

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'AUTOMATIQUE

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologies**

Filière : **Génie électrique**

Spécialité : **Automatique**

Option : **Commande des systèmes**

Présenté par

BOUGHEDDA Said

BENDIF Karim

Thème

Etude et amélioration d'une installation de déminéralisation d'eau industrielle (SNVI)

Mémoire soutenu publiquement le 29 /09/ 2016 devant le jury composé de :

M Belkacem MOULA

M.C.B, UMMTO, Président

M Rezki HADDOUCHE

M.A.A, UMMTO, Encadreur

M Moussa CHARIF

M.A.A, UMMTO, Examineur

M Mourad ALLAD

M.A.A, UMMTO, Examineur

Ce mémoire est réalisé au sein de la SNVI à Rouiba

Remerciement

Nous remercions avant tout le bon dieu de nous avoir donné la santé, le courage et la volonté pour finir ce travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr HADDOUCHE Rezkî pour son aide, le temps qu'il nous a consacré et ses orientations et surtout pour sa patience tout au long de ce travail.

Nous remercions également notre co-promoteur Mr IFRENE Ahmed « chef du service maintenance », et le personnel de l'unité de déminéralisation d'eau qui nous ont orientés et facilité notre intégration dans le domaine industriel et qui nous ont accueillis avec beaucoup de gentillesse et de patience.

Nous sommes aussi reconnaissants à tous les enseignants qui ont contribué à notre réussite.

Nous remercions également les membres de jury qui feront l'honneur de juger notre travail, d'apporter leurs réflexions et suggestions scientifiques.

Nos remerciements les plus chaleureux s'adressent à nos familles et surtout nos parents qui sont la source de cette réussite et qui nous ont soutenu et encourager pour aller au bout de ce travail.

Nos derniers remerciements s'adressent à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qu'on m'a donné le long de mon parcours et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.

A toute mes sœurs et mes frères surtout Karima et Assia

A mon oncle tahar et mes tentes.

A mes cousins et mes cousines surtout Yacine et Redouane et Adel.

Je dédie ce travail aussi à mes très chers

amis: Karim, Sidali et Kamel.

A tous mes enseignants qui ont fait leurs possibles pour nous donner le maximum d'informations concernant notre étude

Et à toute la promo 2015/2016

Said

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents, pour leur soutien et les efforts le long de mon parcours et je leurs souhaite longue vie et bonne santé.

A mes sœurs et mes frères et toutes la famille.

Je dédie ce travail aussi à mes tous amis .

A tous mes enseignants qui ont fait leurs possibles pour nous donner une meilleure formation.

Et à toute la promo 2015/2016

Karim

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Présentation et description de l'installation de déminéralisation de l'eau industrielle	
I. Introduction.....	4
II. Mode de production d'eau déminéralisée	4
II.1 Présentation de la chaîne de production	4
II.2 Mise en service et principe de fonctionnement de l'installation en mode production.....	6
II.3 Principe de déminéralisation par la technique d'échange d'ions	8
II.3.1 Décationer	8
II.3.2 Dégazer	9
II.3.3 Désanioner.....	10
III. Mode de régénération des résines cationiques et anioniques.....	11
III.1. Présentation de la phase de régénération	11
III.2. Principe de fonctionnement	12
III.2.1. Détassage des résines	12
III.2.2. Passage de l'acide chlorhydrique et de lessive de soude dilués.....	14
III.2.3. Rinçage lent des résines.....	17
III.2.4. Rinçage rapide à l'égout.....	19
III.2.5. Rinçage rapide bouclé	20
III.3. Principe de régénération par échange d'ions	21
III.3.1. Régénération des résines cationiques.....	21
III.3.2. Régénération des résines anioniques.....	21
IV. Conclusion	22
Chapitre II : Description matérielle de l'installation de déminéralisation d'eau industrielle	
I. Introduction.....	23
II. Eléments constituant l'installation de déminéralisation	23
II.1 Les cuves de stockage.....	23
II.1.1. Cuve de stockage de l'eau brute.....	23
II.1.2. Cuve de stockage de l'eau déminéralisée.....	24
II.1.3. Cuve de stockage d'acide chlorhydrique HCl.....	24
II.1.4. Cuve de stockage de lessive de soude NaOH.....	25
II.2. Les échangeurs de résines.....	26
II.2.1. Echangeur cationique.....	26
II.2.2. Echangeur anionique	26
II.3. Dégazeur.....	27

II.4. Les pompes	28
II.4.1. Pompes centrifuges	28
II.4.2. Pompes doseuses	29
II.5. Les vannes	30
II.5.1. Vannes pneumatiques	30
II.5.2. Electrovanne	31
II.5.3. Vannes d'isolements	32
II.6. Débitmètres	32
II.7. Capteurs	32
III. Eléments constituant l'armoire de commande	33
III.1. Automate programmable industriel	33
III.2. Contacteur	34
III.3. Disjoncteur magnétothermique	35
III.4. Afficheur de résistivité	35
IV. Conclusion	36
Chapitre III : La solution réseau pour le contrôle des installations industrielles	
I. Introduction	37
II. Réseaux locaux	38
II.1. Topologie des réseaux locaux	39
II.2. Support de transmission	41
II.2.1. Paire torsadée	41
II.2.2. Câble coaxial	41
II.2.3. Fibre optique	41
III. Réseaux Locaux Industriels	42
III.1. Différents niveaux d'un réseau local industriel (le concept CIM)	43
III.2 Différents types d'interconnexion entre les niveaux d'un réseau local industriel	44
III.2.1 Réseau Ethernet (TCP/IP)	44
III.2.1.1. Le signal sur le support de transmission	45
III.2.1.2 Accès au support de transmission	46
III.2.1.3 Trame Ethernet	49
III.2.1.4 Le protocole TCP/IP	50
III.2.2 Réseau MODBUS (Modicon Bus)	53
III.2.2.1 Adressage MODBUS	53
III.2.2.2 Echange maitre vers esclave	53
III.2.2.3 Echange maitre vers tous les esclaves	54
III.2.2.4 Configuration du réseau MODBUS	55

III.2.2.5 Trame d'échange question-réponse.....	55
III.2.2.6 Format générale d'une trame	56
III.2.2.7 MODBUS TCP/IP.....	58
III.2.3 Bus AS-i	59
III.2.3.1 Le maître.....	59
III.2.3.2 ASIC (Application Specific Integrated Circuit).....	61
III.2.3.3 Alimentation AS-i	62
III.2.3.4 Le câble et les accessoires de connexion.....	63
III.2.3.5. Les éléments complémentaires.....	66
III.2.3.6 Topologie jusqu'à 100 m et extension à 300 m	67
IV. Conclusion	68
Chapitre IV : Application de la solution réseau pour l'installation de déminéralisation d'eau industrielle	
I. Introduction.....	69
II. Application de la solution réseau	69
II.1. Communication Ethernet	69
II.2. Communication MODBUS.....	70
II.3. Communication AS-i.....	71
III. Configuration de la communication réseau Ethernet, Modbus et As-i.....	71
III.1. Présentation du logiciel PL7	71
III.1.1. Les principaux objets booléens.....	74
III.2. Configuration matériel d'automate sur PL7 Pro.....	74
III.2.1. Choix du processeur	74
III.2.2. Sélection des modules	75
III.3. Configuration des différents modules et coupleurs	75
III.3.1. Configuration de coupleur Ethernet TSX ETY 110	76
III.3.2. Configuration du module MODBUS TSX SCY 11601	77
III.3.3. Configuration du coupleur AS-i TSX SAY 100	78
III.3.4. Configuration des modules entrées/sorties TOR	78
III.4. Attribution d'adresses des capteurs et actionneurs aux modules et coupleurs.....	80
III.4.1. Attribution d'adresses des E/S du module SCY 11601.....	80
III.4.2. Attribution d'adresses E/S du module SAY 100	80
III.4.3. Attribution d'adresses des entrées/sorties TOR.....	81
III.5. Réalisation d'une supervision sur PL7 Pro	82
III.5.1. Création de la synoptic de supervision de l'installation	82
III.5.2. Configuration des propriétés de l'objet	83

III.6. Modification du programme pour adapter la solution réseau.....	84
III.6.1. Configuration des propriétés de l'objet.....	84
III.6.2. Configuration des propriétés de l'objet.....	86
IV. Conclusion	87
Conclusion générale	88

Introduction générale

Depuis toujours l'homme est en quête de bien-être. Cette réflexion (qui rejoint la notion de besoin) peut paraître bien éloignée d'un cours de sciences industrielles, pourtant c'est la base de l'évolution des sciences en général, et de l'automatisation en particulier. L'homme a commencé par penser, concevoir et réaliser. Lorsqu'il a fallu multiplier le nombre d'objets fabriqués, produire en plus grand nombre, l'automatisation des tâches est alors apparue : remplacer l'homme dans des actions pénibles, délicates ou répétitives.

En outre, les systèmes automatisés ont envahi l'environnement quotidien de l'être humain (les distributeurs de boissons, les feux de carrefour, les caméras de surveillance, lavage automatique des automobiles...), en particulier l'environnement industriel. Ce sont des systèmes qui exécutent toujours le même cycle de travail de manière autonome après avoir reçu des consignes de l'être humain. Ils ont apporté des améliorations au sein de l'industrie en perfectionnant les processus industriels.

Les systèmes automatisés ont pour objectifs :

- Assurer et d'augmenter la reproductivité de produit.
- Améliorer la qualité de produit.
- Améliore la flexibilité de production pour s'adapter rapidement aux changements des caractéristiques de produit à fabriquer.
- Intégrer la gestion et la production.
- Améliorer les conditions de travail du personnel en supprimant les tâches ou actions pas gratifiantes pour l'homme, et en l'éloignant des milieux de travail hostiles ou inaccessibles (chimique, nucléaire, mer, espace...).

L'automatisation, puis l'informatisation des systèmes de production ont montré que pour l'amélioration de la productivité et de la diversité de la production, il ne suffisait pas de maîtriser la gestion de production, ou d'avoir une machine-outil à commande numérique sophistiquée, ou encore un système de contrôle-commande évolué et quelques capteurs et actionneurs autour. Encore faut-il faire communiquer tous ces éléments constitutifs d'un système de production dans sa globalité. Faire communiquer c'est permettre d'échanger des informations de natures différentes et ce parfois nécessairement en temps réel. Un nouvel outil informatique apparaît alors, avec sa problématique scientifique : le réseau local industriel. Son rôle est donc de faire dialoguer des équipements nombreux et divers, en intégrant une caractéristique importante, celle de fournir des services contraints par le temps.

Ces réseaux locaux industriels, parfois appelés abusivement réseaux de terrain, s'inscrivent donc à différents niveaux au sein de la pyramide CIM (Computer Integrated Manufactured) classique, qui de par l'émergence des technologies de communication (industrielles notamment) donne lieu à une organisation de fonctions autour de réseaux. Ces réseaux ont pour objectif de faire dialoguer de nombreux équipements [1][2].

Toutes ces innovations dans le domaine industriel sont très difficiles à maîtriser mais leurs avantages nous poussent à faire plus d'efforts pour les exploiter. Dans cette optique, et dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous sommes appelés à faire l'étude et l'amélioration du fonctionnement de la partie commande d'une installation de déminéralisation d'eau.

Ce système a été installé afin de répondre aux besoins et exigences de certains procédés industriels qui utilisent de l'eau avec des spécifications particulières. Certaines d'entre elles ne tolèrent que des teneurs globales en sels minéraux faibles ou nulles. Dans d'autres cas des éléments précis, tels que les chlorures, la silice, les bicarbonates sont gênants et doivent être éliminés de l'eau avant son utilisation.

La technique de déminéralisation utilisée dans l'installation à étudier est celle avec échange d'ions. Cette installation a pour rôle d'alimenter des chaudières avec de l'eau déminéralisée au sein de la Société Nationale des Véhicules Industriels (SNVI).

L'installation de déminéralisation est basée sur le principe d'enlever les ions positifs et négatifs de l'eau brute avec un procédé automatisé qui adopte une structure de câblage classique point à point entre l'automate et les autres équipements. Cependant, ce système de câblage est obsolète face aux nouvelles méthodes de transmission de données. Cette méthode a pour inconvénient la difficulté d'implantation vue le nombre important de fils qui raccordent chaque équipement à l'automate. Ainsi, la difficulté du diagnostic vu l'absence d'une interface de communication homme/machine.

Pour remédier alors à ces inconvénients, nous avons proposé une amélioration qui consiste à implanter une solution de câblage réseau et de développer une plateforme de supervision pour l'installation. Ces Modifications permettent d'améliorer la communication entre l'automate et les différents équipements de l'installation. Elle offre la possibilité d'interconnecter plusieurs procédés et de faciliter le diagnostic de l'installation.

Notre démarche de travail se porte sur deux volets. Le premier volet consiste à étudier le fonctionnement de l'installation pour maîtriser la solution de contrôle actuelle, et le deuxième

volet consiste à adapter une solution réseau à l'installation autour de l'automate existant Schneider « TSX p57 102 ».

Pour se faire, notre mémoire sera composé de quatre chapitres organisés comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation et la description du fonctionnement de l'installation de déminéralisation d'eau.
- Le deuxième chapitre est réservé à la description du matériel de l'installation de déminéralisation d'eau.
- Dans le troisième chapitre nous présentons une étude théorique des réseaux locaux industriels et des bus de terrains.
- L'amélioration proposée de la solution de contrôle de l'installation de déminéralisation d'eau est présentée au quatrième chapitre.

Nous termineront notre travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

**Présentation et description
du fonctionnement de
l'installation de
démminéralisation de l'eau
industrielle**

I. Introduction

L'installation de déminéralisation a pour objet de déminéraliser l'eau brute en utilisant la technique de déminéralisation totale avec échange d'ions. Cette technique est basée sur le principe d'enlever les ions positifs à l'aide des résines cationiques et d'enlever les ions négatifs en utilisant les résines anioniques.

Dans ce chapitre nous faisons la description du fonctionnement de l'installation de déminéralisation. Celle-ci fonctionne en deux modes :

- Mode de production : c'est le mode où l'installation produit de l'eau déminéralisée
- Mode de régénération ; c'est le mode où l'installation régénère les résines cationiques et les résines anionique.

II. Mode de production d'eau déminéralisée [3]

II.1 Présentation de la chaîne de production

L'installation de déminéralisation de l'eau est une station qui traite de l'eau brute industrielle destinée à l'alimentation des chaudières ou d'autres unités.

L'eau déminéralisée est produite sur deux chaînes identiques parallèles fonctionnant en alternance. Chaque chaîne est constituée de :

- Un échangeur contenant des résines cationiques où des ions (tels que le calcium Ca^{2+} , le magnésium Mg^{2+} ...etc) sont échangés contre les ions H^+ .
- Un dégazeur de dioxyde de carbone produit lors du passage sur l'échangeur cationique.
- Un échangeur contenant des résines anioniques où des ions (tels que le chlorure Cl^- , le sulfate SO_4^{2-} ...etc) sont échangés contre les ions OH^- .
- Un résistivimètre pour détecter la saturation des résines.

Chaque chaîne est alimentée en eau brute à travers une pompe, l'eau brute est stockée dans une fosse de stockage d'une capacité de 153 m^3 . Une troisième pompe sert de secours en cas de défaillance de l'une des deux pompes.

En fonctionnement normale, l'installation fonctionne avec une seule chaîne de production de déminéralisation, la deuxième est en cours de régénération ou en attente de production.

Au démarrage, l'opérateur doit sélectionner la chaîne prioritaire avec un commutateur chaîne 1/ chaîne 2.

L'eau déminéralisée est stockée dans une cuve de stockage d'une capacité de 110 m³.

La figure ci-dessous montre la synoptique simplifiée de l'unité de production d'eau déminéralisée (Figure 1).

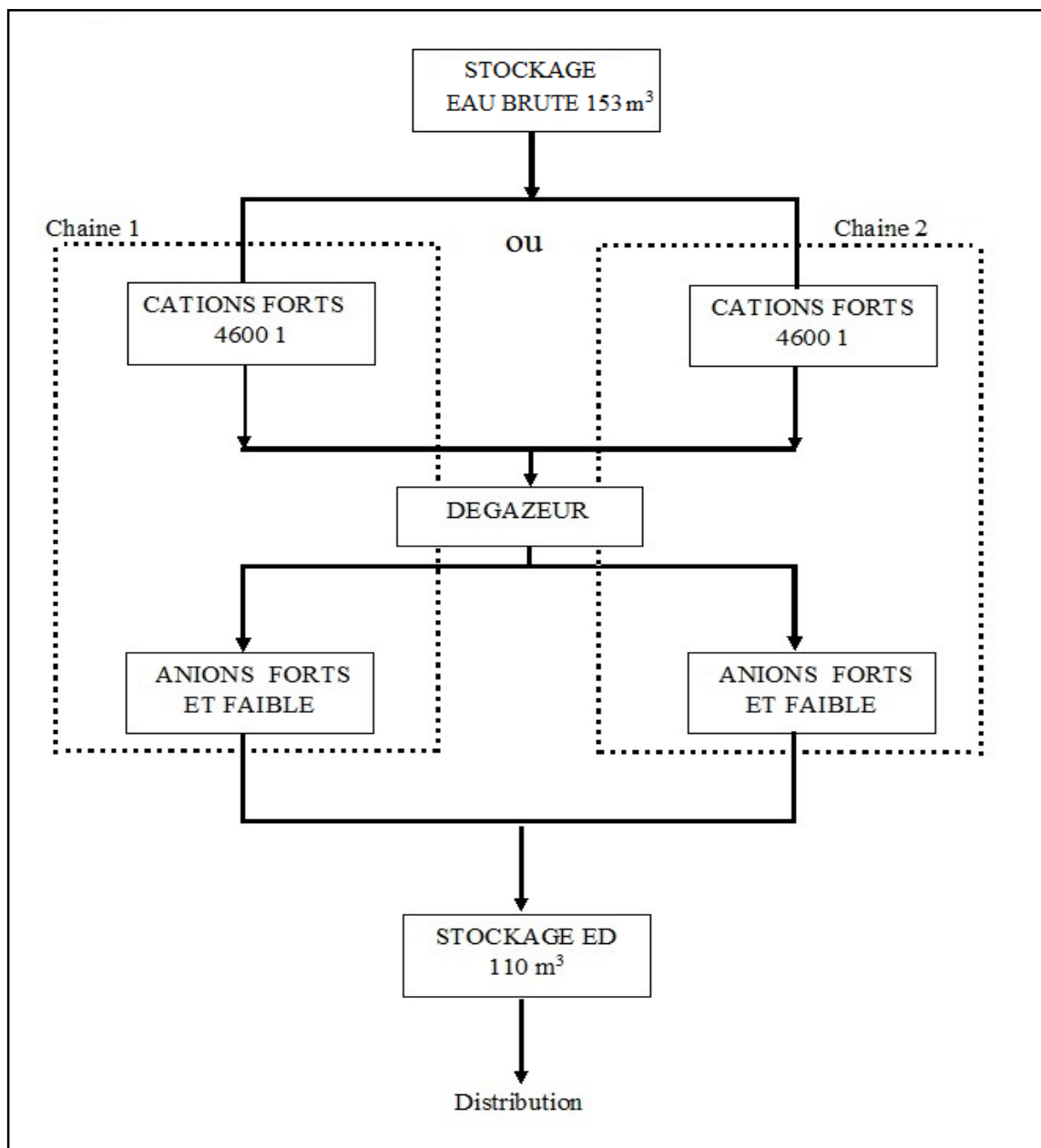


Figure 1 : synoptique simplifiée de l'unité de production d'eau déminéralisée

II.2 Mise en service et principe de fonctionnement de l'installation en mode production

La mise en service de l'installation en mode production est conditionnée par :

- La présence suffisante de l'eau brute dans la cuve de stockage qui est indiquée par un détecteur de niveau LSL373.
- L'ouverture de toutes les vannes d'isolement de toutes les pompes, à savoir les pompes de l'eau brute, de l'eau décationnée et de bouclage.

La chaîne 01 est alimentée en eau brute par la pompe de reprise immergée PC373 01. La chaîne 02 est alimentée par la pompe de reprise immergée PC 373 02 et La pompe PC373 03 sert de secours à l'une ou à l'autre pompe.

La vanne VA373 01 respectivement VA373 02 sont ouvertes automatiquement quand la pompe de secours PC373 03 est utilisée pour la chaîne 1 respectivement la chaîne 2.

La vanne VA 401 01 respectivement VA401 02 de la chaîne 01 s'ouvre automatiquement, permettant à l'eau brute de rentrer respectivement de sortir de l'échangeur « CATION 01 ».

La vanne VA 401 19 respectivement VA401 20 de la chaîne 02 s'ouvre automatiquement, permettant à l'eau brute de rentrer respectivement de sortir de l'échangeur « CATION 02 ».

L'eau décationnée provenant de l'échangeur « CATION 01 » ou « CATION 02 » est transférée vers le dégazeur commun « RO5012 01 RO512 02 ».

Le dégazeur a pour but de dégager les gaz résultants de l'opération de décationnement à base de ventilation d'eau.

L'eau décationnée dégazée est reprise vers l'échangeur « ANION 01 » de la chaîne 01 ou vers l'échangeur « ANION 02 » de la chaîne 02 par la pompe :

- PC512 01 pour la chaîne 01
- PC512 02 pour la chaîne 02
- PC512 03 sert de secours à l'une des deux pompes. La vanne VA512 01 / VA512 02 sert à diriger l'eau décationnée dégazée lors de la fonction « secours » vers l'échangeur « ANION 01 » / « ANION 02 ».

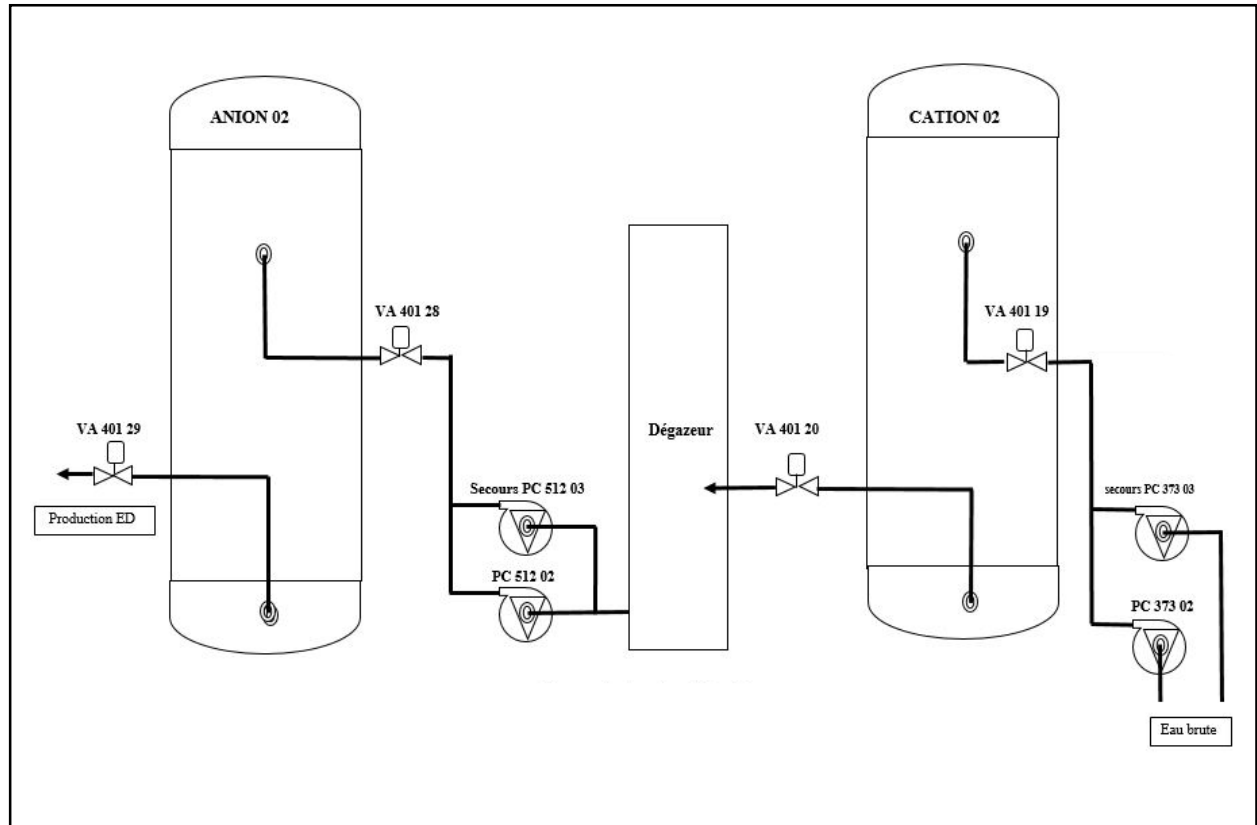


Figure 3 : circuit de production de l'ED de la chaîne 02

II.3 Principe de déminéralisation par la technique d'échange d'ions

La déminéralisation par la technique d'échange d'ions consiste à fixer des ions mobiles de l'eau brute sur des résines se trouvant dans des échangeurs. Les résines se présentent sous forme de fines billes à structure poreuse, son diamètre est compris entre 0.3 et 1.5 mm.

