

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département Electronique
DANONE DJURDJURA ALGERIE

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique

Migration de la station NEP-Lait Cru du système ACCOS vers Siemens S7-400

Réalisé par: **Mlle. Ines TAMOURT**

Sous la direction de **Mr. Cherif LARBES** et **Mr. Mouloud OURTEMACHE**

Présenté et soutenu publiquement le (29/06/2019)

Composition du jury

Président	Mr AIT CHEIKH M. Salah	Pr	ENP
Promoteur	Mr LARBES Cherif	Pr	ENP
Examineur	Mr HADDADI Mourad	Pr	ENP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Electronique

DANONE DJURDJURA ALGERIE

Mémoire de projet de fin d'études

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

Migration de la station NEP-Lait Cru du système ACCOS vers Siemens S7-400

Réalisé par: Mlle. Ines TAMOURT

Sous la direction de Mr. Cherif LARBES et Mr. Mouloud OURTEMACHE

Présenté et soutenu publiquement le (29/06/2019)

Composition du jury

Président	Mr AIT CHEIKH M. Salah	Pr	ENP
Promoteur	Mr LARBES Cherif	Pr	ENP
Examineur	Mr HADDADI Mourad	Pr	ENP

Dédicaces

A la mémoire de mon oncle

A mes chers parents

A ma famille et mes amies

A mes enseignants

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude en premier lieu, à mon promoteur au sein de l'entreprise : DANONE SPA ; Mr OURTEMACHE pour son accompagnement tout au long de la période de mon stage, pour son aide, son investissement scientifique et humain et tous les efforts inestimables fournis de sa part.

Mes chaleureux remerciements vont en second lieu, à Mon Co-promoteur au département d'Electronique : Mr LARBES, pour sa disponibilité, son écoute et ses conseils, qui m'ont été toujours précieux.

Je souhaite remercier les membres du jury, Pr HADDADI en qualité d'examineur, ainsi que Pr AIT CHEIKH qui m'a fait l'honneur de présider le jury de thèse. Merci pour le temps que vous avez consacré à juger ce travail, et à vos remarques constructives.

Je témoins toute ma gratitude à l'ensemble de mes professeurs à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger et à l'Ecole Préparatoire Aux Sciences Et Techniques d'Annaba qui m'ont accompagné durant ces cinq années d'études d'ingénieur.

Je remercie d'une façon très particulière mes parents pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ainsi que toute ma famille et mes amies.

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

ملخص

يستند العمل المقدم في هذه المذكرة ببرمجة محطة التنظيف في المكان التي تعمل حاليا تحت المبرمج الالي (اكوس) وذلك باستخدام البيات (سيمنس).
تم اجراء دراسة مفصلة للمحطة والتي مكنا من نمذجة تشغيلها وبرمجتها باستخدام برنامج (ستب 7) والمراقبة الالية عبر البرنامج (وينسيبي اكسبلور) بعد ذلك

الكلمات المفتاحية

محطة التنظيف في المكان ACCOS, PLC, Siemens S7-400, WinCC Explorer, HMI

ABSTRACT

The work presented in this thesis is based on the automation of the CIP-Raw Milk station, currently running on ACCOS PLCs, using Siemens S7-400 PLC. A detailed study of the CIP station was made, which allowed to model its operation, and to program it with the STEP7 software and a supervision under WinCC Explorer is done afterwards.

Keywords

CIP station, ACCOS, PLC, Siemens S7-400, WinCC Explorer, HMI.

Résumé

Le travail présenté dans ce mémoire est basé sur l'automatisation de la station NEP-Lait Cru, fonctionnant actuellement sous automates ACCOS, par utilisation d'automate Siemens S7-400. Il a été question d'une étude détaillée de la station NEP, ce qui a permis de modéliser son fonctionnement, et de la programmer avec le logiciel STEP7 ainsi qu'une supervision sous WinCC Explorer est faite par la suite.

Mots clés

Station NEP, ACCOS, API, Siemens S7-400, STEP7, WinCC Explorer, IHM.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale : 13

CHAPITRE 1: Généralités sur la station NEP-Lait Cru

1.1) Introduction 15

1.2) Le lait 15

1.3) Processus de réception du lait cru..... 16

1.4) Présentation de la station NEP (Nettoyage En Place) 16

1.4.1) Composants de l'installation NEP 16

1.4.2) Les phases d'un nettoyage..... 17

1.4.3) Efficacité d'un nettoyage 18

1.5) La station NEP sous automate programmable ACCOS 18

1.6) Problématique..... 20

1.7) Conclusion..... 20

Chapitre 2: Caractérisation et analyse fonctionnelle de la station NEP-Lait Cru

2.1) Introduction..... 22

2.2) Analyse fonctionnelle de la station 22

2.2.1) Description générale de la station NEP-Lait Cru..... 22

2.2.2) Conditions de fonctionnement 22

2.2.3) Analyse fonctionnelle de la station NEP-Lait Cru 22

2.2.3.1) Partie1 : préparation des solutions..... 23

2.2.3.2) Partie 2 : Lancement du Nettoyage en Place 24

2.2.4) Bilan d'analyse 26

2.2.5) Solutions et propositions..... 26

2.3) Instrumentation..... 27

2.3.1) Les capteurs..... 27

2.3.1.1) Définition..... 27

2.3.1.2) Caractéristiques d'un capteur 27

2.3.1.3) Familles de capteurs..... 27

2.3.2) Capteurs utilisés dans la station NEP-Lait Cru 28

2.3.2.1) Détecteur de niveau (M FTL50(H), FTLH 51(H)) 28

2.3.2.2) Sonde de niveau (Deltapilot S DB 50, DB 51, DB 52)..... 29

2.3.2.3) Sonde de température (RTD OMNIGRAD M TR11)..... 30

2.3.2.4) Débitmètre électromagnétique (Promag 50/53 W).....	30
2.3.2.5) Sonde de conductivité (CLS52)	31
2.3.2) Actionneurs.....	32
2.3.2.1) Définition.....	32
2.3.2.2) Les actionneurs utilisés dans la station NEP-Lait Cru	33
2.4) Etude du schéma électrique de la station.....	35
2.4.1) Appareils de protection de circuits électriques	36
2.4.1.1) Le fusible.....	36
2.4.1.2) Relais thermique	36
2.4.1.3) Le sectionneur	37
2.4.1.4) Protection par disjoncteur.....	37
2.4.1.5) Relais temporisé	37
2.4.1.6) Contacteur	38
2.5) Conclusion	38
Chapitre 3: Les Automates Programmables Industriels	
3.1) Introduction.....	40
3.2) Définition d'un API (Automate Programmable Industriel).....	40
3.3) Objectifs de l'automatisation	40
3.4) Fonctionnement d'un automate programmable industriel	40
3.5) Architecture d'un automate programmable	41
3.5.1) Architecture Interne	41
3.5.1.1) L'unité centrale (CPU)	42
3.5.1.2) La mémoire.....	42
3.5.1.3) Modules d'entrées/sorties :.....	42
3.5.1.4) Bus	42
3.5.1.5) Interfaces d'entrées/sorties.....	42
3.5.1.6) Alimentation électrique	42
3.5.2) Architecture externe	42
3.5.2.1) Le rack ou châssis	43
3.5.2.2) Un module d'unité centrale ou CPU.....	44
3.5.2.3) Un module d'alimentation.....	44
3.5.2.4) Un ou plusieurs modules de sorties (TOR) ou analogique	44
3.5.2.5) Un ou plusieurs modules de communication	44
3.6) Critères de choix d'un API.....	44
3.6.1) Automates Siemens	44
3.6.2) L'automate S7-400	45
3.6.2.1) Structure d'un S7-400.....	45

3.6.2.2) Protection de l'automate S7-400	46
3.6.2.3) Réseaux dans les automates Siemens.....	46
3.6.3) Langages de programmation pour les automates Siemens	46
3.6.3.1) Le langage LD (Ladder Diagram)	46
3.6.3.2) Le langage IL (Instruction List).....	46
3.6.3.3) Le langage FBD (Function Block Diagram)	46
3.6.3.4) Le langage ST (Structured Text)	47
3.6.3.5) Le langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET	47
3.6.4) Blocs de programmation	47
3.6.4.1) Bloc d'organisation (OB).....	47
3.6.4.2) Bloc de données (DB)	47
3.6.4.3) Blocs fonctionnel (FB).....	47
3.6.4.4) Fonction (FC).....	47
3.7) Cahier des charges	47
3.7.1) Phase1 : Préparation des cuves.....	48
3.7.1.1) Cuve « Soude »	48
3.7.1.2) Cuve « Acide »	50
3.7.2) Phase2 : Nettoyage en place (NEP).....	51
3.7.2.1) NEP.....	51
3.7.2.2) Cycle long.....	52
3.7.2.3) Cycle court.....	52
3.7.2.4) Cycle Rinçage	53
3.7.2.5) Pré-rinçage.....	53
3.7.2.6) Nettoyage en soude.....	54
3.7.2.7) Nettoyage en acide.....	54
3.8) Conclusion	55
Chapitre 4: Simulation et supervision de la station NEP-Lait Cru	
4.1) Introduction.....	57
4.2) Logiciel Step 7	57
4.2.1) Présentation du logiciel.....	57
4.2.2) Fonctionnalités principales du logiciel	57
4.2.2.1) Gestionnaire de projets SIMATIC	57
4.2.2.2) Editeur de mnémoniques.....	57
4.2.2.3) Diagnostic du matériel	58
4.2.2.4) Paramétrage de l'interface PG/PC	58
4.2.3) Création du projet SIMATIC STEP7	59
4.2.3.1) Configuration du matériel.....	60

4.2.3.2) Edition du programme	60
4.2.3.3) Simulation du programme avec le logiciel PLCSIM.....	61
4.3) Logiciel WinCC Explorer.....	61
4.3.1) Supervision industrielle	61
4.3.2) Présentation de WinCC	62
4.3.3) Fonctionnement de Wincc	62
4.3.4) Logiciel de configuration	62
4.3.5) Création d'un projet WinCC	63
4.3.5.1) Définition des variables.....	63
4.3.5.2) Communication WinCC/STEP7	64
4.3.5.3) Création d'une vue process	64
4.3.5.4) Création des alarmes	64
4.3.5.5) Test et simulation du projet	64
4.3.5.6) Transfert du projet	65
4.4) Développement du projet sous STEP7 et WinCC	65
4.4.1) Développement du projet sous STEP7	65
4.4.2) Développement du projet sous WinCC Explorer	68
4.4.3) Exemples de simulations.....	69
4.4.3.1) Exemple de la partie1 (Préparation des cuves) : Mise à niveau de la cuve Soude ...	69
4.4.3.2) Exemple de la partie2 (Nettoyage en place) : Pré-rinçage.....	70
4.5) Conclusion	71
Conclusion générale	72
Bibliographie.....	73
Annexe 1 : Table des mnémoniques.....	74
Annexe 3: Programmes.....	76
Annexe 3 : Bloc des données.....	130

Liste des tableaux :

Tableau I. 1 Les principales propriétés physico-chimiques du lait.....	15
--	----

Liste des figures :

Figure 1. 1 Vue d'une station NEP.....	17
Figure 1. 2 Facteurs d'efficacité d'un nettoyage.....	18
Figure 1. 3 Exemple d'instruction "PARACODE".....	19
Figure 1. 4 Réseaux de communication dans un automate ACCOS.....	19
Figure 2. 1 Vue de la station NEP-Lait Cru.....	23
Figure 2. 2 La fonction d'usage d'un capteur.....	27
Figure 2. 3 Les différents types de signaux délivrés par un capteur.....	28
Figure 2. 4 Détecteur de niveau (M FTL50(H), FTLH 51(H)).....	28
Figure 2. 5 Emplacement d'un détecteur de niveau dans une cuve ou ligne.....	28
Figure 2. 6 Sonde de niveau (Deltapilot S DB50, DB51, DB52).....	29
Figure 2. 7 emplacement d'une sonde de niveau dans une cuve.....	29
Figure 2. 8 Sonde de température (RTD OMNIGRAD M TR11).....	30
Figure 2. 9 Débitmètre électromagnétique (Promag 50/53 W).....	30
Figure 2. 10 Débitmètre.....	31
Figure 2. 11 Sonde de conductivité (CLS52).....	32
Figure 2. 12 Principe de fonctionnement d'une sonde de conductivité.....	32
Figure 2. 13 Pompe centrifuge W+.....	33
Figure 2. 14 Echangeur thermique.....	34
Figure 2. 15 Vanne Delta SV1.....	35
Figure 2. 16 Vanne Delta SW4.....	35
Figure 2. 17 Exemple de schéma électrique d'un API.....	36
Figure 2. 18 Fusible.....	36
Figure 2. 19 Relais thermique.....	37
Figure 2. 20 Le sectionneur.....	37
Figure 2. 21 Disjoncteur.....	37
Figure 2. 22 Relais temporisé.....	38
Figure 2. 23 Le contacteur.....	38
Figure 3. 1 Schéma synoptique d'un système automatisé.....	40
Figure 3. 2 Schéma expliquant le fonctionnement d'un automate.....	41
Figure 3. 3 L'architecture interne d'un automate.....	41
Figure 3. 4 Automate compact.....	43
Figure 3. 5 Automate modulaire.....	43
Figure 3. 6 Structure d'un automate Siemens S7-400.....	45
Figure 4. 1 Vue du logiciel SIMATIC Manager.....	57
Figure 4. 2 Exemple d'une table de mnémonique.....	58
Figure 4. 3 Aperçu sur l'état de la CPU.....	58
Figure 4. 4 Paramétrage PG/PC sur STEP7.....	59

Figure 4. 5	Vue générale de l'interface STEP7	59
Figure 4. 6	Exemple d'une configuration matérielle	60
Figure 4. 7	Les blocs d'édition de programmes	61
Figure 4. 8	La fenêtre du simulateur PLCSIM.....	61
Figure 4. 9	Schéma synoptique du fonctionnement d'un processus industriel	62
Figure 4. 10	Création de liaison Wincc-API	63
Figure 4. 11	Connexion créée établie	64
Figure 4. 12	Exemple de vue IHM	64
Figure 4. 13	Configuration matérielle de Siemens S7-400	65
Figure 4. 14	Caractéristiques des modules de la configuration.....	65
Figure 4. 15	Exemple de mnémoniques utilisées.....	66
Figure 4. 16	Blocs d'édition de programmes.....	66
Figure 4. 17	Exemple de programmation des transitions	66
Figure 4. 18	Exemple de programmation (description du grafcet).....	67
Figure 4. 19	Exemple de programmation (Commande des actionneurs)	67
Figure 4. 20	Exemple de simulation sous PLCSIM	67
Figure 4. 21	Connexion avec l'automate créée.....	68
Figure 4. 22	variables externes créées dans la connexion "NEP_LC"	68
Figure 4. 23	Vue du process créée sous WinCC Explorer	69
Figure 4. 24	Résultat de la simulation 1	69
Figure 4. 25	Résultat de la simulation 1 (Fin du remplissage)	70
Figure 4. 26	Résultat de la simulation 2	70
Figure 4. 27	Résultat de la simulation 2 (Fin du pré-rinçage)	71

Liste des abréviations

NEP : Nettoyage En Place

ACCOS : APV Computer Control and Operating System

SPA : Société Par Actions

APV : Agence Pays de la Loire

DI : Digital Inputs

DO : Digital Outputs

AI : Analog Inputs

AO : Analog Outputs

TOR : Tout Ou Rien

UHT : Ultra Haute Température

ADE : Automation Development Environnement

ASI-bus : Actuators-Sensors Interface (Interface d'actionneurs-capteurs)

RTD : Resistance Temperature Detector

TAB : Température d'Alarme Basse

TNB : Température Normale Basse

TNH : Température Normale Haute

TAH : Température d'Alarme Haute

CAB : Conductivité d'Alarme Basse

CNB : Conductivité Normale Basse

CNH : Conductivité Normale Haute

CAH : Conductivité d'Alarme Haute

PID : Proportioanl Integrator Derivator

TLC : Tank (cuve) Lait Cru

NB : Niveau Bas

NH : Niveau Haut

CAN : Convertisseur Analogique-Numérique

CNA : Convertisseur Numérique-Analogique

API : Automate Programmable Industriel

E/S : Entrées/Sorties

GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande Etapes/transitions

IHM : Interface Homme-Machine

CPU : Central Process Unit (Unité Centrale de Traitement)

CP : Communication Port (Port de communication)

PS : Power Supply (Alimentation)

SM : Signal Modules

FM : Function Modules

MPI : Multi-Point Interface

Profibus : Process Field Bus

FC : Function

FB : Functional Bloc

DB : Data Bloc

OB : Organisational Bloc

LD : Ladder Diagram

IL : Instruction List

FBD : Function Block Diagram

ST : Structured Text

SFC : Sequential Function Chart

ROM : Read Only Memory

RAM : Read Access Memory

Introduction générale

Actuellement, Les systèmes industriels deviennent de plus en plus complexes et les demandes en termes de sûreté, de robustesse, de gain de productivité et de qualité ne cessent de s'accroître. Ce développement s'accompagne d'une évolution du processus d'automatisation.

En effet, Entre les années 1950 et 1970, grâce aux progrès de l'électronique et de l'informatique, une première grande révolution technologique mondiale s'ébauche : celle de l'automatisation de la production industrielle. Cette technologie a apporté de profonds bouleversements dans la manière de concevoir et d'organiser le contrôle d'un processus industriel en remplaçant les anciens systèmes mécaniques et à logique câblée par la suite.

L'automatisation fait appel à des systèmes électroniques qui englobent une hiérarchie de contrôle-commande depuis les capteurs de mesure, en passant par les automates, les bus de communications, la visualisation, l'archivage jusqu'à la gestion de production et des ressources de l'entreprise.

L'objectif de notre travail, au sein de l'entreprise DANONE SPA, est de migrer l'automatisation de la station NEP (Nettoyage En Place) -Lait cru du système ACCOS vers l'automate Siemens S7-400, tout en établissant un programme sous STEP7 et en réalisant par la suite une interface de contrôle-commande et de supervision sous WinCC Explorer.

On expose dans le présent rapport quatre chapitres décrivant les volets principaux de ce projet :

Au cours du chapitre 1, on introduit le processus de réception du lait cru à l'usine, tout en découvrant la composition du lait ; afin de comprendre la nécessité d'un nettoyage en place. Par la suite, on présente la station NEP avec ses différents compartiments, ainsi que les phases de nettoyage en place dans les industries agro-alimentaires et les facteurs qui y affectent. Par ailleurs, il est nécessaire de présenter la station NEP-Lait Cru sous automate ACCOS, pour conclure par la problématique traitée au cours de ce projet.

Le chapitre 2 porte, en premier lieu, sur une analyse de fonctionnement de la station NEP-Lait Cru tout en étudiant le rôle de chaque équipement de l'instrumentation. En outre, on étudie le schéma électrique d'un automate et les équipements utilisés pour la protection industrielle.

Lors du chapitre 3, on définit l'automate programmable industriel, son fonctionnement et les objectifs visés par l'automatisation des processus industriels. Par la suite, on présente l'architecture interne et externe de tout automate programmable pour savoir les critères qui distinguent un automate d'un autre. Par ailleurs, dans le cadre de notre projet, il est primordial de présenter les automates Siemens, en l'occurrence, S7-400 ainsi que ses caractéristiques et les langages existants pour le programmer. Pour finir par le cahier des charges de ce projet, en interprétant le fonctionnement de la station par des grafjets.

En dernier, au cours du chapitre 4, on présente les deux logiciels utilisés pour la programmation et la création de l'interface IHM : STEP7 et WinCC Explorer, tout en citant leurs caractéristiques et les étapes suivies pour réaliser le projet. Par la suite, des exemples de simulations sur les deux logiciels sont présentés.

CHAPITRE 1
Généralités sur la station
NEP-Lait Cru

1.1) Introduction

Dans le domaine alimentaire, la qualité et l'hygiène sont des préoccupations majeures qui restent toujours au cœur des inquiétudes des consommateurs. Pour une bonne traçabilité, l'industrie alimentaire ne cesse d'améliorer le fonctionnement des stations de Nettoyage en place « NEP » en adoptant des technologies récentes dans l'industrie.

Ce chapitre est l'occasion pour ; introduire le lait, sa composition et le processus de sa réception à l'usine. Par ailleurs, on présente la station NEP, ses compartiments et ses différentes phases de nettoyage pour comprendre l'utilité de veiller à un bon nettoyage pour un produit sain et propre. Finalement, on introduit la station sous automate ACCOS et la problématique étudiée au cours de ce projet.

1.2) Le lait

Le lait, une source importante de protéines, est un liquide opaque blanc mat ayant une odeur peu accentuée et une saveur légèrement sucrée. Il est composé à 90% d'eau et 10% de matière sèche, dont : les glucides, la matière azotée, la matière saline et les gaz dissous.

Ses principales propriétés physico-chimiques sont rassemblées au Tableau 1 :

Caractère		Valeurs
pH		6,5 à 6,6
Point de congélation (°C)		- 0.57
Acidité (°D)		16 à 18
Chaleur spécifique à 15°C (cal/g °C)		0,940
Activité d'eau		0,995
Viscosité dynamique à 25°C (Cp)		2,20
Conductivité électrique à 25°C (mS/m)		45 x 10⁻⁴
Densité	Lait entier	1,032
	Lait écrémé	1,036

Tableau I. 1 Les principales propriétés physico-chimiques du lait

On distingue différents types de laits :

- Lait cru : c'est un lait brut, qui n'a subi aucun procédé de traitement (pasteurisation ou de stérilisation) autre que la réfrigération mécanique immédiate après la traite à la ferme.
- Lait pasteurisé : c'est un lait qui a subi un échauffement pendant 15 à 20 secondes à une température de 72°C pour être débarrassé des organismes indésirables.

- Lait UHT (Ultra Haute Température) : c'est un lait qui a été stérilisé à une température allant de 140°C à 150°C pendant 2 à 5 secondes.

1.3) Processus de réception du lait cru

Une laiterie reçoit du lait cru des centres de collectes ou de grandes fermes. Ceci provient de plusieurs vaches, non traité thermiquement au-delà de 40°C et non soumis à un traitement équivalent.

La collecte du lait demande un contrôle et une prise en charge dans des conditions hygiéniques optimales. Le lait est transporté par des camion-citerne isothermes à une température de 4-6°C afin de conserver la qualité du lait car c'est un milieu de culture des germes à température ambiante. Pour cela il subit divers analyses physico-chimiques : température, acidité, PH, densité, mesure de la matière grasse, ...etc. Si le lait répond aux critères d'acceptation, il passe par les étapes suivantes à l'usine :

- a) **Dégazage** : un processus pour éliminer les odeurs et les bulles de gaz. Pour ce faire, le lait est introduit tangentiellement dans une cuve sous vide ; les gaz véhiculés à la vapeur, contenant les odeurs, montent vers le haut de la chambre et sont aspirés par la pompe sous vide, et la vapeur se condense dans le condenseur et revient dans le lait.
- b) **Filtration** : élimination des impuretés et corps étrangers au lait : germes pathogéniques comme E-coli et la bacille tuberculeuse.
- c) **Refroidissement** : le lait passe par un échangeur à deux plaques traversés par l'eau glacée pour stopper l'activité microbienne.
- d) **Stockage** : le lait est stocké dans des cuves à parois doublées à température de 4.5°C, renforcé par un agitateur pour une bonne homogénéité du produit, dans une durée qui ne dépasse pas 48H pour éviter la protéolyse et la lipolyse.

1.4) Présentation de la station NEP (Nettoyage En Place)

Le Nettoyage, une action de retirer totalement tous les résidus et souillures organiques (graisses, sang, sucre, amidon et protéines), et inorganiques (sels minéraux, rouilles, calcaire, résidus de carbonisation, ...).

Concevoir un matériel de nettoyage pour les équipements entrant en contact avec le lait est d'une importance majeure pour une installation alimentaire, car dans une laiterie il faut maintenir un niveau d'hygiène très élevé.

Le nettoyage des équipements était autrefois effectué par un personnel armé de brosse et solutions détergentes, qui devaient démonter le matériel et pénétrer dans les cuves pour atteindre les surfaces. Ceci était, non seulement pénible, mais également inefficace ; les produits étaient souvent réinfectés par des équipements imparfaitement nettoyés.

Pour assurer un nettoyage approprié et efficace, on a mis au point un système, intégré aux installations, automatique, de nettoyage en place (NEP), où les solutions de lavage et de désinfection circulent dans le circuit et nettoient les chaînes de production sans démontage.

1.4.1) Composants de l'installation NEP

La station NEP permet le nettoyage de différents équipements de l'usine, est constituée des compartiments suivants (Figure 3):

- Cuve de l'eau récupérée : contient l'eau du rinçage final, et sera utilisée pour le pré-rinçage ultérieurement.

- Cuve de la soude : contient la soude diluée en solution à une concentration et température définies.
- Cuve Acide : contient l'acide nitrique (HNO_3) diluée en solution à une concentration et température définies.
- Boucle de régulation de la température : système qui contrôle la température des cuves automatiquement et la fixe à une température définie.
- Ligne d'envoi et de retour des solutions de nettoyage.
- Instrumentation, composée de : sondes de niveau, sondes de température et de conductivité, débitmètres, pompes, et vannes. Ceux-ci jouent un rôle dans le contrôle des solutions lors de l'envoi et la récupération ou drainage à l'égout de ces solutions pour garantir un nettoyage efficace et la sécurité alimentaire des consommateurs.

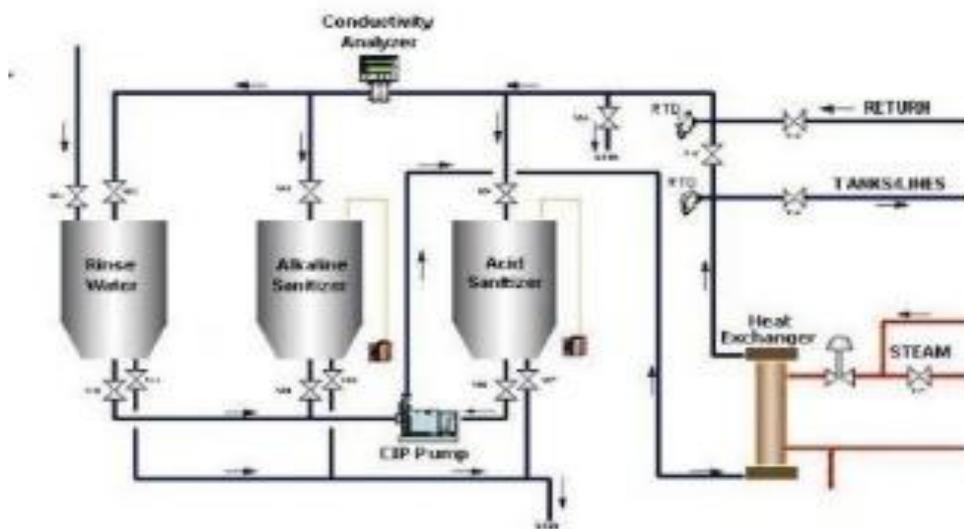


Figure 1. 1 Vue d'une station NEP

1.4.2) Les phases d'un nettoyage

On distingue trois cycles de nettoyage : Court, Long, et Rinçage (seul).

- Le cycle court s'effectue dans cet ordre : Pré-rinçage, Nettoyage soude, et le rinçage.
- Le cycle long compte : le Pré-rinçage, Nettoyage soude, Rinçage, Nettoyage acide, et le rinçage.

b.1) Pré-rinçage : utiliser l'eau du dernier rinçage pour éliminer les plus grosses souillures visibles et adhérentes. Son utilité est d'augmenter l'efficacité des produits de nettoyage et de désinfection qui seront appliqués ultérieurement.

b.2) Nettoyage soude : la soude facilite le décollement des souillures organiques. Son efficacité sera accrue si sa température, sa concentration et son temps d'action sont optimisés.

b.3) Rinçage-Soude : l'eau utilisée doit être propre pour éliminer les souillures résiduelles, les traces de détergent ou de mousse encore présentes. La quantité d'eau résiduelle après le rinçage doit être faible, car elle risque de diluer le désinfectant.

b.4) Nettoyage acide : utiliser l'acide pour réduire les micro-organismes (les pathogènes notamment) restant sur les surfaces des équipements, et éliminer les souillures inorganiques (sels minéraux, rouille, ...etc.)

b.5) Rinçage-acide : utiliser l'eau propre pour éliminer les traces du désinfectant.

