	0.72	8.33	2.5	2.5	0.74
Éclairage (Loge Gardien)	Câbles sous conduits ou profilés enterrés	20	1.61	2	0.75	2.68	1.5	1.5	0.31
Prise de courant (Loge Gardien)	Câbles dans goulotte encastrée dans plancher	35	8.00	10	0.77	12.99	2.5	2.5	2.27
Éclairage GE	Chemin de câbles horizontal ou vertical	12	1.61	2	0.75	2.68	1.5	1.5	0.09
Prise de courant GE	Chemin de câbles horizontal ou vertical	12	20.00	25	0.77	32.47	2.5	2.5	1.37
Éclairage PT	Chemin de câbles horizontal ou vertical	22	1.61	2	0.75	2.68	1.5	1.5	0.24
Prise de courant PT	Chemin de câbles horizontal ou vertical	20	10.98	16	0.77	20.78	2.5	2.5	2.08

TAB. 2.22 : Tableau récapitulatif des calculs de dimensionnement des câbles via la méthode analytique

2.4.1.3 Vérification des résultats de dimensionnement sous Caneco

Pour s'assurer de la validité des calculs analytiques qu'on a effectué nous avons décidé d'utiliser le logiciel de dimensionnement électrique Caneco.

Exemple détaillé du dimensionnement de la câblerie pour les pompes centrifuges

Pour cet exemple on va établir le dimensionnement des pompes centrifuges. Étant donné leur importance primordial dans une station de pompage, une bonne section de câble représente une priorité absolue.

Fiche circuit

Moteur avec démarreur électronique (Moteur).
POM_CENT_01 sur TGBT

Amont | Circuit | Données complémentaires | Résultats complémentaires | Conformité | Textes | Coordination Câble/Protection

Circuit POM_CENT_01

Amont : TGBT Indice : A

Alimentation : Normal

Conducteurs : 3P+PE Désignation :

Protection Commande

Type : Disjonct. Mot

Contacts indirects : Prot Base

Protection NSX400F Micrologic 2.3M 320A 3P3D

Protection surcharge

Calibre : 320 A 1

Ir : 240 A

Thermique : Sur circuit

Protection court-circuit

Retardé uniquement : 20 ms

Li : 4800 A

Câble POM_CENT_01

Longueur : 20 m

Famille : U1000R2V (90°C)

Classe :

CPR :

Ame : Cu

Pose : 43 Câbles dans des caniveaux

Pôle : Multi+PE PE jointif

Conducteurs

Phase : 1 185 mm²

PE : 1 70 mm²

Récepteur POM_CENT_01

Conso : 1 132KW 3P

Moteur asynchrone

Utilisation : 0,79

Rendement : 0,94

Cos. φ : 0,86 0,3

ΔU max : 8 %

I_p/I_N : 3,00

Calculer OK Annuler Aide

FIG. 2.4 : Dimensionnement de la pompe centrifuge

Nous avons obtenu les résultats suivants :

Résultats	
Bibliothèques	
Circuit : POM_CENT_01	
Circuit conforme	
Libellé	Valeur
Câble	3x185
Neutre	
PE ou PEN	1x70
Critère	FORC
Longueur Max.	271 m (CC)
IB	235,6 A
STH	140,2 mm ²
Iz	285,5 A
dU circuit	0,31 %
dU démarrage	1,46 %
dU total	1,06 %
Ik3 Max	16215 A
Ik2 Max	14043 A
Ik1 Max	
If Max	
Ik3 Min	12967 A
Ik2 Min	11230 A
Ik1 Min	

FIG. 2.5 : Résultats du dimensionnement de la pompe centrifuge

- **Conducteurs de phase** : 1 câble par phase de 185 mm²
- **Conducteur de protection (PE)** : 1 câble de 70 mm²
- **Longueur maximale du câble** : 271 m
- **Courant de base (I_b)** : 235,6 A
- **Courant admissible fictif (I'_z)** : 285,5 A
- **Chute de tension en régime établi ($\Delta U_{\text{circuit}}$)** : 0,31 %

Résultats du dimensionnement des sections de câbles avec le logiciel Caneco

Après avoir mis en place le schéma unifilaire de la station de pompage sur Caneco nous avons pu déterminer les sections de câble des équipements, et les résultats obtenus sont les suivant :

Équipements	L (m)	I_B (A)	K	I'_z (A)	S (mm ²)	S_{PE} (mm ²)	ΔU (%)
Pompe centrifuge	20	235.6	0.73	285.5	185	70	0.31
Vannes motorisées DN200	23	0.56	0.82	25.8	2.5	2.5	0.03
Vanne motorisée DN500	40	0.79	0.72	22.7	2.5	2.5	0.1
Pont roulant	20	14.2	0.72	22.7	2.5	2.5	0.95
Climatiseur	12	7.01	0.88	31.9	2.5	2.5	0.86
Extracteur d'air	20	0.64	0.72	22.7	2.5	2.5	0.07
Éclairage (Salle Pompes)	25	2.12	0.72	19	2.5	1.5	0.55
Prises de courant (Salle Pompes)	35	21.1	0.72	26.1	2.5	2.5	3.5
Prise de courant Triphasé (32 A)	25	32	0.72	39.1	6	6	1.24
Éclairage extérieur	80	0.91	0.72	26.1	2.5	2.5	0.57
Éclairage (Loge Gardien)	20	0.69	0.96	28.4	1.5	1.5	0.13
Prise de courant (Loge Gardien)	20	26.9	1.00	28.4	2.5	2.5	2.67
Éclairage GE	12	1.55	0.72	19.0	1.5	1.5	0.14
Prises de courant GE	12	19.9	0.72	26.1	2.5	1.5	1.58
Éclairage PT	22	1.55	0.72	19.0	1.5	1.5	0.33
Prises de courant PT	20	21.9	0.72	26.1	2.5	2.5	2.54

TAB. 2.23 : Tableau de synthèse du dimensionnement des câbles

En faisant la comparaison entre les calculs obtenus par les deux méthodes, nous remarquons que pour les sections de câbles, les résultats trouvés sont similaires. Par contre pour les chutes de tensions, les résultats sont légèrement différents, du aux simplifications des formules analytique qui ignorent certains paramètres que Caneco prend en compte en utilisant des modèles plus détaillés et précis tirés des fichiers constructeurs.

On peut conclure que les deux méthodes sont fiables et valides pour établir les sections de câbles pour une installation quelconque.

2.4.2 Régime de neutre [6]

2.4.2.1 Les différentes configuration pour le régime de neutre

Pour le régime de neutre, il existe plusieurs dispositions selon le cas de l'installation et son utilisation.

– Le régime de neutre TT

Dans un régime de neutre TT, le neutre de l'installation et les masses se raccordent à la terre. On retrouve ce régime pour les habitations, chez les particuliers. Il s'agit du régime de distribution basse tension le plus utilisé, associés généralement aux disjoncteurs différentiels 30mA.

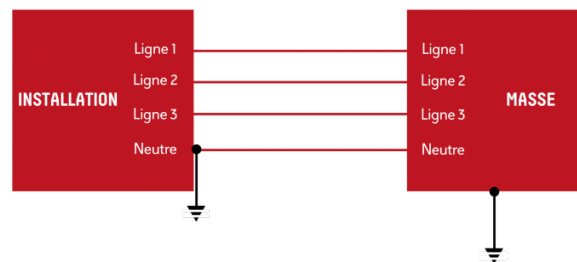


FIG. 2.6 : Schéma de liaison à la terre en régime TT (Terre-Terre) [6]

En cas de problème d'isolement, le sol évacue le courant de défaut via des prises de terre du neutre et des masses. Si la différence entre le courant entrant par les phases et le courant sortant par le neutre dépasse les 30mA, alors le différentiel disjoncte, protégeant ainsi les personnes du défaut électrique.

– Le régime de neutre TN

Dans un régime de neutre TN, le neutre de l'installation est raccordé à la terre, mais les masses sont reliées au neutre. Ce régime présente l'avantage d'être plus économique, car il ne nécessite pas l'installation de dispositifs différentiels ni de câbles de terre supplémentaires.

Cependant, des règles précises doivent être respectées selon le type de régime TN utilisé :

1. **TN-C (Terre-Neutre Confondu)** : Le conducteur de neutre et le conducteur de protection sont combinés dans un seul câble (PEN).
2. **TN-S (Terre-Neutre Séparé)** : Le conducteur de neutre (N) et le conducteur de protection (PE) sont séparés. Ce régime est principalement utilisé dans les installations à faible isolement, avec des courants de fuite importants comme les moteurs industriels.

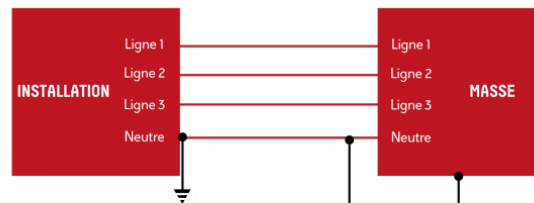


FIG. 2.7 : Schéma de Raccordement TN [6]

– Le régime de neutre IT

Dans un régime de neutre **IT**, le neutre de l'installation est isolé de la terre (ou relié à la terre via une impédance), tandis que les masses sont reliées à la terre.

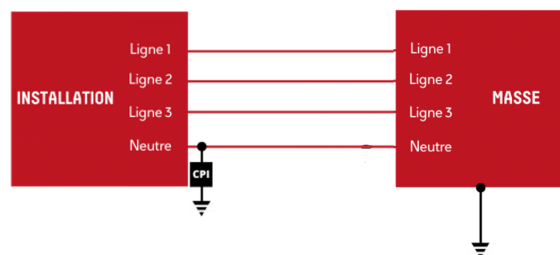


FIG. 2.8 : Schéma de Raccordement IT [6]

En cas de **premier défaut d'isolement**, le courant de défaut circule à travers l'impédance du neutre. Il est très faible, ce qui permet à l'installation de continuer à fonctionner sans interruption immédiate. Ce régime est donc particulièrement adapté aux installations où la continuité de service est critique, comme :

- Les hôpitaux,
- Les salles de spectacles ou de concerts,
- Certaines installations industrielles sensibles.

En revanche, en cas de **second défaut**, deux conducteurs actifs peuvent se retrouver en contact, ce qui provoque un **court-circuit franc**. À ce moment-là, les dispositifs de protection (fusibles, disjoncteurs) se déclenchent, entraînant une coupure électrique immédiate pour protéger l'installation.

2.4.2.2 Choix du régime de neutre

Le choix du régime de neutre de la station de pompage s'est porté sur le régime **TT** (Terre-Terre). Ce choix est fait principalement par des considérations de sécurité, car ce régime permet une détection rapide des défauts d'isolement et assure une mise hors tension automatique en cas de contact indirect, réduisant ainsi les risques pour les personnes et les équipements.

De plus, le régime TT est conforme aux exigences du fournisseur d'énergie, en l'occurrence la **SONELGAZ**, qui impose ce type de régime dans les installations de distribution basse tension pour garantir la protection des biens et des personnes selon les normes en vigueur.

2.4.3 Choix des dispositifs de protection

Toute installation ou machine électrique possède des limites de fonctionnement. Le dépassement de ces seuils peut entraîner leur détérioration, ainsi que celle des mécanismes qu'elles actionnent, provoquant ainsi des arrêts de production et des pertes d'exploitation.

Tout équipement électrique peut être sous la menace de plusieurs incidents :

- **Surcharges.**
- **Courts-circuits.**

Ces incidents représentent des dangers non seulement pour le récepteur, mais également pour l'installation en amont ou même pour les personnes en contact avec l'équipement.

C'est pour ces raisons que le **choix des protections électriques** représente une étape cruciale dans le dimensionnement de toute installation électrique. Ce choix vise à éviter la détérioration des équipements utilisés et à assurer la continuité de leur fonctionnement.

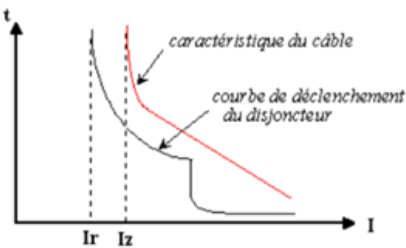
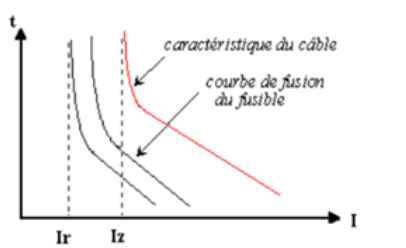
2.4.3.1 Protection contre les courts-circuits

Un court-circuit est une défaillance électrique caractérisée par la mise en contact directe ou à très faible impédance entre deux conducteurs de potentiels différents, tels que la phase et le neutre ou la phase et la terre.

Ce défaut entraîne une circulation brutale d'un courant très élevé, bien supérieur au courant nominal du circuit.

Pour établir une protection contre les court-circuit on utilise des dispositifs de protection qui peuvent être soit des disjoncteurs ou des fusibles. Même si ces deux dispositifs partagent le même objectif (Protection contre les court-circuit), leur méthode de fonctionnement est différente.

Le tableau ci-dessous explique leurs méthodes de fonctionnement ainsi que leurs différences.

Type de protection	Protection par disjoncteur	Protection par fusible
Pouvoir de coupure	Le pouvoir de coupure (PDC) d'un disjoncteur doit être supérieur ou égal au courant de court-circuit triphasé (I_{cc}) : $PDC_{\text{disjoncteur}} \geq I_{cc_{\max}}$	Le pouvoir de coupure (PDC) du fusible doit aussi vérifier : $PDC_{\text{fusible}} \geq I_{cc_{\max}}$
Courant de déclenchement / fusion	Le disjoncteur doit déclencher pour une valeur minimale du courant de court-circuit : $I_R < I_{cc_{\min}}$ I_R : courant de réglage du déclencheur magnétique.	Le fusible doit fondre rapidement en cas de court-circuit : $I_f < I_{cc_{\min}}$ I_f : courant de fusion pour un temps de 5 secondes.
Courbe de fonctionnement		

TAB. 2.24 : Tableau comparatif entre la protection par disjoncteur et par fusible

2.4.3.2 Protection contre les surcharges

La protection contre les surcharges est un mécanisme essentiel dans les systèmes électriques pour prévenir les dommages causés par un excès de courant. Elle utilise des dispositifs, tels que les disjoncteurs et les fusibles, qui interrompent le circuit lorsque le courant dépasse un seuil sécurisé, évitant ainsi les risques d'incendie ou de surchauffe des équipements.

2.4.3.3 Sélectivité

La sélectivité est une méthode qui consiste à coordonner les protections de sorte que, lorsqu'un défaut apparaît sur un circuit, seule la protection placée en tête de ce circuit se déclenche, évitant la mise hors service du reste de l'installation. L'intérêt de la sélectivité est double. Elle permet d'améliorer la continuité de service et la sécurité de l'installation. La sélectivité est totale si, pour toute valeur de courant de court-circuit triphasé I_{k3} présumé, seul le dispositif aval fonctionne. La sélectivité est partielle si le dispositif aval

fonctionne seul jusqu'à une valeur de court-circuit inférieure à I_{k3} présumé. Au-delà amont et aval fonctionnent.

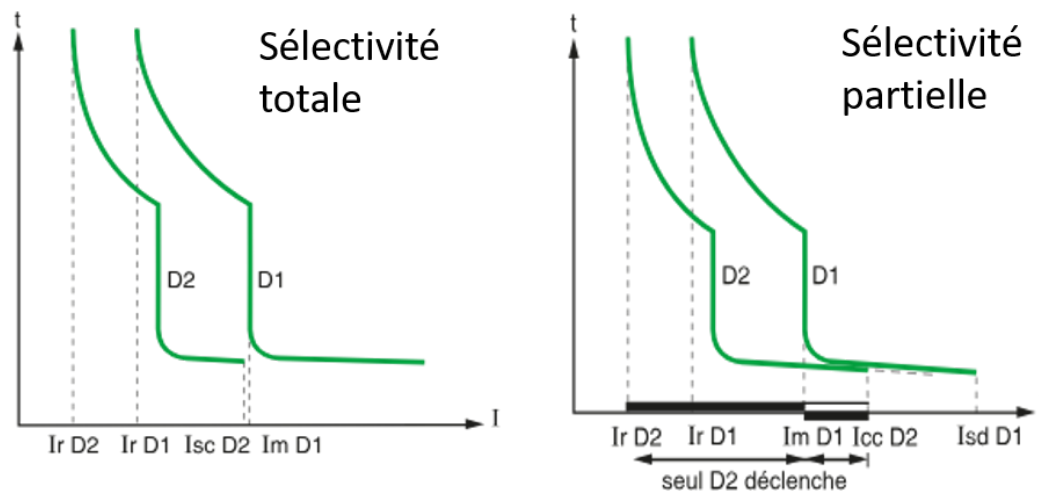


FIG. 2.9 : Comparaison entre la sélectivité partielle et la sélectivité totale [8]

2.4.3.4 Courbe de fonctionnement

Quand on parle de disjoncteurs, il ne suffit pas juste de connaître l'intensité qu'ils peuvent supporter. Il y a aussi un élément important qu'on appelle la courbe de déclenchement. Cette courbe permet de savoir comment le disjoncteur va réagir en cas de pic de courant, notamment lors d'un court-circuit ou même parfois au démarrage de certains équipements.

Il existe plusieurs courbes de déclenchement pour les disjoncteurs :

- **La courbe B** : Le seuil de déclenchement de la courbe B se situe entre 3 et 5 I_n . Cette protection est utilisée pour les circuits électriques ayant une longueur de câble importante.
- **La courbe C** : Le seuil de déclenchement magnétique de la courbe C varie entre 5 et 10 I_n (intensité nominale). Il s'agit du disjoncteur le plus couramment utilisé dans le tableau électrique.
- **La courbe D** : Le seuil de déclenchement magnétique de la courbe D se situe entre 10 et 14 I_n . Ce disjoncteur convient pour protéger certains moteurs, comme ceux d'une pompe à chaleur.

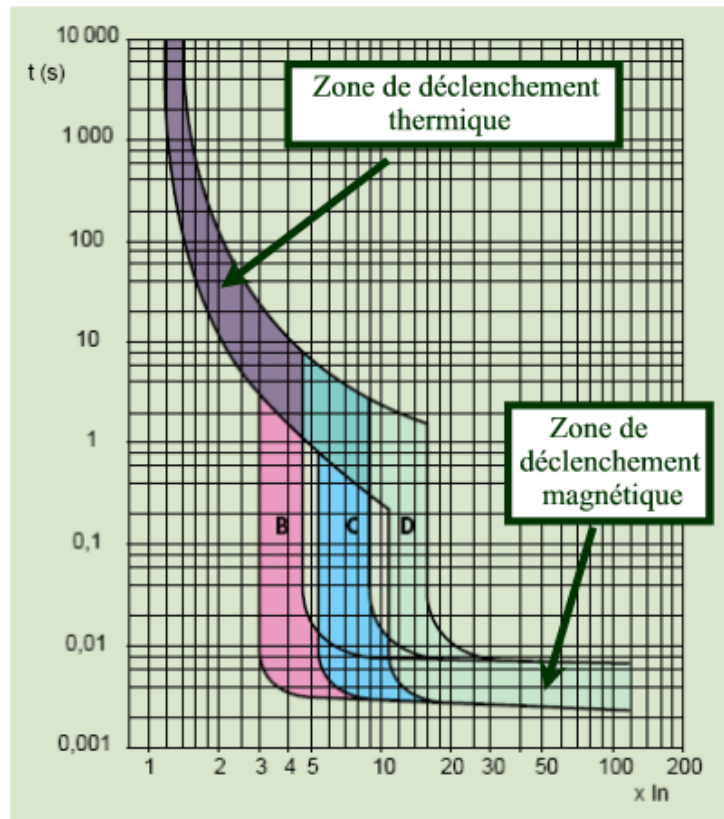


FIG. 2.10 : Courbe de déclenchement des disjoncteurs [9]

2.4.3.5 Courant de court-circuit

Il est important de déterminer, pour chaque circuit, le courant de court-circuit maximal présumé, afin de s'assurer que le dispositif de protection (comme le disjoncteur) est capable d'interrompre ce courant en toute sécurité.

De même, il faut connaître le courant de court-circuit minimal présumé, pour vérifier que le disjoncteur sera bien capable de détecter et interrompre un court-circuit ou un défaut, même dans le cas le plus défavorable.

Formule de calcul :

$$I_k = \frac{c \cdot m \cdot U_0}{Z} = \frac{c \cdot m \cdot U_0}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

où :

- c : Facteur de tension, pris égal à :
 - $c_{min} = 0,95$ pour les courants minimaux
 - $c_{max} = 1,05$ pour les courants maximaux

- m : Facteur de charge, pris égal à 1,05 quelle que soit la source (transformateur ou générateur)
- Z : Impédance de la boucle de défaut

En pratique, les différents courants de court-circuit peuvent être calculés à l'aide des formules suivantes :

- Pour les courants triphasés :

$$I_{k3max} = \frac{c_{max} \cdot m \cdot U_0}{\sqrt{\left[R_Q + R_T + R_{Uph} + \frac{\rho \cdot L}{S n_{ph}}\right]^2 + \left[X_Q + X_T + X_{Uph} + \frac{\lambda L}{n_{ph}}\right]^2}}$$

- Pour les courants biphasés :

$$I_{k2max} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3max}$$

- Pour les courants monophasés :

$$I_{k1max} = \frac{c_{max} \cdot m \cdot U_0}{\sqrt{\left[R_Q + R_T + R_{Uph} + R_{UN} + \rho_0 L \left(\frac{1}{S n_{ph}} + \frac{1}{S_N n_N}\right)\right]^2 + \left[X_Q + X_T + X_{Uph} + X_{UN} + \lambda L \left(\frac{1}{n_{ph}} + \frac{1}{n_N}\right)\right]^2}}$$

Définitions des grandeurs :

- R_Q, X_Q : Résistance et réactance en amont de la source
- R_{Uph}, X_{Uph} : Résistance et réactance d'un conducteur de phase depuis la source jusqu'à l'origine du circuit considéré
- R_T, X_T : Résistance et réactance de la source
- n_{ph} : Nombre de conducteurs en parallèle par phase
- R_{UN}, X_{UN} : Résistance et réactance d'un conducteur neutre depuis l'origine de l'installation jusqu'à l'origine du circuit considéré
- n_n : Nombre de conducteurs en parallèle pour le conducteur neutre
- $S n_{ph}, S_N$: Section des conducteur de phases et de neutre

Résultats de calcul analytique du courant de court-circuit

Équipements	I_{k3_max} (kA)	I_{k2_max} (kA)	I_{k1_max} (kA)	I_{k3_min} (kA)	I_{k2_min} (kA)	I_{k1_min} (kA)
Pompe centrifuge	16.13	13.94	-	12.94	11.28	-
Vanne motorisée DN200	1.35	1.25	-	0.98	0.848	-
Vanne motorisée DN500	0.84	0.73	-	0.571	0.495	-
Pont roulant	2,48	2,20	-	1,73	1,50	-
Éclairage Salle pompe	-	-	0.34	-	-	0.27
Prise de courant Salle pompe	-	-	0.48	-	-	0.32
Climatiseur 1800 BTU	-	-	1.0	-	-	0.70
Extracteur d'air	0.66	0.57	-	0.45	0.389	-
Éclairage Loge gardien	-	-	0.368	-	-	0.247
Prise de courant Loge gardien	-	-	0.52	-	-	0.35
Éclairage extérieur	-	-	0.19	-	-	0.13
Prise de courant GE	-	-	1.2	-	-	0.78
Éclairage GE	-	-	0.75	-	-	0.50
Éclairage PT	-	-	0.44	-	-	0.29
Prise de courant PT	-	-	0.76	-	-	0.51

TAB. 2.25 : Tableau récapitulatif des courant de court-circuit pour les équipement de la station

Résultats du calcul des courants de court-circuit et choix des dispositifs de protection en utilisant le logiciel Caneco BT

Après avoir utilisé la méthode analytique, nous présentons les résultats obtenus à l'aide de Caneco, depuis le calcul des courants de court-circuit auquel on va ajouter le choix des dispositifs de protection.

Équipements	I_{k3_max} (kA)	I_{k2_max} (kA)	I_{k1_max} (kA)	I_{k3_min} (kA)	I_{k2_min} (kA)	I_{k1_min} (kA)	Type de protection	Dispositif de protection
Pompe centrifuge	16.21	14.04	-	12.96	11.23	-	Disjoncteur moteur	NSX400F Micrologic
Vanne motorisée DN200	1.45	1.25	-	0.983	0.851	-	Disjoncteur C	iC60N 1A 3P3D
Vanne motorisée DN500	0.844	0.731	-	571	495	-	Disjoncteur C	iC60N 2A 3P3D
Pont roulant	2,58	2,23	-	1,75	1,52	-	Disjoncteur C	iC60L Type AC 25A 3P3D
Éclairage Salle pompe	-	-	0.398	-	-	0.269	Disjoncteur C	DT40 10A 2P1D
Prise de courant Salle pompe	-	-	0.47	-	-	0.318	Disjoncteur C	DT40 Type AC 20A 2P1D
Climatiseur 1800 BTU	-	-	1.03	-	-	0.704	Disjoncteur C	DT40 16A 2P1D
Extracteur d'air	0.66	0.57	-	0.45	0.389	-	Disjoncteur C	DT40N 16A 3P3D
Éclairage Loge gardien	-	-	0.372	-	-	0.250	Disjoncteur C	DT40K 10A 2P1D
Prise de courant Loge gardien	-	-	0.52	-	-	0.351	Disjoncteur C	DT40K 10A 2P1D
Éclairage extérieur	-	-	0.185	-	-	0.125	Disjoncteur C	DT40K 10A 2P1D
Prise de courant GE	-	-	1.189	-	-	0.78	Disjoncteur C	DT40K Type AC
Éclairage GE	-	-	0.76	-	-	0.51	Disjoncteur C	DT40K 10A 2P1D
Éclairage PT	-	-	0.44	-	-	0.29	Disjoncteur C	DT40K 10A 2P1D
Prise de courant PT	-	-	0.76	-	-	0.514	Disjoncteur C	iC60H 25A 2P2D

TAB. 2.26 : Tableau récapitulatif des courant de court-circuit pour les équipement de la station

2.5 Conclusion

Ce chapitre a permis d'effectuer une étude approfondie du dimensionnement électrique de la station de pompage de Parc Dounia.

Nous avons pu déterminer les besoins en énergie de la station et dimensionner les sources d'énergie, que ce soit pour le transformateur principal ou pour le groupe électrogène, afin d'assurer l'alimentation de la station.

Puis, nous avons dimensionné les sections de câbles des différents équipements de notre station en tenant compte des conditions réelles d'installation et d'exploitation, le tout en respectant la méthodologie de calcul exigée par la norme NFC 15-100. Ces calculs analytiques ont été vérifiés par le logiciel de calcul Caneco, ce qui prouve la conformité de nos calculs.

En dernier lieu, nous avons effectué le choix des protections et le calcul des courants de court-circuit en utilisant ce même logiciel.

Chapitre 3

Automatisation de la station de pompage Parc Dounia

3.1 Introduction

Ce chapitre est dédié à l'automatisation de la station de pompage de Parc Dounia, nous allons y présenter en détail le processus de programmation de l'automate programmable industriel (API).