Ces résines fixent certains ions de l'eau brute et cèdent en échange des ions mobile qu'elles possèdent.

Ce procédé passe par les trois étapes consécutives suivantes : décationer, dégazer et désanioner.

II.3.1 Décationer

Dans cette étape, on utilise les résines cationiques porteuses d'ions mobiles H^+ . Elles se devisent en deux types de résines (figure 4)

a- Résines cationiques fortes

Ces résines fixent tous les cations de l'eau y compris les cations monovalents tels que Na^+ et K^+ et cèdent en échange les ions de cations H^+ , transformant ainsi les sels en acide correspondant.

b- Résines cationiques faibles

Ces résines de types carboxyliques dotées d'ions mobiles H^+ sont capables de fixer les cations bivalents de l'eau présentés sous forme de bicarbonates. Les hydrogencarbonates HCO_3^- sont transformés en acide carbonique H_2CO_3 , élément très instable qui se décompose en H_2O et CO_2 . Le passage de l'eau sur une telle résine se traduit à la fois par un adoucissement et par une décarbonatation.

Représentation schématique du procédé d'échange d'ions cationiques :

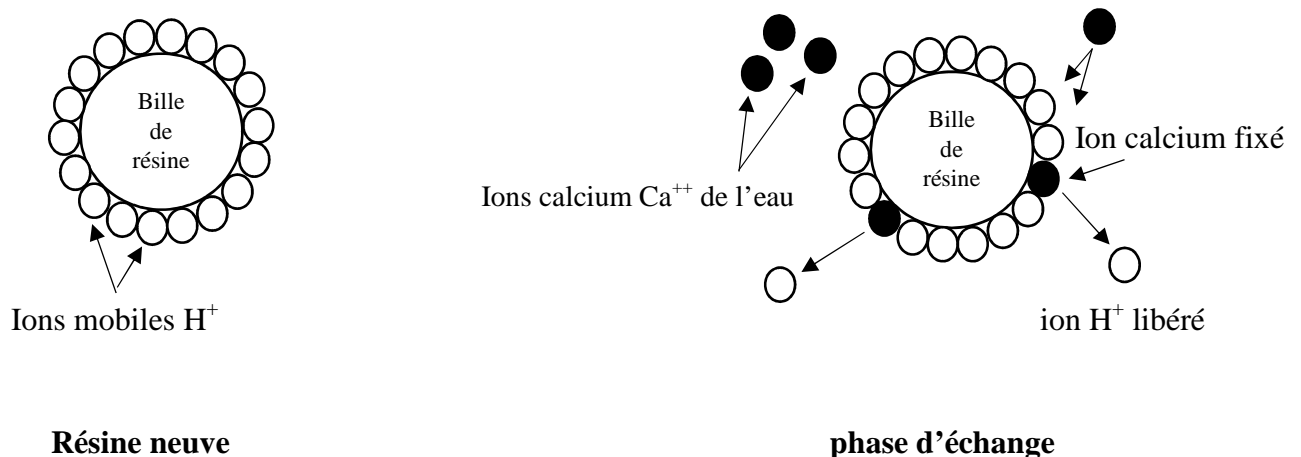


Figure 4 : procédé d'échange d'ions cationiques

II.3.2 Dégazer

L'eau décationnée résultant contient des gaz tel que CO_2 ... qui vont être dégagés par le dégazeur comme suit :

- Le dégazeur contient :
 - une cuve stockage dotée de transmetteurs de niveau.
 - Et un égouttoir situé en haut de la cuve.
 - Un ventilateur CE512 01

- L'eau décaionnée passe par l'égouttoir à courant descendant.
- Le ventilateur ventile alors cette eau égouttée et dégage les gaz lui contenant.

II.3.3 Désanioner

Dans cette étape, on utilise les résines anioniques porteuses d'ions mobiles OH^- . Elles se divisent en deux types de résines. (figure 5)

a- Résines anioniques fortes :

Ces résines fixent tous les anions de l'eau ainsi que le CO_2 et la silice dissoute, libérant en échange les ions OH^- .

Elle fixe également en grande partie des matières organiques dissoutes présentes dans l'eau.

b- Résines anioniques faibles :

Elles fixent la totalité des anions des acides forts tels que Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , NO_3^- et une faible partie d'acides faibles tels que HNO_3 , CO_2 dissout et la silice dissoute.

Représentation schématique du procédé d'échange d'ions anioniques :

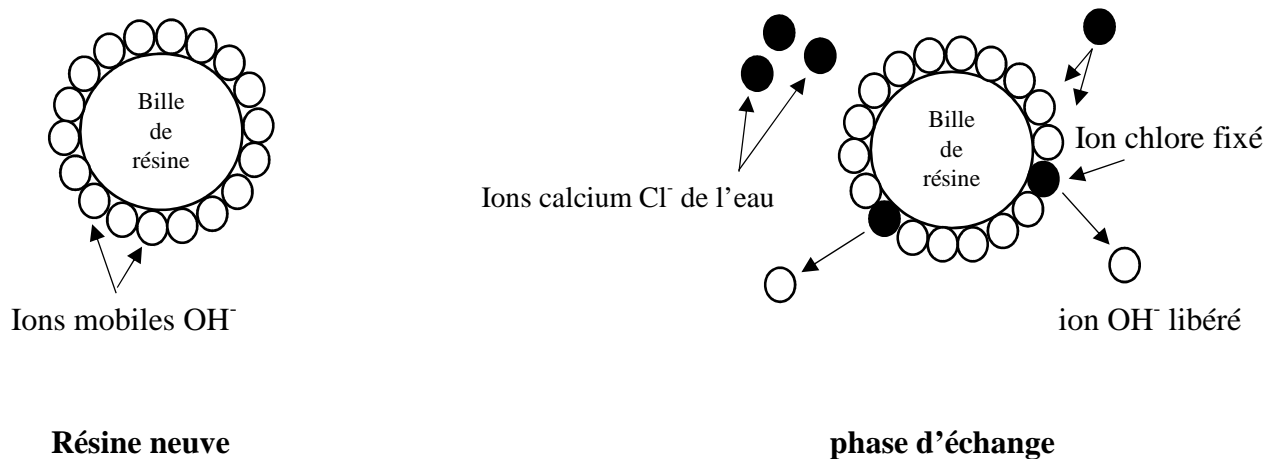


Figure 5 : procédé d'échange d'ions anioniques

La déminéralisation totale

En faisant percoler l'eau successivement à travers un lit de résines cationiques puis un lit de résines anioniques, il est possible de fixer les cations puis les anions de l'eau.

III. Mode de régénération des résines cationiques et anioniques [3]

III.1. Présentation de la phase de régénération

Quand la chaîne de production est mise en « attente de régénération », ce mode est déclenché par l'opérateur en appuyant sur un bouton poussoir situé sur la façade de l'armoire de commande.

Elle est réalisée à l'aide d'acide chlorhydrique dilué pour les résines cationiques et de lessive de soude diluée pour les résines anioniques.

Le cycle de régénération des résines cationiques et anioniques se déroule simultanément par l'enchaînement des étapes suivant :

- Détassage des résines cationiques
- Passage d'acide chlorhydrique dilué sur les résines cationiques à courant ascendant.
- Rinçage lent des résines cationiques à l'eau seule.

- Détassage des résines anioniques
- Passage de lessive de soude diluée sur les résines anioniques à courant ascendant.
- Classement des résines anioniques.
- Rinçage lent des résines anioniques.

- Rinçage rapide à l'égout.
- Rinçage rapide bouclé.

La figure ci-dessous montre la synoptique simplifiée de la phase de régénération.

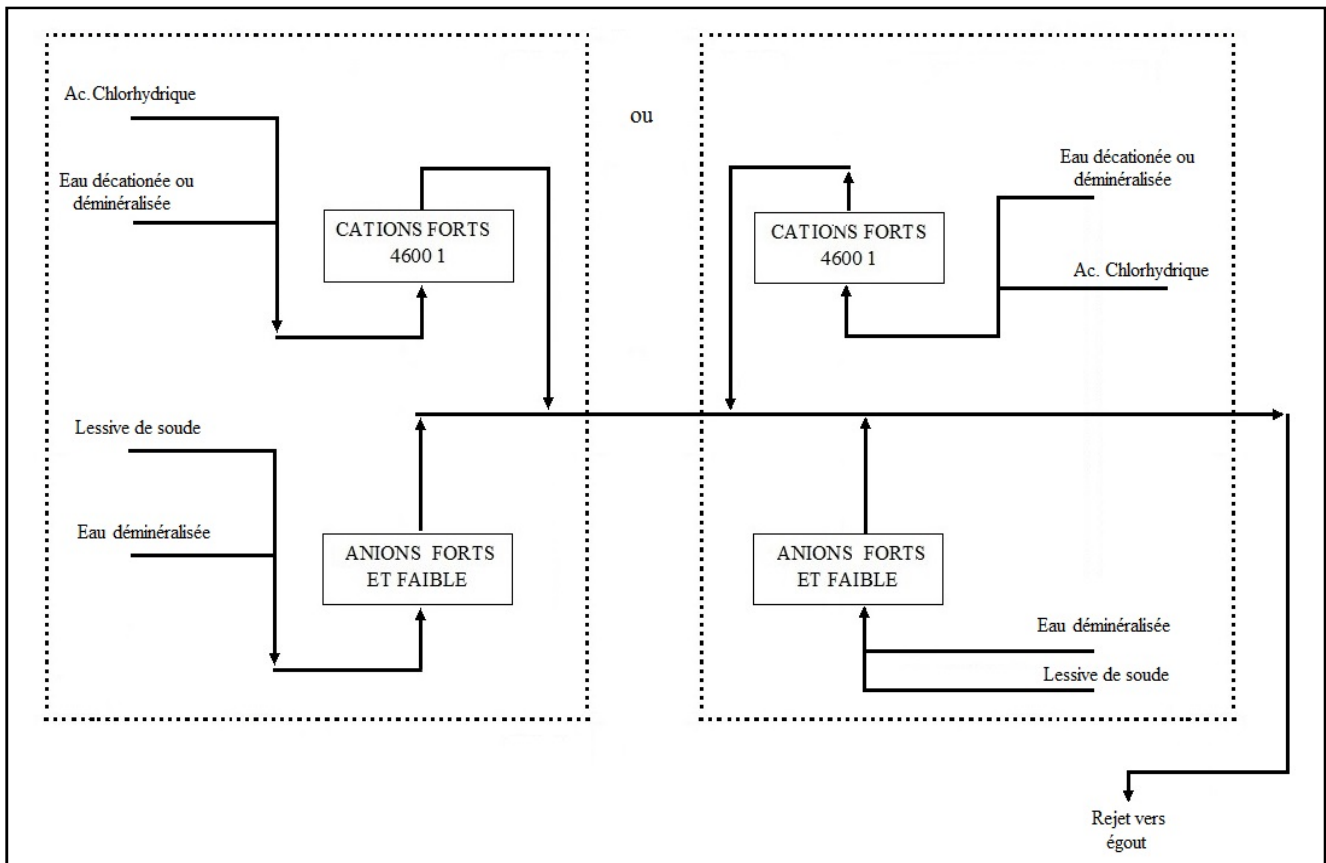


Figure 6 : synoptique simplifiée de la phase de régénération

III.2. Principe de fonctionnement

III.2.1. Détassage des résines

Cette opération consiste à couler de l'eau à courant ascendant pour soulever les résines :

a- Cationiques

Le soulèvement des résines cationiques se fait avec de l'eau brute.

L'eau brute est reprise de la cuve de stockage via la pompe PC373 01 pour la chaîne 01 ou via la pompe PC373 02 pour la chaîne 02. La pompe PC373 03 sert de secours.

Les vannes VA401 03 et VA401 04 de la chaîne 01 ou les vannes VA401 21 et VA401 22 de la chaîne 02 sont alors ouvertes, permettant à l'eau brute de circuler dans l'échangeur et être évacuée vers l'égout. (figure 7)

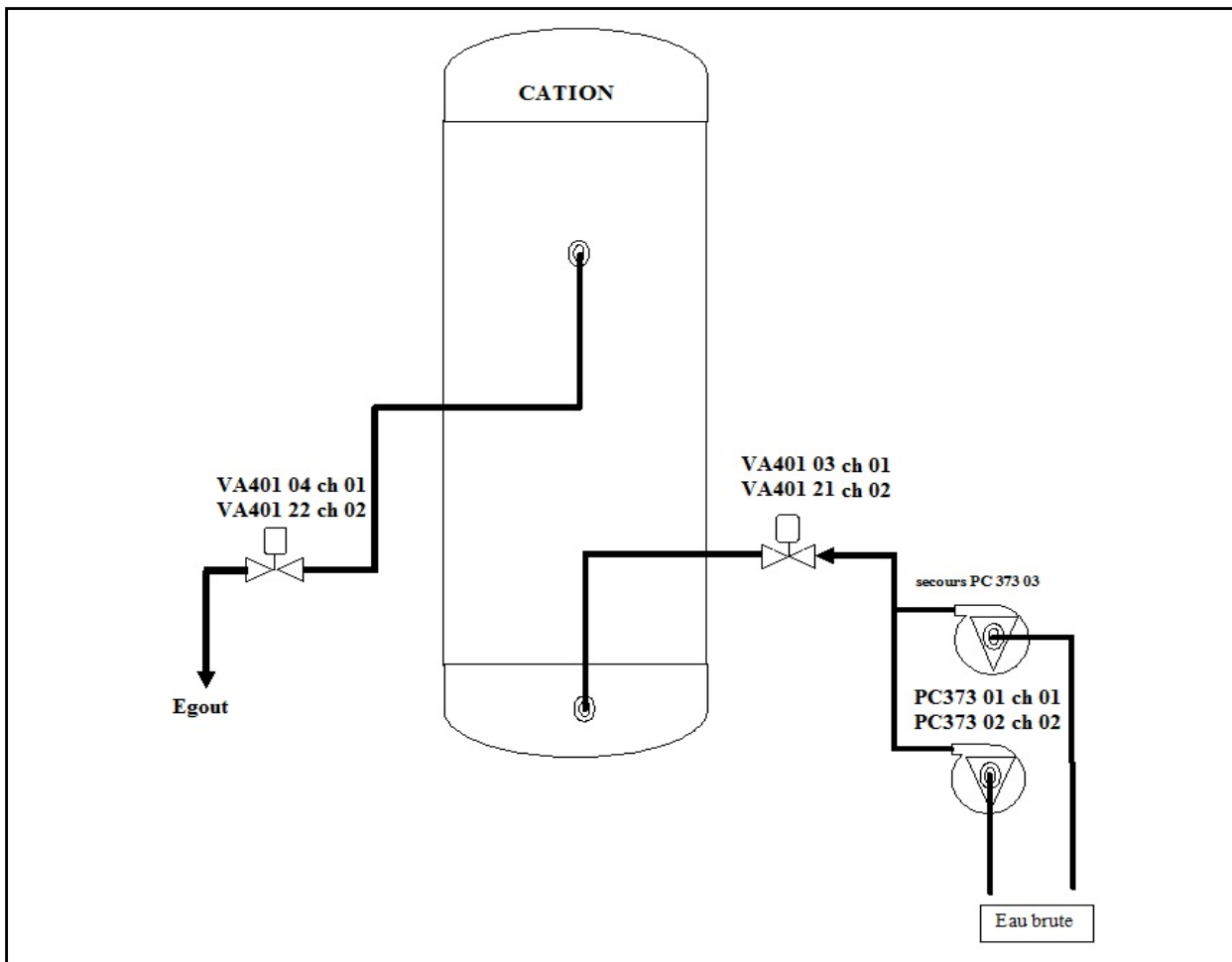


Figure 7 : circuit de soulèvement des résines cationiques

b- Anioniques

Le soulèvement des résines anioniques se fait avec de l'eau déminéralisée.

L'eau déminéralisée est reprise de la cuve de stockage via la pompe PC401 01 pour la chaîne 01 ou pour la chaîne 02. La pompe PC401 02 sert de secours.

Les vannes VA401 12 et VA401 13 de la chaîne 01 ou les vannes VA401 30 et VA401 3 de la chaîne 02 sont alors ouvertes, permettant à l'eau déminéralisée de circuler dans l'échangeur et être évacuée vers l'égout. (figure 8)

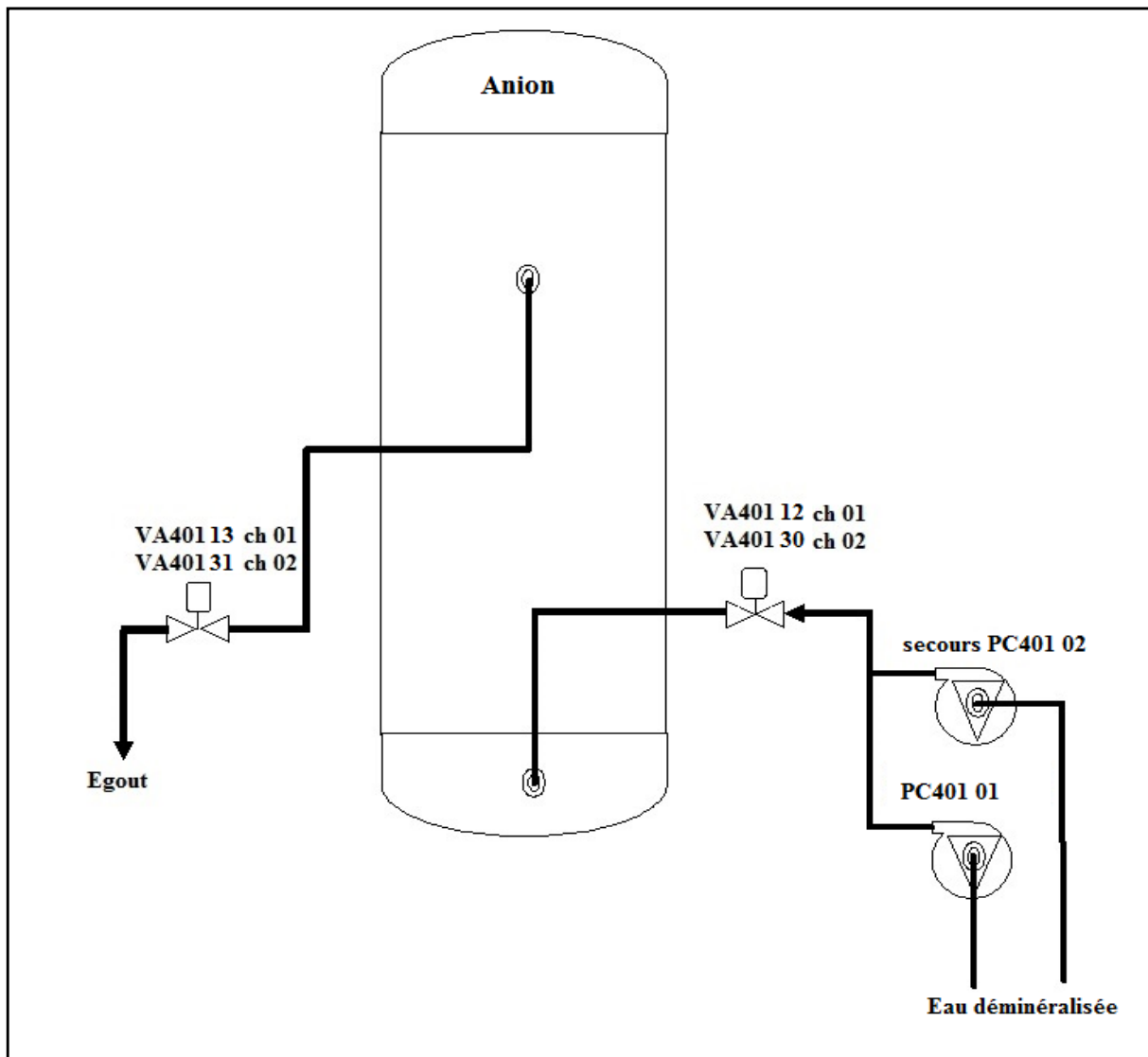


Figure 8 : circuit de soulèvement des résines anioniques

III.2.2. Passage de l'acide chlorhydrique et de lessive de soude dilués

le passage de l'acide chlorhydrique et de lessive de soude sur les résines cationiques et anioniques dans les échangeurs se fait à courant ascendant. La dilution des deux réactifs de régénération se fait avec de l'eau déminéralisée.

a- passage de l'acide chlorhydrique dilué sur les résines cationique

Les mêmes pompes alimentent les deux chaînes en acide chlorhydrique et d'eau déminéralisée.

L'acide chlorhydrique est repris de la cuve de stockage par la pompe PD105 01 ou par la pompe de secours PD105 02.

L'eau déminéralisée est reprise de la cuve de stockage via la pompe PC401 01 ou la pompe de secours PC401 02.

Les vannes VA401 06, VA401 08, VA401 09 et VA401 07 de la chaîne 01 ou les vannes VA401 24, VA401 26, VA401 27 et VA401 25 de la chaîne 02 s'ouvrent, la dilution est alors faite dans la tuyauterie tout en circulant dans l'échangeur. (figure 9)

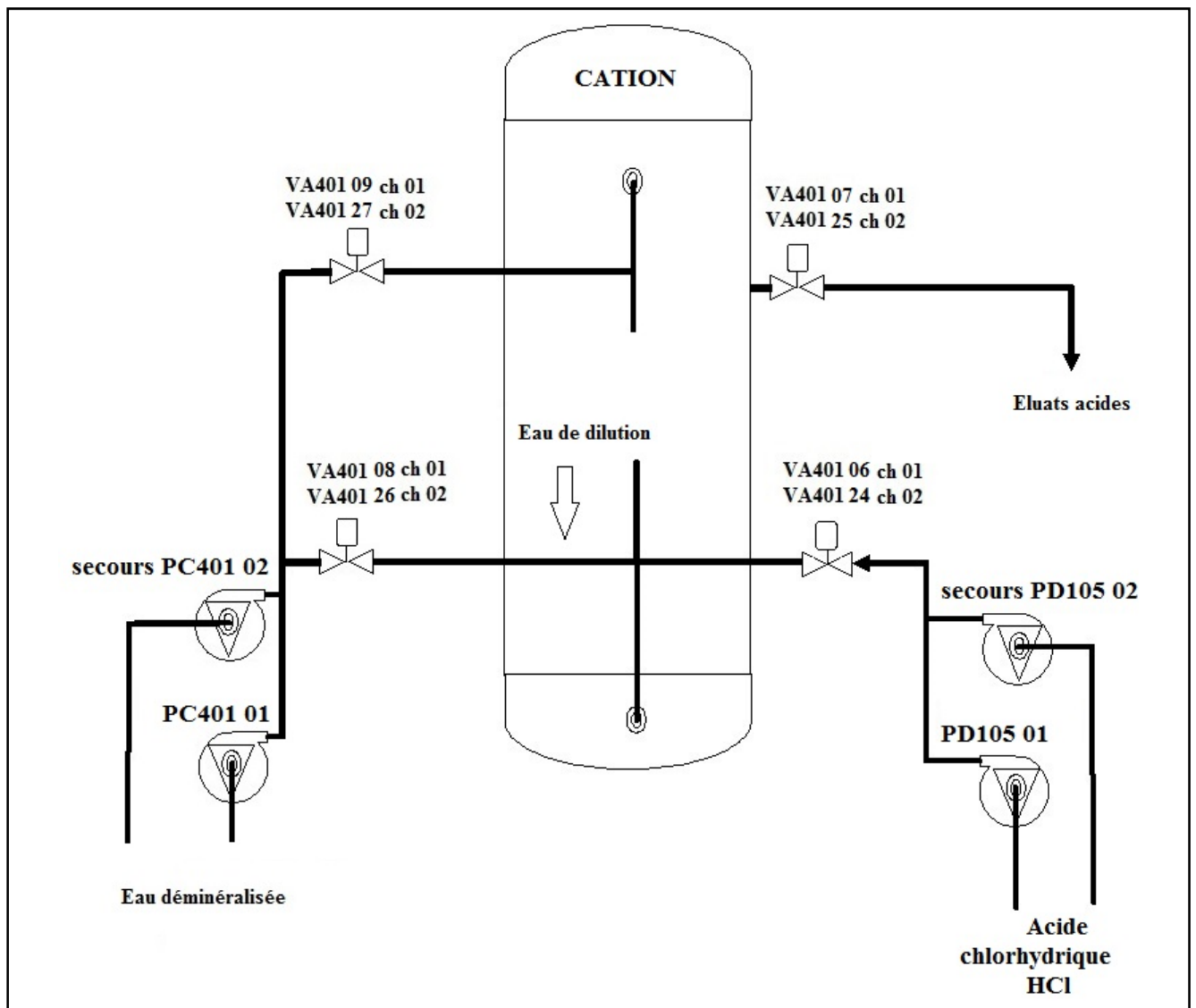


Figure 9 : passage de l'acide chlorhydrique HCl

b- passage de lessive de soude diluée sur les résines anioniques

Les mêmes pompes alimentent les deux chaînes en acide chlorhydrique et d'eau déminéralisée.

