

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou



Faculté Du Génie Electrique et d'Informatique

Département d'Electronique

Mémoire de Fin d'Études De MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologies Filière : Génie électrique
Spécialité : **AUTOMATIQUE INDUSTRIELLE**

Présenté par
BOUNAR Nada
KICHOU Sarah

Thème

**Amélioration d'une conduite programmable supervisée de
l'unité de charbon actif en poudre à base d'API S7-300 à
SEAAL Taksebt**

Mémoire soutenu publiquement le 19/06/2025

M	ALLAD Mourad	MCB	UMMTO	Président
M	CHARIF Moussa	MAA	UMMTO	Encadrant
Mme	HAMRI Hakima	MCB	UMMTO	Examineur
Mme	NAIT ABD SLAM Aldjia	MAA	UMMTO	Examineur
M	SAIDJ Hocine	Ingénieur	SEAAL	

Promotion 2024-2025

Remerciement

Avant toute chose, nous tenons à remercier Allah, Le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à **Monsieur M. CHARIF**, notre encadreur à la faculté, pour son suivi rigoureux, ses conseils avisés, sa disponibilité constante ainsi que son soutien tout au long de la réalisation de ce travail. Son accompagnement nous a été d'une grande utilité tant sur le plan scientifique que personnel.

Nos remerciements les plus sincères vont également à **Monsieur H. SAIDJ**, ingénieur au sein de l'entreprise SEAAL, pour son accueil chaleureux, son encadrement professionnel et la richesse de ses orientations techniques. Son implication dans notre projet a grandement contribué à sa réussite.

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble des **membres du jury** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail, ainsi que pour leurs remarques constructives et enrichissantes.

Nos remerciements s'adressent également à **l'ensemble des enseignants du département d'automatique**, pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont transmis durant toutes ces années. Grâce à leur savoir, leur engagement et leur pédagogie, nous avons pu acquérir les compétences nécessaires dans le domaine de **l'automatique industrielle**.

Nous adressons une pensée pleine de reconnaissance à **nos parents**, pour leur soutien indéfectible, leur amour, leurs sacrifices et leurs encouragements constants, sans lesquels ce parcours n'aurait pas été possible.

Enfin, nous remercions toutes les personnes, de **près ou de loin**, qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail. Que ce soit par leurs conseils, leur aide technique, leur encouragement ou leur simple présence, nous leur en sommes sincèrement reconnaissantes

DEDICACE

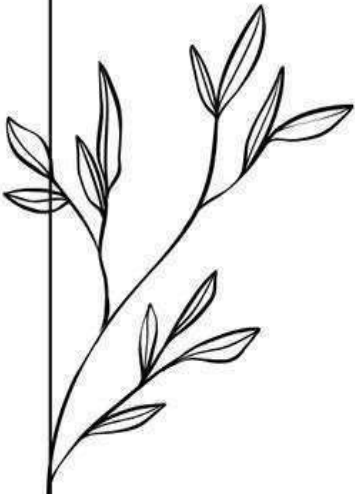
*À mes parents,
Mes racines, mon abri dans ce monde agité. Vous avez
été les premières mains à me relever, les premières voix à m'encourager,
les premiers cœurs à m'aimer sans condition.
Papa, Maman... vos sacrifices, souvent invisibles, Vos prières murmurées,
vos silences pleins d'inquiétude, vos sourires fiers...
je les ai sentis à chaque instant.
Ce mémoire, c'est le reflet de votre amour.
C'est votre victoire autant que la mienne.*

*À ma sœur, NESRINE
Mon refuge dans les tempêtes, ma lumière douce quand le monde
s'assombrit. Tu as toujours su trouver les mots justes,
tu as su m'écouter, me consoler, me
faire sourire quand j'en étais incapable. Merci d'avoir été là, de m'aimer si
fort.*

*À mes amis,
Vous avez été bien plus que des amis, vous avez été mes compagnons de route,
mes confidents, Vous avez partagé mes joies, mes peines, mes doutes,
et c'est grâce à vous que ce chemin est devenu plus léger.*

*À ma Binôme SARAH,
T'as été là du début à la fin. On a traversé le stress, la fatigue...
Travailler avec toi, c'était motivant.*

BOUNAR Nada



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

*À mes très chers parents,
pour leur soutien sans faille tout au long
de ces années et pour leurs innombrables sacrifices afin de me voir arriver
à ce stade. Leur courage, leur bienveillance et leur amour inconditionnel
font d'eux ma plus grande source de force et d'inspiration.*

*À mes frères,
Mailou et Mohamed, et à ma sœur Hadjer, pour leur
affection, leur soutien indéfectible et leur présence réconfortante à chaque
étape de mon parcours.*

*À Cherine, ma cousine,
ma confidente, merci d'avoir toujours été
présente, sans jamais m'abandonner, même dans les moments les plus
difficiles. Ta présence a toujours été un soutien précieux et compte
énormément pour moi.*

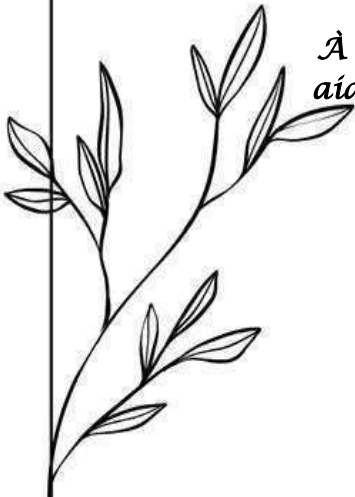
*À Naila, ma meilleure amie,
qui a toujours été là pour moi. Merci
pour ta fidélité, ton écoute et ta présence indéfectible à chaque étape de
ma vie.*

*À Melissa, ma précieuse amie,
merci pour ton écoute, ta bienveillance et ta capacité à m'apaiser même dans
les moments les plus stressants. Ton amitié a été une lumière tout au long de
ce parcours.*

*À Nada, ma binôme
de toujours, pour son sérieux, sa complicité et
son soutien tout au long de cette belle aventure.*

*À tous ceux qui me sont chers, aux personnes qui m'ont toujours
aidée et encouragée, qui étaient toujours à mes côtés et qui m'ont
accompagnée durant mon chemin d'études.*

KICHOU Sarah



Résumé

Ce mémoire intitulé « *Automatisation d'une conduite programmable supervisée de l'unité de charbon actif en poudre à base d'API S7-300 à SEAAL Taksebt* » présente le travail que nous avons réalisé dans le cadre de la modernisation de l'unité du charbon actif en poudre (CAP) à la station de traitement de l'eau de Taksebt, relevant de la société SEAAL. L'objectif principal de notre projet est d'automatiser et de superviser cette unité à l'aide d'un automate Siemens S7-300, en remplacement de l'ancien système basé sur des automates Schneider. Après une analyse détaillée du fonctionnement de l'installation, nous avons modélisé les différentes étapes du processus — dépeussierage, préparation, dosage et injection — en utilisant le formalisme GRAFCET. Nous avons ensuite procédé à la programmation sur STEP7, à la simulation avec S7-PLCSIM, ainsi qu'à la mise en place d'une supervision via WinCC flexible. La solution que nous avons conçue permet une gestion plus fiable, plus précise et plus sécurisée du dosage du CAP, tout en assurant un meilleur suivi en temps réel. Ce travail reflète notre engagement à mettre en pratique nos compétences en automatique industrielle au service de la modernisation des systèmes de traitement de l'eau en Algérie

Mots-clés

L'unité de charbon actif en poudre, Automatisation, Siemens S7-300, WinCC Flexible, SEAAL Taksebt.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-2 : Barrage de Taksebt	7
Figure I-3 : Situation géographique du centre de traitement et du barrage Taksebt	8
Figure I-4 : Station de pompage	13
Figure I-5 : Organigramme des principaux ouvrages de la station de traitement de Taksebt.	13
Figure I-6 : Chambre de Dissipation	14
Figure I-7 : Chambre de Mélange	15
Figure I-8 : Chambre de Répartition	15
Figure I-9 : Décantation	16
Figure I-10 : Schéma de principe de Fonctionnement général des décanteurs.....	16
Figure I-11 : floculateur	17
Figure I-12 : By-pass décanteur	17
Figure I-13 : Filtration	18
Figure I-14 : Construction du filtre	19
Figure I-15 : Désinfection et stockage de l'eau traitée	20
Figure I-16 : Dessableurs	21
Figure I-17 : Bâche des eaux de lavage	21
Figure I-18 : Epaisseur	21
Figure I-19 : Réservoir	21

Chapitre II

Figure II-1 : Organigramme de Fonctionnement de l'unité de traitement du CAP	37
Figure II-2 : L'unité de dépoussiérage	38
Figure II-3 : stockage des poussières.....	38
Figure II-4 : Ventilateur d'aspiration	39
Figure II-5 : Vannes pneumatiques	39
Figure II-6 : Filtre dépoussiéreur.....	40
Figure II-7 : Compresseur air pour le decolmatage.	41
Figure II-8 : Capteur détectant le niveau maximal de poussière.....	41
Figure II-9 : Coffret contrôle sécurité dépoussiérage	42
Figure II-10 : Temporisateur	42
Figure II-11 : Préparation.....	44
Figure II-12 : Palan manutention	45
Figure II-13 : Vibreur stand de vidange big-bag.....	45
Figure II-14 : Vis de transfert CAP stand de vidange big-bag	46
Figure II-15 : Vanne d'eau de service motorisée	46
Figure II-16 : Agitateur cuve de CAP	47
Figure II-17 : Transmetteur de niveau et La sonde	47
Figure II-18 : Détecteur de présence de produit	48
Figure II-19 : Pompe doseuse péristaltique.....	51
Figure II-20 : Vanne motorisée CAP	51
Figure II-21 : Débitmètre électromagnétique	52
Figure II-22 : Indicateur de niveau physique	53

Figure II-23 : Régulation du Débit des pompes	55
--	-----------

Chapitre III

Figure III-1: Éléments de base d'un grafcet	55
Figure III-2: Grafcet dépoussiérage	60
Figure III-3: Grafcet préparation	62
Figure III-4: Grafcet d'injection et rinçage.....	64

Chapitre IV

Figure IV-1: Environnement d'un système automatisé de production.	67
Figure IV-2: Structure d'un système automatisé.....	68
Figure IV-3: Aspect externe d'un API	70
Figure IV-4: L'architecture interne de l'automate	71
Figure IV-5: Configuration matériel utilisé	73
Figure IV-6: Structure du Programme développé.....	74
Figure IV-7: une partie de la table des mnémoniques.....	74
Figure IV-8 : Une partie du Grafcet ET OB1 de dépoussiérage en simulation	75
Figure IV-9: Une partie du Grafcet et OB1 de préparation en simulation.	76
Figure IV-10: Pompe 1 et pompe 2 en marche.....	77

Chapitre V

Figure V-1: Constitution d'un système de supervision.	80
Figure V-2: Vue <accueil>	83
Figure V-3 : Vue <dépoussiérage et préparation>	84
Figure V-4 : Vue <injection et rinçage>	85
Figure V-5: Vue <paramétrage >	86
Figure V-6 : Vue < Alarmes>	87

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 : Production nominale de la station de traitement de Taksebt	9
Tableau I-2 : Capacité hydraulique nominale de la station.....	10
Tableau I-3 : Paramètres de Conception pour le Traitement de l'Eau	10
Tableau I-4 : Normes de Qualité Finale de l'Eau Traitée.....	11
Tableau I-5 : Description de la figure I.10	17
Tableau I-6 : Dosages estimés au débit d'eau brute Sulfate d'alumine	22
Tableau I-7 : Dosages estimés au débit d'eau brute Permanganate de potassium	23
Tableau I-8 : Dosages estimés au débit d'eau brute Acide sulfurique	24
Tableau I-9 : Dosages estimés au débit d'eau brute Chaux	25
Tableau I-10 : Dosages estimés au débit d'eau brute Pré-chloration M1	27
Tableau I-11 : Dosages estimés au débit d'eau brute Inter-chloration M5	27
Tableau I-12 : Dosages estimés au débit d'eau brute Post-chloration M6.....	27
Tableau I-13 : Dosages estimés au débit d'eau brute CAP M2	29
Tableau I-14 : Dosages estimés au débit d'eau brute CAP M5	30
Tableau I-15 : Dosages estimés au débit d'eau brute Polymère M3.....	31
Tableau I-16 : Dosages estimés au débit d'eau brute Polymère M5.....	31
Tableau I-17 : dosages estimés au débit d'eau brute Polymère boue M8	31
Tableau I-18 : dosages estimés au débit d'eau brute Polymère boue M9	32

Chapitre III

Tableau III-1 : Abréviations du grafcet du dépoussiérage.	59
Tableau III-2 : Abréviations du grafcet de préparation	61
Tableau III-3 : Abréviations du grafcet d'injection, dosage et rinçage.....	63

TABLE DES MATIERES

Liste des figures

Liste des tableaux

Avant-propos.....	I
1. Présentation de la société SEAAL	II
2. L'organisation de SEAAL.....	III
3. Mission de SEAAL.....	III
Introduction générale.....	1

CHAPITRE I: Description de la station SEAAL de Taksebt

Introduction	6
1. Aperçu général de la station SEAAL de Taksebt.....	6
1.1 Présentation du centre de traitement Taksebt.....	6
1.2 Barrage de Taksebt	7
1.3 Situation géographique	7
1.4 Historique de SEAAL Taksebt.....	8
1.5 Les différents services de la station de traitement de Taksebt	9
1.6 Capacité de la station Taksebt.....	9
1.7 Qualité de l'eau rentrée	10
1.8 Qualité de l'eau de sortie	11
2-Description des stations	11
2.1 Station de pompage.....	11
2.2 Station de traitement.....	13
3. Présentation et dosage des réactifs	21
3.2 Permanganate de potassium.....	22
3.3 Acide sulfurique	23
3.4 Chaux.....	24
3.5 Chlore	26
3.6 Charbon en poudre (CAP).....	29
3.7 Polymère.....	30
4. Equipement auxiliaires.....	32
4.1 Production d'eau de service	32
4.2 Production d'air comprimé.....	33
4.3 Unité de traitement des eaux usées	33
Conclusion.....	34

Chapitre II : Présentation du fonctionnement de l'unité de traitement du Charbon actif en poudre

Introduction	36
1. Présentation de la procédure du poste de traitement du CAP	36
2. L'eau de dilution	37
3. Fonctionnement de l'unité de traitement du CAP	37
3.1 Dépoussiérages	37
3.2 Préparation	44
3.2.3 Sélection de Mode opératoire	48
3.3. Dosage, Injection et Rinçage	50
4. Instruction de sécurité	55
4.1. Consignes générales	55
4.2. Risques liés au réactif	55
4.3. Accès aux cuves de stockage	56
4.5. Mesures en cas de déversement accidentel	56
Conclusion	57

Chapitre III : Modélisation du système en utilisant l'outil Grafcet

Introduction	54
1. Définition du Grafcet	54
2. Éléments de base du grafcet	54
2.1 Étape	55
2.2 Étape initiale	55
2.3 Action	55
2.4 Transition	56
2.5 Réceptivité	56
2.6 Liaison orientée	56
3. Règles d'évolution du Grafcet	56
3.1 Règle N°1 : Initialisation	56
3.2 Règle N°2 : Franchissement d'une transition	56
3.3 Règle N°3 : Evolution des étapes actives	56
3.4 Règle N°4 : Transitions simultanées	57
3.5 Règle N°5 : Activation et désactivation simultanée d'une étape	57
4. Structure de base d'un Grafcet	57
4.1 Séquence unique (Structure linéaire)	57
4.2 Séquence simultanée (ET)	57

4.3	Sélection de séquence (OU)	57
4.4	Saut d'étape.....	57
4.5	Reprise de séquence	57
4.6	Sous-programme	57
4.7	Macro-étapes	58
5.	Niveaux de Grafcet	58
5.1	Grafcet niveau 1	58
5.2	Grafcet niveau 2	58
5.3	Grafcet niveau 3	58
6.	Modélisation par Grafcet	58
6.1.	Grafcet du Dépoussiérage	58
6.2.	Grafcet de Préparation.....	61
6.3.	Grafcet d'injection et rinçage.....	63
	Conclusion	65

Chapitre IV : Développement de la solution programmable du système avec S7- 300

	Introduction	67
1.	Système Automatisé	67
1.1	Définition	67
1.2	Structure d'un système automatisé.....	67
2.	Automates programmables industriels (API)	68
2.1.	Définition	68
2.2.	Architecture des API.....	68
2.3	Caractéristique d'un API.....	69
3.	Siemens Simatic S7-300	69
3.1	Présentation générale de l'automate S7-300 IV	
3.1.1	Définition	69
3.1.2	La structure et les modules constitutionnels de l'automate S7-300.....	70
4.	Programmation de l'automate S7-300	71
4.1.	Définition du logiciel de programmation STEP 7	71
4.2.	Langage de programmation	71
4.3.	Structure d'une programmation.....	71
4.4.	Blocs logiciel Step 7	72
5.	Création d'un projet STEP7	72
5.1	Configuration matérielle	73
5.2	Table des mnémoniques	74
6.	Simulation et validation du Programme avec S7-PLCSIM.....	74

6.1 Programme de dépoussiérage.....	75
6.2 Programme de préparation.....	75
6.3 Programme d'injection et rinçage	76
Conclusion	77

Chapitre V : Supervision de la solution conçue du système à l'aide de WINCC flexible

Introduction	79
1. Généralité sur la supervision	79
1.1 Définition de la supervision	79
1.2 Constitutions d'un système de supervision	79
1.3 Apport de la supervision	80
2. Supervision Wincc flexible 2008.....	81
3. Création d'un projet WinCC	81
3.1 Communication WinCC/STEP 7	82
3.2 Création des vues.....	82
3.3 Compilation et simulation	82
4. Plateforme de supervision d'installation du charbon actif en poudre	83
4.1. Vue <accueil>	83
4.2. Vue <dépoussiérage et préparation>	84
4.3. Vue <injection et rinçage>.....	84
4.4. Vue < paramétrage >	85
4.5. Vue < Alarmes>	86
Conclusion	87
Conclusion générale.....	88
Bibliographie.....	91

Annexes

Avant-propos

La population algérienne ne cesse de croître et la demande en eau potable augmente de plus en plus. L'optimisation de la production, du traitement et de la distribution des eaux devient indispensable et c'est à ce niveau qu'intervient la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger qui occupe une place primordiale dans l'amélioration de ces processus essentiels.

1. Présentation de la société SEAL

La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAL) est une entreprise publique algérienne créée en 2006 pour moderniser le service de l'eau et de l'assainissement selon les standards internationaux. Détenue à 70 % par l'Algérienne des Eaux et à 30 % par l'Office National de l'Assainissement, elle a élargi son périmètre en intégrant Tipasa en 2011 et la station de traitement de Taksebt en 2013. Employant environ 6 700 personnes, SEAL assure la production et la distribution d'eau potable ainsi que le traitement des eaux usées pour près de 5 millions d'habitants dans plusieurs wilayas, dont Alger, Tipasa, Boumerdès, Tizi-Ouzou et Blida. En 2021, sa gestion a été reprise par des cadres algériens engagés dans une démarche d'amélioration continue. Grâce à des infrastructures modernes et une gestion basée sur le Big Data, SEAL s'efforce de garantir un service de qualité, tout en respectant l'environnement à travers un système de management certifié ISO 9001 version 2015. (voir la figure 1).

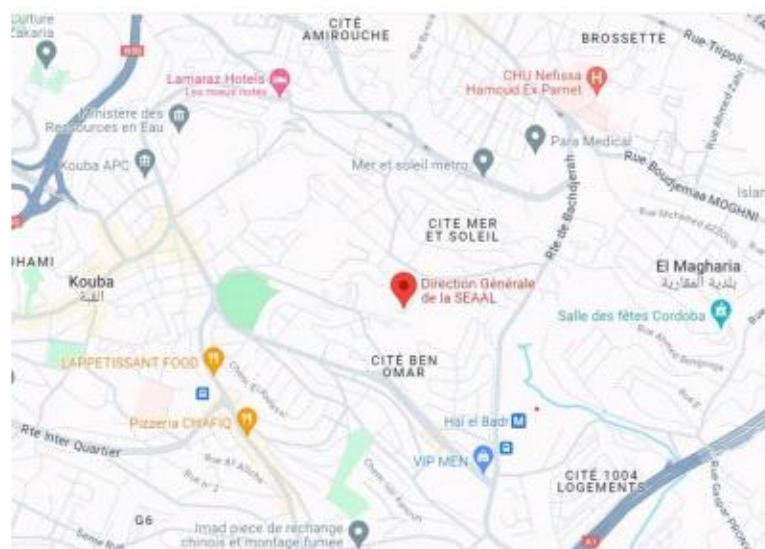


Figure 1: Emplacement géographique.

Site : <https://seal.dz/fr/>

2. L'organisation de SEAAL

SEAAL regroupe plus de 4000 employés au sein des principales directions suivantes :

- Direction générale est responsable de la politique, des orientations générales, et de la coordination de toutes les directions.
- Quatre directions opérationnelles responsables de la distribution de l'eau, ainsi que de la collecte, du transport, et du traitement des eaux usées, en plus de la gestion de la clientèle.
- Des directions de soutien fournissant une assistance pour améliorer l'efficacité de la gestion et harmoniser la modernisation de l'entreprise.

3. Mission de SEAAL

SEAAL, en tant que gestionnaire du service public de l'eau et de l'assainissement dans les wilayas d'Alger et de Tipasa, s'engage à fournir des services de haute qualité, fiables et respectueux de l'environnement à ses clients. L'objectif est de répondre aux besoins et attentes des clients, tout en garantissant la préservation des ressources naturelles et la protection de l'environnement. Pour atteindre cet objectif, SEAAL s'engage à :

1. Sécuriser l'alimentation en eau potable des citoyens par le partage équitable de la ressource et la réduction des Eaux Non Facturées (ENF).
2. Améliorer la maintenance des infrastructures hydrauliques pour garantir la continuité du service public de l'eau et de l'assainissement.
3. Accroître la performance des services d'assainissement par la réhabilitation des ouvrages vétustes et le développement de techniques innovantes.
4. Améliorer l'encaissement des recettes et le recouvrement des impayés pour consolider l'équilibre financier de la SEAAL.
5. Développer le chiffre d'affaires des travaux et prestations pour diversifier les sources de revenus.
6. Renforcer l'efficacité opérationnelle, financière, technologique et humaine.
7. Investir dans le développement des compétences et cultiver un esprit novateur et engagé, pour une SEAAL tournée vers l'avenir.

8. Consolider la responsabilité sociétale en garantissant l'accès à l'eau pour tous et en préservant la ressource.

Dans cet avant-propos, nous avons présenté la société SEAL, en mettant en lumière son rôle crucial et ses principales directions. Nous avons également expliqué sa mission principale, qui consiste à gérer de manière efficace et durable les ressources en eau.

Introduction générale

L'eau est une ressource essentielle à la vie et au développement économique. En raison de sa répartition inégale dans le monde, elle représente un enjeu stratégique majeur, notamment dans les régions où la demande est croissante, ce qui accentue la pression sur les infrastructures de traitement et de distribution.

Dans ce contexte, l'automatisation industrielle joue un rôle clé dans l'optimisation des systèmes de traitement de l'eau. Elle permet d'améliorer la fiabilité, la sécurité et la qualité du service, en garantissant une gestion précise des ressources et des produits chimiques, mais aussi de maintenir des normes de qualité élevées, essentielles pour la santé publique.

La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), acteur majeur dans la gestion de l'eau en Algérie, fait face à la nécessité de moderniser ses infrastructures afin de répondre aux exigences croissantes de performance. L'unité de dosage des produits chimiques, essentielle dans le processus de purification et de traitement de l'eau, jusque-là semi-automatique et pilotée par des automates Schneider, présentait des limites en termes de performance et de supervision.

Notre projet s'inscrit donc dans une démarche de migration technologique, visant à remplacer les anciens automates Schneider par une solution plus performante et évolutive basée sur les technologies Siemens, notamment l'Automate Programmable Industriel (API) S7-300. Cette migration ne se limite pas à un simple changement de matériel : elle s'accompagne d'une automatisation complète du processus, nécessitant une étude approfondie des contraintes techniques et fonctionnelles du système existant. Grâce à cette étude, nous avons pu proposer des solutions adaptées pour automatiser le système, en assurant une meilleure fiabilité, un meilleur contrôle des dosages et une supervision plus intuitive.

Notre travail est le fruit d'une recherche approfondie et minutieuse effectuée durant le stage pratique, nous avons décrit en détail la conception d'une solution de conduite programmable supervisée pour l'unité de dosage du produit chimique CAP (charbon actif en poudre), à SEAAL. L'objectif est de remplacer l'infrastructure existante par une architecture optimisée, combinant l'API S7-300 et le logiciel de supervision Win CC flexible.

Ce document s'articule autour de cinq chapitres, chacun vise à détailler un aspect clé du projet, Le premier chapitre présente la station SEAAL, en détaillant ses infrastructures, ses capacités de traitement et les équipements utilisés, Le deuxième chapitre se concentre sur la

présentation du fonctionnement de l'unité de traitement du charbon actif en poudre et ses composants essentiels. Le troisième chapitre est dédié à la modélisation du mode opératoire du système à l'aide de la méthode de l'outil GRAFCET, un outil clé pour la conception des automatismes industriels. Le quatrième chapitre aborde le développement de la solution programmable avec l'API S7-300, en détaillant la configuration matérielle, la programmation et les simulations réalisées. Enfin, le cinquième chapitre porte sur la supervision de la solution conçue à l'aide de Win CC flexible, en mettant en lumière les différentes interfaces de contrôle et de surveillance mises en place pour garantir une gestion optimale du système.

CHAPITRE I

Description de la station SEAAL de Taksebt

Introduction

Ce chapitre offre une vue d'ensemble de la station SEAAL de Taksebt, en présentant ses principales infrastructures et ses processus de traitement de l'eau. Il commence par une présentation de l'entreprise de Taksebt, incluant son historique, ses missions et les caractéristiques du barrage de Taksebt. Ensuite, il décrit les étapes clés du traitement de l'eau, telles que le pompage et la station de traitement (la décantation, la filtration et la désinfection..), ainsi que l'utilisation de produits chimiques essentiels.

Le chapitre aborde également le traitement des boues et des eaux usées, ainsi que les équipements auxiliaires nécessaires au fonctionnement de la station. Enfin, il met en lumière l'importance de l'unité de traitement des eaux usées pour assurer la durabilité environnementale.

1. Aperçu général de la station SEAAL de Taksebt

1.1 Présentation du centre de traitement Taksebt

Le centre de traitement TAKSEBT situé à Tizi-Ouzou, mis en service en 2008 par le géant de l'ingénierie canadien SNC-LAVALIN International, est un système qui englobe une station de pompage, une station de traitement et un réseau de conduite de transfert de 80 km ainsi que 4 réservoirs tout au long du réseau.

Le centre de traitement TAKSEBT est le plus grand système de traitement et de transfert d'eau potable en Algérie et l'un des 3 premiers en Afrique de par sa capacité de production qui est de 650 000 m³/jour, il alimente 24h/24h sur 360 jours.

Depuis 2013, le centre de traitement TAKSEBT est géré par la société de l'eau et d'assainissement d'Alger (SEAAL), (voir la figure I.1)



Figure I-1 : Logo de la société SEAAL

1.2 Barrage de Taksebt

Le barrage de Taksebt, situé à une dizaine de kilomètres à l'est de Tizi-Ouzou, joue un rôle clé dans l'approvisionnement en eau et la préservation de la biodiversité locale en soutenant la faune et la flore environnantes. Avec un volume de réservoir atteignant 180 millions de mètres cubes et une capacité de stockage de 175 millions de mètres cubes, il constitue une infrastructure hydraulique essentielle. Ce barrage s'étend sur une superficie de 550 hectares et s'élève à une hauteur de 82 mètres. Inauguré le 5 juillet 2007 après un investissement d'environ 540 millions d'euros, il est accessible via les routes nationales RN30A5 et RN156, ainsi que par les chemins de wilaya CW n°1 et CW n°100, facilitant ainsi la connexion avec les villages voisins.(voir la figure I.2)



Figure I-2 : Barrage de Taksebt

1.3 Situation géographique

Le centre de traitement de la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL) à Tizi-Ouzou est situé dans la zone industrielle de Oued Aïssi, à l'est de la ville. Cette zone est

desservie par la route nationale N12, facilitant l'accès routier. De plus, la gare ferroviaire de Oued Aïssi, terminus de la ligne de Thénia à Oued Aïssi, se trouve à proximité, offrant une connexion ferroviaire pratique. La zone industrielle de Oued Aïssi abrite également diverses entreprises et infrastructures, contribuant au développement économique de la région, (voir la figure I.3)



Figure I-3: Situation géographique du centre de traitement et du barrage Taksebt

1.4 Historique de SEAAL Taksebt

Il remonte à sa création en 2006, avec pour mission de moderniser la gestion de l'eau et de l'assainissement à Alger. En 2005, avant même sa création, un contrat de gestion a été signé entre SEAAL, détenue par l'Algérienne des eaux (ADE) et l'Office national de l'assainissement (ONA), et la compagnie Suez. Ce partenariat, d'abord d'une durée de 5 ans, avait pour objectif d'améliorer l'approvisionnement en eau potable et l'assainissement, pour un montant de 120 millions d'euros. Ce contrat a été renouvelé à plusieurs reprises : en 2011 pour cinq ans, en 2016 pour deux ans, et enfin en 2018 pour trois ans.

Durant cette période, le contrat a été étendu pour inclure la wilaya de Tipaza ainsi que le système de production d'eau du barrage de TAKSEBT, à Tizi-Ouzou. En 2021, le contrat avec Suez est arrivé à son terme, après plus de 15 ans de collaboration. Cela a conduit à une gestion plus autonome par SEAAL, tout en maintenant un engagement constant envers l'amélioration des services et la modernisation des infrastructures.

1.5 Différents services de la station de traitement de Taksebt

La station de traitement de Taksebt compte 143 employés répartis dans sept services différents.

- Service Santé Sécurité Travail (SST) : assure le rôle hygiène et sécurité des travailleurs.
- Service Direction Sécurité Personnel (DSP) : assure la sécurité de l'usine ainsi que son personnel.
- Service exploitation : assure la production et l'exploitation des ouvrages de traitement.
- Service laboratoire : assure la qualité de la production.
- Service maintenance : assure le bon fonctionnement des équipements de production.
- Service réseaux : assure le bon fonctionnement des adductrices (transfert des eaux traitées).
- Service pompage : assure le pompage pour l'alimentation des villes en eau traitée.

La station de traitement de Taksebt assure la production d'eau de qualité en utilisant les différents services, l'un de ces services est le service de maintenance ou nous avons été accueillis pour mener notre stage pratique.