L'objectif de ce chapitre est d'assurer un fonctionnement autonome de la station, en respectant les différentes exigences fonctionnelles du cahier de charges. Cette étape représente une étape clé car elle impacte directement sur la longévité des équipements et la sécurité des opérations.

Pour réaliser cette mission, l'automate utilisé est un automate **SIEMENS** et l'environnement de développement sera le logiciel **TIA Portal (V16)** qui offre les différents outils nécessaires pour réaliser la programmation et ainsi intégrer les différentes fonctionnalités nécessaires pour assurer l'automatisation de notre station.

3.2 Présentation de l'automate programmable industriel utilisé

Pour l'automatisation de la station de pompage nous avons choisi un automate **SIEMENS** de la gamme **SIMATIC S7-1200**.

Il présente les caractéristiques suivantes :

Caractéristique	Description
Tension d'alimentation	20,4 à 28,8 V DC
Nombre d'entrées digitales	14
Nombre de sorties digitales	10
Extensions possibles	Oui (Modules d'extension)
Mémoire de programme	250 Ko
Temps d'exécution (instructions binaires)	0,08 ms
Entrées analogiques	2
Sorties analogiques	2
Interfaces de communication	Ethernet, PROFINET, Modbus, Profibus
Nombre maximum d'extensions	8 modules

TAB. 3.1 : Tableau des caractéristiques du SIMATIC S7-1200 CPU 1215C

Notre choix s'est porté sur ce modèle pour ses caractéristiques qui peuvent remplir les tâches différentes que requiert la gestion d'une station de pompage et pour la disponibilité

de plusieurs entrées et plusieurs sorties dans notre programme.

En plus de cela nous avons ajouté des modules d'extension supplémentaire qui vont nous permettre d'augmenter le nombre d'entrées et de sorties disponibles car pour le programme réalisé, le type et la quantité des E/S offerts par notre automate sont pas suffisantes.

Les modules d'extension ajoutés sont les suivants :

- Un module d'entrées digitales qui contient 16 entrées supplémentaires.
- Un module d'entrées digitales qui contient 8 entrées supplémentaires.
- Un module d'entrées analogiques qui contient 4 entrées réglable en courant (4-20 mA).
- Un module de sorties digitales qui contient 8 sorties supplémentaires.
- Un module de sorties analogiques qui contient 2 sorties analogiques réglable en courant (4-20 mA).

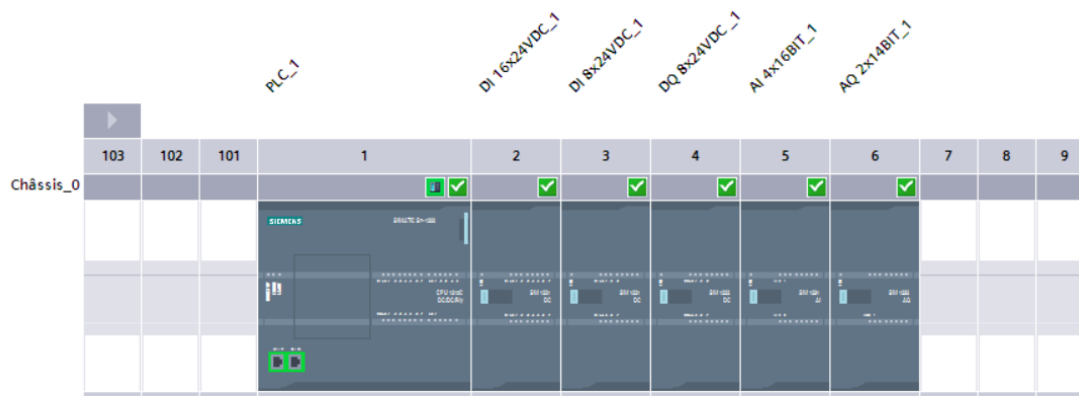


FIG. 3.1 : API choisi avec les extensions utilisés

3.3 Programmation de l'Automate Programmable Industriel

3.3.1 Analyse fonctionnelle de la station de pompage

Pour mettre en place un programme qui a pour tâche d'automatiser une station de pompage, il faut d'abord disposer d'un cahier des charges décrivant le fonctionnement souhaité pour cette station.

3.3.1.1 Gestion du fonctionnement des pompes et des vannes motorisées

Le démarrage des pompes se fait à vanne fermée. Lorsqu'une pompe reçoit l'ordre de démarrage, le système lance cette dernière, puis après que la pompe a démarré, il envoie un signal pour que la vanne motorisée s'ouvre, ce qui rend la pompe en service.

Le démarrage des pompes se fait selon les critères suivants :

- Le niveau de réservoir d'aspiration (Niveau haut).
- La pression au niveau de la conduite de refoulement (Pression minimum).
- La disponibilité des pompes (Absence de défauts).
- Absence de défaut pour les vannes motorisées.
- Absence de défaut de tension.

Notre station de pompage propose 4 pompes (3 + 1 en réserve) ; une permutation doit donc se faire pour un cycle de temps prédéterminé afin d'assurer un temps de travail égal pour toutes les pompes. Dans cette optique, il faut instaurer une fonction de permutation des pompes qui se réalise toutes les 5 heures et qui met hors service la pompe avec le temps de fonctionnement le plus élevé et qui met en service la pompe de réserve.

En cas de défaut de la pompe, la pompe de réserve entre automatiquement en marche pour remplacer la pompe en défaut et ainsi assurer le fonctionnement de la station.

Lors de la réparation de la pompe en défaut et en activant l'effacement de défaut, la pompe revient en service et une nouvelle permutation se met en place.

L'arrêt des pompes peut arriver pour les cas suivants :

- Arrêt d'urgence activé.
- Niveau du réservoir inférieur au niveau de sécurité
- La pression de la conduite qui sort de la plage **Pmin et Pmax**
- Défaut sur les pompes ou sur les vannes.
- Coupure d'alimentation en cas de défaut pour éviter les dommages (Relais de tension général).

Quand une pompe reçoit un ordre d'arrêt, le système ferme d'abord la vanne motorisée. Une fois cette dernière fermée, le système envoie l'ordre d'arrêt pour la pompe et ainsi le groupe électropompe est considéré hors service.

Quand toutes les pompes s'arrêtent (en cas de niveau du réservoir trop bas, pression trop basse...), une temporisation est enclenchée pour que les pompes s'arrêtent une par une et non en même temps.

3.3.1.2 Gestion du niveau du réservoir d'aspiration

Pour la gestion du niveau de la bache d'aspiration, trois (03) niveaux ont été définis avec des hauteurs différentes.

- Niveau 1 : Niveau de sécurité (**NS**) à **1,5 m**. Ce niveau représente le niveau obligatoire à maintenir pour éviter la cavitation des pompes.
- Niveau 2 : Niveau haut (**NH**) (ou niveau de démarrage) à **4,5 m**. Ce niveau est le seuil à partir duquel nos pompes sont enclenchées.
- Niveau 3 : Niveau très haut (**NTH**) à **5,5 m**. Ce niveau lance une alerte pour signaler un risque de débordement.

Pour le transfert d'information sur le niveau du réservoir d'aspiration, nous avons utilisé :

- Un transmetteur de niveau analogique à ultrasons 4-20 mA.
- Des poires de niveau.

Les poires de niveau sont enclenchées en cas de défaut du capteur de niveau (coupure de fil, par exemple).

3.3.1.3 Gestion de la pression de la conduite de refoulement

Pour la conduite de refoulement, deux (02) seuils de pression ont été définis ; la pression de la conduite doit être comprise entre ces deux valeurs.

- Seuil de pression 1 : Pression minimum (**Pmin**) définie à **6 bar**. Il doit être validé pour permettre aux pompes de démarrer et éviter la cavitation de ces dernières.
- Seuil de pression 2 : Pression maximale (**Pmax**) définie à **8 bar**. La conduite ne doit pas dépasser cette valeur sous peine de causer des dommages sur la conduite.

Pour le transfert d'information sur la pression de la conduite, nous avons utilisé un transmetteur de pression analogique 4-20 mA.

3.3.1.4 Gestion de l'ouverture de la vanne motorisée analogique VM5

Pour éviter la cavitation des pompes, il est essentiel de contrôler la plage d'ouverture des vannes motorisées. Pour ce faire, nous allons définir l'ouverture des vannes motorisées en pourcentage (%). La plage d'ouverture des vannes dépend du nombre de pompes en service. On note :

- OV5 : ouverture de la vanne 5 (en %)
- N : nombre de pompes en service

Ainsi, on adopte le fonctionnement suivant :

- Si $N = 1$, alors $OV5 = 50\%$
- Si $N = 2$, alors $OV5 = 80\%$
- Si $N = 3$, alors $OV5 = 100\%$

3.3.2 Architecture générale du programme

Le programme est structuré de manière modulaire afin de faciliter la compréhension et la maintenance. Il se compose principalement de :

- **OB1 (Organizational Block 1)** : Bloc principal exécuté de manière cyclique par l'automate. Il assure la gestion des conditions de démarrage, le traitement et l'effacement des défauts liés aux pompes et aux vannes. Il prend également en compte les informations provenant des capteurs de niveau et de pression.
- **FB (Function Block)** : Blocs fonctionnels utilisés pour la gestion de la permutation des pompes, le comptage des heures de fonctionnement et l'arrêt des pompes, ainsi que l'ouverture et la fermeture des vannes. Chaque FB dispose de sa propre mémoire (instance de données). Il nécessite un DB d'instance pour stocker ses variables, permettant ainsi leur mémorisation entre les appels.
- **DB (Data Block)** : blocs de données associés aux FB pour la mémorisation des états.

3.3.3 Présentation du programme d'automatisation

Le programme assure les fonctions suivantes :

3.3.3.1 Conditions de Démarrage

Ce réseau vérifie que toutes les conditions de sécurité et d'alimentation sont réunies avant d'autoriser le démarrage du système.

Il se compose de deux lignes logiques :

- La première condition est validée si l'arrêt d'urgence n'est pas actif et si la tension générale est présente via le relais RVG .
- La seconde condition est validée si le niveau de sécurité est suffisant et si la pression mesurée est inférieure au seuil maximal autorisé .

Ces deux conditions doivent être remplies pour permettre l'activation de la commande automatique des pompes.

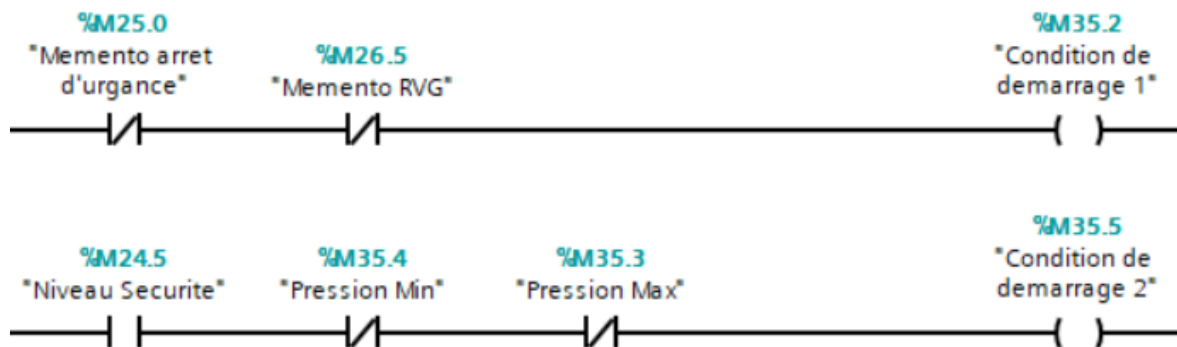


FIG. 3.2 : Réseau de contrôle des conditions préalables au démarrage du système

3.3.3.2 Permutation cyclique des pompes

Dans le but d'assurer une répartition équitable du temps de fonctionnement entre les différentes pompes de la station de pompage, une logique de permutation cyclique a été mise en place dans l'automate Siemens S7-1200. Cette logique permet d'alterner automatiquement les groupes électropompes toutes les 5 heures de fonctionnement.

La solution envisagée s'organise autour des points suivants :

- **Conditions de permutation :**

La permutation n'est effectuée que si les conditions suivantes sont remplies :

- Le niveau haut du réservoir d'aspiration est atteint.
- Aucune des pompes n'est en défaut.
- Le compteur de permutation a atteint le seuil de 5 heures.

- **Calcul du temps de fonctionnement de chaque pompe :**

Chaque pompe est associée à un compteur de temps (en secondes) mis à jour en temps réel. Ce compteur est basé sur une horloge interne cadencée à 1 Hz (une impulsion par seconde). Pour chaque pompe, un front montant de cette horloge est détecté uniquement lorsque la pompe est en marche. À chaque impulsion, une variable **Seconde Px** (où x correspond au numéro de la pompe) est incrémentée automatiquement à l'aide d'une instruction **ADD**.

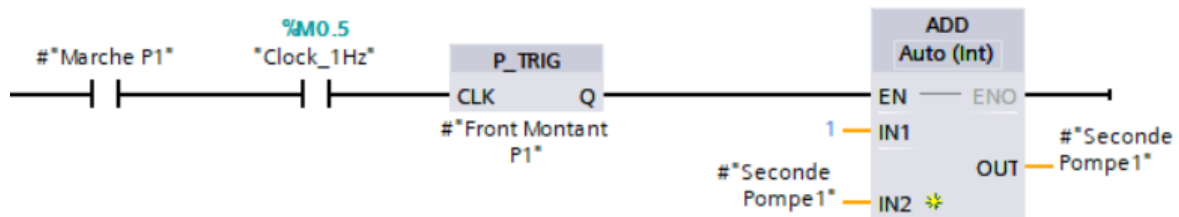
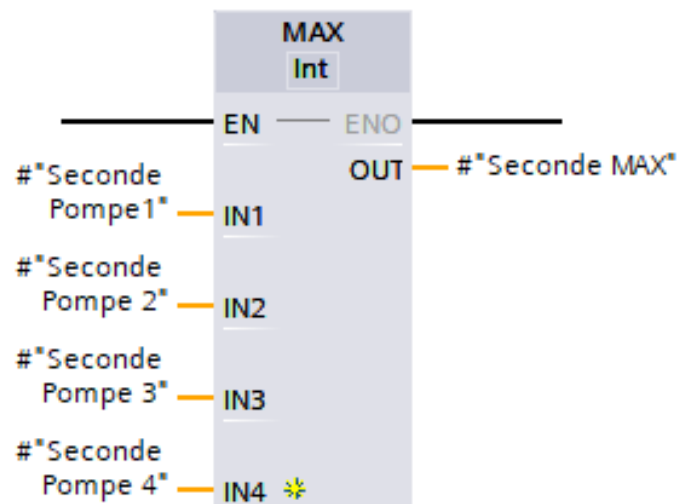


FIG. 3.3 : Programme du comptage du temps de fonctionnement des pompes (Pompe 1)

– **Détermination de la pompe la plus utilisée :**

Le programme utilise une fonction de calcul MAX pour identifier la pompe ayant le plus grand temps de fonctionnement. Cette pompe est alors considérée comme celle ayant le plus besoin de repos.

FIG. 3.4 : Fonction de détection de la pompe avec le temps de fonctionnement **Maximal**

– **Désignation de la pompe à arrêter :**

Une fois identifiée, la pompe la plus utilisée est désignée comme “quatrième pompe”, c’est-à-dire la prochaine à être arrêtée dans le cycle de permutation. Cette décision est enregistrée dans une variable **Quatrième Pompe**.

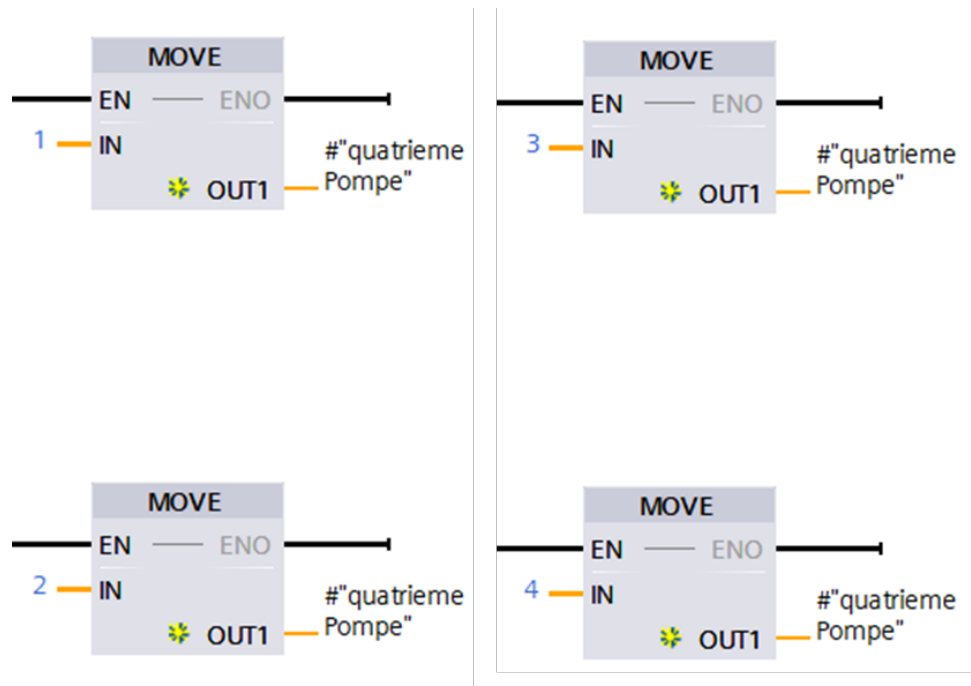


FIG. 3.5 : Fonction Move pour désigner de la pompe à arrêter

Donc le programme complet qui assure la permutation est le suivant :

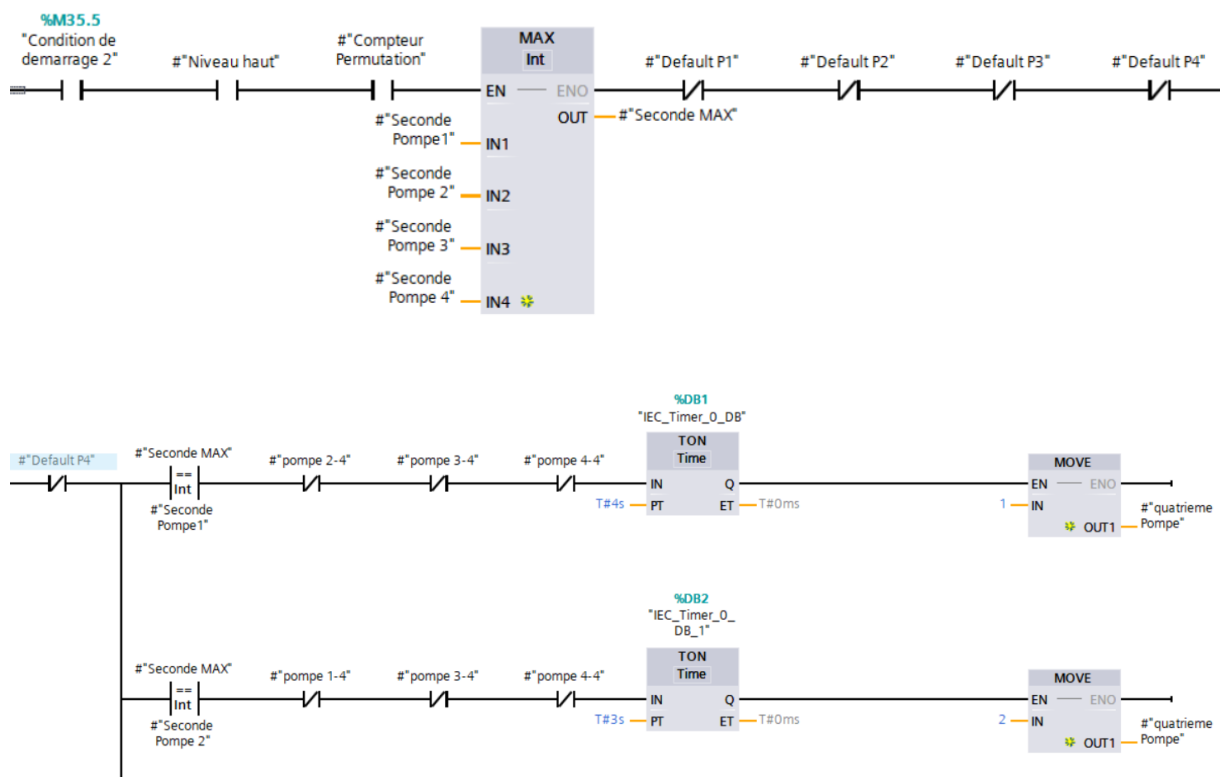


FIG. 3.6 : Programme de la permutation (Pompe 1 et 2)

3.3.3.3 Gestion des Défauts des Pompes

Le système de commande intègre une logique de détection et de traitement des défauts des pompes. Cette fonctionnalité permet d'assurer la continuité de service pour la station même en cas de panne d'une ou de plusieurs pompes.

Détection de défaut :

Lorsqu'un défaut est détecté sur une pompe, un signal de défaut est activé (DEF P1, DEF P2, etc.), ce qui enclenche une bascule Set/Reset (SR) qui enregistre l'état de défaut dans un memento.

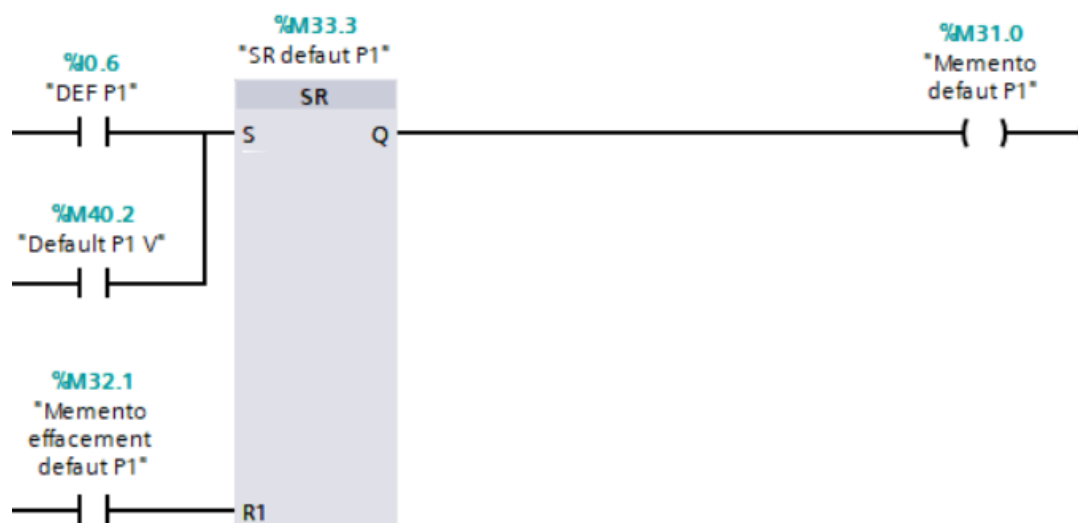


FIG. 3.7 : Programme de gestion des défauts pour les pompes (Pompe 1)

Réaction du système :

Une fois la détection confirmée, la pompe défectueuse est automatiquement déclassée et assignée au rôle de *quatrième pompe* grâce à l'instruction MOVE.

Cette opération a pour effet de :

- Retirer la pompe en défaut du cycle de permutation principal.
- Réorganiser les priorités de démarrage avec uniquement les trois pompes fonctionnelles restantes.

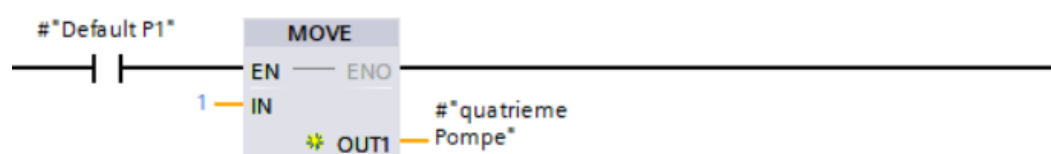


FIG. 3.8 : Programme de réaffectation de la pompe en défaut comme quatrième pompe (Pompe 1)

Réarmement du défaut :

Le rétablissement de la pompe défectueuse est conditionné par l'effacement manuel du défaut, ce qui réinitialise la mémoire de défaut via un signal d'effacement.

3.3.3.4 Commande des Vannes – Ouverture et Fermeture Automatisée

Les vannes motorisées TOR (VM1 à VM4)

Au démarrage du système, toutes les vannes sont initialement fermées. Les pompes doivent démarrer avec les vannes fermées pour réduire l'intensité absorbée au démarrage.

La séquence de fonctionnement est la suivante :

- **Initialisation** : les vannes VM1 à VM4 sont fermées.
- **Commande de démarrage pompe** : l'opérateur déclenche la pompe associée.
- **Temporisation** : une temporisation (bloc TON) est enclenchée pour laisser à la pompe le temps d'atteindre un régime stable.
- **Ouverture de la vanne** : à l'issue du temps imparti, la vanne concernée s'ouvre automatiquement.

Cette logique est reproduite pour chaque vanne, assurant un démarrage séquentiel, sécurisé et sans chocs hydrauliques.

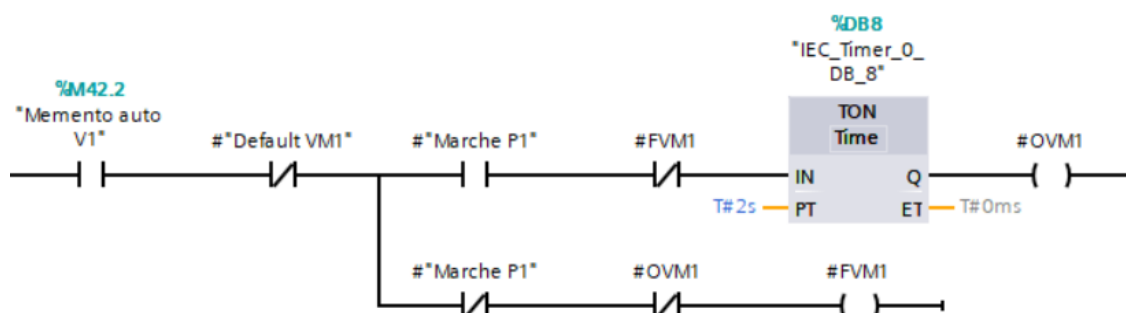


FIG. 3.9 : Programme de gestion d'ouverture des vannes motorisées (VM1)

3.3.3.5 Gestion des Défauts des Vannes Motorisées

Chaque vanne est surveillée individuellement. Lorsqu'un défaut est détecté, un signal de défaut vanne est généré.

Ce signal active une bascule SR (Set/Reset), qui mémorise l'état de défaut dans une mémoire memento.

Cette mémorisation permet de conserver l'état de défaut tant qu'un signal de remise à zéro n'a pas été activé, même si le défaut disparaît temporairement.

Une vanne motorisée en défaut est automatiquement verrouillée : elle ne pourra ni s'ouvrir ni se fermer tant que le défaut reste actif.

Par exemple, si la vanne VM1 est en défaut, toute commande d'ouverture ou de fermeture sera inhibée jusqu'à l'effacement manuel du défaut. La pompe devient hors service jusqu'à la réparation de la vanne, la pompe réserve entre en jeu.