La lessive de soude est reprise de la cuve de stockage par la pompe PD102 01 ou par la pompe de secours PD102 02.

L'eau déminéralisée est reprise de la cuve de stockage via la pompe PC401 01 ou la pompe de secours PC401 02.

Les vannes VA401 14, VA401 15, VA401 16 et VA401 17 de la chaîne 01 ou les vannes VA401 32, VA401 33, VA401 34 et VA401 35 de la chaîne 02 s'ouvrent, la dilution est alors faite dans la tuyauterie tout en circulant dans l'échangeur. (figure 10)

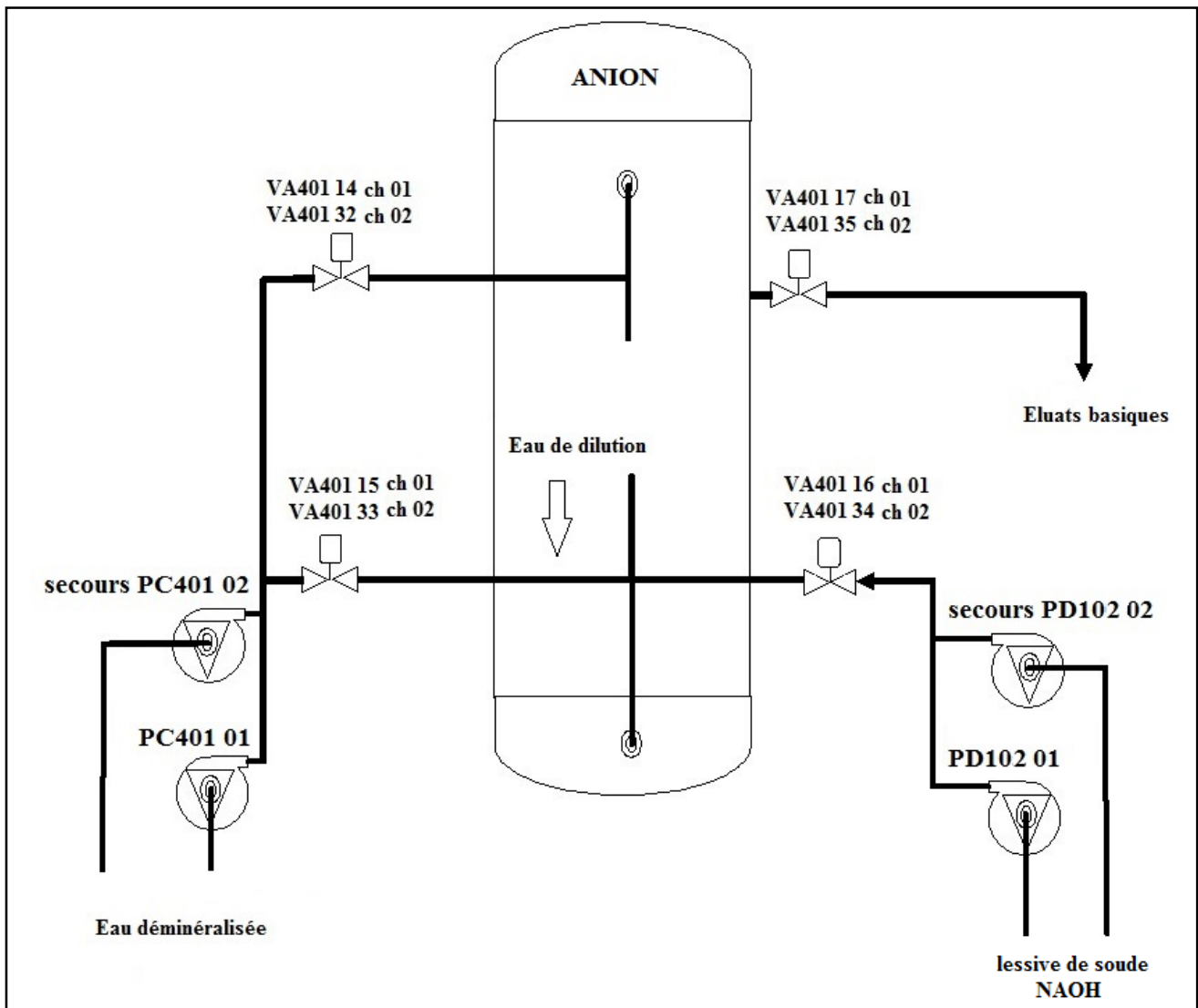


Figure 10 : circuit de passage de lessive de soude NAOH

III.2.3. Rinçage lent des résines

Le rinçage se fait à l'eau déminéralisée seule.

a- Rinçage lent des Cations

C'est la circulation de l'eau déminéralisée dans l'échangeur cationique obtenu par :

- Ouverture des vannes VA401 04, VA401 08 ou VA401 22, VA401 26 de la chaîne 01 ou de la chaîne 02.
- La pompe PC401 01 ou celle de secours PC401 02 alimente la chaîne 01 ou la chaîne 02 en eau déminéralisée. (figure 11)

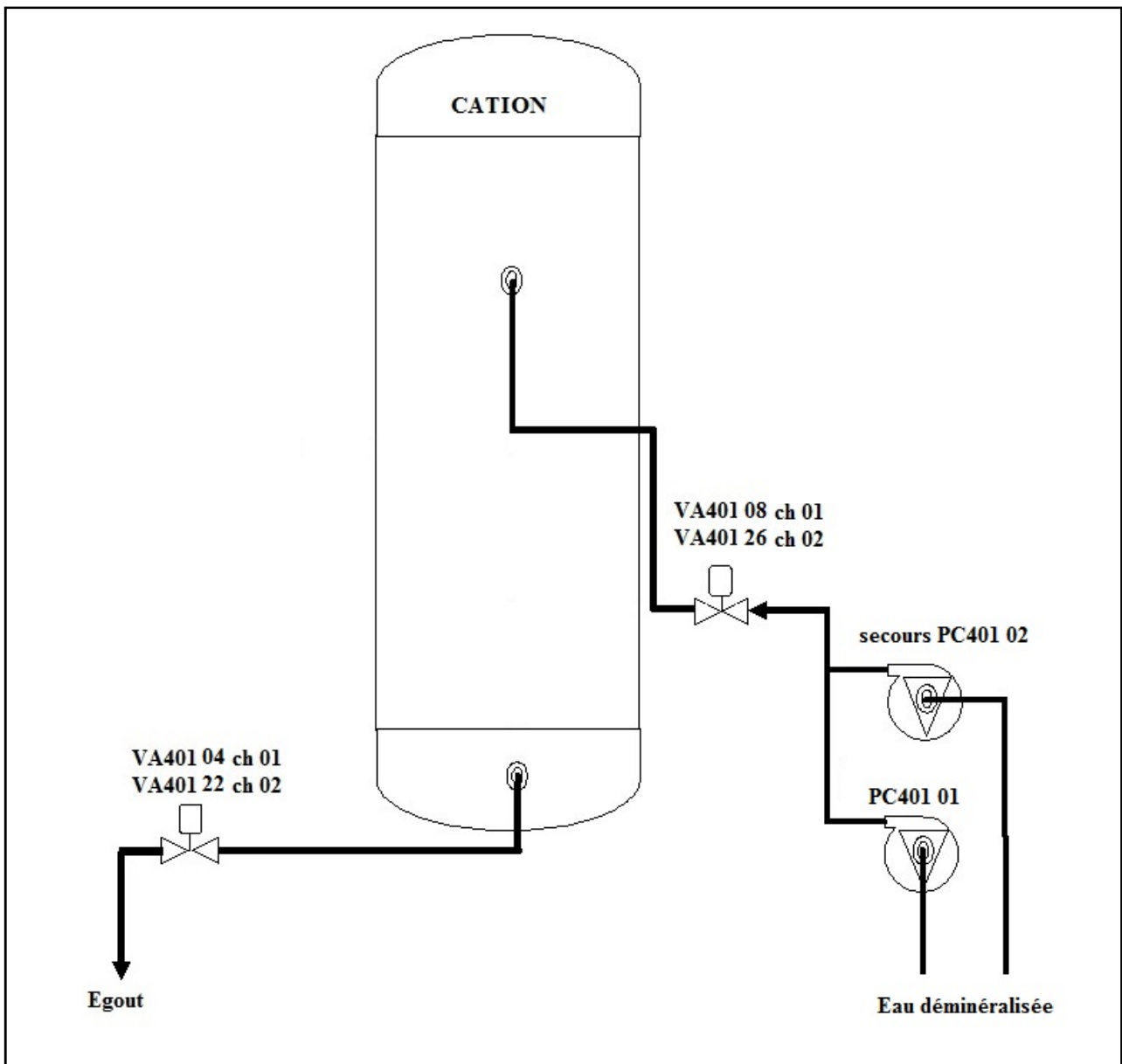


Figure 11 : Rinçage lent des cations.

b- Rinçage lent des anions

C'est la circulation de l'eau déminéralisée dans l'échangeur anionique obtenu par :

- Ouverture des vannes VA401 13, VA401 15 ou VA401 29, VA401 30 de la chaîne 01 ou de la chaîne 02.
- La pompe PC401 01 ou celle de secours PC401 02 alimente la chaîne 01 ou la chaîne 02 en eau déminéralisée. (figure 12)

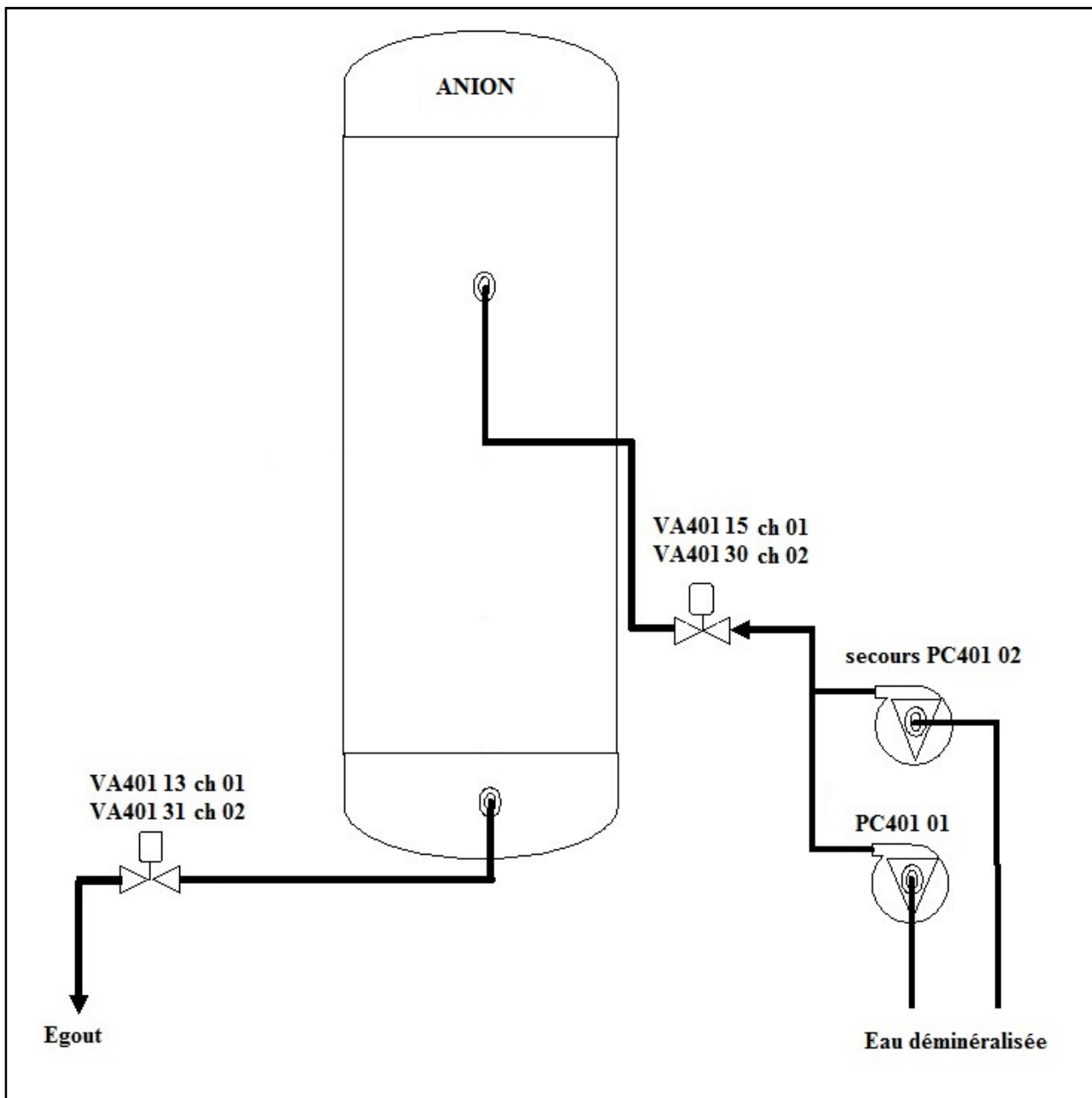


Figure 12 : Rinçage lent des anions.

III.2.4. Rinçage rapide à l'égout

Le rinçage rapide à l'égout consiste à faire passer l'eau brute dans l'échangeur des cations et dans l'échangeur des anions à travers la pompe et les vannes (figure 13).

- PC373 01 pour la chaîne 01
- PC373 02 pour la chaîne 02
- PC373 03 sert de secours.
- VA401 01, VA401 05, VA401 10 et VA401 37 pour la chaîne 01.
- VA401 19, VA401 23, VA401 28 et VA401 38 pour la chaîne 02.

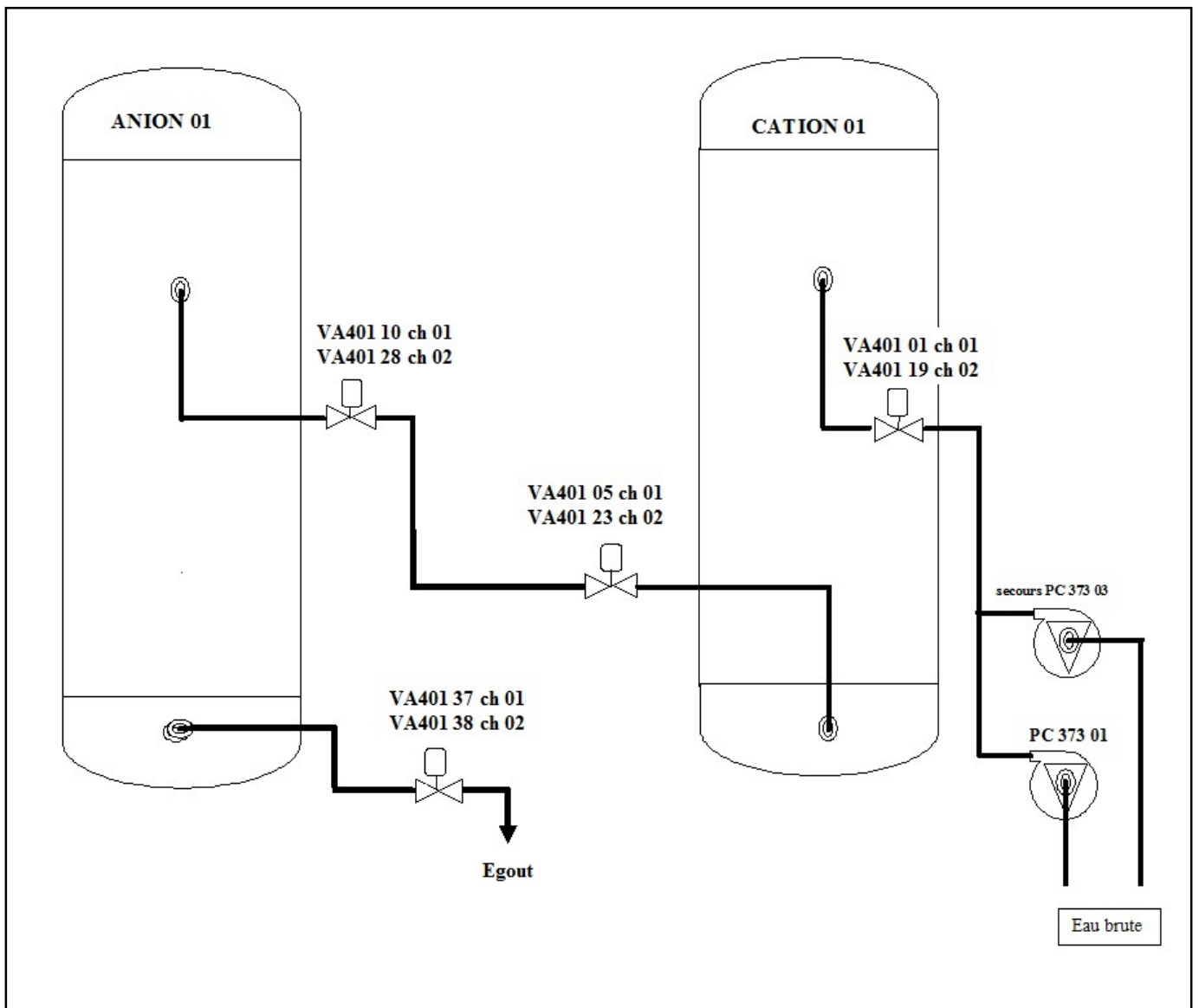


Figure 13 : Rinçage rapide à l'égout

III.2.5. Rinçage rapide bouclé :

Le bouclage a pour but de circuler l'eau en circuit fermé lors de deux étapes du cycle de fonctionnement (figure 14) :

- Au démarrage de l'installation afin d'éviter un pic de résistivité= étape bouclage.
- En fin de régénération pour limiter le volume d'éluas= étape rinçage rapide bouclé.

Lors du bouclage, le dégazeur n'est pas inclus dans le circuit.

Le bouclage est assuré par :

- La pompe PC401 03 pour la chaîne 01
- La pompe PC401 04 pour la chaîne 02
- Les vannes VA401 05, VA401 10 et VA401 18 pour la chaîne 01
- Les vannes VA401 23, VA401 28 et VA401 36 pour la chaîne 02

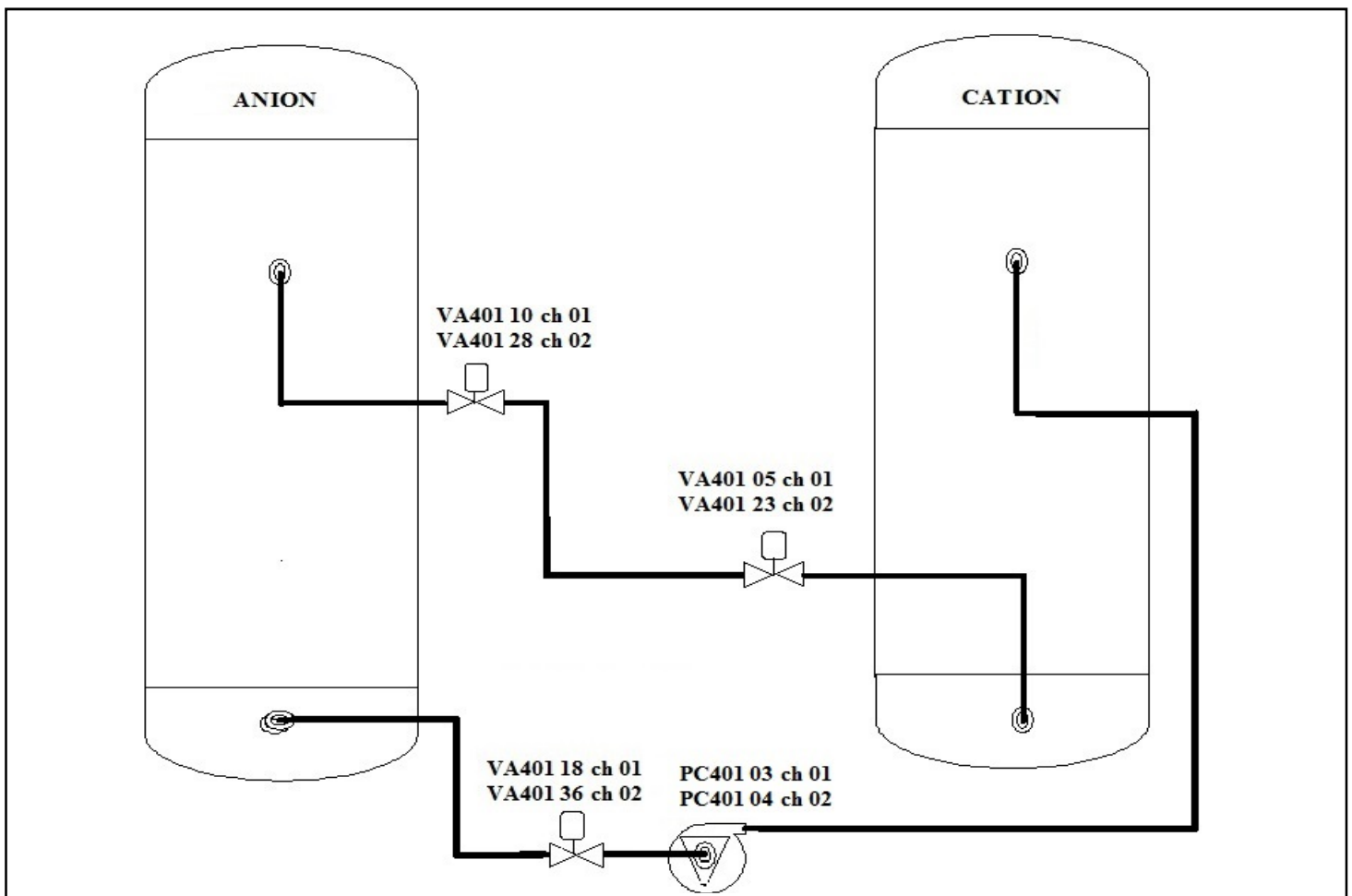


Figure 14 : Bouclage.

III.3. Principe de régénération par échange d'ions

Lors de la production, les résines accumule les ions de l'eau. Après une période de temps, cette accumulation d'ions conduit à la saturation de ces résines. Ce qui amène à leur faire une régénération.

III.3.1. Régénération des résines cationiques

Le passage de l'acide chlorhydrique HCl sur les résines cationiques permet d'extraire les ions préalablement accumulés sur ses surfaces (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^+ ...), et de fixer les ions H^+ provenant de l'acide chlorhydrique. Produisant ainsi les molécules KCl, NaCl, CaCl, MgCl. (figure 15).