1.6 Capacité de la station Taksebt

La production nominale de la station de traitement de Taksebt est de 605 000 m³ /j (7 000 l/s) basée sur un approvisionnement en eau brute de 616 000 m³ /j (voir le tableau I.1) [1]

débit d'eau brute	616000 m ³ /j
Volume des boues extraites des clarificateurs	7400 m ³ /j
Volume des boues extraites des filtres	3600 m ³ /j
Production d'eau traitée	605000 m ³ /j

Tableau I-1 : Production nominale de la station de traitement de Taksebt

La capacité hydraulique nominale de la station est de 647 000 m³/j, prenant en compte un débit recirculé de 5% du débit d'eau brute. Les variations de débits d'eau traitée prévues sont de : (voir le tableau I.2) [1]

débit minimum	202000 m ³ /j
débit moyen	474000 m ³ /j
débit maximum (nominale)	605000 m ³ /j

Tableau I-2: Capacité hydraulique nominale de la station

1.7 Qualité de l'eau rentrée

L'eau brute alimentant le barrage de Taksebt provient de l'oued AISSI et de l'oued Bougdoura. La conception de l'usine de traitement est basée sur les valeurs du tableau I.3 [1]

Paramètres	Unité	Valeurs contractuelles		
		Min.	Max.	Typique
PH		7,00	9,00	8,00
Couleur	Hazen	5	25	6
Turbidité	NTU	1	100	5
Conductivité	μS/cm	300	800	500
Température	C	10	30	18
Ammoniac	Mg/l N	0,01	0,2	0,05
Nitrite	Mg/l N	< 0,001	0,05	0,002
Nitrate	Mg/l N	0,5	4	1
Matières organiques	Mg/l O	2,5	10	3,5
Alcalinité	Mg/l CaCO ₃	100	250	160
Dureté totale	Mg/l CaCO ₃	100	350	200
Calcium	Mg/l Ca	20	70	40
Magnésium	Mg/l Mg	15	60	24
Sodium	Mg/l Na	5	60	15
Chlorure	Mg/l Cl	10	70	30
Sulfate	Mg/l SO ₄	20	100	40
Orthophosphate	Mg/l P	< 0,01	0,2	0,05
Fer (total)	Mg/l Fe	0,05	5	0,15
Manganèse (total)	Mg/l Mn	< 0,01	0,1	0,02
Silice réactive	Mg/l SiO ₂	0,1	10	5
Oxygène dissout	Mg/l O	4,0	10,0	8,0
Demande biochimique en oxygène	Mg/l O	0,2	10,0	1,0
Demande chimique en oxygène	Mg/l O	< 10	60	20
Coliformes totaux	MPN/100 ml	10	10 000	200
E. coli	MPN/100 ml	5	5 000	100
Chlorophylle a	Mg/m ³	< 5	40	15

Tableau I-3 : Paramètres de Conception pour le Traitement de l'Eau

Dans le futur, la qualité de l'eau peut encore évoluer. La couleur peut s'élever par développement de plancton en période chaude. Le pH peut s'abaisser ainsi que la teneur en oxygène, si l'eau est prise très en profondeur.

Il est donc important que l'eau puisse être prise à différents niveaux pour, d'une part,

éviter d'entraîner les matières décantées et, d'autre part, ne pas utiliser l'eau de surface en période de bloom algal ou d'eau chaude.

1.8 Qualité de l'eau de sortie

La station de traitement est conçue pour assurer une alimentation fiable et continue en eau potable, exempte d'organismes pathogènes. Dans les conditions de qualité de l'eau contractuelle et d'une exploitation normale, la qualité finale de l'eau après traitement doit être conforme aux normes suivantes 100 % du temps. (Voir le tableau I.4) [1]

Turbidité (avant injection de chaux)	Inférieure à 1,0 NTU
Goût et odeur	Acceptables pour le consommateur
Couleur	Inférieure à 5° Hazen
Aluminium	Inférieur à 0,2 mg/l
Fer	Inférieur à 0,3 mg/l
Manganèse	Inférieur à 0,1 mg/l
Ph	Entre 6,5 et 8,5
E. coli ou bactérie thermo tolérante	Néant sur tout échantillon de 100 ml
coliforme bactérien total	Néant sur tout échantillon de 100 ml

Tableau I-4 : Normes de Qualité Finale de l'Eau Traitée

2-Description des stations

2.1 Station de pompage

2.1.1 Principe général

La station de pompage est une installation hydraulique essentielle qui permet de transporter l'eau d'un point à un autre en augmentant sa pression grâce à des pompes mécaniques, ce qui facilite le déplacement de l'eau sur de longues distances ou vers des altitudes plus élevées, notamment dans les réseaux d'adduction d'eau potable, les systèmes d'irrigation ou les processus industriels

Le barrage de Taksebt alimente la station de pompage SP par écoulement gravitaire via deux canalisations de DN1800 sur une longueur d'environ 750 m. A l'intérieur du barrage, il y a deux conduites de liaisons distinctes qui peuvent être isolées séparément au niveau de la

prise d'eau.

2.1.2. Fonctionnement de la station de pompage

La station comprend six pompes (5 en service + 1 en réserve), Le nombre de pompes actives dépend du niveau d'eau, des anti-béliers disponibles et du débit demandé. L'automate ajuste le nombre et la vitesse des pompes en fonction des consignes de débit et des mesures en temps réel. (Voir la figure I.4)

La station de pompage de Taksebt fonctionne selon quatre modes distincts, sélectionnés via un sélecteur situé sur le pupitre de contrôle. En mode "Remplissage Tuyauterie", elle ne peut fonctionner qu'en manuel avec une seule pompe, et certaines protections anti-bélier sont désactivées. Le mode "Arrêt" stoppe totalement la station. En mode "Manuel", l'opérateur contrôle directement les pompes dans les limites autorisées, tandis que le mode "Automatique" permet à l'automate de gérer le nombre et la vitesse des pompes en fonction des consignes de débit et du niveau du barrage.

L'automatisation inclut un système de permutation cyclique des pompes pour équilibrer leur durée d'utilisation. Lors du démarrage et de l'arrêt, les pompes doivent fonctionner avec toutes les vannes ouvertes afin d'éviter les variations brutales de pression et les coups de bélier.

L'asservissement des vannes du collecteur d'aspiration est géré par un automate indépendant qui adapte l'admission d'eau selon le niveau du barrage. Si ce niveau est inférieur à 154 mNGA, l'eau entre par la conduite principale ; au-delà, elle passe par un by-pass régulé via la vanne Monovar.

Enfin, la matrice de disponibilité des anti-béliers fixe le débit maximal admissible en fonction du niveau du barrage et de la disponibilité des ballons anti-béliers. Un ballon est considéré disponible si sa vanne d'isolement est ouverte et son niveau d'eau est adéquat. En cas de niveau insuffisant, une alarme est déclenchée pour avertir l'opérateur.[2]



Figure I-4 : Station de pompage

2.2 Station de traitement

Les différents ouvrages de la station de traitement des eaux sont résumés dans l'organigramme de la figure I.5 :

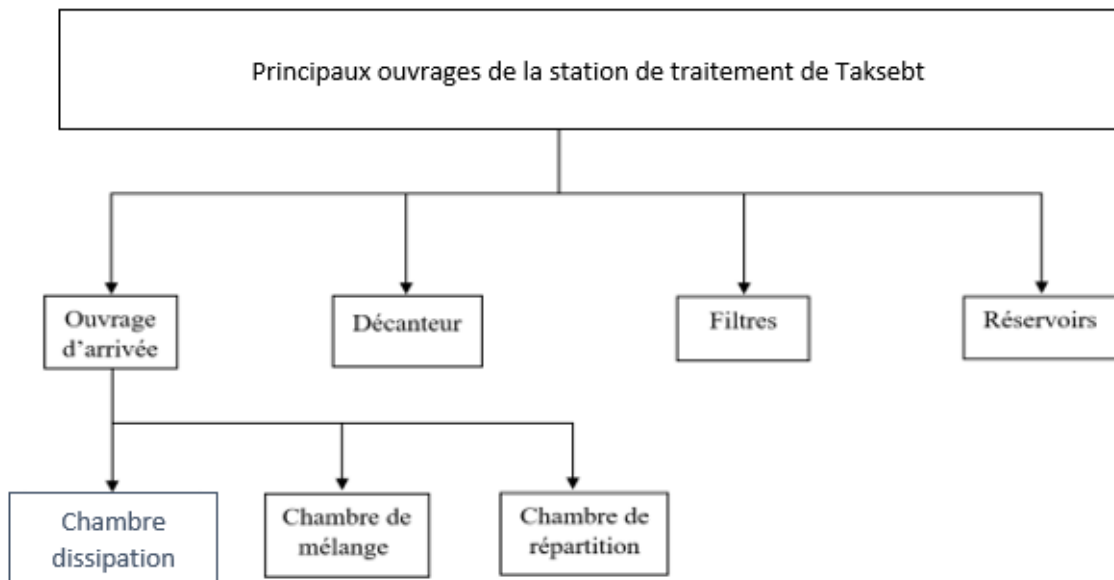


Figure I-5 : Organigramme des principaux ouvrages de la station de traitement de Taksebt.

2.2.1 Principaux ouvrages de la station de traitement de Taksebt

a. Chambre de Dissipation

L'arrivée d'eau brute à la station de Taksebt se fait dans la chambre de dissipation. L'eau des dessableurs (240) est également retournée dans la chambre de dissipation. Les déversoirs en sortie de la chambre assurent un niveau minimum, donc un volume tampon capable de tranquilliser l'arrivée d'eau brute. Si nécessaire, il est possible de procéder à un pré chloration dans l'ouvrage (notice 4 E), principalement dans le but de limiter la présence d'organismes (algues, bactéries, plancton) susceptibles de proliférer dans les filières de traitement. (Voir la figure I.6) [3]



Figure I-6: Chambre de Dissipation

b. Chambre de Mélange

La chambre de mélange possède un volume de 450 m³ permettant un mélange et un temps de contact suffisant (1,00 min. à 647 000 m³/J) des produits chimiques avant répartition vers les clarificateurs. La chambre est munie de chicanes afin d'éviter les écoulements préférentiels, favoriser un mélange adéquat et assurer des vitesses suffisantes pour minimiser le dépôt de sédiments (vitesse de 0,25 m/s au débit minimal et de 0,75 m/s au débit maximal). (Voir la figure I.7). [3]



Figure I-7 : Chambre de Mélange

c. Chambre de Répartition

L'ouvrage de répartition (voir la figure I.8) permet de diriger le débit soit :

- Vers les décanteurs, via des déversoirs de répartition où le polymère est ajouté.
- Vers les flocculateurs et filtres directement, en utilisant les canaux de by-pass des décanteurs. [3]

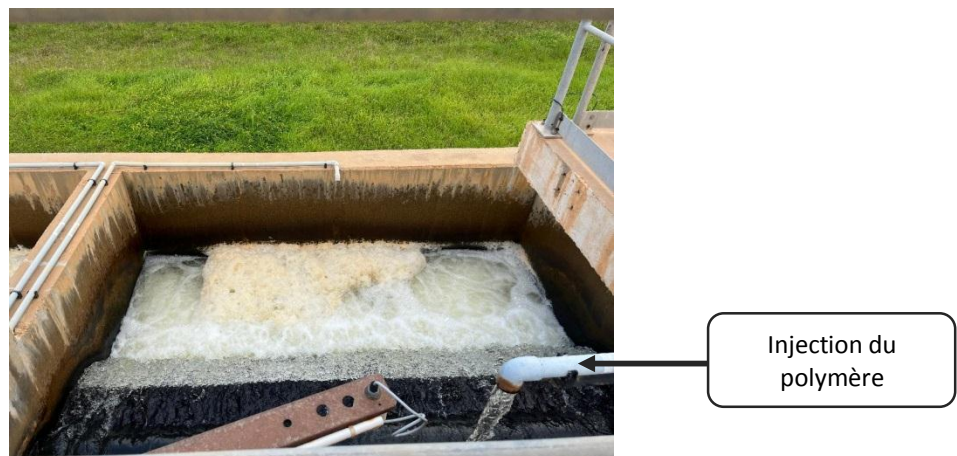


Figure I-8 : Chambre de Répartition

2.2.2 Décantation

a. Principe général de fonctionnement

L'objectif de la décantation est de séparer les particules flocculées de l'eau clarifiée. Les particules colloïdales ne peuvent être décantées efficacement que si elles entrent en contact entre elles pour former des floccs de plus grande taille. Les contacts entre particules sont

d'autant plus fréquents que leur concentration est grande dans l'eau. C'est le principe de base des décanteurs à lit de boues, dont fait partie le Pulsatube. Une partie des matières en suspension (MES) décantée est conservée en fond d'ouvrage, formant un lit de boue. L'eau entrante traverse se lit de boue de bas en haut. Les floccs nouvellement formés en entrée de décanteur passe au travers du lit de boue, entrent en contact avec les floccs conservés et s'y agrègent. Pour assurer le meilleur contact, le lit de boue doit rester en expansion. Il occupe un volume apparent variable selon sa densité et la vitesse de l'eau. Il ne doit pas se tasser et être relativement homogène (pas de passage préférentiel du flux). Voir la figure I.9 [3]

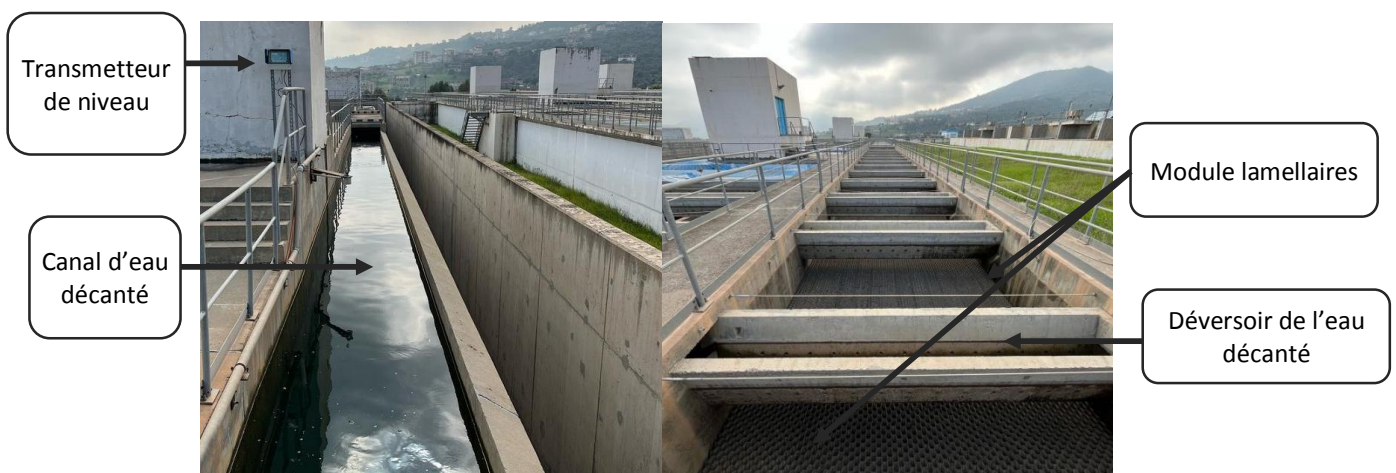


Figure I-9 : Décantation

b. Fonctionnement général des décanteurs

Le schéma ci-dessous est un schéma de principe. (Voir la figure I.10)

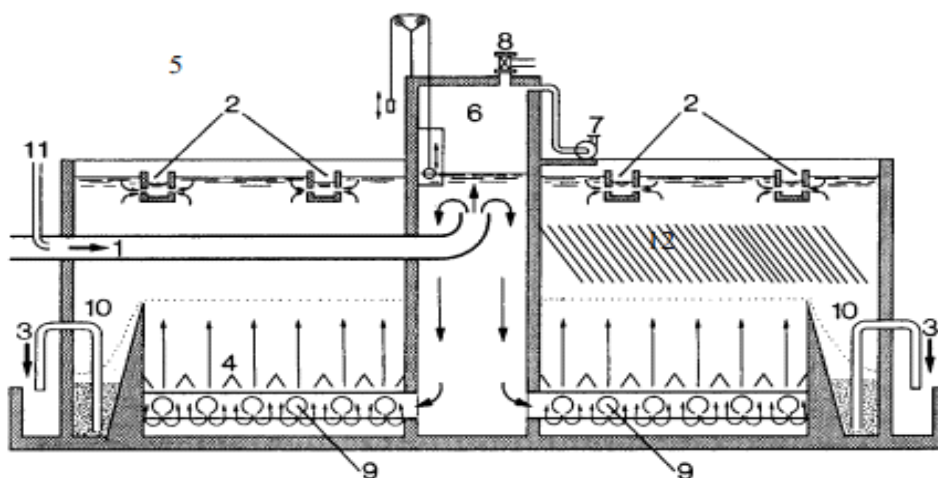


Figure I-10: Schéma de principe de Fonctionnement général des décanteurs

Indice	Description
1	Entrée d'eau brute
2	Goulottes d'eau clarifiée
3	Sortie des boues
4	Tranquillisateurs
5	Détecteur de niveau
6	Cloche à vide
7	Pompe à vide
8	Casse-vide automatique
9	Conduite perforée de distribution d'eau brute
10	Concentrateur des boues
11	Non applicable
12	Modules lamellaires

Tableau I-5 : Description de la figure I.10

2.2.3 By-pass décanteur

Les canaux de by-pass sont utilisés lorsque la qualité de l'eau brute ne nécessite pas l'utilisation de la décantation pour atteindre les critères de qualité d'eau traitée. L'eau brute est introduite dans chaque canal de by-pass par une vanne murale. Le débit est mesuré dans un canal de type Parshall et du Polymère est injecté proportionnellement au débit. L'objectif de l'injection de polymère est l'amélioration des performances de filtration est provoquant l'agrégation de particules fines en floccs. Le mélange du polymère et la formation de floccs sont améliorés par le passage dans deux flocculateurs successifs. L'ajout de polymère en amont des décanteurs, sur les déversoirs de l'ouvrage de répartition 031 et 032 ou dans les canaux de by-pass 03A et 03B, permet la concentration des matières en suspension (MES) en floccs plus facilement décantables. (Voir les figures I.11 et I.12) [3]



Figure I-11 : flocculateur

Figure I-12 : By-pass décanteur

2.2.4 Filtration

a. Principe général de fonctionnement

Il s'agit de 16 filtres, l'eau est admis dans le filtre depuis le canal d'eau décantée. Un déversoir dénoyé permet l'équi-répartition des débits entre les filtres en service. L'eau est ensuite filtrée à travers un matériau filtrant (sable). Le matériau filtrant est de composition et de granulométrie homogène. L'eau filtrée est ensuite collectée par des bosselures traversant la dalle planché qui supporte les matériaux filtrants. Des vannes régulatrices augmentent ou diminuent le débit de manière à garder un niveau d'eau stable au-dessus du filtre, quel que soit le niveau de colmatage. L'eau est ensuite dirigée vers le canal d'eau filtrée.

La perte de charge au travers du filtre est mesurée en permanence et indique le niveau de colmatage du filtre. Lorsque le filtre est colmaté, une demande de lavage automatique est générée. Elle consiste principalement en l'injection d'air et d'eau au travers du filtre, à contre-courant. L'eau permet d'entraîner les particules capturées par le sable. L'air permet de fluidiser et de brasser la couche de sable. Un matelas d'air est formé sous le plancher de manière à distribuer uniformément l'air sur toutes les bosselures. L'eau de lavage est fournie par des pompes dédiées, et l'air de lavage par des surpresseurs. Les pompes et surpresseurs sont situés dans le bâtiment d'exploitation des filtres (08). (Voir la figure I.13) [3]

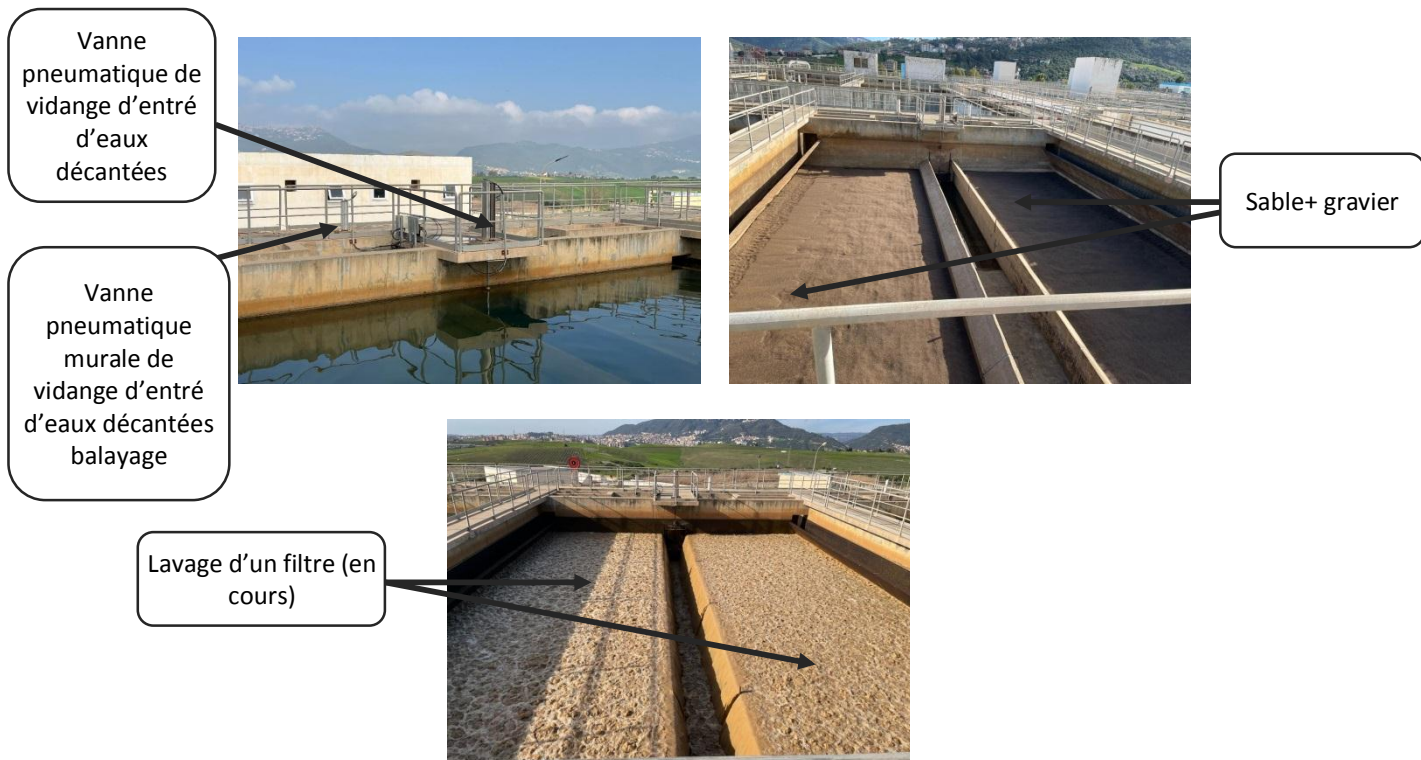


Figure I-13: Filtration

b. Construction du filtre

Le gravier et le sable (voir la figure I.14) sont supportés par une dalle béton. Un maillage régulier de bosselures vissées sur des raccords coulés dans le béton permet le passage des fluides :

- Eau filtrée descendante
- Air et eau de lavage à contre-courant

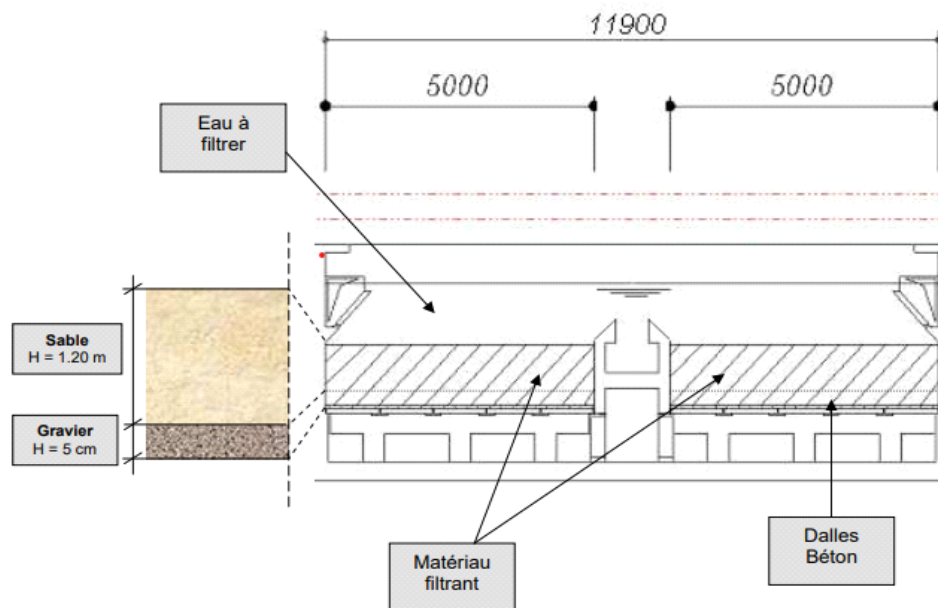


Figure I-14 : Construction du filtre

2.2.5 Désinfection et stockage de l'eau traitée

Une fois filtrée, l'eau subit une désinfection finale afin d'éliminer les éventuels micro-organismes restants. Cette étape est réalisée par injection de chlore dans des cuves de contact, où l'eau est maintenue pendant une durée suffisante pour garantir une désinfection efficace.

Après la chloration, l'eau traitée est stockée dans des réservoirs spécifiques avant d'être distribuée au réseau d'alimentation. Afin de prévenir la corrosion des canalisations et d'ajuster l'équilibre chimique de l'eau, une injection de chaux est effectuée dans ces réservoirs.

Le réseau d'eau de service de la station est directement alimenté à partir de ces

réservoirs, assurant ainsi une disponibilité continue de l'eau traitée pour les différents usages.(voir la figure I.15)

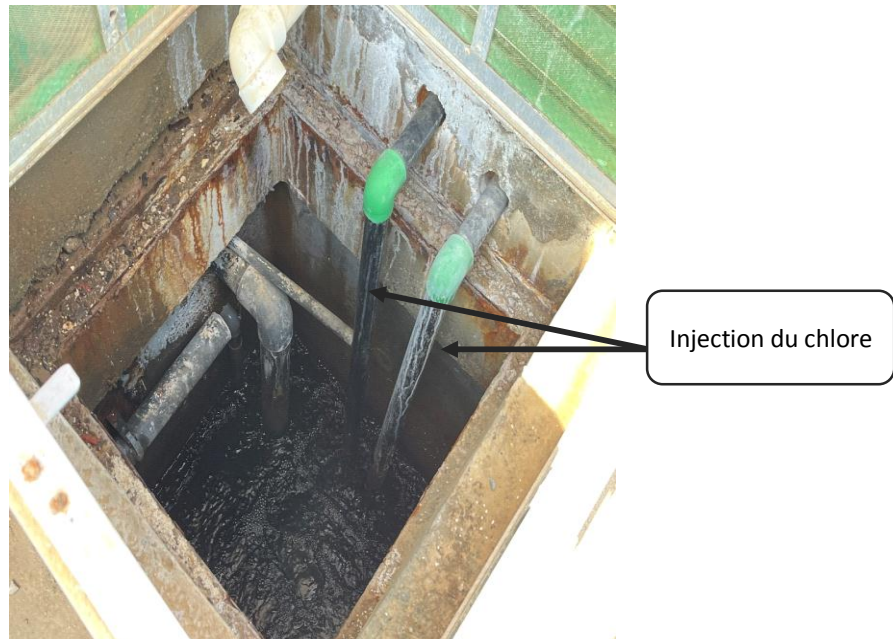


Figure I-15 : Désinfection et stockage de l'eau traitée

2.2.6 Étapes de traitement des boues

Les boues générées lors du traitement de l'eau proviennent principalement des décanteurs et du lavage des filtres.

a. Concentration des eaux de lavage

Les eaux issues du lavage des filtres contiennent des particules en suspension. Elles sont d'abord acheminées vers le dessableurs, où les matières les plus lourdes se déposent.(voir la figure I.16 et I.1è)

b. Regroupement des boues

Les boues extraites des décanteurs sont ensuite mélangées aux eaux concentrées des filtres. Ce mélange homogénéisé permet une gestion optimisée du traitement des boues.

c. Épaississement des boues

Le mélange est dirigé vers des épaisseurs (voir la figure I.18), où une décantation supplémentaire a lieu afin de réduire la teneur en eau des boues et d'augmenter leur concentration.

d. Stockage des boues

Une fois épaissies, les boues sont pompées vers une lagune de stockage, où elles sont entreposées avant d'être éventuellement traitées ou évacuées selon les besoins. [3]

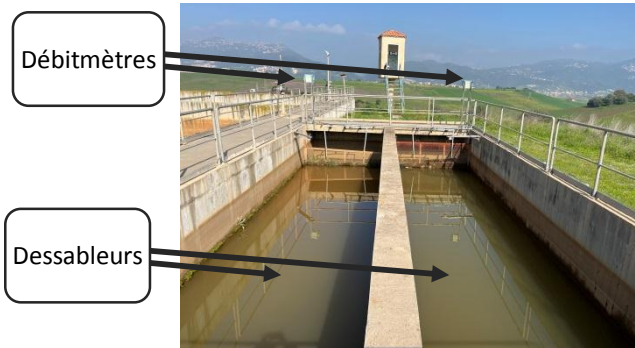


Figure I-16: Dessableurs



Figure I-17 : Bâche des eaux de lavage



Figure I-18 : Epaisseur



Figure I-19: Réservoir

3. Présentation et dosage des réactifs

3.1 Sulfate d'alumine

3.1.1 Ouvrages concernés

Sulfate d'alumine est préparé et dosé dans le bâtiment chimie (15B). Il est injecté au point (M2) dans la Chambre de Dissipation (02).[3]

3.1.2 Utilisation du réactif

Le sulfate d'aluminium cristallisé $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ est utilisé pour la coagulation des matières en suspension très fines et colloïdales contenues dans l'eau brute.

Le produit commercial est livré sous forme solide (poudre) à 17%. Il doit présenter une granulométrie de 0 à 3 mm.

Il est conditionné en big bags d'une tonne ou en sacs de 25 kg. [3]

3.1.3 Préparation

La préparation se fait par bâchée. Le sulfate d'alumine est chargé dans une trémie (4 disponibles) et dissous dans l'eau.

La quantité de produit pour chaque bâchée est déterminée par pesage de la trémie, rapporté au volume utile de la cuve (20 m³).

3.1.4 Dosage et injection

La préparation est injectée par 6 pompes doseuses (3 pour chaque filière).

Pour chaque filière, des taux de traitement appliqués au débit d'eau brute et au débit d'eau de lavage recyclée permettent le calcul du débit nécessaire.

Le nombre et la vitesse des pompes sont réglés de façon à doser le débit calculé.