Comme pour les pompes, l'effacement d'un défaut sur une vanne ne peut se faire que manuellement, via l'activation d'un signal de remise à zéro (ex. : **Memento effacement défaut VM1**).

Cette procédure garantit que le défaut a bien été corrigé avant toute tentative de réactivation de la vanne.

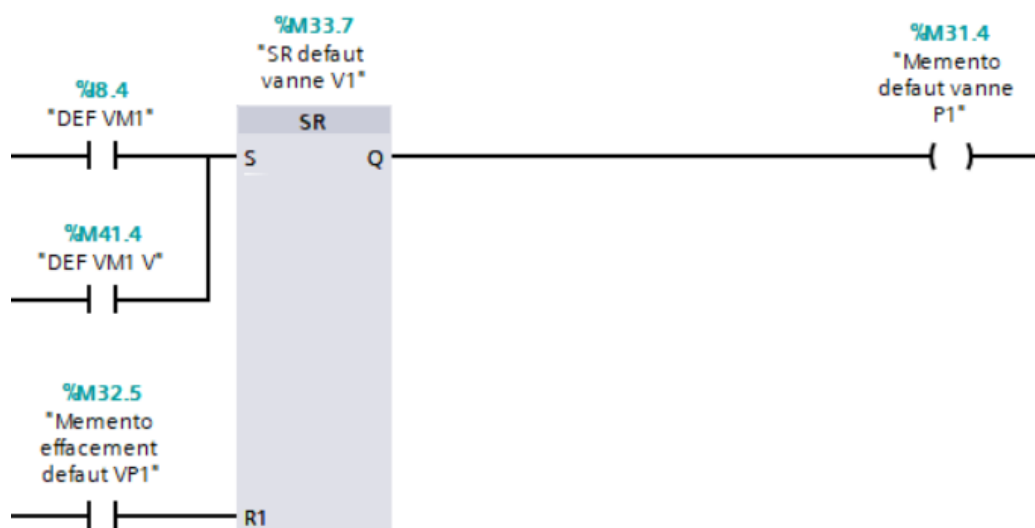


FIG. 3.10 : Programme de défaut et effacement de défaut des vannes motorisées (VM1)

3.3.3.6 Traitement du niveau d'eau dans la bêche d'aspiration

Lecture et conversion de la valeur analogique

Le signal reçu depuis le capteur est une donnée analogique, comprise entre 0 et 27648 (pour une entrée 4--20 mA). Afin de rendre cette donnée exploitable pour des comparaisons et actions dans le programme, deux blocs standard sont utilisés : **NORM_X** et **SCALE_X**.

- **NORM_X** : Ce bloc normalise la valeur brute reçue entre 0.0 et 1.0. Cela permet de travailler sur une échelle standardisée, indépendamment de la plage réelle du capteur.

- **SCALE_X** : Ce bloc convertit ensuite la valeur normalisée en une grandeur physique réelle, qui est dans notre cas la hauteur en mètres.



FIG. 3.11 : Programme du traitement de la valeur analogique du réservoir d'aspiration

Défaut du Capteur de Niveau

Ce réseau permet de détecter un éventuel défaut du capteur analogique de niveau. Il vérifie si la valeur mesurée par le capteur se situe dans une plage admissible.

Deux comparateurs sont utilisés :

- Le premier vérifie si la valeur est strictement supérieure à 0.
- Le second s'assure que la valeur est inférieure à 27648.0 (valeur maximale admissible pour un capteur analogique sous TIA Portal).

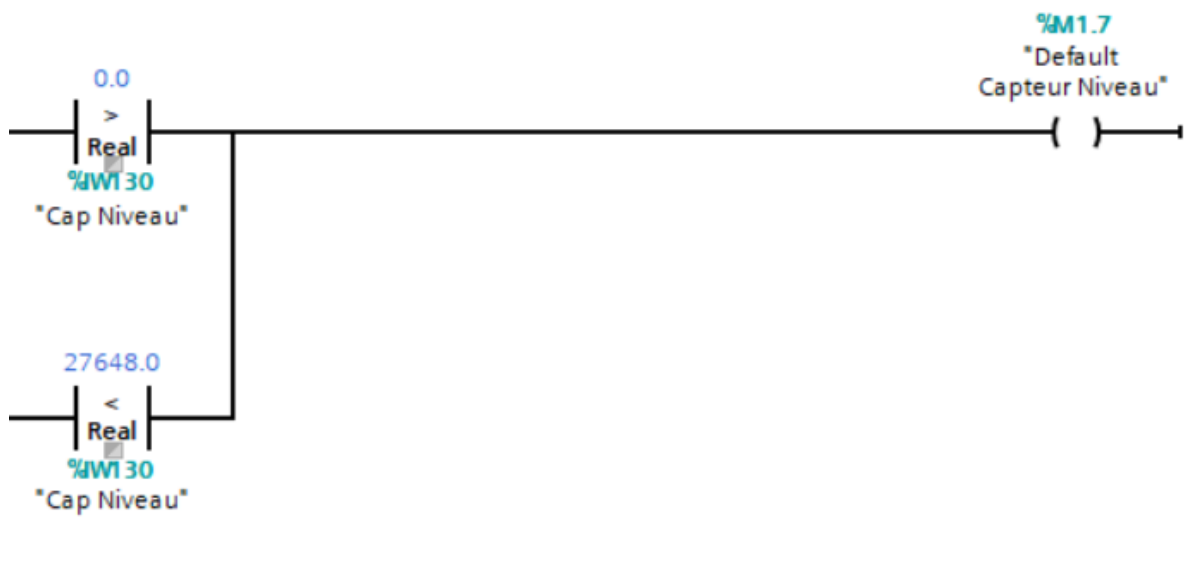


FIG. 3.12 : Programme de détection de défaut du capteur analogique de niveau

Intégration des niveaux du réservoir avec le capteur analogique

Ce réseau de programme permet de surveiller le niveau d'eau dans la bache d'aspiration à l'aide d'un capteur analogique. La valeur mesurée est comparée à plusieurs seuils pour détecter différentes situations :

- Lorsque le niveau est très bas (inférieur à 1,5 m), une alarme de sécurité est activée afin de protéger l'installation.
- Si le niveau d'eau est suffisant (supérieur à 4 m), une indication de niveau haut est générée et reste active jusqu'à ce que le niveau de sécurité impose sa réinitialisation via la bascule SR.
- Si le niveau dépasse 5,5 m, une indication signale que la bêche d'aspiration est trop pleine.

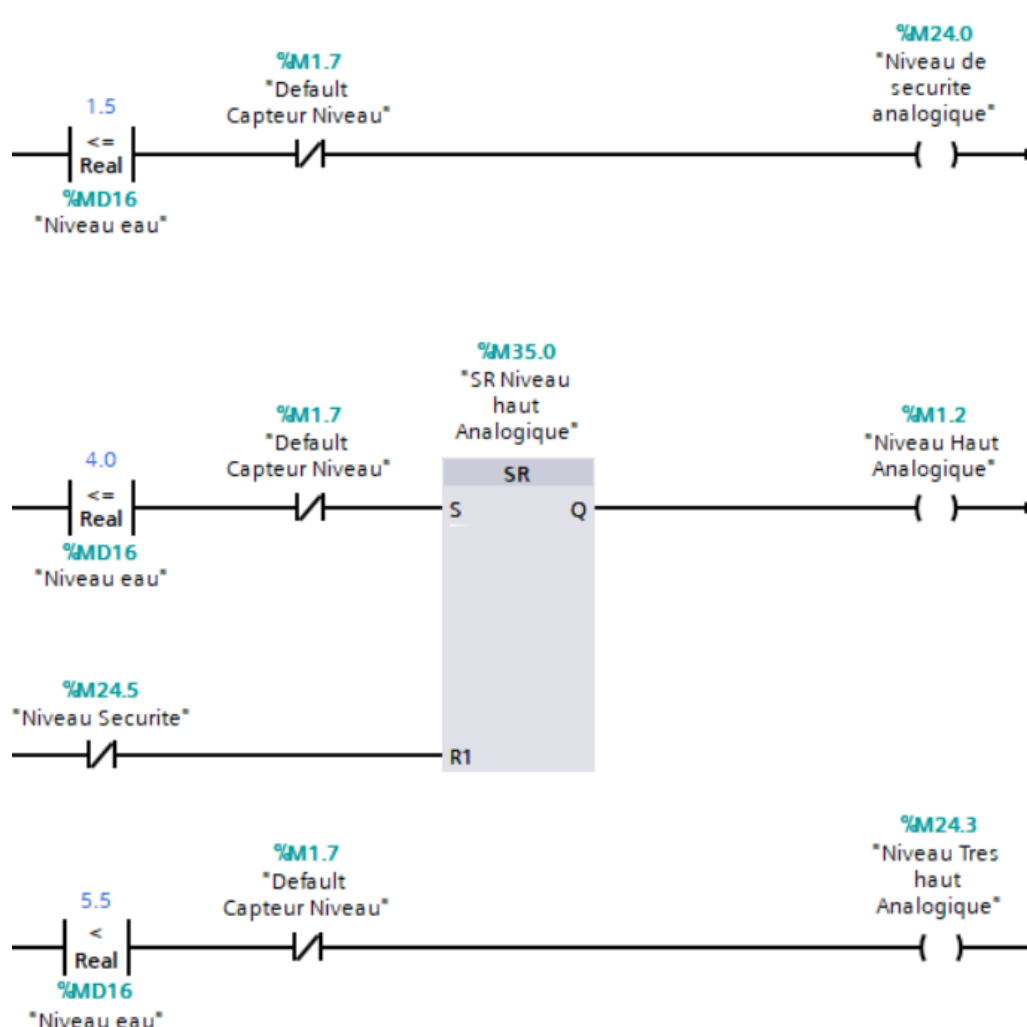


FIG. 3.13 : Programme d'intégration des niveaux du réservoir avec le capteur analogique

Intégration des poires de niveau

En cas de panne du capteur de niveau, des poires de niveau prendront le relais selon la configuration suivante :

- NS (Niveau de Sécurité) : 1,5 m

- NH (Niveau Haut de démarrage des pompes) : 4 m
- NTH (Niveau Très Haut) : 5,5 m

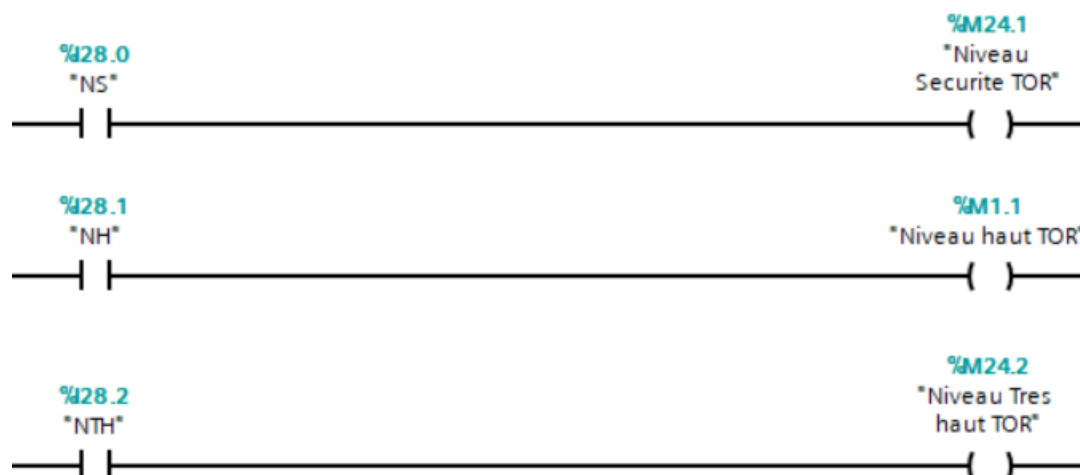


FIG. 3.14 : Programme d'intégration des poires de niveaux

3.3.3.7 Traitement de la pression

Dans le cadre de la surveillance continue de la pression dans la station de pompage, un capteur de pression analogique a été mis en place. Le traitement de la donnée brute issue du capteur suit la même logique que celle utilisée pour le capteur de niveau, en utilisant les blocs fonctionnels **NORM_X** et **SCALE_X** afin d'obtenir une valeur physique exploitable (en bar).

La pression réelle est ensuite stockée dans un mot double. Cette valeur est utilisée à la fois pour l'affichage sur l'IHM et pour le déclenchement de conditions de sécurité dans le système d'automatisation.



FIG. 3.15 : Traitement de la pression dans TIA Portal

3.3.3.8 Vanne Motorisée VM5 – Régulation Analogique

Contrairement aux quatre premières vannes, qui sont des vannes tout-ou-rien (TOR), la vanne motorisée **VM5** est une vanne analogique, conçue pour la régulation du débit.

Elle peut être commandée selon trois niveaux d'ouverture, chacun associé à un certain nombre de pompes en fonctionnement.

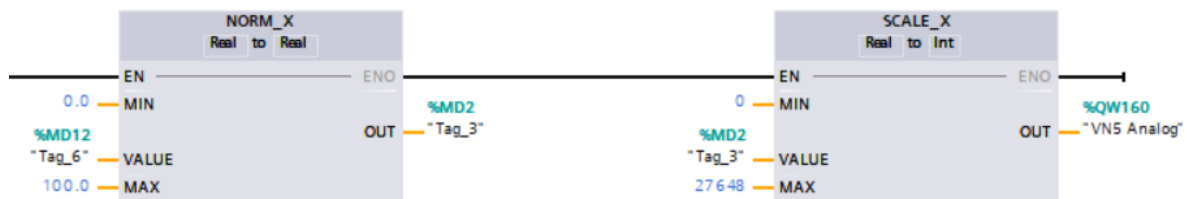


FIG. 3.16 : Intégration de la sortie analogique de la vanne motorisée VM5

Ouverture à 50 % : une seule pompe parmi les quatre est en service.

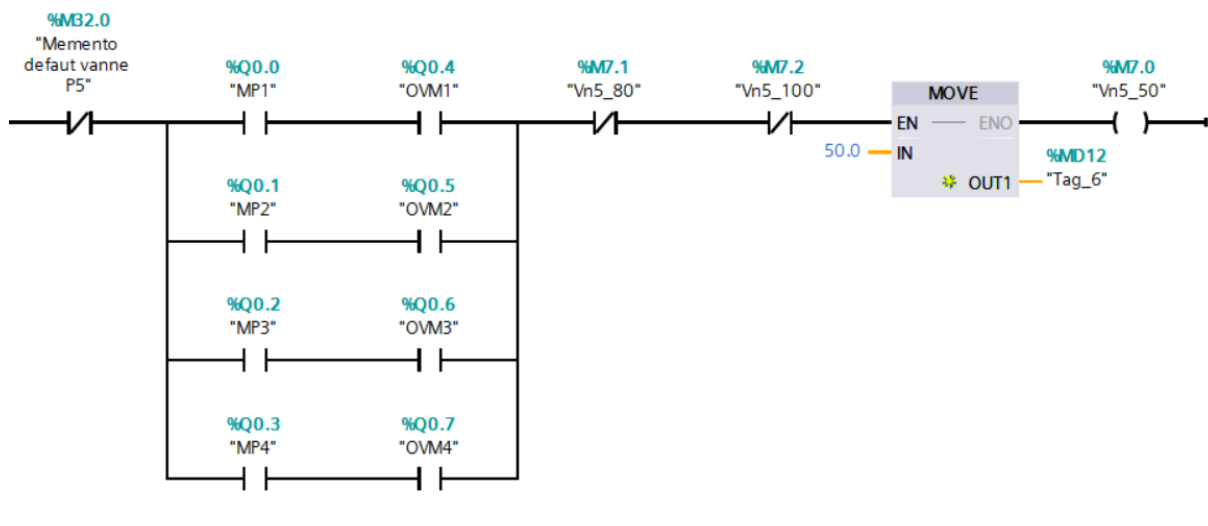


FIG. 3.17 : Programme de l'ouverture de VM5 à 50%

Ouverture à 80 % : deux pompes sur quatre sont en service.

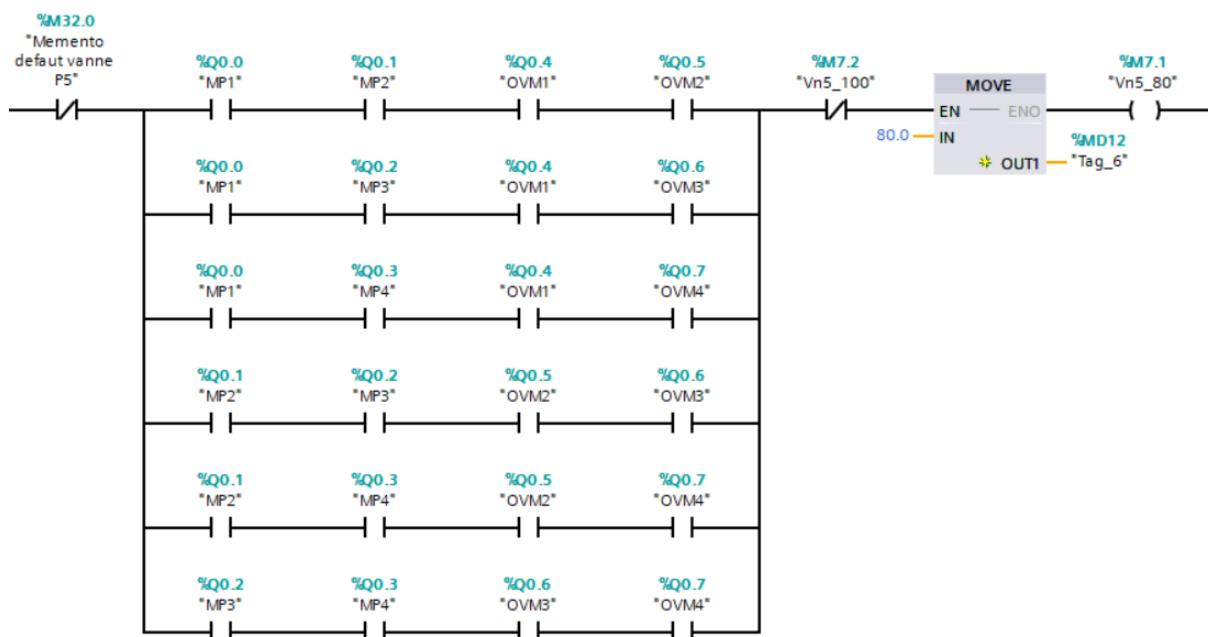


FIG. 3.18 : Programme de l'ouverture de VM5 à 80%

Ouverture à 100 % : trois pompes sont en service.

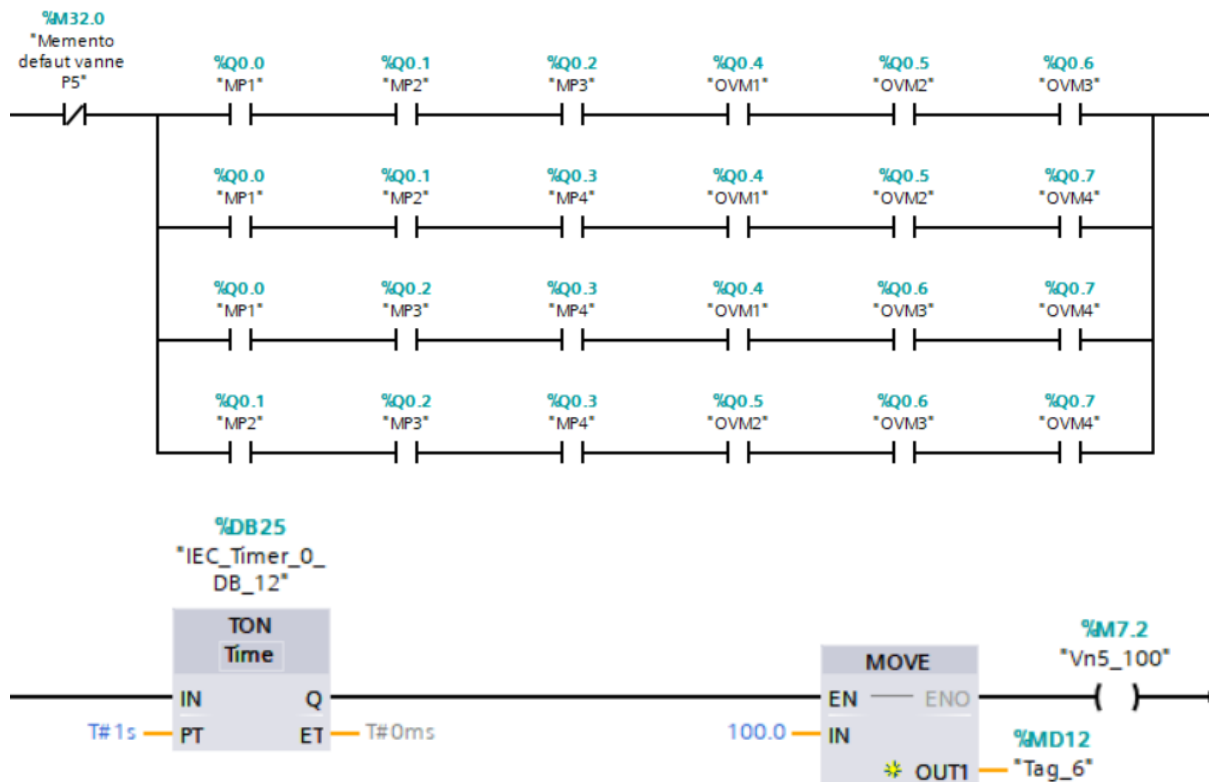


FIG. 3.19 : Programme de l'ouverture de VM5 à 100%

3.4 Conclusion

Ce chapitre a permis de détailler l'intégralité du processus de programmation de l'automate, qui a conduit à l'automatisation de notre station de pompage, le tout en respectant les différentes contraintes du cahier des charges.

Nous avons couvert les diverses étapes de la construction de notre programme, en commençant par la définition des blocs fonctionnels utilisés, jusqu'à l'implémentation des différentes fonctionnalités. Parmi celles-ci figuraient les séquences de démarrage, d'arrêt et de permutation des pompes, la gestion des défauts, l'intégration des capteurs analogiques (niveau et pression) et le contrôle de l'ouverture de la vanne motorisée.

Chapitre 4

Supervision de la station de pompage

4.1 Introduction

La supervision représente une étape clé de l'automatisation des processus industriels, elle offre la possibilité d'interagir avec le système en temps réel. Dans le cas de notre station de pompage, on doit s'assurer d'avoir un suivi permanent de l'état de cette dernière en utilisant des IHM.

L'interface homme-machine (IHM) permet à l'opérateur de visualiser les grandeurs physiques vitales (niveaux d'eau, états des pompes, alarmes, etc.), de déclencher ou d'arrêter manuellement certaines actions, et de surveiller les performances globales de l'installation. L'IHM devient ainsi l'outil principal du contrôle, car elle gère l'ensemble des données collectées par les capteurs et prises en charge par l'automate.

Dans ce chapitre, nous allons détailler le développement de cette interface de supervision en utilisant WinCC dans TIA Portal, de la conception des écrans de nos vues à l'intégration des éléments dynamiques et des fonctions d'archivage. L'objectif est de mettre en place un environnement graphique réactif et fiable, afin de gérer notre station.

4.2 Configuration du matériel

L'IHM qui a été utilisé pour effectuer la supervision de notre système est un écran SIMATIC Confort Panel de TP1500 Comfort, il est doté des caractéristiques suivantes :

- Écran TFT 15,4 pouces
- Résolution : 1280 x 800 pixels
- Affichage : 16 millions de couleurs
- Commande tactile
- 1 x interface MPI/PROFIBUS DP
- 1 x interface PROFINET/Industrial Ethernet avec prise en charge de MRP et RT/IRT (2 ports)
- 1 x port Ethernet Gigabit
- 2 logements pour cartes SD
- 2 ports USB

Pour le connecter avec notre automate, on a utilisé une connexion Profinet/Industrial Ethernet ou PN/IE.

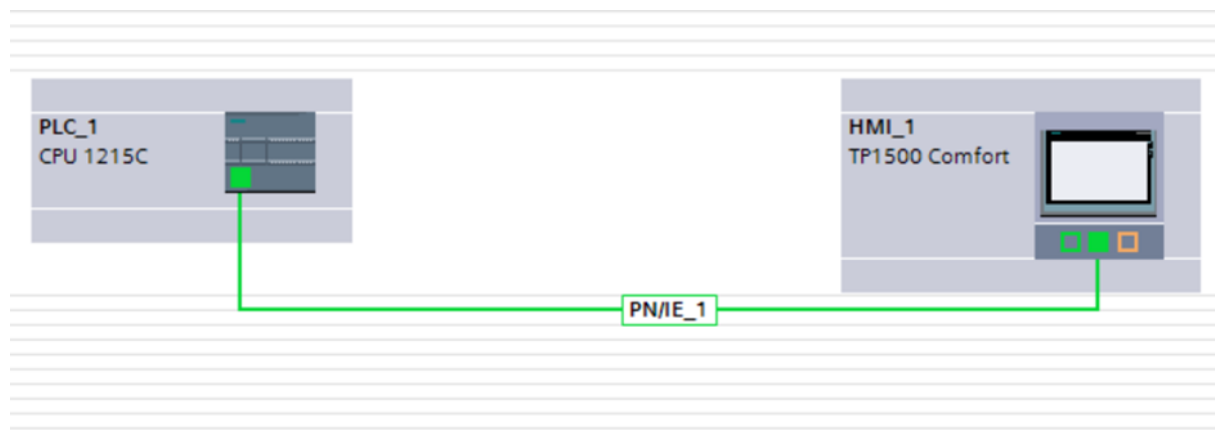


FIG. 4.1 : Connexion PLC (CPU 1215C) et HMI (TP1500 Comfort) via PROFINET

4.3 Gestion des vues

Afin d'avoir une interface plus fluide et claire dans notre IHM, la création de plusieurs vues dans la même interface permet de mieux organiser la supervision du la station, ainsi chaque vue donne des informations différentes sur notre système.

Pour l'IHM de la station de pompage trois vues ont été créées, chacune d'entre elles présente des informations différentes sur la station.

4.3.1 Vue Racine

Cette vue représente l'écran d'accueil de notre IHM, il est organisé de manière claire et ergonomique afin de donner à l'opérateur une synthèse du système, les informations essentielles affichés sont :

- **L'état du système** : un indicateur visuel permet de savoir si la station est en marche ou en arrêt.
- **Nombre de pompes en fonctionnement** : Le système affiche d'une manière dynamique le nombre de pompes en fonctionnement en temps réel.
- **Signalement des défauts** : l'écran d'accueil informe sur la présence de défaut, que ce soit au niveau des pompes ou des vannes motorisées en utilisant des indicateurs visuels.

Ce dernier permet aussi d'accéder aux différentes vues qui existent dans l'IHM, en utilisant des boutons pour y accéder.