1.4.3) Efficacité d'un nettoyage

Vérifier l'efficacité d'un nettoyage est considérée comme un élément important afin d'avoir un produit sain et propre. Pour cela on doit contrôler, avec précision, certains nombres de variables

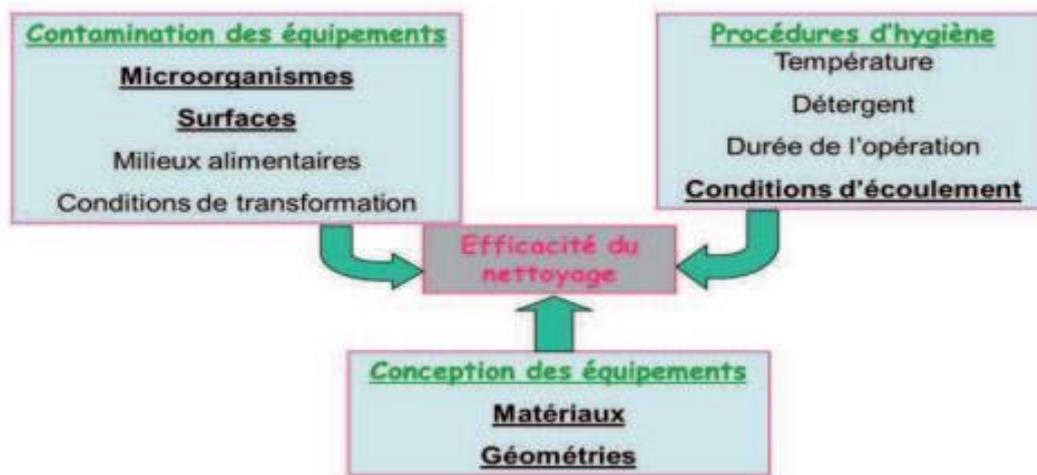


Figure 1. 2 Facteurs d'efficacité d'un nettoyage

- La concentration d'une solution, contrôlée à l'aide des sondes de conductivité : une concentration trop faible ne garantit pas un bon nettoyage, et une concentration trop forte rend le rinçage plus délicat et accélère la corrosion des surfaces.
- La température d'une solution, contrôlée à l'aide des sondes de température : une solution trop chaude provoque l'évaporation de certains principes actifs renfermés dans la soude et l'acide, donc ils deviennent moins efficaces, et une eau froide rend la dilution de l'acide et la soude plus fastidieuse.
- L'effet mécanique des fluides sur les surfaces à nettoyer (débit des solutions)
- Temps d'action : c'est un facteur qu'on cherche toujours à minimiser. Cependant, il faut respecter certains temps d'action pour les détergents afin que leur action chimique vis-à-vis des souillures puisse avoir lieu. Le temps d'action pour la soude est de 20-30 mn, et pour l'acide est de 20mn à plusieurs heures.

1.5) La station NEP sous automate programmable ACCOS

La station NEP Lait cru fonctionne actuellement sous un automate programmable de la série ACCOS d'APV appelé : « Intelligent Integrator » sous supervision « INTOUCH ». Il permet le contrôle de la station grâce au langage « PARACODE ».

Une instruction « PARACODE » se compose d'une ou plusieurs parties :

- Une mnémonique composée de 1 à 6 caractères

- Un certain nombre d'arguments dépendant de la mnémonique

Dans l'écriture du « PARACODE », les arguments associés à chaque mnémonique doivent être séparés par une virgule, un ou plusieurs espaces, une ou plusieurs tabulations.

Voici un exemple d'une instruction « PARACODE » :

STOP / Arrêter cette séquence

ATTE 5 / Attendre 5 secondes

CHAR 63 R5 / Mettre le nombre 63 dans /le registre entier 5

IFBTOMI 5 R17 7 /Si le bit 5 du registre /entier 17 est à 1, aller /à la ligne 7.

Figure 1. 3 Exemple d'instruction "PARACODE"

L'ADE (APV Watch par exemple) fournit des fenêtres d'inspection pour chaque type de variable « PARACODE » :

- Inspection d'un Flag.
- Inspection d'un Registre.
- Inspection d'un Timer
- Inspection d'une File ACCOS (Fichier de données ACCOS).
- Inspection d'une Entrée Digitale (DI).
- Inspection d'une Sortie Digitale (DO).
- Inspection d'une Entrée Analogique (AI).
- Inspection d'une Sortie Analogique (AO).
- Inspection d'une Séquence.

L'automate « Intelligent Integrator » communique avec d'autres réseaux via Profibus, ASI-Bus, Ethernet (Figure 3). Par ailleurs, il existe plusieurs gammes d'automates ACCOS, on cite : ACCOS 30, 31P ou GENERATOR.

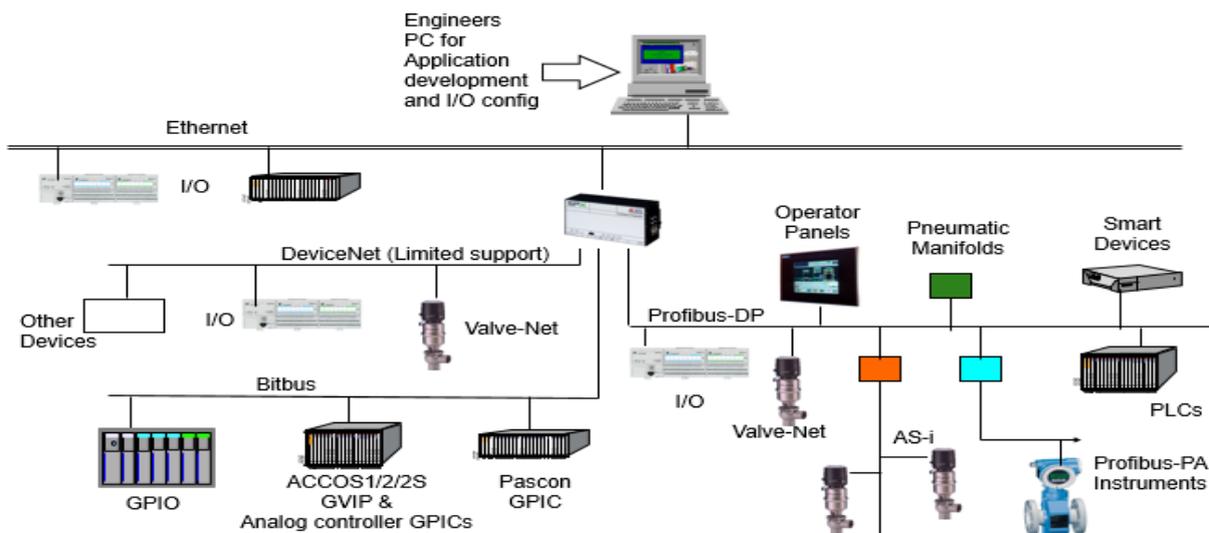


Figure 1. 4 Réseaux de communication dans un automate ACCOS

1.6) Problématique

La station NEP Lait cru est actuellement sous automate ACCOS, une ancienne gamme d'automates, qui fonctionnent sous Microsoft Windows XP ou 2000, et dont la documentation n'est pas disponible en ligne que si elle est délivrée par le fournisseur APV pour la compagnie industrielle. En outre, le processus de fonctionnement de la station n'est pas optimisé en terme de : temps et quantité de solutions drainées.

Pour cela notre travail consiste à optimiser d'abord le fonctionnement de la station. Par la suite, la simplicité d'utilisation, la fiabilité du matériel et logiciel, et l'adaptabilité aux nouvelles technologies nous mènent à choisir la gamme S7-400 de Siemens, automates les plus répandus en industrie, pour programmer le processus, et réaliser enfin une interface de contrôle Homme-Machine sous supervision WinCC.

1.7) Conclusion

Un bon nettoyage en place exige de prendre en considération les facteurs d'efficacité, à savoir la concentration, le temps d'action, la température, l'action chimique et mécanique, et l'adaptabilité aux nouvelles technologies d'automates industriels. ACCOS, le système actuel de la station, qui malgré ses avantages ; reste une ancienne technologie et devint de moins en moins utile.

Avant de procéder au développement du projet sous automate Siemens S7-400, il est primordial de caractériser le fonctionnement de la station NEP.

CHAPITRE 2

Caractérisation et analyse fonctionnelle de la station NEP-Lait Cru

2.1) Introduction

La conception et l'automatisation d'une installation industrielle exige une compréhension approfondie de son fonctionnement avec les équipements qui y contribuent. En outre, le choix du matériel est un élément essentiel dans la conception des systèmes automatisés, d'où une description du fonctionnement de chaque élément devient primordiale.

Au cours de ce chapitre, on réalise une analyse de fonctionnement de la station NEP-Lait Cru ainsi qu'une présentation des caractéristiques et du rôle de chaque élément de l'instrumentation. Par ailleurs, on étudie le schéma électrique général d'un automate tout en introduisant les équipements de protection des circuits électriques.

2.2) Analyse fonctionnelle de la station

2.2.1) Description générale de la station NEP-Lait Cru

La station NEP-Lait Cru, est destinée à nettoyer des cuves sur le site. Elle est constituée de :

- Trois cuves : « Eau récupérée », « Acide », et « Soude », contenant chacune une solution de nettoyage,
- Un échangeur thermique pour échauffer les solutions détergentes pour un nettoyage plus efficace,
- Et une ligne d'envoi et de retour, où les solutions circulent en boucle fermée avec récupération à la fin du nettoyage ou drainage à l'égout.

2.2.2) Conditions de fonctionnement

- Les seuils de température pour la soude sont :

TAB : 80°C TNB : 82°C TNH : 87°C TAH : 120°C

- Les seuils de température pour l'acide sont :

TAB : 60°C TNB : 65°C TNH : 68°C TAH : 100°C

- Les seuils de conductivité pour la soude sont :

CAB : 80ms CNB : 82ms CNH : 85ms CAH : 92ms

- Les seuils de conductivité pour l'acide sont :

CAB : 30ms CNB : 50ms CNH : 60ms CAH : 100ms

N.B : la vapeur d'eau de l'échangeur thermique est à débit constant

2.2.3) Analyse fonctionnelle de la station NEP-Lait Cru

Le système de NEP fonctionne en deux parties :

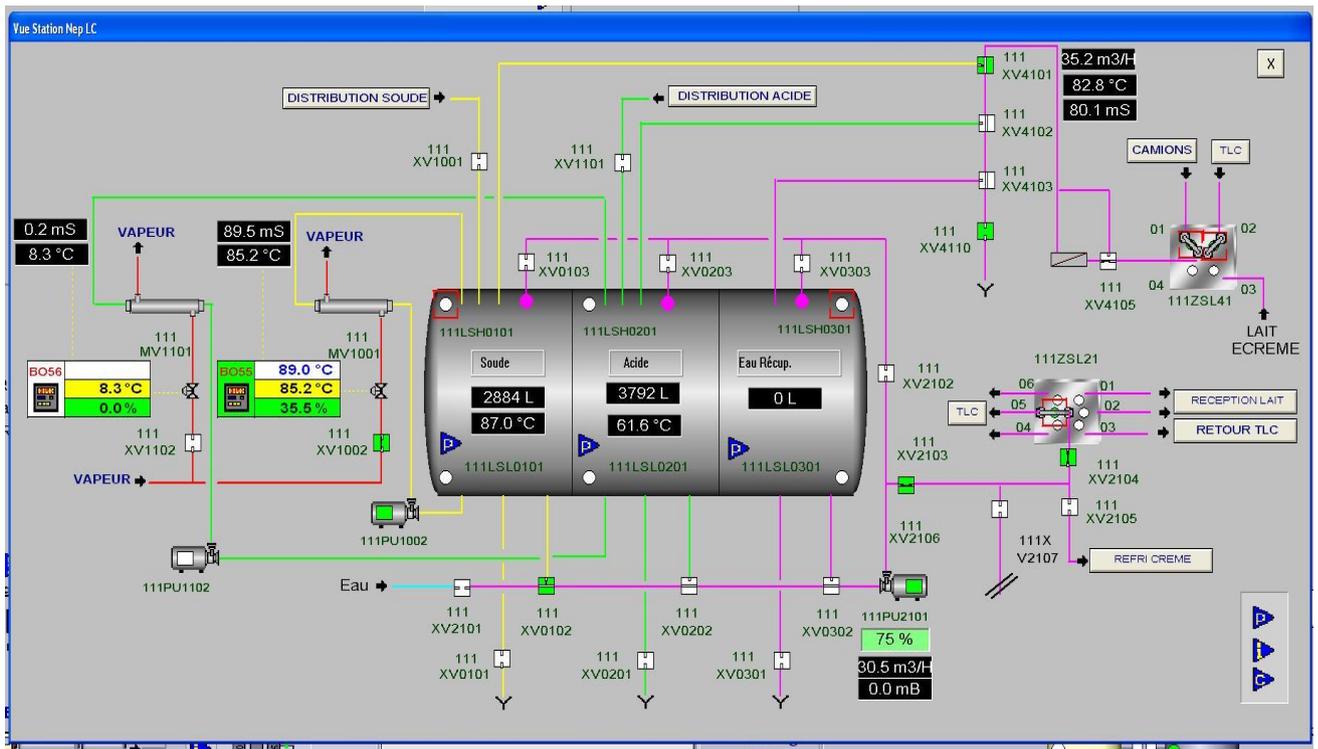


Figure 2. 1 Vue de la station NEP-Lait Cru

2.2.3.1) Partie I : préparation des solutions

Avant d'entamer la préparation des cuves « Soude » et « Acide », il faut s'assurer que la ligne n'est pas en phase de nettoyage (les vannes de : soutirage de la soude « 111XV0102 », soutirage de l'acide « 111XV0202 », soutirage de l'eau récupérée « 111XV0302 » et la vanne d'envoi des solutions « 111XV2104 » sont fermées). Ensuite, on choisit la cuve à préparer et valider les choix.

a) Préparation de la cuve « Soude »

Mise à niveau de la cuve

- On teste d'abord si la cuve n'est pas remplie, à l'aide d'une sonde analogique (Niveau analogique <90%) ou d'un détecteur de niveau TOR (« 111LSH0101 » à 0)
- On active la vanne d'arrivée d'eau « 111XV2101 », la vanne « 111XV2102 » et la vanne de la cuve soude « 111XV0103 »
- Après 3s on active la pompe « 111Pu2101 » pour envoyer l'eau
- Lorsque la cuve est remplie (Niveau analogique $\geq 90\%$ ou « 111LSH0101 » à 1), on ferme les vannes et on éteint la pompe

Mise en température de la cuve

- Il faut s'assurer que le processus précédent est terminé (Cuve pleine : Niveau analogique est supérieur ou égal à 90% ou « 111LSH0101 » est à 1)
- On active la vanne d'arrivée de vapeur « 111XV1002 » et la pompe « 111Pu1002 »
- L'eau de la cuve passe par un échangeur thermique (Liquide-Vapeur), et sera réinjecté dans la cuve. Ce processus se répète en boucle jusqu'à atteindre la température consigne.
- La régulation de la température est réalisée à l'aide d'un régulateur PID.

Mise en concentration de la cuve

- Lorsque la cuve est mise sur la bonne température, on active la vanne « 111XV1001 » pour injecter la soude qui se trouve dans son état solide durant 5 mn
- On ferme la vanne « 111XV1001 » pour mélanger la solution en la circulant en boucle fermée à l'aide de la pompe « 111Pu1001 »
- On teste la conductivité de la solution soude à l'aide d'une sonde de conductivité. Dans le cas où la mesure n'est pas adéquate on répète le processus précédent

b) Préparation de la cuve « Acide »*Mise à niveau de la cuve*

- On teste d'abord si la cuve n'est pas remplie à l'aide d'une sonde analogique (Niveau analogique <90%) ou d'un détecteur de niveau TOR (« 111LSH0201 » à 1)
- On active la vanne d'arrivée d'eau « 111XV2101 », la vanne « 111XV2102 » et la vanne de la cuve soude « 111XV0203 »
- Après 3s on active la pompe « 111Pu2101 » pour envoyer l'eau
- Lorsque la cuve est remplie (Niveau analogique $\geq 90\%$ ou « 111LSH0201 » à 1), on ferme les vannes et on éteint la pompe

Mise en température de la cuve

- Il faut s'assurer que le processus précédent soit terminé (Cuve pleine : Niveau analogique est supérieur ou égal à 90% ou « 111LSH0201 » à 1)
- On active la vanne d'arrivée de vapeur « 111XV1102 » et la pompe « 111Pu1102 »
- L'eau de la cuve passe par un échangeur thermique (Liquide-Vapeur), et sera réinjecté dans la cuve. Un processus qui se répète en boucle jusqu'à atteindre la température consigne.
- La régulation de la température est réalisée à l'aide d'un régulateur PID.

Mise en concentration de la cuve

- Lorsque la cuve est mise sur la bonne température, on active la vanne « 111XV1101 » pour injecter durant 5 mn l'acide concentré
- On ferme la vanne « 111XV1101 » pour mélanger la solution en la circulant en boucle fermée à l'aide de la pompe « 111Pu1102 »
- On teste la conductivité de la solution soude à l'aide d'une sonde de conductivité. Dans le cas où la mesure n'est pas adéquate on répète le processus précédent

2.2.3.2) Partie 2 : Lancement du Nettoyage en Place

- D'abord, on s'assure que la ligne n'est pas en phase de préparation des cuves (la vanne d'eau « 111XV2101 », la vanne « 111XV2102 », la vanne de la cuve Acide « 111XV0203 », et la vanne de la cuve Soude « 111XV0103 » sont fermées)
- Ensuite, on choisit le cycle de nettoyage : Court, Long ou Rinçage seul. Le cycle court compte la phase du pré-rinçage, nettoyage en soude et le rinçage final. Le cycle long, par ailleurs aux phases précédentes, compte un nettoyage en acide et un rinçage final afin d'assurer un nettoyage efficace
- Deuxièmement, on choisit l'élément de la ligne à nettoyer : TLC1 (Tank de lait Cru), TLC2, TLC3, et la citerne
- On valide les choix précédents et on lance le nettoyage en place

Pré-rinçage

- On active la vanne de soutirage de l'eau récupérée « 111XV0302 » et la vanne « 111XV2104 » d'envoi des solutions.
- Après 3s, on active la pompe « 111Pu2101 » pour envoyer l'eau récupérée
- On active les vannes de retour : « 111XV4105 », et la vanne « 111XV4110 » (vanne drainage à l'égout)
- On lance le pré-rinçage, et on attend le retour de la solution, car c'est un processus qui se fait en boucle fermée
- Lorsque la sonde du débit de retour indique une valeur supérieure à 5 m³/h, on lance une temporisation T₀ du pré-rinçage, et on draine la solution à l'égout
- La fin du pré-rinçage est indiqué par un débit de retour inférieur à 2 m³/h

Nettoyage en Soude

- D'abord, on doit s'assurer que la phase précédente soit terminée (les capteurs de retour indiquent des valeurs aux alentours de 0)
- On active la vanne de soutirage de soude « 111XV0102 » et la vanne d'envoi des solutions « 111XV2104 »
- Après 3s, on active la pompe « 111Pu2101 » pour envoyer la solution soude
- On active les vannes de retour : « 111XV4105 », la vanne de drainage à l'égout « 111XV4110 » et la vanne de retour de la soude « 111XV4101 »
- On lance le nettoyage et on attend le retour de la solution soude
- Le retour de la solution est indiqué par un débit supérieur à 5 m³/h
- On teste la conductivité et la température de la solution, dont on distingue deux cas :

Si la température est supérieure à 50°C et la conductivité supérieure à 50ms : on récupère la soude vers sa cuve et on lance une temporisation de nettoyage T₁, sinon on draine la solution soude à l'égout.

- La fin du nettoyage est indiquée par T₁=0 et un débit de retour inférieur à 2 m³/h

Rinçage premier

- On doit s'assurer que le nettoyage en soude soit terminé (les capteurs de retour indiquent des valeurs aux alentours de 0)
- On active la vanne d'arrivée d'eau « 111XV2101 » et la vanne d'envoi des solutions « 111XV2104 »
- On active les vannes de retour : « 111XV4105 », la vanne de drainage à l'égout « 111XV4110 » et la vanne de retour à la cuve Eau récupérée « 111XV4103 »
- On lance le rinçage et on attend le retour de l'eau
- Le retour de la solution est indiqué par un débit supérieur à 5 m³/h
- Par ailleurs, on teste la conductivité de retour : si elle est supérieure à 5ms, on draine la solution à l'égout car la conductivité de l'eau propre est aux environs de 0ms, sinon on lance une temporisation T₂ et on récupère à la cuve « Eau récupérée »
- La fin du rinçage est indiquée par T₂=0 et un débit de retour inférieur à 2 m³/h

Nettoyage en acide

- D'abord, on doit s'assurer que la phase précédente soit terminée (les capteurs de retour indiquent des valeurs aux alentours de 0)
- On active la vanne de soutirage d'acide « 111XV0202 » et la vanne d'envoi des solutions « 111XV2104 »
- Après 3s, on active la pompe « 111Pu2101 » pour envoyer la solution acide

- On active les vannes de retour : « 111XV4105 », la vanne de drainage à l'égout « 111XV4110 » et la vanne de retour de l'acide « 111XV4102 »
- On lance le nettoyage et on attend le retour de la solution acide
- Le retour de la solution est indiqué par un débit supérieur à 5 m³/h
- On teste la conductivité et la température de la solution, dont on distingue deux cas :

Si la température est supérieure à 50°C et la conductivité supérieure à 50ms : on récupère l'acide vers sa cuve et on lance une temporisation de nettoyage T₃, sinon on draine la solution acide à l'égout.

- La fin du nettoyage est indiquée par T₃=0 et un débit de retour inférieur à 2 m³/h

Remarque

Le nettoyage acide est effectué une fois par semaine

Rinçage final

- On doit s'assurer que le nettoyage acide soit terminé (les capteurs de retour indiquent des valeurs aux alentours de 0)
- On active la vanne d'arrivée d'eau « 111XV2101 » et la vanne d'envoi des solutions « 111XV2104 »
- On active les vannes de retour : « 111XV4105 », la vanne de drainage à l'égout « 111XV4110 » et la vanne de retour à la cuve Eau récupérée « 111XV4103 »
- On lance le rinçage et on attend le retour de l'eau
- Le retour de la solution est indiqué par un débit supérieur à 5 m³/h
- Par ailleurs, on teste la conductivité de retour : si elle est supérieure à 5ms, on draine la solution à l'égout car la conductivité de l'eau propre est 0ms, sinon On lance une temporisation T₂ du rinçage et on récupère vers la cuve « Eau récupérée »
- La fin du rinçage et du processus de nettoyage sont indiqués par T₂=0 et un débit de retour inférieur à 2 m³/h
- On éteint la station

Remarque

Les vannes « 111XV0101 », « 111XV0201 » et « 111XV0301 » ce sont des vannes de drainage de chaque cuve Eau récupérée, Soude et Acide. Elles sont utilisées pour purger le contenu de la cuve et la nettoyer, un processus qui n'est pas étudié dans le cadre de notre projet.

2.2.4) Bilan d'analyse

Problèmes rencontrés dans l'installation sont :

- Phases de nettoyage trop longues
- Gaspillage excessif des solutions à l'égout
- La température est considérée bonne si elle appartient à l'intervalle [TNB, TAH [, donc la précision n'est pas exigée

2.2.5) Solutions et propositions

- On lance la mise en température de la cuve lorsque le niveau analogique de l'eau est à 20%
- Il est plus commode d'utiliser une régulation TOR (Tout Ou Rien) ou à deux seuils au lieu d'un régulateur PID

- La cuve est mise en concentration lorsque le niveau analogique de l'eau est à 50% et la température à 50°C
- Dans des projets futurs, on s'intéressera aux possibilités de récupérer les solutions soude dont la conductivité est bonne

2.3) Instrumentation

L'instrumentation occupe une place importante dans l'industrie et principalement dans les installations automatisées, d'un certain point de vue, elle représente l'ensemble des 5 sens d'un être humain grâce aux capteurs et détecteurs. Par extension, le terme d'instrumentation regroupe tout appareillage associé au contrôle, aux commandes, à la mesure et à la détection.

A cet effet, la station NEP-Lait Cru utilise pour son fonctionnement les données acquises des différents capteurs pour contrôler l'un des actionneurs : vannes, pompes, ...etc.

2.3.1) Les capteurs

2.3.1.1) Définition

Un capteur industriel, est un composant qui prélève une information sur une grandeur physique (température, conductivité, niveau, débit, ...etc.) de la partie opérative et la convertit en une information exploitable (signal électrique) par la partie commande

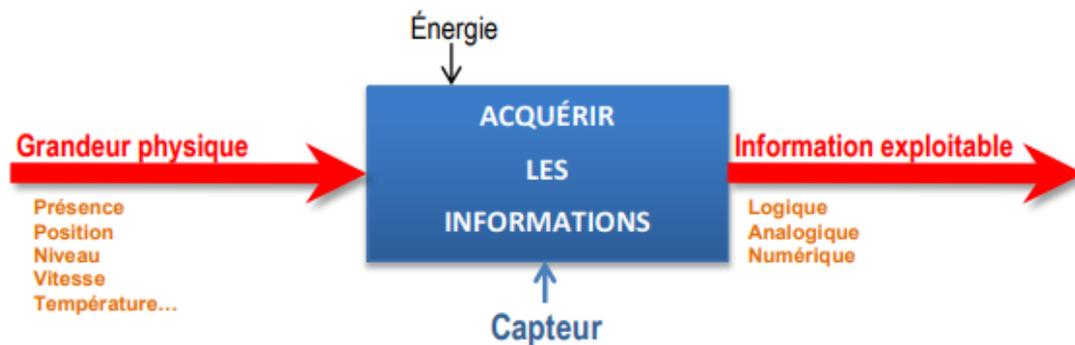


Figure 2. 2 La fonction d'usage d'un capteur

2.3.1.2) Caractéristiques d'un capteur

- Étendue de mesure: Valeurs extrêmes pouvant être mesurée par le capteur.
- Résolution: Plus petite variation de la grandeur mesurable par le capteur.
- Sensibilité: Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
- Précision: Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la vraie valeur.
- Rapidité : Temps de réaction du capteur.

2.3.1.3) Familles de capteurs

Il existe trois types de capteurs :

- **Capteur TOR (Tout Ou Rien)** appelé aussi détecteur, c'est un capteur qui délivre en sortie un signal binaire ; qui ne peut prendre que deux valeurs : 0 ou 1
- **Capteur analogique** c'est un capteur qui transmet un signal électrique ou pneumatique, continu en relation avec le phénomène physique à mesurer
- **Capteur numérique** appelé aussi codeur ; produit à des intervalles réguliers un nombre binaire (combinaison de signaux binaires) qui dépend de la grandeur physique à capter

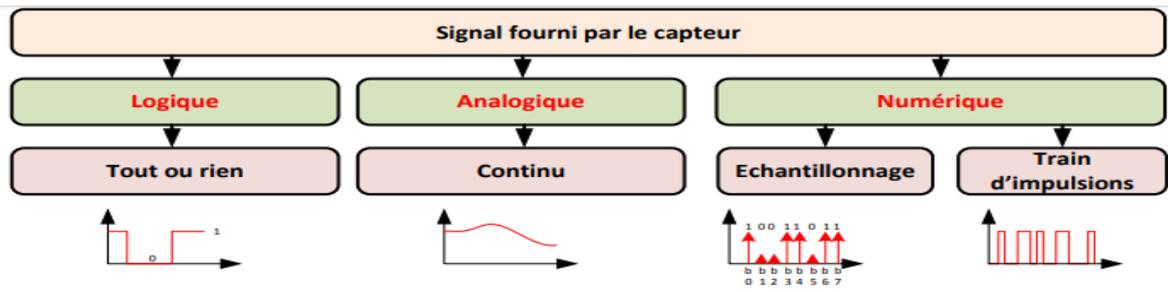


Figure 2. 3 Les différents types de signaux délivrés par un capteur

2.3.2) Capteurs utilisés dans la station NEP-Lait Cru

2.3.2.1) Détecteur de niveau (M FTL50(H), FTLH 51(H))

C'est un détecteur destiné à tous les liquides ayant une température entre -40°C jusqu'à 150°C, et une pression jusqu'à 64 Bar. Il est utilisé dans les réservoirs, conduites de liquides, dans l'industrie agroalimentaire et pharmaceutique.



Figure 2. 4 Détecteur de niveau (M FTL50(H), FTLH 51(H))

Principe de fonctionnement la fourche du capteur oscille en résonance ; et lorsqu'elle est recouverte de liquide, la fréquence des oscillations se réduit. Cette modification de fréquence provoque une commutation du détecteur.