Après une dilution secondaire dans de l'eau de service, le produit est injecté au point M2 de la chambre de dissipation (02). [3]

• Taux de traitement / Consommation journalière

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal : (voir le tableau I.6)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
20	539	12 940	50	1 348	32 350

Tableau I-6: Dosages estimés au débit d'eau brute Sulfate d'alumine

3.2 Permanganate de potassium

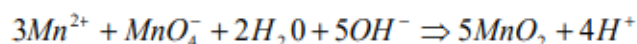
3.2.1 Ouvrages concernés

Le permanganate de potassium est préparé et dosé dans le bâtiment chimie (15B). Il est injecté au point (M2) dans la Chambre de Dissipation (02).[3]

3.2.2 Utilisation du réactif

Le permanganate de potassium KMnO₄ est principalement utilisé pour la précipitation du manganèse si la qualité de l'eau brute le demande.

Le bilan de la réaction est le suivant :



Le dosage théorique (stœchiométrique) est de 1,92 mg KMnO₄/mg Mn. Le dosage réel est plus faible parce que le dioxyde de manganèse (MnO₂) formé a lui-même des propriétés d'adsorption du manganèse. L'efficacité de la réaction augmente avec le pH.

Il peut également être utilisé pour le contrôle des charges organiques, en remplacement du pré chloration. Contrairement au chlore, il ne forme pas de sous-produits et ne crée pas de problèmes de goût et d'odeur.

Le permanganate est livré sous forme de poudre en fûts de 50 kg. [3]

3.2.3 Préparation

La préparation se fait par bâchée. Le permanganate est chargé dans une trémie (2 disponibles) et dissous dans l'eau. La concentration de la solution est déterminée par le nombre de fûts vidés (50 kg chacun) rapporté au volume utile de la cuve (10 m³). [3]

3.2.4 Dosage et injection

La préparation est injectée par 6 pompes doseuses (3 pour chaque filière).

Pour chaque filière, des taux de traitement appliqués au débit d'eau brute et au débit d'eau de lavage recyclée permettent le calcul du débit nécessaire.

Le nombre et la vitesse des pompes sont réglés de façon à doser le débit calculé.

Après une dilution secondaire dans de l'eau de service, le produit est injecté au point M2 de la chambre de dissipation (02). [3]

3.2.5 Taux de traitement / Consommation journalière

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal : (voir le tableau I.7)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
0,5	13,5	326	2,5	67,4	1618

Tableau I-7 : Dosages estimés au débit d'eau brute Permanganate de potassium

3.3 Acide sulfurique

3.3.1 Ouvrages concernés

L'acide sulfurique est stocké et dosé dans le bâtiment chimie (1CA). Il est injecté au point (M2) dans la Chambre de Dissipation (02).

De l'eau acidifiée est préparée pour être utilisée dans la préparation de Charbon Actif en

Poudre (CAP, unité 18B). [3]

3.3.2 Utilisation du réactif

a. Stockage

L'acide sulfurique, de concentration 98% est livré liquide par citerne, pompé et stocké dans des réservoirs.

4 réservoirs, de volume unitaire disponible de 135 m³ sont disponibles pour le stockage.

b. Injection

En M2 – ouvrage d'entrée Dans l'ouvrage d'entrée, l'acide sulfurique H₂SO₄ permet de diminuer le pH après ajout de sulfate d'alumine, la coagulation étant optimale à un pH proche de 6,4 à 7.

6 pompes doseuses (3 pour chaque filière) permettent de doser la quantité d'acide soutirée des cuves de stockage.

L'acide est ensuite dilué avant d'être injecté en M2.

c. Eau acidifiée pour la préparation de CAP

Dans l'unité de préparation de CAP, l'eau de service acidifiée, à un pH de 6,5 environ, permet de réduire les dépôts de CAP sur les parois.

2 pompes doseuses permettent de doser la quantité d'acide soutirée des cuves de stockage. L'eau acidifiée est ensuite dirigée vers l'unité de préparation de CAP.

3.3.3 Taux de traitement / Consommation journalière

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal :(voir le tableau I.8)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
20	539	12 940	40	1 078	25 880

Tableau I-8 : Dosages estimés au débit d'eau brute Acide sulfurique

3.4 Chaux

3.4.1 Ouvrages concernés

La chaux est préparée, sous forme de lait de chaux, et dosée dans le bâtiment 16. Le lait de chaux est injecté dans les réservoirs d'eau traitée (120 et 130).

3.4.2 Usage de la chaux

Toute eau est caractérisée par un pH d'équilibre ou de saturation, pH_s :

- Si le pH est supérieur au pH_s , l'eau est dite incrustée.
- Si le pH est inférieur au pH_s , l'eau est dite agressive.

Une eau incrustée précipite le calcaire et dépose une couche de calcaire sur les parois des conduites, jusqu'à éventuellement les obstruer partiellement. Une eau agressive attaque le calcaire en solubilisant les carbonates sous forme de bicarbonates. Elle est responsable de la corrosion des conduites.

Idéalement, le pH doit être égale au pH_s , ni incrustée, ni agressive.

L'injection de lait de chaux permet de modifier les caractéristiques de l'eau, de façon à ce que le pH soit aussi proche que possible du pH_s , ou légèrement supérieur. En pratique, l'injection de chaux sera réglée pour obtenir $pH = pH_s + 0,2$. [3]

3.4.3 Forme chimique

Le réactif utilisé est de la chaux éteinte, ou chaux hydratée : $Ca(OH)_2$. Le produit est livré sous forme de poudre en vrac (remplissage direct des silos) ou par sacs de 25kg à vider manuellement. [3]

3.4.4 Préparation et dosage du lait de chaux

La chaux est chargée dans les silos (4 silos de 200 m³ chacun) et diluée dans de l'eau de service. Le lait de chaux ainsi préparé est pompé par des pompes doseuses. Le lait de chaux est injecté dans les conduites de refoulement de pompes d'eau traitée, subissant une dilution secondaire.

La solution est ensuite injectée dans les réservoirs d'eau traitée. De façon à assurer un mélange optimal, le point d'injection est au droit des déversoirs de sortie des cuves de contact, dans une zone de forte agitation hydraulique. [3]

3.4.5 Taux de traitement / Consommation journalière

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal :(voir le tableau I.9)

<u>Moyen</u>			<u>Maximal</u>		
g/m^3	kg/h	kg/j	g/m^3	kg/h	kg/j
10	252	6 050	30	756	18 150

Tableau I-9 : Dosages estimés au débit d'eau brute Chaux

3.5 Chlore

3.5.1 Ouvrages concernés

Le chlore est extrait des fûts et dosé dans le bâtiment de chloration (17). De là, il est distribué suivant les besoins :

- Pré-chloration, point d'injection M1, dans la chambre de dissipation (01)
- Inter-chloration, point d'injection M4, dans les canaux d'eau décantée, en sortie de chaque filière de décanteurs (04 et 05)
- Post-chloration, dans les canaux d'eau filtrée, en sortie de chaque filière de filtres (06 et 07) L'eau motrice nécessaire est produite dans la bêche de lavage (08A).

Le système de dosage de chlore est conçu et fourni dans son intégralité par USF - SIEMENS. Le présent manuel n'entrera pas dans le détail de fonctionnement des appareils, déjà couvert par la documentation du fournisseur. [3]

3.5.2 Principe de traitement

La chloration de l'eau se déroule en trois étapes essentielles :

a. Pré-chloration

Elle améliore la qualité et la filtrabilité de l'eau en aidant la coagulation. Son rôle principal est la destruction des micro-organismes (algues, bactéries, planctons) qui peuvent se développer dans les ouvrages et entraîner des remontées de boues dans les décanteurs. Elle permet également l'oxydation des matières organiques et de l'ammoniaque, tout en réduisant les goûts et la coloration de l'eau. Pour être efficace, une faible quantité de chlore libre doit être présente dans l'eau brute.

b. Inter-chloration

Cette étape a des objectifs similaires à la pré-chloration mais avec un effet désinfectant supplémentaire, notamment pour le média filtrant, afin d'assurer une meilleure qualité microbiologique de l'eau.

c. Post-chloration

Essentielle pour la désinfection finale, elle permet d'éliminer les microbes dangereux, même si l'eau paraît limpide. Le chlore, utilisé en faible dose, agit en détruisant les enzymes vitales des germes microbiens. Le dosage du chlore est ajusté en fonction de la température :

légèrement inférieur au "test" si elle est inférieure à 10°C et légèrement supérieur si elle dépasse 15°C.

3.5.3 Taux de traitement / Consommation journalière

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal: (voir le tableau I.10, I.11 et I.12)

a. Pré-chloration (M1)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
1,5	40,4	970	3	80,9	1 941

Tableau I-10 : Dosages estimés au débit d'eau brute Pré-chloration M1

b. Inter-chloration (M5)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
1,5	40,4	970	3	80,9	1 941

Tableau I-11: Dosages estimés au débit d'eau brute Inter-chloration M5

c. Post-chloration (M6)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
1	25,2	605	3	75,6	1 815

Tableau I-12 : Dosages estimés au débit d'eau brute Post-chloration M6

3.5.4 Soutirage de chlore

a. Soutirage

Le chlore liquide est stocké dans des fûts, avec deux lignes de deux fûts chacune. Un fût est en soutirage tandis que l'autre est en attente, avec un changement automatique. La pression dépend de la température (6 bar à 20°C, 8 bar à 30°C, 10 bar à 40°C). Lorsque le chlore devient gazeux, la pression chute rapidement en dessous de 30 kg de contenu. [3]

b. Évaporateur

Le chlore liquide passe en phase gazeuse grâce à un évaporateur, qui utilise un bain d'eau chauffé à 71°C par des résistances contrôlées par un thermostat. Des alarmes se déclenchent si la température dépasse 82°C ou descend sous 60°C. La capacité d'évaporation est de 200 kg/h. Une vanne de détente régule la pression et empêche la présence de chlore liquide après ce point. Des pré régulateurs maintiennent une pression négative vers les chloromètres. [3]

c. Chloromètres

Les chloromètres mesurent et régulent le débit de chlore grâce à un rotamètre et un positionneur automatique. Ils disposent de dispositifs de sécurité empêchant les surpressions et le retour d'eau. Le chlore dilué est dirigé vers : [3]

- La chambre de dissipation pour la pré-chloration,
- Le canal d'eau décantée pour l'inter-chloration,
- Les cuves de contact pour la post-chloration.

d. Pompes d'eau motrices et hydroéjecteurs

L'hydro-éjecteur mélange le chlore gazeux avec l'eau par effet Venturi, générant une dépression qui aspire le chlore. Les pompes d'eau motrice assurent le débit nécessaire. Si elles s'arrêtent, l'injection de chlore ne peut pas se faire. [3]

3.5.5 Neutralisation des fuites de chlores

Les fuites de chlore sont détectées par des capteurs spécifiques qui déclenchent des alarmes sonores et visuelles et activent automatiquement le système de neutralisation.

Ce système fonctionne en mettant en contact l'air contaminé avec une solution de soude caustique (NaOH), neutralisant ainsi le chlore selon la réaction :

$$\text{Cl}_2 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O}$$

Les produits formés (NaCl et NaOCl) sont dissous dans la solution de soude, empêchant toute émission de chlore dans l'atmosphère. L'installation de Taksebt est dimensionnée pour neutraliser une fuite totale d'un tank d'une tonne. [3]

3.6 Charbon en poudre (CAP)

3.6.1 Ouvrages concernés

Le charbon actif en poudre (CAP) est préparé, dilué avec de l'eau acidifiée produite par l'unité de dosage d'acide sulfurique (15C) et dosé dans le bâtiment de préparation des réactifs (18A pour le CAP). Il est injecté en M2 dans la chambre de dissipation (01) ou en M5 dans le canal d'eau décantée (04 et 05). [3]

3.6.2 Usage du CAP

Le charbon actif en poudre permet de retenir les micropolluants. Son action permet le contrôle du goût et des odeurs.

L'action du CAP se base sur son pouvoir d'adsorption, c'est-à-dire la capacité à fixer des ions et des molécules (gaz, molécules organiques, etc.), sans que de réaction chimique à proprement parlé n'ait lieu. La structure des particules de CAP présente un grand nombre de porosité, donc une très grande surface spécifique, où l'adsorption a lieu.

Dans le cas de la STE Taksebt, son rôle est de contrôler le goût, et l'odeur de l'eau, en captant des micropolluants, principalement d'origine organique. [3]

3.6.3 Forme chimique

Le CAP est livré sous forme de big bags. Le CAP est obtenu par traitement thermique de matériaux riches en carbone tels que le charbon, la lignite, le bois.

3.6.4 Taux de traitement / Consommation journalier

a. Injection à l'ouvrage d'entrée (M2): (voir le tableau I.13)

<u>Moyen</u>			<u>Maximal</u>		
g/m^3	kg/h	kg/j	g/m^3	kg/h	kg/j
10	270	6 470	20	539	12 940

Tableau I-13: Dosages estimés au débit d'eau brute CAP M2

b. Injection dans le canal d'eau décantée (M5):(voir le tableau I.14)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
5	135	3 235	10	270	6 470

Tableau I-14 : Dosages estimés au débit d'eau brute CAP M5

3.6.5 Préparation et dosage

Les big bags sont vidés dans de trémies et mélangés à l'eau de service acidifiée dans des cuves de préparation. Le CAP est insoluble et maintenu en suspension dans des cuves de stockage. La solution est pompée et dosée par des pompes doseuses, puis injectée :

- En M2 : à l'entrée de la chambre de mélange
- En M4 : dans les conduites de refoulement de pompes de dilution secondaire, qui injectent le produit dans les canaux d'eau décantée. [3]

En M2, le mélange est assuré par le passage dans les chicanes de la chambre de mélange. En M3, le mélange est assuré par la dilution secondaire à haut débit (agitation hydraulique).

3.7 Polymère**3.7.1 Ouvrages concernés**

Le polymère est préparé dans deux bâtiments, pour des usages distincts :

- **Ligne eau** : préparation et dosage dans le bâtiment 18, pour injection dans les chambres de répartition (31 et 32, injection en M3) et/ou dans les canaux de by-pass des décanteurs (3A et 3B, injection en M5).
- **Ligne boues** : préparation et dosage dans le bâtiment 26, pour injection au dessableur (24, injection en M8) et épaisseurs (27, injection en M9)

3.7.2 Usage du polymère

Le polymère est un flocculant, permettant d'agréger les particules fines en floccs de taille supérieure, plus facile à décanter.

- M3 : le polymère permet d'agréger les colloïdes et particules fines coagulées pour

décantation dans les PULSATUBE.

- M5 : le polymère permet d'agréger les colloïdes et particules fines coagulés pour éviter qu'elle reste en suspension au-dessus des filtres, et pour faciliter leur capture au travers des filtres.

- M8 : formation de floccs de boue pour améliorer la décantation

- M9 : formation de floccs de boue pour améliorer la décantation

3.7.3 Taux de traitement / Consommation journalière (Polymère Eau)

a. Injection dans les déversoirs de répartition vers les décanteurs (M3)

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal : (voir le tableau I.15)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
0,1	2,7	65	0,25	6,7	162

Tableau I-15: Dosages estimés au débit d'eau brute Polymère M3

b. Injection dans les canaux de by-pass des décanteurs (M5)

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal : (voir le tableau I.16)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
0,02	0,5	13	0,05	1,3	32

Tableau I-16 : Dosages estimés au débit d'eau brute Polymère M5

3.7.4 Taux de traitement / Consommation journalière (Polymère Boue)

a. Injection en sortie des dessableurs (M8)

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal : (voir le tableau I.17)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
0,05	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4

Tableau I-17 : dosages estimés au débit d'eau brute Polymère boue M8

b. Injection en épaissement (M9)

Dosages estimés, au débit d'eau brute nominal :(voir le tableau I.18)

Moyen			Maximal		
g/m ³	kg/h	kg/j	g/m ³	kg/h	kg/j
0,2*	0,2	5	0,4*	0,4	10

Tableau I-18: dosages estimés au débit d'eau brute Polymère boue M9

3.7.5 Préparation et dosage de polymère

La préparation et le dosage du polymère pour le traitement des eaux de lavage (injection M8) et les épaisseurs (injection M9) est fait dans un bâtiment spécifique.

Le polymère est livré sous forme de poudre stockée en sacs. Ces sacs sont vidés manuellement dans les trémies des bacs de préparation, à l'aide de monorail et de palan pour la ligne eau. Le polymère y est dissous dans l'eau. La solution à injecter est extraite par des pompes doseuses, permettant d'ajuster précisément la quantité de polymère injectées.

En sortie des pompes doseuses, la solution subit une dilution secondaire avec de l'eau de service. Cette dilution permet de réduire la viscosité du mélange et de faciliter ainsi le mélange avec les boues à traiter.

Les points d'injection sont choisis pour fournir une agitation hydraulique facilitant le mélange, ou bien une source d'agitation mécanique est présente :

- M3 : injection au droit des déversoirs de répartition
- M5 : injection au droit des canaux de mesure Parshall avec agitation mécanique par les flocculateurs
- M8 : injection au droit des déversoirs de sortie des pièges à sable
- M9 : injection dans le répartiteur, en amont des épaisseurs.

4. Equipement auxiliaires

4.1 Production d'eau de service

L'eau de service est prélevée depuis la chambre de sortie du réservoir d'eau traitée et distribuée sous pression grâce à un groupe de pompage autonome. Ce réseau est essentiel

pour l'alimentation en eau potable des bâtiments, le nettoyage des installations, l'extinction des incendies et la dilution des réactifs. Le système est composé de quatre pompes à vitesse variable contrôlées par des variateurs de fréquence, permettant une régulation automatique de la pression à 4,5 bars. Un ballon anti-bélier est intégré pour limiter les coups de bélier dus aux variations de débit. L'exploitation implique un suivi régulier des débits et des pressions, ainsi qu'un entretien préventif incluant la vérification de l'étanchéité des conduites et des clapets, le contrôle des capteurs et la maintenance des pompes pour assurer un fonctionnement optimal et éviter les arrêts non planifiés. [3]

4.2 Production d'air comprimé

Un réseau d'air comprimé est utilisé pour le fonctionnement des équipements pneumatiques, notamment les vannes des décanteurs et filtres ainsi que le dépoussiérage des dessacheuses de chaux. L'air est produit par un groupe de compresseurs autonomes, comprenant deux unités fonctionnant en alternance pour assurer une pression stable entre 8 et 10 bars. Chaque compresseur est équipé d'un sécheur d'air et d'un système de filtration avec purge automatique pour éliminer l'humidité et l'huile. L'air comprimé est ensuite distribué à travers un réseau où la pression est réduite à 6 bars pour les différents équipements. Un pressostat de sécurité active un second compresseur en cas de baisse de pression critique (7,5 bars). L'exploitation quotidienne inclut le contrôle des pressions et des alarmes, tandis que la maintenance préventive vise à assurer la fiabilité du système en vérifiant l'étanchéité des conduites, la purge des réservoirs et le bon fonctionnement des compresseurs. [3]

4.3 Unité de traitement des eaux usées

L'unité de traitement gère les eaux usées domestiques et celles issues du bâtiment de chloration. Elle est conçue pour un débit moyen de 100 m³/j et repose sur un procédé en trois étapes :

a. Prétraitement mécanique : une décantation primaire élimine les matières solides dans une fosse multi-chambres.

b. Traitement biologique : des bios disques rotatifs favorisent la croissance d'un biofilm bactérien qui dégrade les polluants organiques. Ce système alterne immersion et exposition à l'air, optimisant ainsi l'oxygénation et l'épuration de l'eau.

c. Clarification finale : les boues en suspension sont séparées par un décanteur Lamellaire. Les boues sont ensuite extraites et recyclées. L'exploitation inclut un suivi rigoureux du bon fonctionnement des équipements, des inspections régulières de la biomasse et de la qualité des effluents. La maintenance consiste à nettoyer les décanteurs, vérifier les niveaux de boues et ajuster les paramètres des pompes et bio disques pour maintenir un rendement optimal.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'entreprise SEAAL, en mettant en avant son rôle, son organisation ainsi que les différentes étapes du traitement de l'eau. Nous avons également évoqué les principaux produits chimiques utilisés au cours de ce processus. Cette première approche permet de mieux comprendre le fonctionnement global de la chaîne de traitement.

Dans le chapitre suivant, nous nous concentrerons plus en détail sur la gestion des produits chimiques, en particulier le charbon actif. Nous aborderons les différentes étapes liées à sa préparation, son dosage, son injection, ainsi que le rinçage, sans oublier les équipements spécifiques utilisés à chaque phase.

Chapitre II

**Présentation du
fonctionnement de l'unité de
traitement du Charbon actif
en poudre**

Introduction

Le charbon actif en poudre (CAP) est un matériau adsorbant largement utilisé dans le traitement de l'eau pour éliminer les polluants organiques, les micropolluants et les substances responsables des goûts et des odeurs indésirables. Grâce à sa grande surface spécifique et à sa porosité élevée, il piège efficacement les contaminants. Contrairement au charbon actif en grains (CAG), qui nécessite une régénération, le charbon actif en poudre (CAP) est directement dispersé dans l'eau puis éliminé par décantation ou filtration.

Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail l'unité de préparation, de dosage et d'injection du charbon actif en poudre, en décrivant les différentes étapes du processus, les équipements utilisés ainsi que les précautions de sécurité associées.

1. Présentation de la procédure du poste de traitement du CAP

Le traitement du charbon actif en poudre (CAP) suit une séquence bien définie afin d'assurer son efficacité dans l'élimination des polluants. Le processus débute par le dépoussiérage, une étape essentielle permettant de limiter la dispersion des particules fines et de garantir des conditions de travail sécurisées. Ce dépoussiérage se poursuit tout au long du cycle, en parallèle des autres opérations. Une fois cette phase enclenchée, la préparation de CAP commence : le charbon est mélangé à une quantité précise d'eau acidulée afin de former une solution homogène, prête à être injectée. Le dosage du CAP est réalisé de manière automatique par l'automate en fonction des besoins du traitement. Une fois la solution prête, elle est dirigée vers le système d'injection, où elle est introduite dans l'eau à traiter, garantissant ainsi une absorption efficace des polluants. Enfin, la phase de rinçage intervient selon trois modes : immédiatement après l'injection, à intervalles réguliers selon un délai programmé, ou encore manuellement par un ingénieur responsable en actionnant un bouton de commande. Ce rinçage permet de nettoyer les circuits d'injection et d'éviter tout encrassement du système. L'ensemble de ces étapes assure un fonctionnement optimal du poste de traitement du CAP.

2. L'eau de dilution

Le charbon actif en poudre (CAP) ne peut pas être injecté directement sous sa forme sèche, car il risquerait de mal se disperser et de perdre en efficacité. Pour éviter ce problème, il est d'abord mélangé à une solution appelée eau de dilution, composée d'eau et d'acide. L'ajout d'acide dans cette eau permet d'empêcher la formation de particules trop fines et favorise la formation d'une suspension homogène. Cette solution d'eau acidifiée améliore la stabilité du mélange et optimise les propriétés d'adsorption du charbon actif. En assurant une bonne dispersion du CAP, cette préparation facilite l'ensemble du processus de traitement et garantit une meilleure interaction entre le charbon et les polluants présents dans l'eau.

3. Fonctionnement de l'unité de traitement du CAP

L'installation se compose de 4 stations qui définissent l'unité de fonctionnement du charbon actif en poudre (voir la figure II.1)

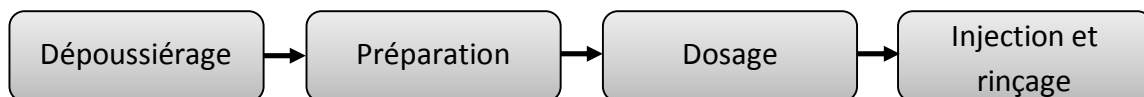


Figure II-1: Schéma de Fonctionnement de l'unité de traitement du CAP

3.1 Dépoussiérages

3.1.1 Définition

Un dépoussiéreur est un dispositif industriel utilisé pour limiter la dispersion des poussières, notamment lors du déchargement de big-bags et du stockage de produits. L'air chargé en particules est dirigé vers un filtre dépoussiéreur, où les poussières sont collectées dans un panier équipé d'un détecteur de niveau haut. Pour des raisons de sécurité, le dépoussiéreur est muni d'un ballon de surpression associé à un capteur de pression : en cas de détection d'une pression élevée, signalant un début d'explosion, ce ballon libère un gaz sous pression afin d'éliminer l'oxygène nécessaire à la combustion. Un compresseur assure le décolmatage du filtre ainsi que le mouvement des vannes pneumatiques des conduites d'aspiration. (Voir la figure II.2). [3]



Figure II-2 : L'unité de dépoussiérage

3.1.2 Descriptions des équipements

a. Conduites de collecte des poussières connectées aux trémies et à la cuve de stockage

Permettant d'aspirer et de transporter les particules de poussière vers un système de filtration. Elles jouent un rôle essentiel dans le contrôle de la dispersion des poussières en assurant leur captation et leur évacuation vers un dépoussiéreur, contribuant ainsi à la propreté et à la sécurité de l'environnement de travail. (Voir la figure II.3). [4]

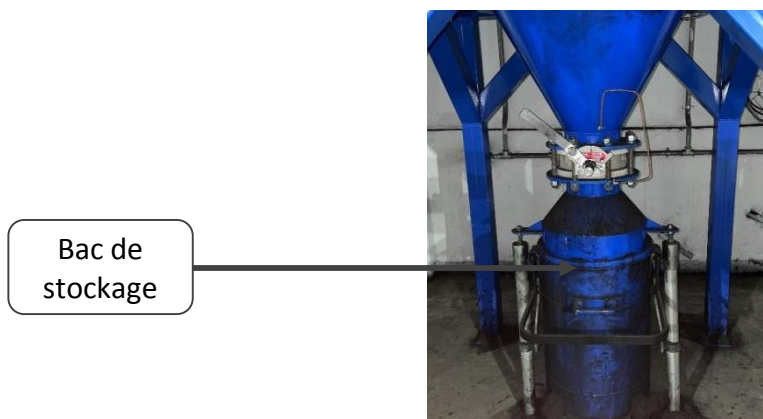


Figure II-3 : stockage des poussières

b. Ventilateur d'aspiration 18ACV004

Est un dispositif mécanique utilisé pour créer un flux d'air permettant d'extraire les poussières, les fumées ou les gaz d'une zone spécifique. Il est généralement intégré à un système de dépolluissage ou de ventilation afin d'améliorer la qualité de l'air en captant et en évacuant les particules indésirables vers un dispositif de filtration ou de rejet sécurisé. (Voir la figure II.4) [4]

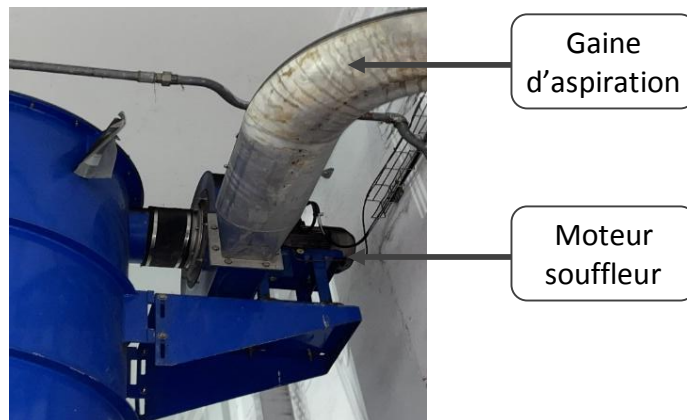


Figure II-4 : Ventilateur d'aspiration

c. Vannes pneumatiques 18AVA022A

Est un dispositif commandé par air comprimé, permettant d'évacuer les poussières depuis la cuve uniquement lors de la vidange, assurant ainsi un contrôle efficace du processus de dépolluissage. (Voir la figure II.5) [4]

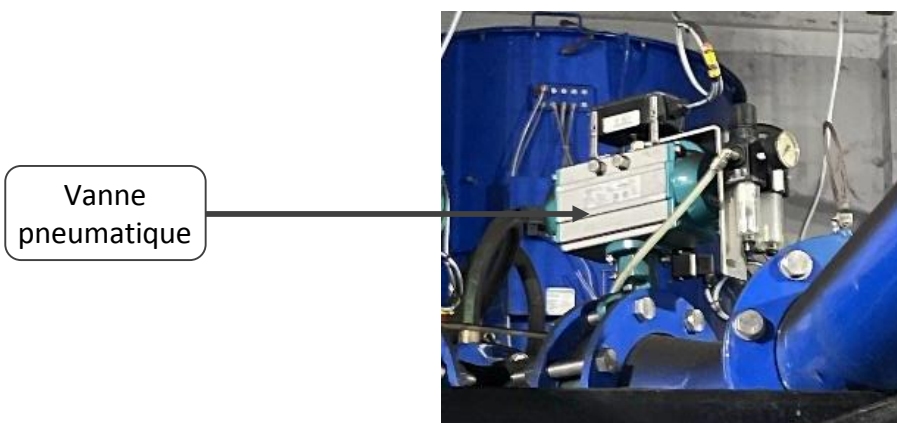


Figure II- 5 : Vannes pneumatiques

d. Filtre dépollueur 18ARF001

Capte et retient les particules de poussière de l'air extrait, limitant leur dispersion et améliorant la qualité de l'air. (Voir la figure II.6) [4]



Figure II-6: Filtre dépollueur

e. Coffret (timer) du décolmatage 18AIC002

C'est un dispositif qui joue un rôle essentiel dans un système de dépolluage, il commande le nettoyage automatique des filtres en envoyant des impulsions d'air comprimé à intervalles réguliers. Cela permet de décoller la poussière qui s'accumule sur les filtres.

f. Compresseur air pour le décolmatage 18AIC004

C'est un équipement qui génère et stocke de l'air sous pression pour alimenter divers dispositifs pneumatiques. [4]

Dans le système de dépolluage, il est utilisé pour le décolmatage du filtre dépollueur et pour actionner les vannes pneumatiques sur les lignes d'aspiration, assurant ainsi l'élimination des dépôts et évitant les obstructions dans les conduites. (Voir la figure II.7)

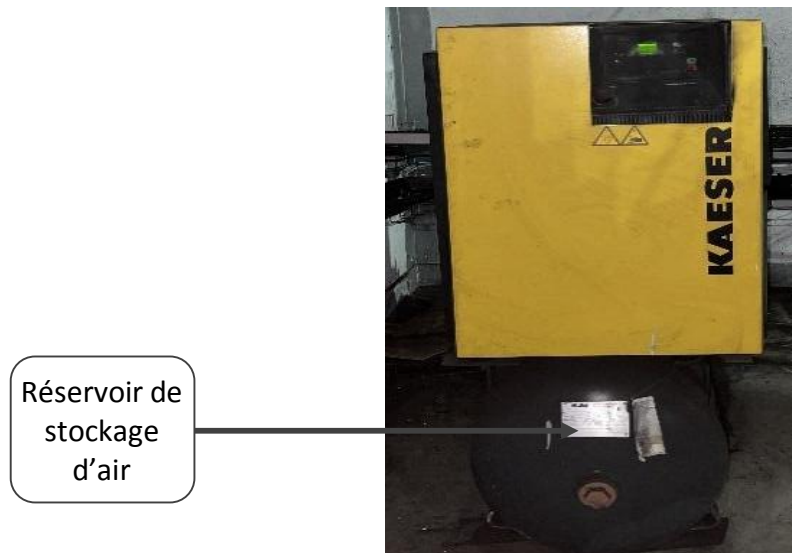


Figure II-7 : Compresseur air pour le décolmatage.

g. Niveau haut cône vidange filtre 18ALSH001

Capteur détectant le niveau maximal de poussière accumulée dans le cône de vidange du filtre, permettant d'éviter les surcharges et d'assurer un vidage efficace. (Voir la figure II.8) [4]

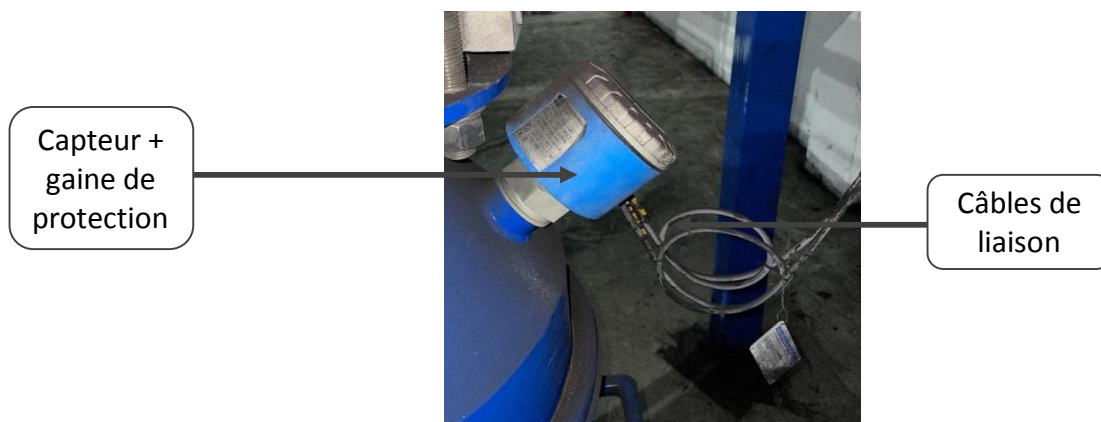


Figure II-8: Capteur détectant le niveau maximal de poussière

h. Coffret contrôle sécurité dépoussiérage 18AIC003

Armoire électrique regroupant les éléments de commande et de sécurité du système de dépoussiérage, garantissant son bon fonctionnement et la prévention des incidents. (Voir la figure II.9) [4]



Figure II-9: Coffret contrôle sécurité dépoussiérage

i. Led (Light Emitting Diode)

(*Diode électroluminescente*) est un composant électronique qui émet de la lumière lorsqu'il est traversé par un courant électrique. Elle est utilisée pour l'éclairage, l'affichage et les signaux lumineux en raison de sa faible consommation d'énergie et de sa longue durée de vie.

j. Temporisateur

Temporisateur est un dispositif, mécanique ou électronique, qui permet de retarder ou de contrôler l'activation ou la désactivation d'un circuit après un temps prédéfini. Il est largement utilisé en automatisme, en électronique et en électrotechnique pour la gestion des délais, la synchronisation des actions et la protection des équipements (Voir la figure II.10)



Figure II-10: Temporisateur

3.1.3 Sélection de Mode d'opérateur

La station de dépoussiérage est constituée des conditions permanentes (**CP**) qui doivent rester actives et disponible tout au long du cycle.