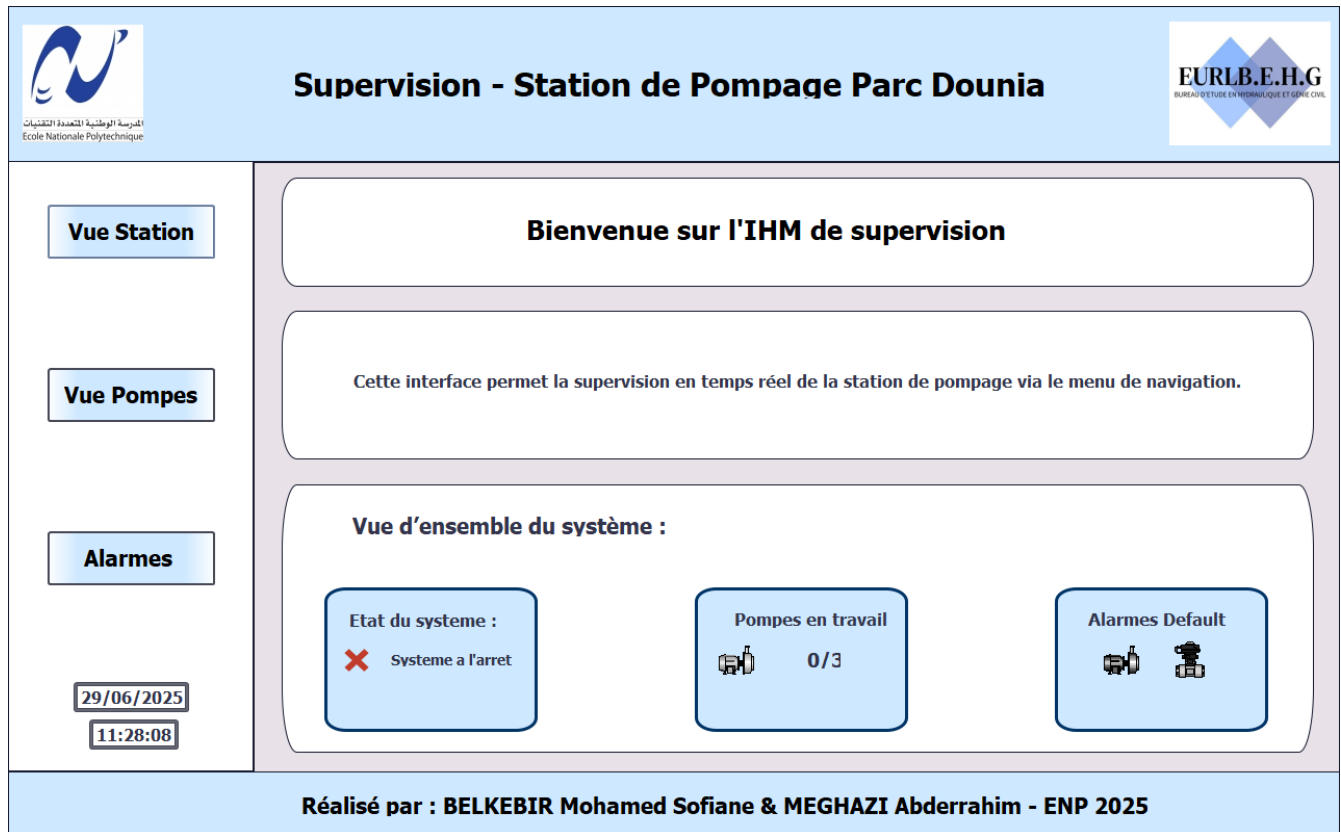


FIG. 4.2 : Vue d'accueil de l'IHM de Supervision

4.3.2 Vue Station

Cette vue illustre le processus de pompage en détail, elle permet à l'utilisateur de suivre l'évolution du système, depuis la bêche d'aspiration jusqu'au réservoir final. Elle offre les fonctionnalités suivantes :

- **État des pompes** : Affiche l'état de chaque pompe (P1 à P4) et permet d'identifier si elles sont en fonctionnement ou en arrêt.
- **Affichage des données** : Montre la pression du système en temps réel ainsi que le niveau de la bêche d'aspiration.
- **Visualisation dynamique du système** : Propose une visualisation dynamique du circuit (Aspiration et refoulement) avec les sens d'écoulement.
- **Basculement en mode Auto/Manuel** : Permet le basculement en mode automatique ou manuel pour les pompes et les vannes.
- **Indication des défauts** : Indique les défauts associés à chaque pompe et chaque vanne motorisée à l'aide d'animations visuels.

Cet écran joue un rôle central dans l'exploitation de la station car il regroupe l'ensemble des informations nécessaires pour surveiller et intervenir efficacement sur le processus.

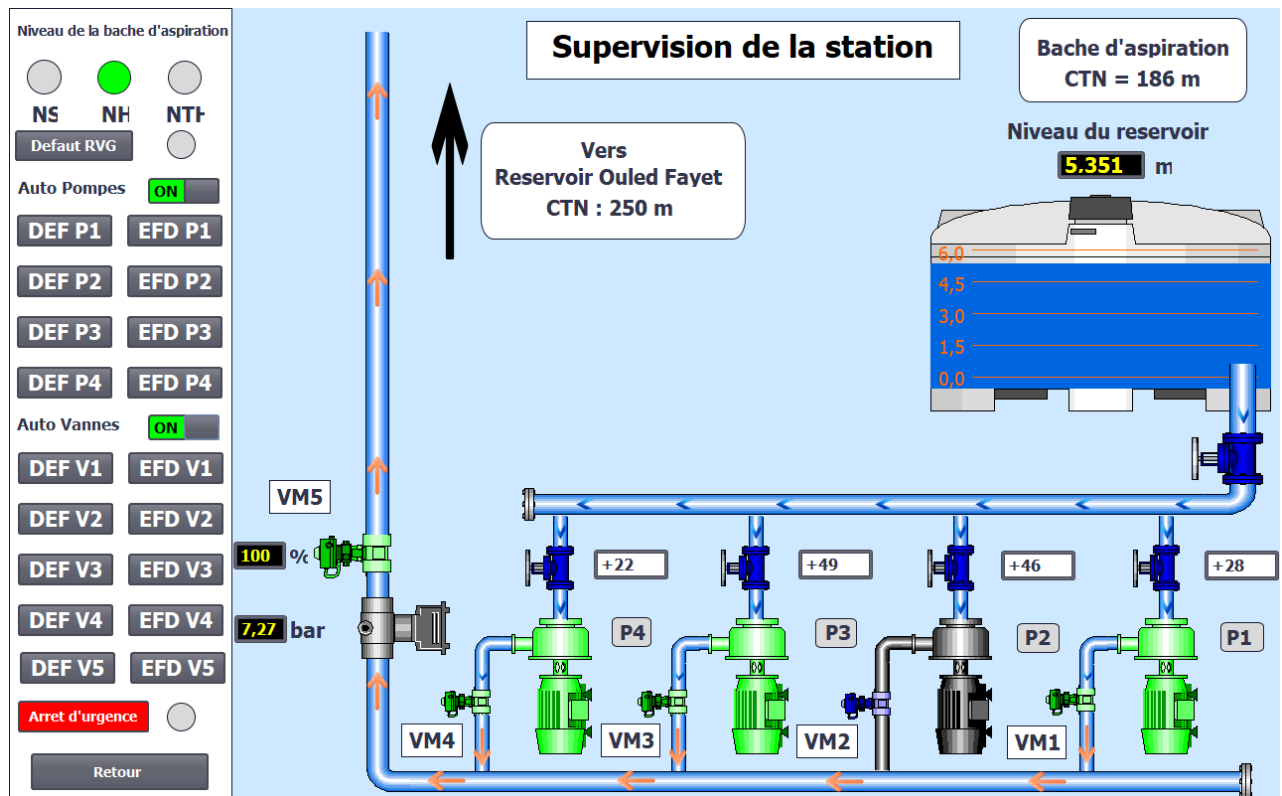


FIG. 4.3 : Vue synoptique de la station à travers l'IHM

4.3.3 Vue état des pompes

Cette vue permet un diagnostic détaillé de chaque pompe de la station. Elle fournit à l'opérateur l'historique de fonctionnement de chaque pompe.

- **Temps de travail** : Affiche le temps de travail total pour chaque pompe.
- **Volume d'eau refoulé** : Indique le volume d'eau qu'a refoulé chaque pompe.
- **Nombre de défauts** : Recense le nombre de défauts survenus pour chaque pompe.

Cette vue joue un rôle essentiel dans la surveillance de la station de pompage, signalant toute anomalie détectée dans le système. Elle fournit des informations cruciales qui permettent de surveiller l'usure des équipements et ainsi d'anticiper les opérations de maintenance. Elle représente donc un outil indispensable à la gestion préventive du système de pompage.

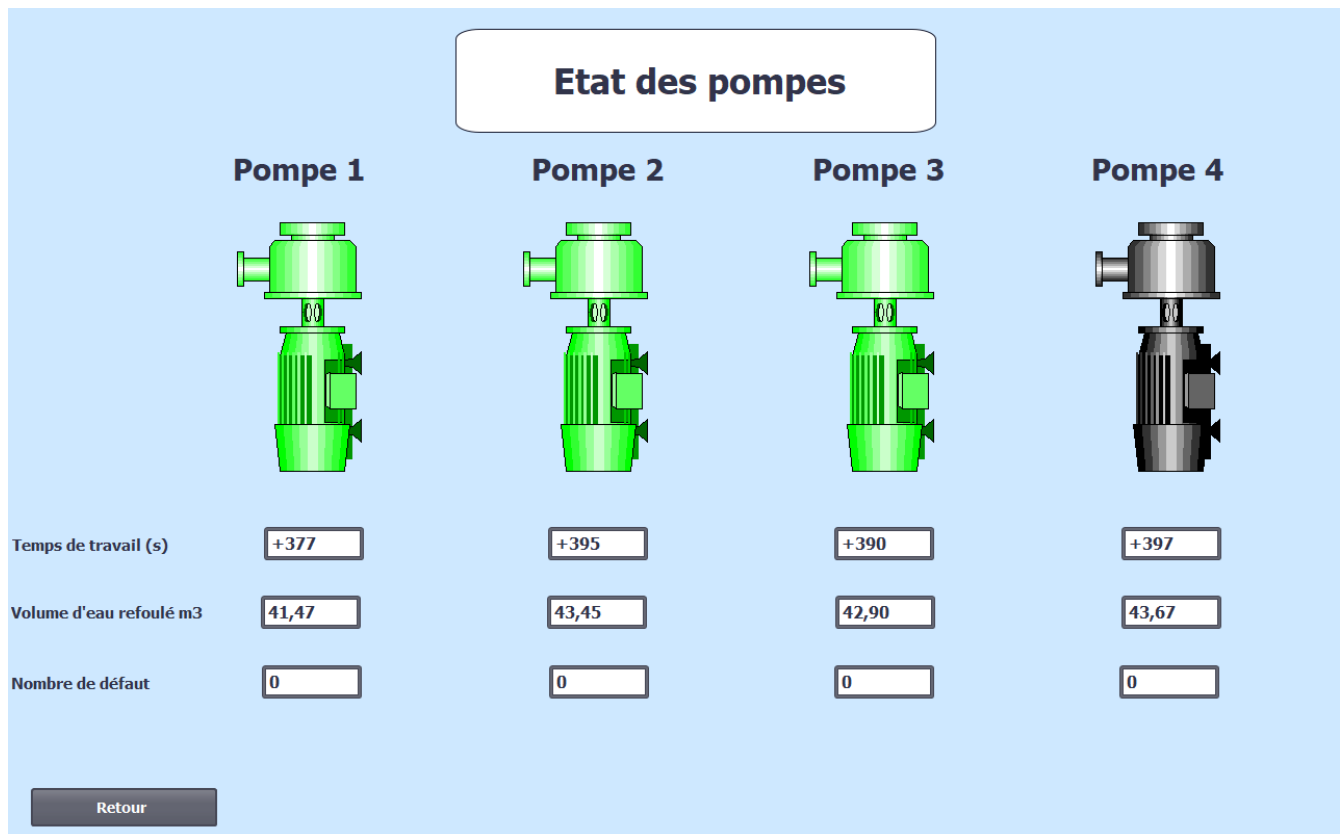


FIG. 4.4 : Vue "État des Pompes" de l'IHM de Supervision

4.4 Gestion des alarmes

4.4.1 Réglage des alarmes

Pour avoir un meilleur suivi des opérations et une gestion facilitée pour l'opérateur, il est crucial de mettre en place un système d'alarmes performant. Ce système permet d'être alerté rapidement en cas d'anomalie dans la station de pompage, garantissant ainsi une intervention rapide et efficace.

Notre système d'alarme devra signaler les points suivants.

- Les défauts détectés sur les pompes et les vannes motorisées.
- Alerte en cas de réservoir trop plein ou presque vide, afin d'éviter tout débordement ou arrêt par manque d'eau.
- Indiquer si la pression du système est trop élevée, ce qui peut entraîner des risques de rupture, ou trop basse, ce qui pourrait rendre le pompage insuffisant ou inefficace.
- Signaler la défaillance du capteur de niveau analogique et ainsi le basculement vers les poires de niveau.

ID	Nom	Texte d'alarme	Classe d'alarme	Variable de déclen.	Bit de...	Adresse de déclenche...	Variable d'ac...	Bit...
1	Niveau tres haut	Trop plein atteint. Attention debordement	Warnings	Alarms niveau	14	"Alarme niveau".x14	<aucune vari...	0
2	Niveau de securite	Niveau du reservoir bas	Warnings	Alarms niveau	1	"Alarme niveau".x1	<aucune vari...	0
3	DEF P1	Default Pompe 1	Errors	Alarme default	8	"Alarme default".x8	<aucune vari...	0
4	DEF P2	Default Pompe 2	Errors	Alarme default	9	"Alarme default".x9	<aucune vari...	0
5	DEF P3	Default Pompe 3	Errors	Alarme default	10	"Alarme default".x10	<aucune vari...	0
6	DEF P4	Default Pompe 4	Errors	Alarme default	11	"Alarme default".x11	<aucune vari...	0
7	DEF VM1	Default Vanne motorise 1	Errors	Alarme default	12	"Alarme default".x12	<aucune vari...	0
8	DEF VM2	Default Vanne motorise 2	Errors	Alarme default	13	"Alarme default".x13	<aucune vari...	0
9	DEF VM3	Default Vanne motorise 3	Errors	Alarme default	14	"Alarme default".x14	<aucune vari...	0
10	DEF VM4	Default Vanne motorise 4	Errors	Alarme default	15	"Alarme default".x15	<aucune vari...	0
11	DEF VM5	Default Vanne motorise 5	Errors	Alarme default	0	"Alarme default".x0	<aucune vari...	0
12	Pression Max	Pression trop grande	Errors	Alarme Pression	11	"Alarme Pression".x11	<aucune vari...	0
13	Pression Min	Pression insuffisante. Demarrage des pompes impossible	Errors	Alarme Pression	12	"Alarme Pression".x12	<aucune vari...	0

FIG. 4.5 : Reglage des alarmes dans TIA Portal

4.4.2 Visualisation des alarmes

Après le réglage des alarmes sur TIA Portal, on peut maintenant associer une vue depuis l'IHM, et ainsi visualiser les différents problèmes que peut avoir la station de pompage. Le tout en ayant un historique précis permettant de savoir depuis quand le problème est survenue.

Heure	Date	Texte
! 17:12:52	21/06/2025	Default Pompe 4
! 17:12:50	21/06/2025	Default Pompe 2
! 17:12:44	21/06/2025	Default Vanne motorisée 1
17:13:20	21/06/2025	Trop plein atteint. Attention debordement

FIG. 4.6 : Vue "Alarmes" de l'IHM de Supervision

4.5 Archivage des données

4.5.1 Réglage de l'archivage

Sur TIA Portal, on peut archiver les valeurs des variables qu'on veut tracer. Ces dernières seront sauvegardées sous le format d'un fichier .CSV qu'on pourra récupérer de l'IHM avec une clé USB ou une carte SD. Dans le cas d'une simulation, on les trouvera dans un dossier sur notre ordinateur.

Pour notre cas, on a choisi de créer deux fichiers d'archives pour sauvegarder nos données.

- La première archive est une archive cyclique qui enregistre les valeurs du niveau de notre bache d'aspiration et la valeur de la pression dans notre conduite de refoulement. En effet, toutes les 10 secondes, les valeurs sont sauvegardées. Ces données permettent un suivi continu du comportement de la station et de détecter d'éventuels problèmes comme une baisse de pression ou un niveau instable de la bache.

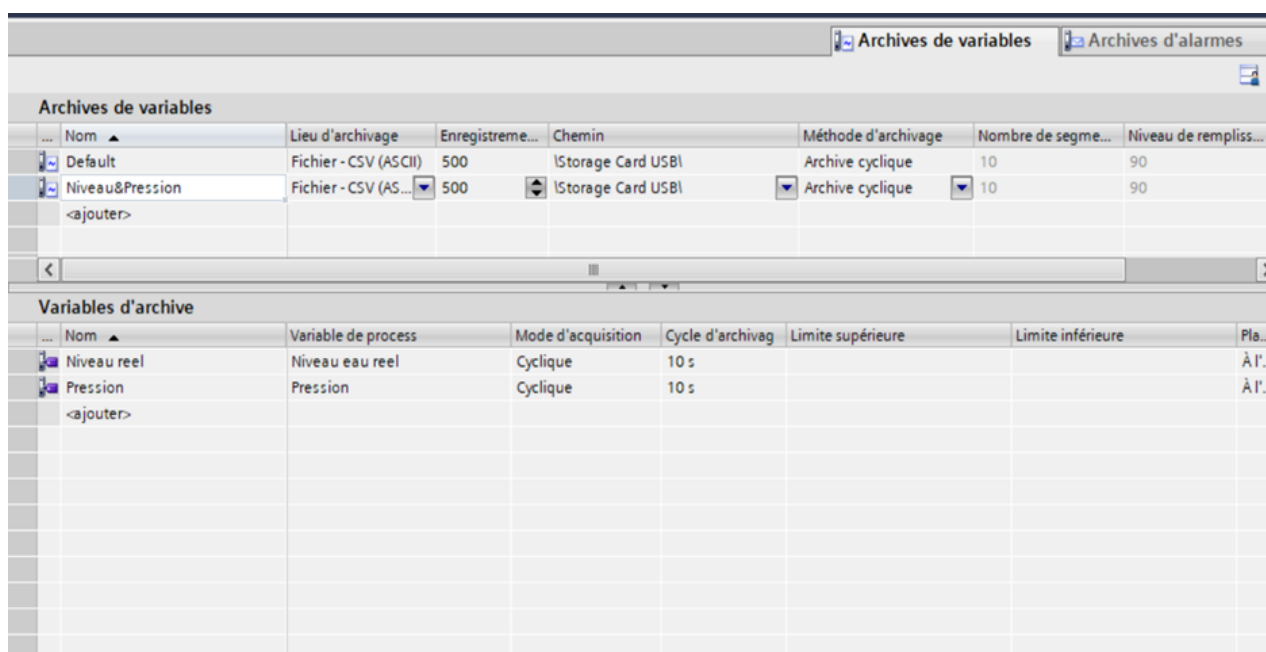


FIG. 4.7 : Réglage de l'archive du niveau du réservoir et de la pression de la conduite de refoulement

- La deuxième archive est une archive sur modification, qui trace la modification de certaines valeurs. Dans notre cas, nous avons choisi les défauts des pompes et des vannes, ainsi que le moment où l'opérateur appuie sur le bouton d'arrêt d'urgence. Ce type d'archivage permet de constituer un historique précis des incidents et des interventions manuelles sur le système. Il permet également d'identifier la fréquence d'apparition des défauts, ce qui assure une meilleure gestion du processus et une meilleure fiabilité.

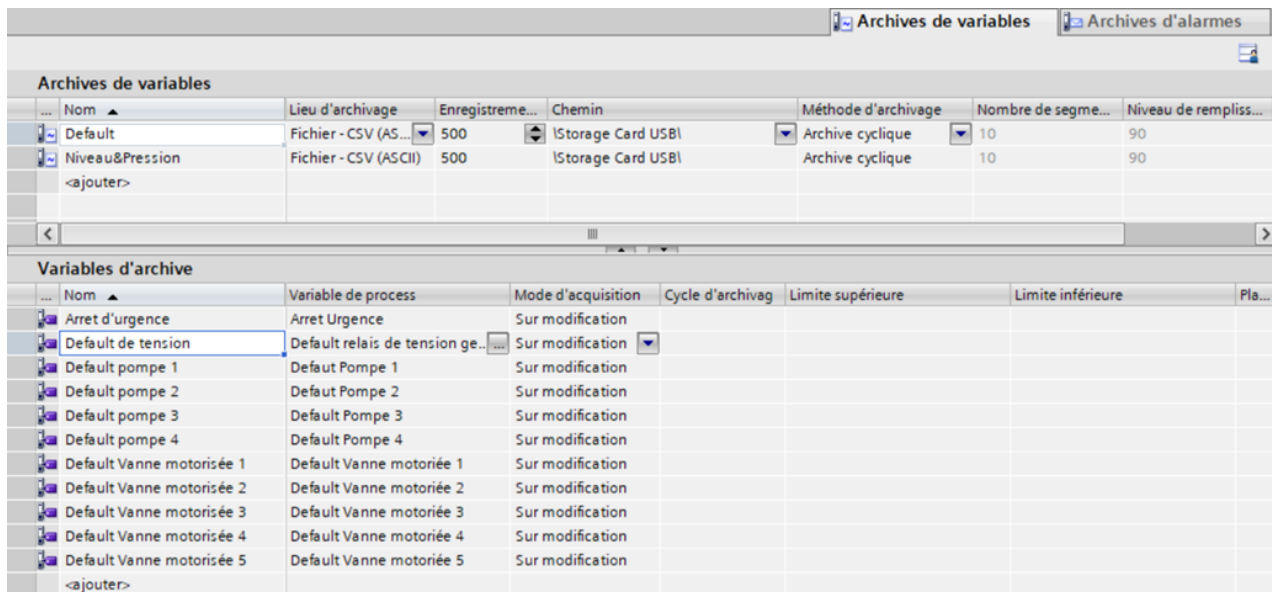


FIG. 4.8 : Réglage de l'archive des défauts

4.5.2 Visualisation de l'archive

Pour vérifier si notre archive fonctionne correctement, nous avons lancé une simulation, en provoquant des défauts pour quelques éléments de notre station et en modifiant le niveau du réservoir d'aspiration et le niveau de pression.

– Les défauts :

Pendant la période de simulation, nous avons provoqué des défauts pour nos pompes et nos vannes motorisées.

Quand le défaut est enclenché, il est enregistré, ainsi que la date et l'heure de l'enclenchement. Et quand il est corrigé et que l'effacement de défaut est provoqué, ce dernier est aussi enregistré. On remarque le changement de la valeur de la variable pour le même élément (-1 pour un défaut et 0 pour l'effacement de défaut, avec des commentaires).

1	Variable	Date&Heure	Valeur	Commentaires
2	Default Vanne motorisée 1	27/05/2025 11:26	-1	Modification de l'état
3	Default Pompe 3	27/05/2025 11:26	-1	Modification de l'état
4	Defaut Pompe 2	27/05/2025 11:26	-1	Modification de l'état
5	Defaut Pompe 1	27/05/2025 11:26	-1	Modification de l'état
6	Defaut Pompe 1	27/05/2025 11:27	0	Retour à l'état initial
7	Defaut Pompe 2	27/05/2025 11:27	0	Retour à l'état initial
8	Default Vanne motorisée 1	27/05/2025 11:27	0	Retour à l'état initial
9	Default Vanne motorisée 5	27/05/2025 11:29	-1	Modification de l'état
10	\$RT_OFF\$	27/05/2025 11:44	0	Arrêt de l'archivage
11	\$RT_COUNT\$		11	Comptage des archives

FIG. 4.9 : Fichier d'archive des défauts (.csv)

– **Le niveau de la b che d'aspiration et la pression de la conduite**

Pour cette archive, les valeurs enregistrées sont le niveau du réservoir ainsi que la pression de la conduite de refoulement.

Nous avons fait varier les valeurs du niveau et de la pression ; l'archive se met   jour toutes les 10 secondes et enregistre les valeurs.

1	Variable	Date&Heure	Valeur		
2	Niveau eau reel	27/05/2025 18:47	3,785113		
3	Pression	27/05/2025 18:47	6,330151		
4	Niveau eau reel	27/05/2025 18:48	3,691363		
5	Pression	27/05/2025 18:48	6,330151		
6	Niveau eau reel	27/05/2025 18:48	3,691363		
7	Pression	27/05/2025 18:48	6,330151		
8	Niveau eau reel	27/05/2025 18:48	3,691363		
9	Pression	27/05/2025 18:48	6,330151		
10	Niveau eau reel	27/05/2025 18:48	3,691363		
11	Pression	27/05/2025 18:48	6,330151		
12	Niveau eau reel	27/05/2025 18:48	2,503868		
13	Pression	27/05/2025 18:48	7,018518		
14	Niveau eau reel	27/05/2025 18:48	2,503868		
15	Pression	27/05/2025 18:48	7,018518		
16	Niveau eau reel	27/05/2025 18:49	3,300737		
17	Pression	27/05/2025 18:49	6,162037		
18	Niveau eau reel	27/05/2025 18:49	3,300734		
19	Pression	27/05/2025 18:49	5,817997		
20	Niveau eau reel	27/05/2025 18:49	3,300735		
21	Pression	27/05/2025 18:49	5,890046		
22	Niveau eau reel	27/05/2025 18:49	3,300737		
23	Pression	27/05/2025 18:49	6,25		
24	Niveau eau reel	27/05/2025 18:49	3,300737		
25	Pression	27/05/2025 18:49	6,25		
26	Niveau eau reel	27/05/2025 18:49	3,300737		
27	Pression	27/05/2025 18:49	6,25		
28	Niveau eau reel	27/05/2025 18:50	3,300737		
29	Pression	27/05/2025 18:50	6,25		
30	Niveau eau reel	27/05/2025 18:50	3,300737		
31	Pression	27/05/2025 18:50	6,25		
32	Niveau eau reel	27/05/2025 18:50	3,300737		
33	Pression	27/05/2025 18:50	6,25		
34	\$RT_OFF\$	27/05/2025 18:50	0		
35	\$RT_COUNT\$	33			
36					

FIG. 4.10 : Fichier d'archive du niveau du réservoir et de la pression de la conduite de refoulement (.csv)

4.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'établir la supervision de la station de pompage de Parc Dounia à partir de l'IHM. L'interface réalisé représente une image fidèle et respecte le fonctionnement exigé par le cahier de charge le tout en donnant un environnement intuitif pour faciliter la gestion de la station.

La simulation réalisée sur TIA Portal nous a permis de valider les programmes et de voir le fonctionnement de la station en simulant les différents éléments (Niveau du réservoir, pression de la conduite de refoulement, défauts...)

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a eu pour objectif principal de mettre en place le dimensionnement électrique complet pour la station de pompage de Parc Dounia et implémenter l'automatisation et la supervision de cette dernière pour assurer une autonomie de fonctionnement, sans l'aide d'une intervention humaine.

La réalisation de ce projet s'est organisé sur le respect d'un cahier des charges qui a permis de définir les besoins fonctionnels de notre station, et sur l'application d'une méthodologie rigoureuse afin d'apporter une solution technique appropriée allant du choix des sections de câble, à la programmation de l'automate et à la configuration de la supervision. Les simulations réalisées ont démontré la viabilité de la solution réalisée, assurant le fonctionnement de la station selon l'analyse fonctionnelle souhaité assurant les différentes fonctionnalités comme la permutation des pompes ou la gestion du niveau du réservoir d'aspiration.