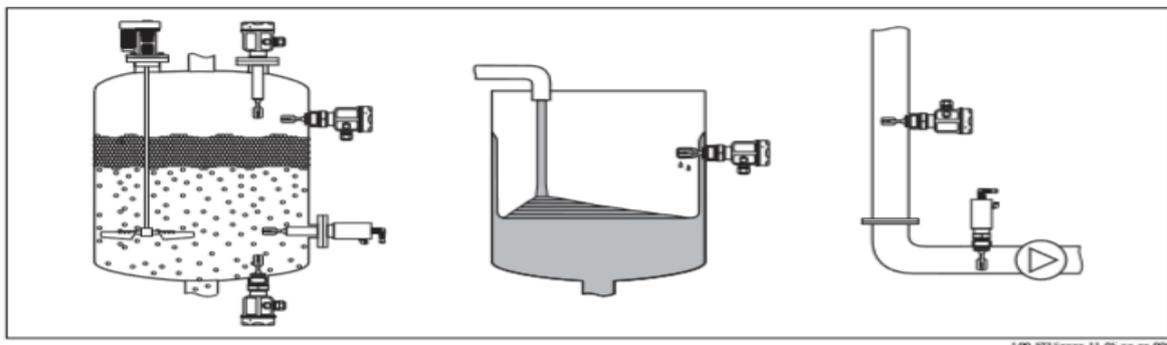


Figure 2. 5 Emplacement d'un détecteur de niveau dans une cuve ou ligne

2.3.2.2) Sonde de niveau (Deltapilot S DB 50, DB 51, DB 52)

C'est une sonde destinée à la mesure continue de niveau sur les liquides et pâtes dans les industries chimique, pharmaceutique et alimentaire, ainsi que dans le domaine de l'eau et des eaux usées. Elle est également utilisée pour déterminer le volume, la pression différentielle, le poids et la densité.



Figure 2. 6 Sonde de niveau (Deltapilot S DB50, DB51, DB52)

Principe de mesure

Le poids d'une colonne de liquide génère une pression hydrostatique. Lorsque la densité est constante, la pression hydrostatique est uniquement fonction de la hauteur h de la colonne de liquide :

$$P_{\text{hydrostatique}} = \rho \cdot g \cdot h$$

Avec :

ρ = densité

g = constante de gravité

h = hauteur

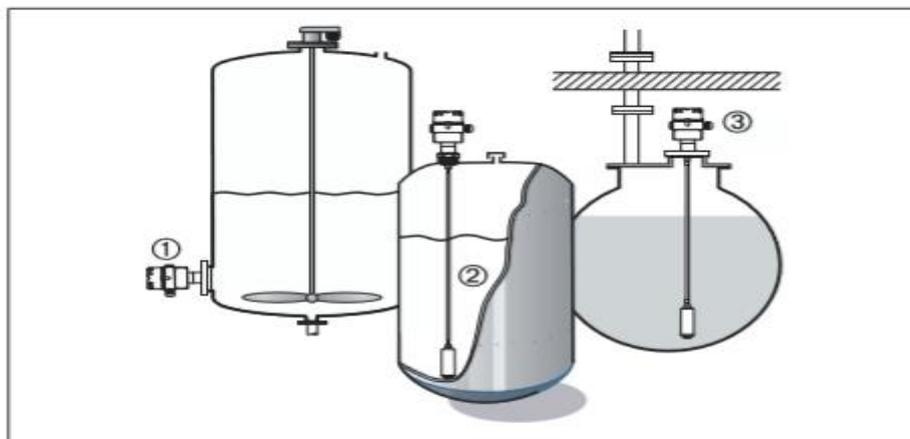


Figure 2. 7 emplacement d'une sonde de niveau dans une cuve

2.3.2.3) Sonde de température (RTD OMNIGRAD M TR11)

C'est un thermomètre à résistance conçu pour être utilisé dans l'industrie chimique légère, mais également indiqué pour des applications génériques. Celle-ci est constituée d'une sonde de mesure avec doigt de gant thermométrique, et d'un boîtier qui peut contenir le transmetteur de conversion de la variable mesurée (température).



Figure 2. 8 Sonde de température (RTD OMNIGRAD M TR11)

Principe de mesure

Sur les thermomètres RTD (Resistance Temperature Detector), l'élément sensible est composé d'une résistance électrique ayant une valeur de 100Ω à 0°C (Pt100). Elle augmente en même temps que la température en fonction du coefficient caractéristique du matériau de la résistance (platine). Ce coefficient est $\alpha = 3.85 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calculé entre 0 et 100°C .

2.3.2.4) Débitmètre électromagnétique (Promag 50/53 W)

C'est un composant qui mesure la distance parcourue par un fluide en écoulement par unité de temps.



Figure 2. 9 Débitmètre électromagnétique (Promag 50/53 W)

Principe de fonctionnement

Selon la loi d'induction de Faraday, une tension est induite dans un conducteur se déplaçant dans un champ magnétique. Appliqué au principe de mesure électromagnétique, c'est le liquide traversant le capteur qui correspond au conducteur. La tension induite, proportionnelle à la vitesse de passage, est transmise à l'amplificateur par deux électrodes de mesure. On calcule le débit volumique par le biais de la section de tube :

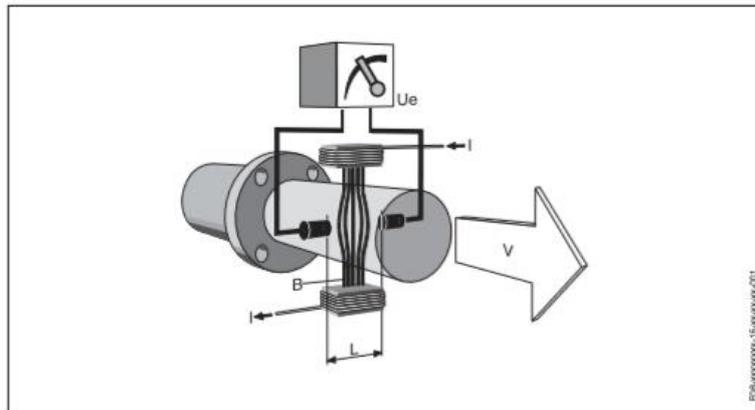


Figure 2. 10 Débitmètre

$$U_e = B \cdot L \cdot v$$

$$Q = A \cdot v$$

U_e = tension induite

B = induction magnétique (champ magnétique)

L = distance entre les électrodes

v = vitesse d'écoulement

Q = débit volumique

A = section du tube

2.3.2.5) Sonde de conductivité (CLS52)

La conductivité est essentielle pour la commande de processus, la surveillance des produits, la surveillance de l'eau ou la détection de fuite. Cette sonde est utilisée dans de nombreuses industries comme l'agroalimentaire, la chimie, les sciences de la vie, l'eau et les centrales électriques. Elle opère dans une gamme de conductivité allant de 0ms jusqu'à 2000ms.



Figure 2. 11 Sonde de conductivité (CLS52)

Principe de fonctionnement

Les capteurs inductifs comprennent une bobine de transmission et une bobine de réception et mesurent la conductivité en plusieurs étapes :

- Un oscillateur génère un champ magnétique alternatif dans la bobine de transmission, qui induit une tension dans le produit.
- Les cations et les anions du produit commencent à se déplacer en générant un courant alternatif.
- Cela induit un champ magnétique alternatif et donc un courant qui s'écoule dans la bobine de réception.

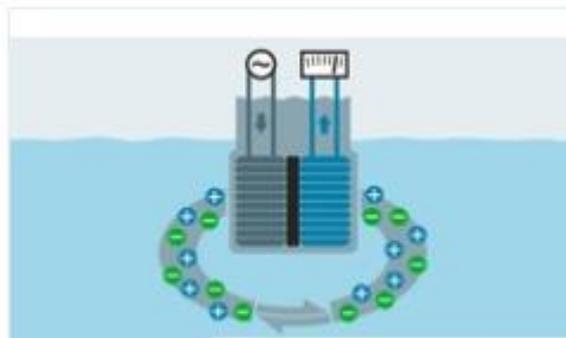


Figure 2. 12 Principe de fonctionnement d'une sonde de conductivité

L'intensité du courant et la conductivité augmentent en fonction du nombre d'ions libres dans le produit.

2.3.2) Actionneurs

2.3.2.1) Définition

Un actionneur, appartient à la partie opérative d'un système automatisé, modifie le comportement ou l'état d'un système. Les actionneurs sont classés selon : l'énergie utilisée et le phénomène mis en œuvre.

2.3.2.2) Les actionneurs utilisés dans la station NEP-Lait Cru

2.3.2.2.1) Pompe centrifuge (W+)

Elle transforme la puissance mécanique du moteur électrique en énergie hydraulique fournie au fluide par la force centrifuge et qui se traduit par des débits et des pressions.

Le fluide arrivant est dirigé vers la roue en rotation qui, sous l'effet de la force centrifuge lui communique de l'énergie cinétique. Cette énergie cinétique est transformée en énergie de pression dans la volute.



Figure 2. 13 Pompe centrifuge W+

D'un point de vue hydraulique, les paramètres qui caractérisent une pompe sont :
Le débit volumique Q , la hauteur manométrique H et son rendement η

2.3.2.2.2) L'échangeur thermique

a) Définition

Un échangeur thermique, est un appareil destiné à transmettre la chaleur d'un fluide à un autre à travers une paroi. Il peut être assimilé à un quadripôle thermique avec deux entrées et sorties.

b) Caractéristiques

- L'état des fluides : liquide et gazeux
- Débit de masse : constant à l'entrée et à la sortie de l'échangeur
- Température : variable dans l'échangeur
- Pression : peu variable

c) Types d'échangeurs thermiques

Echangeurs à air : on distingue plusieurs types dont :

- **Batterie tube ailette** : le plus utilisé dans les chaudières, est composé d'un faisceau de tube (souvent en cuivre), relié par des ailettes (cuivre ou aluminium)
- Echangeur à plaques : est destiné à récupérer la chaleur entre deux airs ou deux gaz sans les mélanger. Sa construction permet aux gaz de se croiser entre plusieurs plaques et son évolution se fait à courant croisé

Echangeurs à eau

- Echangeur à plaques : se sont utilisés dans plusieurs domaines, à savoir : la climatisation, réfrigération et le traitement des eaux. Chaque fluide évolue d'un côté d'une plaque, le fluide est donc pris en sandwich entre deux plaques le séparant d'un autre fluide.
- Echangeur multitubulaire : est utilisé dans les groupes de climatisation à eau glacée. Il est réservé aux grosses puissances, cet échangeur se compose d'un faisceau de tube (simple ou multi passe) immergé dans un cylindre

d) Fonctionnement d'un échangeur thermique

L'échangeur thermique permet le transfert de chaleur entre deux fluides séparés par une paroi conductrice en cuivre, aluminium, inox, ou en acier afin de favoriser l'échange et limiter les pertes thermiques. La chaleur allant toujours du plus chaud vers le plus froid ; c'est cet écart de température qui favorise le transfert de chaleur.

Dans un échangeur thermique, les fluides évoluent à contre-courant (l'un entre en haut et l'autre entre en bas) ou à co-courant (les deux fluides avancent dans le même sens) :

- Le fluide chaud chauffe la surface externe du tube par convection
- Le matériau constitutif du tube conduit de la chaleur de la surface externe à la surface interne du tube : « Conduction »
- Le fluide froid ; par « Convection » refroidit la surface interne du tube

Dans l'exemple ci-après on montre un échangeur thermique à co-courants :

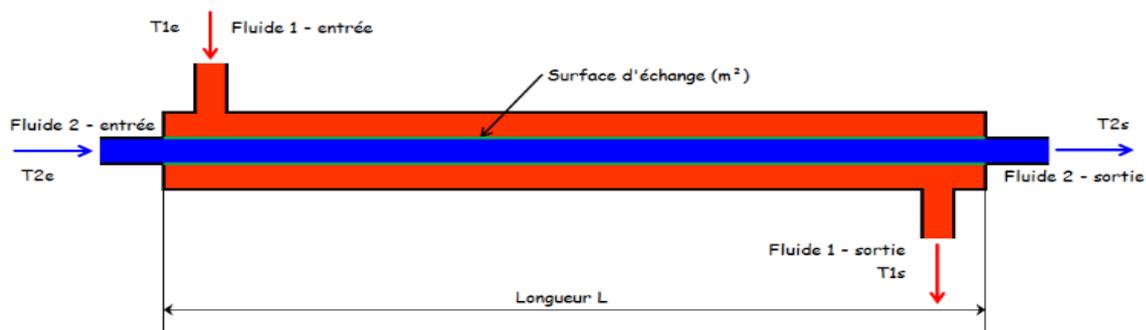


Figure 2. 14 Echangeur thermique

2.3.2.2.3) Vanne

a) Définition

C'est un composant qui agit sur la grandeur à régler, qu'elle soit une pression, température, ou un niveau. Elle est composée de deux parties :

- Le corps de vanne : c'est l'élément qui assure le réglage du débit
- L'actionneur ou servomoteur : c'est l'élément qui assure la conversion du signal de commande en mouvement de la vanne

b) Choix de la vanne

- La nature du fluide traité
- L'agressivité mécanique et/ou chimique du fluide
- La température de fonctionnement
- La circulation du fluide en un seul ou en deux sens

c) Types de vannes

- *Vanne TOR (Tour Ou Rien)* : son rôle est de permettre ou interrompre le passage d'un fluide. Elle exécute une action discontinue qui prend deux états 0 ou 1 (ouvert ou fermé). Ce type de vanne est utilisée pour commander des systèmes ayant une grande inertie où la régulation n'est pas importante. Dans la station NEP-Lait Cru, on trouve la vanne « Delta SV1 » de type papillon



Figure 2. 15 Vanne Delta SV1

- *Vanne à régulation* : c'est une constituée d'un actionneur, positionneur qui garantit la position correcte du clapet par rapport au siège, et d'un régulateur qui donne la pression nécessaire pour réguler la vanne. Par ailleurs, le clapet de la vanne peut occuper trois positions : ouverte, fermée ou limitée/étranglée selon la limitation de course (0-100%).
- La vanne « Delta SW4 » est un exemple de vanne à régulation qu'on trouve dans la station utilisée comme vanne régulatrice de la température (régulation PID)



Figure 2. 16 Vanne Delta SW4

2.4) Etude du schéma électrique de la station

L'automate est alimenté généralement par le réseau monophasé 230V ; 50 Hz mais d'autres alimentations sont possibles (110V par exemple). On asservit l'alimentation de l'automate par un circuit de commande spécifique (contacteur KM1). De même, les sorties seront asservies au circuit de commande et alimentées après validation du chien de garde.

L'automate programmable est équipé d'une carte d'entrées destinée à recevoir des informations d'état à partir des capteurs, et des informations de commande en provenance du pupitre. Dès qu'une information surgisse, un signal électrique est envoyé à l'automate via l'entrée choisie.

Par ailleurs, l'automate comporte également une carte de sorties pour commander les appareils de la partie opérative (vannes, pompes, ... etc.)

Le schéma électrique ci-après est une représentation d'un schéma électrique d'un automate programmable :

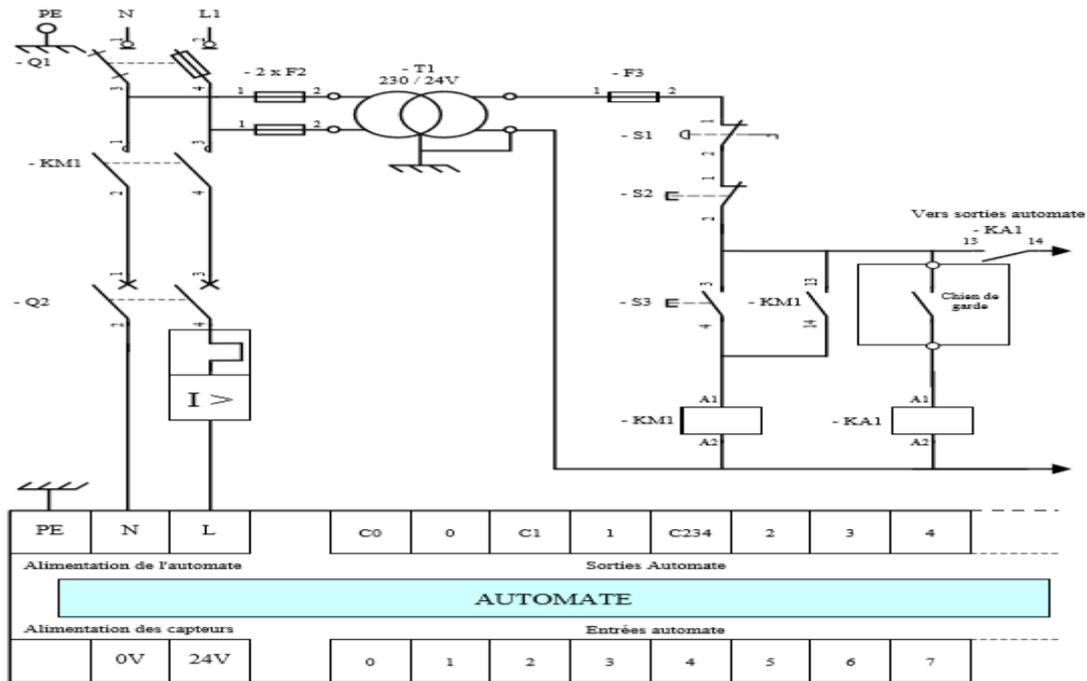


Figure 2. 17 Exemple de schéma électrique d'un API

2.4.1) Appareils de protection de circuits électriques

Il existe plusieurs appareils de connexion conçus pour la mise hors tension, ou la séparation, de tout ou une partie de l'installation de toute source d'énergie électrique. Parmi ces appareils, on trouve :

2.4.1.1) Le fusible permet d'interrompre automatiquement un circuit parcouru par une surintensité, grâce à la fusion d'un conducteur métallique calibré. Il est généralement utilisé pour une protection contre les court-circuit.



Figure 2. 18 Fusible

2.4.1.2) Relais thermique est un appareil qui protège le récepteur placé en aval contre les surcharges et les coupures de phase. Pour cela, il surveille en permanence le courant dans le récepteur. En cas de surcharge, le relais thermique n'agit pas directement sur le circuit de puissance. Un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur qui coupe le courant dans le récepteur

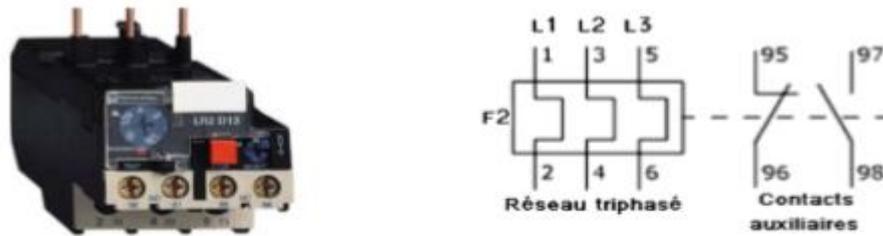


Figure 2. 19 Relais thermique

2.4.1.3) Le sectionneur destiné à établir ou à interrompre la continuité d'un circuit électrique à vide ou à l'isoler d'autres circuits. Par ailleurs, il ne possède aucun pouvoir de coupure, et n'est capable de couper que des courants très faibles.



Figure 2. 20 Le sectionneur

2.4.1.4) Protection par disjoncteur c'est un interrupteur à ouverture automatique, qui assure La protection d'une installation contre les surcharges, les courts circuits, les défauts d'isollements, par ouverture rapide du circuit en défaut. Il remplit aussi la fonction de sectionnement (isolement d'un circuit).



Figure 2. 21 Disjoncteur

2.4.1.5) Relais temporisé c'est un appareil d'automatisme qui permet à l'issue d'un temps préalablement déterminé, de transmettre une information électrique. On l'appelle aussi relai tout ou rien à temps spécifiés ou encore minuterie



Figure 2. 22 Relais temporisé

2.4.1.6) Contacteur c'est un appareil de commande, doué d'un pouvoir de coupure, qui permet d'établir ou d'interrompre un circuit en charge par un bouton poussoir ou par télécommande.

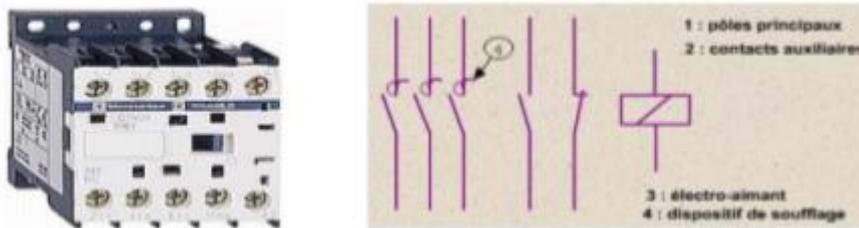


Figure 2. 23 Le contacteur

2.5) Conclusion

L'analyse et la compréhension d'un processus représente une phase importante pour l'étude et la gestion d'un système à automatiser. Cela nous permet de bien remédier à la problématique et de bien satisfaire les objectifs exigés par le cahier des charges, ce qui nous facilitera la tâche pour l'élaboration de leur commande qui sera traitée dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 3

**Les Automates Programmables
Industriels**

3.1) Introduction

Actuellement, les automates programmables sont devenus indispensables en industrie en permettant d'effectuer quotidiennement les tâches les plus ingrates, répétitives et dangereuses. L'évolution des techniques de contrôle/commande des automates, se traduisent par un développement massif en production.

Dans ce chapitre, on présente l'automate programmable, son fonctionnement, son architecture, et les critères de choix des automates en industrie. Par la suite, en vue de ce projet, on introduit l'automate Siemens S7-400, ses caractéristiques et ses différentes fonctionnalités. Finalement, on présente le cahier de charges traité.

3.2) Définition d'un API (Automate Programmable Industriel)

C'est un appareil électronique qui traite les données reçues par ses entrées pour commander et surveiller en temps réel un processus industriel, en fonction du programme mis en mémoire. Actuellement, on trouve plusieurs compagnies spécialistes dans les automates programmables comme: ABB, Siemens, Schneider, Freelands, ACCOS ... etc.

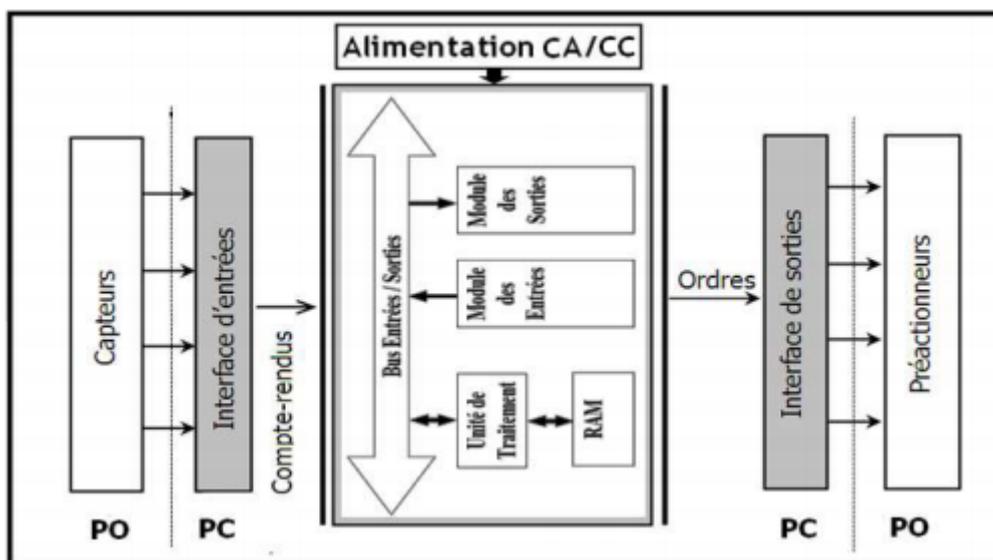


Figure 3. 1 Schéma synoptique d'un système automatisé

3.3) Objectifs de l'automatisation

- Accroître la productivité du système pour avoir une rentabilité meilleure
- Améliorer la qualité du travail en économisant les matières premières et l'énergie
- Adaptation à des tâches physiques ou intellectuelles pénibles pour l'homme (manipuler de lourdes charges, tâches répétitives et parallélisées, ...)
- Adaptation à des environnements hostiles pour l'homme (milieu salin, nucléaire, spatial, ...) et augmenter la sécurité au travail.

3.4) Fonctionnement d'un automate programmable industriel

Tous les automates fonctionnent selon le mode opératoire suivant:

- *Traitement interne* : L'automate contrôle et surveille un processus industriel et met à jour les paramètres systèmes
- *Lecture des entrées* : L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.

- *Exécution du programme* : L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- *Ecriture des sorties* : L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique)

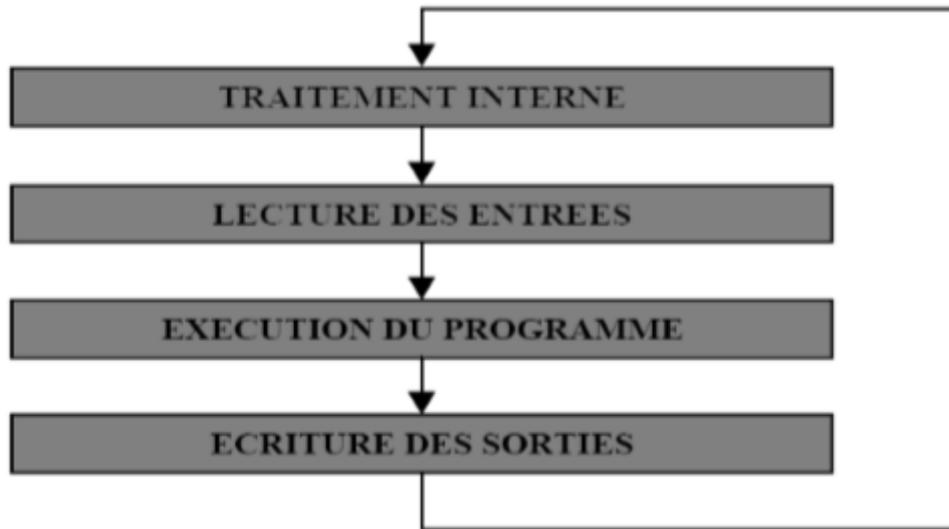


Figure 3. 2 Schéma expliquant le fonctionnement d'un automate

3.5) Architecture d'un automate programmable

3.5.1) Architecture Interne

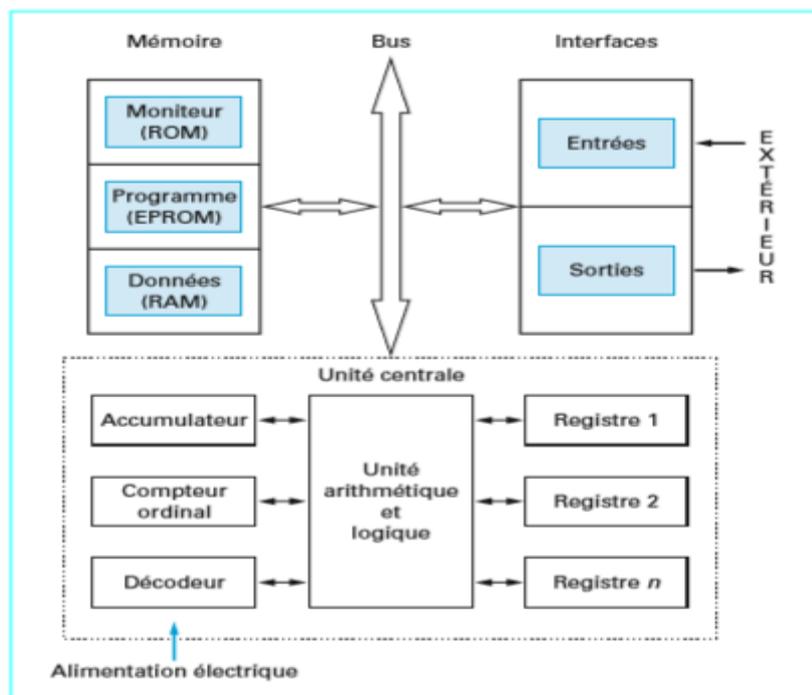


Figure 3. 3 L'architecture interne d'un automate

L'architecture interne d'un API est constituée de cinq parties essentielles :

3.5.1.1) L'unité centrale (CPU) c'est le cerveau qui gère l'automate, son rôle consiste d'une part à organiser les différentes relations entre la zone mémoire et les interfaces d'E/S et d'autre part exécuter les instructions du programme

3.5.1.2) La mémoire son rôle est de recevoir, gérer et stocker des informations issues de différentes parties du système notamment en provenance de capteurs. Il existe deux types de mémoires :

- *ROM* : mémoire morte ou mémoire de langage, où est stocké le langage de programmation
- *RAM* : mémoire vive ou mémoire de travail, utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement

3.5.1.3) Modules d'entrées/sorties :

Ils assurent le rôle d'interface entre la CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions. Plusieurs types de modules sont disponibles sur le marché selon l'utilisation souhaitée :

- *Modules d'entrées/sorties TOR (Tout Ou Rien)* : l'information traitée ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1 ...). C'est le type d'information délivrée par une cellule photoélectrique, un bouton poussoir...etc.
- *Modules d'entrées/sorties analogiques* : Ils permettent l'acquisition de mesure (entrée analogique), et la commande du processus (sortie analogique). Ces modules comportent un ou plusieurs convertisseurs analogique/numérique (CAN) pour les entrées, numérique/analogique (CNA) pour les sorties. Ces modules sont en général multiplexés en entrée pour n'utiliser qu'un seul convertisseur analogique numérique (CAN), alors que les sorties exigent un CNA par voie.