Remarque : tous les capteurs utilisés sont des capteurs **TOR**

Si l'une des conditions permanentes non disponible ou un défaut, on revient à l'étape initiale

- A l'état initial le système est en attente de démarrage du processus

Le groupe de production d'air comprimé fonctionne de manière autonome, pour contrôler l'opération de la vanne et le décolmatage du dépoussiéreur.

- La vanne d'aspiration **VA** s'ouvre en cliquant sur le bouton départ cycle (**DCY**).
- Marche du ventilateur **V** quand le capteur **VAH** (fin de course ouvert de la vanne d'aspiration) est activé pour aspirer les poussières présentes dans les conduites.
- Début du décolmatage automatique du dépoussiéreur **CTD**.
- Le voyant du vidage autorisé s'allume (**LED**) pour autorisation de procéder à la préparation et l'injection du CAP.
- Démarrage d'une temporisation T1 (T1= 3h).
- Lorsque **T1** est écoulé, fin du décolmatage automatique du dépoussiéreur, retour marche **MCTD** sera désactivé ainsi que la **LED**.
- Arrêt du ventilateur, capteur **MV** (marche ventilateur) désactivé.
- Enfin vanne d'aspiration fermée, qui sera confirmé par capteur fin de course fermé (**VAL**).

Lorsque l'on clique sur le bouton **AR_DEP**, seul le système de dépoussiérage s'arrête, tandis que les autres parties du processus (préparation et injection) continuent de fonctionner normalement. En revanche, si l'on appuie sur le bouton arrêt d'urgence totale **AUT**, l'ensemble du processus s'interrompt immédiatement : le dépoussiérage, la préparation et l'injection sont tous arrêtés pour des raisons de sécurité.

Les conditions permanentes

- Disponibilité du ventilateur
- Disponibilité de vanne d'aspiration

- Disponibilité de compresseur air
- Pas de défaut coffret timer
- Niveau haut cône filtre non activé

3.2 Préparation

3.2.1 Définition

La préparation est dédiée à la formulation d'un produit chimique avant son injection dans la chambre de dissipation ou dans le canal d'eau décantée. Elle est composée d'une cuve de 72 m³ équipée d'un système de vidange, de détection de niveau, de vannes motorisées pour l'alimentation en eau acidifiée et d'agitateurs pour assurer un mélange homogène. Grâce à ces équipements, la station garantit une préparation efficace et un dosage précis du réactif chimique. (Voir la figure II.11)

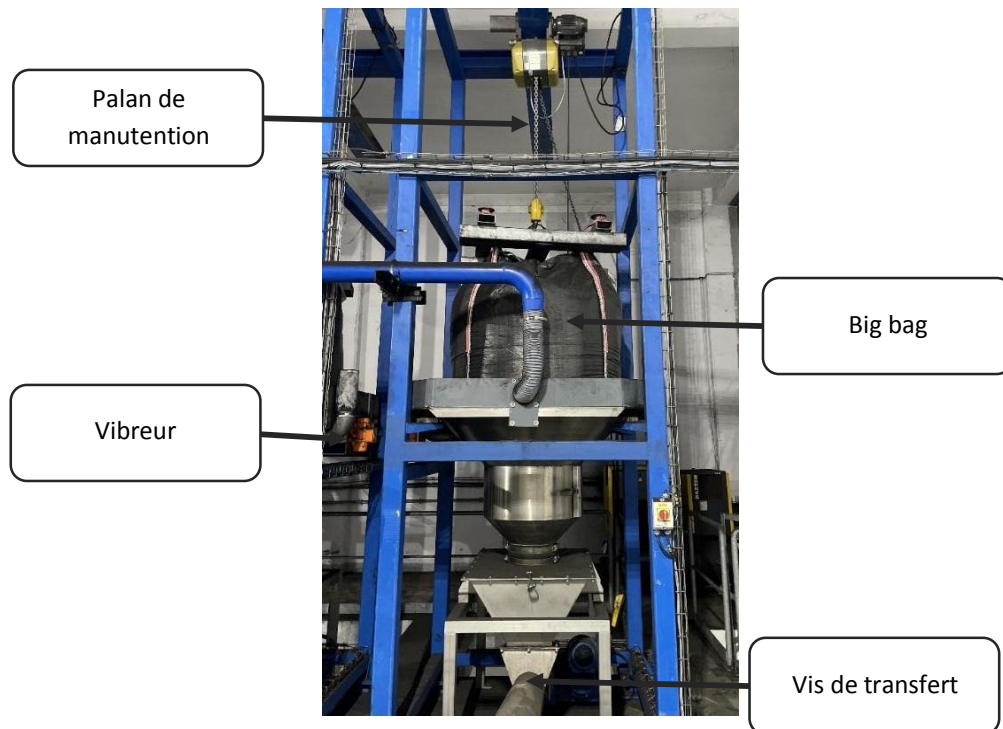


Figure II-11 : Préparation

3.2.2 Description des équipements

a. Palan de manutention (18ATL001A)

Dispositif motorisé permettant de soulever et déplacer les charges lourdes, utilisé ici pour la manutention des big-bags contenant le produit chimique. (Voir la figure II.12)

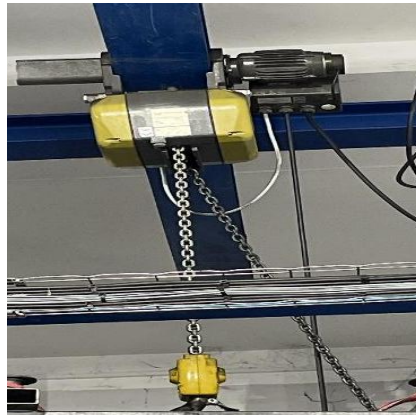


Figure II-12: Palan manutention

b. Vibreur stand de vidange big-bag (18AQG002A)

Équipement générant des vibrations pour faciliter l'écoulement du produit chimique en poudre ou granulé à partir du big-bag vers la trémie tampon. (Voir la figure II.13)

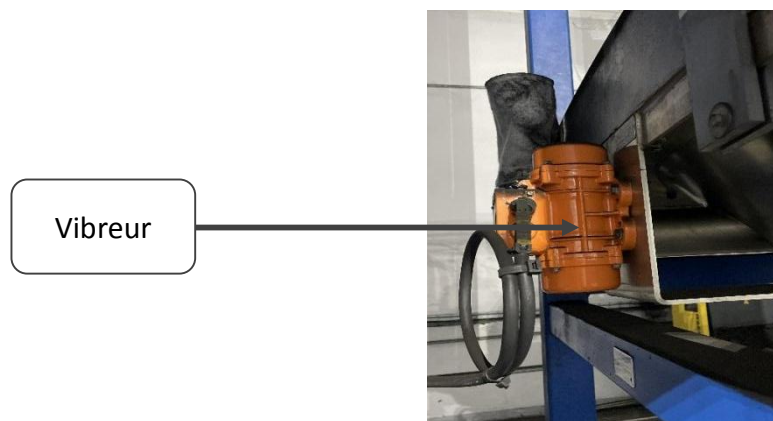


Figure II- 13 : Vibreur stand de vidange big-bag

c. Vis de transfert CAP stand de vidange big-bag (18AQD001A)

Dispositif mécanique permettant d'acheminer de manière contrôlée le produit chimique du stand de vidange vers la cuve de préparation. (Voir la figure II.14)

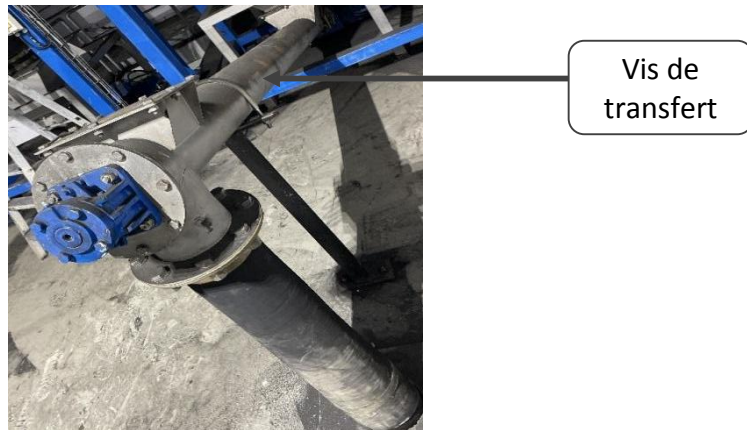


Figure II-14 : Vis de transfert CAP stand de vidange big-bag

d. Vanne d'eau de service (18AVM002, motorisée)

Est une vanne motorisée qui permet de réguler l'alimentation en eau de service acidifiée pour la préparation du mélange. (Voir la figure II.15)

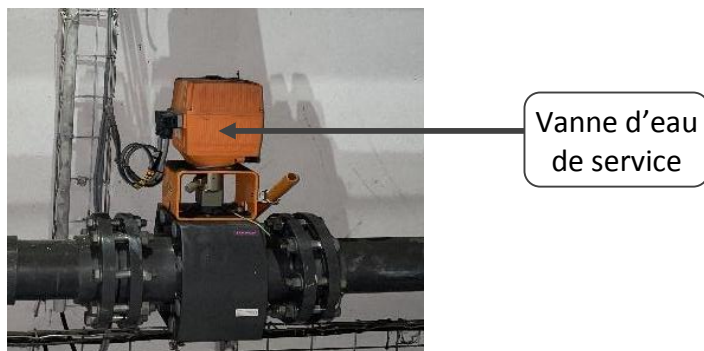


Figure II-15 : Vanne d'eau de service motorisée

e. Agitateur cuve de CAP (18AAG001A)

Dispositif mécanique équipé d'une hélice tournant à vitesse contrôlée, garantissant une homogénéisation efficace du mélange dans la cuve de préparation. (Voir la figure II.16)



Figure II-16 : Agitateur cuve de CAP

f. Transmetteur de niveau Ultrason :

Système de détection de niveau permettant de surveiller le volume de la solution dans la cuve et d'assurer un dosage précis. (Voir la figure II.17)



Figure II-17 : Transmetteur de niveau et La sonde

g. Trémie tampon de 72 m³

Réservoir intermédiaire servant à stocker temporairement le produit avant son transfert vers la cuve de préparation.

h. Détecteur de présence de produit (DPP)

Capteur permettant de vérifier la présence du produit chimique dans la trémie ou la vis de transfert afin d'éviter toute interruption du processus. (Voir la figure II.18).

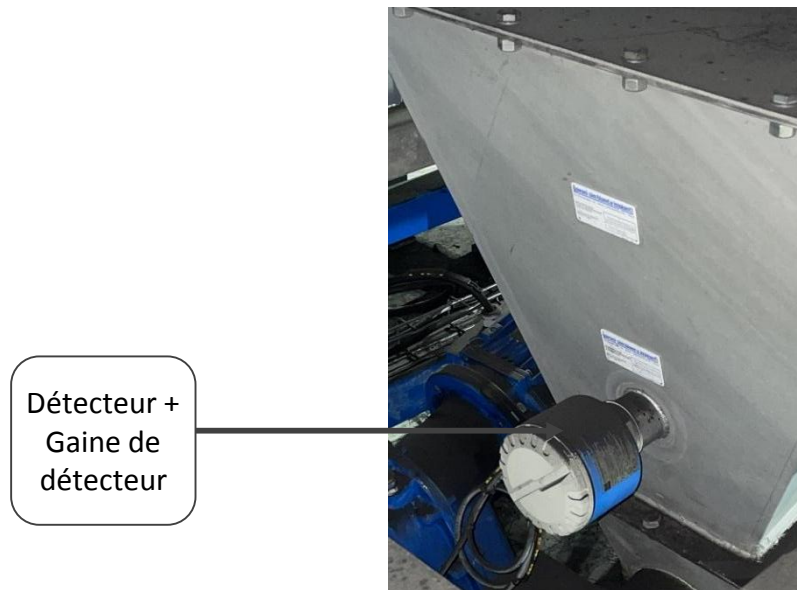


Figure II-18 : Détecteur de présence de produit

i. Cuve

Réservoir de grande capacité où se déroulent la préparation et l'homogénéisation de la solution chimique avant son injection dans le processus de traitement de l'eau.

3.2.3 Sélection de Mode opératoire

La préparation du charbon actif en poudre (CAP) ne démarre que si toutes les conditions permanentes sont satisfaites. A l'état initial le système est en attente de lancement de préparation.

Le lancement du processus peut se faire en **Démarrage normal** : En appuyant sur le bouton **LP** (Lancement de la Préparation), à condition que les conditions initiales et permanentes soient activées.

Une fois le processus enclenché, le premier remplissage commence :

- La vanne **VES** (Vanne d'Eau de Service) s'ouvre.
- Le capteur de fin de course **VH** s'active, confirmant ainsi que la vanne est bien ouverte.
- Lorsque le niveau **LSL** (niveau bas) s'active l'agitateur se met en marche.
- L'eau remplit la cuve jusqu'au niveau **LSM** (Niveau Moyen).
- Lorsque **LSM** est atteint, **VES** se ferme, et le capteur **VL** s'active pour confirmer la fermeture de la vanne.

Après cette étape, la poudre de charbon actif est ajoutée :

- Lorsque le **Big Bag** est mis en place, le détecteur de présence de poudre (**DPP**) s'active automatiquement.
- La vis de transfert (**VIST**) et le vibreur (**VIB**) se mettent en marche pour verser la poudre dans la cuve.
- Une fois toute la poudre versée et **DPP** désactivé (ne détectant plus de poudre), **VIST** et **VIB** s'arrêtent.

Le second remplissage démarre alors automatiquement :

- **VES** s'ouvre de nouveau, et **VH** s'active pour confirmer l'ouverture de la vanne.
- L'eau continue de remplir la cuve jusqu'au niveau **LSH** (Niveau Haut).
- Une fois **LSH** atteint, **VES** se ferme, et **VL** (Fin de course fermée) s'active pour confirmer la fermeture de la vanne.
- L'agitateur **AG** se met en arrêt en même temps que la vanne **VES**.

À l'issue de ce processus, le bac est prêt pour le dosage et l'injection du charbon actif.

Lorsque l'on clique sur le bouton **AR_PREP**, seule la préparation s'arrête, tandis que le dépoussiérage et l'injection continuent de fonctionner normalement. En revanche, si l'on appuie sur le bouton arrêt d'urgence totale **AUT**, l'ensemble du processus s'interrompt immédiatement : le dépoussiérage, la préparation et l'injection s'arrêtent simultanément, assurant ainsi un arrêt global pour des raisons de sécurité.

Les conditions permanentes

- Disponibilité de l'agitateur **AG**
- Disponibilité de la vanne d'eau service **VES**
- Pas de défaut électrique vis transfert **VIST**
- Pas de défaut électrique vibreur **VIB**
- Vidange autorisé

Les conditions initiales

- CP+LSLL (Niveau très bas)

Remarque :

- Quand la vanne d'eau de service **VES** s'ouvre le capteur **DEP** qui indique qu'il n'y a pas de défaut au niveau de débit de l'eau de service doit être désactivé

- Si une des conditions permanentes (CP) et les conditions initiales (CI) non disponibles ou un défaut, on revient à l'étape initiale.

3.3. Dosage, Injection et Rinçage

3.3.1. Définitions

a. Dosage

Le dosage est un procédé permettant d'introduire une quantité précise de produit (CAP) dans un flux d'eau pour atteindre une concentration cible. Dans le projet SEAAL, il est assuré par des pompes doseuses péristaltiques qui injectent une solution préparée en fonction des débits mesurés et des taux de traitement définis.

L'alimentation des pompes peut être isolée par vannes motorisées (GF) et électrovannes pour sécuriser le processus. Le contrôle du dosage repose sur des débitmètres électromagnétiques et un calcul automatique du débit injecté, influencé par l'ouverture des vannes et la concentration de la solution.

Calcul du dosage en M2

L'exploitant doit préciser en supervision la concentration C de la solution préparée.

On affecte un taux de traitement TX1 à l'eau brute.

Si seule la vanne 010VM001A est ouverte, les pompes fonctionnent de façon à fournir le débit Q :

$$Q = (010FIT001A \times TX1) / C$$

Calcul du dosage en M4

L'exploitant doit préciser en supervision la concentration C de la solution préparée.

On affecte un taux de traitement TX2 à l'eau décantée.

Les pompes fonctionnent de façon à fournir le débit Q :

$$Q = (\text{somme } 31FIT001A \times TX2) / C$$

b. Injection

L'injection est le processus d'introduction du CAP dans un flux d'eau pour assurer son traitement, l'injection de la préparation de CAP peut se faire directement dans l'ouvrage d'entrée (M2) ou après dilution dans l'eau décantée (M4) pour une meilleure dispersion.

c. Rinçage

Le rinçage est une phase de nettoyage visant à éliminer les résidus de CAP présents dans

les pompes et les conduites. Il est réalisé en remplaçant temporairement la solution de CAP par de l'eau de service acidifiée. Cette opération suit une séquence définie et peut être déclenchée automatiquement ou manuellement via la supervision.

3.3.2. Description des équipements

a. Pompe doseuse péristaltique

Une pompe péristaltique est un dispositif de dosage qui utilise un tuyau flexible compressé par des rouleaux pour acheminer un fluide avec précision, ces pompes assurent l'injection contrôlée de la solution de CAP dans le circuit de traitement (voir la figure II.19). [4]

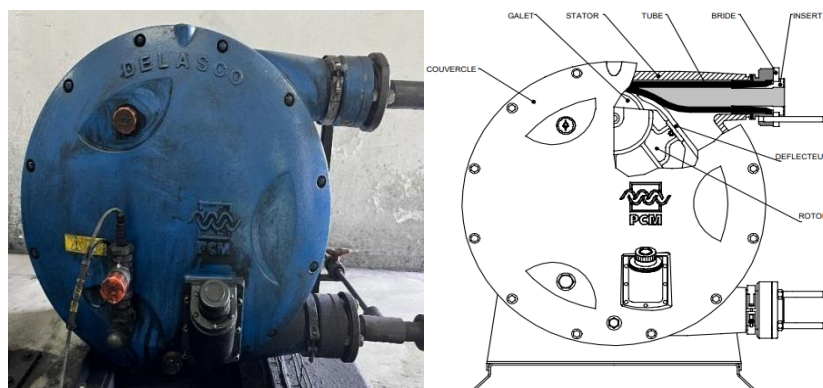


Figure II-19 : Pompe doseuse péristaltique

b. Vanne motorisé CAP

Il s'agit d'une vanne commandée électriquement permettant d'isoler ou d'autoriser l'alimentation en CAP des pompes doseuses. Elle est équipée de détecteurs de position (ouvert/fermé) pour assurer un contrôle sécurisé du circuit (voir la figure II.20).

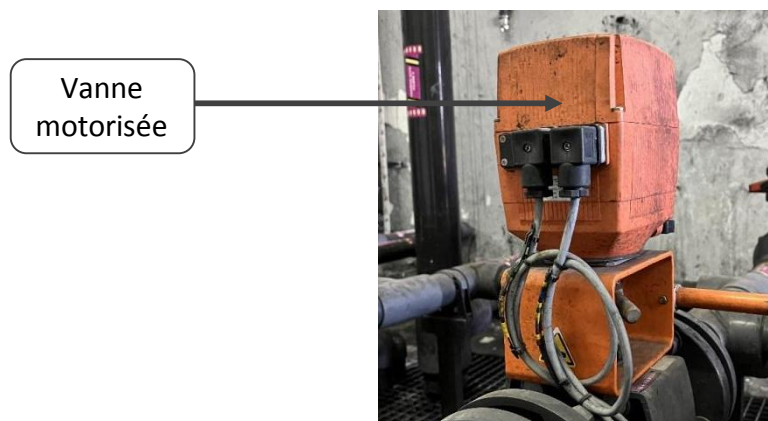


Figure II-20: Vanne motorisée CAP

c. Vanne de rinçage (Eau acidifiée)

Cette électrovanne permet d'acheminer l'eau de service acidifiée vers les pompes doseuses lors de la phase de rinçage. Elle ne s'ouvre que si certaines conditions sont remplies pour éviter un mélange involontaire avec la préparation de CAP.

d. Débitmètre électromagnétique

Cet appareil mesure le débit d'un fluide en exploitant le principe de l'induction électromagnétique. Il est utilisé pour surveiller la quantité de préparation de CAP injectée dans le circuit et garantir un dosage précis (voir la figure II.21).

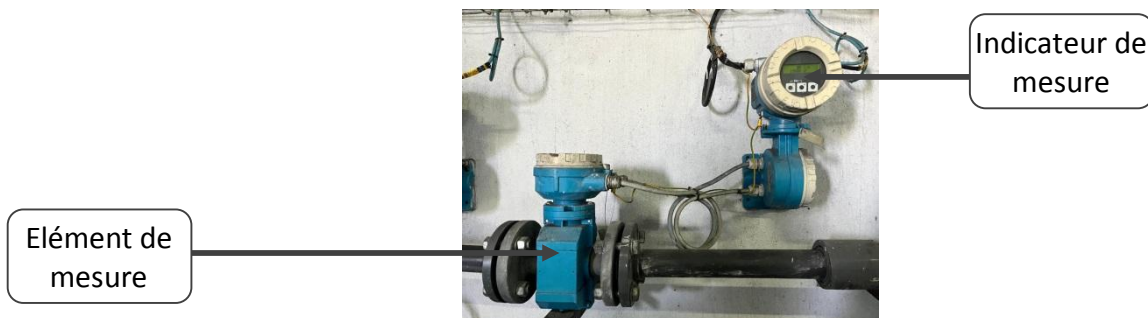


Figure II-21: Débitmètre électromagnétique

e. Détecteur de niveau physique

Capteur permettant de mesurer le niveau d'un liquide dans un réservoir ou une conduite. Il fonctionne par contact direct avec le fluide (flotteur, conductivité, ultrasons, etc.) et permet d'éviter le manque ou le débordement de produit dans un circuit (voir la figure II.22)

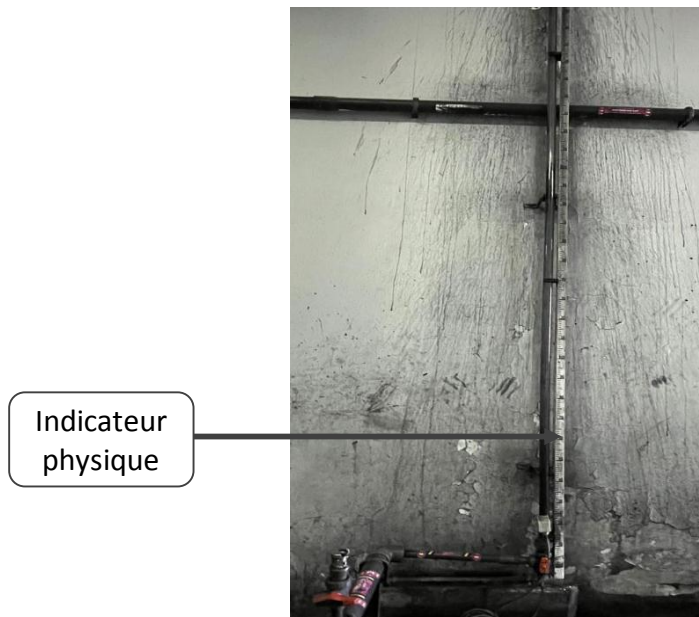


Figure II-22: Indicateur de niveau physique

3.3.3 Sélection de Mode d'opérateur

Dans tous les cas, les pompes doseuses ne démarreront pas si un défaut est détecté sur les équipements de dosage (vannes, pompes, etc.)

Pour démarrer le cycle d'injection et de rinçage, l'opérateur appuie sur le bouton-poussoir **BPDC**, en s'assurant que les conditions permanentes sont maintenues tout au long du cycle et que le niveau bas de la vanne motorisée (**ZSL**) est actif.

Une fois le cycle lancé, la vanne motorisée **VM** s'ouvre. Cette ouverture est confirmée par le capteur de fin de course ouvert (**ZSH**). À partir de ce point, le fonctionnement dépend du débit mesuré.

Si le débit est supérieur à 2800 L :

Les deux pompes doseuses **P1** et **P2** démarrent simultanément pour assurer l'injection du CAP. Les signaux **MP1** et **MP2**, qui représentent les retours de marche des pompes, s'activent pour confirmer leur fonctionnement.

Le cycle d'injection se poursuit jusqu'à ce que l'une des conditions suivantes soit atteinte :

- le niveau bas LSL s'active,
- le temporisateur T5 atteint 2H20 minutes,
- ou l'opérateur appuie sur le bouton-poussoir BP.

Dès lors, les pompes **P1** et **P2** ainsi que la vanne motorisée **VM** s'arrêtent.

Ensuite, la vanne de rinçage **VR** s'ouvre, à condition que le niveau bas **ZSL** soit toujours actif et que **MP1** et **MP2** soient désactivés.

Lorsque la vanne de rinçage atteint sa position ouverte (signal **VRH** activé), les deux pompes redémarrent avec leurs retours de marche (**MP1** et **MP2**), et un temporisateur **T1** de 20 minutes est enclenché.

Une fois le temps écoulé, la vanne de rinçage **VR** se ferme, les pompes **P1** et **P2** s'arrêtent, ce qui est confirmé par le capteur de fin de course fermé (**VRL**), et les signaux **MP1** et **MP2** passent à l'état inactif.

Si le débit est inférieur ou égal à 2800 L :

Le même processus est suivi pour l'injection et le rinçage, à l'exception du mode de fonctionnement des pompes. Dans ce cas, les pompes **P1** et **P2** fonctionnent en alternance selon l'état du mnémonique **M0.0** :

Si **M0.0** est à 1, c'est la pompe **P2** qui démarre ;

Si **M0.0** est à 0 (**M0.0** barre), c'est la pompe **P1** qui se met en marche.

À la fin du cycle, l'état de **M0.0** est inversé pour assurer l'alternance lors du prochain démarrage.

Lorsque l'on clique sur le bouton **AR_INJ**, seule l'injection s'arrête, tandis que le dépoussiérage et la préparation continuent de fonctionner normalement. Ce bouton permet donc un arrêt ciblé uniquement sur l'étape d'injection. Comme pour les autres cas, si l'on appuie sur le bouton arrêt d'urgence totale **AUT**, tout le processus s'arrête immédiatement : le dépoussiérage, la préparation et l'injection sont arrêtés en même temps, assurant ainsi un arrêt complet de l'installation en cas de situation critique.

3.3.4 Régulation du débit des pompes

Les pompes fournissent le débit calculé de préparation de CAP via une régulation PID.

Le débit mesuré par le débitmètre est comparé à la consigne de débit calculée pour la filière la régulation fait varier la commande de vitesse des pompes de façon à se rapprocher du débit de consigne, (voir la figure II.23) [3].

- Si mesure > consigne, alors la commande de vitesse diminue
- Si mesure < consigne, alors la commande de vitesse augmente

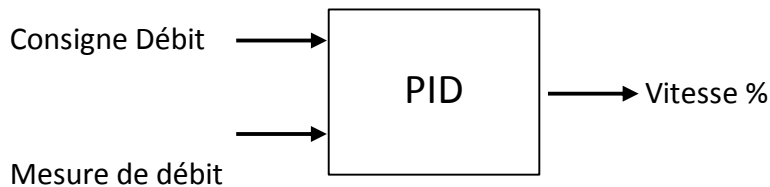


Figure II-23 : Régulation du Débit des pompes

4. Instruction de sécurité

4.1. Consignes générales

L'installation de traitement du charbon actif en poudre (CAP) comporte plusieurs risques potentiels, nécessitant des mesures de prévention strictes : [5]

- **Risques électriques** : possibilité de contact avec des conducteurs sous tension.
- **Risques liés à la manutention des big bags** : manipulation avec un palan pouvant entraîner des chutes d'objets ou des blessures.
- **Risques de chute et de noyade** : notamment en cas d'ouverture accidentelle de la trappe d'accès aux cuves de préparation.