Sur le plan personnel et professionnel, ce projet a représenté une expérience très enrichissante. Il nous a offert l'opportunité de consolider nos compétences techniques acquises durant notre cycle universitaire dans des domaines clés comme l'automatisation et l'électrotechnique. Au-delà de ces acquis, cette expérience a également mis en lumière l'importance de suivre une démarche rigoureuse pour mener à bien un projet technique d'envergure.

Quant aux perspectives d'amélioration, elles demeurent possibles et prometteuses. Tout d'abord, rendre le programme de l'automate plus complet en tenant compte de paramètres pas pris en compte dans notre cas, comme la température, la gestion du compresseur de l'anti-bélier ou même le niveau du réservoir de stockage de Ouled Fayet. Une des évolutions possibles est l'intégration d'un système automatisé pour la gestion de l'énergie. Ce système analyserait en temps réel la consommation des différents équipements présents de la station et ajusterait leur fonctionnement afin de réduire les tarifs électriques. Cela offrirait une gestion plus optimale pour la station, que ce soit en terme d'énergie ou de coût opérationnel.

Bibliographie

- [1] Wilo SE, *Fiche technique – Pompe Atmos GIGA-N 125/250.1-132/2*, document PDF, disponible en ligne : https://drive.google.com/file/d/1dZ3YzI-eVDVxQNR139IfGajmVvDFIxt3/view?usp=drive_link
- [2] Guide de l'installation Électrique 2017. Disponible sur : https://ftp.pingwho.org/pub/gentoo/ftp/documentation/Electrical/Guide_electrique_2017/Guide_de_l_installation_Electrique_2017.pdf
- [3] EMSA, « Baudouin 3 Phase 50 Hz – E-BD-EM-0825 », <https://www.emsa.gen.tr/en/ baudouin/ baudouin-3faz-50hz/ e-bd-em-0825>
- [4] APC by Schneider Electric, *Fiche technique de l'Onduleur [PDF en ligne]*, Disponible sur : https://www.prodimex.ch/apc-smart-ups-3000va-lcd-with-network-card-2u-smt3000rmi2unc-101652_fr.pdf
- [5] SA.SinPuissanceReleveFp - Wiki. Disponible sur : <http://sa.ge.sts.free.fr/Wiki/pmwiki.php?n=SA.SinPuissanceReleveFp>
- [6] Régime de neutre (SSI). Disponible sur : <https://www.securipro.eu/blog/incendie/systeme-de-securite-incendie/regime-de-neutre-ssi/>
- [7] OUZOUGH Meriem, *Dimensionnement électrique et automatisation d'une station de relevage des eaux usées*, Mémoire de fin d'études, École Nationale Polytechnique, Alger, 2020.
- [8] Coordination entre les disjoncteurs. Disponible sur : https://fr.electrical-installation.org/frwiki/Coordination_entre_les_disjoncteurs
- [9] Protection des biens personnels. Disponible sur : https://turgotlimoges.scenari-community.org/STI2D/Ressources%20STI2D/TP_WORKS%C2%A0/res/10_protec_biens_pers.eWeb/export/visu105.html?hist=1
- [10] Trace Software, « Différents types de courants de court-circuit », [en ligne]. Disponible sur : <https://www.trace-software.com/fr/differents-types-de-courants-de-court-circuit/#:~:text=Ik1%20et%20If%20%3A%20Court%2Dcircuit,sont%20effectu%C3%A9s%20de%20mani%C3%A8re%20diff%C3%A9rente>

- [11] Norme NFC 15-100 : L'essentiel de la réglementation électrique basse tension. Disponible sur : <https://www.mecaspin.fr/blog/norme-nf-c-15-100-lessentiel-de-la-reglementation-electrique-basse-tension>
- [12] Présentation du logiciel Caneco BT. Disponible sur : <https://www.yalink.fr/blog/presentation-logiciel-caneco-bt/>
- [13] Système automatisé. Disponible sur : https://www.jdotec.net/s3i/EdS/Voc/Systeme_automatise.php
- [14] Définition sur Techno-Science.net. Disponible sur : <https://www.techno-science.net/definition/6694.html>
- [15] Automates Siemens (Eurobaut). Disponible sur : <https://www.eurobaut.com/robot-automate-industriel/automates/siemens/>
- [16] CHEKEBKEB Daoud, BOURAS Kamel Eddine, *Réalisation, commande et supervision d'un prototype d'une station de pompage*, Mémoire de fin d'études, École Nationale Polytechnique, Alger, 2019.
- [17] SIMATIC S7-1200 Disponible sur : https://www.pei-france.com/uploads/tx_etim/Automate-modulaire-compact.pdf
- [18] KOUSSA Mohamed Amine, BOUZA Mohamed Ramzi, *Commande, Simulation et Supervision d'un prototype de station de pompage avec Automate Programmable Industriel SIEMENS S7-1200*, Mémoire de fin d'études, École Nationale Polytechnique, Alger, 2021.

Annexe A

La norme NFC 15-100

A.1 Présentation de la norme NFC 15-100 [11]

La norme NFC 15-100 est la norme française qui régit les installations électriques en **basse tension**. Elle définit les règles à suivre afin d'assurer le bon fonctionnement d'une installation pour protéger les personnes et les biens.

Elle définit les règles à suivre pour les professionnels du domaine électrique (électriciens, ingénieurs, concepteurs) pour les études, la réalisation et le contrôle des installations électriques.

La NF C 15-100 série est rédigée par la commission de normalisation U15 de l'AFNOR.



FIG. A.1 : Logo de la norme NF C 15-100

A.2 Objectif de la norme

La norme NFC 15-100 a pour objectif :

- Protéger les personnes contre les chocs électriques, les incendies d'origine électrique, et tout danger lié à une mauvaise conception.
- Protéger les matériels contre les surcharges, courts-circuits, surtensions, et défauts d'isolement.
- Garantir la qualité de fonctionnement des équipements (continuité d'alimentation, sélectivité des protections, etc.).
- Permettre une évolutivité des installations (prises supplémentaires, modifications futures).

A.3 Types d'installations concernées par la norme NFC 15-100

La norme NFC 15-100 s'applique dans des situation diverses et variées, voici ci-dessous les principaux cas d'application :

- Locaux d'habitation : maisons individuelles, appartements, logements collectifs.
- Bâtiments tertiaires : bureaux, écoles, hôpitaux, commerces, hôtels.
- Bâtiments industriels : ateliers, entrepôts, usines.
- Locaux agricoles : serres, exploitations, bâtiments d'élevage.
- Installations extérieures : éclairage public, bornes électriques, pompes d'arrosage

A.4 Points Clés et Exigences Fondamentales

La norme NFC 15-100 traite de nombreux points liés aux installations électriques basse tension, cependant voici un récapitulatif des points essentiels de cette norme :

1. Protection des personnes

- Mise à la terre obligatoire des masses métalliques.
- Installation de dispositifs différentiels à haute sensibilité ($\leq 30 \text{ mA}$) pour prévenir les chocs électriques.
- Réalisation de liaisons équipotentielles pour éviter les différences de potentiel dangereuses.

2. Protection des biens

- Utilisation de disjoncteurs ou fusibles adaptés pour chaque circuit.
- Protection contre les surcharges, courts-circuits et surtensions.
- Respect des calibres et du pouvoir de coupure des dispositifs de protection.

3. Dimensionnement des circuits

- Choix de la section des conducteurs en fonction du courant, de la longueur du câble, du mode de pose, etc.
- Limitation de la chute de tension (généralement $\leq 3\%$ pour l'éclairage et $\leq 5\%$ pour les autres usages).

- Prise en compte des conditions d'environnement (température, regroupement de câbles...).

4. Organisation des circuits

- Circuits séparés pour les prises, éclairages, appareils électroménagers, etc.
- Nombre minimal de circuits selon la surface (exigences pour les logements).

5. Tableaux électriques

- Présence d'un dispositif de coupure générale (disjoncteur principal).
- Organisation logique des protections et respect des règles de sélectivité.

6. Conformité et vérifications

- Respect des exigences lors de la conception, de la réalisation et du contrôle final.
- Obligation de vérification initiale (par mesure et inspection visuelle).
- Document attestant la conformité de l'installation.

Annexe B

Présentation du logiciel Caneco BT

B.1 Présentation du logiciel Caneco BT

Caneco BT est un logiciel de conception automatisée pour les installations électriques à basse tension. Le logiciel regroupe en une solution toutes les fonctionnalités et spécificités propres aux différents métiers du secteur électrique. En effet, Caneco BT permet le dimensionnement des circuits électriques, leurs calculs, la conception des armoires et nomenclatures électriques chiffrées ainsi que la création des schémas électriques de puissance.

B.2 Les fonctionnalités de Caneco BT [12]

B.2.1 Calcul et dimensionnement économique des circuits :

- Calculer les câbles et les protections en fonction de l'ensemble des grandeurs électrotechnique des installations
- Mise à disposition de fonctions d'aide à la conception comme le calcul du bilan de puissance, le diagnostic de sélectivité et l'équilibrage des phases, par exemple.
- Optimisation des installations électriques grâce à la filiation dans les choix de protection.

B.2.2 Conformité des installations électriques :

- Extension des calculs en fonction des normes de 17 pays différents.
- Calcul selon les normes NFC 15-100 et IEC 60364 DC d'une installation alimentée en courant continu.

B.2.3 Création et réalisation des schémas électriques :

- Schémas tableau et mode unifilaire tableau
- Insertion de fichiers graphiques comme DXF, WMF ou EMF
- Insertion de fichiers graphiques ayant des auxiliaires des appareils de protection
- Génération automatique des documents pour et au format AutoCAD.
- Génération automatique des bornes
- Repérage automatique des composants de l'armoire électrique

B.2.4 Conception des armoires :

- Prédétermination automatique des armoires en fonction des protections calculées
- Impression et édition des faces avant des armoires avec ou sans nomenclature.
- Configurateur “enveloppe” multi-fabricants

B.3 Les avantages de Caneco BT [12]

Le logiciel Caneco BT permet de réduire le risque d’erreur en empêchant les saisies multiples. De plus, grâce à la saisie simplifiée des données ainsi que la génération automatisée des documents, Caneco BT permet un gain de temps aux professionnels qui l’utilisent. Grâce à l’adaptation des catalogues fabricants aux normes et aux langues internationales, ce logiciel permet une ouverture aux projets internationaux. Enfin, Caneco BT est compatible avec plusieurs logiciels fabricants permettant l’export de documents et de fichiers vers ces derniers.

B.4 Création d’un projet sur CanecoBT

B.4.1 Création d’un fichier

Pour créer un projet sur Caneco BT on doit obligatoirement passer par les étapes suivantes après avoir ouvert Caneco BT 2018 sur votre ordinateur.:

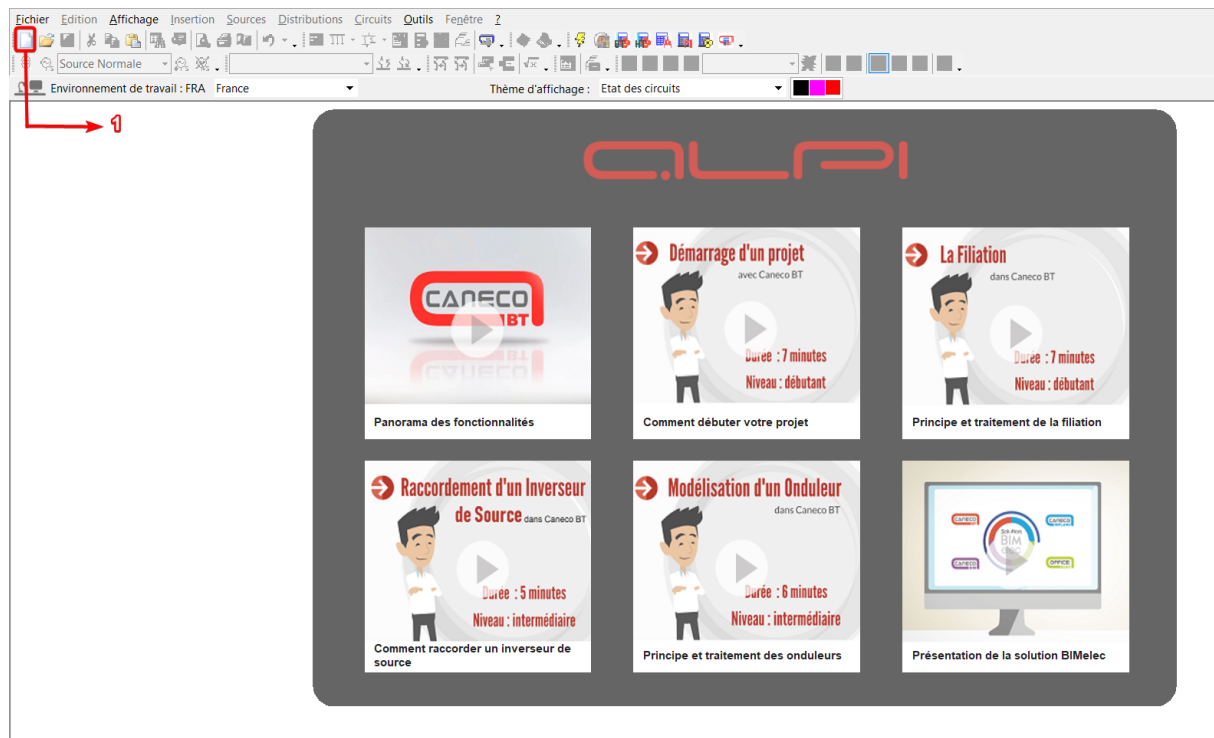


FIG. B.2 : Interface de départ de Caneco BT

- Appuyer sur le bouton créer un nouveau fichier

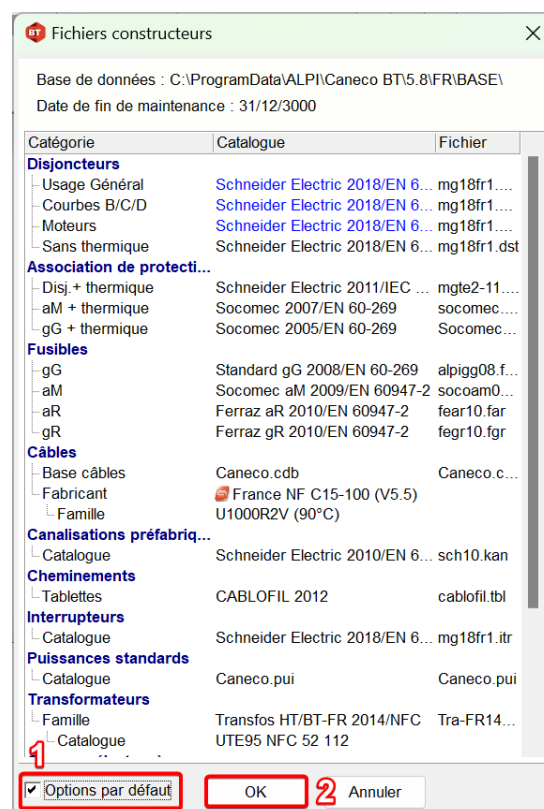


FIG. B.3 : Choix du fichier constructeur

- On choisit le fichier constructeur par défaut pour nos composants
- On appuie sur Ok pour commencer à éditer notre projet

B.4.2 Choix de la source d'énergie

Source
Tableau alimenté : TGBT

Réseau HT Source Complément Tableau aval

Source

Puissance : 160 kVA Nature : Transfo Ukr : 4,0 % Ne : 12,00

Nb sources : 1 Caract. d'après : Fichier PkrT : 0 kW Te : 0,20 s

Sources actives : 1 min 1 max Couplage : Dyn Isolant : Huile

Fichier : Transfos HT/BT-FR 2014/NFC Catalogue : UTE95 NFC 52 112

Réseau BT

Norme : C15100 2015 Fréquence : 50 Hz Harmoniques : TH <= 15%

Schéma liaison terre : TN Conducteurs : 3P+PEN

Tension BT : 400 V / 420 V Cos Phi : 0,8

Liaison

Longueur : 30 m Type : Uni Trèfle Fabricant de câbles : France NF C15-100 (V5.5)

Pose : 61 Câbles sous c Ame : Cuivre Famille de câbles : U1000R2V (90°C)

Classe : Eca

Coefficients

Température : ☒ 1,04

Proximité : ☐ 1,00

Appliquer Fs : ☐ Fs = 1,0

Complémentaire : 1,00 K Ne chargé = 1,00

Conducteurs

Phase : 1 95 mm²

PEN : 1 95 mm²

Neutre chargé : ☐

Calculer OK Annuler Aide

FIG. B.4 : Fiche de choix des paramètres du transformateur

- On choisit les caractéristiques de notre source (Transformateur dans notre cas) :
 - Puissance apparente de notre transformateur, après avoir effectué le bilan de puissance
 - Caractéristiques du réseau électrique
 - Longueur de câble
 - Mode de pose des câbles
 - Modification des coefficients correcteurs (Température, proximité ...)

Tableau

TGBT
Tableau alimenté par : SOURCE/

Tableau Protection Ik/dU Intensités Schématique Options Spécifications

Données du tableau

Repère : **TGBT** Désignation :
Coefficient de foisonnement : Lieu Géographique

Contenu :

Réseau

Schéma liaison terre : Tension :
Présence A.S.I. ☐

Alimentation amont Normal

Repère circuit amont :
Organe de coupure :
Protection contacts indirects :

OK Annuler Aide

FIG. B.5 : Fiche de choix de la protection utilisé en amont du transformateur

On ajoute une protection en aval de notre source :

- On choisit le type de régime de neutre.
- On choisit le type de protection ; cette dernière peut être un disjoncteur moteur, un disjoncteur boîtier moulé, un disjoncteur C...
- On choisit si l'on veut ajouter une protection différentielle ou non, ainsi que la valeur du courant différentiel (5 mA, 10 mA...).

B.4.3 Ajout des circuits pour les récepteurs

On commence à ajouter les circuits sous notre jeu de barre et on fait rentrer les différentes caractéristiques pour chaque charge. Dans l'exemple qu'on a effectué nos charges sont les suivantes :

- Un moteur d'une puissance de 11 kW qui se trouve à une distance de 15m posé sous le mode de pose suivant : Chemin de câbles perforée

Fiche circuit

Moteur (Standard).
MOTEUR 2 sur TGBT

Amont Circuit Données complémentaires Résultats complémentaires Conformité Textes Coordination Câble/Protection

Circuit **MOTEUR 2**

Amont : TGBT Indice : A

Alimentation : Normal

Conducteurs : 3P+PE Désignation :

Protection Commande

Type : Disjonct. Mot Contacts indirects : Prot Base

Protection NSX100F Micrologic 2.2M 25A 3P3D

Protection surcharge

Calibre : 25 A 1

Ir : 22 A

Thermique : Sur circuit

Protection court-circuit

Retardé uniquement 20 ms

Li : 425 A

Câble **MOTEUR 2**

Longueur : 15 m

Famille : U1000R2V (90°C)

Classe : Eca

CPR : Cu

Ame : Cu

Pose : 13 Sur chemin de câbles per

Pôle : Multi ☒ PE jointif

Coefficients

Température : 1,00

Proximité : 0,72

Complémentaire : 1,00

Appliquer Fs : 1,00

Correction totale : 0,72

Conducteurs : 1 6 mm²

Phase : 1 6 mm²

PE : 1 6 mm²

Récepteur **MOTEUR 2**

Conso : 1 11kW 3P

☒ Moteur asynchrone

Coefficients

Utilisation : 0,9

Permanent Démarrage

Cos. φ : 0,88 0,3

ΔU max : 8 %

Ib/In : 7,00

Rendement : 0,86

Lieu :

Calculer OK Annuler Aide

FIG. B.6 : Fiche de choix des paramètres du premier moteur

- Un 2ème moteur d'une puissance de 63 kW avec un démarreur progressif qui se trouve à une distance de 50 m et qui est posé sous le mode suivant : Chemin de câbles perforé

FIG. B.7 : Fiche de choix des paramètres du deuxième moteur

- Un chauffage d'une puissance de 2 kW qui se trouve à une distance de 20m et qui est posé sous le mode suivant : Chemin de câbles perforé.

Fiche circuit

Chauffage (Standard).
TGBTCH001 sur TGBT

Amont : TGBT Indice : A

Alimentation : Normal

Conducteurs : P+N+PE Désignation :

Protection Commande

Type : Disjonct. C AFD requis ☐ Contacts indirects : Prot Base

Protection ☐ DT40 16A 2P1D

Protection surcharge

Calibre : 16 A 1

Thermique : Sur circuit

Protection court-circuit

Isd : 160 A

Câble TGBTCH001

Longueur : 20 m

Famille : U1000R2V (90°C)

Classe : ☐ Eca

CPR : ☐ Cu

Ame : ☐ Cu

Pose : 13 Sur chemin de câbles per

Pôle : Multi/Uni ☒ PE jointif

Coefficients

Température : 1,00

Proximité : 0,72

Complémentaire : 1,00

Appliquer Fs : ☐ 1,00

Correction totale : 0,72

Conducteurs

Phase : 1 2,5 mm²

Neutre : 1 2,5 mm²

PE : 1 2,5 mm²

Récepteur TGBTCH001

Conso : 1 2kW P+N

Coefficients

Utilisation : 1 Permanent

Cos. φ : 1

ΔU max : 8 %

Lieu :

Calculer OK Annuler Aide

FIG. B.8 : Fiche de choix des paramètres du chauffage

- Un éclairage qui se compose de 5 Tube LED de 20 W (Proposé par Caneco BT) qui a une distance totale de 20m et dont le premier récepteur est à 10m de la source.

FIG. B.9 : Fiche de choix des paramètres de l'éclairage

Remarque :

Dans les captures d'écran ci-dessus :

- On a encadré en rouge les paramètres qu'on doit modifier selon la charge.
- On a encadré en vert le bouton pour afficher les courbes de sélectivité.
- On a encadré en bleu le résultat obtenu des sections de câbles après le calcul et les protections proposés.

Après l'ajout de des circuits des récepteurs, on obtiendra l'interface suivante :

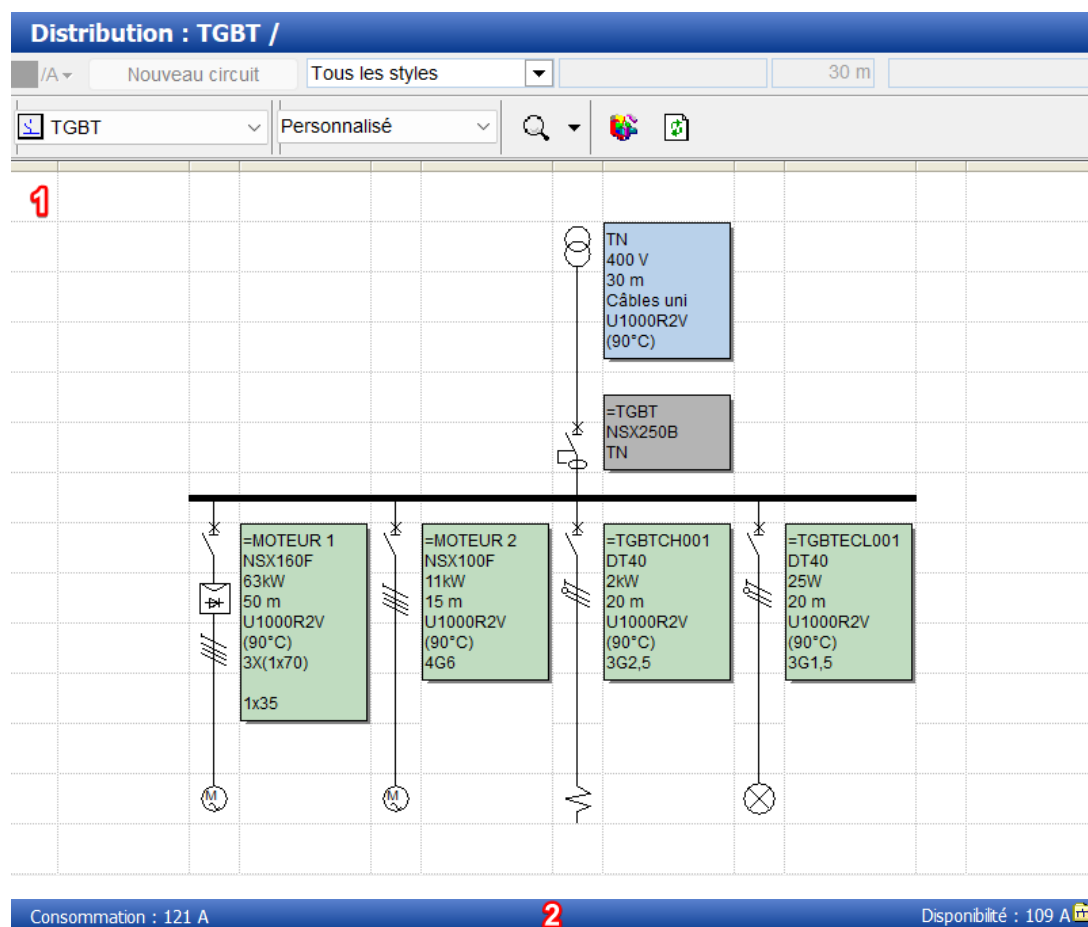


FIG. B.10 : Schéma unifilaire de l'installation

On peut noter deux points importants :

1- Le schéma unifilaire complet de l'installation depuis la source (Transformateur) avec les différents récepteurs. Les circuits ici ont été calculé et sont conforme, car ils sont affichés en noir. Si c'était le contraire ils seraient affichés en rouge.

2- Le bilan en énergie de l'installation, dans notre cas on note que l'installation consomme 121 A et il reste encore 109 A. Dans le cas où la consommation dépasse la disponibilité, alors le choix de la puissance du transformateur n'est pas la bonne et donc le bilan de puissance effectué est erroné.

B.4.4 Sélectivité

La sélectivité représente une étape clé dans le dimensionnement électrique, donc il faut aussi prendre en compte le type de protection utilisé et visualiser les courbes de sélectivité : Il faut que les courbes ne se chevauchent pas entre la source et l'équipement au-dessous pour s'assurer que c'est la protection du circuit lui-même qui va couper en premier et non pas celle du circuit supérieur.

Caneco offre cette possibilité et permet de visualiser les courbes de sélectivité de chaque

circuit pour savoir quel est la bonne protection a utiliser dans un circuit.

Ci-dessous les courbes de sélectivité entre le deuxième moteur de l'installation ainsi qu'avec la protection du TGBT principale. On remarque qu'il n'existe pas de chevauchement et donc la sélectivité dans ce cas est **totale**.