3.5.1.4) Bus est un ensemble de conducteurs qui réalisent la liaison entre les différents éléments de l'automate. Il est organisé en plusieurs sous-ensembles destinés, chacun à véhiculer un type défini d'informations :

- Bus de données pour les signaux d'entrées/sorties.
- Bus d'adresses des entrées/sorties.
- Bus de distribution des tensions issues du bloc d'alimentation.
- Bus de commande pour les signaux de services.

3.5.1.5) Interfaces d'entrées/sorties comporte des adresses d'entrées où chaque capteur est relié à une de ces adresses. L'interface de sorties compte également des adresses de sortie où chaque actionneur est relié à l'une de ces adresses. Le nombre de ces entrées et sorties varie suivant les types d'automates.

3.5.1.6) Alimentation électrique Il a le rôle de fournir les tensions continues que nécessitent les composants (5 V, 12 V...) avec de bonnes performances, notamment face aux microcoupures du réseau. Sa source d'énergie provient du réseau électrique extérieur.

N.B : Les châssis d'extension et les entrées/sorties doivent aussi disposer d'une alimentation.

3.5.2) Architecture externe

Les automates programmables peuvent être de type compact ou modulaire :

- *Automates compacts* : dans ce type, on trouve le processeur, l'alimentation, les modules d'entrées/sorties intégrés en un seul module. Cet automate est de fonctionnement simple, destiné à la commande de petits automatismes (exemple : travaux pratiques

pédagogiques). Selon les modèles et les fabricants, on trouve : le LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MELLENIUM de Crouzet



Figure 3. 4 Automate compact

- *Automates modulaires* : dans ce type on trouve le processeur, l'alimentation et les interfaces entrées/sorties qui résident dans des unités séparées (modules) et sont fixés sur un ou plusieurs racks contenant le fond de panier (bus et les connecteurs). Ces automates sont utilisés dans des projets d'automatismes complexes où la nécessité d'une puissance et une capacité de traitement.



Figure 3. 5 Automate modulaire

3.5.2.1) Le rack ou châssis les modules d'un automate à structure modulaire sont montés sur un châssis spécifique (rack). Le châssis permet d'assurer :

- L'assemblage mécanique des modules.
- La distribution de la tension d'alimentation aux différents modules.
- L'acheminement des bus de données et adresses de commande vers les modules.

Tout châssis contient les éléments suivants :

- Profilé support.
- Bus de fond de panier pour la communication de la CPU avec les modules.
- Connexion pour le conducteur de protection (prise de terre).

3.5.2.2) 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 stocker les programmes, les données, et les paramètres de configuration du système.

3.5.2.3) Un module d'alimentation Son rôle est de transformer la tension alternative 220V/50Hz ou bien la tension 24V pour obtenir les tensions continues suivantes : + /- 5V, +/- 12V ou +/-15V pour assurer l'alimentation à tous les modules.

3.5.2.4) Un ou plusieurs modules de sorties (TOR) ou analogique Pour transmettre à la partie opérative les signaux de commande suivant le programme qui se trouve dans la mémoire, et l'acquisition des informations provenant de la partie opérative (procédé à conduire).

3.5.2.5) Un ou plusieurs modules de communication

- Les Interfaces série utilisant dans la plupart des cas comme support de communication, les liaisons RS-232 ou RS422/RS485 pour assurer la connexion de PC et la console de programmation et aussi pour la communication et la supervision Homme/Machine.
- Interfaces pour assurer l'accès à un bus de terrain par exemple Modbus, Profibus, Fieldbus...etc.

3.6) Critères de choix d'un API

- Les capacités de traitement du processeur (vitesse, données, opérations, temps réel...)
- Le type des entrées/sorties nécessaires.
- Le nombre d'entrées/sorties nécessaires.
- Des possibilités de simulation et de visualisation qui apportent à l'utilisateur une aide efficace à la mise au point et à l'exploitation (modification aisée de l'automatisme).
- Des possibilités d'extension en termes d'entrées sorties.
- La taille du programme.
- La vitesse de traitement.
- Les fonctions complémentaires: temporisateurs et compteurs.
- Les langages de programmation.

3.6.1) Automates Siemens

Siemens est l'une des sociétés réputées dans la fabrication d'automates programmables. Elle a développé différentes gammes d'automates dont la famille S5 (S5-90U, S5-95U, ...etc.), la famille SIMATIC, devenue synonyme de l'intégration totale, représente un concept révolutionnaire visant à réunir l'univers de la fabrication manufacturière et l'univers des procédés. Cette gamme est composée de trois familles :

- *SIMATIC S7* : synonyme de la nouvelle gamme des automates programmables, dont on trouve : S7-200, S7-300, S7- 400, S7-1200 et S7-1500.
- *SIMATIC C7* : comprend deux sections travaillant indépendamment l'une de l'autre et pouvant communiquer entre elles à travers l'interface MPI la CPU et le pupitre opérateur OP

- *SIMATIC M7* : est un ordinateur industriel compatible PC. Il s'agit d'un système modulaire sous boîtier, construit dans la technique des automates SIMATIC S7. Il peut être intégré dans un automate S7-300/400 ou être utilisé comme système autonome avec une périphérie choisie dans la gamme S7

Dans le cadre de notre projet, notre choix s'est focalisé sur l'automate Siemens S7-400.

3.6.2) L'automate S7-400

C'est une plate-forme d'automatisation conçue pour l'industrie manufacturière et le génie des procédés. Il se prête tout particulièrement aux tâches exigeant le traitement de gros volumes de données dans l'industrie des procédés ; des vitesses de traitement élevées ainsi que des temps de réaction déterministes, est l'outil idéal pour la coordination d'installations complètes et le pilotage d'appareils/de stations subordonnées grâce à une puissance de communication élevée et des interfaces intégrées.

3.6.2.1) Structure d'un S7-400



Figure 3. 6 Structure d'un automate Siemens S7-400

Le SIMATIC S7-400 est un système d'automatisation modulaire offrant la gamme de modules suivants:

- *Unités centrales (CPU)* de capacités différentes avec entrées/sorties intégrées (ex : CPU412-1) ou avec interface PROFIBUS intégrée (ex : CPU412-2DP)
- *Modules d'alimentation PS (Power Supply)*, pour la conversion des tensions réseaux alternatives ou continues en tension 5V ou 24V ;
- *Modules de signaux SM* pour entrées et sorties numériques et analogiques ;
- *Modules de fonction FM* assurant des fonctions de positionnement, de régulation et comptage
- *Modules CP (port de communication)* permettant de raccorder une CPU aux différents réseaux

3.6.2.2) Protection de l'automate S7-400

La protection des circuits d'entrées contre les parasites électriques est souvent isolée par découplage optoélectronique. Le passage des signaux par un faisceau lumineux assure en effet une séparation entre les circuits internes et externes. Du côté des sorties, on doit assurer le même type de protection.

3.6.2.3) Réseaux dans les automates Siemens

Différents réseaux sont proposés en fonction des exigences de la communication industrielle, ils sont listés ci-après par ordre croissant de leur performance : (MPI, PROFIBUS, et Industrial Ethernet).

3.6.2.3.1) MPI (*Multi Point Interface*)

Le réseau MPI (Multi Point Interface) sert pour les interconnexions de faible étendue aux niveaux terrain et cellule. Son utilisation reste cependant circonscrite aux automates SIMATIC S7 à la conception destinée à servir d'interface de programmation. Même si les exigences des communications se compliquent, les limites de la SIMATIC S7 se traduisent aussitôt en quasi-obstacle.

3.6.2.3.2) PROFIBUS

Le réseau PROFIBUS (Process Field Bus), voué de par sa conception aux nouveaux terrains et cellules. Système de communication ouvert (non propriétaire), PROFIBUS sert à la transmission de volumes de données, petits et moyens, entre un nombre restreint de correspondants, et représente un type de communication caractérisé par un échange de données cycliques rapides.

3.6.2.3.3) Ethernet industriel

Ethernet industriel est un réseau pour les niveaux cellule et supervision, il permet l'échange de masses de données sur de longues distances entre un grand nombre de stations. Il est le réseau le plus puissant pour la communication industrielle, il nécessite peu de manipulations de configuration et est aisément extensible.

3.6.3) Langages de programmation pour les automates Siemens

Les programmes utilisés avec les API peuvent être écrits dans différents formats. Pour que les ingénieurs ayant peu de connaissances en programmation puissent élaborer des programmes pour les API. La norme IEC 1131-3 définit cinq langages qui peuvent être utilisés pour la programmation des automates programmables industriels :

3.6.3.1) Le langage LD (Ladder Diagram) C'est une représentation graphique d'équations booléennes combinant des contacts (en entrée) et des relais (en sortie). Il permet la manipulation de données booléennes, à l'aide de symboles graphiques organisés dans un diagramme comme les éléments d'un schéma électrique.

3.6.3.2) Le langage IL (Instruction List) Un langage textuel de bas niveau. Il est particulièrement adapté aux applications de petites tailles. L'opérateur indique le type d'opération à effectuer entre le résultat courant et l'opérande. Le résultat de l'opération est stocké à son tour dans le résultat courant.

3.6.3.3) Le langage FBD (Function Block Diagram) C'est un langage graphique. Il permet la construction d'équations complexes à partir des opérateurs standards, de fonctions ou de blocs fonctionnels.

3.6.3.4) Le langage ST (Structured Text) Un langage textuel de haut niveau dédié aux applications d'automatisation. Ce langage est principalement utilisé pour décrire les procédures complexes, difficilement modélisables avec les langages graphiques. C'est le langage par défaut pour la programmation des actions dans les étapes et des conditions associées aux transitions du langage SFC.

3.6.3.5) Le langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET C'est un langage graphique utilisé pour décrire les opérations séquentielles. Le procédé est représenté comme une suite connue d'étapes (états stables), reliées entre elles par des transitions, une condition booléenne est attachée à chaque transition.

3.6.4) Blocs de programmation

Lors de la programmation, on utilise différents types de blocs dans lesquels le programme et les données correspondantes sont mémorisés. Parmi ces blocs, on trouve :

3.6.4.1) Bloc d'organisation (OB)

Les blocs d'organisations (OB) constituent l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur. Ils sont appelés par le système d'exploitation et commandent par exemple les opérations suivantes :

- Comportement de démarrage du système d'automatisation
- Traitement cyclique du programme
- Traitement du programme déclenché par alarme
- Traitement des erreurs

Nous pouvons programmer les blocs d'organisation et déterminer ainsi le comportement de la CPU.

3.6.4.2) Bloc de données (DB)

Les blocs de données (DB) servent à enregistrer les données utilisateur. On trouve également des blocs de données globales qui servent à stocker des données qui peuvent être utilisées par tous les autres blocs, et les blocs de données d'instances qui sont affectés à des blocs fonctionnels.

3.6.4.3) Blocs fonctionnel (FB)

Les blocs fonctionnels appartenant aux fonctions, mais ils disposent en plus de zone mémoire spécifique, sous forme de blocs de données. Les blocs fonctionnels conviennent donc pour la programmation de fonctionnalités récurrentes encore plus complexes, par exemple pour assurer des tâches de régulation.

3.6.4.4) Fonction (FC)

Une fonction FC assure une fonctionnalité spécifique du programme. Les fonctions peuvent être paramétrables, dans ce cas les paramètres sont transmis à la fonction lorsqu'elle est appelée. Elles conviennent à programmer des fonctionnalités récurrentes et complexes.

3.7) Cahier des charges

La station NEP-Lait Cru est, actuellement, gérée par l'automate ACCOS. Dans le cadre de ce projet, la migration vers Siemens S7-400 est d'une utilité majeure ; étant l'automate le plus répandu sur le marché industriel.

Pour représenter le comportement de la station décrit au chapitre 2 (Analyse fonctionnelle de la station), on utilise un langage structuré et facile à programmer : GRAFCET.

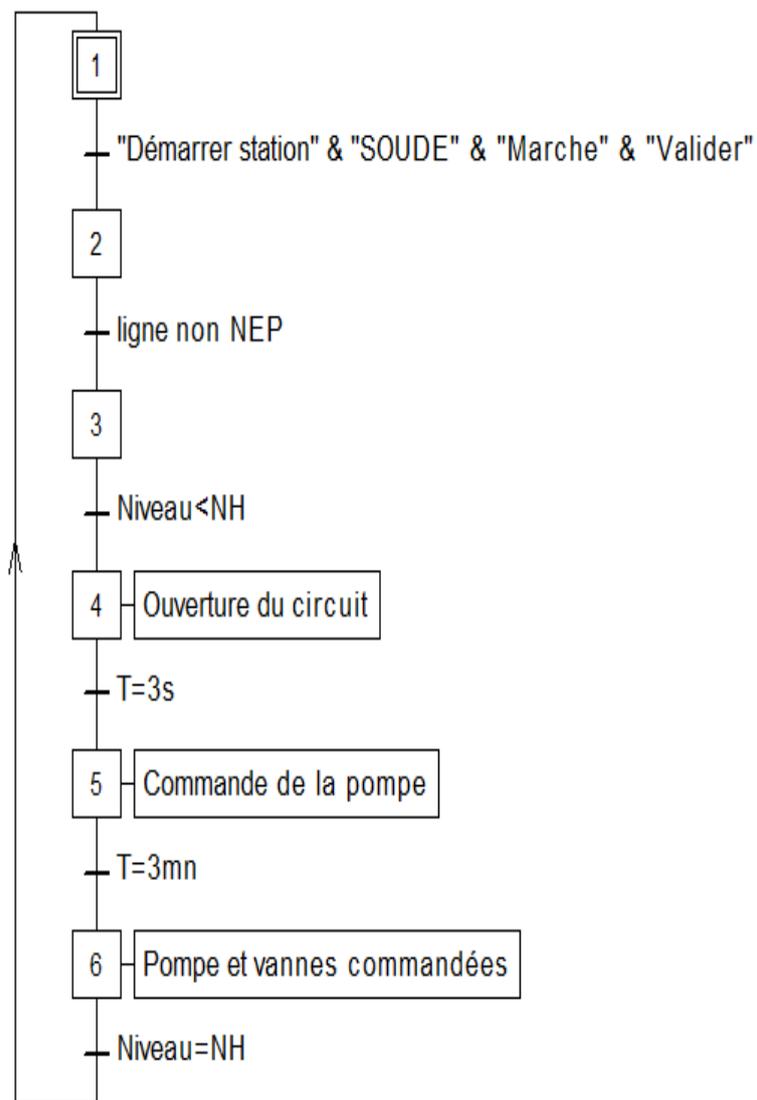
Le GRAFCET, est un langage fonctionnel graphique destiné à décrire les différents comportements d'un automate séquentiel. Il aide à la réalisation, il apporte une aide appréciable lors de l'exploitation de la machine pour les dépannages et diverses modifications.

Tous les grafjets illustrés ci-dessus sont édités à l'aide du logiciel «Editsab » et représentent le fonctionnement de la station dans une phase donnée (Voir Analyse fonctionnelle de la station au chapitre 2)

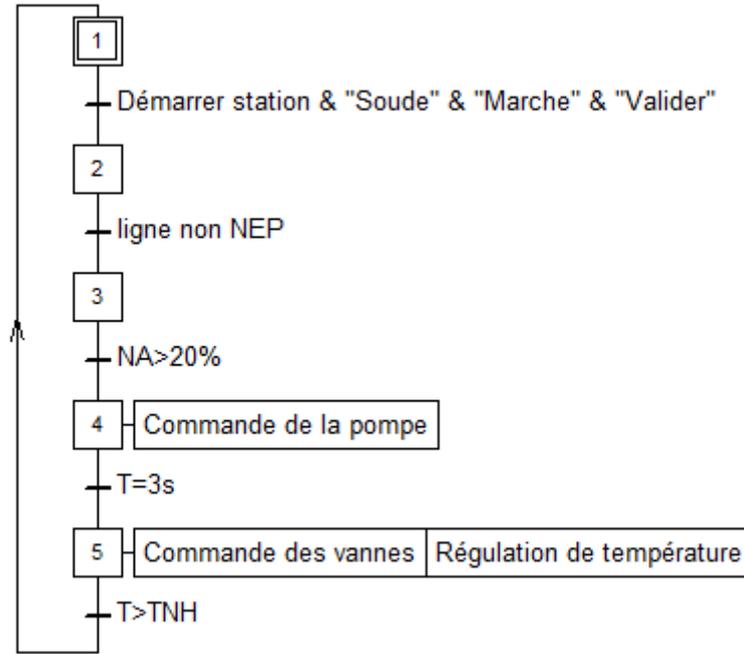
3.7.1) Phase1 : Préparation des cuves

3.7.1.1) Cuve « Soude »

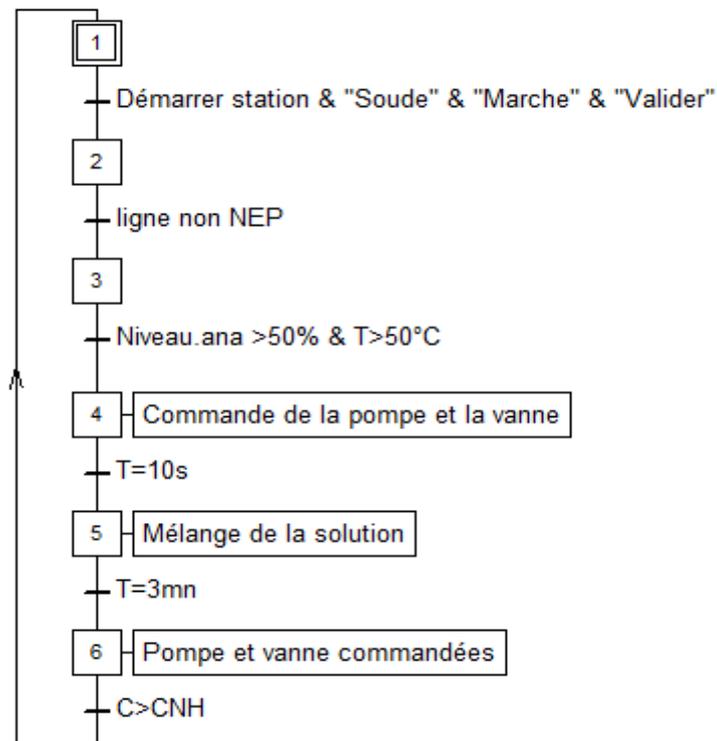
3.7.1.1.1) Mise à niveau de la cuve



3.7.1.1.2) Mise en température de la cuve

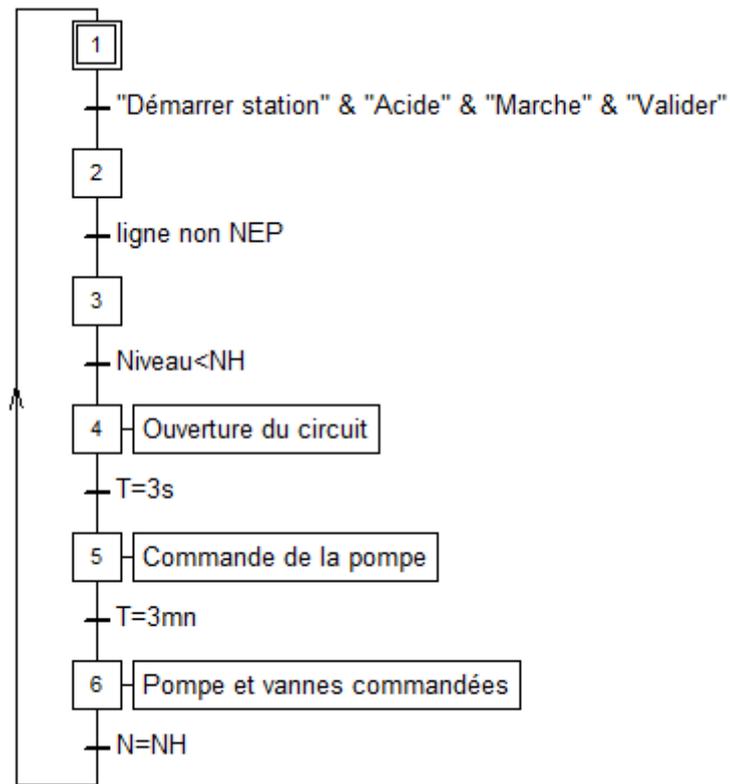


3.7.1.1.3) Mise en concentration de la cuve

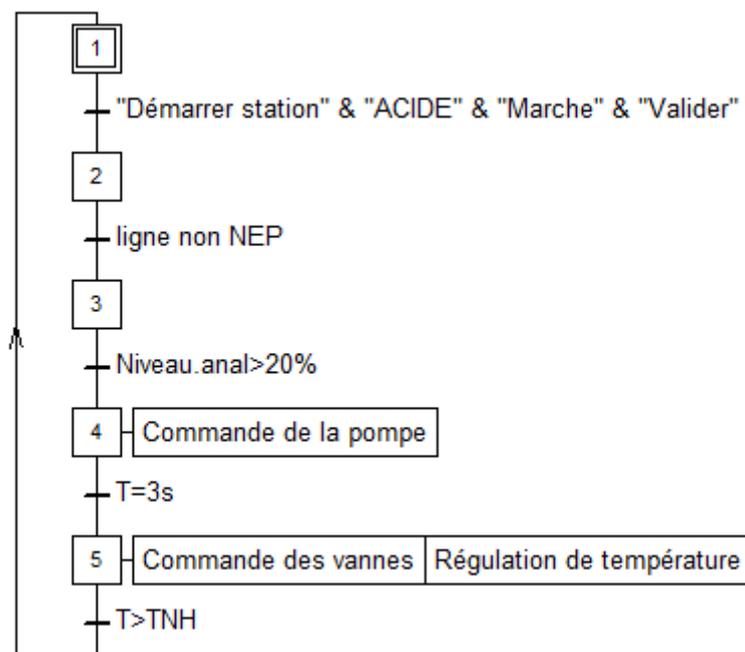


3.7.1.2) Cuve « Acide »

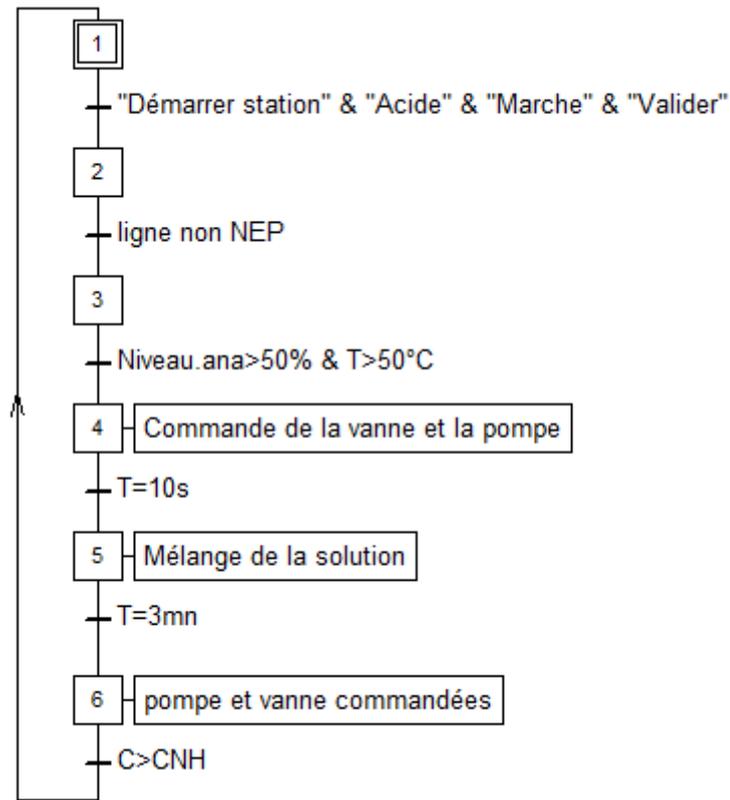
3.7.1.2.1) Mise à niveau de la cuve



3.7.1.2.2) Mise en température de la cuve

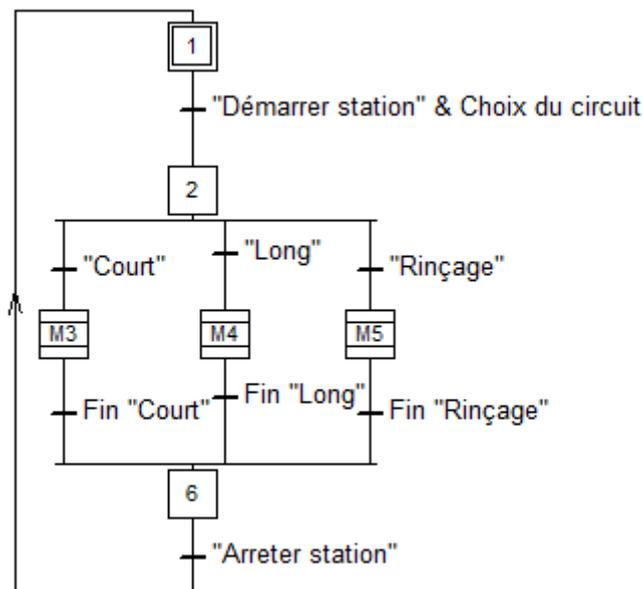


3.7.1.2.3) Mise en concentration de la cuve

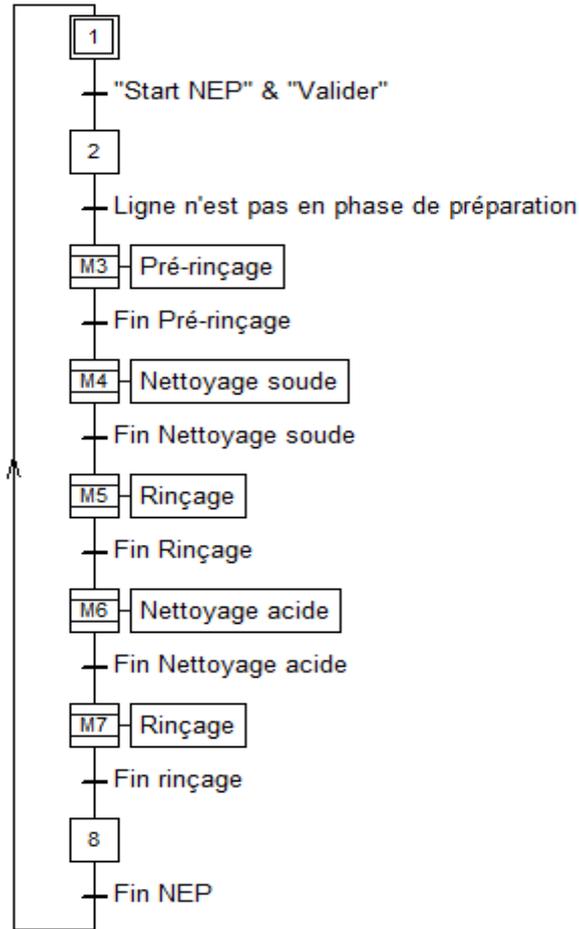


3.7.2) Phase2 : Nettoyage en place (NEP)