Représentation schématique du procédé de régénération cationique par échange d'ions :

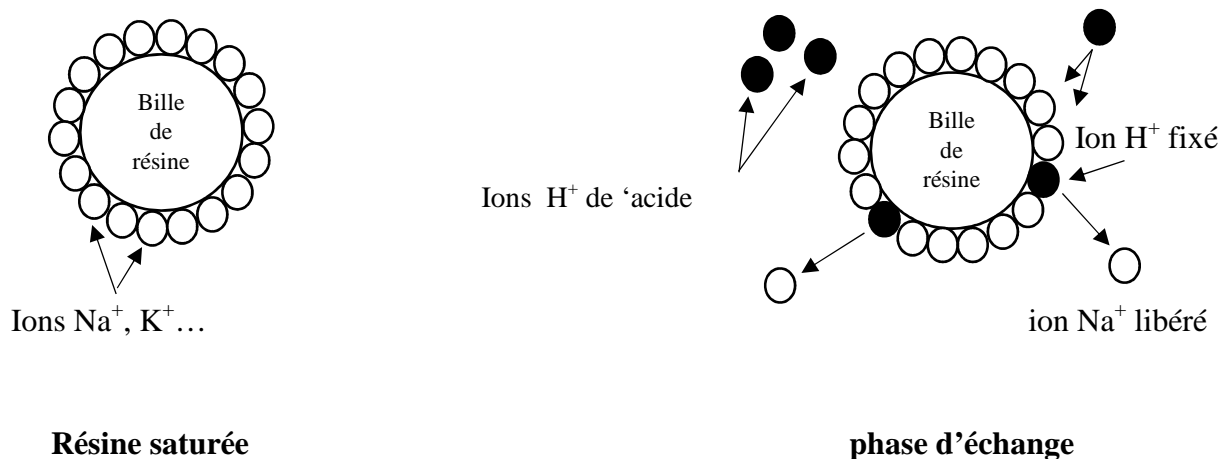


Figure 15 : Régénération résine cationique

III.3.2. Régénération des résines anioniques

Le passage de lessive de soude sur les résines anioniques permet d'extraire les ions préalablement accumulés sur ses surfaces (Cl^- , SO_4^- , PO_4^- , NO_3^- , ...), et de fixer les ions OH^- provenant de lessive de soude. (Figure 16).

Représentation schématique du procédé de régénération anionique par échange d'ions :

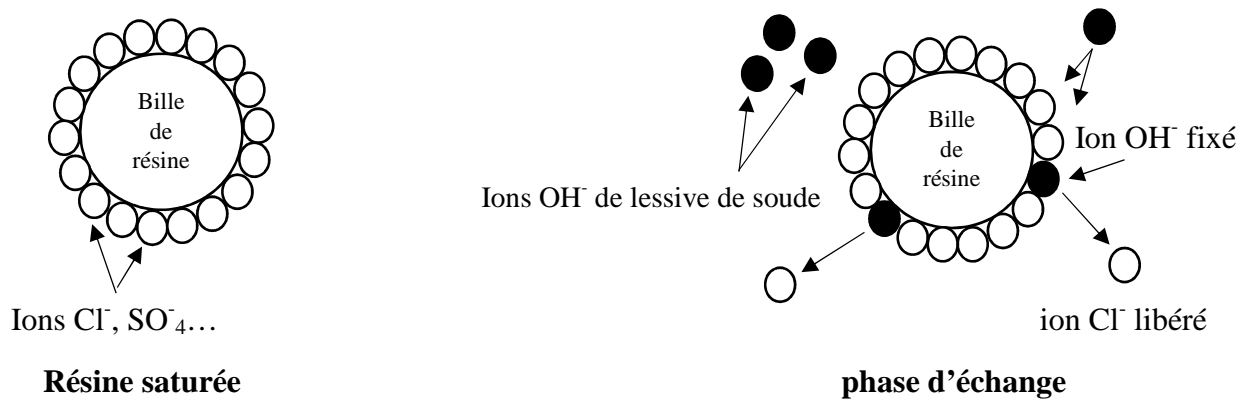


Figure 16 : Régénération résine anionique

IV. Conclusion

La technique de déminéralisation totale d'eau avec échange d'ions est l'une des techniques les plus utilisées dans l'industrie, elle offre une production d'eau déminéralisée de haute qualité et une consommation de réactifs de régénération optimisés. Cette technique est basée sur un principe simple qui consiste à passer de l'eau brute sur des résines.

L'installation étudiée ici utilise cette technique avec un procédé entièrement automatisé.

CHAPITRE II

Description matérielle de l'installation de déminéralisation d'eau industrielle

I. Introduction

Le matériel et l'outillage industriel sont l'ensemble des équipements et des machines qui assurent le déroulement de toutes les phases d'un processus industriel.

L'installation de déminéralisation d'eau est constituée de différents types d'équipements, que ce soit dans la partie opérative ou dans la partie commande.

Dans la partie opérative on trouve les actionneurs tels que les pompes, les vannes...et les capteurs tels que les résistivimètre, les débitmètres, les détecteurs de niveau...

Dans la partie commande on trouve l'automate, les boutons poussoirs, les commutateurs, les relais, les contacteurs... qui constitue en fait l'armoire de commande.

L'amélioration du fonctionnement de cette installation passe, inévitablement, par une étude de ces équipements. Et ce chapitre fait l'objet de cette étude.

II. Eléments constituant l'installation de déminéralisation

II.1 Les cuves de stockage

Une cuve est un grand récipient servant au stockage des produits liquides et à différents usages dans l'industrie.

L'installation de déminéralisation comporte quatre cuves de stockage :

II.1.1. Cuve de stockage de l'eau brute

Elle est équipée d'une fosse de stockage d'une capacité de 153 m³ et de trois détecteurs de niveau (figure 17) :

- LSAL373 1 : « détecteur de niveau très bas de l'eau brute »
- LSL373 2 : « détecteur de niveau bas de l'eau brute »
- LSH373 3 : « détecteur de niveau haut de l'eau brute »

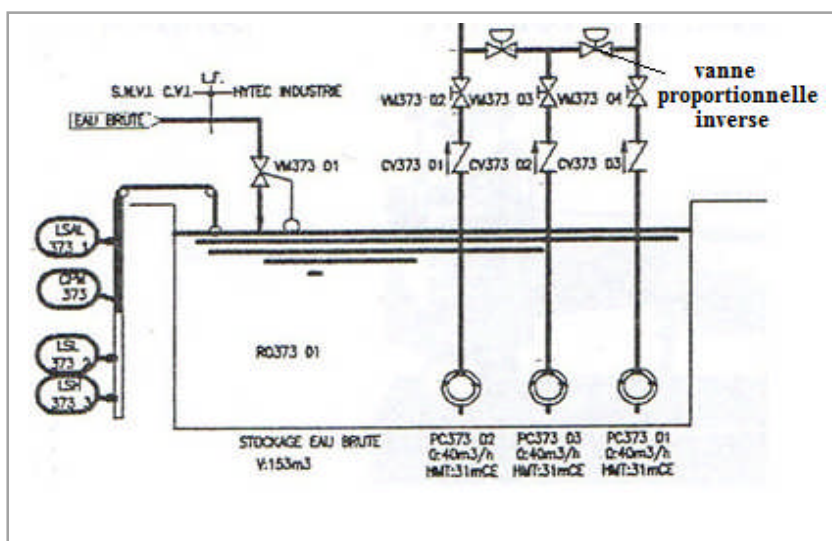


Figure 17 : Cuve de stockage de l'eau brute

II.1.2. Cuve de stockage de l'eau déminéralisée

Elle est constituée d'une fosse de stockage d'une capacité de 110 m³ et de trois détecteurs de niveau (figure 18) :

- LSAL401 1 : « détecteur de niveau très bas de l'eau déminéralisée »
- LSL401 2 : « détecteur de niveau bas de l'eau déminéralisée »
- LSH401 3 : « détecteur de niveau haut de l'eau déminéralisée »

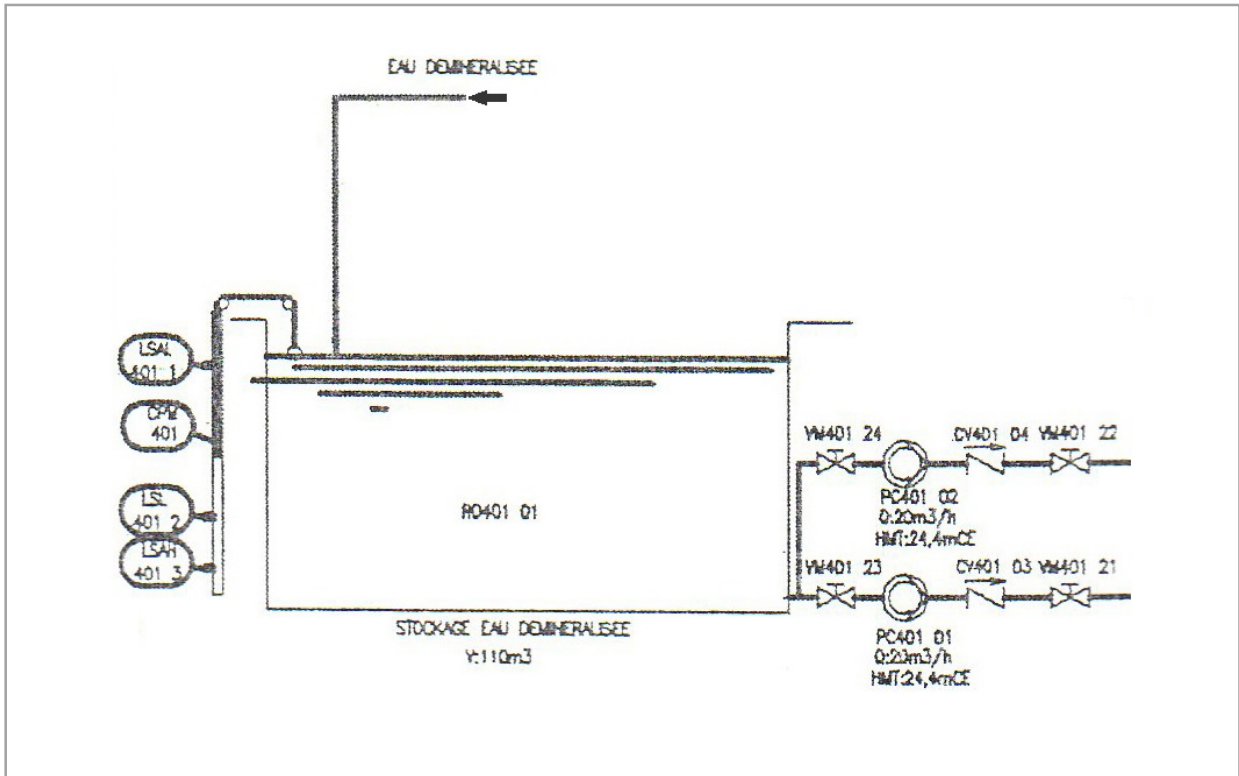


Figure 18 : Cuve de stockage de l'eau déminéralisée

II.1.3. Cuve de stockage d'acide chlorhydrique HCl

Elle est constituée de (figure 19) :

- Détecteurs de niveau :
 - LSAL105 1 : « détecteur de niveau très bas de l'acide chlorhydrique »
 - LSL105 2 : « détecteur de niveau bas de l'acide chlorhydrique »
 - LSH105 3 : « détecteur de niveau haut de l'acide chlorhydrique »

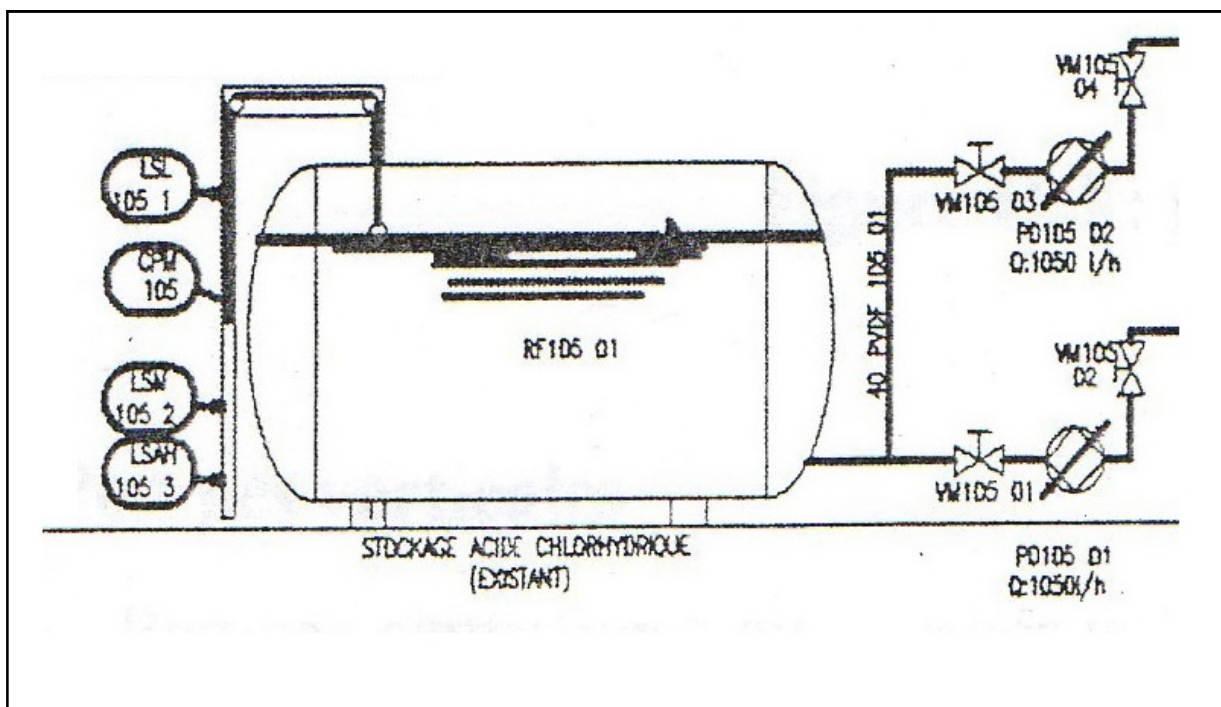


Figure 19 : Cuve de stockage de l'acide chlorhydrique HCl

II.1.4. Cuve de stockage de lessive de soude NaOH

Elle constituée de (figure 20) :

- Détecteurs de niveau :
 - LSM102 2 : « détecteur de niveau moyen de lessive de soude »
 - LSL102 1 : « détecteur de niveau bas de l'eau déminéralisée »
 - LSAH102 3 : « détecteur de niveau très haut de lessive de soude »

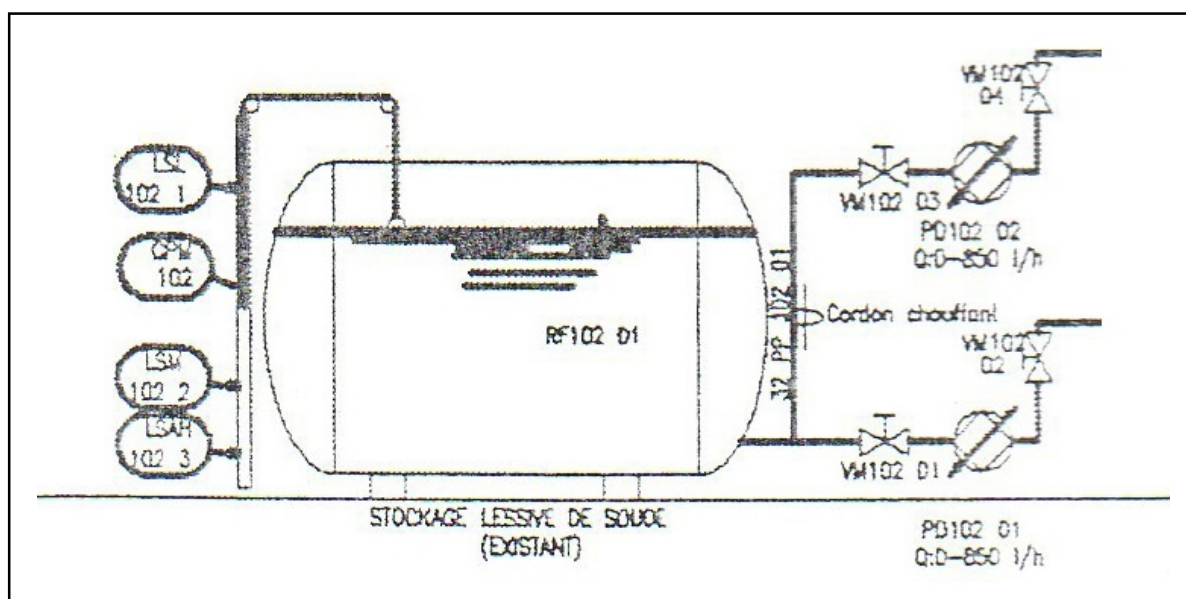


Figure 20 : Cuve de stockage de lessive de soude NaOH

II.2. Les échangeurs de résines

L'échangeur de résines se présente sous forme d'un récipient contenant des résines immergées dans l'eau. Les résines perdent leur fonction si on les laisse à l'air, la raison pour laquelle on les maintient immergées dans l'eau (figure 21).

L'installation possède deux types d'échangeurs : cationique et anionique.

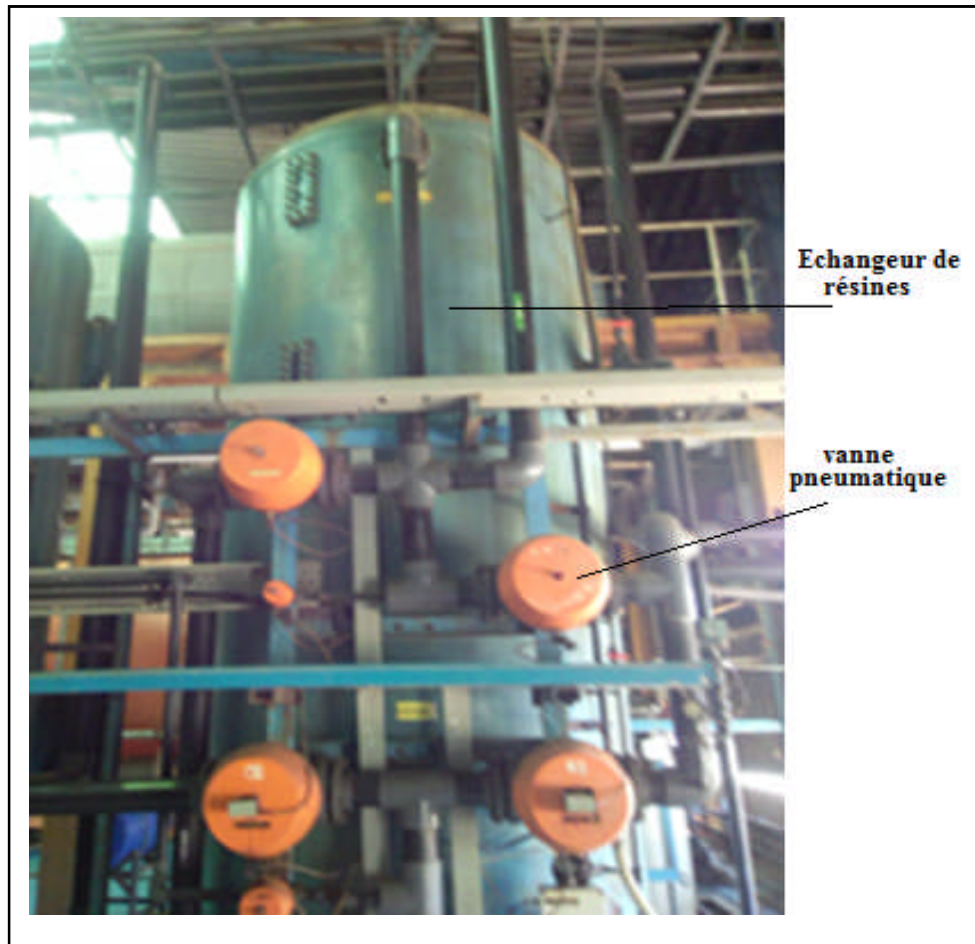


Figure 21 : Echangeur de résines

II.2.1. Echangeur cationique

L'installation comporte deux échangeurs cationiques identiques, l'un pour la chaîne 1 et l'autre pour la chaîne 2.

Chaque échangeur est de diamètre de 1800 mm et d'une hauteur de 3500 mm, contenant 4600 l de résines cationiques.

Chaque échangeur comporte deux types de résines cationiques, à savoir les résines cationiques faibles et les résines cationiques fortes.

II.2.2. Echangeur anionique

L'installation comporte deux échangeurs anioniques identiques, l'un pour la chaîne 1 et l'autre pour la chaîne 2.

Chaque échangeur est de diamètre de 1600 mm et d'une hauteur de 4000 mm, contenant 4600 l de résines anioniques.

Chaque échangeur comporte deux types de résines anioniques, à savoir les résines anioniques faibles et les résines anioniques fortes.

II.3. Dégazeur

Il est constitué de (figure 22) :

- un réservoir d'eau décactionnée dégazée (R0512 01).
- Deux détecteurs de niveau : LSL512 1 indique le niveau bas et LSH512 2 indique le niveau haut.
- Un ventilateur CE512 01.
- Un égouttoir.

Le dégazeur est peut être séparé en deux parties, supérieure et inférieure.

La partie supérieure est la partie du dégazage, elle comporte l'égouttoir et le ventilateur. L'eau rentre dans le dégazeur à courant descendant. En passant par l'égouttoir, l'eau s'écoulera sous forme de pluie. Ainsi cette eau est ventilée à l'aide du ventilateur, permettant de libérer les gaz contenus dans l'eau.

La partie inférieure est celle de stockage d'eau décactionnée dégazée.

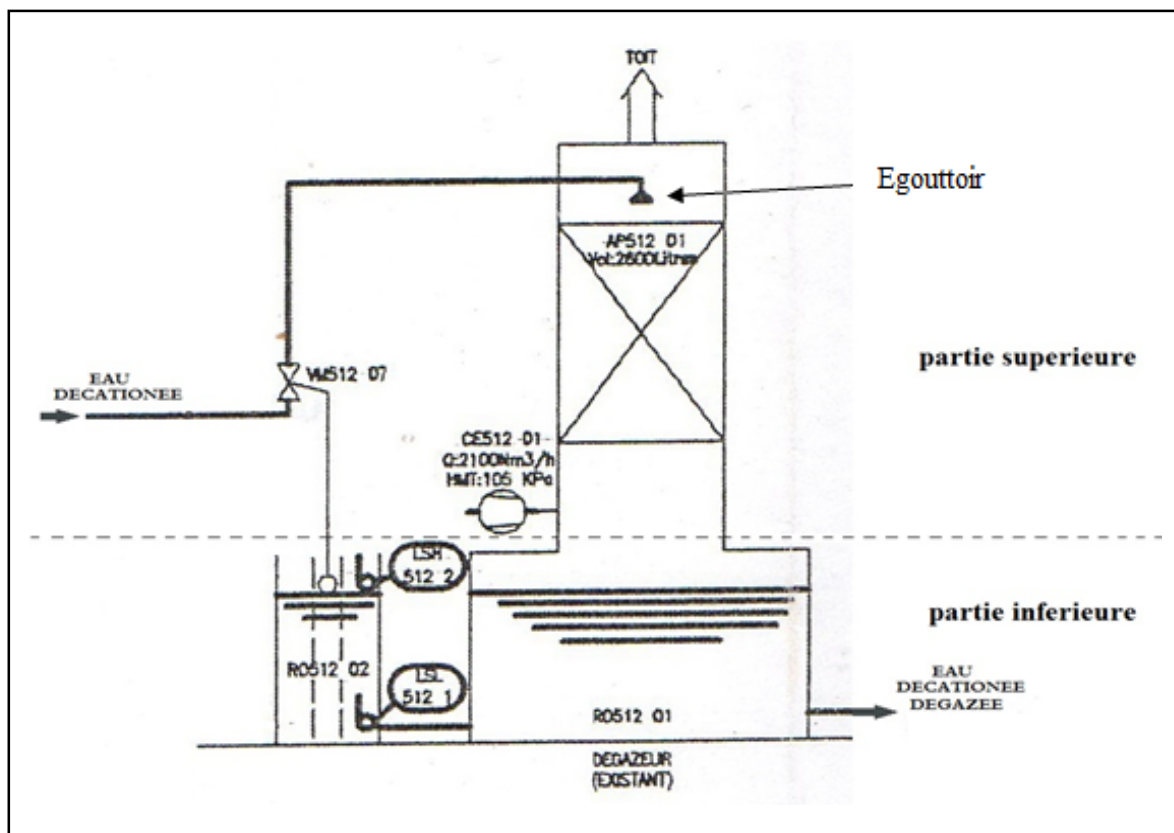


Figure 22 : Dégazeur

II.4. Les pompes [4][5][6]

La pompe est un dispositif qui assure la circulation d'un fluide dans une tuyauterie. La pompe aspire et refoule le fluide engendrant un accroissement de vitesse et de pression du fluide.