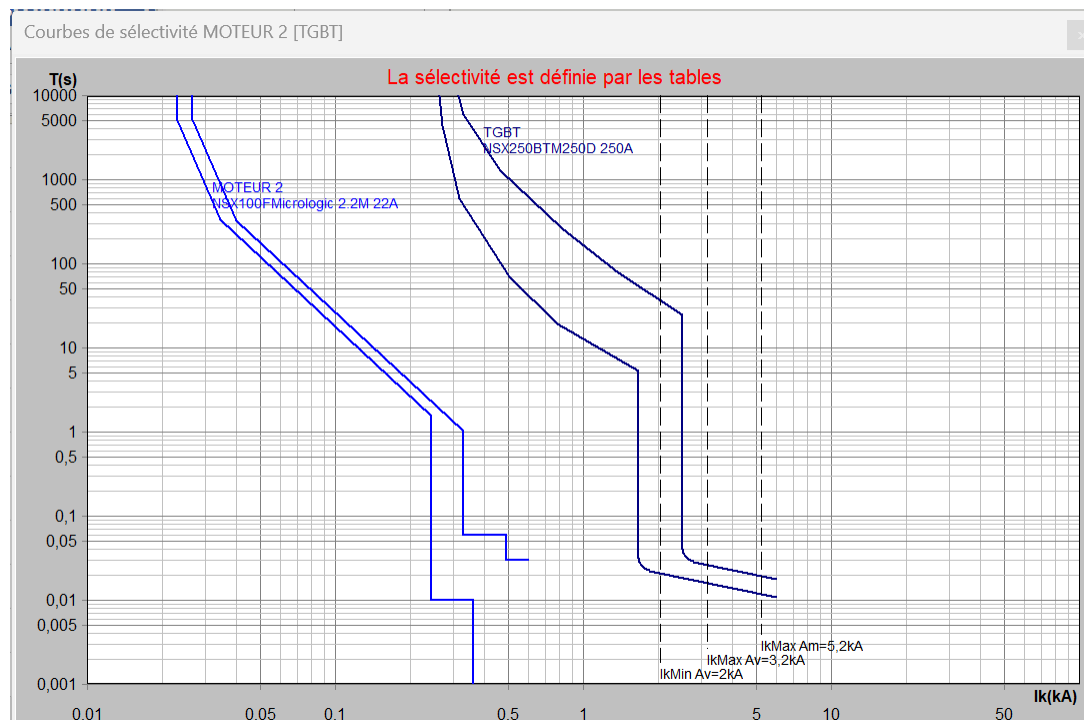
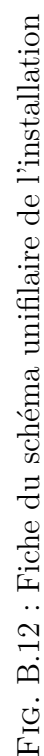


FIG. B.11 : Sélectivité entre la protection du moteur et la protection du TGBT principale

B.4.5 Fiche du projet

Après la finalisation d'un projet sur Caneco, et après s'être assuré que les circuits soient bien dimensionnés et qu'ils soient conformes, on peut maintenant exporter le projet et imprimer les fiches constructeur, qui représentent des fiches de synthèse du projet.

Dans ces fiches, on trouve le cartouche du projet avec les coordonnées du bureau d'études ou de l'entreprise qui a réalisé le projet. Dans ces fiches, on va trouver le schéma unifilaire de l'installation, ainsi que les sous-circuits en cas de présence, les courbes de sélectivité, les longueurs de câbles nécessaires, les types de protection qui seront utilisés, les fiches de conformité pour chaque circuit...



LOGO
Entreprise

Document1
Bilan de puissance

ELI BT

Avis Technique 15L-601

9/20

A

MODIFICATIONS

07/04/2025

C1510015

AFFAIRE:

PLAN:

Fichier : Document1.afr

©ALPI Caneco BT 5.80 Cracked by gta126

Repère	Désignation	Somme IB	Coef. Foison.	Cos.Phil.	KxS. IB	I Autorise	IDisponible	Disponible
SOURCE								
TGBT		121,5 A	1,00	0,89	121,5 A	231 A	109 A	47,39 %

FIG. B.13 : Fiche du bilan énergétique

Type câble	Câble	Ame	Qté
U1000R2V (90°C)	1*35 mm²	Cuivre	50 m
U1000R2V (90°C)	1*70 mm²	Cuivre	150 m
U1000R2V (90°C)	3G1.5	Cuivre	20 m
U1000R2V (90°C)	3G2.5	Cuivre	20 m
U1000R2V (90°C)	4G6	Cuivre	15 m

LOGO Entreprise	Document Nom/nature des câbles			Avis Technique 15L-601	
				AFRE:	Folio
				PLAN:	10 / 20
		Date : 07/04/2025	Nom : C1510015		

Fichier : Document1.afr

©ALPI Caneco BT 5.80 Cracked by gta126

FIG. B.14 : Fiche des sections de câbles utilisés

Appareil	Fichier	Désignation	Calibre	Poles Déclencheur	Courbe	Differential	Qte
Disjoncteur	mg18fr1.dmi	DT40	10.0 A	2P1D	Disjonct. C		1
Disjoncteur	mg18fr1.dmi	DT40	16.0 A	2P1D	Disjonct. C		1
Disjoncteur	mg18fr1.dmt	NSX100F Micrologis 2.2M	25.0 A	3P3D	Disjonct. Mot		1
Disjoncteur	mg18fr1.dmt	NSX160F Micrologis 2.2M	150.0 A	3P3D	Disjonct. Mot		1
Disjoncteur	mg18fr1.dug	NSX250B TM250D (org. de tête)	250.0 A	4P3D	Disj. Boîtier moulé	Dif. 10mA	1

LOGO

Entreprise

Document1

Nomenclature des protections

ELI BT

Avis Technique 15L-601

11/20

FAIRE: PLAN:

07/04/2025

C1510015

©ALPI Caneco BT 5.80 Cracked by gta126

Fichier : Document1.afr

FIG. B.15 : Fiche des protections utilisés pour les circuits

Fichier : Document1.aif

©ALPI Caneco BT 5.80 Cracked by qta126

DESCRIPTION		INFOS CIRCUIT
RESEAU AMONT		TN 400 V TGBT
Régime de neutre		
Tension		
Distribution amont		
CIRCUIT	MOTEUR 1	MOT+ DEMARREUR
Désignation		
Contenu 3P+PE / 111,15 A 63kW / 0,88		
Cos φ		
DONNEES CABLE		
Type	U1000R2V (90°C)	
Ame	Cu	
Pôle	Uni Tréfilé	
Longueur	50 m	
ΔU max i	8 %	
Section Phase	1 x 70 mm²	
Section Neutre	x	
Section PE(N)	1 x 35 mm²	
DISPOSITIF DE PROTECTION		
Constructeur	Disjonct. Mot ☒ ou Disjoncteur Verrière	
Protection	mg18fr1.dmt NSX180F	
Calibre	Micrologie 2.2M 3P3D	
Prot. CI	150 A	
At	Prot Base	
Ir	120 A	
Im / Isd ou calibre fus.	1440 A	
Tsd	20 ms	
SURCHARGES CABLES		
Mode de pose	13	
Tolérance calculs surcharge	5 %	
Coefficient groupement	0,72	
Coefficient température	1,00	
Coef. compl. / Coef. symétrie fs	1,00 / ☐ 1,00	
ETAT CIRCUIT		
Condition dimensionnement	Circuit conforme	
Longueur max protégée	IN ☐ DU ☐ CI ☐ CC ☐	
FORC 220 m (CC)		

DONNEES CIRCUIT

RESULTATS CIRCUIT

**Non Conforme

NC*	CONDITIONS	RESULTATS
	DISPOSITIF DE PROTECTION	
	IN/Ir ou k3*IN >= IB Icu/PdF >= Ik/lp Max. Icu/PdF >= Ik/lp Max. Icu Unipolaire >= Ik en IT Sélectivité thermique Sélectivité magnétique Sélectivité différentielle	120,0 A 36 kA /kA 36 kA /kA >= 11,15 A >= 5,2 kA / 5,8 kA >= 0 kA / 5,8 kA >= 0,0 kA Avec Ik<2,50kA Sans objet
	SURCHARGES CABLES	
	Iz >= IN/Ir ou k3*IN 1.45 Iz >= I2 nxSph >= nxSph calculée	>= 203,4 A >= 294,9 A >= 174 A >= 31,09 mm²
	CHUTE DE TENSION CABLE	
	ΔU maxi ΔU admis. dém.>= ΔU totale ΔU démarrage	8 % 15 % >= 1,55 % >= 3,88 %
	CONTACTS INDIRECTS	
	T admis. >= Δt If >= I fonct. Max.Tempo Magn. ou Tsd T admis. >= T fonct Prot.	400 ms >= 400 ms >= 1659 A >= 0 ms
	T Max. Coupure Ph	1029 ms PE N
	Ik PHASES CABLE	
	Ik min >= I fonct. Max. K'S' >= Ik' min x tf fusible K'S' >= Ik' max x tempo K'S' >= It limité	3037 A >= 93,316e6 A's >= 93,316e6 A's >= 203,913e3 A's
	Ik NEUTRE CABLE	
	Ik min >= I fonct. Max. K'S' >= Ik' min x tf fusible K'S' >= Ik' max x tempo K'S' >= It limité	1659 A >= 1659 A >= 1659 A >= 1659 A
	IK PE(N) CABLE	
	Ik min >= I fonct. Max. K'S' >= Ik' min x tf fusible K'S' >= Ik' max x tempo K'S' >= It limité	1659 A >= 1659 A >= 1659 A >= 1659 A

FICHE DE CONFORMITE

Document1

LOGO
Entreprise

Fiche de conformité TGBT/MOTEUR 1

Avis Technique 15L-601

AFFAIRE:

PLAN:

MODIFICATIONS

Date : 07/04/2025

N° interne :

C1510015

Folio

13

20

FIG. B.16 : Fiche de conformité d'un circuit

Annexe C

Les automates programmables et HMI

C.1 Structure d'un système automatisé :

C.1.1 Description des différentes parties :

Les systèmes automatisés, utilisés dans le secteur industriel, possèdent une structure de base identique. Ils sont constitués de plusieurs parties plus ou moins complexes reliées entre elles :

- la **partie opérative (PO)**
- la **partie commande (PC)** ou système de contrôle/commande (SCC)
- la **partie relation (PR)** de plus en plus intégrée dans la partie commande

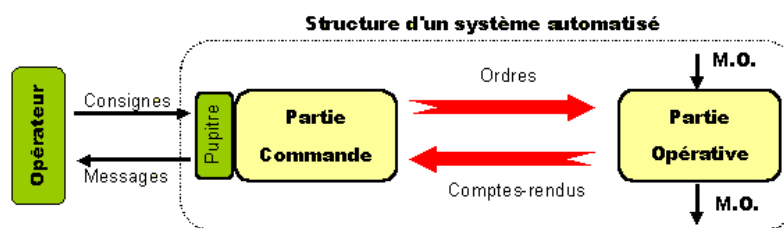


FIG. C.1 : Structure d'un système automatisé [13]

C.1.1.1 La partie opérative

La partie opérative d'un système automatisé correspond à sa dimension tangible, celle que l'on peut voir et toucher. Elle regroupe tous les éléments qui interagissent directement avec le procédé et permettent son bon fonctionnement.

On y trouve :

- **Les pré-actionneurs** (comme les distributeurs, contacteurs et relais) qui servent d'intermédiaires entre la commande et les actionneurs. Leur rôle est de recevoir les instructions et de les transmettre en adaptant le signal si nécessaire.
- **Les actionneurs** (tels que les moteurs, vannes motorisées, électrovannes, démarreurs progressifs et variateurs de vitesse) qui réalisent concrètement l'action demandée en fonction des ordres reçus.
- **Les capteurs** (détecteurs de niveau, capteurs de pression, débitmètres, sondes de température, etc.) qui surveillent l'évolution du système. Ils mesurent et transmettent des informations essentielles à la partie commande afin d'assurer un fonctionnement efficace et sécurisé.

C.1.1.2 La partie commande

La partie de commande a pour tâche de donner les ordres de fonctionnement à la partie opérative. Elle reçoit les consignes de l'opérateur et les informations de la partie opérative transmises par les capteurs. En fonction de ces consignes et de son programme de gestion des tâches implanté dans l'automate programmable (logique programmée). Elle va commander les préactionneurs et renvoyer des informations aux systèmes de supervision.

C.2 Définition et principe de fonctionnement d'un API :

Un automate programmable Industriel (API) est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les préactionneurs (Partie Opérative ou PO côté actionneur) à partir de données d'entrées reçues par les capteurs (Partie Commande ou PC côté capteur), de consignes et d'un programme informatique. Contrairement aux systèmes à relais électromécaniques utilisés autrefois, les API offrent une solution plus flexible, plus fiable et plus rapide pour l'automatisation industrielle. [14]

Le fonctionnement d'un API repose sur un cycle répétitif appelé "cycle d'exécution". Ce cycle peut être divisé en quatre étapes principales :

- **Lecture des entrées :** Le PLC lit l'état de tous ses signaux d'entrée à partir de capteurs et d'autres dispositifs
- **Exécution du programme :** Basé sur les informations reçues, le PLC exécute le programme logique qui contient toutes les instructions de commande.
- **Mise à jour des sorties :** Une fois le programme exécuté, le PLC envoie des signaux de commande aux actionneurs et autres dispositifs pour réaliser les actions nécessaires.
- **Diagnostic et communication :** Pendant cette étape, le PLC effectue des vérifications internes et communique avec d'autres systèmes industriels pour assurer une coordination optimale.

C.3 Présentation des différentes gammes d'automates de SIEMENS (Simatic S7) :

Siemens se positionne parmi les leaders dans le domaine de l'automatisation, que ce soit pour les petites industries ou pour les systèmes les plus complexes, Les solutions quelle

offrent à travers ces automates répondent à des besoins variés selon le type d'automate utilisé. [17]

Voici un aperçu général des différents types d'automates proposés par Siemens :

- **S7-300** : cet automate est utilisé pour des applications variées, il se caractérise par son volume qui est très compact donc il économise de l'espace lors de l'installation, et des modules auxiliaires peuvent y être intégrés. (Remplace par le S7-1500)
- **S7-400** : il est conçu pour l'automatisation des processus des systèmes industriels, grâce à sa capacité de gestion de grandes quantités de données.
- **S7-1200** : Considéré comme le successeur de la gamme S7-200 devenu obsolète, programmable sous TIA Portal, il intègre une interface de communication élargie donc il permet de communiquer avec les systèmes.
- **S7-1500** : Dernière génération d'automates conçue par Siemens, il a comme application les systèmes industriels de grandes et très grandes échelles, il offre des performances accrues avec un temps de réponse réduit, programmables sous TIA Portal.



FIG. C.2 : Gamme simatic-S7 [14]

C.4 Les langages de programmation pour automates programmables :

Pour programmer un automate Siemens il existe plusieurs langages qu'on peut utiliser qui varient les uns des autres, certains d'entre eux sont graphiques et les autres sont textuels. [15]

- **Langage Ladder LAD** est un langage graphique qui se base et s'inspire des schémas électriques à relais, il est très facile à comprendre et implémenter.

- **Langage FBD** est un langage graphique qui se base sur l'assemblage de blocs interconnectés, il s'inspire des circuits électroniques.
- **Langage Grafcet ou SFC** est un langage graphique qui se base sur le séquençement des étapes et des transitions, on l'utilise pour la programmation des séquences comme pour les chaînes de production.
- **Langage Liste d'instruction IL** est un langage textuel qui est proche du langage assembleur, il se base sur une séquence d'instructions, il est compact et rapide mais difficile à comprendre pour des débutants. Il était utilisé pour les anciennes générations d'automates, il a été remplacé par le SCL
- **Langage de programmation structurée (Structured control language) SCL** est un langage textuel qui se rapproche du Pascal ou du C, il offre la possibilité d'écrire des codes structure il est idéal pour établir des algorithmes complexes, on l'utilise pour de l'automatisation avancée et le traitement de données.
 - Les langages textuels sont disponibles uniquement pour les gammes S7-300, S7-400 et S7-1500

C.5 Critères de choix d'un automate

Le choix d'un automate programmable est basé sur les besoins technologique du processus à concevoir comme suit :

- **Nombre d'entrées / sorties** : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- **Type de processeur** : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- **Fonctions ou modules spéciaux** : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de "soulager" le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).
- **Fonctions de communication** : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...).
- **Disponibilité sur le marché et son coût.**

C.6 Description de l'automate utilisé Simatic S7-1200

[17]

L'automate SIMATIC S7-1200 est un micro-contrôleur modulaire utilisé pour la plage de performance inférieur. Il existe une gamme complète de modules pour une adaptation optimale aux tâches d'automatisation.

L'automate présente jusqu'à 50 Ko de RAM – avec une part ajustable entre le programme utilisateur et les données utilisateur – et jusqu'à 2 Mo de mémoire de chargement intégrée et 2 Ko de mémoire de données rémanente.

Avec une alimentation intégrée de 24V et des entrées et sorties TOR intégrées. Pour communiquer avec une console de programmation, la CPU est équipée d'un port TCP/IP intégré.

Au travers d'un réseau ETHERNET, la CPU est capable de communiquer avec des pupitres opérateurs IHM ou avec d'autres CPU.

Les CPU les plus performantes permettent de raccorder jusqu'à huit modules d'entrées/sorties et de disposer ainsi d'E/S TOR et analogiques supplémentaires.

L'automate SIMATIC S7-1200 supporte des boucles de régulation PID pour des applications simples de conduite des processus. Ces boucles de régulation peuvent être aisément configurées grâce à un objet technologique de type régulateur PID dans le système d'ingénierie SIMATIC STEP 7 Basic.

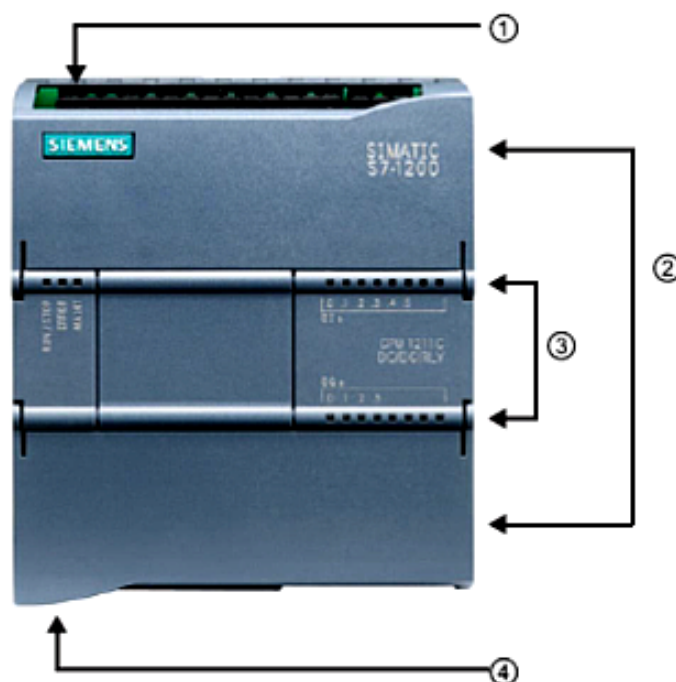


FIG. C.3 : Présentation et caractéristiques du Siemens Simatic S7 1200

1. Alimentation 24V

2. Borniers enfichables pour un câblage utilisateur (derrière les caches plastiques)

3. **LED d'état** des E/S intégrées et pour les modes de fonctionnement de la CPU
4. **Port TCP/IP** (sous la CPU)

C.7 L'interface homme-machine IHM

C.7.1 Définition :

L'interface homme-machine est un dispositif qui sert de moyen d'interaction entre l'humain avec une machine ou tout autre système automatisé ou processus industriel. Elle permet de visualiser, contrôler et superviser des équipements comme des API ou des systèmes de production. Les IHM peuvent prendre des formes différentes dans une industrie, il peut être sous la forme d'écran qui est intégré à la machine ou une tablette tactile.

C.7.2 Avantages des IHM :

L'intégration d'IHM dans des systèmes automatisés présente plusieurs avantages que ce soit en productivité, en sécurité et en optimisation :

- **Amélioration de l'ergonomie :**
L'interface est intuitive et facile à prendre en main, même pour des personnes non-initiés, l'utilisation d'écran tactile et de graphiques facilite la compréhension.
- **Augmentation de la sécurité :**
En intégrant des systèmes d'identification et de mot de passe, on évite l'intervention de personnes non-autorisées et on prévient les risques d'accidents.
- **Visualisation en temps réel des données :**
Avec l'écran, on a un suivi en continu des différents paramètres du système et des performances ce qui implique une détection rapide en cas de problèmes.
- **Productivité et efficacité accrues :**
La visualisation constante du système ainsi que la présence d'alarme permettent un contrôle rapide des machines sans intervention physique, juste en effectuant des réglages et ajustements.
- **Flexibilité et adaptabilité :**
Les IHM jouissent d'une flexibilité d'utilisation qui permet une adaptation d'utilisation selon les besoins des entreprises.

C.7.3 SIMATIC HMI :

Siemens propose leurs gammes d'IHM nommé SIMATIC HMI, qui propose des designs innovants et des performances accrues et qui sont configurables sous WinCC dans TIA Portal. Il existe plusieurs familles d'écrans pour SIMATIC HMI qu'on peut classer comme suit :

- **SIMATIC Basic Panel (Panneaux de base)** : représentent l'entrée de gamme des HMI Siemens, ils sont idéals pour des applications basiques et simples, disponibles en différentes tailles allant du 4" au 12" pouces, il une interface tactile. Pour la connectivité, ils prennent en charge des protocoles Ethernet et Profinet.
- **SIMATIC Confort Panel (Panneaux confort)** : sont utilisés pour des applications plus avancées, sa taille d'écran varie du 4" au 22" pouces, ils offrent des fonctionnalités avancées comme le Scripting et l'accès distant. Pour les connectivites il dispose de ports Ethernet, Profinet et Profibus, ce qui rend leur intégration plus facile dans des systèmes automatisés.
- **SIMATIC Mobile Panels (Panneaux mobiles)** : sont utilisés pour des environnements ou une mobilité accrue est nécessaire, ce sont des IHM portables avec un format qui varie de 7" à 10" pouces qui utilisent une connectivité Profinet et qui disposent de dispositifs de sécurité intégrés pour garantir une sûreté pendant les interventions sur site.

Annexe D

TIA Portal

D.1 Présentation de TIA Portal

Le **TIA Portal** (Totally Integrated Automation Portal) est un environnement de développement intégré conçu par Siemens pour faciliter la programmation, la configuration et la gestion des systèmes d'automatisation industriels. Il permet de travailler sur les automates programmables (PLC), les interfaces homme-machine (HMI) et les systèmes d'entraînement (*drives*) dans une seule et même plateforme intuitive.

Grâce à ses nombreuses fonctionnalités, le TIA Portal offre la possibilité de programmer et configurer les PLC Siemens (S7-1200, S7-1500, etc.), d'intégrer et personnaliser des interfaces HMI, ainsi que de gérer la communication entre les équipements via des réseaux industriels tels que **Profinet** et **Profibus**. Il permet également de réaliser des diagnostics avancés, d'assurer la protection des données et d'optimiser le déploiement des systèmes automatisés.

L'un des principaux avantages du TIA Portal réside dans son interface intuitive et ergonomique, qui facilite la programmation et réduit le temps de développement. Son approche centralisée permet aux ingénieurs d'accéder à tous les paramètres des équipements depuis un seul environnement, améliorant ainsi la cohérence et la productivité. De plus, il intègre des outils de simulation et de diagnostic qui permettent de tester et d'optimiser les programmes avant leur déploiement, minimisant ainsi les erreurs et les temps d'arrêt.

D.2 Création d'un projet sur TIA Portal V16

Après avoir installé le TIA Portal, on l'exécute en double-cliquant sur l'icône disponible sur le bureau. À l'ouverture, la fenêtre suivante s'affiche :

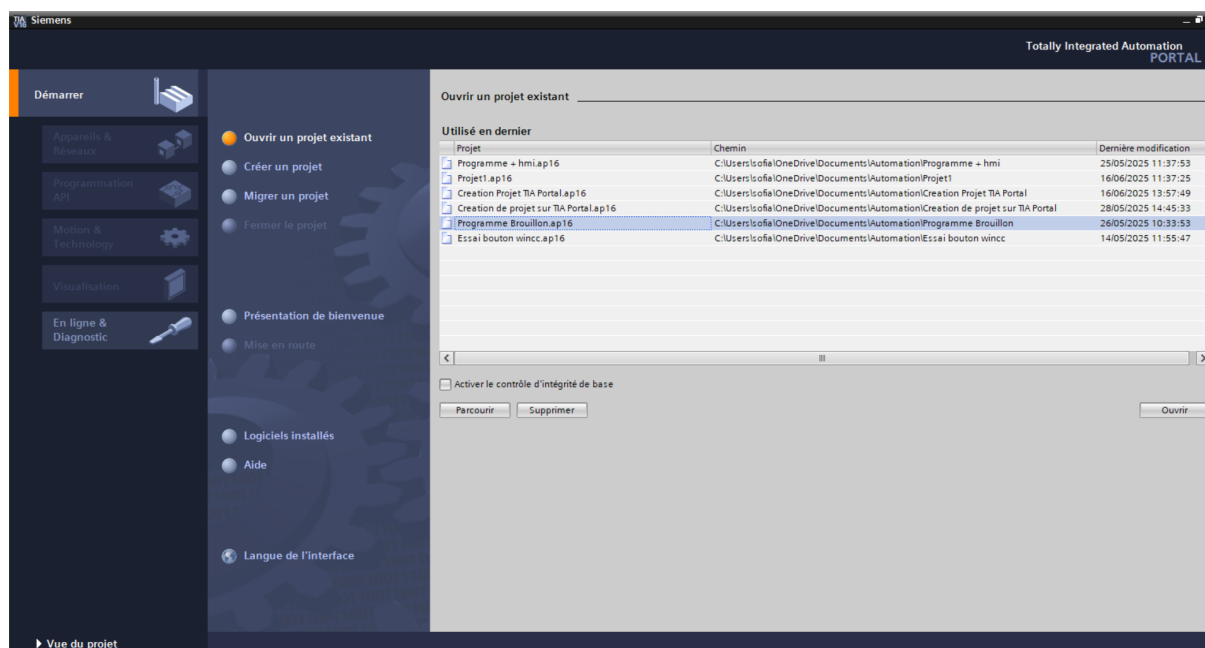


FIG. D.1 : Interface d'accueil de TIA Portal

D.2.1 Création d'un projet

Pour créer un projet :

- Cliquer sur *Créer un projet*.
- Saisir un nom de projet cohérent et significatif.
- Définir le chemin de destination (dossier de sauvegarde).
- Renseigner le nom de l'auteur.
- Cliquer sur *Créer*.