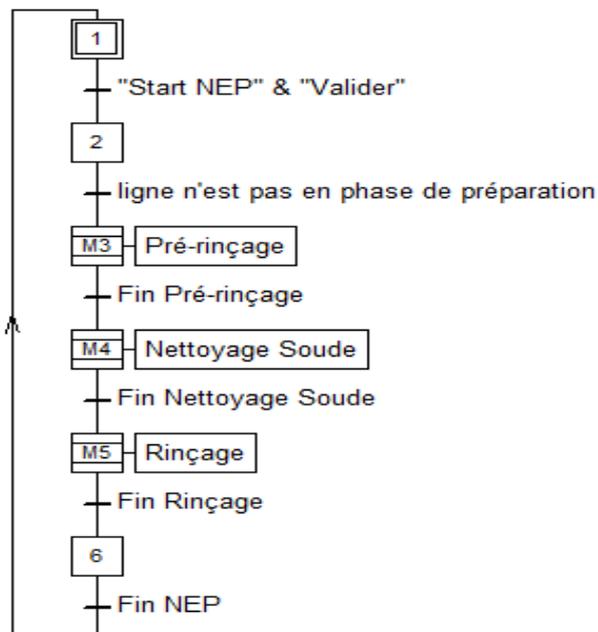
3.7.2.1) NEP



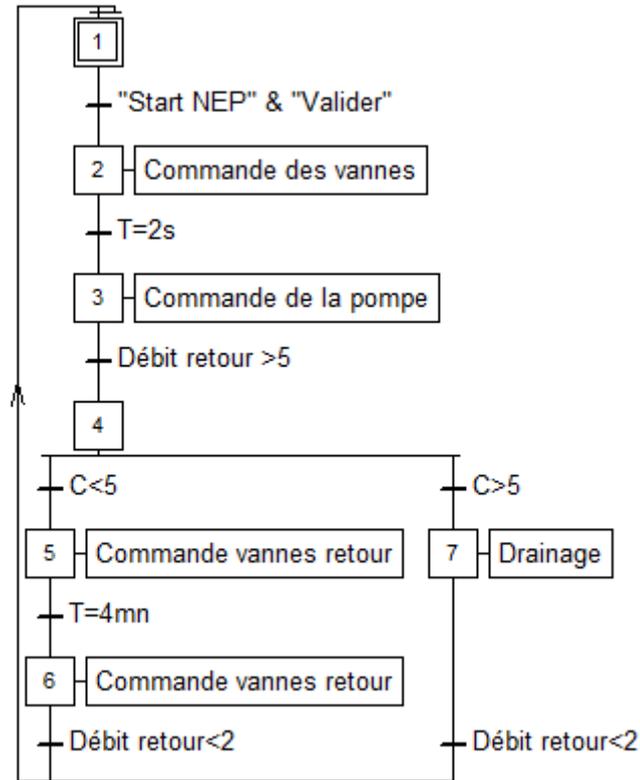
3.7.2.2) Cycle long



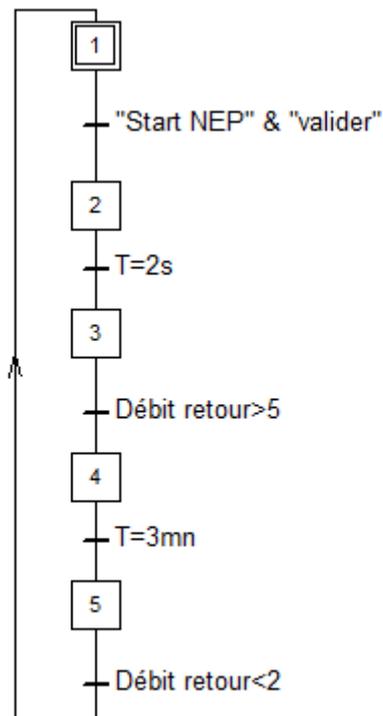
3.7.2.3) Cycle court



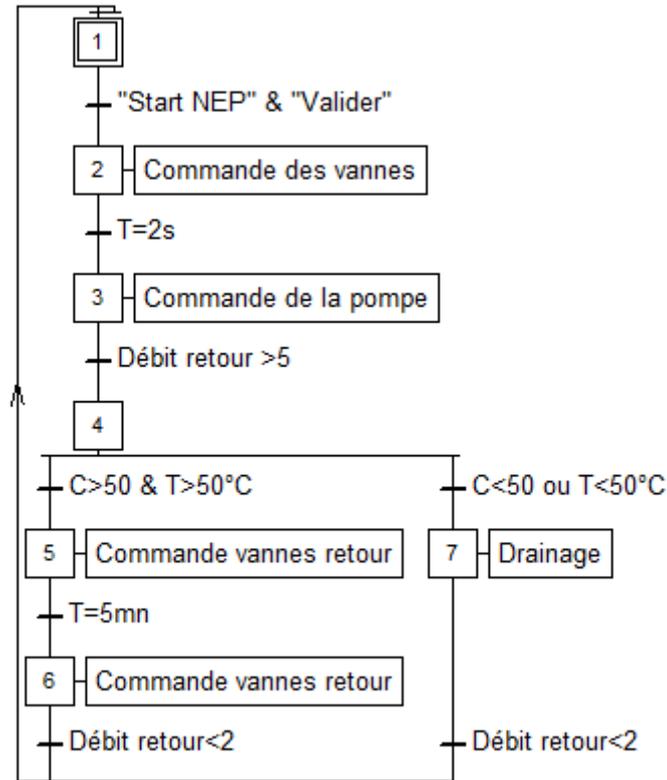
3.7.2.4) Cycle Rinçage



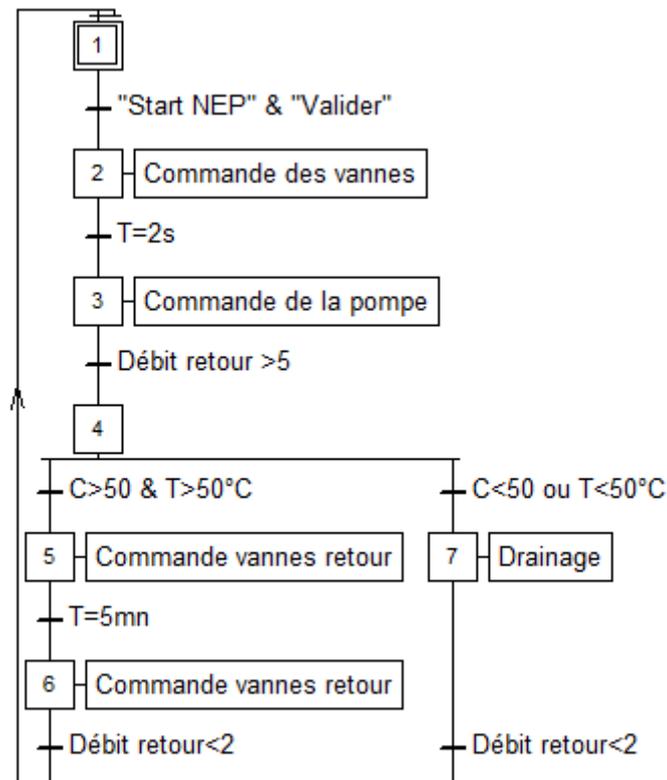
3.7.2.5) Pré-rinçage



3.7.2.6) Nettoyage en soude



3.7.2.7) Nettoyage en acide



3.8) Conclusion

Tout automate programmable est adaptable à un maximum d'applications, d'un point de vue traitement, composants et langage. Son architecture complexe et modifiable, selon la nécessité du projet, ainsi que la capacité de traitement et le nombre d'entrées/sorties nécessaires sont considérés comme critères principaux pour mieux choisir son automate.

CHAPITRE 4

Simulation et supervision de la station NEP-Lait Cru

4.1) Introduction

La supervision industrielle tient dans la surveillance de l'état d'un procédé pour l'amener à son point de fonctionnement optimal. Le but est de disposer en temps réel d'une visualisation de l'état d'évolution des paramètres du processus, ce qui permet à l'opérateur de prendre rapidement des décisions appropriées à ses objectifs.

Au cours de ce chapitre, on réalise le contrôle de la station NEP-Lait Cru sous automate Siemens S7-400 à l'aide du logiciel STEP7, ainsi que la supervision sous WinCC Explorer. A cet effet, on présente en premier lieu STEP7 et WinCC Explorer, leurs performances et fonctionnalités principales. Par la suite, on présente des exemples de manipulation du travail réalisé avec les résultats obtenus.

4.2) Logiciel Step 7

4.2.1) Présentation du logiciel

STEP 7 est le logiciel de base pour la configuration et la programmation de systèmes d'automatisation SIMATIC. Il existe en plusieurs versions :

- STEP 7-Micro/DOS et STEP 7-Micro/Win pour des applications autonomes simples sur SIMATIC S7-200.
- STEP 7 pour des applications sur SIMATIC S7-300/400, SIMATIC M7-300/400 et SIMATIC C7

4.2.2) Fonctionnalités principales du logiciel

4.2.2.1) Gestionnaire de projets SIMATIC

Le gestionnaire de projets SIMATIC gère toutes les données relatives à un projet d'automatisation quel que soit le système cible (S7/M7/C7) sur lequel elles ont été créées. Il démarre automatiquement les applications requises pour le traitement des données sélectionnées.



Figure 4. 1 Vue du logiciel SIMATIC Manager

4.2.2.2) Editeur de mnémoniques

L'éditeur des mnémoniques permet de gérer toutes les variables globales, définir différentes désignations symboliques et commentaires pour les signaux du processus (entrées/sorties), mémentos et blocs, importer/exporter avec d'autres programmes Windows.

La table des mnémoniques qui en résulte est mise à disposition de toutes les applications. La modification de l'un des paramètres d'une mnémonique est de ce fait reconnue automatiquement par toutes les applications.

	Status	Symbol	Address	Data type	Comment
1		Count_Control	EW 1	WORD	
2		Example_Input_1	E 1.1	BOOL	Input
3		Example_Input_2	EW 2	WORD	Input range
4		Example_Output_1	A 1.1	BOOL	Output
5		Example_Output_2	AW 2	WORD	Output range
6		Input_Control	E 0.2	BOOL	
7		Input_Motor	E 0.0	BOOL	
8		Input_Temperature	E 0.1	BOOL	
9		Output_switch	A 0.0	BOOL	
10		Temperature	AW 1	INT	
11					

Figure 4. 2 Exemple d'une table de mnémorique

4.2.2.3) Diagnostic du matériel

Le diagnostic du matériel fournit un aperçu de l'état du système d'automatisation. Dans une représentation d'ensemble, un symbole permet de préciser pour chaque module, s'il est défaillant ou pas. Un double clic sur le module défaillant permet d'afficher des informations détaillées sur le défaut.

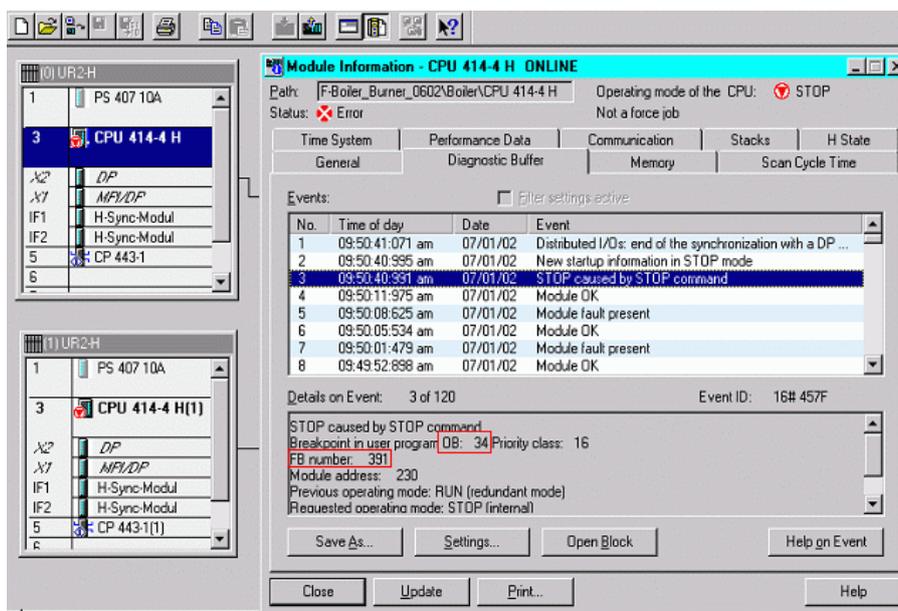


Figure 4. 3 Aperçu sur l'état de la CPU

4.2.2.4) Paramétrage de l'interface PG/PC

Cet outil sert à paramétrer l'adresse locale des PG/PC, la vitesse de transmission dans le réseau MPI ou PROFIBUS en vue d'une communication avec l'automate et le transfert du projet.

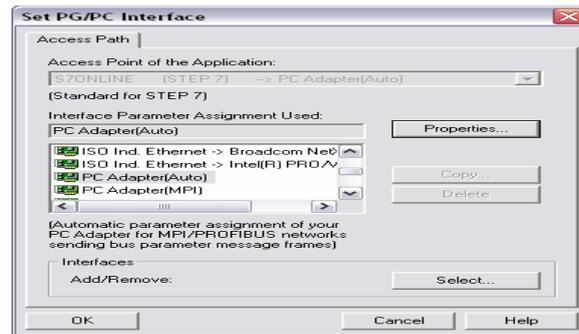


Figure 4. 4 Paramétrage PG/PC sur STEP7

4.2.3) Création du projet SIMATIC STEP7

Un projet comprend deux parties essentielles, les programmes et la configuration matérielle. Le programme est l'interface graphique qui permet la manipulation du projet et l'accès aux autres programmes de STEP7. Pour en créer un nouveau, il suffit de cliquer sur le bouton « Nouveau projet », attribuer un nom et valider. Ensuite choisir une station de travail.

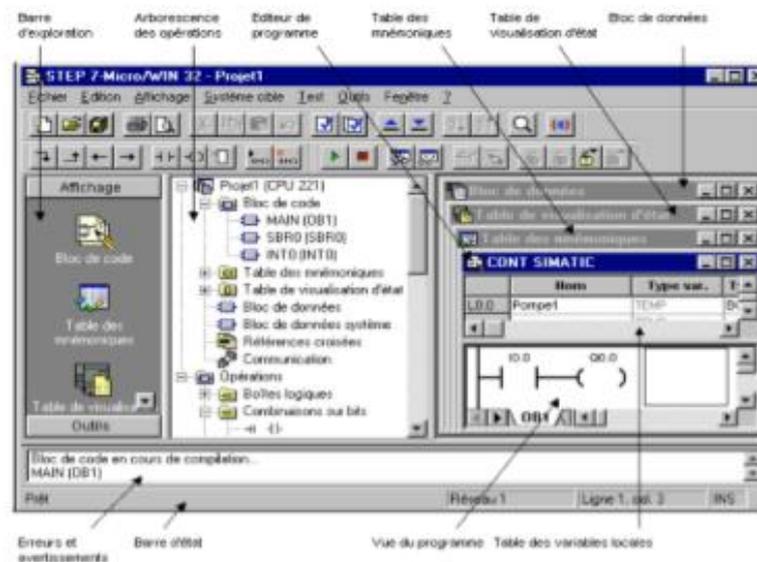


Figure 4. 5 Vue générale de l'interface STEP7

Une station SIMATIC représente une configuration matérielle S7 comportant un ou plusieurs modules programmables. Il existe différents types:

- SIMATIC 400, SIMATIC 300, SIMATIC S5.
- SIMATIC H: Automate insensible aux défaillances, il se compose de 2 CPU du même type, en cas de problème elle commute de l'une vers l'autre sans perte de données.
- SIMATIC PC: Ou station PC, représente un PC contenant des composants
- SIMATIC: Des applications (WinCC, par ex.).ES
- Autres stations: se sont soit des appareils d'autres fabricants ou bien des stations de SIMATIC S7 contenus dans un autre projet.

4.2.3.1) Configuration du matériel

Pour configurer le matériel, il suffit de faire glisser des éléments du catalogue dans l'emplacement approprié, il suffit de choisir le Rack, l'alimentation, la CPU et les E/S... Nous distinguons:

- C7 : Système intégré compact qui regroupe automate programmable et interface homme machine (pupitre opérateur) pour la réalisation de commandes de machines sous encombrement réduit.
- CP : Communication Processor, module de communication (PROFIBUS, Industriel, Ethernet...).
- FM : (Function Module), il regroupe les modules de fonctions (régulation, comptage...).
- IM : Coupleurs d'extension, il permet l'ajout d'autres modules.
- M7 : Modules d'extension et cartouches interface pour SIMATIC M7.
- PS : Module d'alimentation.
- Rack : Support mécanique.
- Routeur : Relie Industriel Ethernet à PROFIBUS.
- SM : Signal Module, c'est le module d'E/S, il contient le AI module d'entrées analogiques, le AO module de sorties analogiques, le DI module d'entrées TOR et le DO module de sorties TOR.
- CPU : L'Unité Centrale, noté CPU xxx a b, tel que xxx est la famille de la CPU et a, b sont les propriétés de la CPU (éléments additionnels, port de communication).

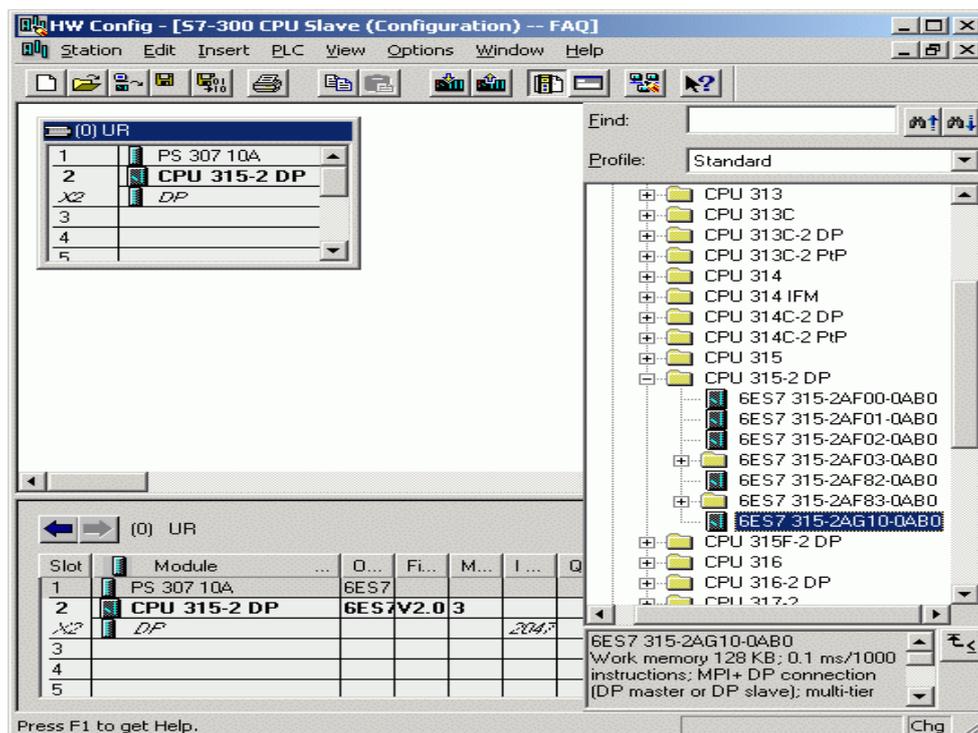


Figure 4. 6 Exemple d'une configuration matérielle

4.2.3.2) Edition du programme

Dans la section 'bloc' du SIMATIC Manager, il existe par défaut le bloc d'organisation 'OB1' qui représente le programme cyclique. Il est possible de rajouter d'autres blocs à tout moment (FC et FB), et pour chaque bloc créé on choisit un langage de programmation défini.

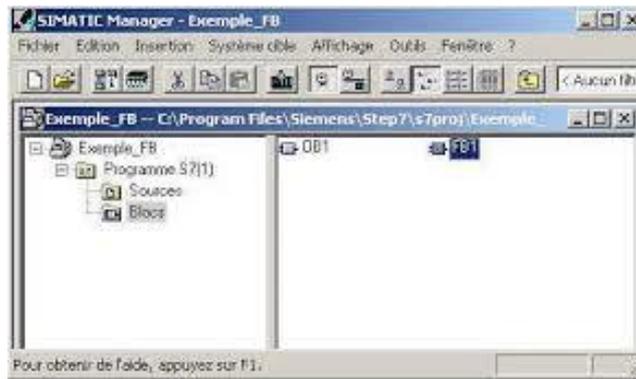


Figure 4. 7 Les blocs d'édition de programmes

4.2.3.3) Simulation du programme avec le logiciel PLCSIM

Une fois la configuration, le paramétrage et la création du programme terminé, il est possible de transférer le programme utilisateur dans le système cible. S7-PLCSIM dispose d'une interface simple permettant de visualiser et de forcer les différents paramètres utilisés par le programme (comme, par exemple, d'activer ou de désactiver des entrées).

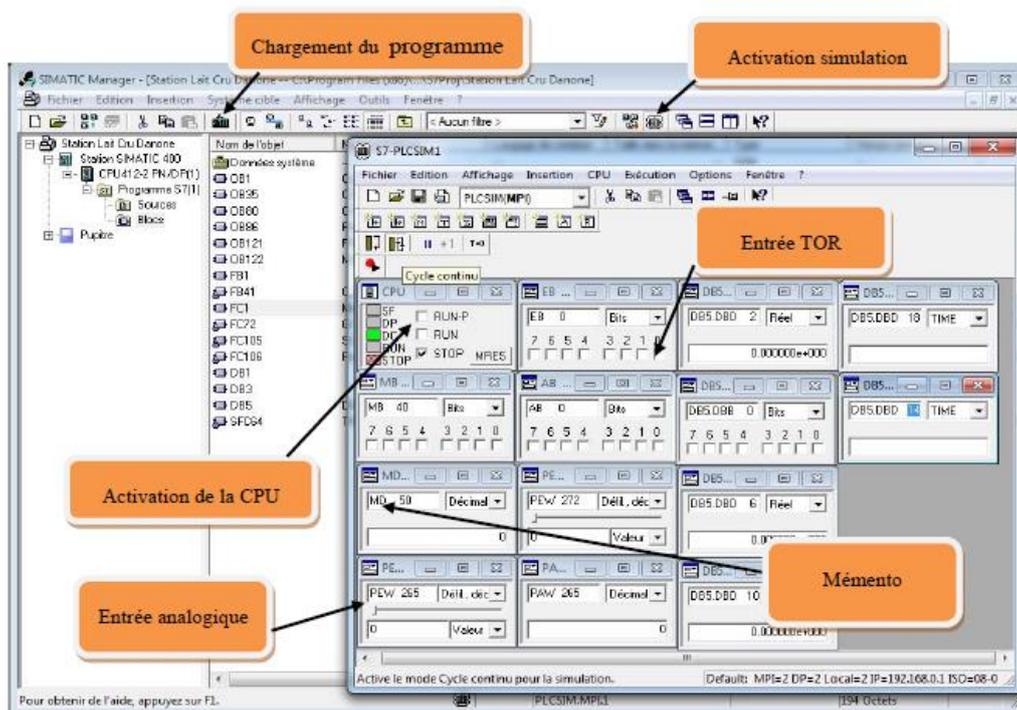


Figure 4. 8 La fenêtre du simulateur PLCSIM

4.3) Logiciel WinCC Explorer

4.3.1) Supervision industrielle

Lorsque la complexité des processus augmente et que les machines et les installations doivent répondre à des fonctionnalités plus complexes, l'opérateur a besoin d'un maximum de transparence qui s'obtient au moyen de l'Interface Homme-Machine (IHM).

Un Pupitre de commande et de supervision constitue l'interface entre l'homme (opérateur) et le processus (machine/installation). Le contrôle du processus est assuré par le système d'automatisation, et la communication entre l'API et le pupitre est assurée par un bus de terrain (protocole de communication) qui a pour objectif :

- Représentation du processus (les vues)
- Commande du processus
- Archivage des valeurs de processus et d'alarmes
- Gestion des paramètres

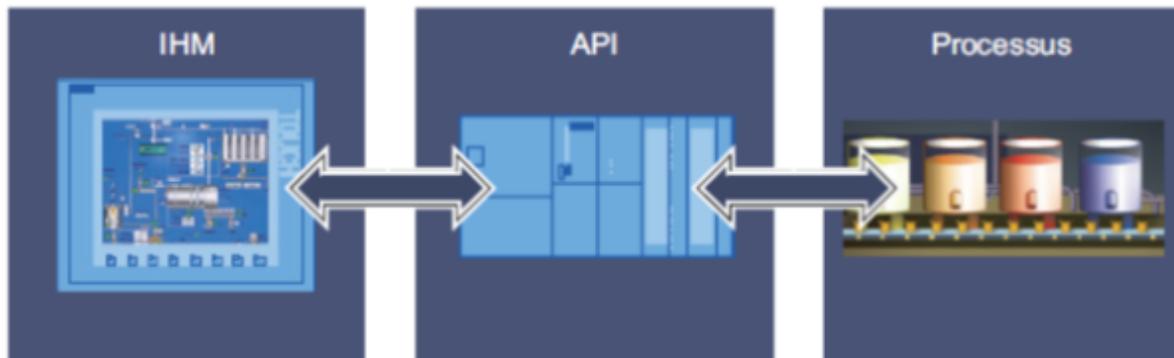


Figure 4. 9 Schéma synoptique du fonctionnement d'un processus industriel

4.3.2) Présentation de WinCC

WinCC est un système HMI performant qui permet de visualiser tout processus industriel, ce qui facilite la surveillance par un graphisme à l'écran, et dès qu'un état évolue, l'affichage est mis à jour.

Lorsqu'un état de processus devient critique, une alarme se déclenche automatiquement, et l'écran affiche un message en cas de franchissement d'un seuil prédéfini.

Les alarmes et les valeurs peuvent être imprimées et archivées sur un support électronique par WinCC, Ce qui permet de documenter la marche et avoir accès ultérieurement aux données de production.

4.3.3) Fonctionnement de Wincc

WinCC Explorer est constitué de deux logiciels de base :

- Le logiciel de configuration WinCC Explorer Advanced qui permet de créer les configurations sous Windows à partir de l'ordinateur de configuration (PC ou pupitre opérateur).
- Le logiciel de visualisation du processus WinCC Explorer « Runtime », qui permet de faire fonctionner la configuration sous Windows et de visualiser le processus. WinCC Explorer Runtime est également exécuté sur l'ordinateur de configuration pour tester et simuler le fichier projet compilé.

4.3.4) Logiciel de configuration

Après le démarrage de WinCC, l'écran affiche l'explorateur WinCC Explorer qui compte la structure complète du projet et permet de gérer le projet dans lequel on trouve :

- Menus et barres d'outils
- Zone de travail
- Fenêtre de projet
- Fenêtre des propriétés

- Bibliothèque
- Fenêtre des erreurs et avertissements
- Fenêtre des objets

Runtime

WinCC Explorer Runtime est conçu pour la visualisation de machines et petites installations. Il se distingue par son interface utilisateur entièrement graphique basée sur la technique des fenêtres, et permet également grâce à des temps de réaction rapides une conduite de processus sûre, ainsi qu'une collecte sûre des données.

4.3.5) Création d'un projet WinCC

Après avoir lancé le SIMATIC WinCC Explorer, « Créer un projet vide » ; une fenêtre de dialogue affiche les différents types de pupitre à choisir 'WinCC Explorer Runtime' dans le cas d'une supervision via un PC.

4.3.5.1) Définition des variables

Les variables utilisées dans WinCC sont :

- Variables externes, permettent d'échanger des données entre les composants d'un processus automatisé, et un pupitre operateur.
- Variables internes, ne possèdent aucun lien avec l'automate. Elles sont enregistrées dans la mémoire du pupitre

Après que le projet soit créé, on définit des variables externes et communique avec l'automate en élaborant une liaison avec.

Pour se faire, on clique sur l'onglet « Tag Management » après avoir désactivée le Runtime. Ensuite, une nouvelle fenêtre s'affiche pour ajouter un nouveau pilote (SIMATIC S7 Protocol Suite). Par ailleurs, sous le réseau MPI on crée une nouvelle liaison et on vérifie les paramètres du réseau MPI.

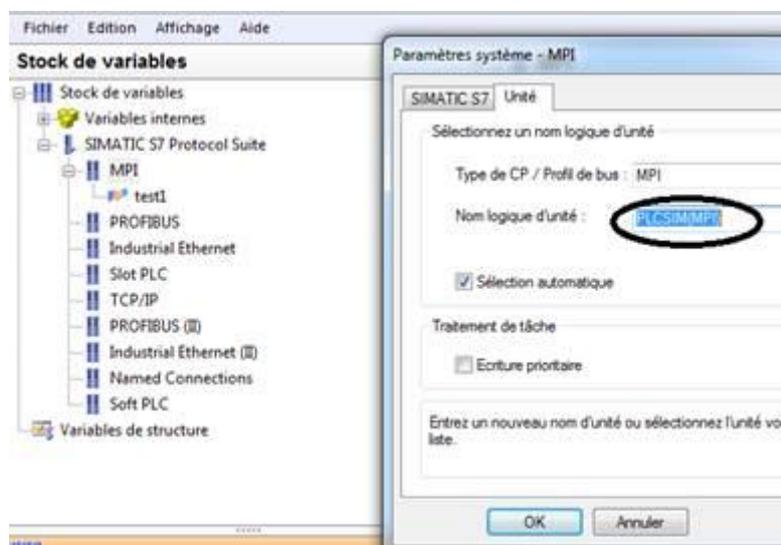


Figure 4. 10 Création de liaison Wincc-API

Puis, on ajoute les variables externes à utiliser en désignant leurs types (entrée, sortie ou memento) et en leurs affectant des adresses.