L'installation est équipée de deux types de pompes qui sont :

- Les pompes centrifuges.
- Les pompes doseuses.

II.4.1. Pompes centrifuges

Une pompe centrifuge accélère le fluide qui la traverse en lui communiquant une énergie cinétique par effet de la force centrifuge. Elle pompe le fluide en le forçant au travers d'une roue à aube. Par l'effet de rotation, le fluide est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement pour être enfin refoulé.

Selon les conditions d'utilisation, les pompes centrifuges se distinguent en deux types :

- Pompes centrifuges horizontales
- Pompes centrifuges verticales

L'installation comporte :

- Deux pompes centrifuges horizontales de type ETACHROM.NC 32-125 C 11 qui sont PC401 01 et PC401 02. Utilisées pour la reprise de l'eau de déminéralisation.
- Trois pompes centrifuges horizontales de type ETACHROM.NC 50-160 C 11 qui sont PC512 01, PC512 02 et PC512 03. Utilisées pour la reprise de l'eau décactionnée.
- Deux pompes centrifuges verticales de type MOVICHROM.NC 30/2-2.R qui sont PC401 03 et PC401 04. Utilisées pour le bouclage.

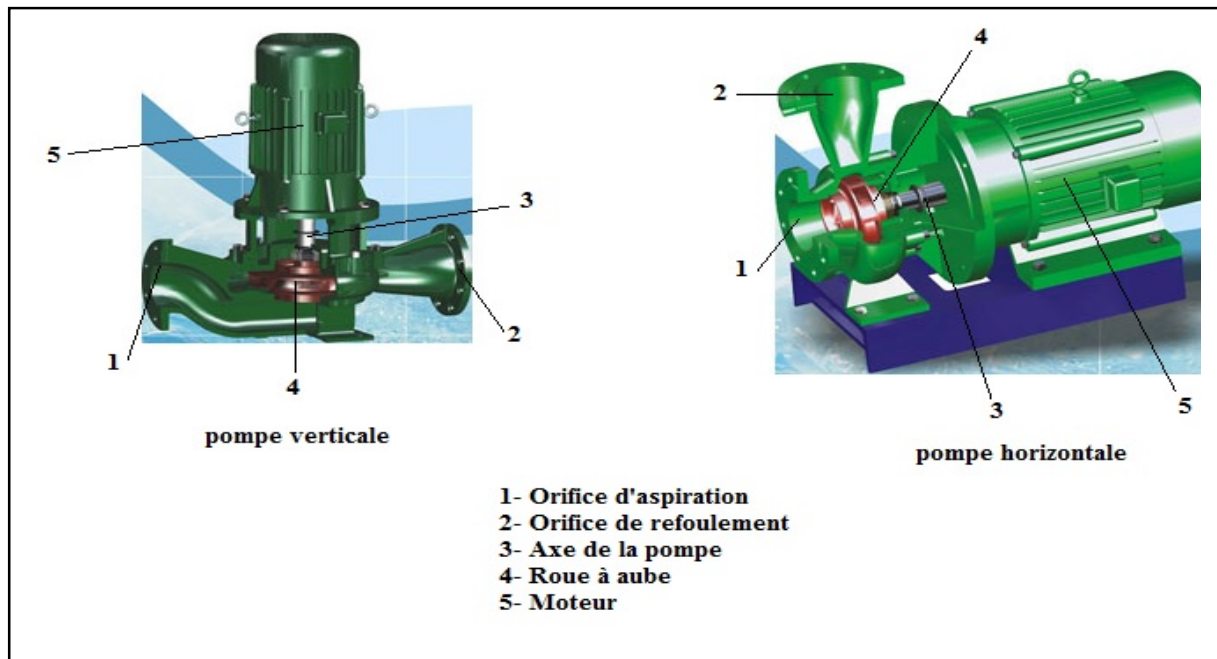


Figure 23 : pompes centrifuges

II.4.2. Pompes doseuses

Les pompes doseuses sont utilisées pour injecter avec précision des doses de réactifs de toute nature, on peut distinguer :

- Les pompes doseuses à membrane.
- Les pompes doseuses à piston.

Les pompes doseuse à piston sont dotés d'un moteur électrique qui entrain l'excentrique, la rotation de l'excentrique bascule la came à travers la bielle, ce qui agit sur le piston avec un mouvement rectiligne. Par conséquent, on aura deux phases de fonctionnement :

- **Phase d'aspiration :**

Lorsque le piston se déplace en arrière, le clapet d'aspiration se soulève et le liquide est aspiré à l'intérieur de la chambre de pompage, tandis que le clapet de refoulement est fermé.

- **Phase de refoulement :**

Lorsque le clapet se déplace en avant, le clapet d'aspiration se ferme et celui de refoulement s'ouvre permettant le refoulement du liquide pompé.

Le volume de la chambre de pompage dépend de la longueur de cours du piston, qui est ajusté par le volant de réglage.

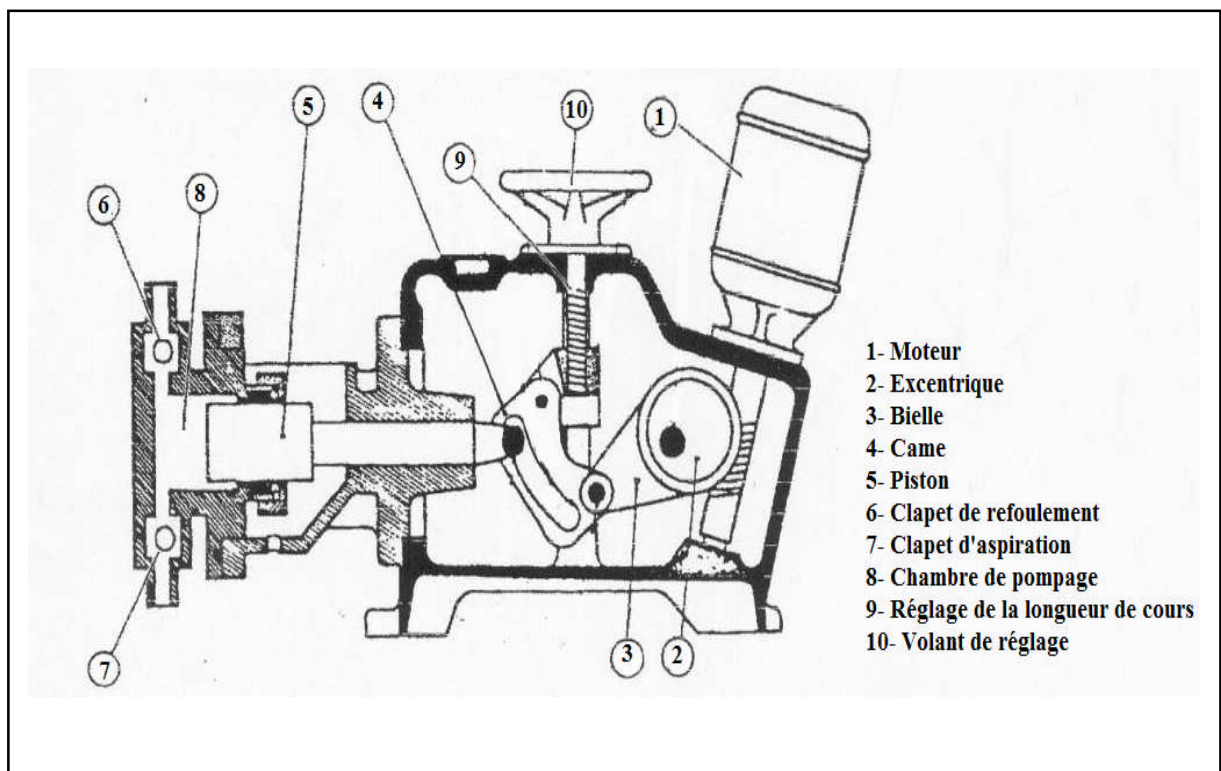


Figure 24 : Pompe doseuse à piston

Sur l'installation il y a :

- Deux pompes doseuses de type RB144K7H10 qui sont PD102 01 et PD102 02

Utilisées pour la distribution de l'acide chlorhydrique HCl.

- Deux pompes doseuses de type RB180L7P10 qui sont PD105 01 et PD105 02
Utilisées pour la distribution de lessive de soude NaOH.

II.5. Les vannes [4][7]

Une vanne est un dispositif permettant la circulation ou non d'un fluide dans un circuit pneumatique ou hydraulique.

II.5.1. Vannes pneumatiques

Ce sont des vannes TOR (tout ou rien) ou des vannes différentielles.

Les vannes TOR ne peuvent prendre que deux positions, ouvertes ou fermées, qui se traduit en terme de cours du clapet 0% ou 100%.

La canalisation des vannes TOR est bloquée ou libérée par une pression d'air comprimé.

Chaque vanne est menée d'une électrovanne de pilotage qui permet le passage de l'air comprimé dans le servomoteur, qui est l'organe permettant d'actionner la tige de clapet de la vanne. La pression dans le servomoteur produit le mouvement de la tige et du clapet impliquant l'ouverture de la vanne. Le ressort se charge du retour de la tige et du clapet à la position normale en absence de l'air comprimé, conduisant ainsi à la fermeture de la vanne.

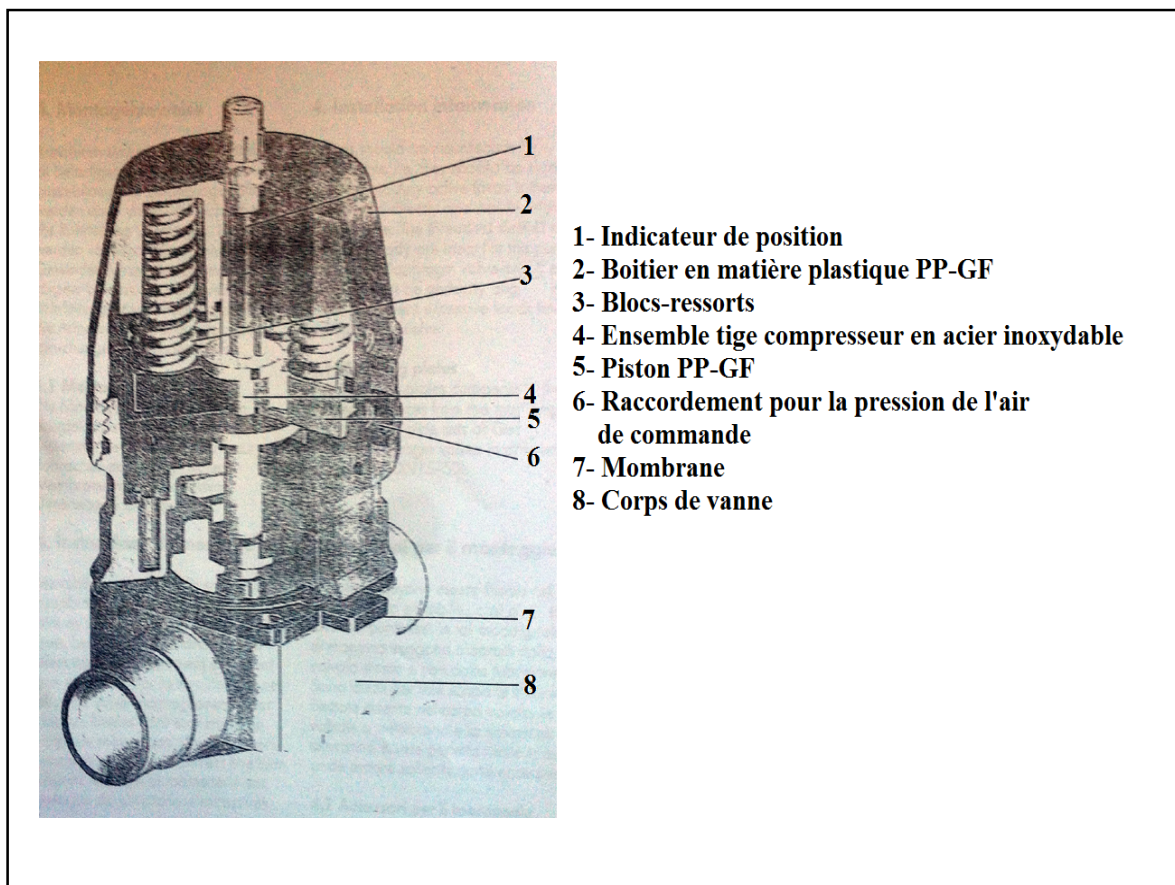


Figure 25 : Vanne pneumatique

L'installation comporte des vannes automatiques pneumatiques de type GF.

II.5.2. Electrovanne

L'électrovanne est un pré-actionneur électromagnétique. Elle est souvent appelée bobine. Elle permet le passage du fluide véhiculé dans le circuit pneumatique ou hydraulique.

Elle est constituée d'un corps de vanne et d'une bobine.

Le corps de la vanne sert à la circulation du fluide.

La bobine est alimentée électriquement engendrant une force magnétique qui déplace le noyau mobile, qui agit sur l'orifice de passage. L'orifice de passage libère la chambre de pression, ce qui conduit à la déformation de la membrane permettant ainsi le passage du fluide.

Pour maintenir le noyau attiré, la bobine doit être alimentée d'une façon permanente par une tension continue.

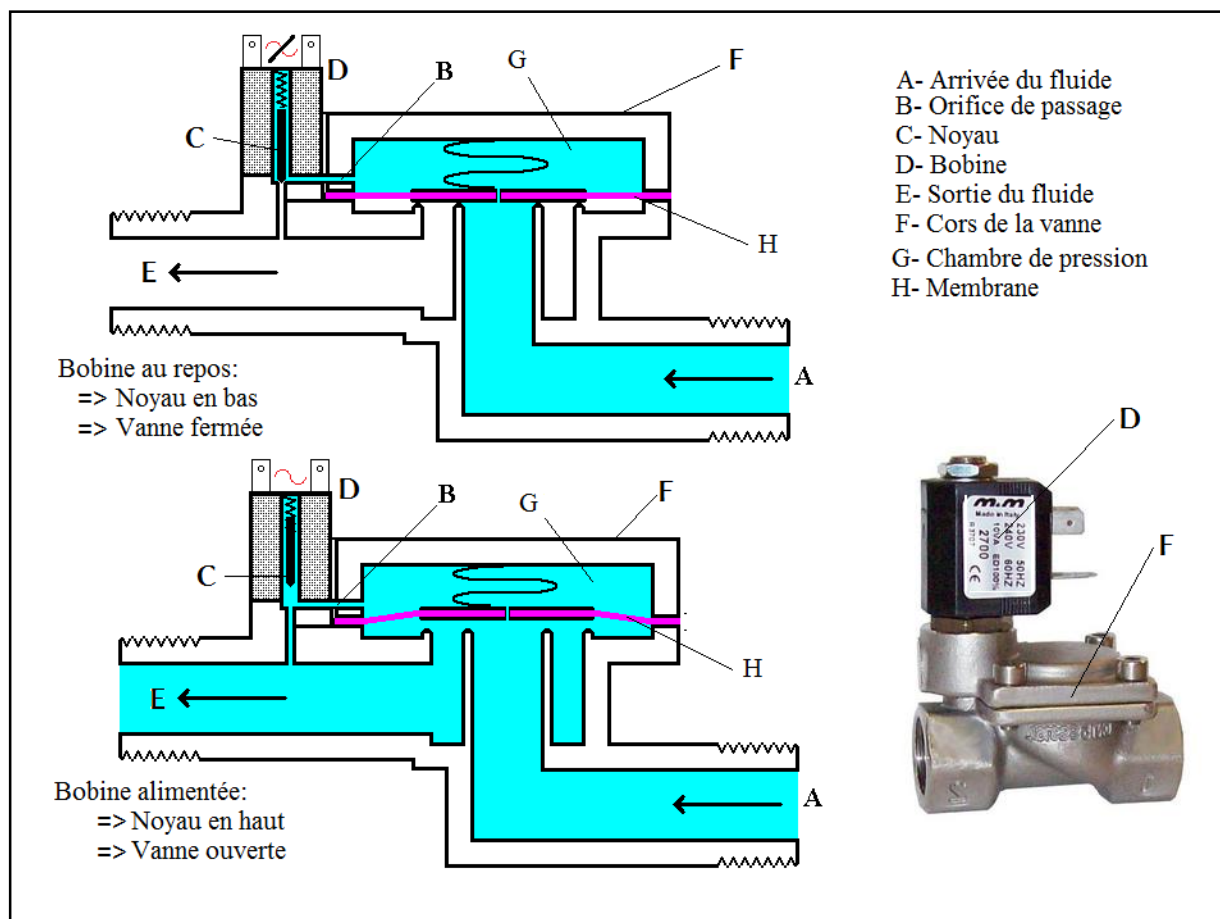


Figure 26 : Electrovanne

II.5.3. Vannes d'isolements

Ce sont des vannes manuelles servant à isoler un circuit hydraulique en coupant la circulation du fluide du reste d'une installation. Elles sont très utiles dans les cas d'urgences, ou dans les cas de besoin d'effectuer des maintenances locales.

II.6. Débitmètres [4]

Les débitmètres sont des appareils de mesure du débit d'un fluide ou d'un gaz s'écoulant dans une canalisation.

Les débitmètres varient selon le niveau du débit et la nature du fluide.

On peut citer :

- Débitmètres basés sur la mesure de la vitesse du fluide.
- Débitmètres à flotteurs, affiche la position d'équilibre d'un flotteur soumis à un courant dans une tube conique verticale.
- Débitmètres massiques.

Un débitmètre peut être utilisé sur un réseau d'eau. Dans ce cas on utilise un débitmètre à insertion, c'est-à-dire qu'il est directement posé dans la canalisation. Le débitmètre est utilisé soit pour faire sectorisation de réseau d'eau, soit pour mesurer précisément la consommation de l'eau.

L'installation de déminéralisation comporte des débitmètres de type IDP (Indicateur de Débit Plastique) qui mesurent la consommation et d'autres qui affichent le débit de l'eau brute, décactionnée et déminéralisée.

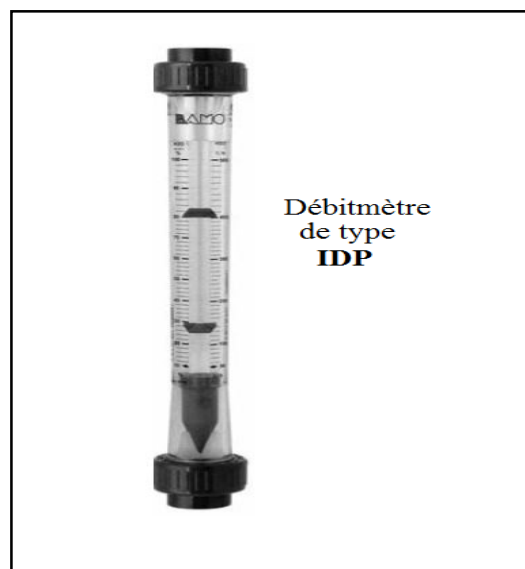


Figure 27 : Débitmètre de type IDP

II.7. Capteurs [4]

Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou la déviation d'une aiguille. Grâce à des lois élémentaires sur la physique le capteur prélève une

information physique (température, luminosité, humidité, débit, présence d'objet,...) et produit un signal électrique.

- **Des détecteurs de niveau de type BRK 60 SFA**

Ce capteur fonctionne à base d'un flotteur relié par un câble sur deux poulies qui fait coulisser un contrepois dans un tube extérieur transparent. Le contrepois équipé d'un aimant peut commander autant de contacts disposés à l'extérieur du tube (Figure 28).

- **Résistivimètre de type 9125**

Il est destiné à mesurer en continu la résistivité dans un procédé industriel. Il est équipé d'une sonde de conductivité, deux électrodes et afficheur de résistivité.

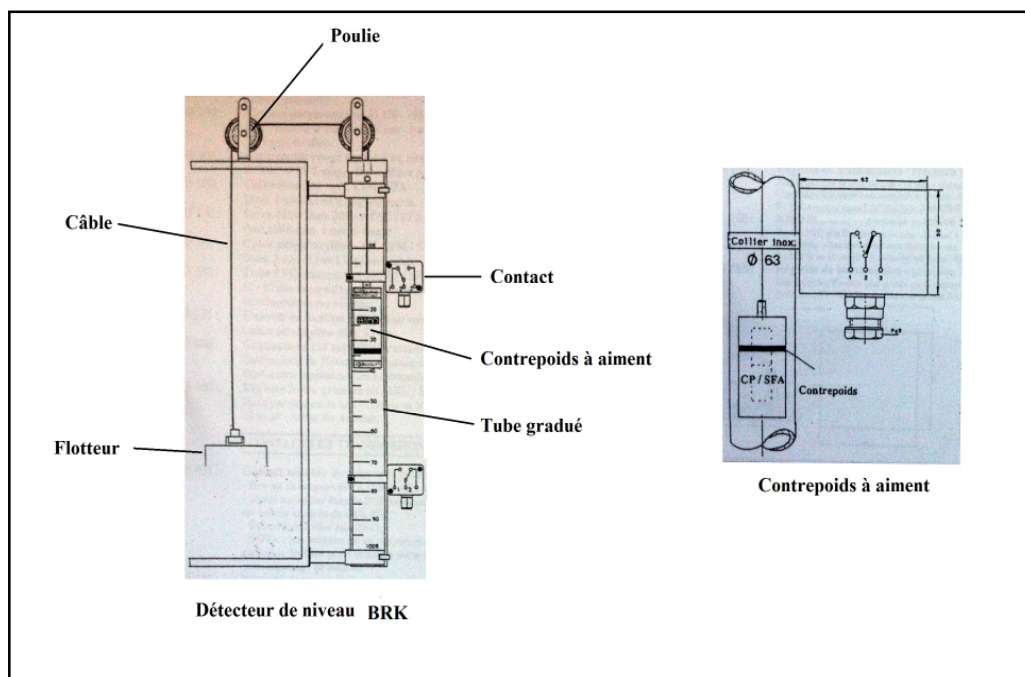


Figure 28 : détecteur de niveau BRK 60 SFA

III. Éléments constituant l'armoire de commande [4][8]

L'armoire de commande électrique est un boîtier qui contient un réseau de distribution électrique.

L'armoire de commande est constituée des éléments suivants :

III.1. Automate programmable industriel

Dans l'industrie, on l'appelle souvent un Automate Programmable Industriel « API ». Un API est un dispositif électronique programmable destiné à automatiser des processus.

L'automate programmable reçoit des données par ses entrées, celles-ci sont ensuite traitées par un programme défini, le résultat obtenu est délivré par ses sorties.

L'automate utilisé pour l'automatisation de l'installation de déminéralisation est l'automate TSX 57.102 Premium de Schneider.

Il est constitué de :

- Un module d'alimentation PSY2600
- Une CPU TSX P57 102
- Deux modules d'entrées TSX DEY64D2K
- Cinq modules de sorties TSX DSY16R5

III.2. Contacteur

Un contacteur est un appareil électromagnétique destiné à établir ou interrompre le passage du courant à partir d'une commande électrique. Il est constitué de (figure 29) :

- Une bobine.
- Un ressort de rappel.
- De deux à quatre contacts de puissance.
- Un circuit magnétique composé d'un aimant fixe et d'un aimant mobile (armature fixe et mobile).
- Des contacts auxiliaires ouverts ou fermés.