D.2.2 Configuration du matériel

Pour configurer notre matériel (API et IHM), suivre les étapes suivantes :

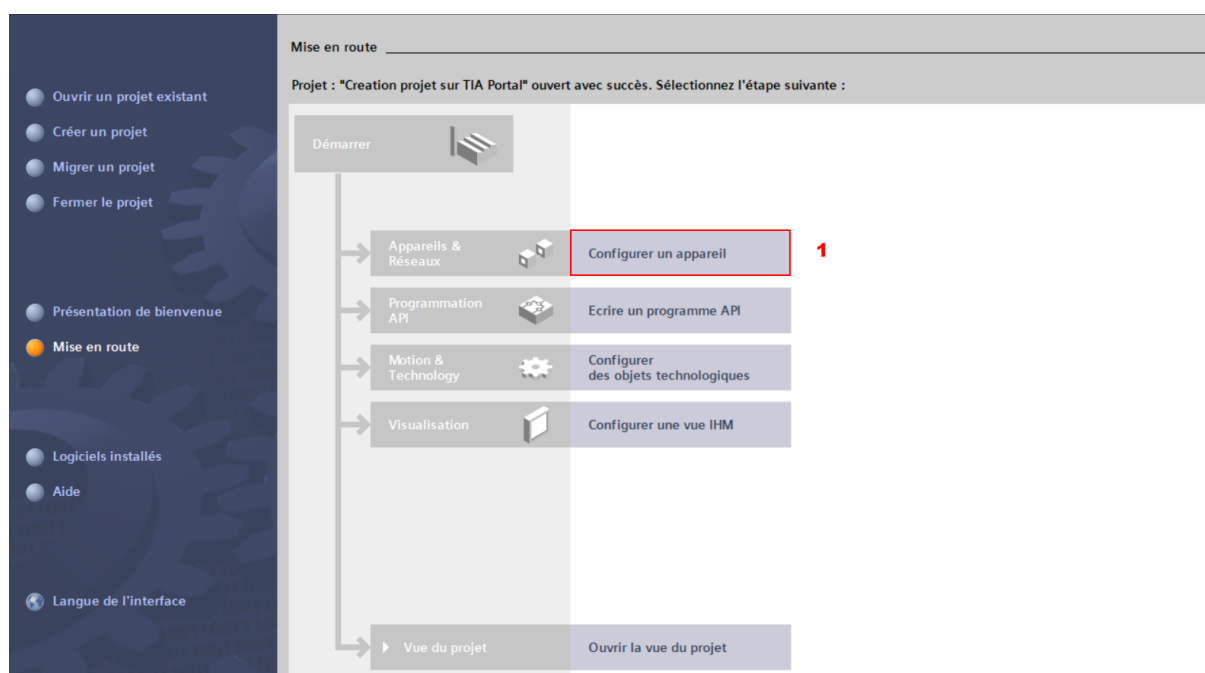


FIG. D.2 : Menu de configuration du matériel

- Cliquer sur *Configurer un appareil*.

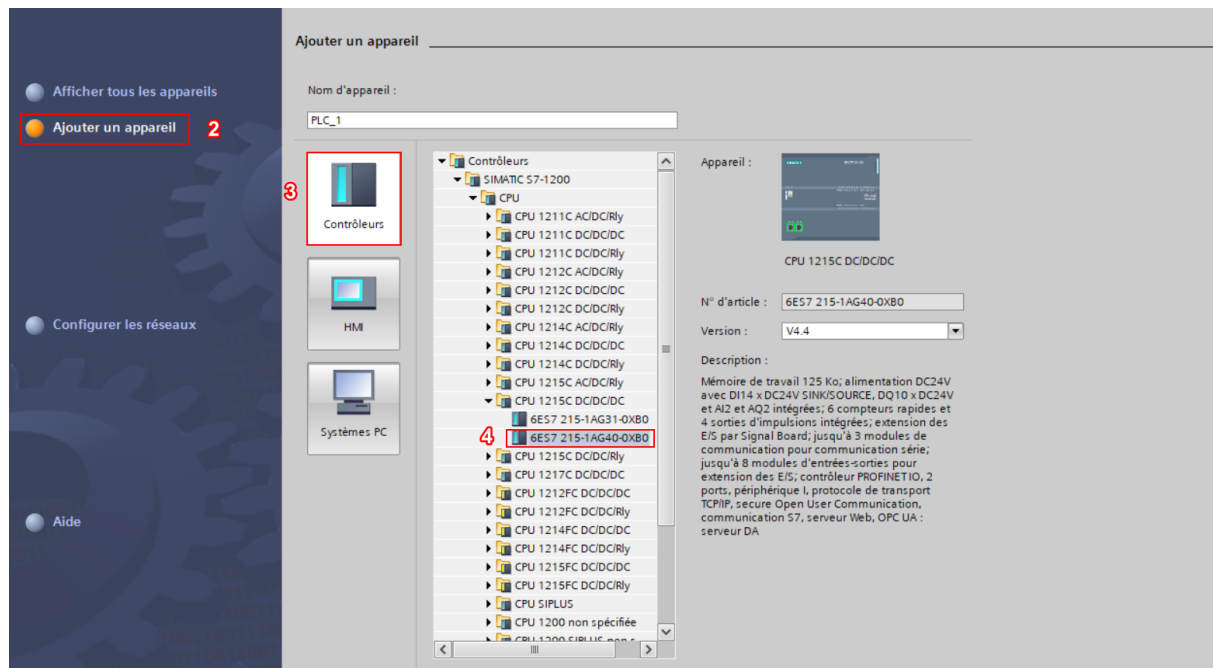


FIG. D.3 : Sélection du contrôleur

- Aller dans la catégorie *Contrôleurs*.
- Choisir l'automate requis (dans notre cas : CPU 1215 DC/DC/DC).

D.2.3 Vue de l'environnement de travail

Après la configuration des appareils et la création du projet, on obtient la vue principale de l'environnement de travail de TIA Portal.

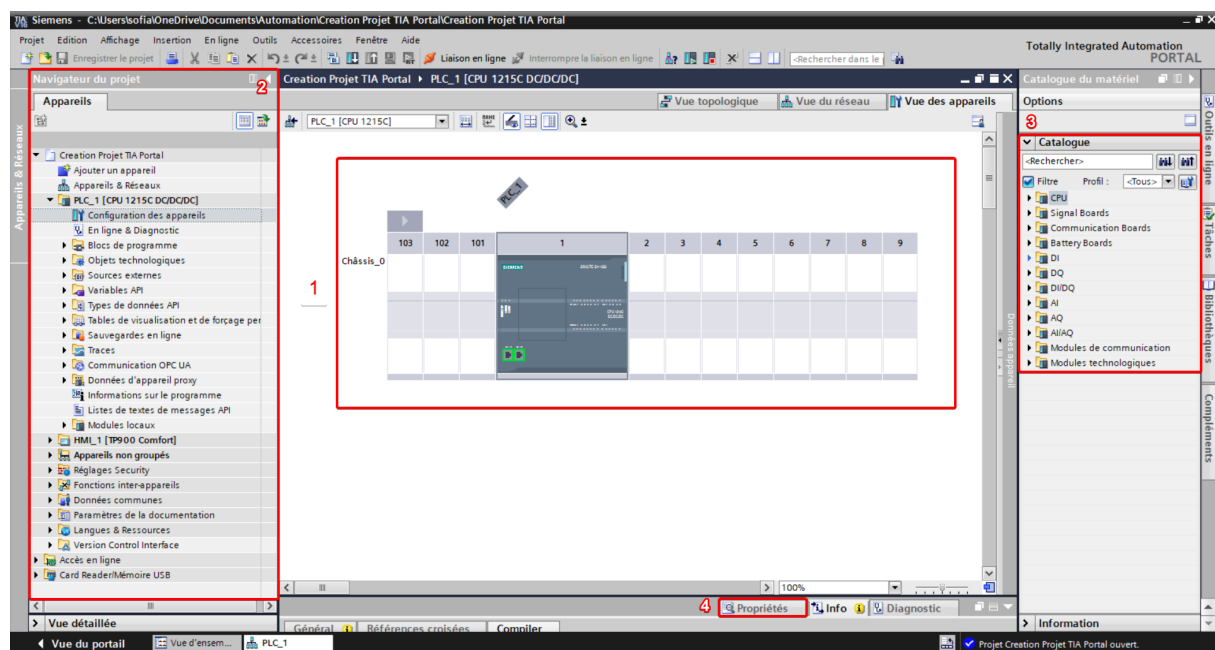


FIG. D.4 : Environnement de travail de TIA Portal

Numéro	Signification
1	L'automate choisi avec les emplacements possibles pour ajouter des racks supplémentaires comme des entrées ou sorties analogiques
2	Menu de sélection de notre projet
3	Les éléments à ajouter dans les racks (entrée/sortie analogique ou digitale)
4	Les propriétés de l'élément sélectionné, dans notre cas l'automate

TAB. D.1 : Description des zones de l'environnement TIA Portal

D.2.4 Configuration des modules Entrées/Sorties

Une fois les modules choisis, il faut configurer les entrées et les sorties. On sélectionne le module, puis dans le menu *Propriétés*, on clique sur *Variable IO*.

D.2.5 Configuration des mnémoniques

Pour configurer la mémoire interne de l'automate :

- Accéder à l'onglet affichant toutes les variables de l'API.
- Pour les mnémoniques, la lettre d'adressage est M.

Par exemple : pour l'état X1, son adresse sera %M0.1.

D.3 Programmation d'un exemple

On choisit un exemple simple basé sur un Grafcet que l'on programme ensuite.

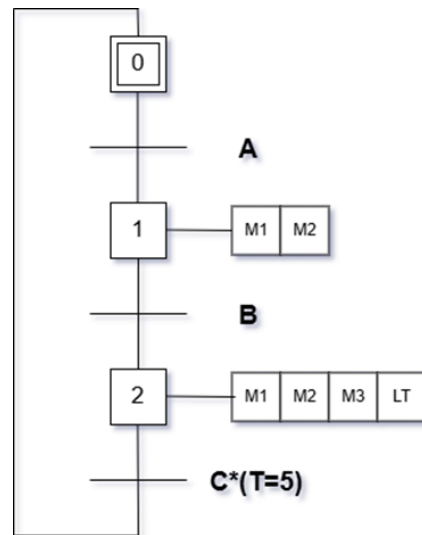


FIG. D.5 : Grafcet de l'exemple à programmer

Pour programmer un automate en utilisant le GRAFCET on passe par les étapes suivantes :

- Programmer les équations d'activation des états (S).

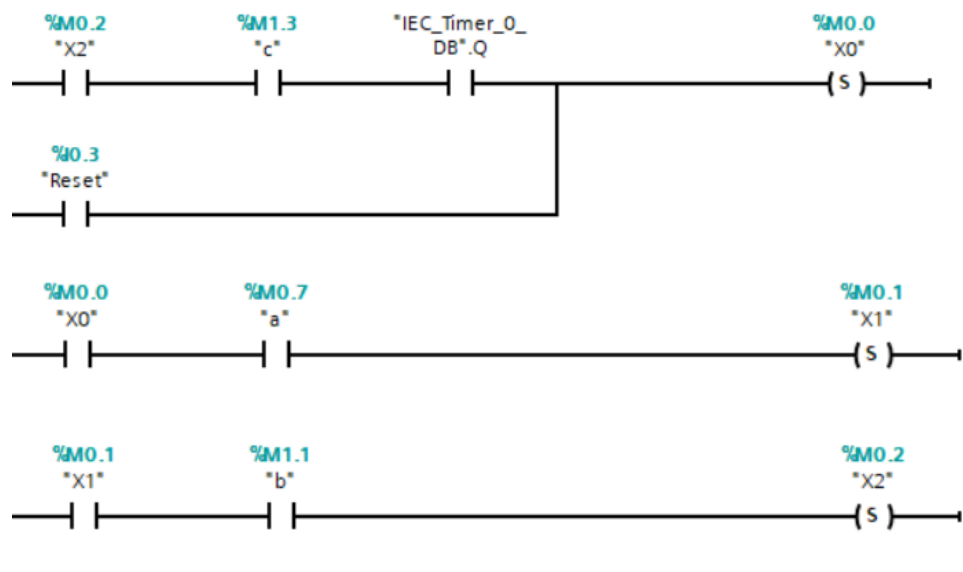


FIG. D.6 : Programmation des équations d'activation des états

- Programmer les équations de désactivation des états (R).

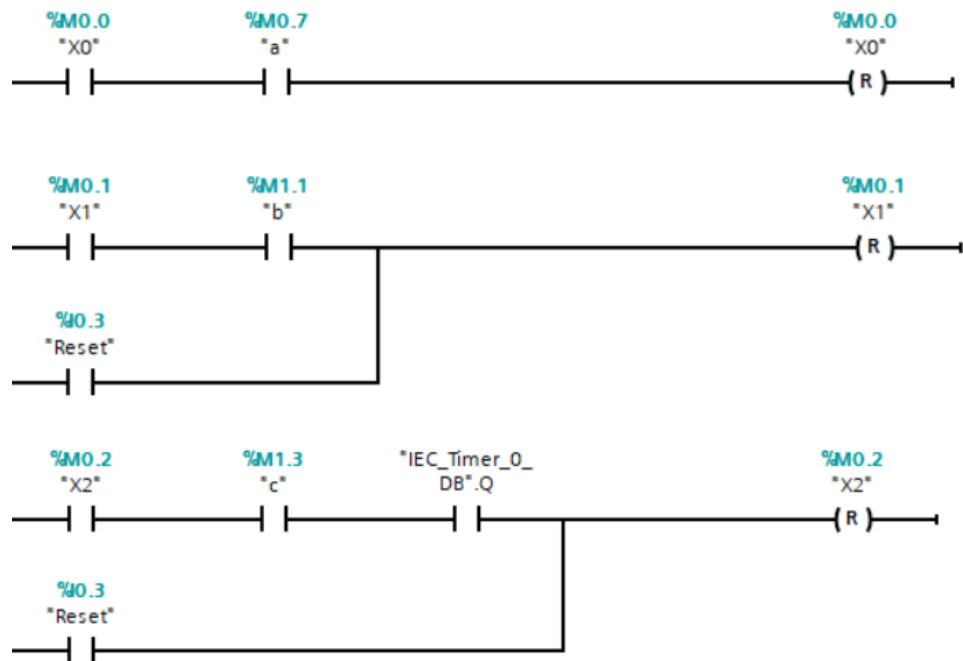


FIG. D.7 : Programmation des équations de désactivation des états

- Programmer les Timers



FIG. D.8 : Programmation du Timer

- Programmer les sorties

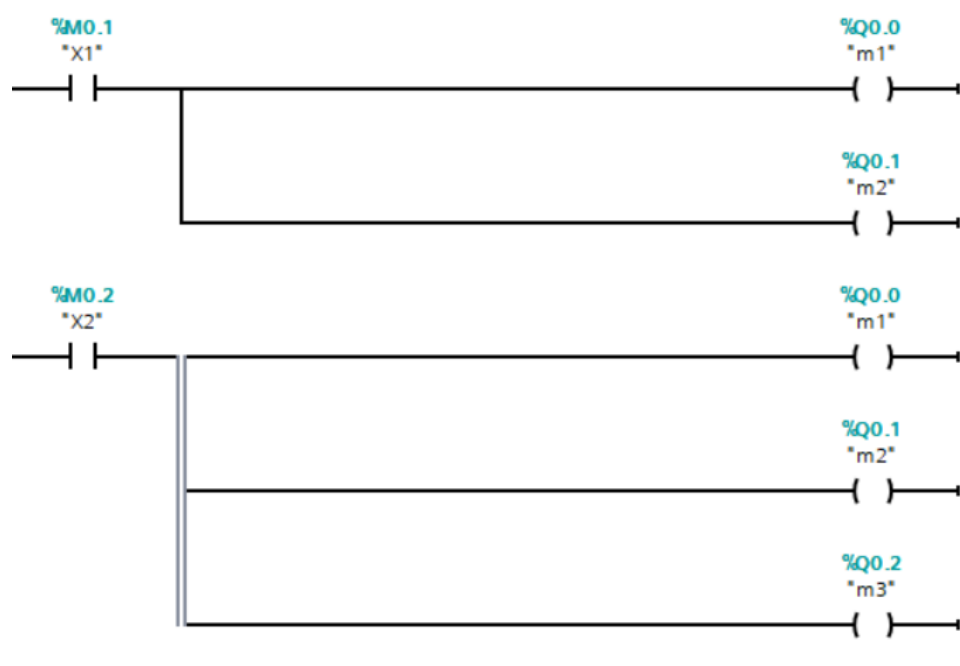


FIG. D.9 : Programmation des sorties de l'API

D.3.1 Simulation en utilisant PLCSIM

Une fois notre programme terminé, nous devons simuler notre travail pour vérifier s'il n'y a pas d'erreurs. Pour effectuer la simulation sur TIA Portal V16 on devra utiliser le logiciel **PLCSIM** qui doit être téléchargé indépendamment de TIA Portal, il faut s'assurer que la version du logiciel et du simulateur soient identiques.

Pour simuler on doit suivre la procédure suivante :

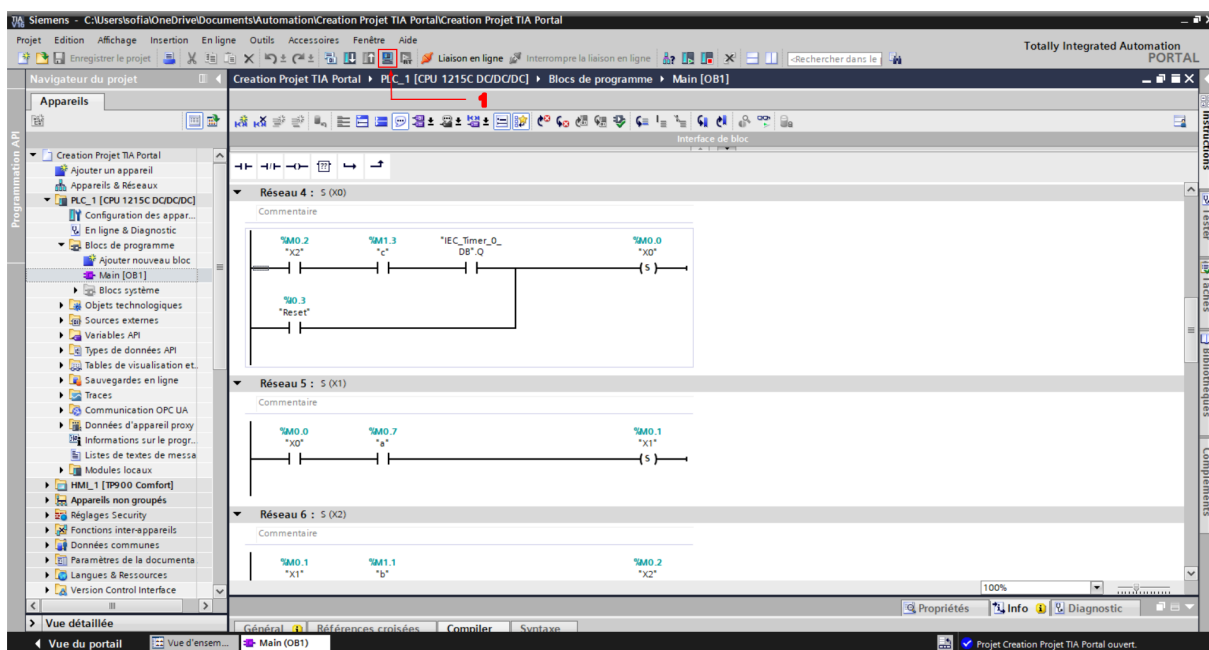


FIG. D.10 : Lancement de la simulation sur TIA Portal

1. On doit lancer la simulation de notre programma a partir de TIA Portal

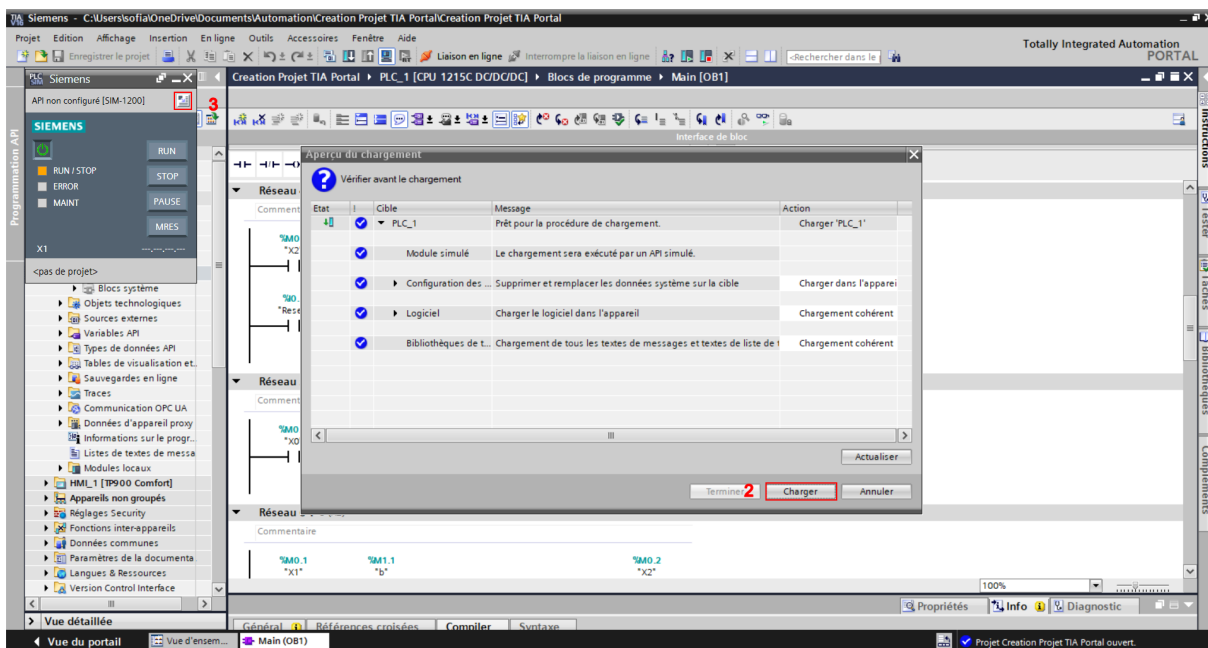


FIG. D.11 : Chargement du programme dans le PLC via TIA Portal

2. On charge notre programme dans notre automate.
3. On ouvre la vue projet dans PLCSim.

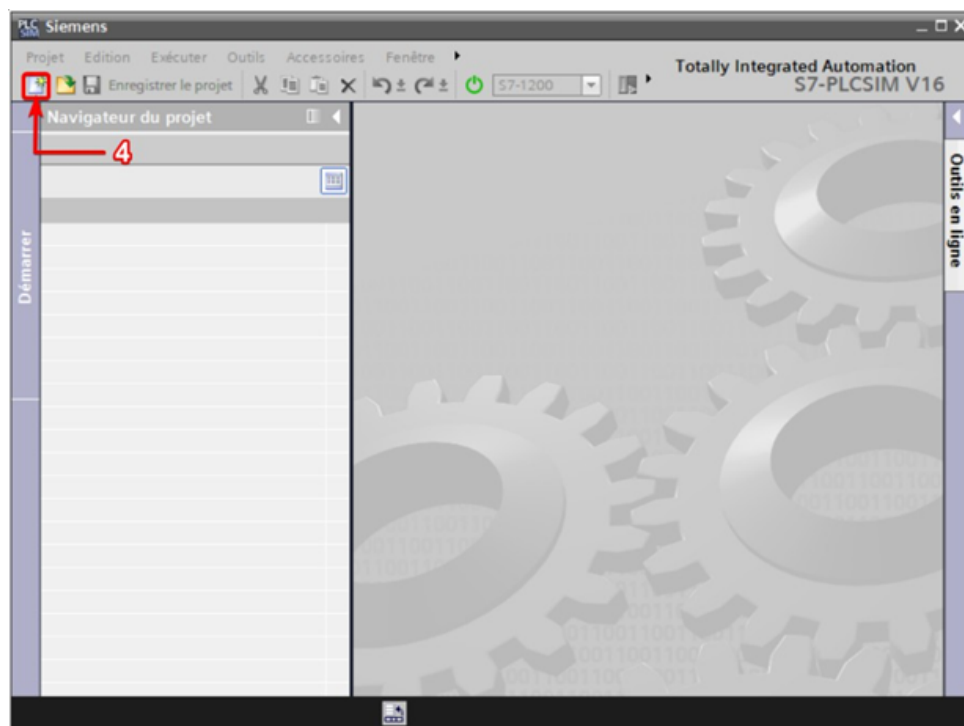


FIG. D.12 : Interface de S7-PLCSIM V16 (Création d'un nouveau projet)

4. On crée un projet sur PLCSim en spécifiant le nom du projet, sa destination...

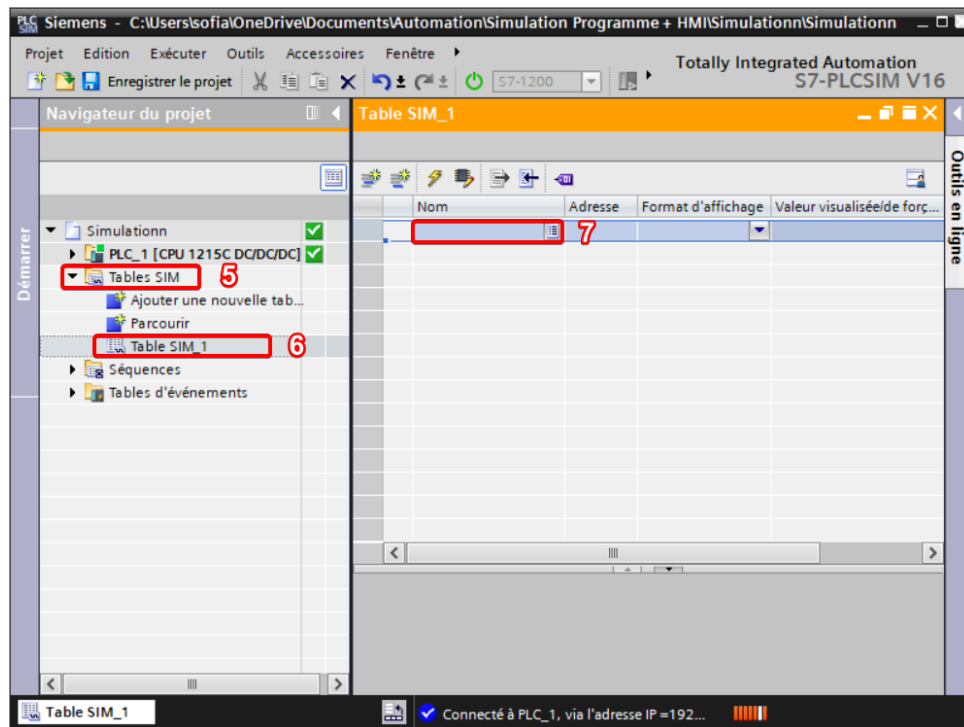


FIG. D.13 : Configuration de la Table SIM dans TIA Portal pour la simulation

5. Pour importer nos variables, nous devons appuyer sur le bouton *Tables Sim*, puis sur le bouton *Table_Sim_1* (La table de variable par default dans PLCSim).
6. Puis on remplit le tableau des variables avec les entrées qu'on veut modifier pour voir la justesse de notre programme.
7. Sur Tia Portal, on active la visualisation du programme pour vérifier notre programme.