4.3.5.2) Communication WinCC/STEP7

Il est possible d'établir la communication entre WinCC et le projet STEP 7 déjà créé, par une liaison de type 'MPI' déjà créée

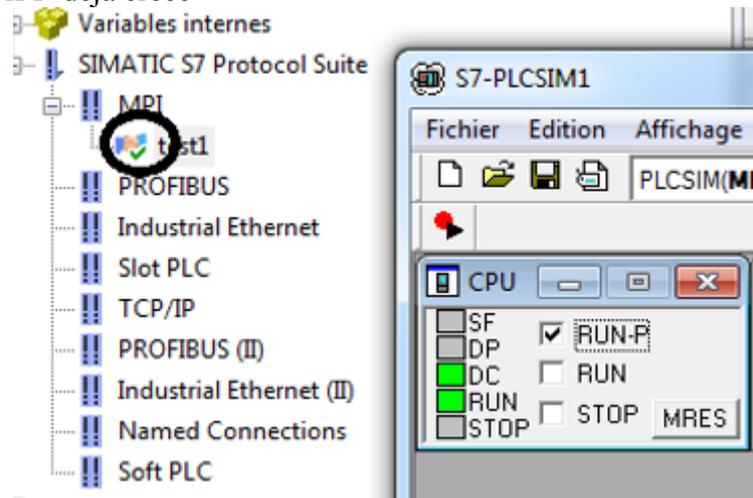


Figure 4. 11 Connexion créée établie

4.3.5.3) Création d'une vue process

Pour créer des vues, le logiciel dispose d'objets prédéfinis permettant de représenter notre installation, d'afficher des procédures et de définir des valeurs de processus.

Dans cette figure on montre un exemple de vue process :

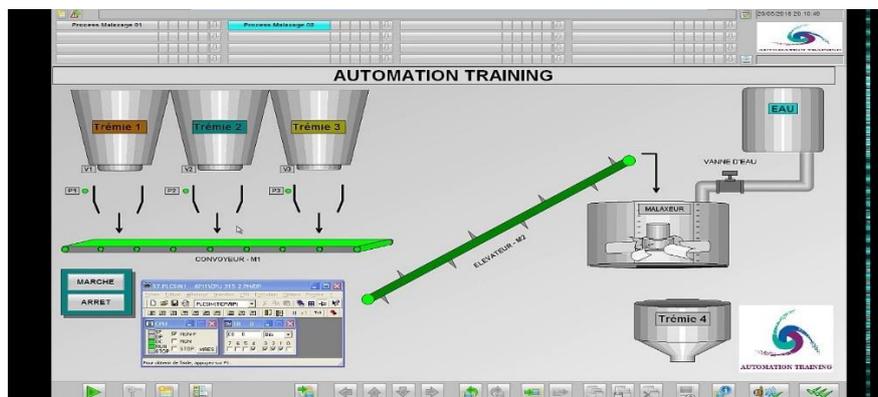


Figure 4. 12 Exemple de vue IHM

4.3.5.4) Création des alarmes

La procédure d'alarme détermine le type de l'information déclenchant une alarme. WinCC flexible supporte les procédures d'alarme suivantes :

- Procédure par bit: alarmes TOR.
- Procédure analogique: alarmes analogiques.
- Procédure par numéro d'alarme: L'automate transmet au pupitre un numéro d'alarme.

4.3.5.5) Test et simulation du projet

Pour tester un projet, il suffit de démarrer le contrôle de cohérence (compilateur) en haut de la barre d'outils, le résultat du contrôle de cohérence est affiché dans la fenêtre des erreurs et avertissements, si la compilation est terminée sans erreurs, il sera possible de passer à la simulation.

Et La simulation permet de détecter des erreurs logiques de configuration, par ex. des valeurs limites incorrectes. Il permet d'observer les états du système, ainsi que les déclenchements des alarmes.

4.3.5.6) Transfert du projet

Après la création de l'interface graphique et les variables, et afin de lire les valeurs du processus provenant de l'AS ou de les transmettre vers l'automate. Il suffit de procéder:

- À la vérification des paramètres de connexion par défaut.
- Au transfert du projet sur le pupitre ou dans la station PC de supervision

4.4) Développement du projet sous STEP7 et WinCC

4.4.1) Développement du projet sous STEP7

Après avoir créé un nouveau projet sous STEP7, on passe à la configuration du matériel où on a choisi :

- Un châssis (Rack) ayant 18 emplacements
- Une alimentation (PS405) de 4A (comme ce n'est qu'une simulation)
- Une CPU 412-1, ayant une mémoire de travail de 48 Ko et port MPI
- Un module d'entrées analogiques (16 entrées de 13 bits)
- Un module de sorties analogiques (8 sorties de 13 bits)
- Un module d'entrées TOR (32 entrées)
- Un module de sorties TOR (32 sorties)

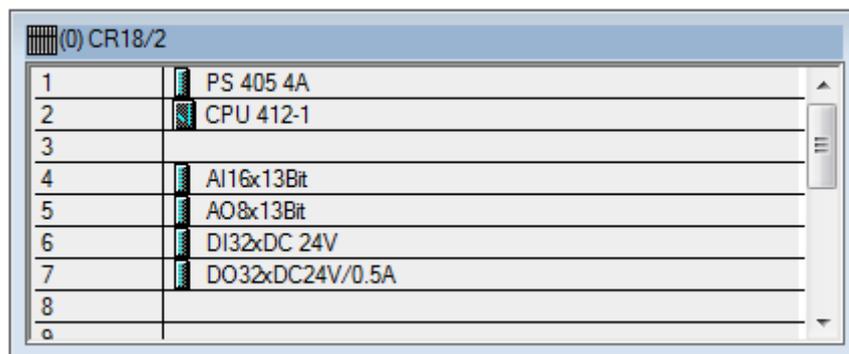


Figure 4. 13 Configuration matérielle de Siemens S7-400

Chacun des modules d'Entrées ou sorties analogiques, une marge d'adresses lui est attribuée comme suit :

Emplacement	Module	Référence	Firmware	Adresse MPI	Adresse d'entrée	Adresse de sortie	Commentaire
1	PS 405 4A	6ES7 405-00A00-0AA0					
2	CPU 412-1	6ES7 412-1XF00-0AB0		2			
3							
4	AI16x13Bit	6ES7 431-0HH00-0AB0			512..543		
5	AO8x13Bit	6ES7 432-1HF00-0AB0				512..527	
6	DI32xDC 24V	6ES7 421-1BL00-0AA0			0..3		
7	DO32xDC24V/0.5A	6ES7 422-1BL00-0AA0				0..3	
8							
9							
10							

Figure 4. 14 Caractéristiques des modules de la configuration

Par ailleurs, on commence à éditer la table des mnémoniques (figure 1) et le programme en ajoutant des blocs d'organisation (OB1 et OB100) ainsi que des fonctions (FC) et un bloc de données (DB1).

La figure 2 montre un aperçu des blocs utilisés pour éditer le programme :

Mnémonique	Opéran	Type de do	Commentaire
111XV2101	A 0.0	BOOL	VANNE EAU
111XV0102	A 0.1	BOOL	VANNE SOUTIRAGE SOUDE
111XV0101	A 0.2	BOOL	VANNE DRAINAGE SOUDE
111XV0201	A 0.3	BOOL	VANNE DRAINAGE ACIDE
111XV0202	A 0.4	BOOL	VANNE SOUTIRAGE ACIDE

Figure 4. 15 Exemple de mnémoniques utilisées

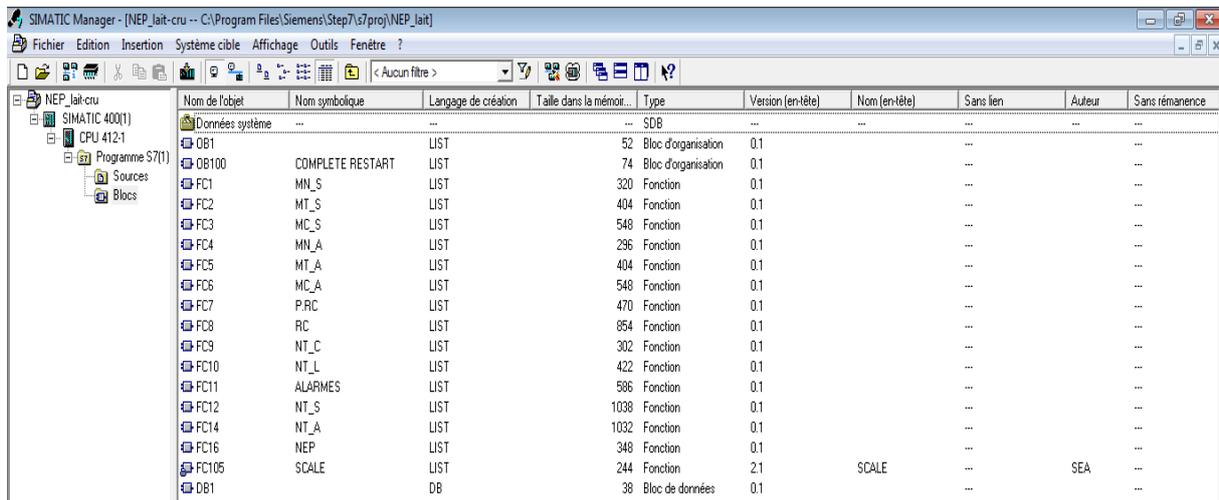


Figure 4. 16 Blocs d'édition de programmes

Chaque fonction est programmée en LIST (suites d'instructions), et interprète le grafcet qu'il a décrit.

Exemple : Mise à niveau de la cuve « Soude »

- On commence par programmer chacune des transitions

FC1 : Préparation de la cuve soude

Mise à niveau de la cuve soude

Réseau 1 : Transition de 0 à 1 (Mise à niveau de la soude)

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

```

U   "Start_sta"           M200.0      -- DEMARRER STATION
U   "SOUDE"              M200.4      -- CUVE SOUDE
U   "MARCHE"             M201.4      -- DEMARRER LA PREPARATION DE LA CUVE
U   "VALID"              M201.2      -- VALIDER
=   "T-mss_0_1"          M0.0        -- Transition de 0 à 1 (Mise à niveau de la soude)
    
```

/**TRANSITION DE 1 A 2:

```

UN  "Start_NEP"          M200.2      -- DEMARRER NETTOYAGE
UN  "111ZSL2101"         E0.0        -- TLC1
UN  "111ZSL2102"         E0.1        -- TLC2
UN  "111ZSL2103"         E0.2        -- TLC3
UN  "111ZSL2104"         E0.3        -- CITERNE
=   "T-mss_1_2"          M0.1        -- Transition de 1 à 2 (Mise à niveau de la soude)
    
```

Figure 4. 17 Exemple de programmation des transitions

- Ensuite, on programme les étapes du grafcet comme suit :

```

Réseau 2 : Titre :
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
/**ETAPE 0:
U DB1.DBX 0.0
U "T-mss_0_1" MO.0 -- Transition de 0 à 1 (Mise à niveau de la soude)
S DB1.DBX 0.1
R DB1.DBX 0.0
SPB END

/**ETAPE 1:
U DB1.DBX 0.1
U "T-mss_1_2" MO.1 -- Transition de 1 à 2 (Mise à niveau de la soude)
S DB1.DBX 0.2
R DB1.DBX 0.1
SPB END

/**ETAPE 2:
U DB1.DBX 0.2
U "T-mss_2_3" MO.2 -- Transition de 2 à 3 (Mise à niveau de la soude)
S DB1.DBX 0.3
R DB1.DBX 0.2
SPB END
    
```

Figure 4. 18 Exemple de programmation (description du grafcet)

- On finit par commander les actionneurs :

```

Réseau 3 : commande d'actionneurs
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:

U DB1.DBX 0.3
O DB1.DBX 0.4
O DB1.DBX 0.5
= "111XV2101" AO.0 -- VANNE EAU

U DB1.DBX 0.3
O DB1.DBX 0.4
O DB1.DBX 0.5
= "111XV2102" A1.0 -- VANNE REMPLISSAGE CUVES

U DB1.DBX 0.3
U DB1.DBX 0.4
U DB1.DBX 0.5
= "111XV0103" A1.3 -- VANNE REMPLISSAGE SOUDE

U DB1.DBX 0.4
O DB1.DBX 0.5
= "111Pu2101" A3.1 -- POMPE EAU
    
```

Figure 4. 19 Exemple de programmation (Commande des actionneurs)

Après édition du programme, on le charge dans l'automate et on le simule sous S7-PLCSIM. On montre ci-après un exemple de simulation de la transition (T_0_1 de la fonction FC1) :

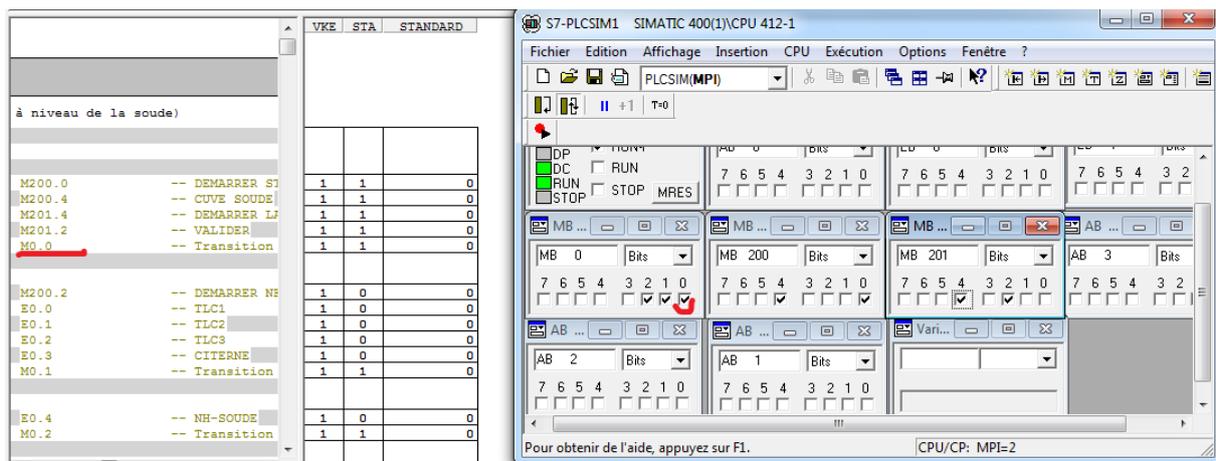


Figure 4. 20 Exemple de simulation sous PLCSIM

4.4.2) Développement du projet sous WinCC Explorer

D'abord, on crée la liaison entre l'automate et WinCC, et sera activée lorsque S7-PLCSIM et le Runtime sont activées (Figure suivante) :

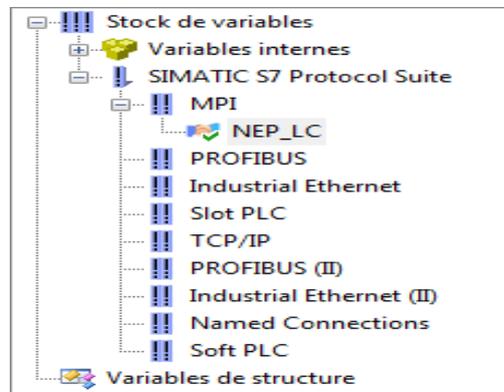


Figure 4. 21 Connexion avec l'automate créée

Par ailleurs, on crée les variables externes à attribuer (figure 1) ainsi que les alarmes à gérer comme le montre la figure 2 suivante :

NEP_LC							
Nom	Type de données	Longueur	Transtypage	Liaison	Groupe	Adresse	Mise à l'échelle
1 A0	Valeur 8 bits non signée	1	ByteToUnsignedByte	NEP_LC		A80	<input type="checkbox"/>
2 A1	Valeur 8 bits non signée	1	ByteToUnsignedByte	NEP_LC		A81	<input type="checkbox"/>
3 A2	Valeur 8 bits non signée	1	ByteToUnsignedByte	NEP_LC		A82	<input type="checkbox"/>
4 A3	Valeur 8 bits non signée	1	ByteToUnsignedByte	NEP_LC		A83	<input type="checkbox"/>
5 ACIDE	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.5	<input type="checkbox"/>
6 ANNULER	Variable binaire	1		NEP_LC		M201.3	<input type="checkbox"/>
7 ARRET	Variable binaire	1		NEP_LC		M201.5	<input type="checkbox"/>
8 COURT	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.7	<input type="checkbox"/>
9 DEBIT_RETOUR	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW172	<input type="checkbox"/>
10 E0	Valeur 8 bits non signée	1	ByteToUnsignedByte	NEP_LC		E80	<input type="checkbox"/>
11 E1	Valeur 8 bits non signée	1	ByteToUnsignedByte	NEP_LC		E81	<input type="checkbox"/>
12 ER	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.6	<input type="checkbox"/>
13 Fin_NEP	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.3	<input type="checkbox"/>
14 Fin_sta	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.1	<input type="checkbox"/>
15 LONG	Variable binaire	1		NEP_LC		M201.0	<input type="checkbox"/>
16 MARCHE	Variable binaire	1		NEP_LC		M201.4	<input type="checkbox"/>
17 RINC	Variable binaire	1		NEP_LC		M201.1	<input type="checkbox"/>
18 SDA_ACIDE	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW158	<input type="checkbox"/>
19 SDA_SOUDE	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW156	<input type="checkbox"/>
20 SDC_ACIDE	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW166	<input type="checkbox"/>
21 SDC_RETOUR	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW170	<input type="checkbox"/>
22 SDC_SOUDE	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW164	<input type="checkbox"/>
23 SDT_ACIDE	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW162	<input type="checkbox"/>
24 SDT_RETOUR	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW168	<input type="checkbox"/>
25 SDT_SOUDE	Valeur 16 bits non signée	2	WordToUnsignedWord	NEP_LC		EW160	<input type="checkbox"/>
26 SOUDE	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.4	<input type="checkbox"/>
27 Start_NEP	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.2	<input type="checkbox"/>
28 Start_sta	Variable binaire	1		NEP_LC		M200.0	<input type="checkbox"/>
29 VALID	Variable binaire	1		NEP_LC		M201.2	<input type="checkbox"/>

Figure 4. 22 variables externes créées dans la connexion "NEP_LC"

Par la suite, on crée une vue de process qui représente la station :

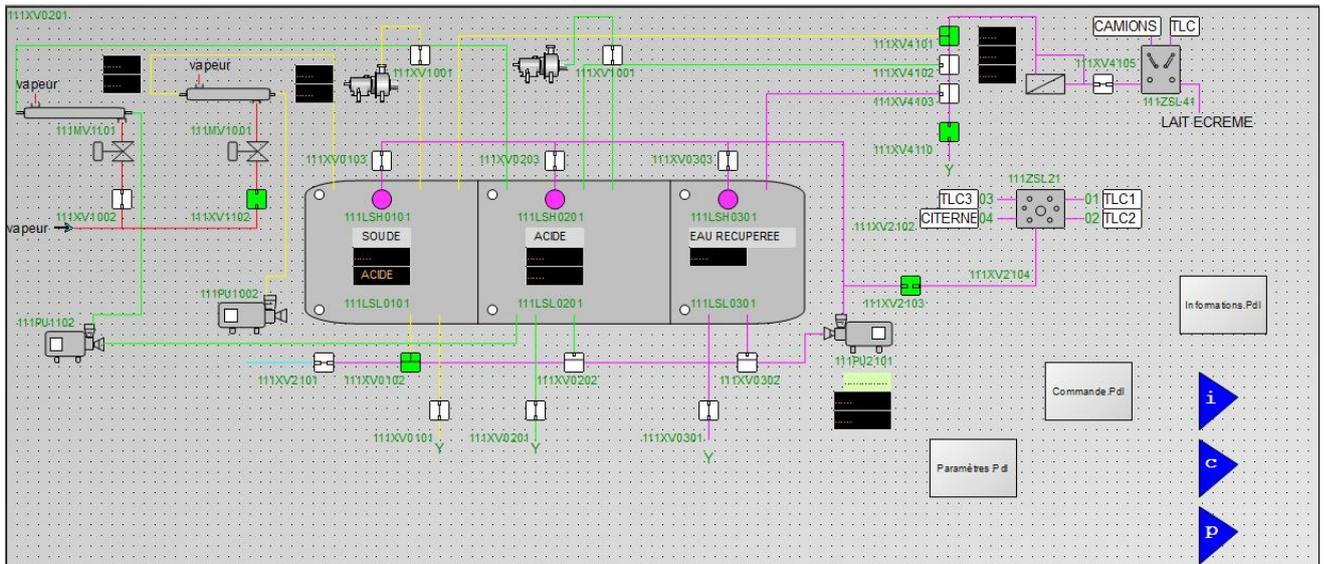


Figure 4.23 Vue du process créée sous WinCC Explorer

4.4.3) Exemples de simulations

4.4.3.1) Exemple de la partie1 (Préparation des cuves) : Mise à niveau de la cuve Soude

Au début de la manipulation, on considère que la cuve est vide (le détecteur de niveau haut « 111LSH0101 » est à 0). Par la suite, les vannes : « 111XV2101 », « 111XV2102 », « 111XV0103 » et la pompe « 111Pu2101 » sont activées pour remplir la cuve Soude (Comme le montre la figure ci-après) :

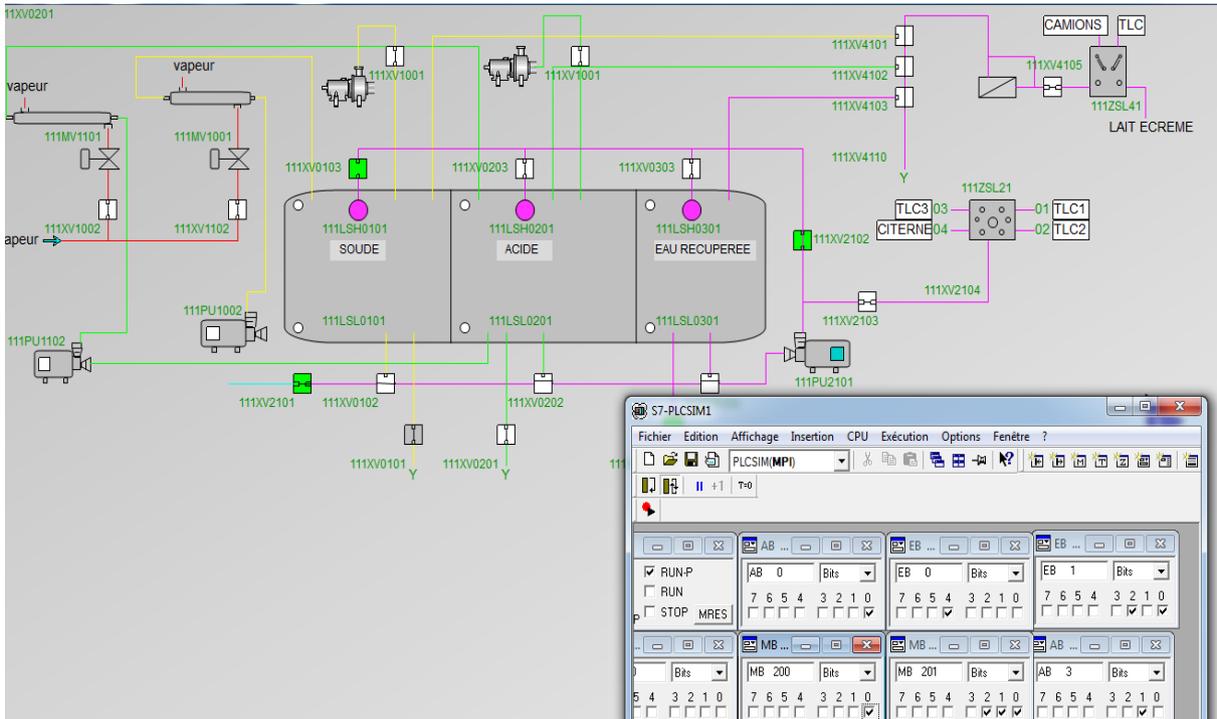


Figure 4.24 Résultat de la simulation 1

Lorsque la cuve soit remplie, le détecteur de niveau haut « 111LSH0101 » devient à 1 et les actionneurs se ferment (la figure ci-après) :

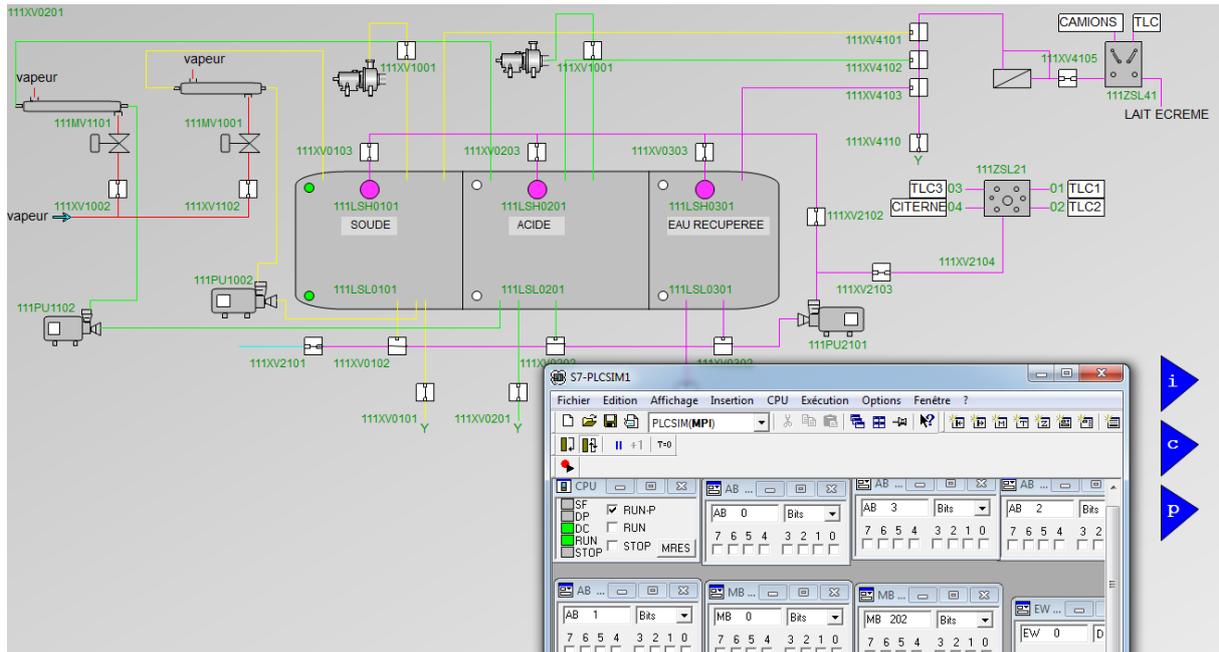


Figure 4. 25 Résultat de la simulation 1 (Fin du remplissage)

4.4.3.2) Exemple de la partie2 (Nettoyage en place) : Pré-rinçage

Lorsque le pré-rinçage se lance, les vannes « 111XV0302 » et « 111XV2103 » sont activées pour envoyer l’eau du pré-rinçage par le biais de la pompe « 111Pu2101 ».

Dès que le débit au retour est au minimum 5 m³/h, les vannes de retour « 111XV4105 » et « 111XV4110 » sont activées pour purger la solution à l’égout.

La figure ci-après montre la phase du pré-rinçage :

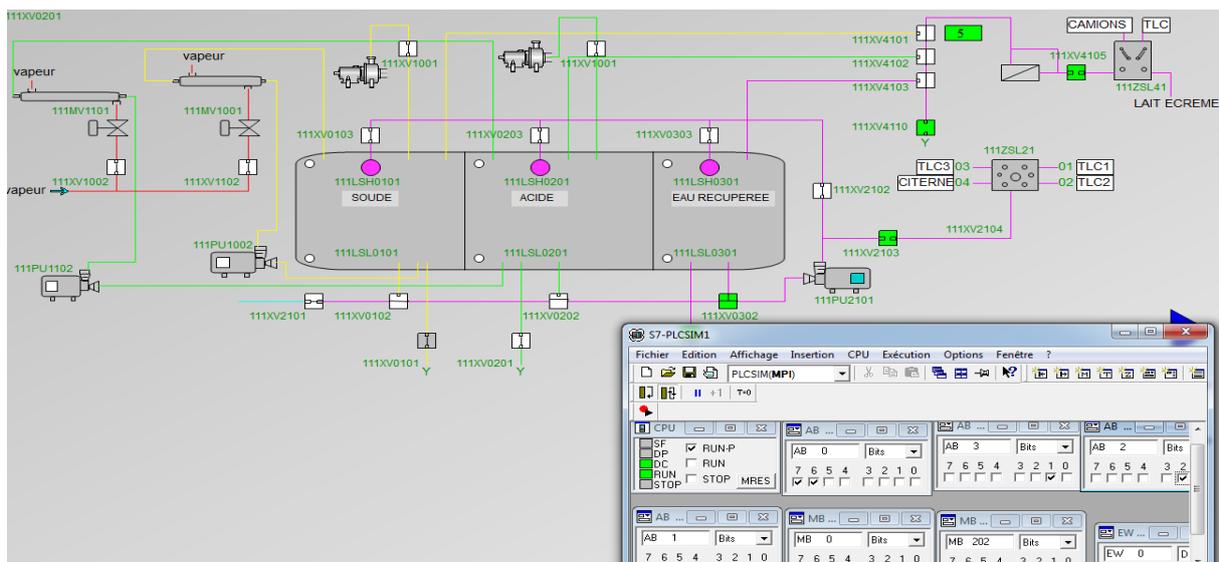


Figure 4. 26 Résultat de la simulation 2

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre de la migration de l'automatisation de la station NEP-Lait Cru du système ACCOS vers Siemens S7-400 au sein de l'entreprise DANONE Spa.