4.2. Risques liés au réactif

Le charbon actif en poudre présente plusieurs risques chimiques et physiques qu'il est essentiel d'anticiper : [5]

- **Inflammabilité** : le CAP est un matériau combustible pouvant s'enflammer sous certaines conditions.
- **Risque d'asphyxie** : une concentration élevée de poussière de CAP dans l'air peut réduire la teneur en oxygène, augmentant ainsi le risque d'asphyxie.
- **Risque d'explosion** : la présence de poussières en suspension dans l'air, en particulier dans des espaces clos (équipements de dépotage et de dépoussiérage), peut provoquer une déflagration en cas d'ignition.

En cas d'accident :

- **Contact avec la peau** : laver immédiatement à l'eau et au savon.
- **Contact avec les yeux** : rincer abondamment à l'eau claire.
- **Inhalation** : déplacer la victime à l'air libre.
- **Ingestion** : faire boire de l'eau et consulter un médecin si nécessaire.

4.3. Accès aux cuves de stockage

Pour assurer la sécurité des interventions dans les cuves de stockage, il est recommandé de :

- Contrôler l'atmosphère avant l'accès et assurer une ventilation forcée si nécessaire.
- Utiliser un moyen d'accès sécurisé (échelle, tripode, etc.).
- Porter un harnais et une ligne de vie pour prévenir les chutes.
- Avoir un surveillant extérieur prêt à intervenir en cas d'urgence.
- Verrouiller l'agitateur pour éviter un démarrage accidentel pendant l'intervention.
- Condamner les vannes d'alimentation en eau et les vannes d'isolement pour éviter un remplissage accidentel. [5]

4.4. Précautions de stockage et de manipulation

- Stocker à l'abri de l'humidité pour éviter toute dégradation du produit.
- Prévoir une ventilation efficace dans les locaux de stockage pour éviter l'accumulation de poussières.
- Éviter tout contact avec des oxydants ou des solvants, qui pourraient réagir avec le CAP.
- Manipuler avec des équipements de protection individuelle (EPI) : masque anti-poussière, gants, lunettes de sécurité et vêtements de protection. [5]

4.5. Mesures en cas de déversement accidentel

- Couper les équipements électriques pour éviter tout risque d'embrasement.
- Éliminer le produit renversé à sec en utilisant des équipements adaptés (aspirateur industriel avec filtre HEPA, balais antistatiques).
- Porter une combinaison couvrante, des gants, des bottes et un masque anti-poussière pour limiter l'exposition.
- Effectuer un nettoyage final à l'eau, en veillant à ne pas obstruer les canalisations avec les résidus.

Le respect strict de ces consignes garantit la sécurité du personnel et le bon déroulement des opérations de traitement du charbon actif en poudre. [5]

Conclusion

L'unité de traitement du charbon actif en poudre (CAP) joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de l'eau au sein de la station. À travers ce chapitre, nous avons détaillé l'ensemble du processus de traitement, depuis la réception et la préparation du produit jusqu'à son injection et le rinçage des circuits.

Dans le prochain chapitre nous allons voir la modélisation de chaque étape de ce processus en utilisant l'outil de modélisation GRAFCET.

Chapitre III

Modélisation du système en utilisant l'outil GRAFCET

Introduction

Dans un contexte industriel où l'automatisation occupe une place prépondérante, il est essentiel de disposer d'outils efficaces pour modéliser et contrôler les systèmes automatisés. Ces systèmes, conçus pour fonctionner de manière autonome, nécessitent une représentation claire afin de faciliter leur compréhension et leur mise en œuvre.

Parmi les différentes méthodes de modélisation existantes, le GRAFCET s'impose comme un outil incontournable en automatisation industrielle. Grâce à sa simplicité et sa capacité à décrire de manière précise l'évolution d'un processus, il permet une meilleure visualisation des enchaînements d'actions et des conditions de transition.

Ce chapitre abordera les principes fondamentaux du GRAFCET avant de l'appliquer à la modélisation de notre système, afin d'en représenter le fonctionnement de manière précise et conforme aux exigences industrielles.

1. Définition du Grafcet

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Étapes/Transitions) est un outil graphique essentiel en automatisation industrielle, utilisé pour modéliser et analyser l'évolution séquentielle d'un système automatisé selon un cahier des charges.

Il repose sur une structure composée d'étapes, représentant les différents états du système, et de transitions, définissant les conditions de passage entre ces états. Associées aux étapes, les actions déterminent le comportement du système, tandis que les réceptivités influencent les transitions. Simple d'utilisation et rigoureux dans sa forme, le GRAFCET facilite la conception, la programmation et la maintenance des machines automatisées.

Il sert également de langage universel permettant d'assurer une communication efficace entre tous les acteurs impliqués dans un projet d'automatisation. Grâce à sa flexibilité, il peut être câblé par séquenceur ou programmé sur automate et ordinateur, assurant ainsi une transition fluide entre la spécification et l'implémentation du système. [6]

2. Éléments de base du grafcet

Le GRAFCET est composé des étapes, des transitions, des liaisons, des actions et des réceptivités, qui interagissent pour représenter le fonctionnement séquentiel d'un système automatisé. (Voir la Figure III.1) [6]

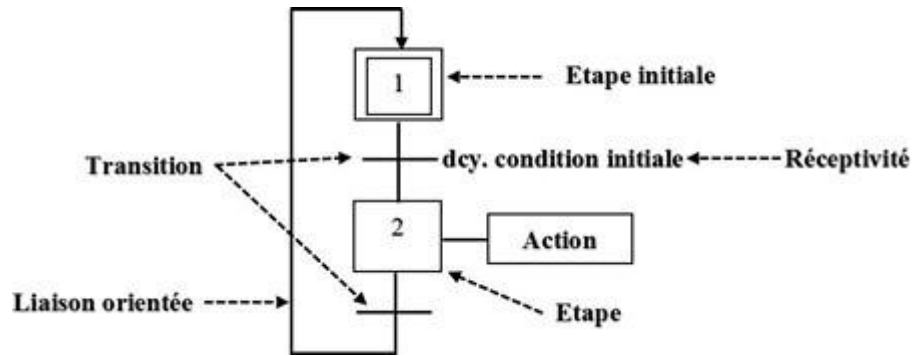


Figure III- 1: Éléments de base d'un grafcet

2.1 Étape : Caractérise un comportement de la partie commande. Elle modélise l'état du système. Elle est représentée par un carré numéroté et peut être active ou inactive. Lorsqu'une étape est active, les actions qui lui sont associées s'exécutent, tandis que si elle est inactive, aucune action ne peut être déclenchée. Pour indiquer les étapes actives à un instant donné, un point est placé dans la partie inférieure des symboles correspondants.

2.2 Étape initiale : Est active dès le début du fonctionnement et se représente par un double carré. Elle correspond à l'état de repos initial du système et s'active automatiquement au lancement du cycle.

2.3 Action : Représente une commande associée à une étape et permet de définir le comportement du système automatisé. Elle ne devient effective que lorsque l'étape correspondante est active. Il existe plusieurs types d'actions :

a. Action continue : L'action est active tant que l'étape associée l'est également.

b. Action conditionnelle (Type C) : L'action ne s'exécute que si une condition spécifique est remplie en plus de l'activation de l'étape.

c. Action retardée (Type D – Delay) : L'action ne se déclenche qu'après un certain délai suivant l'activation de l'étape.

d. Action limitée dans le temps (Type L – Limited) : L'action est activée pour une durée déterminée après l'activation de l'étape, puis s'arrête même si l'étape reste active.

e. Action mémorisée (Type Set/Reset – S/R) : L'action reste active même après la désactivation de l'étape (Set S) et ne s'arrête que lorsqu'une autre condition (Reset R) intervient.

f. Action temporisée : L'activation de l'étape enclenche un temporisateur, qui déclenche l'action après un temps défini.

g. Action rémanente (Type N) : L'action reste active après la désactivation de l'étape et ne peut être arrêtée que par une autre action spécifique.

2.4 Transition : Est un élément permettant le passage d'une étape à une autre. Elle est représentée par un petit trait perpendiculaire à la liaison orientée. Lorsqu'elle est validée, elle provoque le changement d'activité des étapes en activant la suivante et en désactivant la précédente.

2.5 Réceptivité : Chaque transition est associée à une condition logique appelée réceptivité, qui détermine si le passage d'une étape à une autre peut s'effectuer. Cette réceptivité peut être vraie ou fausse et dépend de variables externes (comme les entrées ou les consignes de l'opérateur) ou internes (comme les compteurs, temporisations ou l'état des étapes actives/inactives).

2.6 Liaison orientée : relie les étapes aux transitions et les transitions aux étapes. Elles sont orientées. Le sens conventionnel de lecture se fait en haut en bas, sauf si une flèche précise un sens différent.

3. Règles d'évolution du Grafcet

L'évolution des situations dans un GRAFCET repose sur cinq règles fondamentales :

3.1 Règle N°1 : Initialisation

Un Grafcet commence par une étape initiale qui représente la situation initiale avant évolution du cycle. L'initialisation précise les étapes actives au début du fonctionnement. Elles sont activées inconditionnellement et repérées sur le Grafcet en doublant les côtés des symboles correspondants.

3.2 Règle N°2 : Franchissement d'une transition

Pour qu'une transition soit franchissable il faut qu'elle soit validée et que la réceptivité associée soit vraie. On dit qu'une transition est validée lorsque toutes les étapes précédentes sont actives.

3.3 Règle N°3 : Evolution des étapes actives

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes

3.4 Règle N°4 : Transitions simultanées

Plusieurs transitions peuvent être franchies en même temps si leurs réceptivités sont simultanément vraies.

3.5 Règle N°5 : Activation et désactivation simultanée d'une étape

Si une même étape doit être activée et désactivée simultanément, elle reste active. [7]

4. Structure de base d'un Grafcet

4.1 Séquence unique (Structure linéaire)

C'est une suite d'étapes qui peuvent être activées les unes après les autres. Chaque étape n'est suivie que par une seule transition et chacune d'elle n'est validée que par une seule étape.

4.2 Séquence simultanée (ET)

La divergence en ET se produit lorsqu'une transition active simultanément plusieurs étapes, entraînant une évolution parallèle du Grafcet où toutes les branches s'exécutent en même temps. À l'inverse, la convergence en ET nécessite que plusieurs étapes soient actives en même temps pour franchir une transition, ce qui implique que toutes les conditions précédentes doivent être remplies pour poursuivre le cycle.

4.3 Sélection de séquence (OU)

La divergence en OU se produit lorsqu'après une étape et une transition, le Grafcet se divise en plusieurs branches, chacune guidée par une réceptivité différente selon les conditions logiques. En revanche, la convergence en OU a lieu lorsque plusieurs branches distinctes aboutissent à une même étape, qui peut être activée dès qu'une des transitions est validée, indépendamment des autres.

4.4 Saut d'étape

Le saut d'étape permet de sauter une ou plusieurs étapes en fonction de la progression d'un cycle.

4.5 Reprise de séquence

La reprise d'étape permet d'interrompre la progression normale du cycle et de revenir à une séquence précédente lorsque certaines actions doivent être répétées.

4.6 Sous-programme

Dans les systèmes d'automatismes séquentiels, lorsque des tâches répétitives doivent être effectuées plusieurs fois dans un cycle, elles peuvent être modélisées sous forme de

Grafcet indépendants, appelés sous-programmes. Ces sous-programmes sont synchronisés avec le Grafcet principal pour assurer un fonctionnement cohérent du système.

4.7 Macro-étapes

Une macro-étape regroupe une succession d'étapes et de transitions en une seule entité pour simplifier la structure du Grafcet. Elle fonctionne sans interruption et ne peut être appelée qu'une seule fois. Présente en plusieurs occurrences dans un même Grafcet, elle facilite la lisibilité et l'organisation des systèmes complexes.

5. Niveaux de Grafcet

Le grafcet est représenté selon trois niveaux :

5.1 Grafcet niveau 1

Le niveau de la partie commande est une spécification fonctionnelle qui décrit le fonctionnement global du système de façon intuitive, sans tenir compte de la technologie utilisée. Il sert à représenter la logique du processus pour faciliter la compréhension, notamment dans un cahier des charges ou pour des non-professionnels.

5.2 Grafcet niveau 2

Le niveau de la partie opérative est une spécification technologique qui utilise un langage codé pour décrire le fonctionnement du système en tenant compte des capteurs et actionneurs. Il traduit les actions et réceptivités sous forme d'abréviations, facilitant leur interprétation technique et leur programmation.

5.3 Grafcet niveau 3

Le niveau d'implantation correspond à la traduction du GRAFCET en langage programmable adapté à un automate. Il prend en compte les caractéristiques de l'automate pour élaborer, mettre en œuvre et faire évoluer le programme, en définissant clairement ses entrées (I) et sorties (Q). [6]

6. Modélisation par Grafcet

6.1. Grafcet du Dépoussiérage

Le tableau ci-dessous présente les abréviations utilisées dans le Grafcet du dépoussiérage (Voir le tableau III.1).

DCY	Départ du cycle
CP	Conditions permanentes
VA	Vanne d'aspiration
VAH	Fin de course ouverte de la vanne d'aspiration
VAL	Fin de course fermée de la vanne d'aspiration
V	Ventilateur
MV	Retour marche ventilateur
CTD	Coffret timer
RCTD	Retour marche coffret timer
S	Set
AUT	Arrêt d'urgence totale
AR_DE P	Arrêt d'urgence de dépoussiérage
R	Reset
T1	Temporisateur

Tableau III-1: Abréviation du grafcet du dépoussiérage.

La figure III.1 illustre le fonctionnement du dépoussiérage à travers son Grafcet.

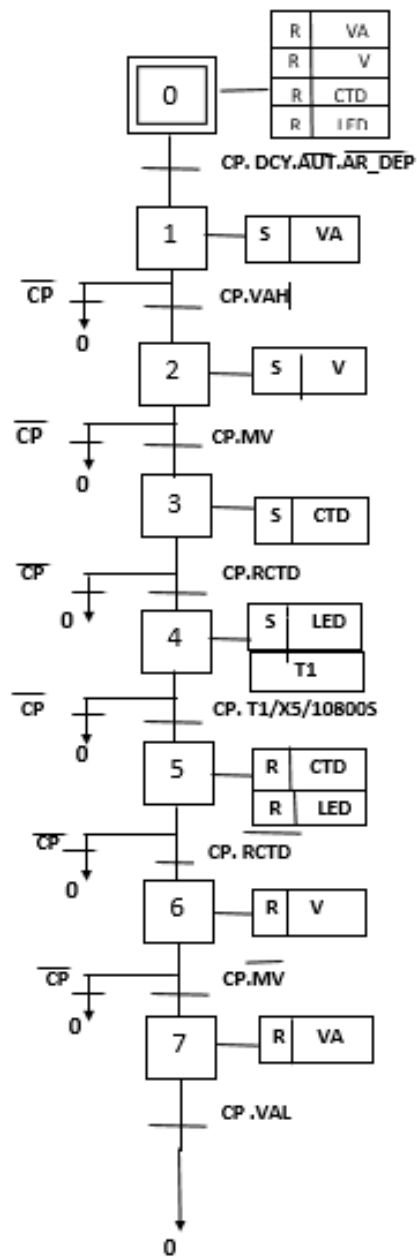


Figure III-2: Grafcet dépoussiérage

6.2. Grafcet de Préparation

Le tableau ci-dessous présente les abréviations utilisées dans le Grafcet de préparation (Voir le tableau III.2).

LP	Lancement de préparation
CP	Conditions permanentes
CI	Conditions initiales
VES	Vanne d'eau de service
VH	Capteur fin de course ouvert de VES
VL	Capteur fin de course fermé de VES
LSLL	Niveau très bas de la cuve
LSL	Niveau bas de la cuve
LSM	Niveau moyen de la cuve
LSH	Niveau haut de la cuve
LSHH	Niveau très haut de la cuve
DEP	Défaut manque d'eau de service
AG	Agitateur
VIB	Vibreux
VIST	Vis de transfert
T1	Temporisateur
MAG	Retour marche agitateur
MVIST	Retour marche vis de transfert
MVIB	Retour marche vibreux
S	Set
R	Reset
AUT	Arrêt d'urgence totale
AR_PR EP	Arrêt d'urgence de préparation

Tableau III-2: Abréviation du grafcet de préparation

Ci-dessous se trouve le Grafcet de préparation (Voir la figure III.2).

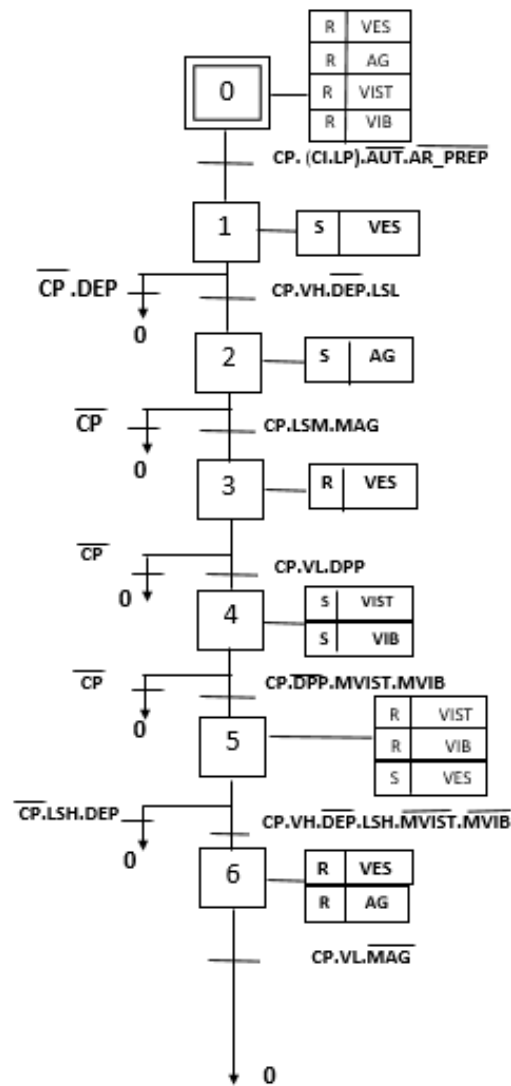


Figure III-3: Grafcet préparation

6.3. Grafcet d'injection et rinçage

Le tableau ci-dessous présente les abréviations utilisées dans le Grafcet d'injection et rinçage (Voir le tableau III.3).

Cp	Conditions permanentes
BPDC	Bouton poussoir départ cycle
Mp1	Retour marche pompe 1
P1	Pompe 1
Mp2	Retour marche pompe 2
P2	Pompe 2
VM	Vanne motorisée CAP
ZSH	Capteur fin de course ouvert de VM
ZSL	Capteur fin de course fermé de VM
VR	Vanne de rinçage eau acidifiée
VRH	Capteur fin de course ouvert de VR
VRL	Capteur fin de course fermé de VR
T1	Temporisation T1
AUT	Arrêt d'urgence totale
AR_INJ	Arrêt d'urgence d'injection
BP	Bouton poussoir
M100.0	Activation T1
M0.0	Sélection des pompes

Tableau III-3: Abréviation du grafcet d'injection, dosage et rinçage

La figure III.3 illustre le Grafcet correspondant aux étapes d'injection et de rinçage.

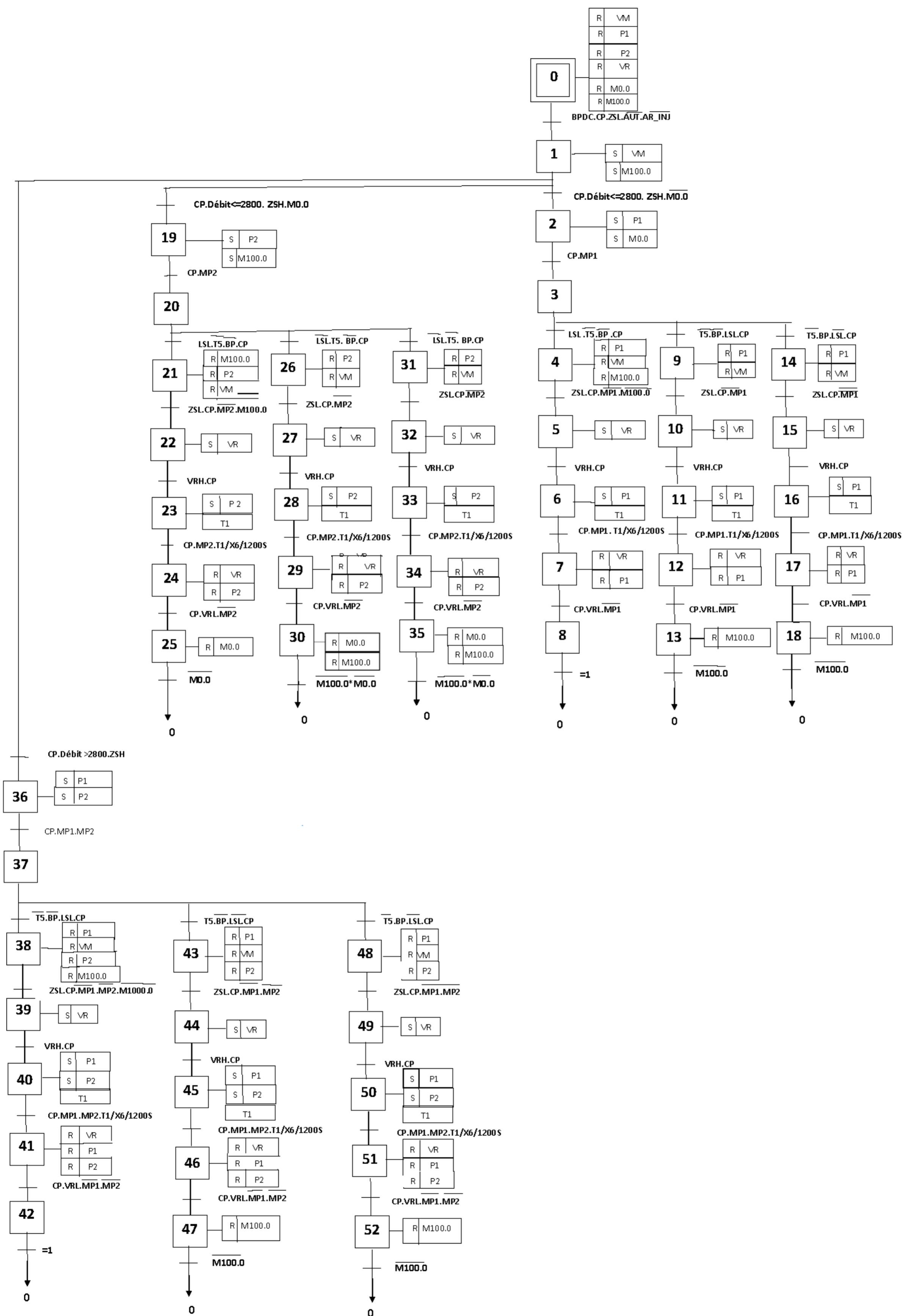


Figure III-4: Grafset d'injection et rinçage

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons modélisé le fonctionnement du système à l'aide de l'outil GRAFCET, en détaillant ses différentes structures, règles d'évolution et niveaux de représentation. Cette modélisation a permis de représenter de manière claire et séquentielle les différentes phases du procédé étudié.

Dans le chapitre suivant, nous passerons à l'étape de la simulation sur l'automate programmable S7-300, en utilisant le logiciel STEP 7, afin de valider le comportement du système et d'illustrer concrètement son fonctionnement.

Chapitre IV

Développement de la solution programmable du système avec S7- 300

Introduction

Le besoin constant d'améliorer les conditions de vie et de travail a toujours poussé l'homme à innover. Cette dynamique, bien qu'éloignée en apparence des sciences industrielles, est à l'origine du développement de nombreuses technologies, dont l'automatisation. Penser, concevoir et créer sont des étapes essentielles de cette évolution. Lorsque la demande de production augmente, automatiser les tâches devient indispensable pour remplacer les gestes humains répétitifs, délicats ou pénibles. C'est dans ce cadre qu'intervient l'automate programmable industriel (API), composant fondamental des systèmes automatisés

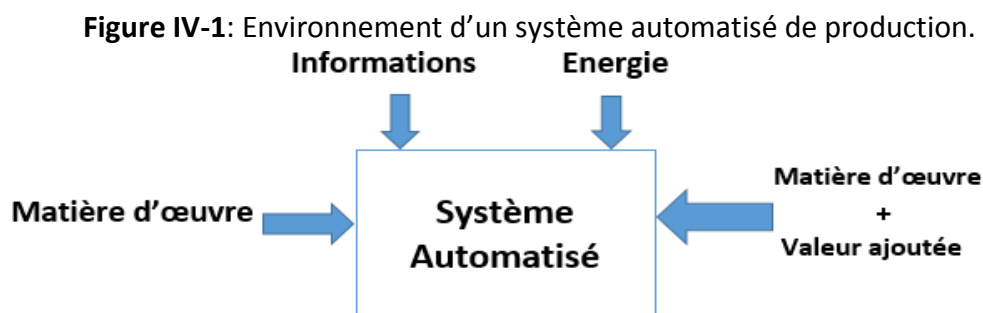
En effet, dans ce chapitre, on va définir quelques notions de base sur les systèmes automatisés et ensuite on va présenter le développement de la solution programmable du système avec S7-300.

1. Système Automatisé

L'automatisation est devenue un pilier essentiel dans de nombreux secteurs industriels et domestiques, visant à améliorer l'efficacité, la précision et la sécurité des opérations. En réduisant ou en éliminant l'intervention humaine dans certaines tâches, les systèmes automatisés permettent d'optimiser les processus, de diminuer les erreurs et d'augmenter la productivité.

1.1 Définition

Un système automatisé est un ensemble d'éléments qui réalise des actions sans intervention directe de l'utilisateur. L'opérateur se limite généralement à donner des ordres de démarrage et, si nécessaire, d'arrêt. [8] (voir la figure IV.1)



1.2 Structure d'un système automatisé

Un système automatisé est conçu pour exécuter des tâches sans intervention humaine

directe, en s'appuyant sur une architecture bien définie. (voir la figure IV.2) Cette architecture se compose généralement de trois parties principales : [9]

- **Partie Opérative**
- **Partie Commande**
- **Partie Dialogue**

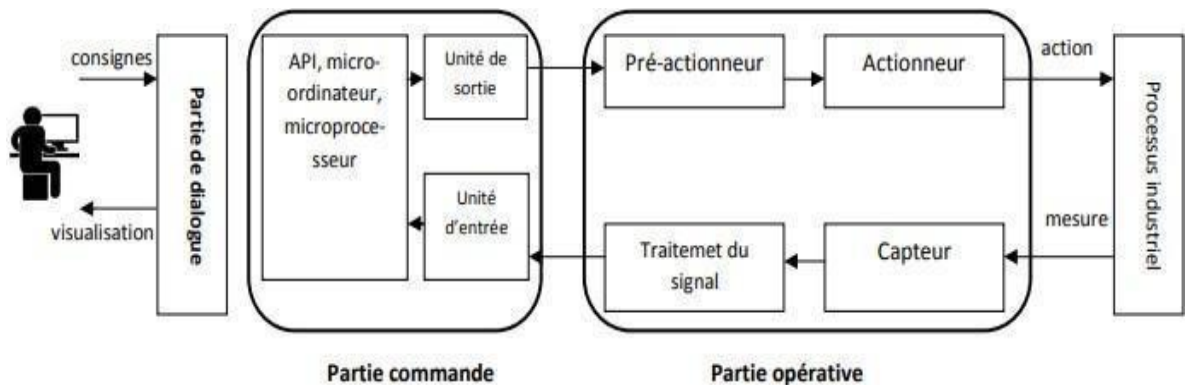


Figure IV-2: Structure d'un système automatisé

2. Automates programmables industriels (API)

Les automates programmables industriels sont apparus à la fin des années soixante, à la demande de l'industrie automobile américaine (GM), qui réclamait plus d'adaptabilité de leurs systèmes de commande. [10]

2.1. Définition

Un Automate Programmable Industriel, ou API (en anglais programmable logic controller, PLC), est un dispositif électronique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les pré-actionneurs à partir de données d'entrées (capteurs), de consignes et d'un programme informatique. [11]

2.2. Architecture des API

Les automates programmables sont composés de :

Un module d'unité centrale ou CPU: qui assure le traitement de l'information et la gestion de l'ensemble des unités. Ce module comporte un microprocesseur, des circuits périphériques de gestion des entrées/sorties, des mémoires RAM et EEPROM nécessaires pour le stockage des programmes, des données, et des paramètres de configuration du

système.

Un module d'alimentation : qui à partir d'une tension 220V ou dans certains cas de 24V (alimentation externe).

Des modules d'entrées : TOR (Tout Ou Rien), numérique ou analogique pour l'acquisition des informations provenant de la partie opérative.

Des modules de sorties: TOR, numérique ou analogiques pour transmettre à la partie opérative les signaux de commande.

Des modules de communication comprenant : Des interfaces pour assurer l'accès à un bus de terrain. Des interfaces d'accès à un réseau. [12]

2.3 Caractéristique d'un API

Les principales caractéristiques de cet API sont les suivantes :

- **Type** : Compact ou modulaire
- **Tension d'alimentation** : 24 V DC, 230 V AC...
- **Taille de la mémoire** : pour le programme et les données
- **Nombre d'entrées/sorties** : numériques et/ou analogiques
- **Langage de programmation** : LADDER (LD), FBD, STL, SCL ...
- **Temps de cycle (ou de scan)** : rapidité d'exécution
- **Capacité de communication** : ports Ethernet, Profibus, Modbus...
- **Type d'E/S** : numériques, analogiques, TOR, PWM...
- **Logiciel de programmation compatible** : STEP 7, TIA Portal...
- **Compatibilité avec logiciels de supervision** : SCADA, WinCC...
- **Robustesse** : résistance aux conditions industrielles.
- **Possibilité d'extension** : ajout de modules.

3.Siemens Simatic S7-300

3.1 Présentation générale de l'automate S7-300 IV 3.1.1 Définition

L'automate S7-300 est un automate à extensibilité modulaire, utilisé particulièrement

dans l'industrie manufacturière. Il est fabriqué par la famille des SIMATIC.

Le SIMATIC S7 désigne un produit de la société SIEMENS. Une vaste gamme de modules est disponible. Ces modules peuvent être combinés selon les besoins lors de la conception d'une solution d'automatisation.

Le S7-300 met à la disposition des utilisateurs un logiciel pour la création et l'édition de leur projet.

3.1.2 La structure et les modules constitutionnels de l'automate S7-300

Le système d'automatisation SIMATIC S7-300 est un automate modulaire de meilleure gamme. SIMATIC S7-300 désigne un produit de la société SIEMENS, il est synonyme de la nouvelle gamme des Automates programmables.