Lorsque la bobine est alimentée, un champ magnétique se forme, l'armature mobile est alors attirée par l'aimant fixe (armature fixe) et les contacteurs se ferment (ou s'ouvrent selon le modèle).

Quand l'énergie d'alimentation disparaît de la bobine, le ressort de rappel sépare les deux parties de l'armature (fixe et mobile) engendrant l'ouverture des contacts de puissance (ou la fermeture).

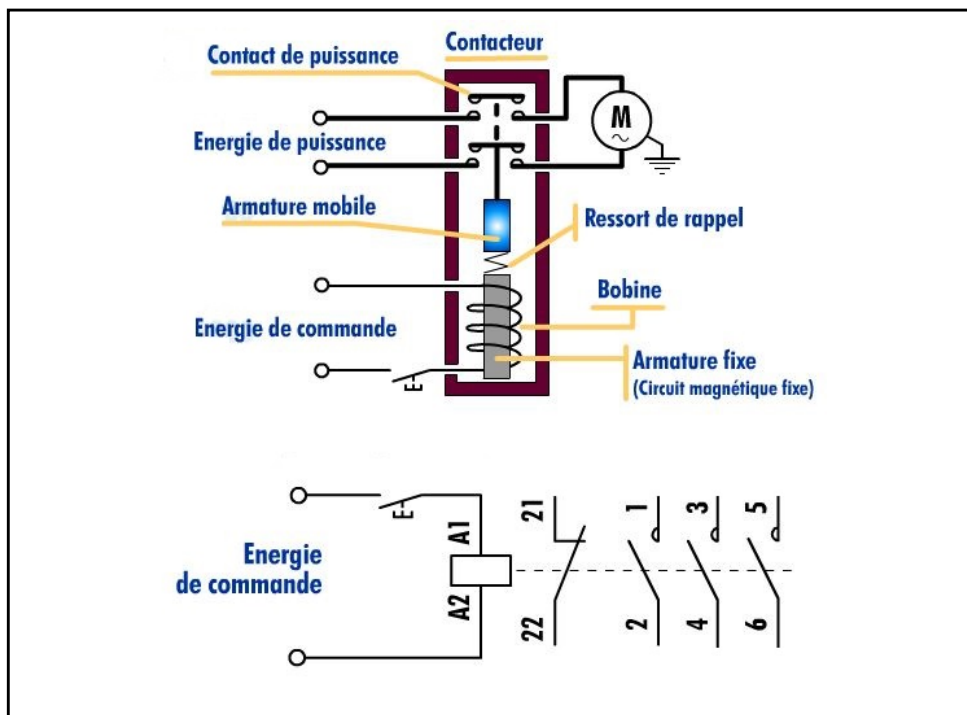


Figure 29 : figure illustrant un contacteur

Les contacteurs utilisés dans l'armoire de commande sont de type LC1D.

III.3. Disjoncteur magnétothermique

Un magnétothermique est un dispositif capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit. Il assure en plus de la protection contre les courts-circuits, une protection contre les surcharges et les surintensités. (Figure 30)

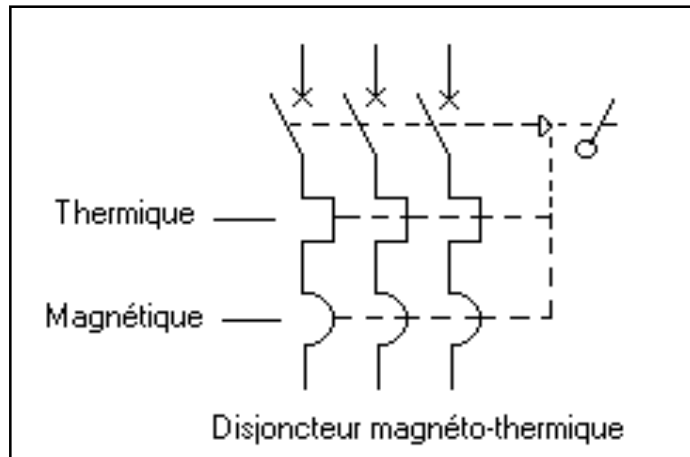


Figure 30 : Disjoncteur magnétothermique

L'armoire de commande possède des disjoncteurs magnétothermiques de type GV2ME14/6-10A.

III.4. Afficheur de résistivité

C'est un composant électronique mené d'un écran d'affichage. Il sert à afficher la résistivité de l'eau déminéralisée.

L'armoire possède deux afficheurs de résistivité, un est consacré pour la résistivité de la chaîne 01 et l'autre pour la résistivité de la chaîne 02.



Figure 31 : Afficheur de résistivité

IV. Conclusion

Les équipements industriels sont des éléments primordiaux dans la réalisation des procédés industriels. Dans cette partie du mémoire, nous avons exposé les différents équipements de l'installation de déminéralisation d'eau, l'identification de ces équipements, la compréhension et la maîtrise de leurs fonctionnements nous permettra d'une part, de bien étudier l'amélioration envisagée et d'autre part, d'identifier les équipements manquants pour la concrétisation de l'amélioration.

CHAPITRE III

La solution réseau pour le contrôle des installations industrielles

I. Introduction [9][10]

Un réseau est un ensemble d'ordinateurs ou boîtiers reliés entre eux par un support de transmission. Ces éléments communiquent entre eux à partir des règles appelées « Protocoles ». Il est caractérisé par :

- Sa taille, par exemple :
 - Le réseau WPAN (Wireless Personal Area Network)
 - Le réseau LAN (Local Area Network). Utilisé dans des distances supérieures à 10km, son débit est compris entre 10Mo/s et 10Go/s.
 - Le réseau MAN (Metropolitan Area Network). Utilisé dans des distances supérieures à 100km, son débit est compris entre 56Ko/s et 1Go/s.
 - Le réseau WAN (Wide Area Network).
- La technologie de la transmission :
 - Diffusion (canal partagé par toutes les machines).
 - Point à point (connexion entre machines 2 à 2).

Les réseaux se distinguent en :

- Réseaux publics : Les réseaux publics sont des réseaux qui couvrent une longue distance dont le protocole de communication utilisé est dépendant des organisations PPT.
- Réseaux locaux : Un réseau local est un réseau qui couvre une zone géographique limitée dont on peut choisir le protocole de communication à utiliser indépendamment des organisations PPT. Il existe plusieurs types de réseaux locaux, on peut citer :
 - Les réseaux locaux industriels.
 - Les réseaux locaux d'entreprise.

Tout réseau peut être approché par le modèle théorique général **OSI** (Interconnection des Systèmes Ouverts). Un système est dit ouvert s'il permet la communication entre des équipements de constructeurs différents, contrairement aux systèmes privés qui communiquent uniquement entre équipements de même constructeur.

Le modèle OSI définit le fonctionnement d'un réseau en sept couches (Tableau 1). Chaque couche correspond à un type de problème à résoudre pour pouvoir communiquer.

7	Couche application
6	Couche présentation
5	Couche session
4	Couche transport
3	Couche réseau
2	Couche liaison de données
1	Couche physique

Tableau 1: Les sept couches du modèle OSI

1. **La couche physique** : appelée couche matériel. Elle permet d'adapter les signaux numériques aux supports de transmission. Il s'agit du support physique sur lequel les informations sont véhiculées.
2. **La couche liaison des données** : elle fiabilise les échanges de données entre les stations sur le même support physique.
3. **La couche réseau** : elle assure la recherche d'un chemin et l'acheminement des données entre deux stations qui ne sont pas sur le même support physique.
4. **La couche transport** : elle assure la communication directe entre la machine source et la machine destinataire (contrôle bout en bout entre stations terminales)
5. **La couche session** : elle synchronise et gère les échanges pour le compte de la couche présentation. C'est dans cette couche que la communication est organisée : démarrage, interruption, reprise de la communication.
6. **La couche présentation** : elle permet d'accepter des synthèses différentes pour les données échangées entre les couches application.
7. **La couche application** : elle donne au processus d'application le moyen d'accéder à l'environnement OSI.

Le modèle OSI est un modèle général, toutefois, dans les réseaux locaux les sept couches ne sont pas toutes utilisées.

Dans ce chapitre on va s'intéresser à l'étude des réseaux locaux industriels.

II. Réseaux locaux [9][10][11][12]

Un réseau local est l'application du modèle OSI réduit qui comporte les couches suivantes (Tableau 2) :

Application	
Liaison de données	LLC
	MAC
Physique	

Tableau 2: Modèle OSI réduit pour un réseau local

La couche liaison des données définit les trames à transmettre et la gestion de l'accès au medium. Cette couche est scindée en deux sous-couches : la sous-couche MAC et la sous-couche LLC.

- La sous-couche MAC :

MAC signifie : contrôle d'accès au support (Medium Access Control). Son rôle est d'assurer l'accès au support de transmission. La plupart des transmissions sont de nature électrique, un problème se pose lorsque deux stations veulent émettre sur le medium. Plusieurs méthodes existent pour s'assurer que deux stations ne transmettent jamais de trames simultanément. On peut citer :

- Gestion par compétition : CSMA/CD, CSMA/CA ou BA
- Gestion par droit de parole explicite ou consultation : Jeton sur l'anneau, jeton sur bus.
- Trame circulante.

- La sous-couche LLC :

LLC signifie : contrôle de la liaison logique (Logical Link Control). Cette sous-couche utilise la sous-couche MAC pour offrir à l'utilisateur des services tels que : l'émission et la réception des trames, l'établissement et la fermeture des connexions logiques, la détection des erreurs de séquençement des trames, le contrôle de flux.

II.1. Topologie des réseaux locaux

La topologie d'un réseau c'est le mode d'interconnexion physique des différents éléments du réseau. On distingue plusieurs topologies (figure 1) :

a- Topologie en Bus

Un réseau a une topologie en bus lorsque tous les éléments sont reliés à une même ligne de transmission par l'intermédiaire de câbles.

b- Topologie en étoile

Un réseau a une topologie en étoile lorsque tous les éléments sont raccordés par des liaisons points à points à des nœuds qui sont chargés de réémettre la trame, ces nœuds sont généralement répéteur ou commutateur

c- Topologie en anneau

Un réseau a une topologie en anneau lorsque tous les éléments sont connectés en chaîne les uns aux autres par une liaison bipoint de la dernière à la première. chaque élément joue le rôle d'intermédiaire.

Les équipements utilisés comme des nœuds pour interconnecter les éléments d'un réseau sont les commutateurs et les répéteurs :

- Le répéteur (hub) :

Le répéteur est un composant électronique d'interconnexion possédant des ports. Les données reçues sur un port sont envoyées à tous les autres ports. Le répéteur ne possède pas de mémoire interne et diffuse les collisions ; plus il y a d'équipements, plus il y a de collisions et plus la charge est importante.

- Le commutateur :

Le commutateur est utilisé pour de plus longues distances. Il transmet les données reçues sur un port, seulement vers le port sur lequel la station destinataire est connectée. Il assure la prolongation du support au-delà des limites en distance. Il supprime les collisions et les paquets non valides et réduit la charge moyenne sur le réseau entier.

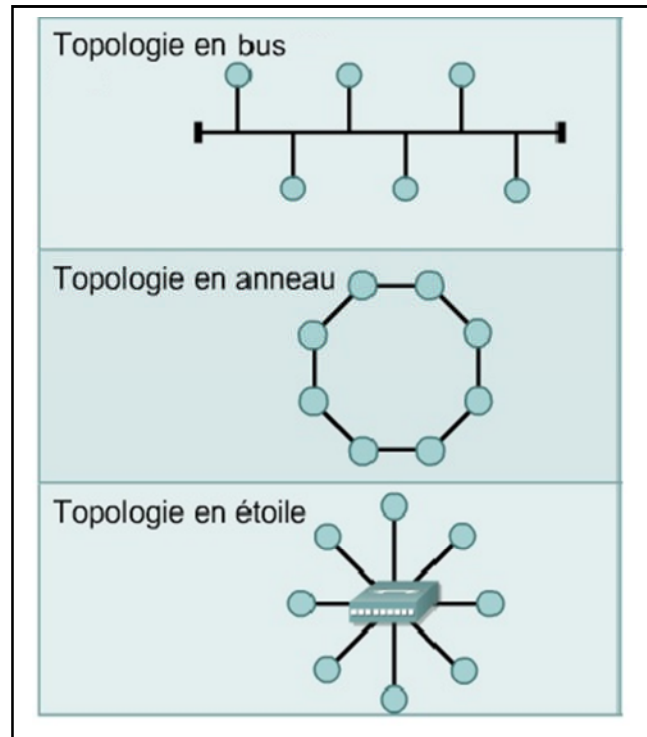


Figure 32: Les différentes topologies de connexion des réseaux locaux

II.2. Support de transmission :

II.2.1. Paire torsadée :

Ce sont des conducteurs métalliques en cuivre ou en aluminium de diamètre compris entre 0.4 et 1 mm. Ces paires sont isolées les une des autre par des gaines. Elle est caractérisée par :

- Débit limité (centaine de Mbits/s)
- Très utilisée (téléphone, réseaux locaux)
- Large infrastructure existante.

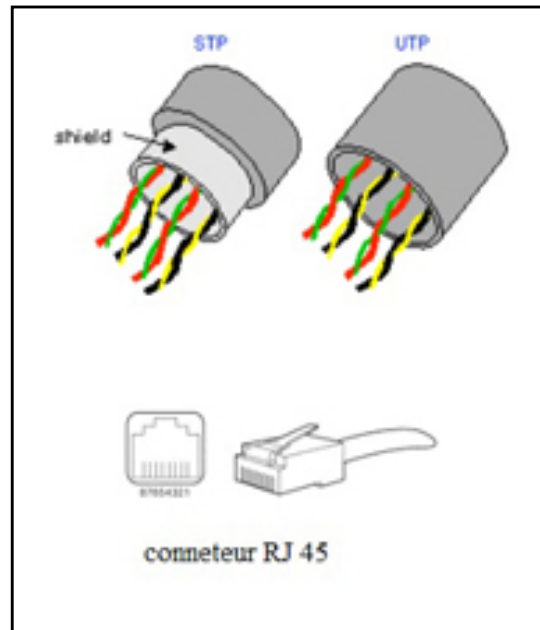


Figure 33: Paire torsadée

II.2.2. Câble coaxial :

Les câbles coaxiaux ont une impédance définie entre 50 et 200 ohm. L'avantage de ces câbles est la faible perte et la possibilité de blindage pour éviter le parasitage avec les câbles électrique. Il est caractérisé par :

- Meilleure protection contre les interférences.
- Distance plus élevée et meilleur débit (1 à 2 Gbits/s sur 1km)

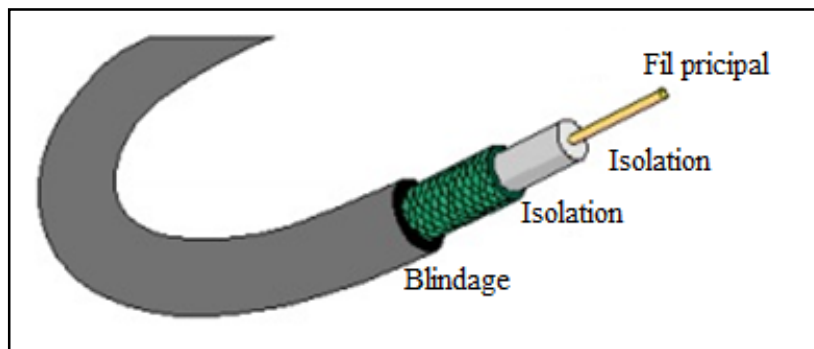


Figure 34: câble coaxial

II.2.3. Fibre optique :

La fibre optique est un support physique permettant la transmission de données à haut débit grâce à des rayons optiques. Elle fait circuler un faisceau lumineux qui est le support de l'information, ce qui permet au signal d'être isolé des perturbations extérieures. Elle est constituée de trois éléments :

- Le cœur c'est la partie de la fibre servant à la propagation des rayons lumineux.
- La gaine optique entourant le cœur, constitué d'un matériau dont l'indice de réfraction est inférieur à celui du cœur, de manière à confirmer la propagation du rayon lumineux.
- Le revêtement de protection permettant d'assurer une protection mécanique de la fibre optique.

Elle est caractérisée par :

- Très haut débit (50000 Gbits/s théorique) et très bonne fiabilité.
- La distance maximum sans répéteur est de 50 km.

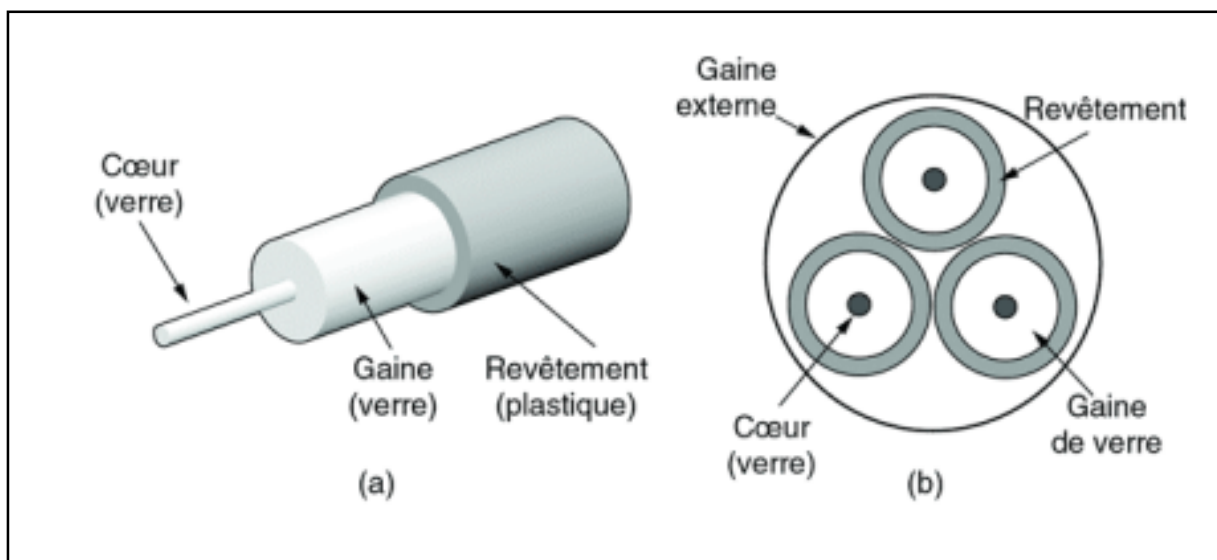


Figure 35 : câble fibre optique

Les signaux sur le support de transmission se distinguent en deux types :

- Transmission en bonde de base :
 - Le code NRZ (No Return to Zero) et le code NRZI (No Return to Zero Integrated)
 - Le code MANCHESTER
 - Le code MANCHESTER différentiel.
 - Le code Miller
- Transmission par modulation
 - Transmission en modulation d'amplitude ;
 - Transmission en modulation de fréquence ;
 - Transmission en modulation de phase.

III. Réseaux Locaux Industriels

Un réseau local industriel est un réseau local utilisé dans usine ou tout système de production pour connecter diverses machines afin d'assurer la commande, la surveillance, la supervision, la conduite, la maintenance, le suivi de produit, la gestion... en un mot, l'exploitation de l'installation de production.

III.1. Différents niveaux d'un réseau local industriel (le concept CIM)

CIM (Computer Integrated Manufactured) signifie : l'intégration de l'ordinateur dans la production. Ce concept définit la pyramide ou la hiérarchisation des niveaux de réseau d'une manière générale suivant la figure 36.

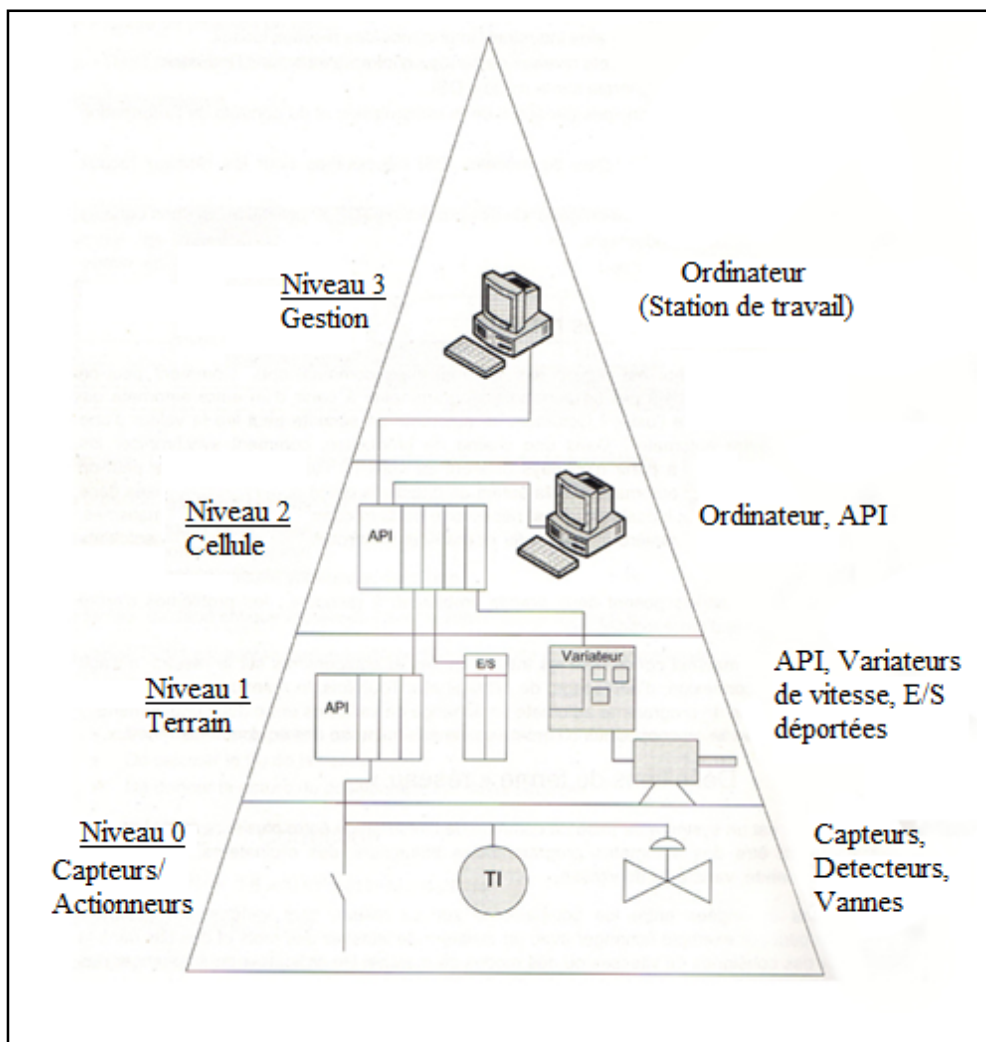


Figure 36 : pyramide de la hiérarchisation des niveaux d'un RLI

Niveau 0 : C'est le plus bas de l'échelle de l'automatisation où se trouve la partie opérative tels que les capteurs, les détecteurs, les vannes, les actionneurs...

Niveau 1 : Appelé niveau de terrain. A ce niveau on trouve les modules déportés d'entrées/sorties, les automates esclaves, les variateurs de vitesse, les départs moteurs, ...

Niveau 2 : Ce niveau est appelé niveau de cellule. Il comporte des automates maitres et des ordinateurs qui sont des postes de conduite, permettant de visualiser l'état du procédé, de contrôler et de commander les actionneurs.

Niveau 3 : C'est le plus haut niveau de l'échelle de l'automatisation, appelé niveau de gestion. C'est à ce niveau que s'effectuent l'interconnexion et la gestion de plusieurs parties qui sont de niveau 2.

L'interconnexion entre ces niveaux se fait à travers différents protocoles de communication tel que :

- L'interconnexion entre le niveau 0 et le niveau 1 est assurée par les protocoles : ASI (Actuators Sensors Interface), CAN (Controller Area Network), ...
- L'interconnexion entre le niveau 1 et le niveau 2 est assurée par les protocoles : MODBUS, Profibus, ...
- L'interconnexion entre le niveau 2 et le niveau 3 est assurée par les protocoles : Ethernet, MODBUS Plus, ...