Ce travail était une occasion pour apprendre l'utilité du nettoyage dans les industries agro-alimentaires et son importance majeure pour garantir un produit sain aux consommateurs. En outre, on a découvert le fonctionnement de la station NEP-lait Cru, le rôle de chacun de ses compartiments ainsi qu'une optimisation du fonctionnement a été appliquée. Grâce au « Grafcet », on a pu mettre en œuvre une modélisation du fonctionnement de la station pour être traduit en langage de programmation par la suite.

Par ailleurs, on a pris connaissance des automates programmables industriels de la gamme SIEMENS, leurs caractéristiques, critères de choix, avantages, ainsi que les langages de programmation utilisables. D'ailleurs, automatiser un processus à base d'un S7-400 est d'un avantage majeur comme étant un outil puissant de surveillance et de commande, facilite la maintenance, le dépannage et le suivi du processus en temps réel, ainsi que sa possibilité de communiquer via un micro-ordinateur ou un pupitre.

Pour conclure, on propose de mettre en place le travail accompli au cours de ce projet tout en effectuant d'autres améliorations pour plus d'efficacité, d'économies et de productivité:

- Optimiser les paramètres de nettoyage dont le temps de cycle ; car une phase de nettoyage longue conduit à des durées de non-productivité élevées à l'entreprise
- Gérer les eaux et solutions drainées à l'égout en appliquant des méthodes d'analyse et filtration microbiologiques pour récupérer une eau propre valable à utiliser pour les phases de nettoyage
- Pour des fins économiques, la station peut fonctionner à base d'énergie hydraulique grâce aux eaux et solutions drainées à l'égout
- Lors du nettoyage en soude/acide, on draine la solution à l'égout si l'un des capteurs de température ou de conductivité au retour indiquent des valeurs indésirables. Or, lorsqu'une solution a une bonne conductivité mais sa température n'est pas bonne peut être récupérée dans une cuve séparée et être réchauffée à l'aide de l'échangeur thermique pour l'utiliser ultérieurement. Une étude économique est nécessaire à cette issue.

Bibliographie

- [1] JUMO, « Application, Nettoyage en place (NEP) », 2013
- [2] Siemens, SIMATIC Testing your S7 programs with S7-PLCSIM, Editions 1998
- [3] Académie de Lyon, « Coder une séquence de grafset, Maintenance industrielle niveau N », éditions 2014
- [4] « Cours Industrial TI », Université d'Agadir, 2017
- [5] Aidel Mehdi, « First step with step7 », REV06
- [6] Siemens, « WinCC : SIMATIC HMI », 06/2014
- [7] HAMDY Cherif et MAYOUF Imane, « Commande et supervision d'une station de pompage à base d'API Siemens et Schneider », ENP 2018
- [8] Endress+ Hauser, « Liquifiant M FTL50(H), FTL51(H) », Editions 2013
- [9] Endress+ Hauser, « Débitmètre électromagnétique Promag 50/53 W », Editions 2013
- [10] Endress+ Hauser, « Capteur de température RTD », Editions 2013
- [11] Endress+ Hauser, « Sonde de niveau Delapilot S », Editions 2013
- [12] Endress+ Hauser, « Vanne de réglage pneumatique type 3241-1 », Editions 2013
- [13] Endress+ Hauser, « Vanne Delta SV1 », Editions 2013
- [14] Endress+ Hauser, « Vanne Delta SW4 », Editions 2013
- [15] Endress+ Hauser, « Pompe W+ », Editions 2013
- [16] Académie de Montpellier, « Analyser le fonctionnement et la structure d'un objet »
- [17] Instrumentations CIRA, Capteurs et transmetteurs, 2006-2007
- [18] APV, « Getting started with ACCOS », 2008

Annexe 1 : Table des mnémoniques

Mnémonique	Opéran /	Type de do	Commentaire
111XV2101	A 0.0	BOOL	VANNE EAU
111XV0102	A 0.1	BOOL	VANNE SOUTIRAGE SOUDE
111XV0101	A 0.2	BOOL	VANNE DRAINAGE SOUDE
111XV0201	A 0.3	BOOL	VANNE DRAINAGE ACIDE
111XV0202	A 0.4	BOOL	VANNE SOUTIRAGE ACIDE
111XV0301	A 0.5	BOOL	VANNE DRAINAGE ER
111XV0302	A 0.6	BOOL	VANNE SOUTIRAGE ER
111XV2103	A 0.7	BOOL	VANNE CIRCUIT A NETTOYER
111XV2102	A 1.0	BOOL	VANNE REMPLISSAGE CUVES
111XV0303	A 1.1	BOOL	VANNE REMPLISSAGE ER
111XV0203	A 1.2	BOOL	VANNE REMPLISSAGE ACIDE
111XV0103	A 1.3	BOOL	VANNE REMPLISSAGE SOUDE
111XV1001	A 1.4	BOOL	VANNE DISTRIBUTION SOUDE
111XV1101	A 1.5	BOOL	VANNE DISTRIBUTION ACIDE
111XV4105	A 1.6	BOOL	VANNE RETOUR
111XV4101	A 1.7	BOOL	VANNE RETOUR SOUDE
111XV4102	A 2.0	BOOL	VANNE RETOUR ACIDE
111XV4103	A 2.1	BOOL	VANNE RETOUR EAU
111XV4110	A 2.2	BOOL	VANNE DRAINAGE RETOUR
111XV1002	A 2.3	BOOL	VANNE VAPEUR SOUDE
111XV1102	A 2.4	BOOL	VANNE VAPEUR ACIDE
111Pu1002	A 2.7	BOOL	POMPE ECHAU-SOUDE
111Pu1102	A 3.0	BOOL	POMPE ECHAU-ACIDE
111Pu2101	A 3.1	BOOL	POMPE EAU
Soude_pump	A 3.2	BOOL	POMPE DISTRI-SOUDE
Acid_pump	A 3.3	BOOL	POMPE DISTRI-ACIDE
111ZSL2101	E 0.0	BOOL	TLC1
111ZSL2102	E 0.1	BOOL	TLC2
111ZSL2103	E 0.2	BOOL	TLC3
111ZSL2104	E 0.3	BOOL	CITERNE
111LSH0101	E 0.4	BOOL	NH-SOUDE
111LSH0201	E 0.5	BOOL	NH-ACIDE
111LSH0301	E 0.6	BOOL	NH-ER
111LSL0101	E 0.7	BOOL	NB-SOUDE
111LSL0201	E 1.0	BOOL	NB-ACIDE
111LSL0301	E 1.1	BOOL	NB-ER
SDA_SOUDE	EW 512	WORD	SDA-SOUDE
SDA_ACIDE	EW 514	WORD	SDA_ACIDE
SDT_SOUDE	EW 516	WORD	SDT_SOUDE

SDT_ACIDE	EW	518	WORD	SDT_ACIDE
SDC_SOUDE	EW	520	WORD	SDC_SOUDE
SDC_ACIDE	EW	522	WORD	SDC_ACIDE
SDT_RETOUR	EW	524	WORD	SDT_RETOUR
SDC_RETOUR	EW	526	WORD	SDC_RETOUR
DEBIT_RETOUR	EW	528	WORD	DEBIT_RETOUR
ALARM_NIV_Haut	EW	530	WORD	ALARME DE NIVEAU HAUT
ALARM_CONDU_BAS	EW	532	WORD	ALARME DE CONDUCTIVITE
ALARM_TEMP_BAS	EW	534	WORD	ALARME DE TEMPERATURE BASSE
ALARM_TEMP_HAUT	EW	536	WORD	ALARME DE TEMPERATURE HAUTE
ALARM_CONDU_HA...	EW	538	WORD	ALARME DE CONDUCTIVITE HAUTE
MN_S	FC	1	FC 1	Mise à niveau cuve Soude
MT_S	FC	2	FC 2	Mise en température Soude
MC_S	FC	3	FC 3	Mise en concentration Soude
MN_A	FC	4	FC 4	Mise à niveau cuve Acide
MT_A	FC	5	FC 5	Mise en température Acide
MC_A	FC	6	FC 6	Mise en concentration Acide
P.RC	FC	7	FC 7	Pré-rinçage
RC	FC	8	FC 8	Rinçage
NT_C	FC	9	FC 9	Nettoyage_court
NT_L	FC	10	FC 10	Nettoyage_Long
NT_S	FC	12	FC 12	Nettoyage Soude
NT_A	FC	14	FC 14	Nettoyage Acide
NEP	FC	16	FC 16	NEP
SCALE	FC	105	FC 105	Scaling Values
T-mss_0_1	M	0.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Mise à niveau de la soude)
T-mss_1_2	M	0.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Mise à niveau de la soude)
T-mss_2_3	M	0.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Mise à niveau de la soude)
T-mss_3_4	M	0.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Mise à niveau de la soude)
T-mss_4_5	M	0.4	BOOL	Transition de 4 à 5 (Mise à niveau de la soude)
T-mss_5_0	M	0.5	BOOL	Transition de 5 à 0 (Mise à niveau de la soude)
T-mts_0_1	M	1.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Mise en température de la soude)
T-mts_1_2	M	1.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Mise en température de la soude)
T-mts_2_3	M	1.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Mise en température de la soude)
T-mts_3_4	M	1.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Mise en température de la soude)
T-mts_4_0	M	1.4	BOOL	Transition de 4 à 0 (Mise en température de la soude)
T-mcs_0_1	M	2.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Mise en concentration de la soude)
T-mcs_1_2	M	2.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Mise en concentration de la soude)
T-mcs_2_3	M	2.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Mise en concentration de la soude)
T-mcs_3_4	M	2.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Mise en concentration de la soude)
T-mcs_4_5	M	2.4	BOOL	Transition de 4 à 5 (Mise en concentration de la soude)
T-mcs_5_0	M	2.5	BOOL	Transition de 5 à 0 (Mise en concentration de la soude)
T-msa_0_1	M	3.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Mise à niveau de l'acide)
T-msa_1_2	M	3.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Mise à niveau de l'acide)
T-msa_2_3	M	3.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Mise à niveau de l'acide)
T-msa_3_4	M	3.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Mise à niveau de l'acide)
T-msa_4_5	M	3.4	BOOL	Transition de 4 à 5 (Mise à niveau de l'acide)
T-msa_5_0	M	3.5	BOOL	Transition de 5 à 0 (Mise à niveau de l'acide)
T-mta_0_1	M	4.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Mise en température de l'acide)
T-mta_1_2	M	4.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Mise en température de l'acide)
T-mta_2_3	M	4.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Mise en température de l'acide)
T-mta_3_4	M	4.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Mise en température de l'acide)
T-mta_4_0	M	4.4	BOOL	Transition de 4 à 0 (Mise en température de l'acide)
T-mca_0_1	M	5.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Mise en concentration de l'acide)
T-mca_1_2	M	5.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Mise en concentration de l'acide)
T-mca_2_3	M	5.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Mise en concentration de l'acide)
T-mca_3_4	M	5.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Mise en concentration de l'acide)
T-mca_4_5	M	5.4	BOOL	Transition de 4 à 5 (Mise en concentration de l'acide)
T-mca_5_0	M	5.5	BOOL	Transition de 5 à 0 (Mise en concentration de l'acide)
T-nep_0_1	M	6.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (NEP)
T-nep_1_2	M	6.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (NEP)
T-nep_1_3	M	6.2	BOOL	Transition de 1 à 3 (NEP)
T-nep_1_4	M	6.3	BOOL	Transition de 1 à 4 (NEP)
T-nep_2_5	M	6.4	BOOL	Transition de 2 à 5 (NEP)
T-nep_3_5	M	6.5	BOOL	Transition de 3 à 5 (NEP)
T-nep_4_5	M	6.6	BOOL	Transition de 4 à 5 (NEP)
T-nep_5_0	M	6.7	BOOL	Transition de 5 à 0 (NEP)
T-nc_0_1	M	7.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Cycle court)
T-nc_1_2	M	7.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Cycle court)
T-nc_2_3	M	7.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Cycle court)
T-nc_3_4	M	7.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Cycle court)
T-nc_4_5	M	7.4	BOOL	Transition de 4 à 5 (Cycle court)
T-nc_5_0	M	7.5	BOOL	Transition de 5 à 0 (Cycle court)
T-nl_0_1	M	8.0	BOOL	Transition de 0 à 1 (Cycle long)
T-nl_1_2	M	8.1	BOOL	Transition de 1 à 2 (Cycle long)
T-nl_2_3	M	8.2	BOOL	Transition de 2 à 3 (Cycle long)
T-nl_3_4	M	8.3	BOOL	Transition de 3 à 4 (Cycle long)
T-nl_4_5	M	8.4	BOOL	Transition de 4 à 5 (Cycle long)

Annexe 3: Programmes
FC1: Mise à niveau de la cuve SOUDE

Calcul des transitions:

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

```

U(
O  "Start_sta"
O  "T-mss_0_1"
)
U  "SOUDE"
U  "MARCHE"
U  "VALID"
=  "T-mss_0_1"

```

/**TRANSITION DE 1 A 2:

```

UN  "Start_NEP"
UN  "111ZSL2101"
UN  "111ZSL2102"
UN  "111ZSL2103"
UN  "111ZSL2104"
=  "T-mss_1_2"

```

/**TRANSITION DE 2 A 3:

```

UN  "111LSH0101"
=  "T-mss_2_3"

```

/**TRANSITION DE 3 A 4:

```

U  DB1.DBX  0.3
L  S5T#3S
SV T  0
U  T  0
=  "T-mss_3_4"

```

/**TRANSITION DE 4 A 5:

```

U  DB1.DBX  0.4
L  S5T#20S

```

```
SV T 1
U T 1
= "T-mss_4_5"
/**TRANSITION DE 5 A 0:
U "111LSH0101"
= "T-mss_5_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
S DB1.DBX 0.0
R DB1.DBX 0.1
R DB1.DBX 0.2
R DB1.DBX 0.3
R DB1.DBX 0.4
R DB1.DBX 0.5
SPB END
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
/**ETAPE 0:
U DB1.DBX 0.0
U "T-mss_0_1"
S DB1.DBX 0.1
R DB1.DBX 0.0
SPB END
/**ETAPE 1:
U DB1.DBX 0.1
U "T-mss_1_2"
S DB1.DBX 0.2
R DB1.DBX 0.1
SPB END
/**ETAPE 2:
U DB1.DBX 0.2
U "T-mss_2_3"
S DB1.DBX 0.3
R DB1.DBX 0.2
```

SPB END

/**ETAPE 3:

U DB1.DBX 0.3

U "T-mss_3_4"

O DB1.DBX 0.4

S DB1.DBX 0.4

R DB1.DBX 0.3

SPB END

/**ETAPE 4:

U DB1.DBX 0.4

U "T-mss_4_5"

O DB1.DBX 0.5

S DB1.DBX 0.5

R DB1.DBX 0.4

SPB END

/**ETAPE 5:

U DB1.DBX 0.5

U "T-mss_5_0"

S DB1.DBX 0.0

R DB1.DBX 0.5

SPB END

END: NOP 0

/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:

U DB1.DBX 0.3

O DB1.DBX 0.4

O DB1.DBX 0.5

• "111XV0103"

= "111XV0103"

U DB1.DBX 0.3

O DB1.DBX 0.4

O DB1.DBX 0.5

O "111XV2101"

= "111XV2101"

U DB1.DBX 0.3

O DB1.DBX 0.4

O DB1.DBX 0.5

O "111XV2102"

= "111XV2102"

U DB1.DBX 0.4

O DB1.DBX 0.5

O "111Pu2101"

= "111Pu2101"

U DB1.DBX 0.0

R "111XV2101"

R "111XV2102"

R "111XV0103"

R "111Pu2101"

FC2 : Mise en température de la cuve Soude

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

U(

O "Start_sta"

O "T-mts_0_1"

)

U "SOUDE"

U "MARCHE"

U "VALID"

= "T-mts_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

UN "Start_NEP"

UN "111ZSL2101"

UN "111ZSL2102"

UN "111ZSL2103"

UN "111ZSL2104"

= "T-mts_1_2"

/**TRANSITION DE 2 A 3:

U M 300.0

= L 0.0

BLD 103

CALL "SCALE"

IN :=PEW512

HI_LIM :=1.000000e+003

LO_LIM :=0.000000e+000

BIPOLAR:=L0.0

RET_VAL:=MW0

OUT :=MD50

L MD 50

L 2.000000e+001

>=R

= "T-mts_2_3"

/**TRANSITION DE 3 A 4:

U DB1.DBX 1.3

L S5T#15S

SV T 0

U T 0

= "T-mts_3_4"

/**TRANSITION DE 4 A 0:

```

U  M  300.0
=  L   0.0
BLD  103
CALL "SCALE"
IN   :=PEW516
HI_LIM :=8.700000e+001
LO_LIM :=8.000000e+001
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT   :=MD50
L  MD  50
L  8.400000e+001
>=R
=   "T-mts_4_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET :
S  DB1.DBX  1.0
R  DB1.DBX  1.1
R  DB1.DBX  1.2
R  DB1.DBX  1.3
R  DB1.DBX  1.4
SPB  END
/**DESCRIPTION DU GRAFCET:
/**ETAPE 0:
U  DB1.DBX  1.0
U  "T-mts_0_1"
S  DB1.DBX  1.1
R  DB1.DBX  1.0
SPB  END
/**ETAPE 1:
U  DB1.DBX  1.1
U  "T-mts_1_2"
S  DB1.DBX  1.2

```

```

R  DB1.DBX  1.1
SPB  END

/**ETAPE 2:
U  DB1.DBX  1.2
U  "T-mts_2_3"
S  DB1.DBX  1.3
R  DB1.DBX  1.2
SPB  END

/**ETAPE 3:
U  DB1.DBX  1.3
U  "T-mts_3_4"
S  DB1.DBX  1.4
R  DB1.DBX  1.3
SPB  END

/**ETAPE 4:
U  DB1.DBX  1.4
U  "T-mts_4_0"
S  DB1.DBX  1.0
R  DB1.DBX  1.4
SPB  END

END: NOP  0

/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:
U  DB1.DBX  1.3
O  DB1.DBX  1.4
=  "111Pu1002"
U  DB1.DBX  1.4
=  "111XV1002"
U  DB1.DBX  1.4
=  A  2.5

```

FC3: Mise en concentration de la cuve Soude

```
/**CALCUL DES TRANSITIONS:
```

```
/**TRANSITION DE 0 A 1:
```

```

U  "Start_sta"
U  "SOUDE"
U  "MARCHE"
U  "VALID"
=  "T-mcs_0_1"

```

```

/**TRANSITION DE 1 A 2:

```

```

UN  "Start_NEP"
UN  "111ZSL2101"
UN  "111ZSL2102"
UN  "111ZSL2103"
UN  "111ZSL2104"
=  "T-mcs_1_2"

```

```

/**TRANSITION DE 2 A 3:

```

```

U  M  300.0
=  L  0.0
BLD  103
CALL "SCALE"
IN  :=PEW512
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=0.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT  :=MD53

```

```

L  MD  53
L  5.000000e+001
>=R
=  M  300.5
U  M  300.0
=  L  0.0
BLD  103
CALL "SCALE"

```

```

IN :=PEW516
HI_LIM :=9.000000e+001
LO_LIM :=3.000000e+001
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW1
OUT :=MD54

```

```

L MD 54
L 5.000000e+001
>=R
= M 300.6
U M 300.5
U M 300.6
= "T-mcs_2_3"

```

```

/**TRANSITION DE 3 A 4:

```

```

U DB1.DBX 2.3
L S5T#3S
SV T 0
U T 0
= "T-mcs_3_4"

```

```

/**TRANSITION DE 4 A 5:

```

```

U DB1.DBX 2.4
L S5T#40S
SV T 1
U T 1
= "T-mcs_4_5"

```

```

/**TRANSITION DE 5 A 0:

```

```

U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW520

```

```

HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=0.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD55
L MD 55
L 6.000000e+001
>=R
= "T-mcs_5_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
S DB1.DBX 2.0
R DB1.DBX 2.1
R DB1.DBX 2.2
R DB1.DBX 2.3
R DB1.DBX 2.4
R DB1.DBX 2.5
SPB END
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
/**ETAPE 0:
U DB1.DBX 2.0
U "T-mcs_0_1"
S DB1.DBX 2.1
R DB1.DBX 2.0
SPB END
/**ETAPE 1:
U DB1.DBX 2.1
U "T-mcs_1_2"
S DB1.DBX 2.2
R DB1.DBX 2.1
SPB END
/**ETAPE 2:
U DB1.DBX 2.2

```

```

U  "T-mcs_2_3"
S  DB1.DBX  2.3
R  DB1.DBX  2.2
SPB END

```

```

/**ETAPE 3:

```

```

U  DB1.DBX  2.3
U  "T-mcs_3_4"
S  DB1.DBX  2.4
R  DB1.DBX  2.3
SPB END

```

```

/**ETAPE 4:

```

```

U  DB1.DBX  2.4
U  "T-mcs_4_5"
S  DB1.DBX  2.5
R  DB1.DBX  2.4
SPB END

```

```

/**ETAPE 5:

```

```

U  DB1.DBX  2.5
U  "T-mcs_5_0"
S  DB1.DBX  2.0
R  DB1.DBX  2.5
SPB END

```

```

END: NOP 0

```

```

/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:

```

```

U  DB1.DBX  2.3
O  DB1.DBX  2.5
=  "111XV1001"

U  DB1.DBX  2.3
O  DB1.DBX  2.5
=  "Soude_pump"

```

```

U  DB1.DBX  2.4
=  "111Pu1002"

```

FC4: Mise à niveau de la cuve Acide

```

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

```

```

/**TRANSITION DE 0 A 1:

```

```

U(
O  "Start_sta"
O  "T-mss_0_1"
)
U  "ACIDE"
U  "MARCHE"
U  "VALID"
=  "T-msa_0_1"

```

```

/**TRANSITION DE 1 A 2:

```

```

UN  "Start_NEP"
UN  "111ZSL2101"
UN  "111ZSL2102"
UN  "111ZSL2103"
UN  "111ZSL2104"
=  "T-msa_1_2"

```

```

/**TRANSITION DE 2 A 3:

```

```

UN  "111LSH0201"
=  "T-msa_2_3"

```

```

/**TRANSITION DE 3 A 4:

```

```

U  DB1.DBX  3.3
L  S5T#3S
SV T  0
U  T  0
=  "T-msa_3_4"

```

```

/**TRANSITION DE 4 A 5:

```

```

U DB1.DBX 3.4
L S5T#20S
SV T 1
U T 1
= "T-msa_4_5"
/**TRANSITION DE 5 A 1:
U "111LSH0201"
= "T-msa_5_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
S DB1.DBX 3.0
R DB1.DBX 3.1
R DB1.DBX 3.2
R DB1.DBX 3.3
R DB1.DBX 3.4
R DB1.DBX 3.5
SPB END
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
/**ETAPE 0:
U DB1.DBX 3.0
U "T-msa_0_1"
S DB1.DBX 3.1
R DB1.DBX 3.0
SPB END
/**ETAPE 1:
U DB1.DBX 3.1
U "T-msa_1_2"
S DB1.DBX 3.2
R DB1.DBX 3.1
SPB END
/**ETAPE 2:
U DB1.DBX 3.2
U "T-msa_2_3"

```

```
S DB1.DBX 3.3
R DB1.DBX 3.2
SPB END
```

```
/**ETAPE 3:
```

```
U DB1.DBX 3.3
U "T-msa_3_4"
O DB1.DBX 3.4
S DB1.DBX 3.4
R DB1.DBX 3.3
SPB END
```

```
/**ETAPE 4:
```

```
U DB1.DBX 3.4
U "T-msa_4_5"
O DB1.DBX 3.5
S DB1.DBX 3.5
R DB1.DBX 3.4
SPB END
```

```
/**ETAPE 5:
```

```
U DB1.DBX 3.5
U "T-msa_5_0"
S DB1.DBX 3.0
R DB1.DBX 3.5
SPB END
```

```
END: NOP 0
```

```
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:
```

```
U DB1.DBX 3.3
O DB1.DBX 3.4
O DB1.DBX 3.5
O "111XV0203"
= "111XV0203"
```

```

U DB1.DBX 3.3
O DB1.DBX 3.4
O DB1.DBX 3.5
O "111XV2101"
= "111XV2101"

```

```

U DB1.DBX 3.3
O DB1.DBX 3.4
O DB1.DBX 3.5
O "111XV2102"
= "111XV2102"

```

```

U DB1.DBX 3.4
O DB1.DBX 3.5
O "111Pu2101"
= "111Pu2101"

```

```

U DB1.DBX 3.0
R "111XV0203"
R "111XV2101"
R "111XV2102"
R "111Pu2101"

```

FC5: Mise en température de la cuve Acide

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

```

U "Start_sta"
U "ACIDE"
U "MARCHE"
U "VALID"
= "T-mta_0_1"

```

/**TRANSITION DE 1 A 2:

```

UN "Start_NEP"
UN "111ZSL2101"
UN "111ZSL2102"
UN "111ZSL2103"
UN "111ZSL2104"
= "T-mta_1_2"

```

```

/**TRANSITION DE 2 A 3:

```

```

U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW514
HI_LIM :=1.000000e+003
LO_LIM :=0.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD50
L MD 50
L 2.000000e+001
>=R
= "T-mta_2_3"

```

```

/**TRANSITION DE 3 A 4:

```

```

U DB1.DBX 4.3
L S5T#15S
SV T 0
U T 0
= "T-mta_3_4"

```

```

/**TRANSITION DE 4 A 0:

```

```

U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"

```

```

IN :=PEW518
HI_LIM :=8.700000e+001
LO_LIM :=8.000000e+001
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD50
L MD 50
L 8.400000e+001
>=R
= "T-mta_4_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET
S DB1.DBX 4.0
R DB1.DBX 4.1
R DB1.DBX 4.2
R DB1.DBX 4.3
R DB1.DBX 4.4
SPB END
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
/**ETAPE 0:
U DB1.DBX 4.0
U "T-mta_0_1"
S DB1.DBX 4.1
R DB1.DBX 4.0
SPB END
/**ETAPE 1:
U DB1.DBX 4.1
U "T-mts_1_2"
S DB1.DBX 4.2
R DB1.DBX 4.1
SPB END
/**ETAPE 2:
U DB1.DBX 4.2

```

```

U  "T-mts_2_3"
S  DB1.DBX  4.3
R  DB1.DBX  4.2
SPB  END

```

/**ETAPE 3:

```

U  DB1.DBX  4.3
U  "T-mts_3_4"
S  DB1.DBX  4.4
R  DB1.DBX  4.3
SPB  END

```

/**ETAPE 4:

```

U  DB1.DBX  4.4
U  "T-mts_4_0"
S  DB1.DBX  4.0
R  DB1.DBX  4.4
SPB  END

```

END: NOP 0

/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:

```

U  DB1.DBX  4.3
O  DB1.DBX  4.4
=  "111Pu1102"
U  DB1.DBX  4.4
=  "111XV1102"
U  DB1.DBX  4.4
=  A  2.6

```

FC6: Mise en concentration de la cuve Acide

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

```

U  "Start_sta"
U  "ACIDE"
U  "MARCHE"
U  "VALID"

```

```

= "T-mca_0_1"
/**TRANSITION DE 1 A 2:
  UN "Start_NEP"
  UN "111ZSL2101"
  UN "111ZSL2102"
  UN "111ZSL2103"
  UN "111ZSL2104"
= "T-mca_1_2"
/**TRANSITION DE 2 A 3:
  U  M  300.0
=  L  0.0
  BLD 103
  CALL "SCALE"
  IN  :=PEW514
  HI_LIM :=1.000000e+002
  LO_LIM :=0.000000e+000
  BIPOLAR:=L0.0
  RET_VAL:=MW0
  OUT  :=MD53

  L  MD  53
  L  5.000000e+001
  >=R
=  M  300.5

  U  M  300.0
=  L  0.0
  BLD 103
  CALL "SCALE"
  IN  :=PEW518
  HI_LIM :=9.000000e+001

```

LO_LIM :=3.000000e+001

BIPOLAR:=L0.0

RET_VAL:=MW1

OUT :=MD54

L MD 54

L 5.000000e+001

>=R

= M 300.6

U M 300.5

U M 300.6

= "T-mca_2_3"