- **Aspect externe**

L'automate S7-300 est de conception modulaire peut se présenter en deux types d'architecture externe : compact et modulaire. Ces modules peuvent être combinés selon les besoins lors de la conception d'une solution d'automatisation (Voir la figure IV.3)



Figure IV-3: Aspect externe d'un API

- **Aspect interne**

L'architecture interne de l'automate est donnée par la figure ci-dessous. De manière générale, un API est structuré autour de plusieurs composants de base qui sont le processeur, la mémoire, l'alimentation, l'interface d'entrée-sortie, l'interface de communication et le dispositif de programmation [13]

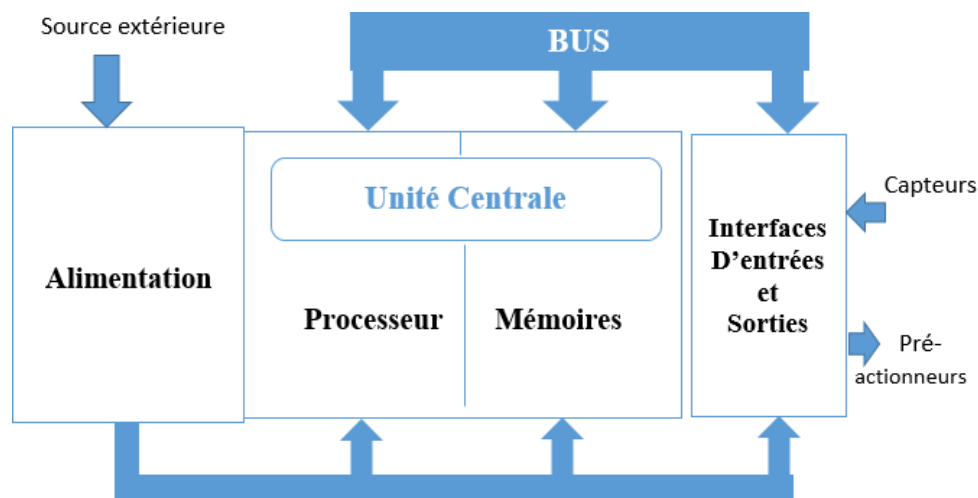


Figure IV-4: L'architecture interne de l'automate

4. Programmation de l'automate S7-300

4.1. Définition du logiciel de programmation STEP 7

STEP 7 est un logiciel de programmation développé par Siemens pour la configuration et la programmation des automates programmables industriels (API) de la gamme SIMATIC. Il est l'un des outils principaux utilisés pour le développement des applications d'automatisation industrielle. Il existe en plusieurs versions telles que : STEP micro/Dos et STEP7 micro/Win pour les applications S7-300 et S7-400. Il permet la transformation de données commandées par événement à l'aide de blocs de communication et de blocs fonctionnels.[14]

4.2. Langage de programmation

Avec le logiciel Step7 le programme peut être représenté et programmé dans trois modes différents :

Langage Ladder « CONT ». Langage logique « LOG ». Langage listing « LIST ».

Le langage de programmation CONT, LOG et LIST pour S7-300/400 font partie du logiciel de base STEP.

Pour automatiser notre installation nous avons choisi le langage LADDER pour la programmation car il est facile à comprendre et rapide à programmer.

4.3. Structure d'une programmation

Programme linéaire : Il est utilisé pour des commandes simples. Les multiples opérations et instructions de différentes fonctions sont stockées dans un seul bloc

d'organisation (OB1) qui traite cycliquement le programme.

Programme structuré : Pour les automatismes complexes, le programme utilisé est subdivisé en fonctions principales que l'on programme à l'aide des blocs (OB, FB, FC), ces fonctions sont chargées dans OB1.

4.4. Blocs logiciel Step 7

Les blocs logiciels présentés ci-dessous sont les éléments essentiels de la programmation dans STEP 7. Chaque type de bloc a une fonction spécifique qui permet de structurer, organiser et exécuter efficacement le programme de l'automate:

OB (Organizational Block) : point d'entrée du programme, exécution cyclique (OB1).

FC (Function) : bloc sans mémoire, utilisé pour des traitements réutilisables.

FB (Function Block) : bloc avec mémoire (DB associé), utilisé pour des équipements avec état.

DB (Data Block) : bloc de données, stocke les variables du programme.

SFC (System Function Call) : fonctions système prédéfinies, non modifiables.

SFB (System Function Block) : blocs système avec mémoire, similaires aux FB.

5. Création d'un projet STEP7

Voici les étapes à suivre pour créer un nouveau projet STEP 7 :

1. Lance le SIMATIC Manager en double-cliquant sur son icône pour démarrer l'assistant de création STEP 7.

2. Une première fenêtre s'affiche pour initier un nouveau projet, En cliquant sur "**Suivant**", tu accèdes à une nouvelle fenêtre où tu peux sélectionner la **CPU** adaptée à ton application.

3. Une fois la CPU choisie, cliquez de nouveau sur "**Suivant**" pour accéder à l'étape de sélection du **bloc de programme** et du **langage** souhaité (LIST, LOG ou CONT).

4. Poursuis avec "**Suivant**", une nouvelle fenêtre te permet de **nommer ton projet**.

5. Clique ensuite sur "**Créer**" pour générer le projet ; une fenêtre s'ouvre avec l'environnement de travail contenant ton programme.

Dans notre projet, nous avons présenté le processus complet du charbon actif, depuis le dépoussiérage qui permet d’aspirer les particules pendant l’opération, jusqu’aux étapes de préparation, d’injection et de rinçage. Pour la partie simulation, nous allons réaliser la configuration matérielle, les mnémoniques associés, ainsi que les GRAFCET correspondant aux différentes étapes, qui seront validés en fin de projet.

5.1 Configuration matérielle

La configuration matérielle dans STEP 7 permet de représenter virtuellement le châssis de l'automate. À partir du catalogue matériel, on sélectionne les modules nécessaires selon les besoins du projet, puis on les place dans la station par glisser-déposer. Chaque module reçoit automatiquement une adresse, facilitant l’intégration dans le programme.

La figure ci-dessous illustre la configuration matérielle réalisée pour notre projet: (voir la figure IV.5)

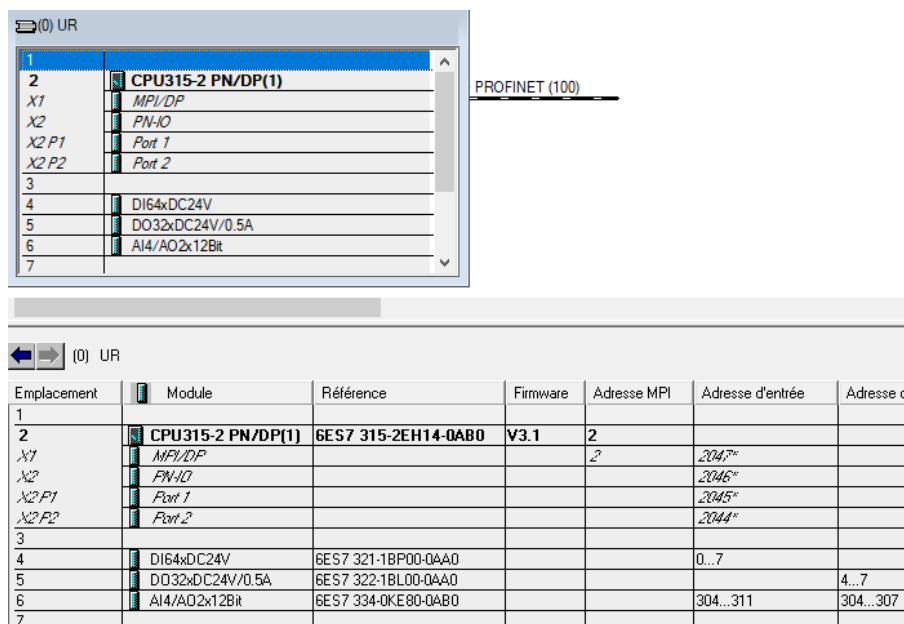


Figure IV-5: Configuration matériel utilisée

Puis on passe au programme que nous avons fait pour la commande du CAP (voir la figure IV.6)

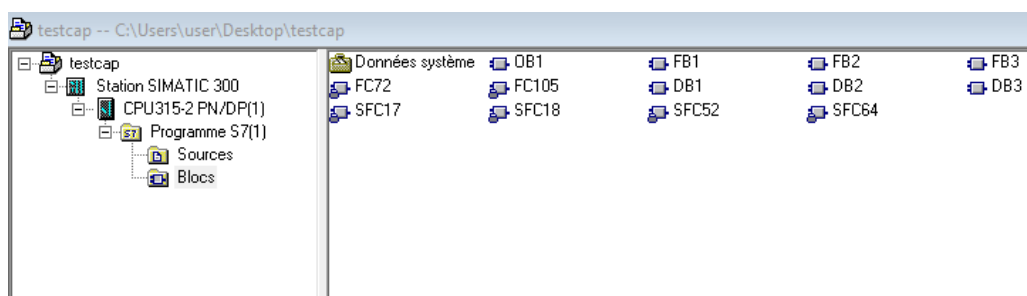


Figure IV-6: Structure du Programme développé

5.2 Table des mnémoniques

Cette étape consiste à déclarer les entrées et sorties du programme. Afin d'améliorer la lisibilité et la clarté du programme, nous avons utilisé des mnémoniques. Nous avons ainsi créé une table des mnémoniques, permettant d'associer des noms à des adresses de données globales, ainsi qu'à des commentaires explicatifs. Ces mnémoniques, accessibles depuis tous les blocs du programme, peuvent représenter des éléments tels que des mémoires (M), des entrées (E) ou des sorties (A).

La figure suivante montre une partie de la table des mnémoniques utilisée dans notre programme, La table complète des mnémoniques est présentée en annexe. (voir la figure IV.7)

Etat	Mnémonique	Opérande	Type de do	Commentaire
1	activ_T5	M 100.0	BOOL	activation du temporisateur T5
2	AG	A 4.5	BOOL	agitateur
3	ALARM_S	SFC 18	SFC 18	Generate Permanently Acknowledged Block-Related Messages
4	ALARM_SQ	SFC 17	SFC 17	Generate Block-Related Messages with Acknowledgment
5	BP	E 2.7	BOOL	bouton poussoir
6	BPDC	E 2.0	BOOL	bouton poussoir depart cycle
7	CAP_D	E 3.1	BOOL	capteur
8	cap_Debit	MD 50	REAL	capteur de debit
9	CI	M 90.3	BOOL	condition initiales
10	CP_dep	M 90.0	BOOL	condition permanentes depoussierage
11	CP_INJ	M 90.1	BOOL	condition permanentes injection
12	CP_Prep	M 90.2	BOOL	condition permanentes preparation
13	CTD	A 4.2	BOOL	coffret timer decolmatage
14	Cycle Execution	OB 1	OB 1	
15	DCY	E 0.1	BOOL	depart cycle
16	DEP	E 1.3	BOOL	defaut manque eau de service
17	disp_ag	M 40.0	BOOL	diponibiite agitateur
18	disp_cap_niv_haut...	M 20.4	BOOL	diponibiite capteur niveau haut cone filtre

Figure IV-7: une partie de la table des mnémoniques

6. Simulation et validation du Programme avec S7-PLCSIM

Après avoir créé un programme sous STEP7, la prochaine étape consiste à vérifier son

bon fonctionnement avant de le charger dans (API). Cette vérification se fait en utilisant le logiciel de simulation S7-PLCSIM

6.1 Programme de dépeussierage

La figure ci-dessous illustre le Grafcet et le réseau OB1 du dépeussierage en mode simulation. (Voir la Figure IV.8)

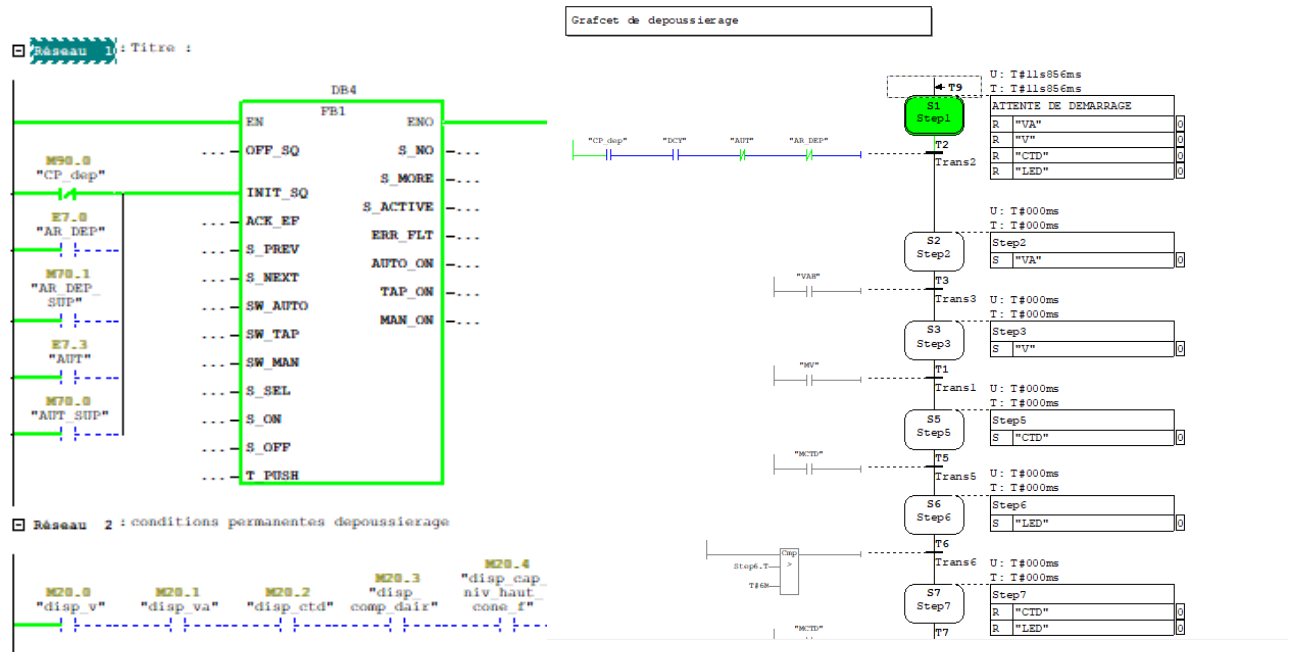


Figure IV-8 : Une partie du Grafcet ET OB1 de dépeussierage en simulation

6.2 Programme de préparation

La figure ci-dessous illustre le Grafcet et le réseau OB1 de la préparation en mode simulation. (Voir la Figure IV.9)

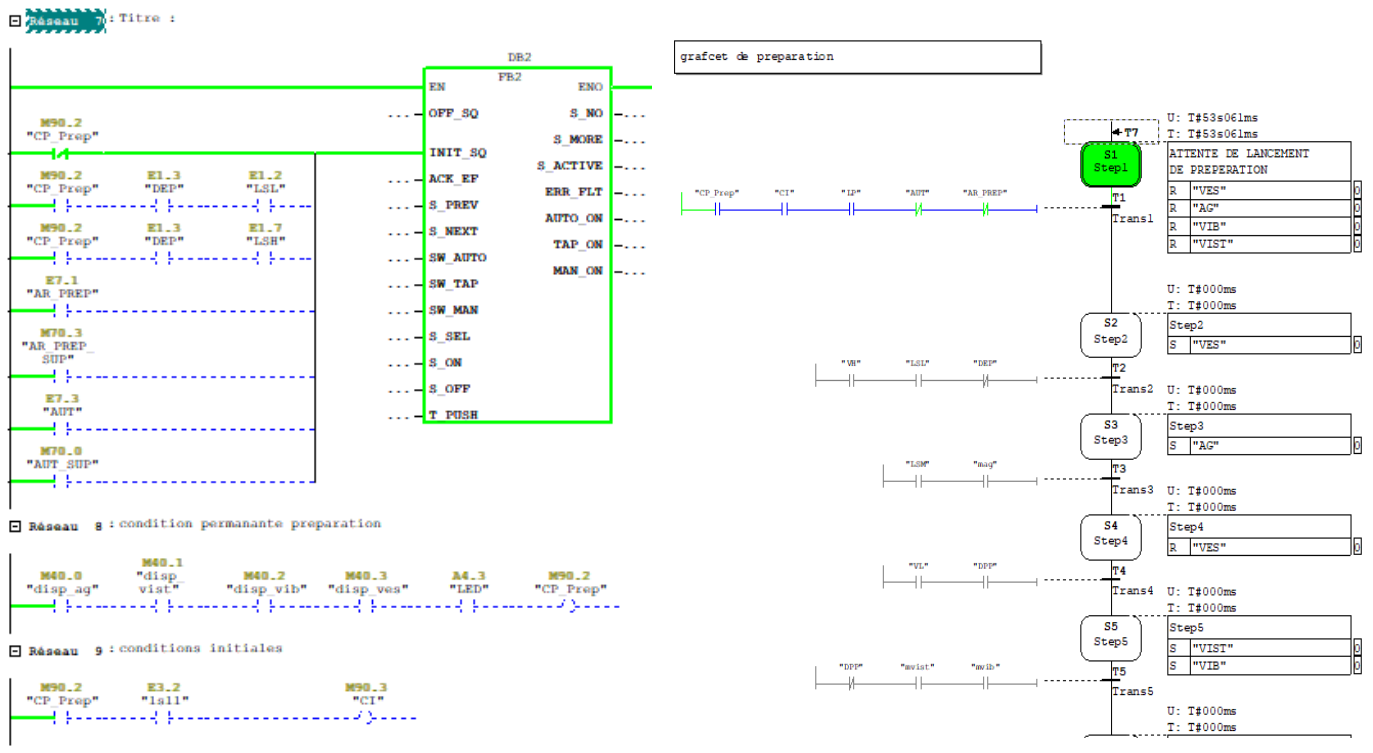


Figure IV- 9: Une partie du Grafcet et OB1 de préparation en simulation.

6.3 Programme d'injection et rinçage

On a trois modes de fonctionnement. La figure IV.10 illustre l'un de ces trois modes :

- Lorsque la pompe 1 est en marche, cela signifie que le débit est inférieur à 2800 et que le mnémonique M0.0 est désactivé.
- Lorsque la pompe 2 est en marche, cela signifie que le débit est inférieur à 2800 et que le mnémonique M0.0 est activé.
- Lorsque le débit est supérieur ou égal à 2800, les pompes 1 et 2 se mettent toutes les trois en marche simultanément.

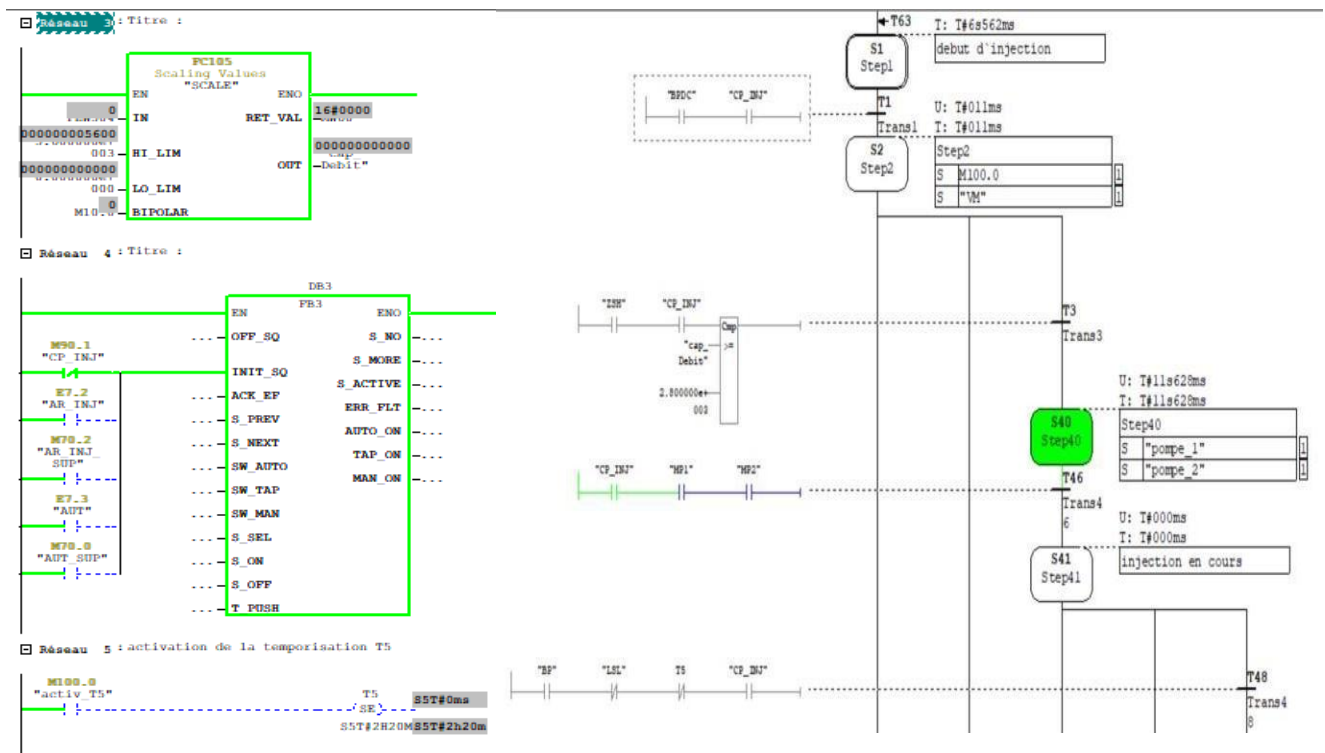


Figure IV-10: Pompe 1 et pompe 2 en marche

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les concepts généraux des automates programmables industriels (API). Nous avons ensuite détaillé l'API S7-300 que nous avons choisi pour contrôler notre installation pour la préparation du charbon actif en poudre, ainsi que le logiciel de programmation SIEMENS Step7 utilisé pour développer notre programme. Enfin, nous avons validé notre programme en le simulant à l'aide du logiciel S7-PLCSIM.

Dans le chapitre suivant, nous nous concentrerons sur la mise en place de la supervision avec WinCC Flexible, permettant de suivre l'évolution de notre installation.

Chapitre V

**Supervision de la solution
conçue du système à l'aide de
WINCC flexible**

Introduction

Avec la complexité croissante des systèmes industriels, la supervision est devenue un outil indispensable pour le contrôle et la gestion des installations en temps réel. Elle permet de centraliser les informations, visualiser l'état des équipements, et assurer un fonctionnement optimal et sécurisé.

Dans le domaine du traitement de l'eau, certaines étapes nécessitent un suivi particulier comme pour la préparation du charbon actif en poudre. La supervision de cette opération permet d'en garantir la précision et la fiabilité.

Dans ce chapitre, nous allons développer un système de supervision pour ce procédé en utilisant le logiciel WinCC Flexible 2008 de SIEMENS, à travers les différentes étapes de création d'une interface homme-machine (IHM).

1. Généralité sur la supervision

1.1 Définition de la supervision

La supervision est un outil de suivi de la production et d'aide à la conduite des installations. Sa fonction principale est de surveiller en permanence les ateliers et de générer des flux d'information en temps réel vers les différents acteurs de l'entreprise.

Elle permet un affichage dynamique du processus, incluant les alarmes, défauts et événements survenant pendant l'exploitation des machines. Grâce à cela, les acteurs de l'entreprise peuvent optimiser la production en déterminant les besoins en matières premières et en planifiant les actions à réaliser. La supervision est donc pratiquement indispensable sur des installations automatisées complexes. [15]

1.2 Constitutions d'un système de supervision

La plupart des systèmes de supervision se composent d'un moteur central, généralement un logiciel, relié aux équipements de terrain tels que les automates. Ce logiciel permet l'affichage en temps réel des données, leur traitement, leur archivage et assure également la communication avec d'autres périphériques (capteurs, actionneurs, interfaces opérateurs, etc.). L'ensemble constitue une structure cohérente permettant de superviser efficacement un procédé industriel. Voir la figure V.1

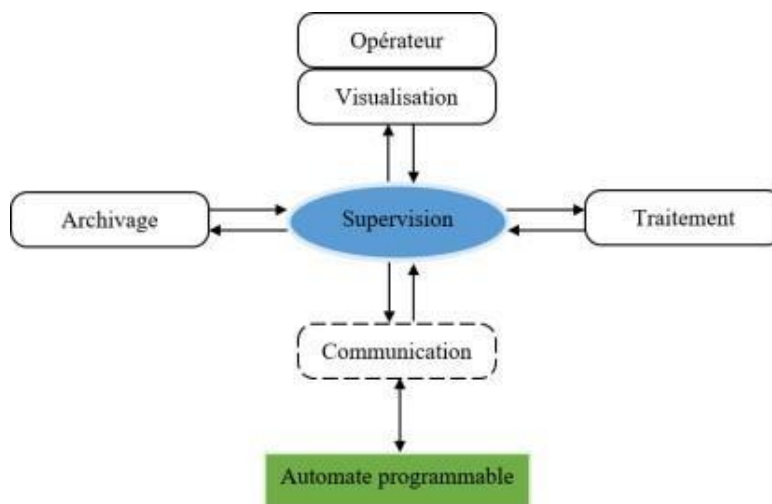


Figure V-1: Constitution d'un système de supervision.

Un système de supervision se compose de plusieurs modules, chacun ayant un rôle bien défini dans le fonctionnement global du processus :

- **Module de visualisation** : permet à l'opérateur de suivre visuellement l'évolution du procédé en temps réel.
- **Module d'archivage** : assure la mémorisation des données collectées pendant le cycle de production, sur une période prolongée.
- **Module de traitement** : met en forme les données brutes afin de les présenter de manière lisible et exploitable via le module de visualisation.
- **Module de communication** : gère l'acquisition et le transfert des données, tout en assurant la liaison avec les automates (API) et les autres périphériques connectés.

1.3 Apport de la supervision

La supervision joue un rôle essentiel dans les systèmes automatisés industriels. Elle apporte de nombreux avantages tant pour le personnel, que pour l'entreprise et le procédé industriel, en améliorant la sécurité, la fiabilité et l'efficacité globale des installations.

1.3.1 Apport pour le personnel

La supervision facilite le travail des opérateurs en réduisant les tâches pénibles et en améliorant les conditions de travail, notamment dans des environnements difficiles ou à risque. Elle permet un suivi en temps réel des opérations et offre une aide précieuse en cas d'incidents.

1.3.2 Apport pour l'entreprise

Elle contribue à optimiser la production en réduisant les arrêts non planifiés, en maintenant la qualité des produits et en diminuant les coûts liés aux pannes et à la maintenance.

1.3.3 Apport pour le procédé industriel

La supervision assure un contrôle précis et continu des paramètres du procédé, permettant ainsi une meilleure régulation, une détection rapide des anomalies et une amélioration de la performance globale du système.

2. Supervision WinCC flexible 2008

En informatique industrielle, la supervision désigne une interface de commande permettant de surveiller et de contrôler les procédés automatisés. Elle repose sur l'utilisation d'un ordinateur connecté à divers équipements, tels que les automates programmables, via des réseaux industriels comme MPI, PROFIBUS ou ETHERNET. Parmi les logiciels de supervision les plus répandus figurent ProTool, WinCC Flexible, Vijeo Look et InTouch.

Dans le cadre de notre station de traitement des eaux, le choix s'est porté sur **WinCC Flexible**, un logiciel IHM développé par **SIEMENS**, spécialement conçu pour la création et la gestion d'interfaces de supervision. Il permet de concevoir des écrans de contrôle, d'assurer une surveillance en temps réel, de gérer les alarmes, et d'archiver les données du procédé. Grâce à sa grande flexibilité et à ses bibliothèques d'objets préconfigurés, WinCC Flexible s'intègre facilement dans les systèmes automatisés, contribuant ainsi à améliorer l'efficacité, la fiabilité et la réactivité de l'installation.

3. Création d'un projet WinCC

Pour mettre en œuvre un projet avec WinCC Flexible, il est recommandé de suivre les étapes suivantes :

1. Création du projet : Lancez WinCC Flexible et créez un nouveau projet en sélectionnant le type de pupitre opérateur (IHM) approprié.
2. Définition des paramètres de communication : Configurez la communication entre le logiciel et les automates en spécifiant le protocole (MPI, PROFIBUS, Ethernet, etc.) et les

adresses correspondantes.

3. Création des variables (tags) : Définissez les variables nécessaires pour l'échange de données entre l'automate et l'interface utilisateur.

4. Conception des écrans de supervision : Concevez les interfaces graphiques en ajoutant des objets tels que des boutons, voyants, graphiques, etc., pour permettre à l'opérateur de superviser et de contrôler le procédé.

5. Configuration des alarmes : Établissez les paramètres d'alarme pour notifier l'opérateur en cas d'événements ou de conditions spécifiques.

6. Mise en place de l'archivage des données : Configurez l'enregistrement des valeurs de processus et des messages pour une analyse et une traçabilité futures.[16]

7. Test et simulation du projet : Effectuez des tests pour vérifier le bon fonctionnement de l'application en mode simulation.

8. Transfert du projet vers le pupitre opérateur : Une fois le projet testé, transférez-le vers le pupitre opérateur pour une utilisation en conditions réelles.[17]

3.1 Communication WinCC/STEP 7

Permet l'échange de données entre l'interface de supervision (WinCC) et l'automate programmable (STEP 7), afin d'assurer le contrôle et la surveillance en temps réel du procédé.

3.2 Création des vues

Dans WinCC flexible, des vues sont créées pour assurer le contrôle-commande de l'installation étudiée. Ces vues utilisent des objets prédéfinis permettant de représenter cette installation, d'afficher les procédures et de définir les valeurs de processus.

3.3 Compilation et simulation

Après avoir terminé la création du projet, une étape essentielle consiste à compiler l'ensemble des configurations réalisées. Cette compilation permet de vérifier l'absence d'erreurs dans le projet. Une fois cette vérification effectuée, le projet est ensuite simulé à l'aide du simulateur WinCC flexible Runtime, afin d'observer le fonctionnement du système de supervision dans des conditions proches du réel.

4. Plateforme de supervision d'installation du charbon actif en poudre

Pour élaborer la plateforme de supervision qui permet de contrôler et de commander notre installation.

Nous allons maintenant présenter une description et un aperçu des différentes vues réalisées dans notre projet de supervision.

4.1. Vue <accueil>


La **vue d'accueil dans WinCC Flexible** joue le rôle de menu principal de l'interface HMI. Elle permet à l'opérateur, grâce à des boutons interactifs, d'accéder facilement aux différentes vues de l'application telles que la gestion des alarmes, le paramétrage, la vue d'injection et rinçage ainsi que celle de **dépoussiérage et préparation**, assurant ainsi une navigation claire et structurée dans le système. Voir la figure V.2



Figure V-2: Vue <accueil>

4.2. Vue <dépoussiérage et préparation>

Cette vue de préparation et de dépoussiérage permet de superviser visuellement les étapes de préparation du charbon actif, tout en assurant en parallèle le bon fonctionnement de la sous-unité de dépoussiérage. Elle offre une vision globale et synchronisée des deux sous-unités, qui travaillent simultanément afin de garantir un processus propre, continu et sécurisé dans l'installation. Voir la figure V.3

 Conduite de dépoussiérage.