III.2 Différents types d'interconnexion entre les niveaux d'un réseau local industriel

III.2.1 Réseau Ethernet (TCP/IP)

Le standard Ethernet est le protocole le plus répandu dans les réseaux locaux. Ethernet est l'équivalent des couches liaison et physique de la norme des réseaux du modèle OSI. Il assure l'interconnexion entre différents équipements (ordinateurs, API ...) sur une topologie bus partagé ou étoile.

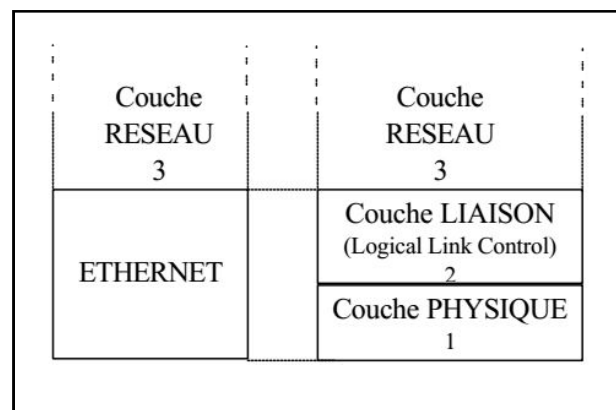


Figure 37 : Equivalence entre Ethernet et les couches physique liaison

Ethernet définit principalement :

- Le support d'interconnexion des machines (média).
- Le signal sur le support : codage, débit.
- La manière d'accéder au support, c'est à dire comment pouvoir émettre sur la ligne.
- Les trames qui circulent sur le support d'interconnexion des machines, c'est à dire les trames échangées entre les couches Ethernet.

Le support de transmission utilisé dans les réseaux Ethernet est :

- La paire torsadée
- Le câble coaxial
- La fibre optique

III.2.1.1. Le signal sur le support de transmission

Ethernet adopte sur le support de transmission le signal numérique bande en base. Elle utilise le code MANCHESTER. Ce code revient à faire un OU EXCLUSIF entre l'horloge et le signal binaire de l'émetteur.

Un bit à 0 entraîne une transition descendante au milieu du bit, un bit à 1 entraîne une transition montante au milieu du bit. Le récepteur reçoit le signal codé Manchester. Ce codage est intéressant car le signal codé présente une transition à chaque bit transmis, il permet ainsi au récepteur de "caler" son horloge de réception à l'aide de ces transitions au milieu des bits, l'échantillonnage du signal reçu s'effectue ainsi convenablement afin de restituer correctement le signal binaire.

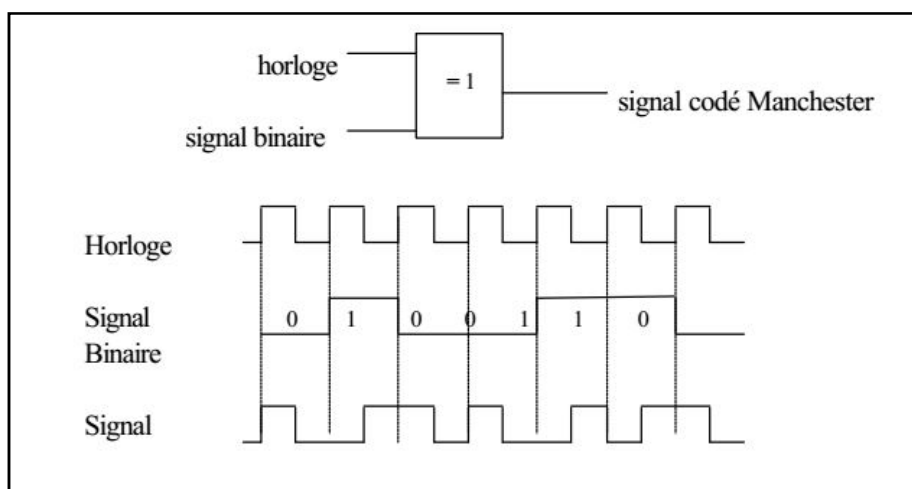


Figure 38 : signal de code

III.2.1.2 Accès au support de transmission

Chaque périphérique d'un réseau Ethernet à un accès au support de transmission où il diffuse des messages sous forme de trames afin de communiquer avec les autres périphériques du ce réseau. Lorsque plusieurs périphériques transmettent des trames simultanément, les trames circulantes entre en collision. Pour remédier à ce problème, Ethernet a adopté la méthode CSMA/CD (Carrier Sensor Multiple Access/ Collision Detection).

a- La méthode CSMA/CD à l'émission

C'est une technique pour pouvoir accéder au support de transmission et pour gérer les collisions, elle ne donne pas un accès exclusif au canal mais essaye d'éviter les collisions.

- **CS** (Carrier Sensor) : Capacité à détecter tout trafic sur le canal (Ecouter avant de parler), s'il y a trafic on ne tente pas l'émission, mais à cause des temps de propagation du signal, deux stations peuvent émettre en même temps c'est ce qu'on appelle une collision.
- **MA** (Multiple Access) : Chaque station a potentiellement accès au canal lorsqu'elle a besoin d'émettre, mais il faut que le canal soit libre.
- **CD** (Collision Detection) :, C'est la capacité d'une machine émettrice à détecter le changement de niveau de tension et de l'interpréter comme une collision : Ecouter pendant que l'on parle et arrêter de parler si une autre station parle.

L'organigramme de la figure 8 décrit le fonctionnement de la méthode CSMA/CD à l'émission tout en respectant les règles suivantes :

- Une station qui veut émettre doit avant de le faire tester si le support est libre, c.a.d. s'il n'y a pas de signal sur le câble. On dit qu'elle écoute la ligne.
- Elle peut émettre si le support est libre mais en même temps elle doit toujours écouter la ligne.
- Si deux (ou plusieurs) stations détectent le support libre et émettent en même temps, les divers signaux électriques émis produisent une " collision ".
- Les stations émettent et écoutent en même temps, si une collision est détectée les stations doivent alors arrêter d'émettre, chacune attendant un délai aléatoire différent avant de recommencer l'écoute du support. L'une d'entre elles pourra donc émettre dès que le support sera libre.

- Si une collision est détectée, les stations concernées émettent sur le support un signal de brouillage (appelé jam) afin de renforcer la collision pour que toutes les stations du réseau réalisent qu'une collision s'est effectivement produite.
- Le calcul de l'attente aléatoire après une collision est effectué suivant un algorithme spécial appelé "backoff".
- Une station peut faire jusqu'à 16 tentatives d'émission d'une même trame.

Une collision se traduit par une augmentation de l'amplitude des signaux électriques sur la ligne ainsi que par un non-respect des règles du code Manchester.

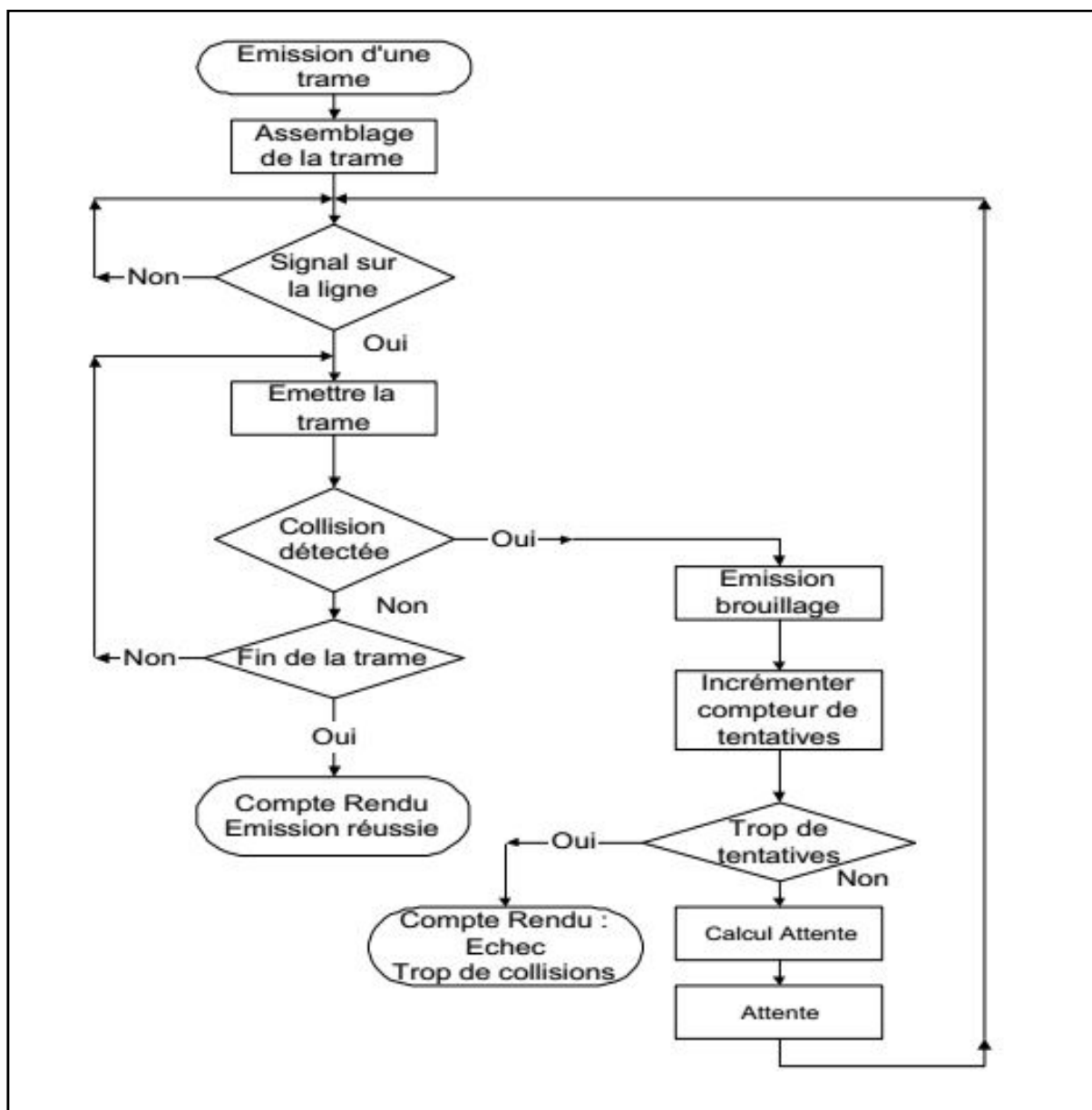


Figure 39 : Organigramme décrivant la méthode CSMA/CD à l'émission

b- La méthode CSMA/CD à la réception

L'organigramme de la figure 9 décrit le fonctionnement de la méthode CSMA/CD à la réception tout en respectant les règles suivantes :

- Le récepteur vérifie que la trame n'est pas trop courte et qu'il n'y a pas de collision pendant la réception.
- Les trames reçues sont acceptées si le contenu du champ adresse destination de la trame correspond à un des cas suivants :
 - Il contient l'adresse Ethernet de la station
 - Il correspond à l'adresse de groupe (multicast) dont fait partie la station.
 - Il contient l'adresse de diffusion (broadcast) ff:ff:ff:ff:ff:ff.

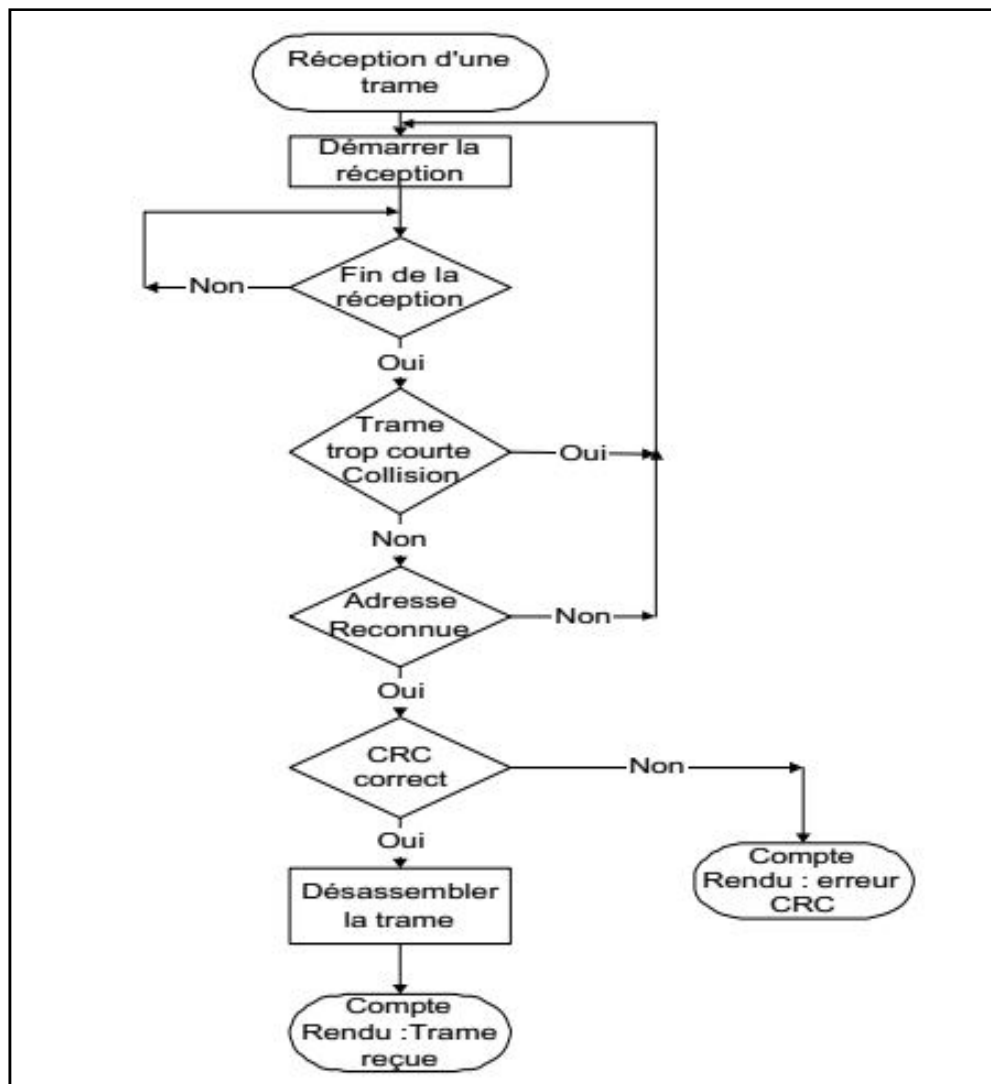


Figure 40 : organigramme décrivant la méthode CSMA/CD à la réception

L'adresse FF:FF:FF:FF:FF:FF est l'adresse de diffusion généralisée : toutes les stations connectées sur un réseau local lisent ce type de trame.

Chaque station connectée sur le réseau doit être en état de recevoir à n'importe quel moment, en revanche, elle n'émet que quand elle en reçoit l'ordre.

III.2.1.3 Trame Ethernet

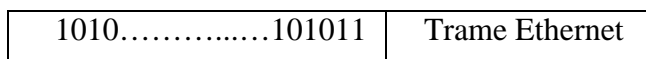
La trame Ethernet est le message communiqué entre deux machines (ou plusieurs) source et destinataire via le support de transmission. Elle d'une taille minimale de 64 octets et d'une taille maximale de 1518 octets.

La trame Ethernet se compose de la manière suivante :

Préambule (7 octet)	SFD (1 octet)	Adress destination 6 octet	Adress source (6 octet)	Type (2 octet)	Données (46 à 1500 octet)	CRC (4 octet)
------------------------	------------------	----------------------------------	-------------------------------	-------------------	---------------------------------	------------------

- **Préambule et SFD :** La trame Ethernet émise est toujours précédée d'un Préambule suivi d'un SFD (Start of Frame Delimiter). Le préambule à une taille de 7 octets identiques dont la valeur est 10101010 dans l'ordre émis. Le SFD est constitué d'un octet dont la valeur est 10101011 dans l'ordre émis. Les 2 derniers bits à 1 du SFD signifient aux récepteurs le début utile de la trame Ethernet.

Le préambule et le SFD permet de synchroniser l'horloge de réception de toutes les stations.



- **Les adresses Ethernet :** Chaque machine a sa propre adresse Ethernet (adresse MAC). Elle permet d'identifier de manière unique chaque machine connectée sur un réseau Ethernet.

Les trames qui circulent sur un réseau local sont reçues par toutes les machines grâce à la couche Ethernet qui ensuite filtre les trames lues, c.à.d. qu'elle ne conserve que les trames qui lui sont destinées.

- **Adresse destination :** Ce champ identifie l'adresse de la destination. Cette adresse est codée sur 6 octets. Elle est utilisée par les périphériques pour déterminer si une trame leur est adressée. L'adresse de la trame est comparée à l'adresse MAC du périphérique. Si les deux correspondent, le périphérique accepte la trame.

- **Adresse source** : Ce champ permet d'identifier l'interface ou la carte réseau émettrice de la trame. Cette adresse est codée sur 6 octets.
- **Type** : Ce champ de 2 octets a pour objectif de désigner un type, il décrit le protocole mis en œuvre.
- **Données** : Les données à transmettre sont codées sur 46 octets au minimum et 1500 octet au maximum. Lorsque la longueur de la trame de données est inférieure à 46 octets, la trame est complétée par un contenu sans signification appelé bourrage (padding) codé sur 1 octet.
- **CRC** : Le CRC est une valeur sur 32 bits (4 octets) calculée par l'émetteur à partir des données à transmettre. Le CRC est transmis à la fin de la trame. Le pilote Ethernet, qui s'identifie comme étant la station destinataire de la trame, utilise ce CRC reçu pour vérifier qu'il n'y a pas eu d'erreur lors de la transmission. Si une erreur est détectée, le pilote Ethernet doit signaler cette erreur à la couche supérieure.

III.2.1.4 Le protocole TCP/IP

Le protocole TCP/IP se positionne sur une partie des couches du modèle OSI notamment : la couche transport, la couche réseau, la couche application.

TCP se charge de découper les données en section plus petites dites paquets. Ces paquets peuvent circuler indépendamment les uns des autres. IP assure l'envoi de ces paquets vers la bonne destination. Chaque paquet comporte une étiquette avec son numéro d'ordre, son adresse de destination, ainsi que l'identification de l'émetteur.

Il peut arriver que les paquets n'empruntent pas tous le même chemin pour arriver à destination notamment parce que un routeur c'est rendu compte qu'un chemin est complètement saturé. Ces paquets sont donc aiguillés vers d'autres chemins.

Sur le site de destinataire les paquets n'arrivent pas forcément dans le bon ordre. Ils sont remis en séquence à mesure de leur arrivés grâce à leur numéro d'ordre.

- **Protocole TCP**

TCP signifie Transmission Control Protocol.

C'est un processus permettant d'établir un dialogue à propos du transfert de données. Il y a des accusés réception, des demandes d'émission, qui permettent aux applications de savoir exactement où en est le processus de transfert de données.

- **Adresse IP**

IP signifie Internet Protocol.

L'adresse IP repose sur le concept d'hôte et réseau. Un hôte est tout ce qui peut envoyer ou recevoir les trames IP sur le réseau. Il peut s'agir d'un automate programmable, d'une station de travail, d'un routeur.

Les hôtes sont connectées entre elles sur un ou plusieurs réseaux. L'adresse IP de n'importe quel hôte est le rassemblement de :

- Une adresse du réseau où il se trouve.
- Une adresse personnelle sur ce réseau.

La taille de la partie adresse de réseau et la taille de la partie hôte dépend du type de réseau où il se trouve.

Les adresses IP sont codées sur 32 bits répartis en 4 octets (soit en décimal, une variation entre 0 et 255 correspondant à la valeur d'un octet.).

La notation de base décimale est la suivante : W. X. Y. Z sont les nombre compris entre 0 et 255. Par exemple 192.168.1.5 est adresse IP.

On peut dire que les adresses IP valides sont dans la plage 0.0.0.0 à 255.255.255.255. Cela limite dans cette plage 4.3 milliards d'adresse.

Il existe quatre classe d'adresse IP : A, B, C, D :

- Un réseau de classe A réserve 7 bits pour le réseau soit 128 (2^7) réseaux et 24 bits pour le matériel soit 16 millions de machines.
- Un réseau de classe B réserve 14 bits pour le réseau soit 16384 (2^{14}) réseaux et 16 bits pour le matériel.
- Un réseau de classe C réserve 21 bits pour le réseau soit 2097152 (2^{21}) réseaux et 8 bits pour le matériel.
- la classe D multicast, destinée à faire de la diffusion d'information pour plusieurs hôtes simultanément.

Classe A	Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4
Classe B	Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4
Classe C	Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4

Adresse du réseau

Adresse du l'hôte

Classe	Préfixe	Numéro du réseau	Numéro d l'hôte
A	0	Bits 1-7	Bits 8-31
B	10	Bits 2-15	Bits 16-31
C	110	Bits 3-23	Bits 24-31
D	1110	Multicast	Multicast

Les plages d'adresse sont :

Classe	Plage de numéro du réseau	Plage de numéro de l'hôte
A	0 à 127	0.0.1 à 255.255.254
B	128.0 à 191.255	0.1 à 255.254
C	192.0.0 à 223.255.255	1 à 245

• **Les masques sous-réseaux**

Le masque de sous-réseaux permet de définir le découpage entre les bits de l'adresse qui servent à définir l'adresse de réseau et ceux servant à définir l'adresse de la machine. Il est obtenu en mettant à 1 les bits qui servent à définir l'adresse de réseau et à 0 les bits qui définissent les adresses des machines. De ce fait si on a un réseau de :

- classe A, le masque sous-réseau vaudra 255.0.0.0
- classe B, le masque sous-réseau vaudra 255.255.0.0
- classe C, le masque sous-réseau vaudra 255.255.255.0

Etant donné qu'une adresse IP est constituée d'un numéro de réseau et d'un numéro d'hôte, les masques sous-réseaux permettent de diviser les réseaux de classe A, B ou C en sous-réseaux.

III.2.2 Réseau MODBUS (Modicon Bus)

Le protocole MODBUS s'appuie sur des échanges de type maître esclave. Seul le maître peut initier une transaction. Deux esclaves ne peuvent pas se communiquer ensemble. Ce dialogue maître-esclave peut être schématisé sous une forme successive de liaisons point à point.

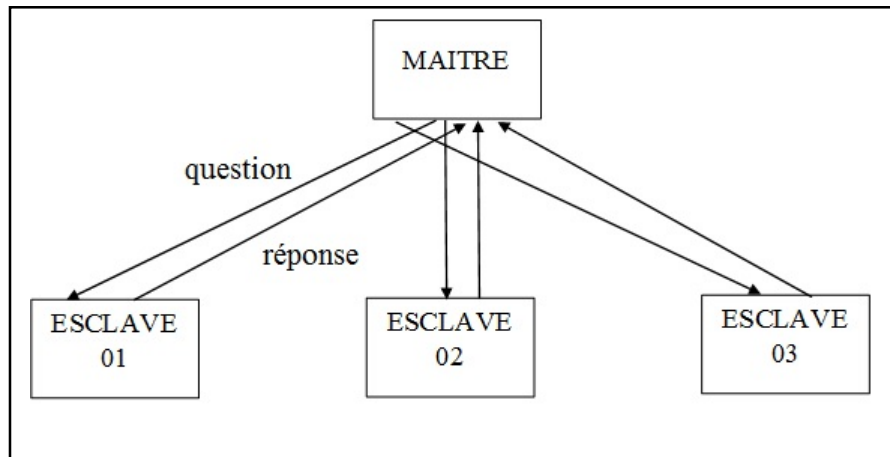


Figure 41 : dialogue maître-esclave

- Une transaction est dite de type question-réponse si le maître sélectionne qu'un seul esclave.
- Une transaction est dite de type diffusion si le maître sélectionne tous les esclaves.
- Une transaction comprend une trame de question, une trame de réponse ou une trame de diffusion.

III.2.2.1 Adressage MODBUS

Dans un réseau MODBUS, les abonnés sont identifiés par des adresses numériques attribuées par l'utilisateur. L'adresse de chaque abonné ne dépend de son emplacement physique. Deux abonnés ne peuvent pas avoir la même adresse. Les adresses MODBUS vont de 1 à 64 et ne sont pas attribués obligatoirement de façon séquentielle.