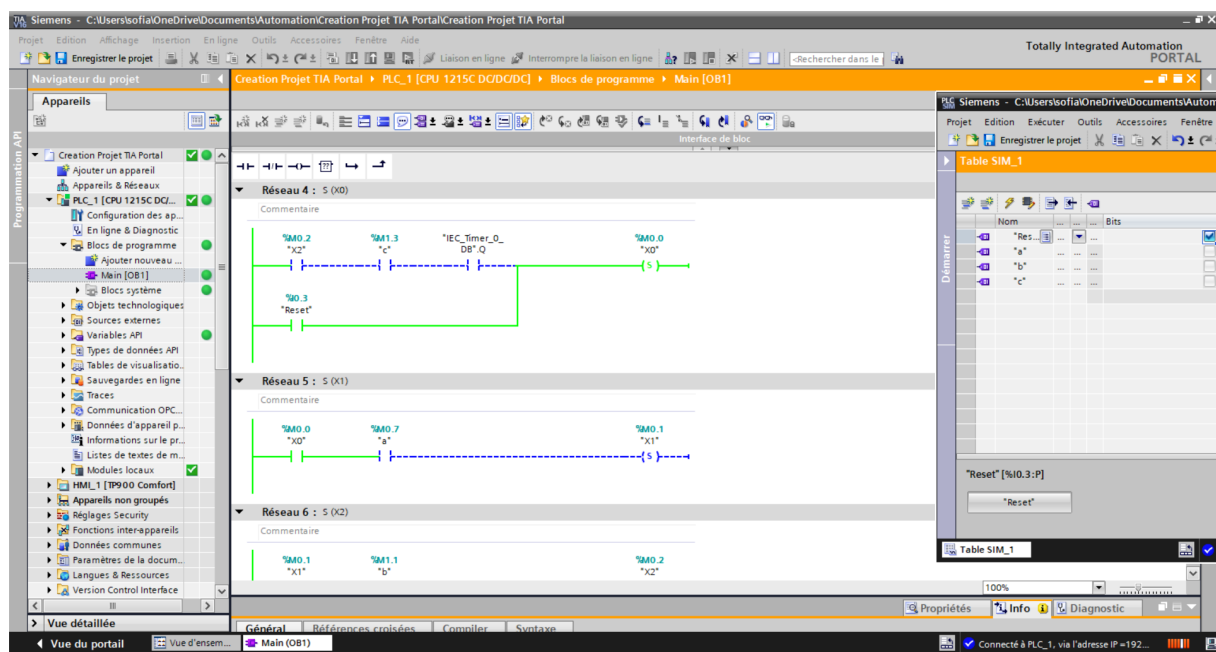


FIG. D.14 : Vue d'ensemble d'un programme Ladder et de la Table SIM dans TIA Portal

D.3.2 Programmation de l'IHM

Pour cet exemple nous allons faire la supervision du programme qu'on a cree précédemment nous allons établir 3 vues différentes :

- Vue d'accueil.
- Vue Grafcet.
- Vue système.

Choix de notre matériel :

Pour créer notre écran de supervision nous devons suivre la procédure suivante :

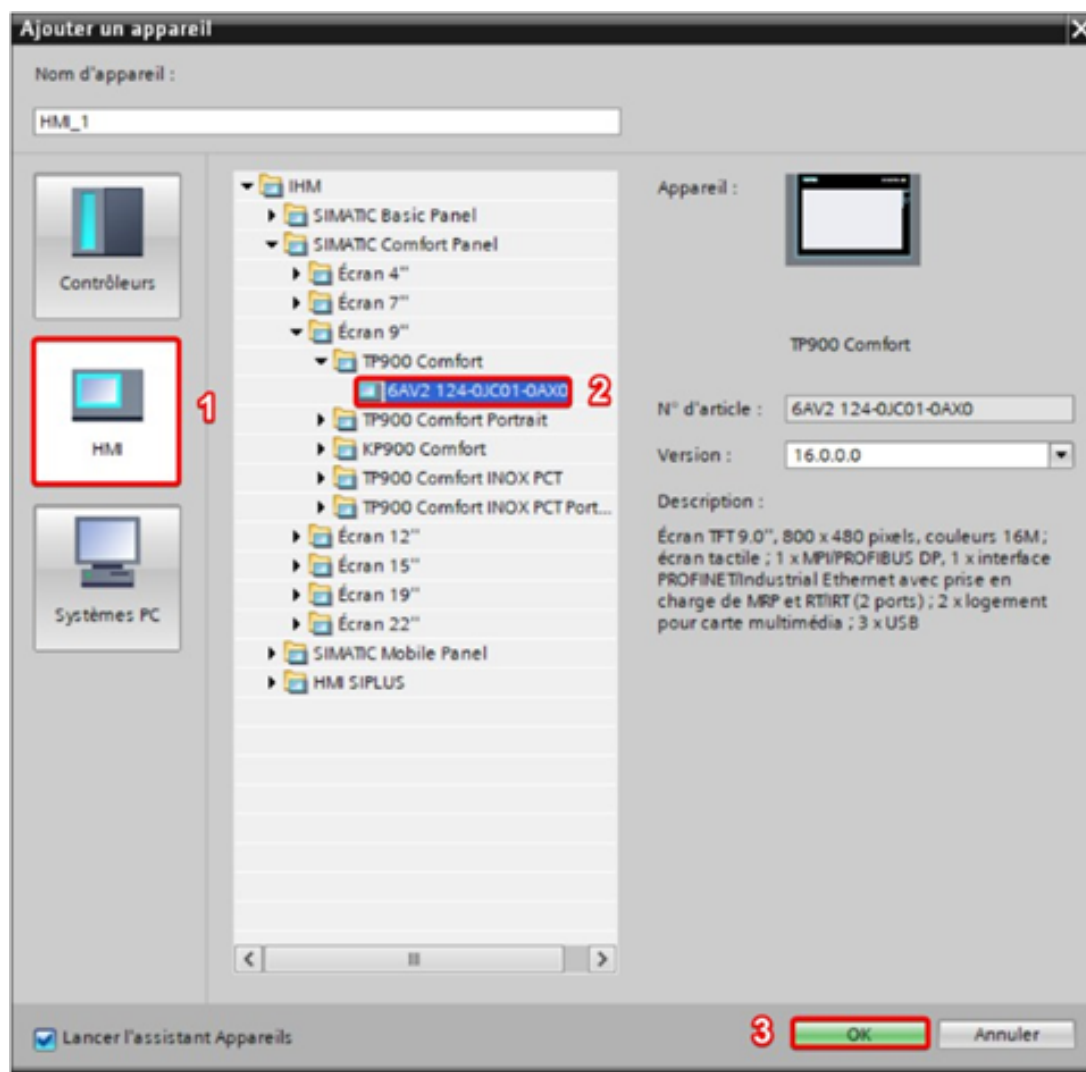


FIG. D.15 : Sélection et ajout d'un HMI dans TIA Portal

1. On choisit l'écran qu'on souhaite utiliser dans notre installation, pour notre part un écran TP9000 de la gamme Confort SIMATIC Panel.

2. On connecte notre IHM avec notre Automate Programmable.

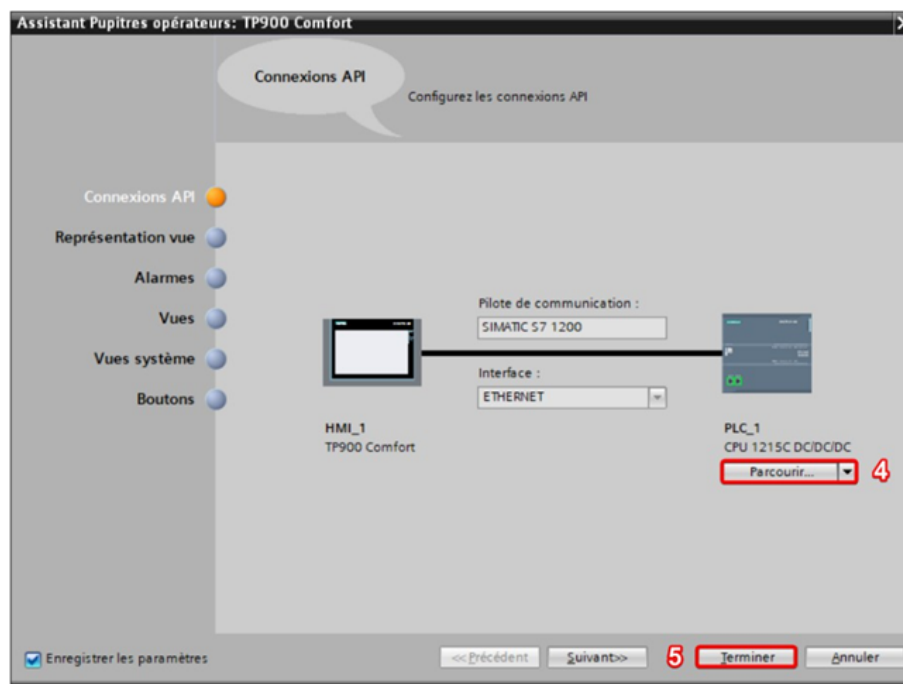


FIG. D.16 : Configuration de la connexions HMI-PLC

Gestion des vues :

1. A partir de notre vue racine de notre IHM, nous allons ajouter deux vues, une qui va afficher notre Grafcet et une autre qui va Afficher notre système. Pour ajouter une vue :

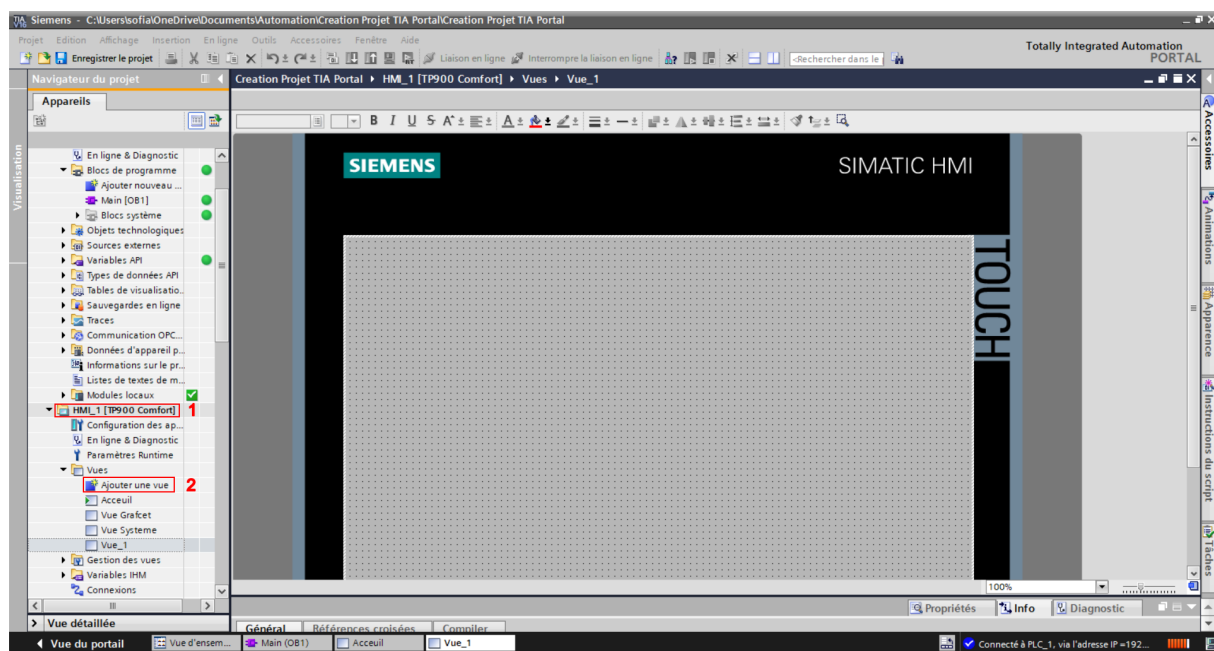


FIG. D.17 : Création de vues pour un pupitre opérateur (HMI) dans TIA Portal

2. Pour accéder à ces différentes vues à partir de notre vue d'accueil, nous devons ajouter des boutons et les configurer.

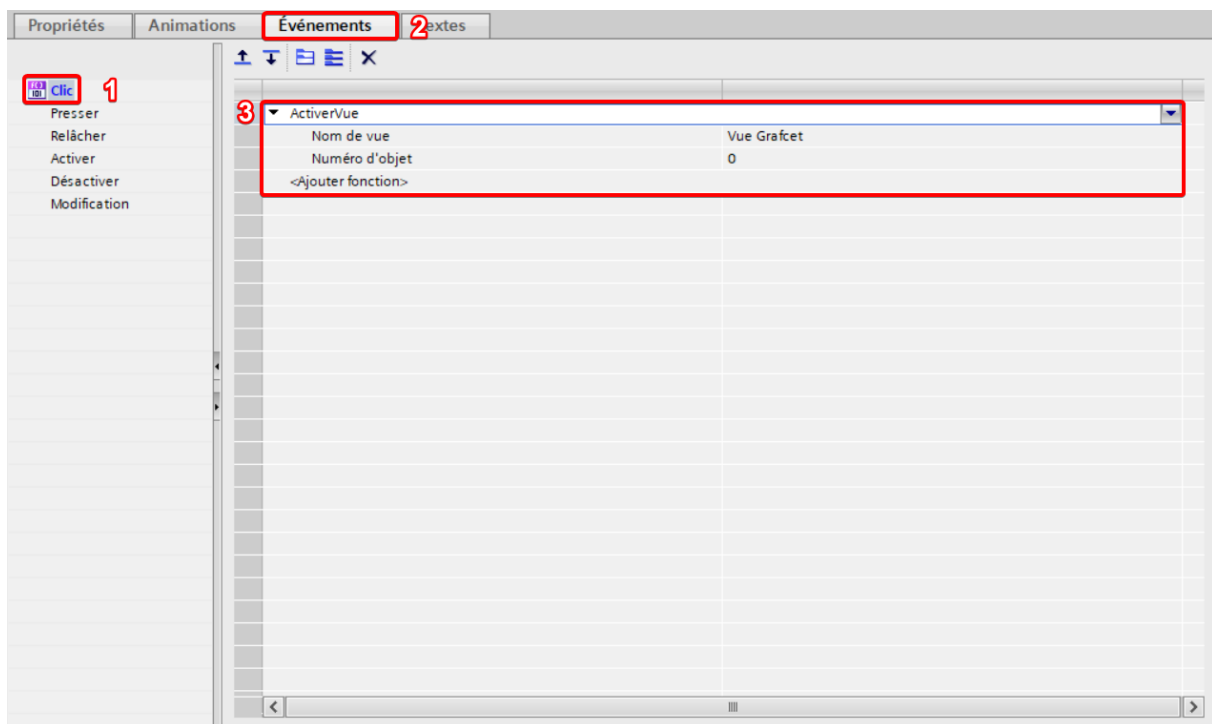
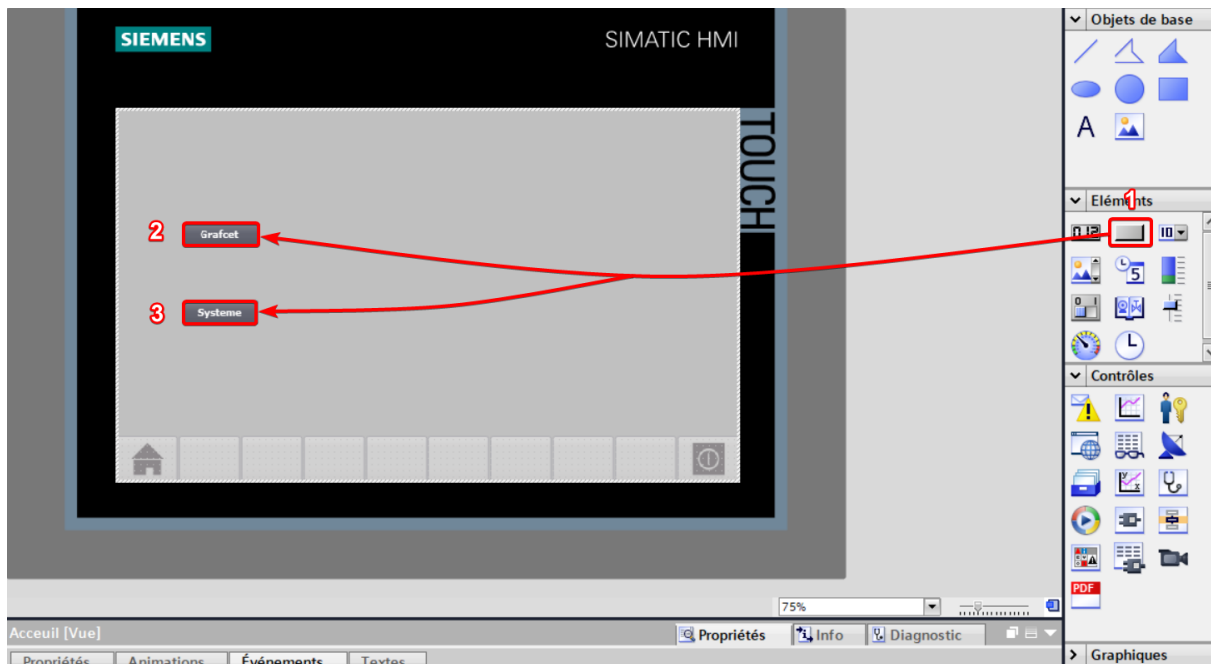


FIG. D.18 : Création et configuration des boutons pour activer les vues dans l'HMI

Configuration des Vues

Avec l'utilisation de éléments disponibles dans le logiciel ainsi que la bibliothèque des graphiques on peut créer des écrans selon l'application de notre écran (Station de pompage, Ligne de production...).

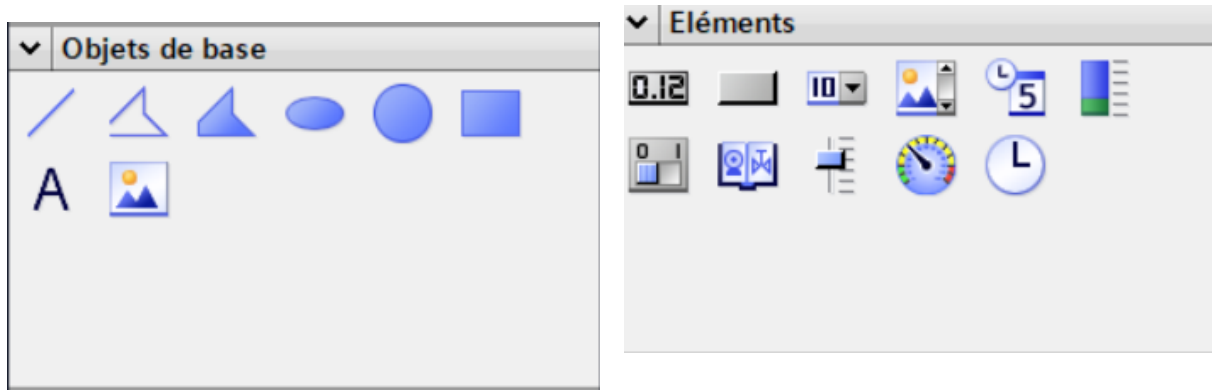


FIG. D.19 : Éléments et graphiques de TIA Portal

Voici les vues qui ont été créées pour cet exemple

1. Vue accueil

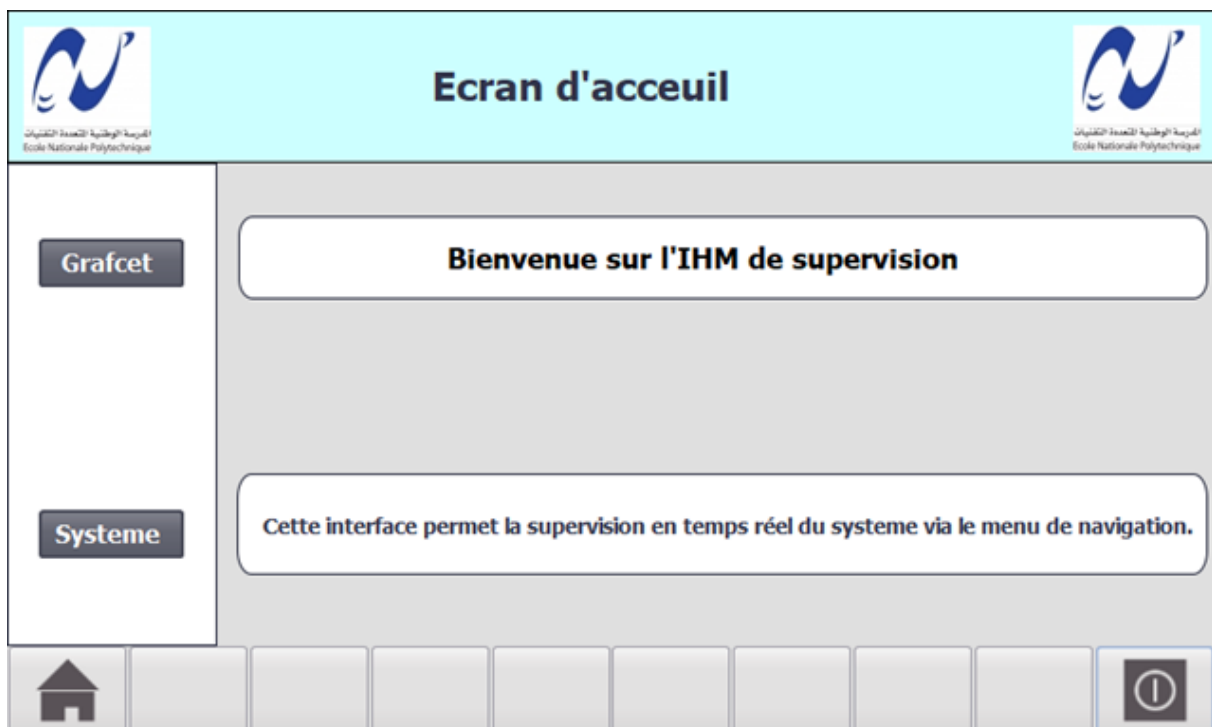


FIG. D.20 : Interface d'accueil

2. Vue Grafcet

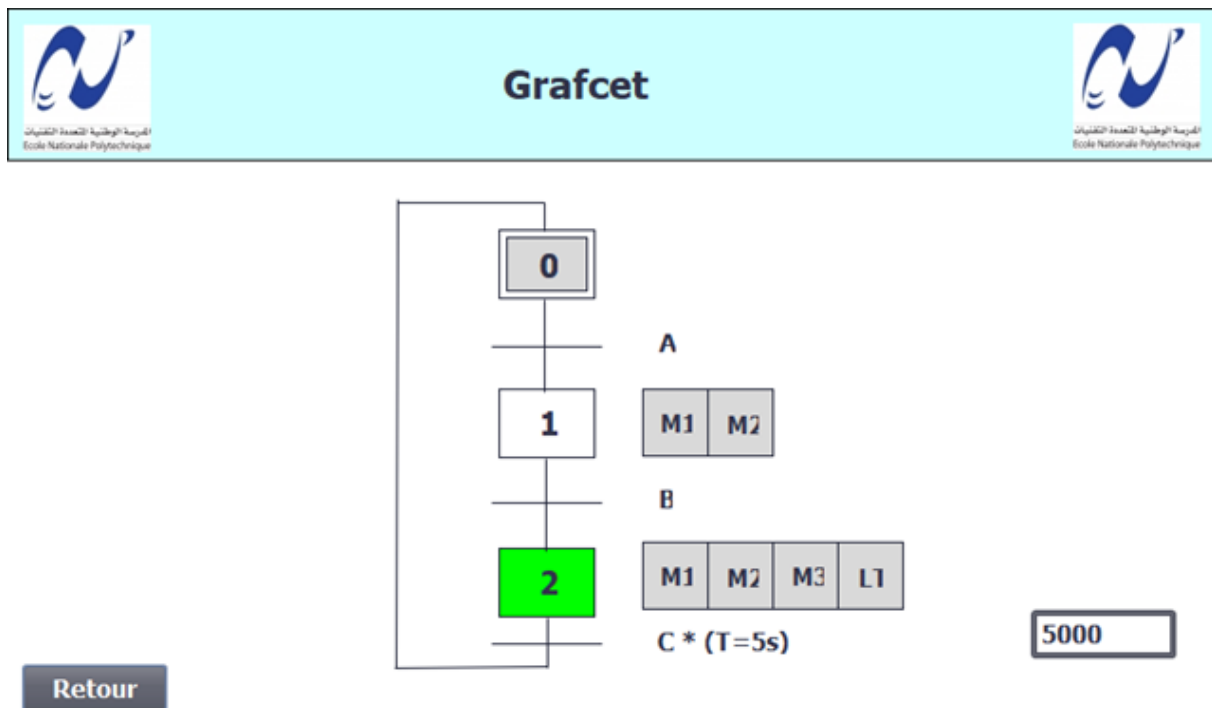


FIG. D.21 : Visualisation des états

3. Vue Système

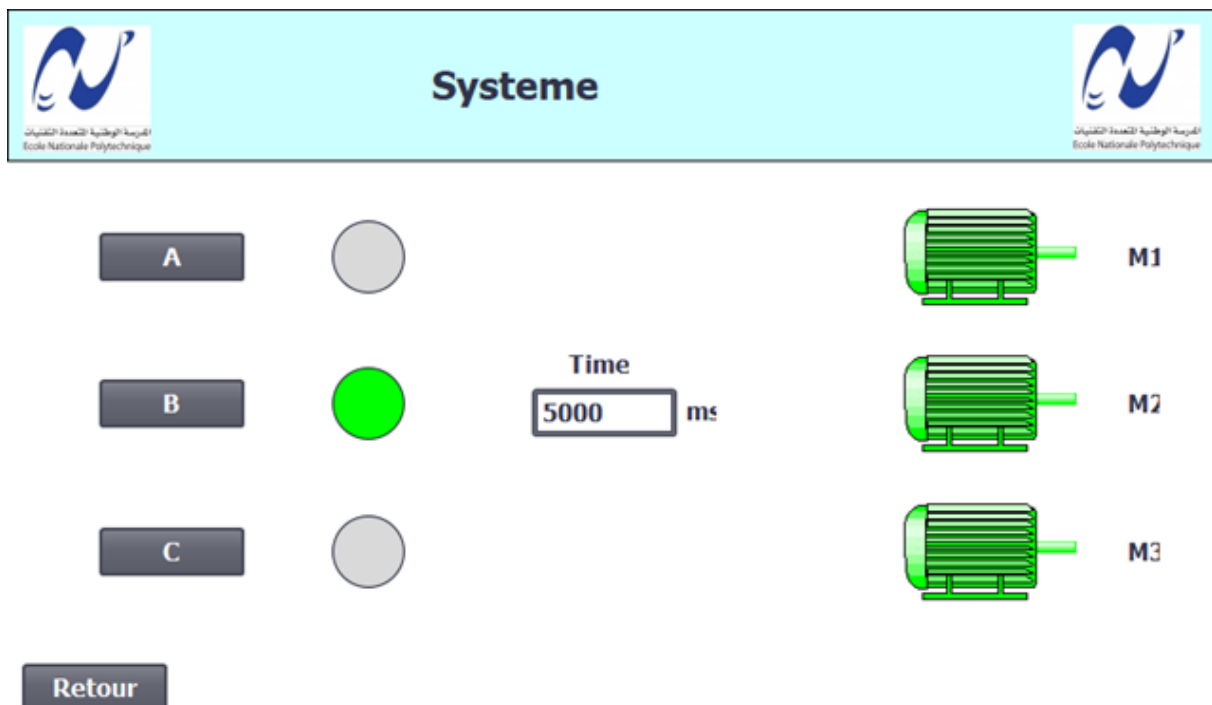


FIG. D.22 : Supervision du système