 Conduite de l'eau acidifiée

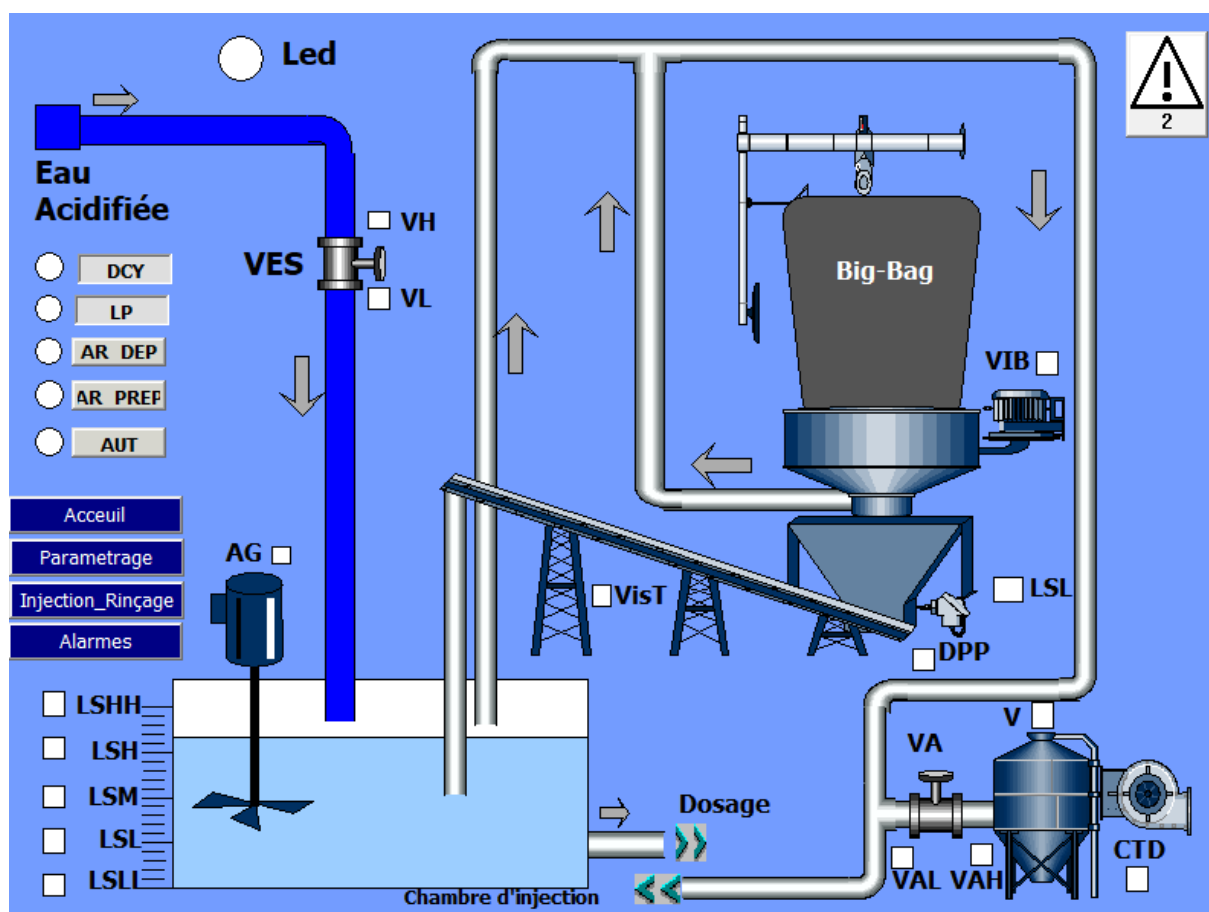



Figure V-3 : Vue <dépoussiérage et préparation>

4.3. Vue <injection et rinçage>

Cette vue de rinçage et d'injection permet de superviser les opérations de transfert et d'injection de l'eau acidifiée ainsi que le rinçage des circuits concernés. Elle offre une

visualisation complète du cheminement de l'eau depuis le service acidifié jusqu'à la ligne de préparation, en passant par les différentes pompes et vannes. Cette sous-unité assure à la fois le nettoyage (rinçage) et l'acheminement contrôlé de la solution vers le processus, garantissant ainsi l'efficacité et la sécurité du système. Voir la figure V.4

 Conduite de dépoussiérage.

 Conduite de l'eau acidifiée

 Conduite du charbon

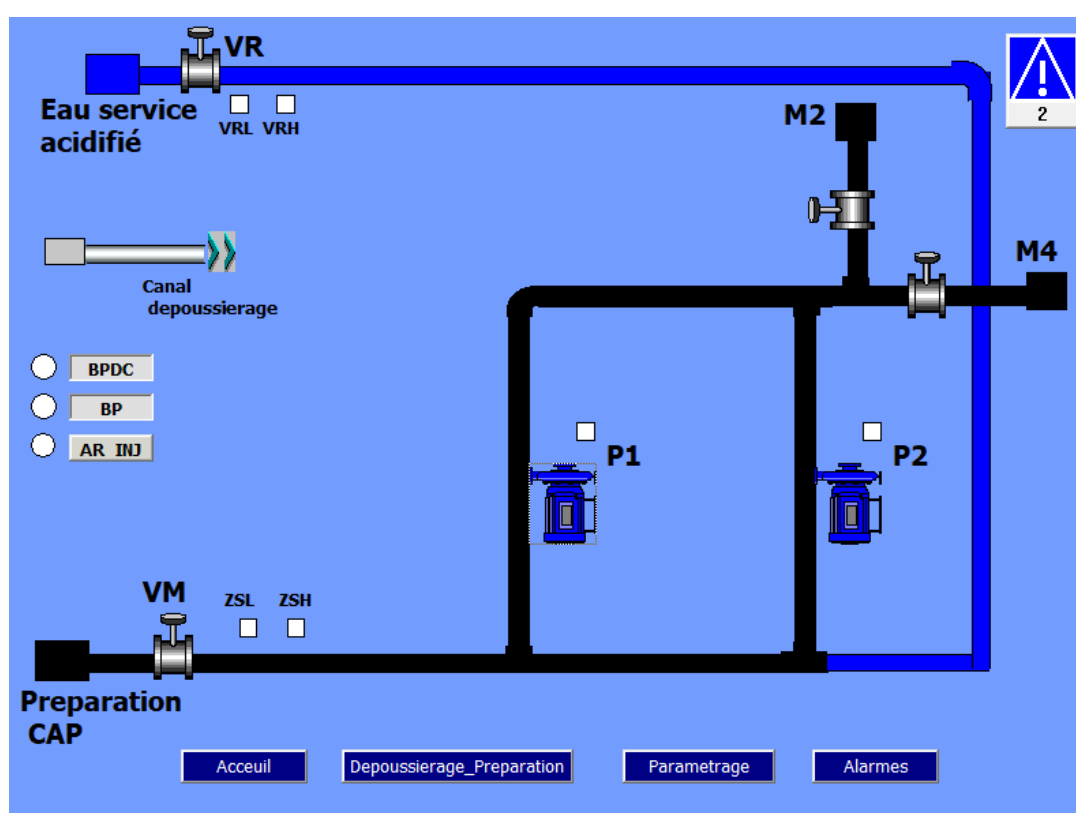


Figure V-4 : Vue <injection et rinçage>

4.4. Vue < paramétrage >

La vue de paramétrage regroupe les réglages essentiels permettant de définir les temps de temporisation ainsi que les paramètres liés au dosage et à la préparation du charbon actif, afin d'assurer un contrôle précis et automatisé du processus de traitement. Voir la figure V.5

Repère	Temporisation CAP	Valeurs	Unité
	T5 Temps De rinçage temprisé	140	min
	temps de preparatin et injection	180	min
	durée de rinçage	20	min
Repère	Préparation et dosage CAP	Valeurs	Unité
18ALIT002A	Seuil niveau très bas LSL	0.7	m
18ALIT002A	Seuil niveau bas LSL	1.00	m
18ALIT002A	Seuil niveau moyen LSM	1.5	m
18ALIT002A	Seuil niveau haut LSH	2.7	m
18ALIT002A	Seuil niveau très haut LSHH	2.8	m
18APO001A	Débit max pompe doseuse	2800	l/h
18APO001B	Débit max pompe doseuse	2800	l/h
18APO001A	Débit min pompe doseuse	0.00	l/h
18APO001B	Débit min pompe doseuse	0.00	l/h
18APO001A/B	Taux de traitement "TX1" eau brute CAP	2.5	g/m3
18APO001A/B	Taux de traitement" TX2" eau décantée CAP	5.00	g/m3
18APO001A/B	Concentration "C" CAP	15.00	g/l
18APO001A/B	Valeurs débit "Q" minimale CAP	2000	m3/h
	Cadence dosage CAP	10	min

Accueil
Depoussierage_Preparation
Injection_Rinçage
Alarmes

Figure V-5: Vue <paramétrage >

4.5. Vue < Alarmes >

La **vue des alarmes** permet de surveiller l'état de fonctionnement de l'installation en temps réel. Elle a pour objectif de signaler rapidement toute anomalie ou tout défaut apparaissant au cours du processus. Grâce à cette interface, l'opérateur peut identifier, localiser et intervenir efficacement en cas de problème.

Les alarmes utilisées dans cette vue sont des **alarmes tout-ou-rien (TOR)**, c'est-à-dire qu'elles s'activent uniquement lorsqu'une condition précise de défaut est détectée dans l'installation. Ce type d'alarme permet de détecter immédiatement les défauts de surveillance, et chaque alarme déclenchée est liée à une action ou une étape spécifique du processus, facilitant ainsi la maintenance et le contrôle de l'installation. Voir la figure V.6.

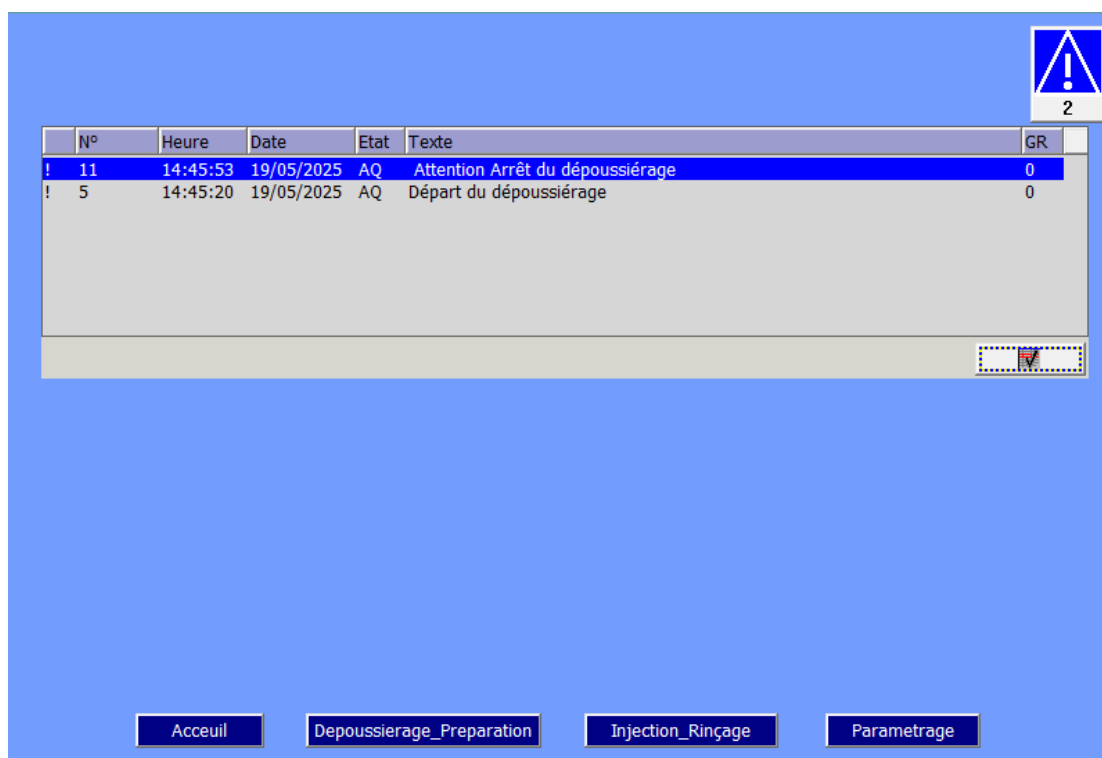


Figure V-6 : Vue < Alarmes>

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la supervision en précisant son rôle dans la conduite industrielle, ainsi qu'une présentation du logiciel de supervision WinCC flexible. Ensuite, nous avons développé les vues de contrôle et de supervision de l'installation du charbon actif en poudre, qui permettent de suivre et interagir avec l'évolution du procédé en temps réel. Enfin, nous avons effectué des tests de validation avec le simulateur de WinCC-STEP 7, confirmant que le système de supervision développé répond aux contraintes imposées par la production.

Conclusion générale

Le projet d'automatisation de la conduite programmable supervisée de l'unité de charbon actif en poudre à SEAAL Taksebt représente une étape majeure dans notre formation en automatisme industriel. Il nous a permis d'intégrer les connaissances théoriques acquises durant notre cursus dans un contexte concret et industriel.

La programmation de l'automate programmable industriel Siemens S7-300 a constitué le cœur de notre travail. En nous appuyant sur l'outil STEP7, nous avons développé un programme fiable et structuré, basé sur une modélisation claire du procédé via le GRAFCET. Cette approche a facilité la conception d'une commande séquentielle efficace, capable de gérer les différentes phases de fonctionnement de l'unité de charbon actif, tout en assurant la sécurité et la fiabilité du système. Le programme développé permet non seulement d'automatiser le processus, mais aussi d'optimiser la production en minimisant les erreurs humaines et en améliorant la régularité des opérations.

Par ailleurs, la supervision a joué un rôle essentiel dans le pilotage et le suivi du procédé. L'utilisation du logiciel WinCC Flexible 2008 nous a permis de concevoir une interface utilisateur intuitive et complète. Cette interface offre aux opérateurs un accès en temps réel aux données de production, aux états des équipements, et aux alarmes, facilitant ainsi la prise de décision rapide et efficace. La visualisation graphique du processus, associée aux fonctions de notification et de diagnostic, contribue à une meilleure maintenance préventive et à la réduction des temps d'arrêt.

Le stage pratique réalisé au sein de SEAAL Taksebt a été une occasion précieuse d'appliquer ces compétences dans un environnement professionnel. Il nous a permis de mieux comprendre les enjeux industriels liés au traitement de l'eau et à la gestion des unités de production, tout en développant notre capacité à travailler en équipe et à communiquer avec les différents acteurs techniques.

Malgré certaines difficultés rencontrées, notamment en matière de documentation technique et d'intégration dans l'équipe, cette expérience a renforcé notre autonomie et notre rigueur professionnelle. Nous espérons que les solutions proposées contribueront à l'amélioration continue des processus de SEAAL et qu'elles pourront servir de référence pour les futures générations d'étudiants et de techniciens.

En somme, ce projet a été une étape clé dans notre parcours, enrichissant notre savoir-faire en automatisme et supervision industrielle, et nous préparant efficacement à une carrière dans le domaine de l'industrie et de l'ingénierie des systèmes automatisés.

Bibliographie

- [1] Document interne de l'entreprise SEAL, DTF, manuel, STE, Notice d'exploitation – Maitrise.
- [2] Document interne de l'entreprise SEAL, DTF, manuel, STP.
- [3] Document interne de l'entreprise SEAL, DTF, manuel, STE, Notice d'exploitation – operateurs.
- [4] Document interne de l'entreprise SEAL, DTF, manuel, STE, Notice d'exploitation – Equipement.
- [5] Document interne de l'entreprise SEAL, DTF, manuel, STE, Notice d'exploitation – Sécurité.
- [6] Document fournis avec logiciel de programmation step7. Site officiel de SIEMENS : [http : //www.siemens.com](http://www.siemens.com).
- [7] Documentation technique SIEMENS 2006 sur les API S7 300.
- [8] <https://clg-blois-begon-blois.tice.ac-orleans-tours.fr/eva/sites/clg-blois-begon-blois/IMG/pdf/4b4e4f-technologie-dias-003.pdf>
- [9] https://sc-st.univ-batna2.dz/sites/default/files/sc_st/files/archi._des_systemes_automatisees.pdf
- [10] Hamri, « cours API », M2 AI
- [11] D.DUBOIS « Les automate programmables industriels » (publié 2010)
- [12] G. Michel. - Les A.P.I. Architecture et applications des automates programmables industriels, 2010.
- [13] Ouvrage Automates programmables industriels 2é édition par WILLIAM BOLTON p15
- [14] Documentation technique SIEMENS, STEP7.2010 Page 36.
- [15] [Supervision industrielle/Définition — Wikiversité](#).
- [16] https://solar.energy.free.fr/logiciel_automatisme/WinCCflexible2005-GettingStarted-Experts.pdf
- [17] https://archive.org/download/win-cc-flexible-2008-sp-2-full/WinCC_Flexible_2008_SP2_Full.iso/CD_3%2FDocuments%2FFrancais%2FGetting%20Star ted%2FWinCCflexible-GettingStarted-Options.pdf

Annexes

Annexe A

- Dépoussiérage

Equipement	Numéros de serie	Marque \ fabricant	Fonction	Caractéristiques techniques
Ventilateur d'aspiration	-	FERRARI \ MZ	Aspiration des poussières du système	Type: centrifuge Débit \approx 2200 m ³ /h Pression \approx 300–500 Pa Tension : 380 V Vitesse \approx 1500 tr/min IP55
Vanne d'aspiration	04137040	KSB\AMRI	Évacuation automatique des poussières collectées	Air comprimé : 6 bar Tension : 24 V DC Corps : inox/plastique
Compresseur air	-	Kaeser	Fourniture d'air comprimé pour les vannes et le filtre	Pression max : 8 bar avec un sécheur intégré Débit \approx 0,5 m ³ /min Tension : 380 V Réservoir \approx 50 L
coffret timer décolmatage	-	Siemens	Programmation du cycle de décolmatage du filtre	Alim : 220 V AC Fréquence : 50 Hz
Capteur de niveau haut cône	820273 040 E3	ENDRESS+HA USER	Détection du niveau maximal des poussières	Type : TOR Alim :230V AC Étanche IP65 Portée : <1 m Frequence : 50\60 Hz

- Préparation

Equipement	Numéros de serie	Marque/Fabricant	Fonction	Caractéristiques techniques
Cuve de préparation CAP	-	-	Mélange CAP + eau acidifiée	Volume : 72 m ³ Matière : béton Cuve verticale
Palan de manutention Big Bag	-	VERLINDE	Levage des big bags de CAP	Capacité : 1 tonne Commande électrique filaire
Vibreux	110153 C 5	OLI	Fluidisation du produit dans la trémie de vidange	Puissance : 0,1 kW Tension : 230/400 V Fixation latérale Fréquence : 50 Hz
decteur de presence de poudre	820273 040 E3	ENDRESS+HAU SER	détection de de présence de CAP	Type : TOR Alim :230 V AC Étanche IP65 Portée : <1 m Frequence : 50\60 Hz
Vis de transfert	0 6 04032	Govoni Simbianca impianti	Transport mécanique du CAP vers la cuve	Diamètre ≈ 100 mm Longueur ≈ 2 m Débit ≈ 1–2 m ³ /h

Annexes

Agitateur	C 05271 86705	MILTON ROY	Homogénéisation du mélange dans la cuve	Puissance : 1,1–1,5 kW longueur :4 m Vitesse : 1410 tr\min IP55. Tension : 220\380 V Fréquence : 50hz
Vanne eau de service	20060511 552	George fisher	Alimentation en eau pour la dilution du CAP	Motorisée Tension : 230 V Fréquence : 50\60 hz Puissance : 6 w DN110
Transmetteur de niveau	81014401050	Endress+Hauser	Mesure continue du niveau dans la cuve	Plage : 0–10 m Sortie 4–20 mA IP65 Précision ±5 mm

- **Injection dosage et rinçage**

Equipement	Numéros de serie	Marque\ Fabricant	Fonction	Caractéristiques techniques
Pompe péristaltique	257771\4	PCM pompes	Dosage précis de CAP vers la ligne d'injection	Débit :3000 L/h Pression max : 2 bar Tension : 400 V Matériaux : Fonte Fréquence : 50 hz Puissance : 5.5 KW

Annexes

Vanne motorisée cap	-	George Fischer	Ouverture/fermeture automatique du circuit d'injection	Tension : 24 V DC Contact fin de course intégré DN70 Pression : 0,5-6 bar Puissance : 5w
Vanne de rinçage	20060511 552	George Fisher	Injection d'eau de rinçage dans la ligne CAP	Électrovanne DN50 Corps : PVC Tension 24 V ou 230 V Pression : 0,5-6 bar
Débitmètre électromagnétique	7C0A2D1900	Endress+Hauser	Mesure du débit injecté de CAP	Débit : 4000-6000 L/h Sortie : 4-20 mA IP67 DN50
Détecteur de niveau physique	-	BAMO mesures	Surveillance du niveau bas dans la cuve d'injection	Type à flotteur Montage vertical

Annexe B

- Table des mnémoniques

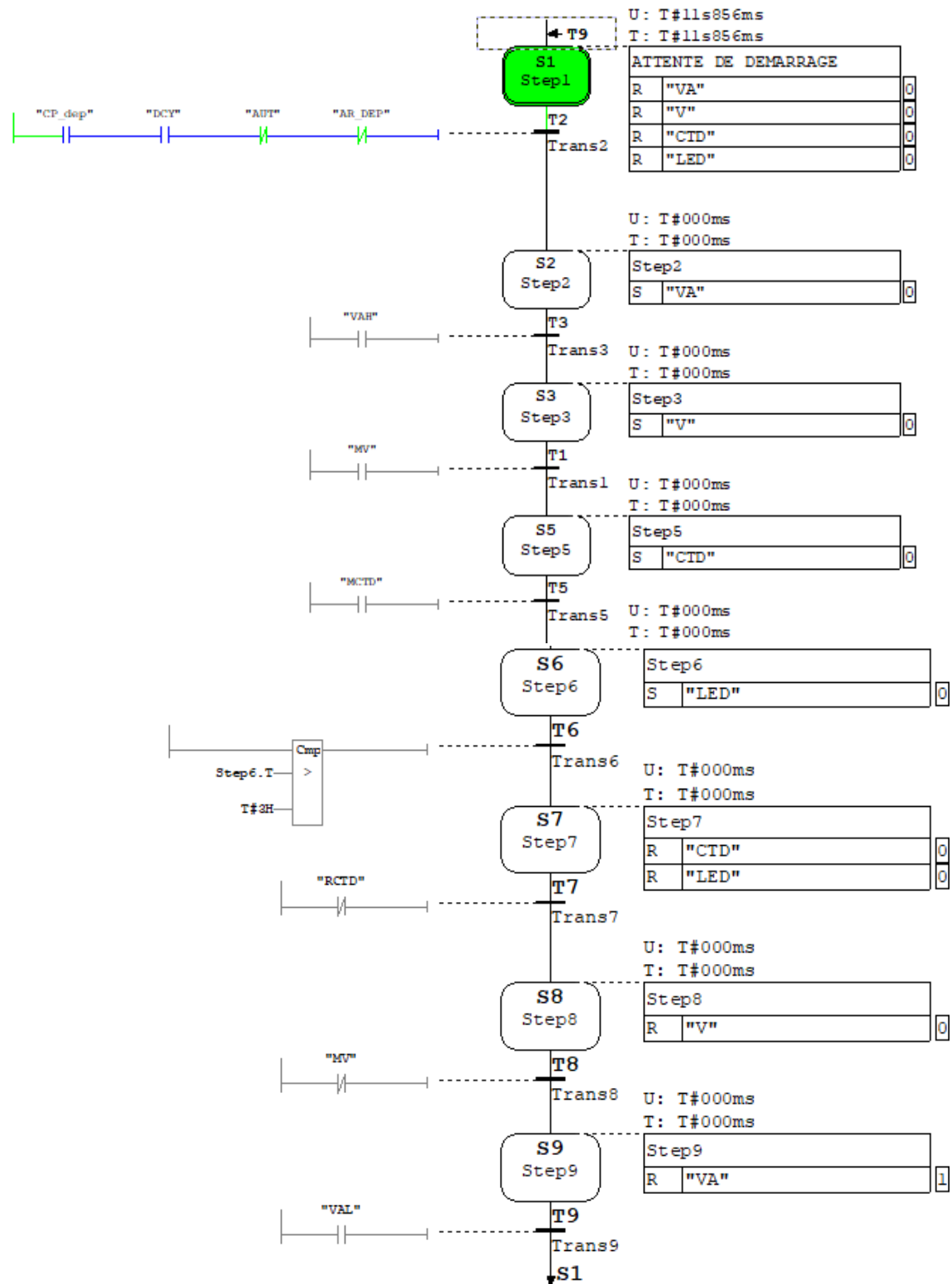
	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de do	Commentaire
1		activ_T5	M 100.0	BOOL	
2		AG	A 4.5	BOOL	
3		ALARM_S	SFC 18	SFC 18	Generate Permanently Acknowledged Block-Related Messages
4		ALARM_SQ	SFC 17	SFC 17	Generate Block-Related Messages with Acknowledgment
5		Alarmes	MW 55	WORD	
6		AR_DEP	E 7.0	BOOL	
7		AR_DEP_SUP	M 70.1	BOOL	
8		AR_INJ	E 7.2	BOOL	
9		AR_INJ_SUP	M 70.2	BOOL	
10		AR_PREP	E 7.1	BOOL	
11		AR_PREP_SUP	M 70.3	BOOL	
12		AUT	E 7.3	BOOL	
13		AUT_SUP	M 70.0	BOOL	
14		BP	E 2.7	BOOL	
15		BPDC	E 2.0	BOOL	
16		CAP_D	E 3.1	BOOL	
17		cap_Debit	MD 50	REAL	
18		CI	M 90.3	BOOL	
19		CP_dep	M 90.0	BOOL	
20		CP_INJ	M 90.1	BOOL	
21		CP_Prep	M 90.2	BOOL	
22		CTD	A 4.2	BOOL	
23		Cycle Execution	OB 1	OB 1	
24		DCY	E 0.1	BOOL	
25		DEP	E 1.3	BOOL	
26		disp_ag	M 40.0	BOOL	
27		disp_cap_niv_haut_...	M 20.4	BOOL	
28		disp_comp_dair	M 20.3	BOOL	
29		disp_ctd	M 20.2	BOOL	
30		disp_pompe_1	M 30.0	BOOL	
31		disp_pompe_2	M 30.1	BOOL	
32		disp_v	M 20.0	BOOL	
33		disp_va	M 20.1	BOOL	
34		disp_ves	M 40.3	BOOL	
35		disp_vib	M 40.2	BOOL	
36		disp_vist	M 40.1	BOOL	
37		disp_vm	M 30.3	BOOL	
38		disp_vr	M 30.2	BOOL	
39		DPP	E 1.6	BOOL	

	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de do	Commentaire
40		es	E 5.1	BOOL	
41		G7_STD_3	FC 72	FC 72	
42		LED	A 4.3	BOOL	
43		LP	E 1.0	BOOL	
44		LSH	E 1.7	BOOL	
45		lshh	E 3.3	BOOL	
46		LSL	E 1.2	BOOL	
47		lsll	E 3.2	BOOL	
48		LSM	E 1.4	BOOL	
49		mag	E 3.4	BOOL	
50		MCTD	E 0.5	BOOL	
51		MP1	E 2.3	BOOL	
52		MP2	E 2.4	BOOL	
53		MV	E 0.4	BOOL	
54		mvib	E 3.6	BOOL	
55		mvist	E 3.5	BOOL	
56		pompe_1	A 5.1	BOOL	
57		pompe_2	A 5.2	BOOL	
58		SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
59		selection des pompes	M 0.0	BOOL	
60		TIME_TCK	SFC 64	SFC 64	Read the System Time
61		V	A 4.1	BOOL	
62		VA	A 4.0	BOOL	
63		VAH	E 0.2	BOOL	
64		VAL	E 0.3	BOOL	
65		VES	A 4.4	BOOL	
66		VH	E 1.1	BOOL	
67		VIB	A 4.7	BOOL	
68		VIST	A 4.6	BOOL	
69		VL	E 1.5	BOOL	
70		VM	A 5.0	BOOL	
71		VR	A 5.3	BOOL	
72		VRH	E 2.5	BOOL	
73		VRL	E 2.6	BOOL	
74		WR_USMSG	SFC 52	SFC 52	Write a User-Defined Diagnostic Event to the Diagnostic Buf
75		ZSH	E 2.2	BOOL	
76		ZSL	E 3.0	BOOL	
77					