/**TRANSITION DE 3 A 4:

U DB1.DBX 5.3

L S5T#10S

SV T 0

U T 0

= "T-mca_3_4"

/**TRANSITION DE 4 A 5:

U DB1.DBX 5.4

L S5T#40S

SV T 1

U T 1

= "T-mca_4_5"

/**TRANSITION DE 5 A 0:

U M 300.0

= L 0.0

BLD 103

CALL "SCALE"

IN :=PEW522

```

HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=0.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD55
L MD 55
L 6.000000e+001
>=R
= "T-mca_5_0"
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
/**ETAPE 0:
U DB1.DBX 5.0
U "T-mca_0_1"
S DB1.DBX 5.1
R DB1.DBX 5.0
SPB END
/**ETAPE 1:
U DB1.DBX 5.1
U "T-mca_1_2"
S DB1.DBX 5.2
R DB1.DBX 5.1
SPB END
/**ETAPE 2:
U DB1.DBX 5.2
U "T-mca_2_3"
S DB1.DBX 5.3
R DB1.DBX 5.2
SPB END
/**ETAPE 3:
U DB1.DBX 5.3
U "T-mca_3_4"
S DB1.DBX 5.4

```

```
R DB1.DBX 5.3
SPB END
```

```
/**ETAPE 4:
```

```
U DB1.DBX 5.4
U "T-mca_4_5"
S DB1.DBX 5.1
R DB1.DBX 5.4
SPB END
```

```
/**ETAPE 5:
```

```
U DB1.DBX 5.5
U "T-mca_5_0"
S DB1.DBX 5.0
R DB1.DBX 5.5
SPB END
```

```
END: NOP 0
```

```
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:
```

```
U DB1.DBX 5.3
O DB1.DBX 5.5
= "111XV1101"
```

```
U DB1.DBX 5.3
O DB1.DBX 5.5
= "Acid_pump"
```

```
U DB1.DBX 5.4
= "111Pu1102"
```

FC7: Pré-rinçage

```
/**CALCUL DES TRANSITIONS:
```

```
/**TRANSITION DE 0 A 1:
```

```
U DB1.DBX 7.2
O DB1.DBX 8.2
```

= "T-pr_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

U DB1.DBX 10.1

L S5T#3S

SV T 0

U T 0

= "T-pr_1_2"

/**TRANSITION DE 2 A 3:

U M 300.0

= L 0.0

BLD 103

CALL "SCALE"

IN :=PEW528

HI_LIM :=1.000000e+002

LO_LIM :=2.000000e+000

BIPOLAR:=L0.0

RET_VAL:=MW0

OUT :=MD60

L MD 60

L 5.000000e+000

>R

= "T-pr_2_3"

/**TRANSITION DE 3 A 4:

U DB1.DBX 10.3

L S5T#10S

SV T 1

U T 1

= "T-pr_3_4"

/**TRANSITION DE 4 A 0:

U M 300.0

= L 0.0

BLD 103

```

CALL "SCALE"
IN  :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT  :=MD60
L MD 60
L 3.000000e+000
<R

```

```
= "T-pr_4_0"
```

```
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
```

```

S DB1.DBX 10.0
R DB1.DBX 10.1
R DB1.DBX 10.2
R DB1.DBX 10.3
R DB1.DBX 10.4
SPB END

```

```
/**DESCRIPTION DU GRAFCET:
```

```
/**ETAPE 0:
```

```

U DB1.DBX 10.0
U "T-pr_0_1"
O DB1.DBX 10.1
S DB1.DBX 10.1
R DB1.DBX 10.0
SPB END

```

```
/**ETAPE 1:
```

```

U DB1.DBX 10.1
U "T-pr_1_2"
O DB1.DBX 10.2

```

```
S DB1.DBX 10.2
R DB1.DBX 10.1
SPB END
```

```
/**ETAPE 2:
```

```
U DB1.DBX 10.2
U "T-pr_2_3"
S DB1.DBX 10.3
R DB1.DBX 10.2
SPB END
```

```
/**ETAPE 3:
```

```
U DB1.DBX 10.3
U "T-pr_3_4"
O DB1.DBX 10.4
S DB1.DBX 10.4
R DB1.DBX 10.3
SPB END
```

```
/**ETAPE 4:
```

```
U DB1.DBX 10.4
U "T-pr_4_0"
S DB1.DBX 10.0
R DB1.DBX 10.4
SPB END
```

```
END: NOP 0
```

```
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:
```

```
U DB1.DBX 10.1
O DB1.DBX 10.2
O "111XV0302"
= "111XV0302"

U DB1.DBX 10.1
O DB1.DBX 10.2
```

O "111XV2103"
 = "111XV2103"

U DB1.DBX 10.1
 O DB1.DBX 10.2
 O DB1.DBX 10.3
 O DB1.DBX 10.4
 O "111XV4105"
 = "111XV4105"

U DB1.DBX 10.1
 O DB1.DBX 10.2
 O DB1.DBX 10.3
 O DB1.DBX 10.4
 O "111XV4110"
 = "111XV4110"

U DB1.DBX 10.2
 O "111Pu2101"
 = "111Pu2101"

U DB1.DBX 10.0
 R "111Pu2101"
 R "111XV4110"
 R "111XV4105"
 R "111XV0302"
 R "111XV2103"

FC8: Rinçage

/***/CALCUL DES TRANSITIONS:

//TRANSITION DE 0 A 1:

U DB1.DBX 6.4
 O DB1.DBX 7.4

O DB1.DBX 8.4

O DB1.DBX 8.6

= "T-rc_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

U DB1.DBX 9.1

L S5T#3S

SV T 0

U T 0

= "T-rc_1_2"

/**TRANSITION DE 2 A 3:

U M 300.0

= L 0.0

BLD 103

CALL "SCALE"

IN :=PEW528

HI_LIM :=1.000000e+002

LO_LIM :=2.000000e+000

BIPOLAR:=L0.0

RET_VAL:=MW0

OUT :=MD60

L MD 60

L 5.000000e+000

>R

= "T-rc_2_3"

/**TRANSITION DE 3 A 4:

U M 300.0

= L 0.0

BLD 103

CALL "SCALE"

IN :=PEW526

HI_LIM :=8.000000e+002

LO_LIM :=1.000000e+000

```

BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD61
L MD 61
L 5.000000e+000
<R

= "T-rc_3_4"
/**TRANSITION DE 4 A 5:
U DB1.DBX 9.4
L S5T#4M
SV T 3
U T 3
= "T-rc_4_5"
/**TRANSITION DE 5 A 0:
U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD62
L MD 62
L 3.000000e+000
<R

= "T-rc_5_0"
/**TRANSITION DE 3 A 6:
U M 300.0

```

```

= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW526
HI_LIM :=8.000000e+002
LO_LIM :=1.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD63
L MD 63
L 5.000000e+000
>=R
= "T-rc_3_6"
/**TRANSITION DE 6 A 0:
U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD64
L MD 64
L 3.000000e+000
<R
= "T-rc_6_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
S DB1.DBX 9.0
R DB1.DBX 9.1
R DB1.DBX 9.2

```

R DB1.DBX 9.3

R DB1.DBX 9.4

R DB1.DBX 9.5

R DB1.DBX 9.6

SPB END

/**DESCRIPTION DU GRAFCET:

/**ETAPE 0:

U DB1.DBX 9.0

U "T-rc_0_1"

S DB1.DBX 9.1

R DB1.DBX 9.0

SPB END

/**ETAPE 1:

U DB1.DBX 9.1

U "T-rc_1_2"

S DB1.DBX 9.2

R DB1.DBX 9.1

SPB END

/**ETAPE 2:

U DB1.DBX 9.2

U "T-rc_2_3"

S DB1.DBX 9.3

R DB1.DBX 9.2

SPB END

/**ETAPE 3.4:

U DB1.DBX 9.3

U "T-rc_3_4"

S DB1.DBX 9.4

R DB1.DBX 9.3

SPB END

/**ETAPE 4:

U DB1.DBX 9.4

```
U  "T-rc_4_5"  
S  DB1.DBX  9.5  
R  DB1.DBX  9.4  
SPB  END
```

```
/**ETAPE 5:
```

```
U  DB1.DBX  9.5  
U  "T-rc_5_0"  
S  DB1.DBX  9.0  
R  DB1.DBX  9.5  
SPB  END
```

```
/**ETAPE 3.6:
```

```
U  DB1.DBX  9.3  
U  "T-rc_3_6"  
S  DB1.DBX  9.6  
R  DB1.DBX  9.3  
SPB  END
```

```
/**ETAPE 6:
```

```
U  DB1.DBX  9.6  
U  "T-rc_6_0"  
S  DB1.DBX  9.0  
R  DB1.DBX  9.6  
SPB  END
```

```
END: NOP 0
```

```
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:
```

```
U  DB1.DBX  9.1  
O  DB1.DBX  9.2  
=  "111XV2101"  
  
U  DB1.DBX  9.1  
O  DB1.DBX  9.2  
=  "111XV2103"
```

U DB1.DBX 9.1
 O DB1.DBX 9.2
 O DB1.DBX 9.3
 O DB1.DBX 9.4
 O DB1.DBX 9.5
 O DB1.DBX 9.6
 = "111XV4105"

U DB1.DBX 9.1
 O DB1.DBX 9.2
 O DB1.DBX 9.3
 O DB1.DBX 9.5
 O DB1.DBX 9.6
 = "111XV4110"

U DB1.DBX 9.4
 = "111XV4103"

U DB1.DBX 9.2
 O DB1.DBX 9.3
 = "111Pu2101"

FC9: Nettoyage Court

/** CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

U DB1.DBX 6.2
 U "Start_NEP"
 U "VALID"
 = "T-nc_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

UN "111XV2101"
 UN "111XV2102"
 = "T-nc_1_2"

/**TRANSITION DE 2 A 3:

U DB1.DBX 10.4

U "T-pr_4_0"

= "T-nc_2_3"

/**TRANSITION DE 3 A 4:

U DB1.DBX 11.5

U "T-ns_5_0"

O

U DB1.DBX 11.6

U "T-ns_6_0"

= "T-nc_3_4"

/**TRANSITION DE 4 A 5:

U DB1.DBX 9.5

U "T-rc_5_0"

O

U DB1.DBX 9.6

U "T-rc_6_0"

= "T-nc_4_5"

/**TRANSITION DE 5 A 0:

U "Fin_NEP"

= "T-nc_5_0"

/**INITIALISATION DU GRAFCET:

S DB1.DBX 7.0

R DB1.DBX 7.1

R DB1.DBX 7.2

R DB1.DBX 7.3

R DB1.DBX 7.4

R DB1.DBX 7.5

SPB END

/**DESCRIPTION DU GRAFCET:

/**ETAPE 0:

```
U DB1.DBX 7.0
U "T-nc_0_1"
S DB1.DBX 7.1
R DB1.DBX 7.0
SPB END
```

```
/**ETAPE 1:
```

```
U DB1.DBX 7.1
U "T-nc_1_2"
S DB1.DBX 7.2
R DB1.DBX 7.1
SPB END
```

```
/**ETAPE 2:
```

```
U DB1.DBX 7.2
CALL "P.RC"
U "T-nc_2_3"
S DB1.DBX 7.3
R DB1.DBX 7.2
SPB END
```

```
/**ETAPE 3:
```

```
U DB1.DBX 7.3
CALL "NT_S"
U "T-nc_3_4"
S DB1.DBX 7.4
R DB1.DBX 7.3
SPB END
```

```
/**ETAPE 4:
```

```
U DB1.DBX 7.4
CALL "RC"
U "T-nc_4_5"
S DB1.DBX 7.5
R DB1.DBX 7.4
SPB END
```

/**ETAPE 5:

U DB1.DBX 7.5

U "T-nc_5_0"

S DB1.DBX 7.0

R DB1.DBX 7.5

SPB END

END: NOP 0

FC10: Nettoyage Long

/** CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

U DB1.DBX 6.3

U "Start_NEP"

U "VALID"

= "T-nl_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

UN "111XV2101"

UN "111XV2102"

= "T-nl_1_2"

/**TRANSITION DE 2 A 3:

U DB1.DBX 10.4

U "T-pr_4_0"

= "T-nl_2_3"

/**TRANSITION DE 3 A 4:

U DB1.DBX 11.5

U "T-ns_5_0"

O

U DB1.DBX 11.6

U "T-ns_6_0"

= "T-nl_3_4"

/**TRANSITION DE 4 A 5:

U DB1.DBX 9.5

U "T-re_5_0"

U DB1.DBX 9.6

U "T-rc_6_0"

= "T-nl_4_5"

/**TRANSITION DE 5 A 6:

U DB1.DBX 12.5

U "T-na_5_0"

O

U DB1.DBX 12.6

U "T-na_3_6"

= "T-nl_5_6"

/**TRANSITION DE 6 A 7:

U DB1.DBX 9.5

U "T-rc_5_0"

O

U DB1.DBX 9.6

U "T-rc_6_0"

= "T-nl_6_7"

/**TRANSITION DE 7 A 0:

U "Fin_NEP"

= "T-nl_7_0"

/**INITIALISATION DU GRAFCET:

S DB1.DBX 8.0

R DB1.DBX 8.1

R DB1.DBX 8.2

R DB1.DBX 8.3

R DB1.DBX 8.4

R DB1.DBX 8.5

R DB1.DBX 8.6

R DB1.DBX 8.7

SPB END

/**DESCRIPTION DU GRAFCET:

/**ETAPE 0:

```
U DB1.DBX 8.0
U "T-nl_0_1"
S DB1.DBX 8.1
R DB1.DBX 8.0
SPB END
```

```
/**ETAPE 1:
```

```
U DB1.DBX 8.1
U "T-nl_1_2"
S DB1.DBX 8.2
R DB1.DBX 8.1
SPB END
```

```
/**ETAPE 2:
```

```
U DB1.DBX 8.2
CALL "P.RC"
U "T-nl_2_3"
S DB1.DBX 8.3
R DB1.DBX 8.2
SPB END
```

```
/**ETAPE 3:
```

```
U DB1.DBX 8.3
CALL "NT_S"
U "T-nl_3_4"
S DB1.DBX 8.4
R DB1.DBX 8.3
SPB END
```

```
/**ETAPE 4:
```

```
U DB1.DBX 8.4
CALL "RC"
U "T-nl_4_5"
S DB1.DBX 8.5
R DB1.DBX 8.4
SPB END
```

/**ETAPE 5:

```

U  DB1.DBX  8.5
CALL "NT_A"
U  "T-nl_5_6"
S  DB1.DBX  8.6
R  DB1.DBX  8.5
SPB  END

```

/**ETAPE 6:

```

U  DB1.DBX  8.6
CALL "RC"
U  "T-nl_6_7"
S  DB1.DBX  8.7
R  DB1.DBX  8.6
SPB  END

```

/**ETAPE 7:

```

U  DB1.DBX  8.7
U  "T-nl_7_0"
S  DB1.DBX  8.0
R  DB1.DBX  8.7
SPB  END

```

END: NOP 0

FC12: Nettoyage Soude

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

```

U  DB1.DBX  7.3
O  DB1.DBX  8.3
=  "T-ns_0_1"

```

/**TRANSITION DE 1 A 2:

```

U  DB1.DBX  11.1
L  S5T#3S
SV T  0
U  T  0

```

```

= "T-ns_1_2"
/**TRANSITION DE 2 A 3:
  U  M  300.0
  =  L  0.0
  BLD 103
  CALL "SCALE"
  IN  :=PEW528
  HI_LIM :=1.000000e+002
  LO_LIM :=2.000000e+000
  BIPOLAR:=L0.0
  RET_VAL:=MW0
  OUT  :=MD60
  L  MD  60
  L  5.000000e+000
  >R
  = "T-ns_2_3"
/**TRANSITION DE 3 A 4:
  U  M  300.0
  =  L  0.0
  BLD 103
  CALL "SCALE"
  IN  :=PEW524
  HI_LIM :=9.000000e+001
  LO_LIM :=4.000000e+001
  BIPOLAR:=L0.0
  RET_VAL:=MW0
  OUT  :=MD70
  L  MD  70
  L  5.000000e+001
  >R
  =  M  500.0

```

```

U  M  300.0
=  L  0.0
BLD  103
CALL "SCALE"
IN   :=PEW526
HI_LIM :=7.000000e+001
LO_LIM :=1.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT   :=MD71
L  MD  71
L  4.000000e+001
>R
=  M  500.1

```

```

U  M  500.0
U  M  500.1
=  "T-ns_3_4"

```

/**TRANSITION DE 4 A 5:

```

U  DB1.DBX  11.4
L  S5T#5M
SV  T  4
U  T  4
=  "T-ns_4_5"

```

/**TRANSITION DE 5 A 0:

```

U  M  300.0
=  L  0.0
BLD  103
CALL "SCALE"
IN   :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000

```

```

BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD66
L MD 66
L 3.000000e+000
<R

```

```

= "T-ns_5_0"

```

```

/**TRANSITION DE 3 A 6:

```

```

U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW524
HI_LIM :=9.000000e+001
LO_LIM :=4.000000e+001
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD70
L MD 70
L 5.000000e+001
<=R
= M 500.0

```

```

U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW526
HI_LIM :=7.000000e+001
LO_LIM :=1.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0

```

```

RET_VAL:=MW0
OUT :=MD71
L MD 71
L 4.000000e+001
<=R
= M 500.1

U M 500.0
U M 500.1

= "T-ns_3_6"
/**TRANSITION DE 6 A 0:
U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD67
L MD 67
L 3.000000e+000
<R
= "T-ns_6_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
S DB1.DBX 11.0
R DB1.DBX 11.1
R DB1.DBX 11.2
R DB1.DBX 11.3
R DB1.DBX 11.4

```

R DB1.DBX 11.5

R DB1.DBX 11.6

SPB END

/***/DESCRIPTION DU GRAFCET:

/***/ETAPE 0:

U DB1.DBX 11.0

U "T-ns_0_1"

S DB1.DBX 11.1

R DB1.DBX 11.0

SPB END

/***/ETAPE 1:

U DB1.DBX 11.1

U "T-ns_1_2"

S DB1.DBX 11.2

R DB1.DBX 11.1

SPB END

/***/ETAPE 2:

U DB1.DBX 11.2

U "T-ns_2_3"

S DB1.DBX 11.3

R DB1.DBX 11.2

SPB END

/***/ETAPE 3.a:

U DB1.DBX 11.3

U "T-ns_3_4"

S DB1.DBX 11.4

R DB1.DBX 11.3

SPB END

/***/ETAPE 4:

U DB1.DBX 11.4

U "T-ns_4_5"

S DB1.DBX 11.5

```
R DB1.DBX 11.4
SPB END
```

```
/**ETAPE 5:
```

```
U DB1.DBX 11.5
U "T-ns_5_0"
S DB1.DBX 11.0
R DB1.DBX 11.5
SPB END
```

```
/**ETAPE 3.b:
```

```
U DB1.DBX 11.3
U "T-ns_3_6"
S DB1.DBX 11.6
R DB1.DBX 11.3
SPB END
```

```
/**ETAPE 6:
```

```
U DB1.DBX 11.6
U "T-ns_6_0"
S DB1.DBX 11.0
R DB1.DBX 11.6
SPB END
```

```
END: NOP 0
```

```
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS
```

```
U DB1.DBX 11.1
O DB1.DBX 11.2
= "111XV0102"
```

```
U DB1.DBX 11.1
O DB1.DBX 11.2
= "111XV2103"
```

```
U DB1.DBX 11.1
```

O DB1.DBX 11.2
 O DB1.DBX 11.3
 O DB1.DBX 11.4
 O DB1.DBX 11.5
 O DB1.DBX 11.6
 = "111XV4105"

U DB1.DBX 11.1
 O DB1.DBX 11.2
 O DB1.DBX 11.3
 O DB1.DBX 11.5
 O DB1.DBX 11.6
 = "111XV4110"

U DB1.DBX 11.4
 = "111XV4101"

U DB1.DBX 11.2
 O DB1.DBX 11.3
 = "111Pu2101"

FC14: Nettoyage Acide

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

U DB1.DBX 8.5
 = "T-na_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

U DB1.DBX 12.1
 L S5T#3S
 SV T 0
 U T 0
 = "T-na_1_2"

/**TRANSITION DE 2 A 3:

```

U  M  300.0
=  L  0.0
BLD  103
CALL "SCALE"
IN   :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT   :=MD60
L  MD  60
L  5.000000e+000
>R
=  "T-na_2_3"

```

```

/**TRANSITION DE 3 A 4:

```

```

U  M  300.0
=  L  0.0
BLD  103
CALL "SCALE"
IN   :=PEW524
HI_LIM :=9.000000e+001
LO_LIM :=4.000000e+001
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT   :=MD70
L  MD  70
L  5.000000e+001
>R
=  M  500.0

```

```

U  M  300.0
=  L  0.0

```

```

BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW526
HI_LIM :=7.000000e+001
LO_LIM :=1.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD71
L MD 71
L 4.000000e+001
>R
= M 500.1

U M 500.0
U M 500.1
= "T-na_3_4"
/**TRANSITION DE 4 A 5:
U DB1.DBX 12.4
L S5T#5M
SV T 4
U T 4
= "T-na_4_5"
/**TRANSITION DE 5 A 0:
U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0

```

```

OUT :=MD66
  L MD 66
  L 3.000000e+000
  <R
= "T-na_5_0"
/**TRANSITION DE 3 A 6:
  U M 300.0
  = L 0.0
  BLD 103
  CALL "SCALE"
  IN :=PEW524
  HI_LIM :=9.000000e+001
  LO_LIM :=4.000000e+001
  BIPOLAR:=L0.0
  RET_VAL:=MW0
  OUT :=MD70
  L MD 70
  L 5.000000e+001
  <=R
  = M 500.0

  U M 300.0
  = L 0.0
  BLD 103
  CALL "SCALE"
  IN :=PEW526
  HI_LIM :=7.000000e+001
  LO_LIM :=1.000000e+000
  BIPOLAR:=L0.0
  RET_VAL:=MW0
  OUT :=MD71
  L MD 71

```

```

L 4.000000e+001
<=R
= M 500.1

U M 500.0
U M 500.
= "T-na_3_6"

/**TRANSITION DE 6 A 0:
U M 300.0
= L 0.0
BLD 103
CALL "SCALE"
IN :=PEW528
HI_LIM :=1.000000e+002
LO_LIM :=2.000000e+000
BIPOLAR:=L0.0
RET_VAL:=MW0
OUT :=MD67
L MD 67
L 3.000000e+000
<R
= "T-na_6_0"

/**INITIALISATION DU GRAFCET:
S DB1.DBX 12.0
R DB1.DBX 12.1
R DB1.DBX 12.2
R DB1.DBX 12.3
R DB1.DBX 12.4
R DB1.DBX 12.5
R DB1.DBX 12.6
SPB END

/**DESCRIPTION DU GRAFCET:

```

/**ETAPE 0:

U DB1.DBX 12.0
U "T-na_0_1"
S DB1.DBX 12.1
R DB1.DBX 12.0
SPB END

/**ETAPE 1:

U DB1.DBX 12.1
U "T-na_1_2"
S DB1.DBX 12.2
R DB1.DBX 12.1
SPB END

/**ETAPE 2:

U DB1.DBX 12.2
U "T-na_2_3"
S DB1.DBX 12.3
R DB1.DBX 12.2
SPB END

/**ETAPE 3.a:

U DB1.DBX 12.3
U "T-na_3_4"
S DB1.DBX 12.4
R DB1.DBX 12.3
SPB END

/**ETAPE 4:

U DB1.DBX 12.4
U "T-na_4_5"
S DB1.DBX 12.5
R DB1.DBX 12.4
SPB END

/**ETAPE 5:

U DB1.DBX 12.5

```
U  "T-na_5_0"  
S  DB1.DBX 12.0  
R  DB1.DBX 12.5  
SPB END
```

```
/**ETAPE 3.b:
```

```
U  DB1.DBX 12.3  
U  "T-na_3_6"  
S  DB1.DBX 12.6  
R  DB1.DBX 12.3  
SPB END
```

```
/**ETAPE 6:
```

```
U  DB1.DBX 12.6  
U  "T-na_6_0"  
S  DB1.DBX 12.0  
R  DB1.DBX 12.6  
SPB END  
END: NOP 0
```

```
/**COMMANDE DES ACTIONNEURS:
```

```
U  DB1.DBX 12.1  
O  DB1.DBX 12.2  
=  "111XV0202"  
  
U  DB1.DBX 12.1  
O  DB1.DBX 12.2  
=  "111XV2103"  
  
U  DB1.DBX 12.1  
O  DB1.DBX 12.2  
O  DB1.DBX 12.3  
O  DB1.DBX 12.4  
O  DB1.DBX 12.5  
O  DB1.DBX 12.6
```

= "111XV4105"

U DB1.DBX 12.1

O DB1.DBX 12.2

O DB1.DBX 12.3

O DB1.DBX 12.5

O DB1.DBX 12.6

= "111XV4110"

U DB1.DBX 12.4

= "111XV4102"

U DB1.DBX 12.2

O DB1.DBX 12.3

= "111Pu2101"

FC16: NEP

/**CALCUL DES TRANSITIONS:

/**TRANSITION DE 0 A 1:

U "Start_sta"

U(

O "111ZSL2101"

O "111ZSL2102"

O "111ZSL2103"

O "111ZSL2104"

)

UN "111XV2101"

UN "111XV2102"

= "T-nep_0_1"

/**TRANSITION DE 1 A 2:

U "COURT"

= "T-nep_1_2"

```
/**TRANSITION DE 1 A 3:
  U  "LONG"
  =  "T-nep_1_3"
/**TRANSITION DE 1 A 4:
  U  "RINC"
  =  "T-nep_1_4"
/**TRANSITION DE 2 A 5:
  U  DB1.DBX  7.5
  U  "T-nc_5_0"
  =  "T-nep_2_5"
/**TRANSITION DE 3 A 5:
  U  DB1.DBX  8.7
  U  "T-nl_7_0"
  =  "T-nep_3_5"
/**TRANSITION DE 4 A 5:
  U  DB1.DBX  9.5
  U  "T-rc_5_0"
  O
  U  DB1.DBX  9.6
  U  "T-rc_6_0"
  =  "T-nep_4_5"
/**TRANSITION DE 5 A 0:
  U  "Fin_NEP"
  =  "T-nep_5_0"
/**INITIALISATION DU GRAFCET:
  S  DB1.DBX  7.0
  R  DB1.DBX  7.1
  R  DB1.DBX  7.2
  R  DB1.DBX  7.3
  R  DB1.DBX  7.4
  R  DB1.DBX  7.5
  SPB  END
```

```
/**DESCRIPTION DU GRAFCET
```

```
/**ETAPE 0:
```

```
U DB1.DBX 6.0
U "T-nep_0_1"
S DB1.DBX 6.1
R DB1.DBX 6.0
SPB END
```

```
/**ETAPE 1.2:
```

```
U DB1.DBX 6.1
CALL "NT_C"
U "T-nep_1_2"
S DB1.DBX 6.2
R DB1.DBX 6.1
SPB END
```

```
/**ETAPE 1.3:
```

```
U DB1.DBX 6.1
CALL "NT_L"
U "T-nep_1_3"
S DB1.DBX 6.3
R DB1.DBX 6.1
SPB END
```

```
/**ETAPE 1.4:
```

```
U DB1.DBX 6.1
CALL "RC"
U "T-nep_1_4"
S DB1.DBX 6.4
R DB1.DBX 6.1
SPB END
```

```
/**ETAPE 2:
```

```
U DB1.DBX 6.2
U "T-nep_2_5"
S DB1.DBX 6.5
```

```

R  DB1.DBX  6.2
SPB  END

/**ETAPE 3:
U  DB1.DBX  6.3
U  "T-nep_3_5"
S  DB1.DBX  6.5
R  DB1.DBX  6.3
SPB  END

/**ETAPE 4:
U  DB1.DBX  6.4
U  "T-nep_4_5"
S  DB1.DBX  6.5
R  DB1.DBX  6.4
SPB  END

/**Etape 5:
U  DB1.DBX  6.5
U  "T-nep_5_0"
S  DB1.DBX  6.0
R  DB1.DBX  6.5
SPB  END

END: NOP  0

```

Annexe 3 : Bloc des données

Adresse	Nom	Type	Valeur initiale	Commentaire
0.0		STRUCT		
+0.0	DB_VAR	INT	0	Variable temporaire de réservation
+2.0	DB_VAR_1	INT	0	
+4.0	DB_VAR_2	INT	0	
+6.0	DB_VAR_3	INT	0	
+8.0	DB_VAR_4	INT	0	
+10.0	DB_VAR_5	INT	0	
+12.0	DB_VAR_6	INT	0	
=14.0		END_STRUCT		