Annexe C

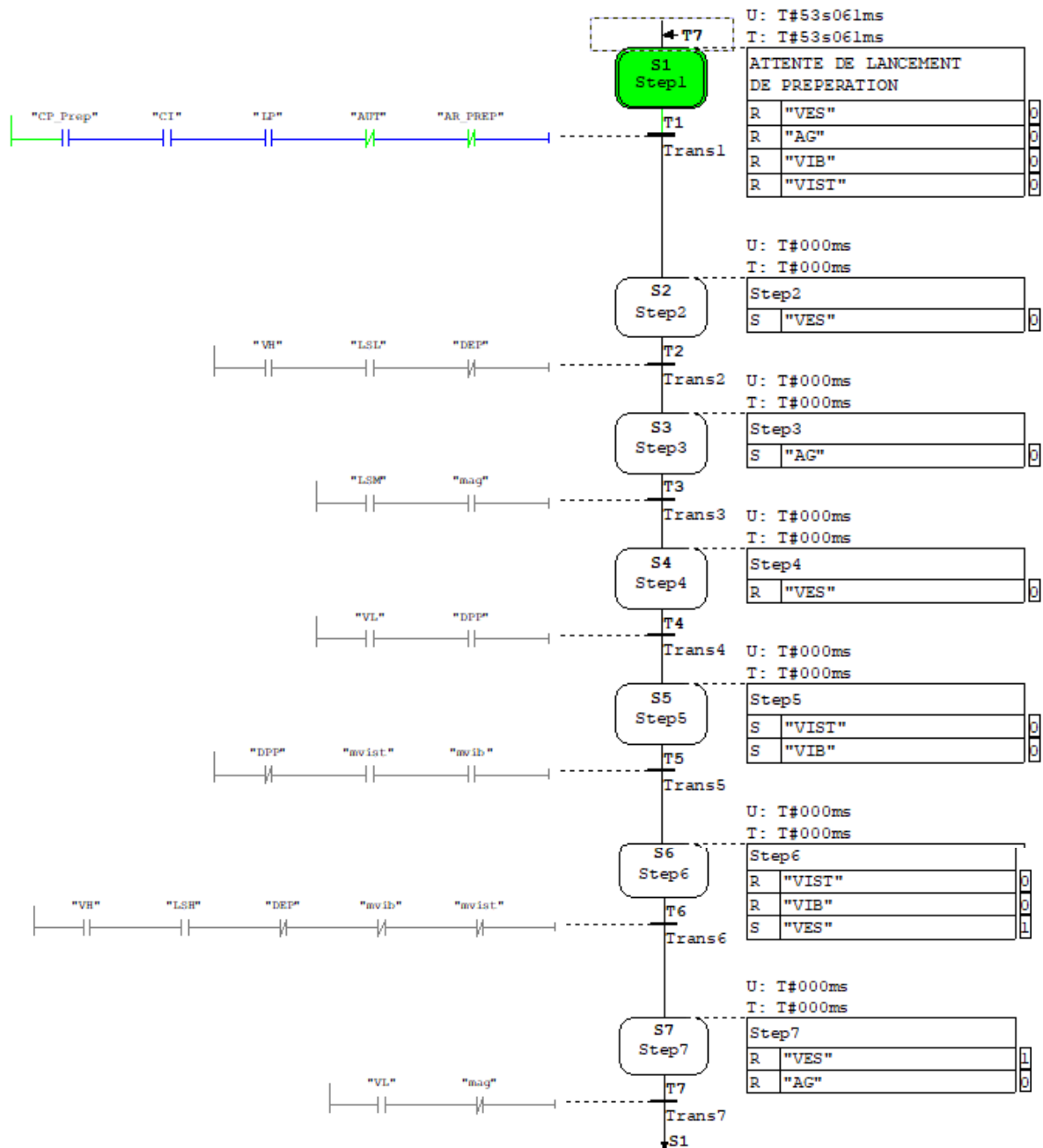
- Grafcet du dépeussierage

Grafcet de depoussierage



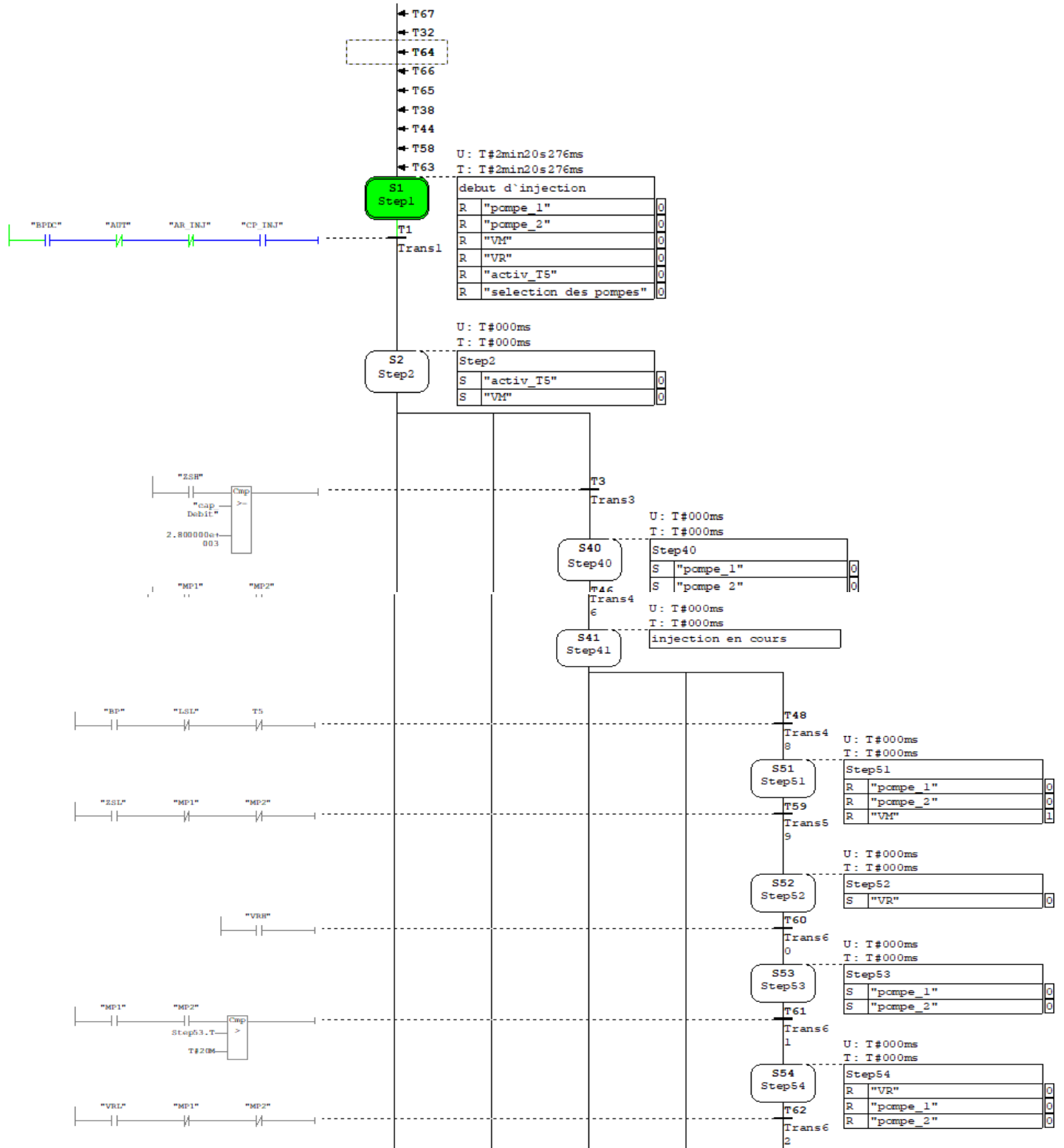
• Grafcet de préparation

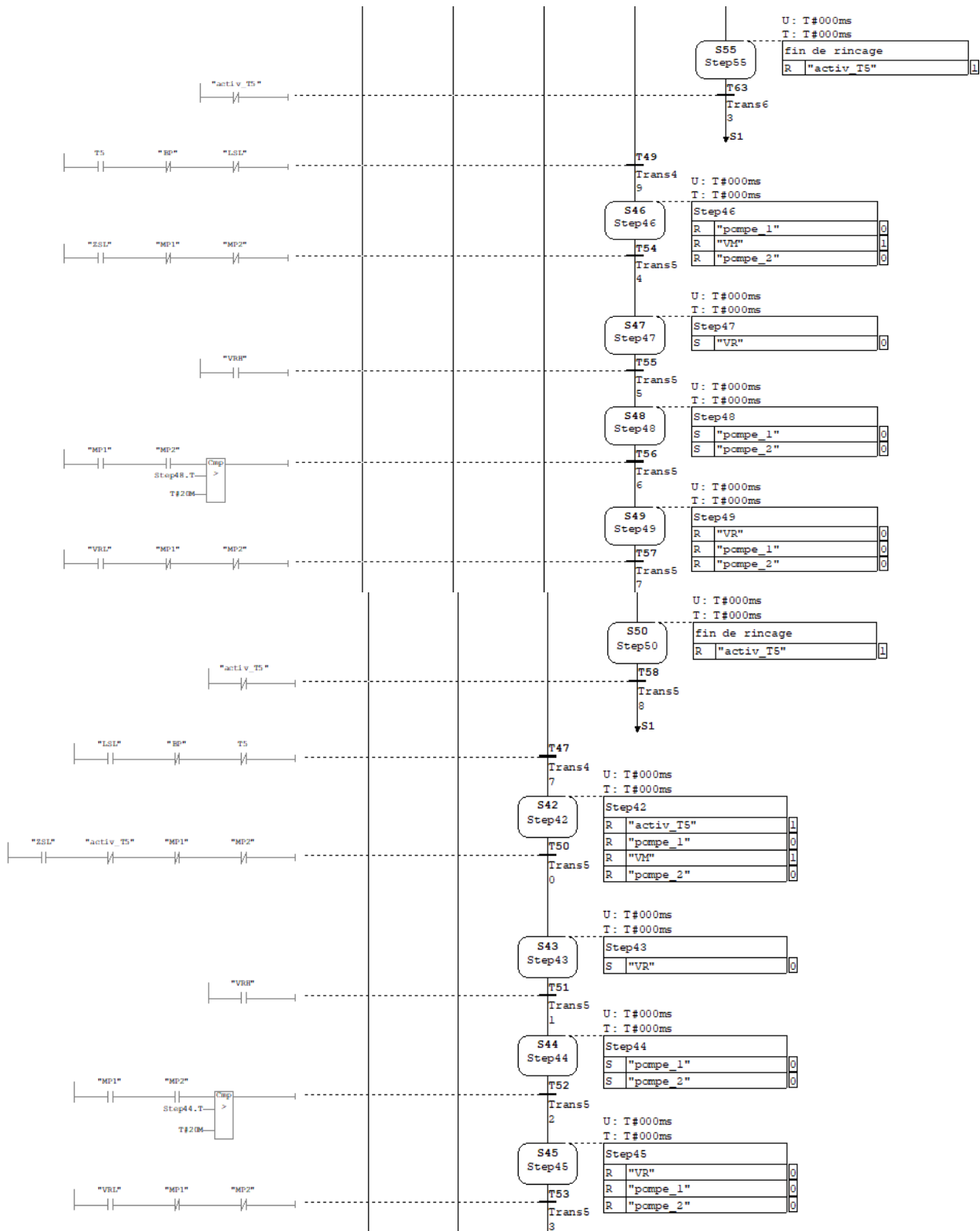
grafcet de preparation

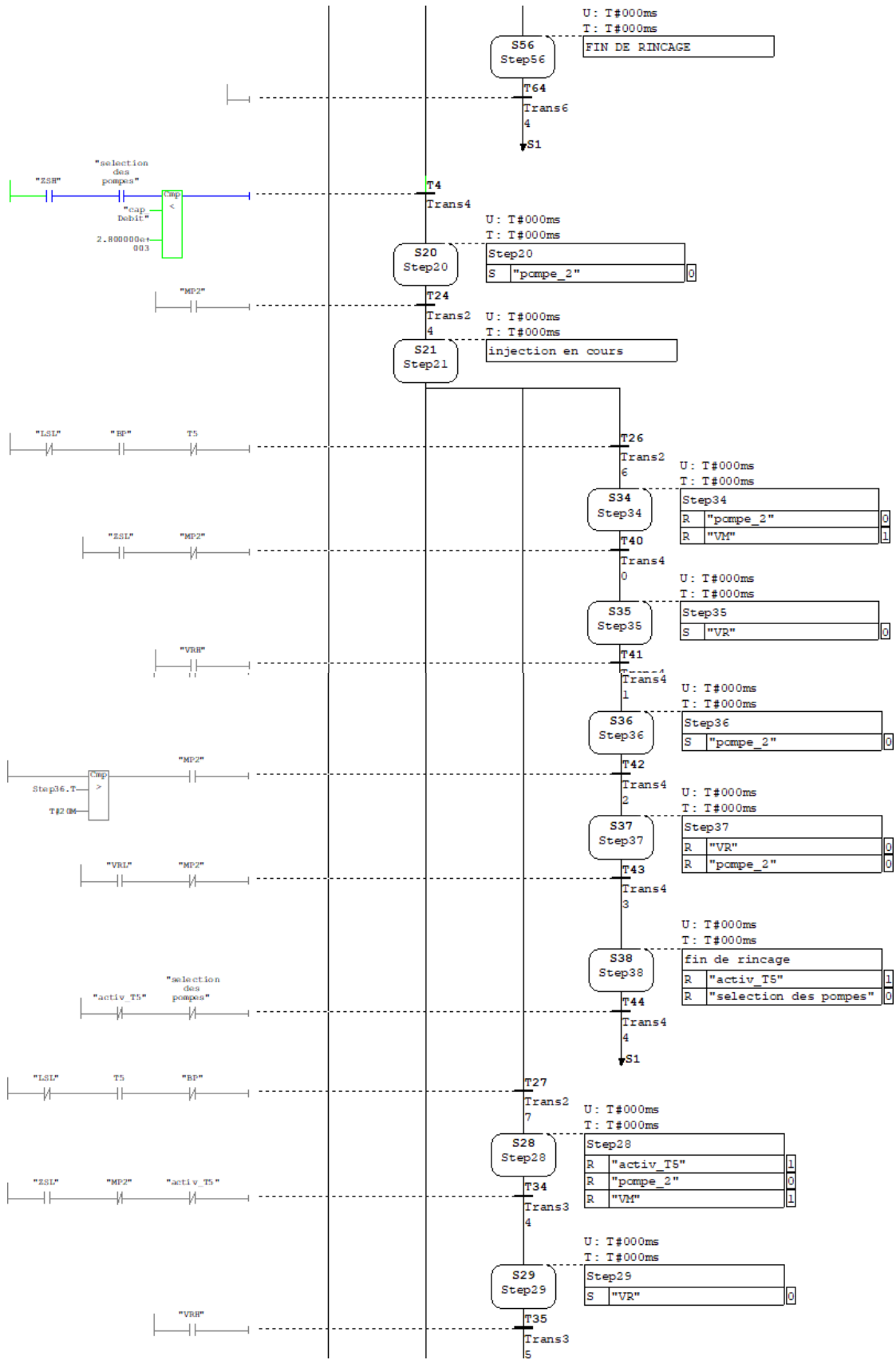


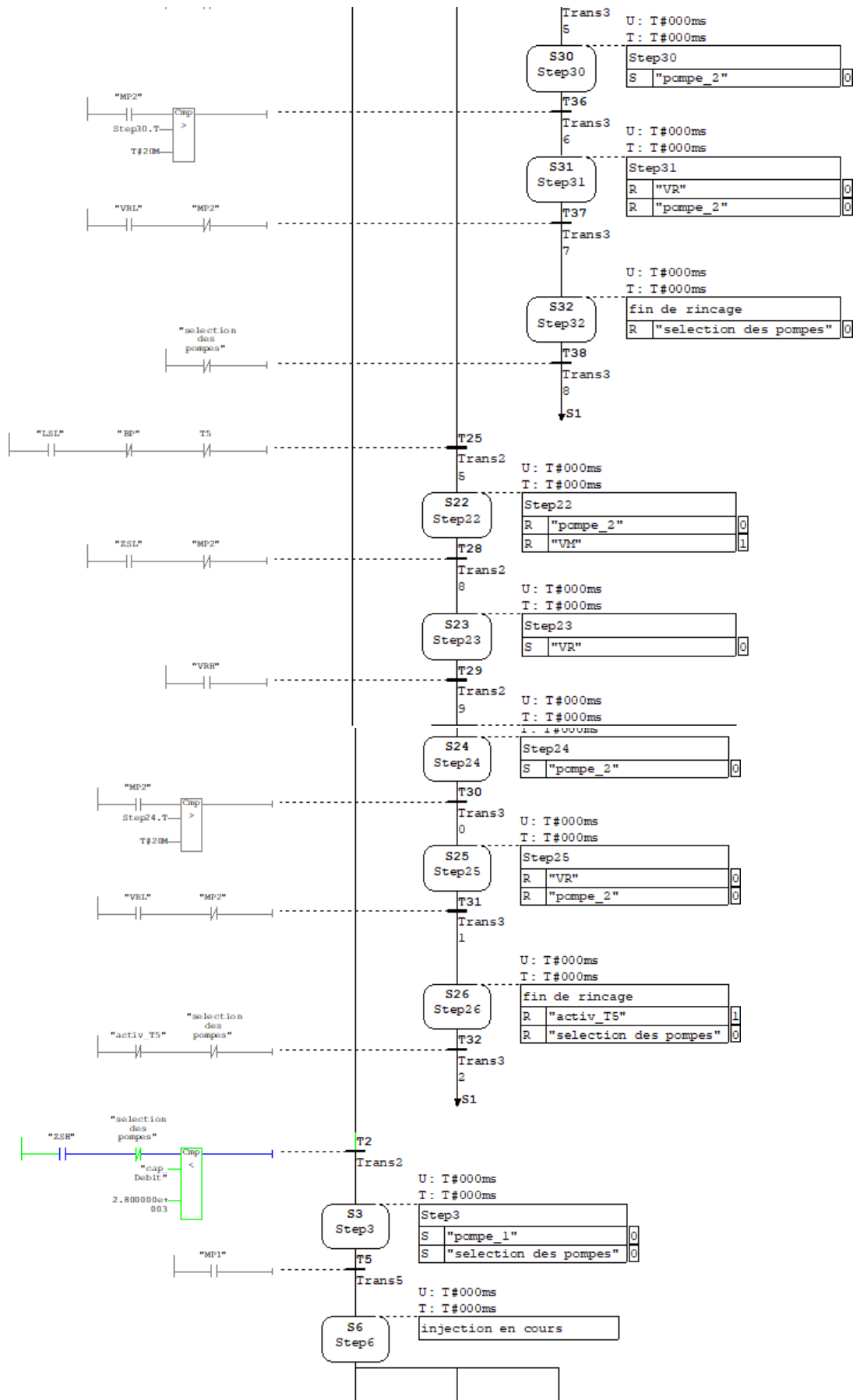
• Grafcet complet d'injection, dosage et rinçage

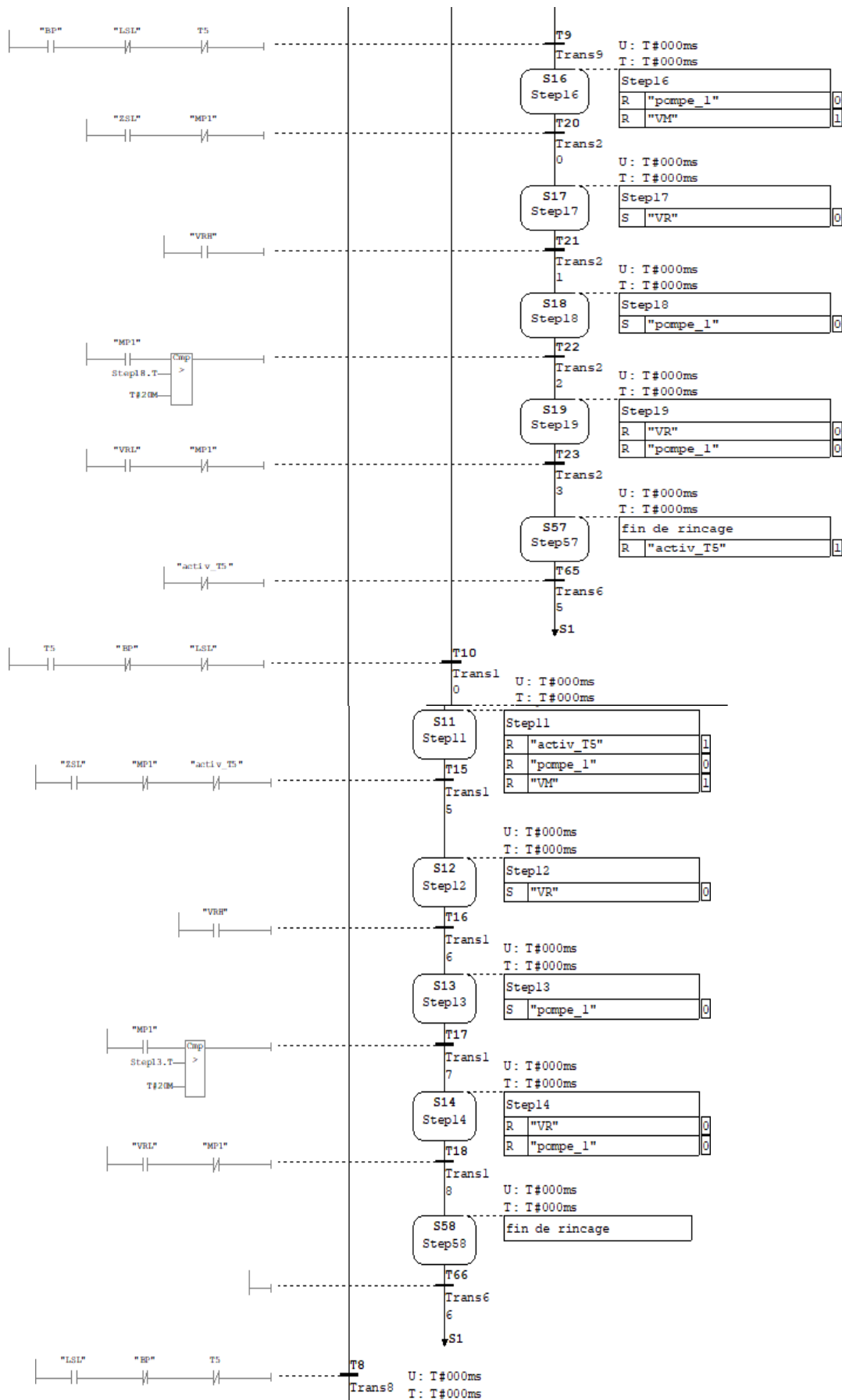
GRAFJET D'INJECTION, DOSAGE ET RINÇAGE

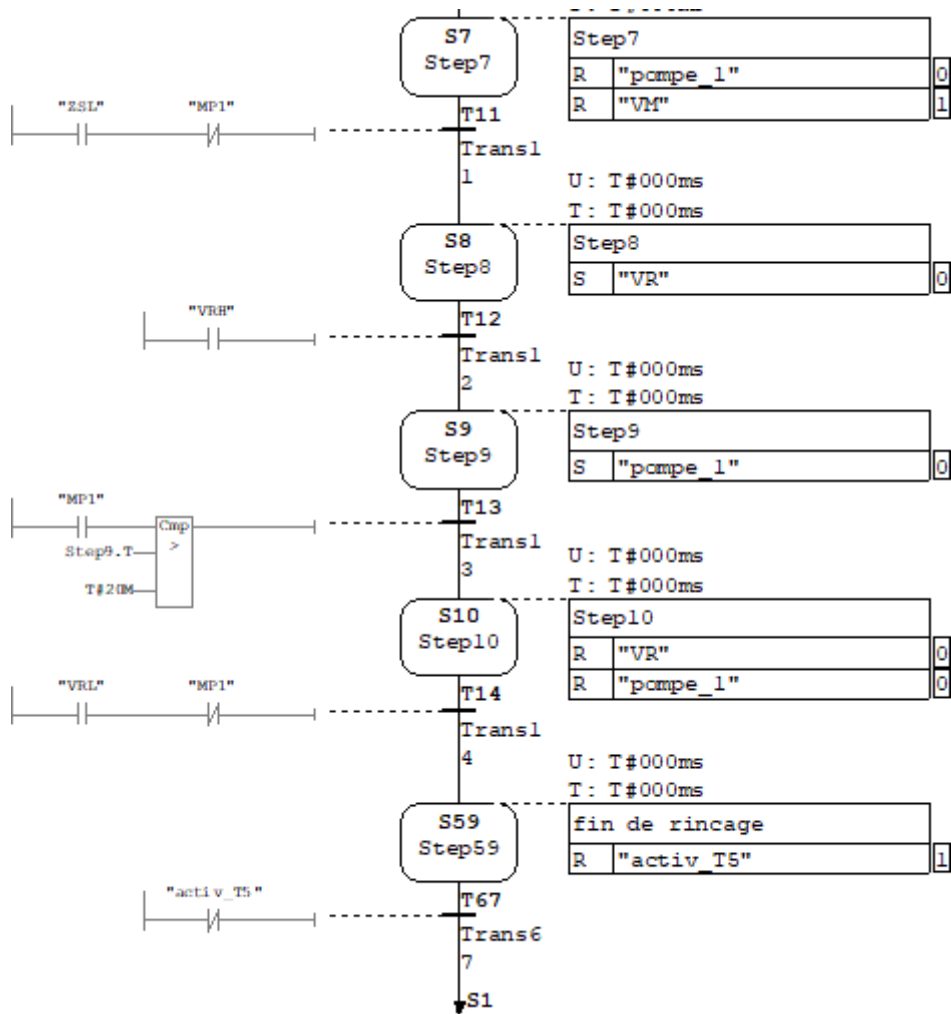






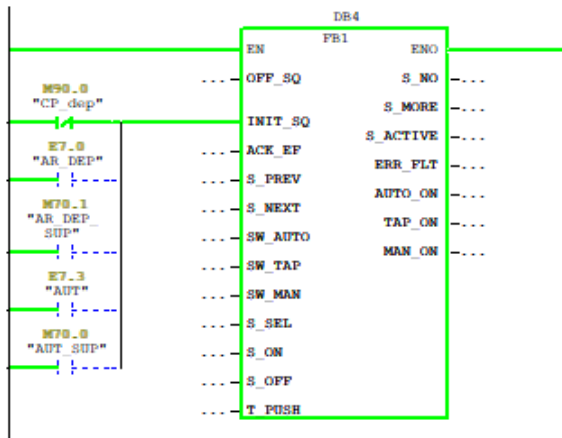




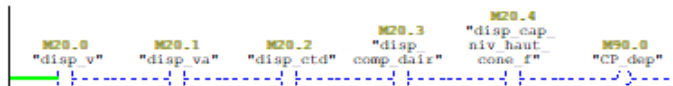


Annexe D

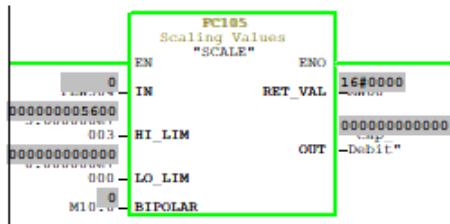
- Le réseau OB1 de dépoussiérage, préparation, injection et rinçage.



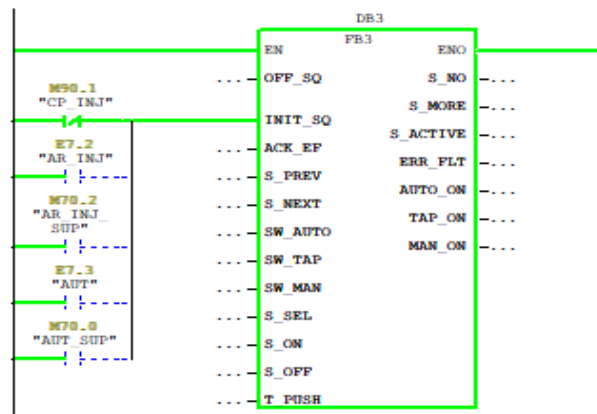
□ Réseau 2 : conditions permanentes depoussierage



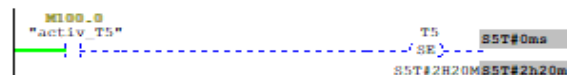
□ Réseau 3 : Titre :



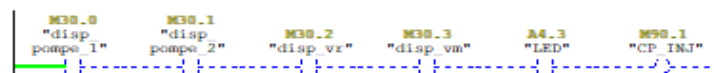
□ Réseau 4 : Titre :



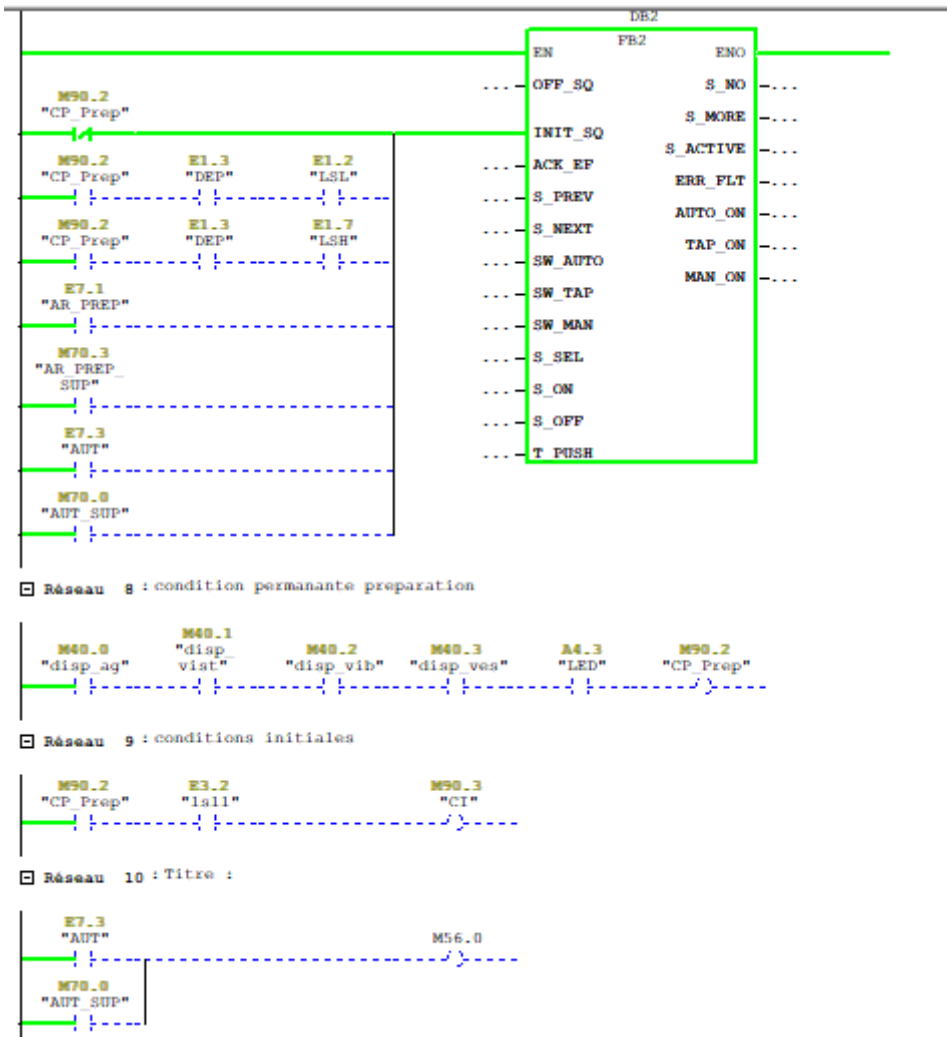
□ Réseau 5 : activation de la temporisation T5



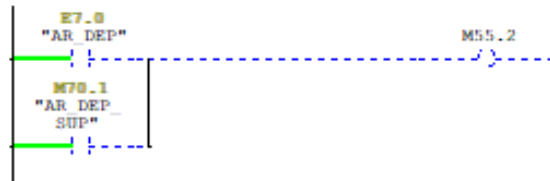
□ Réseau 6 : conditions permanentes injection et rinçage



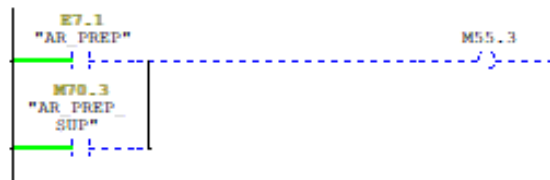
□ Réseau 7 : Titre :



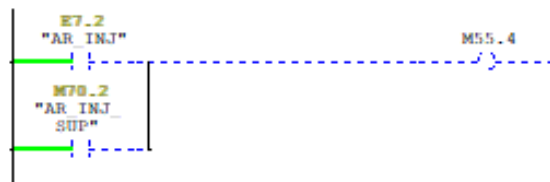
☐ Réseau 11 : Titre :



☐ Réseau 12 : Titre :



☐ Réseau 13 : Titre :



☐ Réseau 14 : Titre :



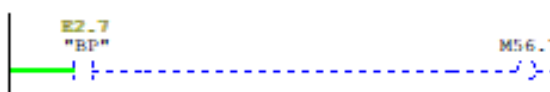
☐ Réseau 15 : Titre :



☐ Réseau 16 : Titre :



☐ Réseau 17 : Titre :



☐ Réseau 18 : Titre :



☐ Réseau 19 : Titre :