III.2.2.2 Echange maître vers esclave

Le maître interroge un esclave de numéro unique sur le réseau et attend une réponse de sa part. Chaque message envoyé par le maître contient une enveloppe et des informations :

- adresse du destinataire.
- action à exécuter.
- données associées à l'action.
- code de contrôle d'erreur.

La station concernée enlève l'enveloppe et contrôle le code d'erreur. En l'absence d'erreur de transmission, la tâche est exécutée et un message de réponse de format analogue à la question est généré. Le maître peut envoyer un message à tout nouvel esclave dès qu'il a reçu une réponse valide, ou après une temporisation indiquant une absence de réponse et un nombre de répétitions du même message. Le temps maximal de réponse alloué est défini par configuration (Time-Out).

Les actions exécutées par un esclave sont de type :

- lecture de un ou plusieurs bits.
- Lecture de un ou plusieurs mots.
- Ecriture de un ou plusieurs bits.
- Ecriture de un ou plusieurs mots.
- Renvoi d'informations de diagnostic.

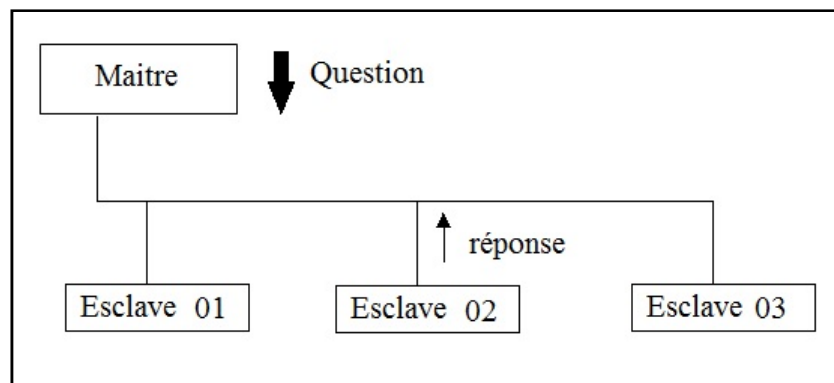


Figure 42 : Echange maître vers esclave

III.2.2.3 Echange maître vers tous les esclaves

Il s'agit d'une diffusion. Le maître diffuse à tous les esclaves présents sur le réseau, ceux-ci exécutent l'ordre du message sans émettre une réponse.

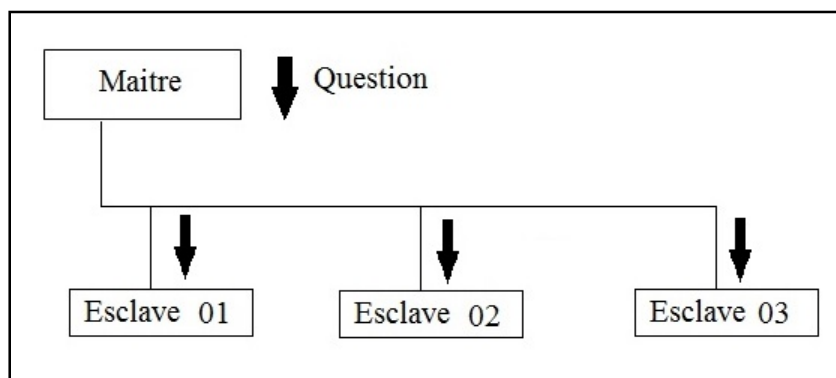


Figure 43 : échange maître vers tous les esclaves

III.2.2.4 Configuration du réseau MODBUS

La configuration du réseau comprend la possibilité d'utiliser une liaison point à point ou une liaison multipoints. On peut utiliser n'importe quel support de transmission : RS 232, ou RS 485, mais la liaison RS 485 est la plus répandue car elle autorise le « multipoints ».

- La liaison RS 485

C'est une liaison série, de type asynchrone, différentielle qui permet un débit élevé (jusqu'à 10 Méga-bits/seconde) sur une distance importante (jusqu'à 1200m).

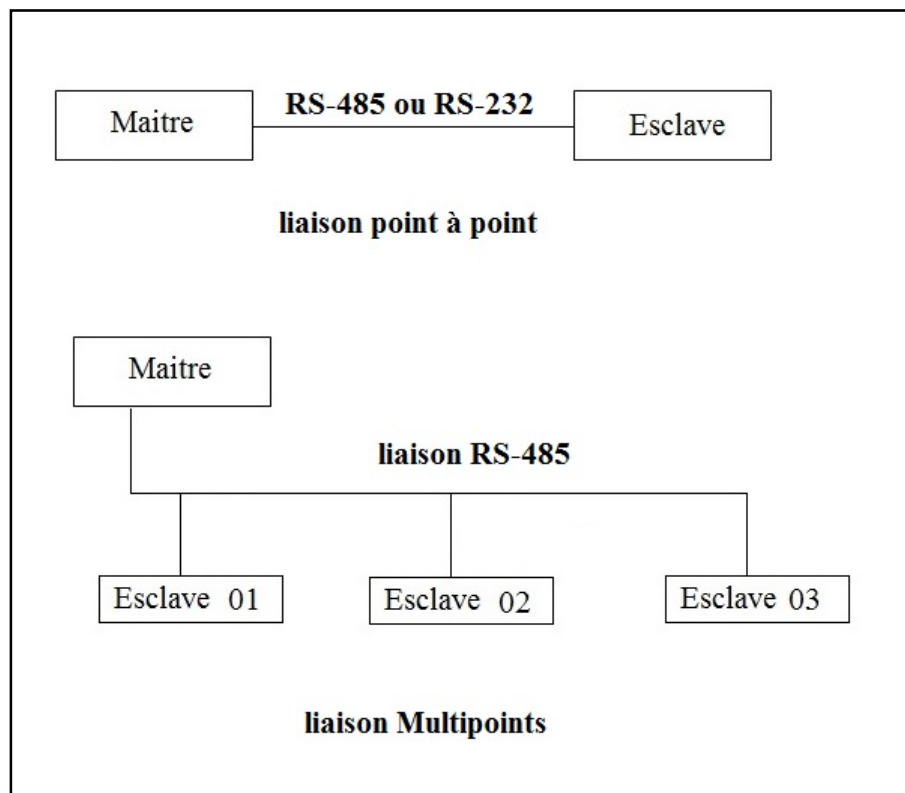


Figure 44 : liaison PP et liaison MP

III.2.2.5 Trame d'échange question-réponse

• La question

La question contient un code fonction indiquant à l'esclave la tâche à exécuter. Les données contiennent les informations complémentaires dont l'esclave a besoin pour exécuter la fonction. Le champ octets de contrôle permet à l'esclave de s'assurer de l'intégralité du contenu de la question.

N° d'esclave	Code fonction	Informations spécifique concernant la demande	Mot de contrôle
1 octet	1 octet	n octets	2 octets

• **La réponse**

N° d'esclave	Code fonction	Données reçues	Mot de contrôle
1 octet	1 octet	n octets	2 octets

Si une erreur apparait, le code fonction est modifié pour indiquer que la réponse est une réponse d'erreur. Les données contiennent alors un code dit code d'exception permettant de connaitre le type d'erreur. Le champ de contrôle permet au maitre de s'assurer de la validité du message.

N° d'esclave	Code fonction	Code d'exception	Mot de contrôle
1 octet	1 octet	n octets	2 octets

III.2.2.6 Format générale d'une trame

On distingue deux types de codage pour une communication sur MODBUS, il faut veiller à ce que tous les équipements présents sur les réseaux soient configurés suivant le même type pour assurer la compatibilité.

• **Type ASCII :**

Chaque octet composant une trame est codé avec deux caractères ASCII (2 fois 8 bits)

Start	Adresse	Fonction	Données	LRC	END
1 caractère	2 caractères	2 caractères	n caractères	2 caractères	2 caractères

LRC : somme en hexadécimale modulo 256 du contenu de la trame hors délimiteur, complémentée à 2 et transmise en ASCII.

- **Type RTU (Unité Terminale Distante)**

Chaque octet composant une trame est codé sur deux caractères hexadécimaux (2 fois 4 bits).

Start	Adresse	Fonction	Données	CRC	END
1 octet	2 octets	2 octets	n octets	2 octets	2 octets

La taille maximale des données est de 256 octet. Le mode ASCII permet d'avoir des intervalles de plus d'une seconde entre les différents caractères sans que cela ne génère d'erreur alors que le RTU permet un débit plus élevé la même vitesse de transmission.

L'ensemble des informations contenues dans message est exprimé en hexadécimale.

Le champ de données est codé sur n mots hexadécimal de 00 à FF, soit un n octet.

Chaque octet composant un message est transmis en mode RTU de la manière suivante :

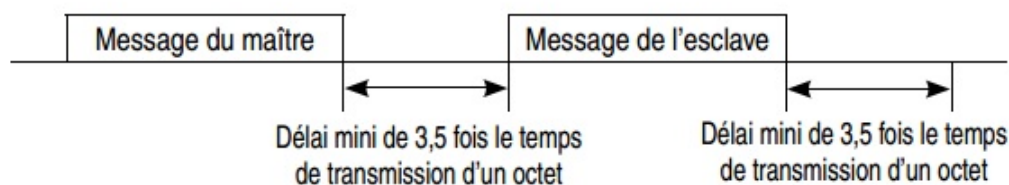
- Sans contrôle de parité :

Start	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Stop

- Avec contrôle de parité :

Start	Bit 0	Bit 1	Bit 2	Bit 3	Bit 4	Bit 5	Bit 6	Bit 7	Parité	Stop

Avant et après chaque message, il doit y avoir un silence équivalent à 3.5 fois le temps de transmission d'un mot.



L'ensemble du message doit être transmis en continu. Si un silence de plus de 1.5 fois le temps de la transmission d'un mot intervient au cours de la transmission, le destinataire du message considèrera que la prochaine information qu'il recevra sera l'adresse de début d'un nouveau message. Le tableau ci-dessous présente les codes fonction de protocole Modbus :

Tableau n°3 : Codes et fonctions du protocole Modbus

Code	Nature de fonction MODBUS
H'01'	Lecture de n bits de sortie consécutifs
H'02'	Lecture de n bits de sortie consécutifs
H'03'	Lecture de n mots de sortie consécutifs
H'04'	Lecture de n mots de sortie consécutifs
H'05'	Ecriture de 1 bit de sortie
H'06'	Ecriture de 1 mot de sortie
H'07'	Lecture du statut d'exception
H'08'	Accès au compteur de diagnostics
H'09'	Téléchargement, télé déchargement et mode de marche
H'0A'	Demande de CR de fonctionnement
H'0B'	Lecture de compteur d'évènement
H'0C'	Lecture des évènements de connexion
H'0D'	Téléchargement, télé déchargement et mode de marche
H'0E'	Demande de CR de fonctionnement
H'0F'	Ecriture de n bits de sortie
H'10'	Ecriture de n mot de sortie
H'11'	Lecture d'identification
H'12'	Téléchargement, télé déchargement et mode de marche
H'13'	Reset de l'esclave après erreur non recouverte

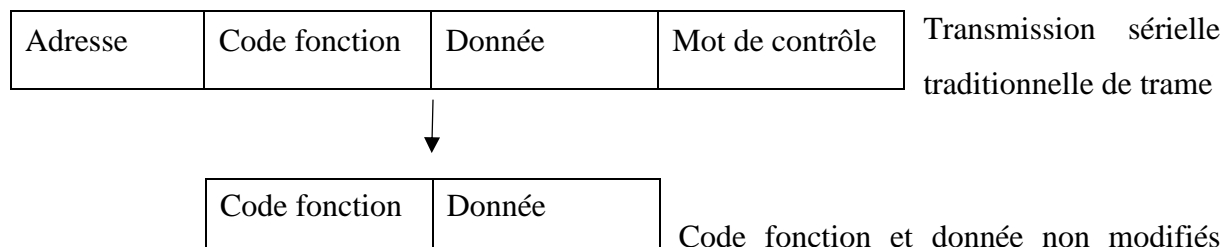
III.2.2.6 MODBUS TCP/IP

Il s'agit de l'utilisation du protocole applicatif Modbus mais sur un support Ethernet. L'utilisation de l'Ethernet impose le respect des règles de l'adressage IP (masque de sous-réseau, classe d'adresse IP)

N°	Couche	Protocole	référence
7	Application	MODBUS	
6	Présentation		
5	Session		
4	Transport	TCP	
3	Réseau	IP	
2	Liaison de données	Ethernet, CSMA/CD	IEEE 802.3
1	Physique	Couche physique, Ethernet	Ethernet

La messagerie est un protocole applicatif qui définit les règles pour l'interprétation des données présentées sur le support de transmission.

Un message Modbus TCP/IP est un simple message d'un échange Modbus entre stations encapsulé dans une trame Ethernet.



MODBUS Application Protocole (MBAP) Header (7 octets)				Protocol Data Unit (PDU)	
Identification de transaction	Identification de protocole	Longueur du champ	Identification de l'unité	Code fonction	Donnée
2 octets	2 octets	2 octets	1 octet	1 octet	variable

Trame MODBUS sur transmission TCP/IP

III.2.3 Bus AS-i

Le système AS-i est un bus de terrain de type maître-esclave permettant de raccorder des capteurs et actionneurs souvent binaire de différents fournisseurs sur un module de conversion sérielle. Il est constitué de plusieurs éléments comme le montre la figure 45.

III.2.3.1 Le maître

Le maître est l'entité intelligente qui gère les échanges sur le bus. Il appelle les esclaves successivement, par scrutation du bus, leur adresse des informations (leurs sorties) et attend leur réponse.

Le protocole AS-i comprend un coupleur « maître » chargé d'assurer l'interface entre le bus et l'organe de commande (PC, API, superviseur, passerelle, etc.).

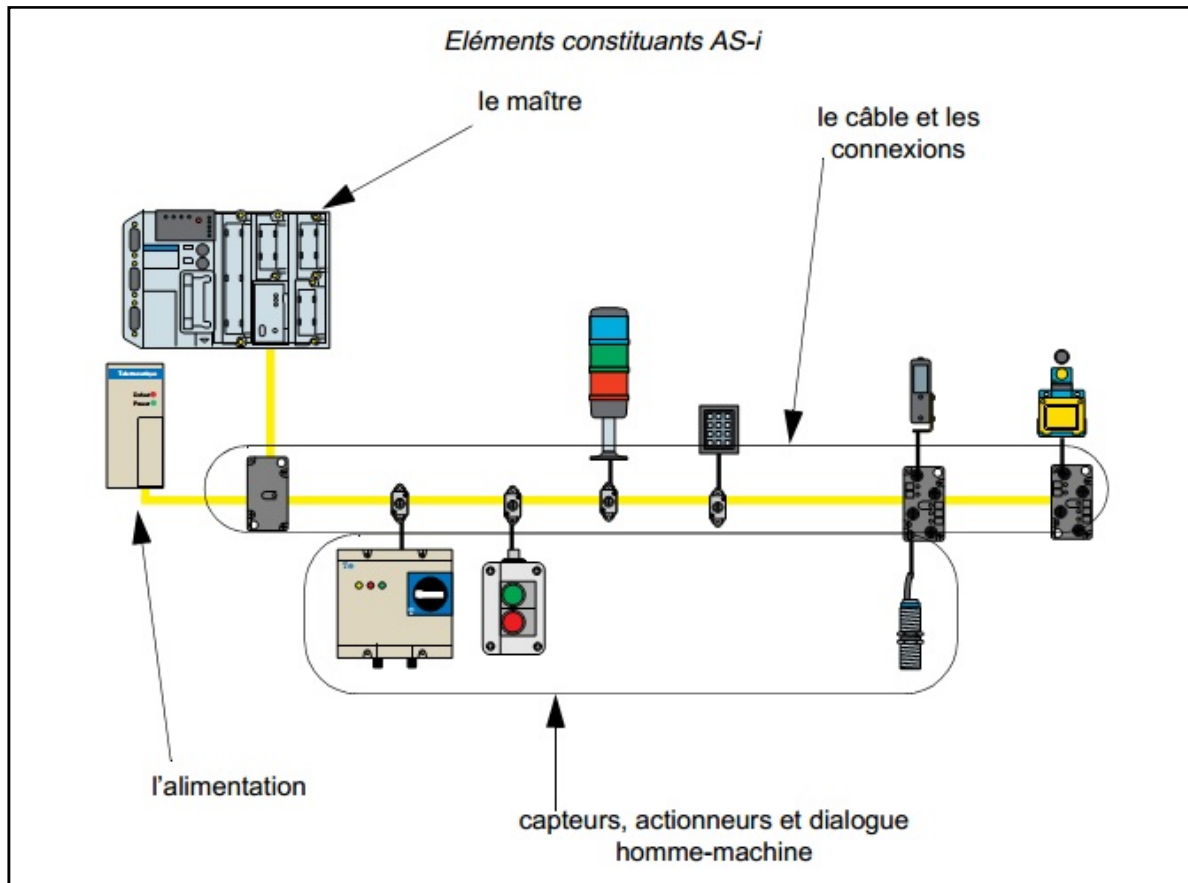


Figure 45 : Eléments constitutifs l'AS-i

Le protocole AS-i accepte deux types de maîtres différents :

- 1- Un maître "automate programmable" qui intègre un coupleur de communication AS-i va rendre la communication transparente pour le programme utilisateur (figure 46 (1)).
- 2- Un maître "passerelle" qui va transformer le bus AS-i en un simple nœud de communication d'un réseau de niveau supérieur (figure 46 (2)).

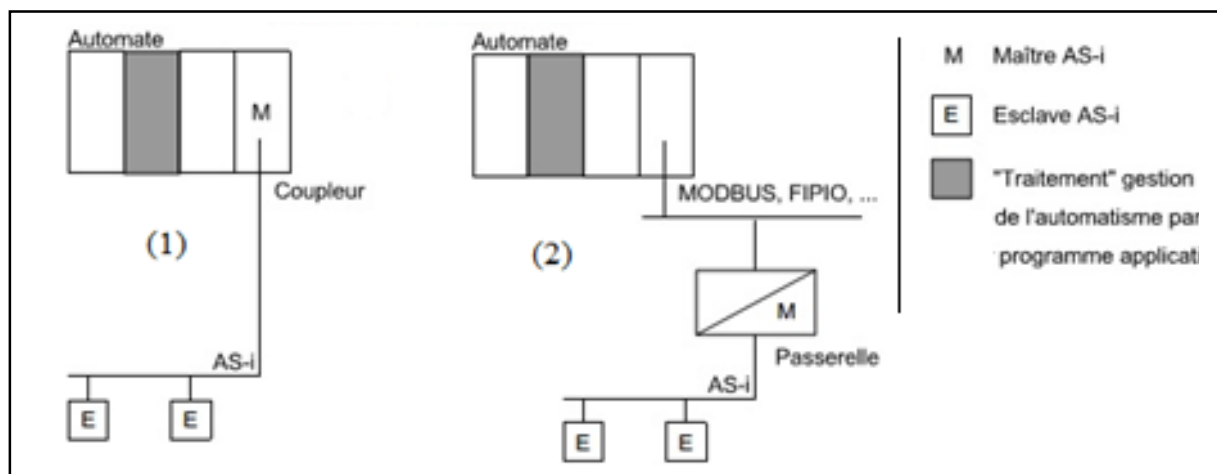


Figure 46 : Les deux types de maîtres : (1) API, (2) Passerelle

Un maître AS-i se caractérise par 3 niveaux de profil offrant des fonctionnalités différentes (Tableau 4).

Tableau 4 : Les fonctionnalités des différents profils

	Type de profil	Fonctionnalités
Profil minima	M0	1- Lecture et écriture des données d'E/S
Profil Réduit	M1	1- Lecture et écriture des données d'E/S 2- Modification des paramètres de l'esclave
Profil complet	M2	1- Lecture et écriture des données d'E/S 2- Modification des paramètres de l'esclave. 3- Test/diagnostic du réseau. 4- Contrôle de la configuration projetée par rapport à la configuration réelle.

III.2.3.2 ASIC (Application Specific Integrated Circuit)

L'intelligence des esclaves a été rassemblée dans un circuit intégré ASIC (Application Specific Integrated Circuit : circuit intégré d'application spécifique). C'est cet ASIC qui va gérer toutes les fonctions d'interfaçage d'un esclave. Son petit volume lui permet d'être facilement intégré dans le capteur ou l'actionneur.

Dans la pratique, un ASIC est un esclave. Ce circuit trouvera sa place :

- Soit dans le capteur ou l'actionneur. On parlera alors de capteur ou d'actionneur 'asifié'.
- Soit dans une interface (répartiteur, entrées-sorties TOR,...), sur laquelle seront raccordés des capteurs ou des actionneurs traditionnels (c'est à dire non « asifiés »).

L'ASIC dispose de 4 ports (D0, D1, D2, D3) délivrant les niveaux de tension de l'esclave AS-i. Ils constituent les 4 bits de données échangés entre le maître et l'esclave. Ces ports peuvent être configurés en entrée, en sortie ou en entrée/sortie (bidirectionnel). Il dispose également de 4 bits de paramètres (P0, P1, P2, P3) qui procurent à l'esclave, une intelligence supplémentaire puisqu'ils permettent de contrôler des fonctions spécifiques de l'esclave, telles que :

- Des inversions d'état
- Des changements d'échelle de sensibilité
- Des temporisations spécifiques

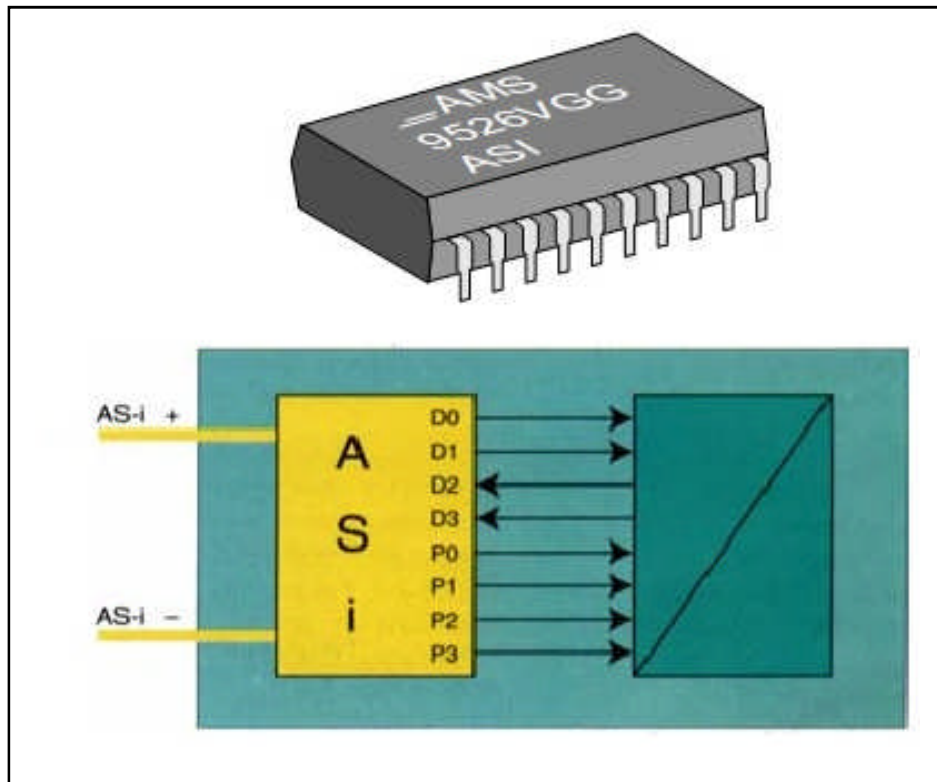


Figure 47 : Le circuit intégré pour application spécifique ASIC

III.2.3.3 Alimentation AS-i

L'alimentation AS-i est destinée à alimenter les constituants connectés sur le bus. La transmission simultanée de l'information et de l'énergie sur le même câble nécessite de découpler le bus AS-i du bloc d'alimentation. C'est pourquoi, l'alimentation spécifique AS-i intègre un filtre de découplage supportant le courant continu maximum fourni par l'alimentation sans dégradation de ses caractéristiques et présentant une impédance élevée vis-à-vis des fréquences de transmission des informations.

Les deux éléments principaux de l'alimentation AS-i sont donc :

- une alimentation en courant continu
- Un circuit de découplage.

Remarque : Aucune des deux polarités AS-i+ et AS-i- ne doit être raccordée à la terre.

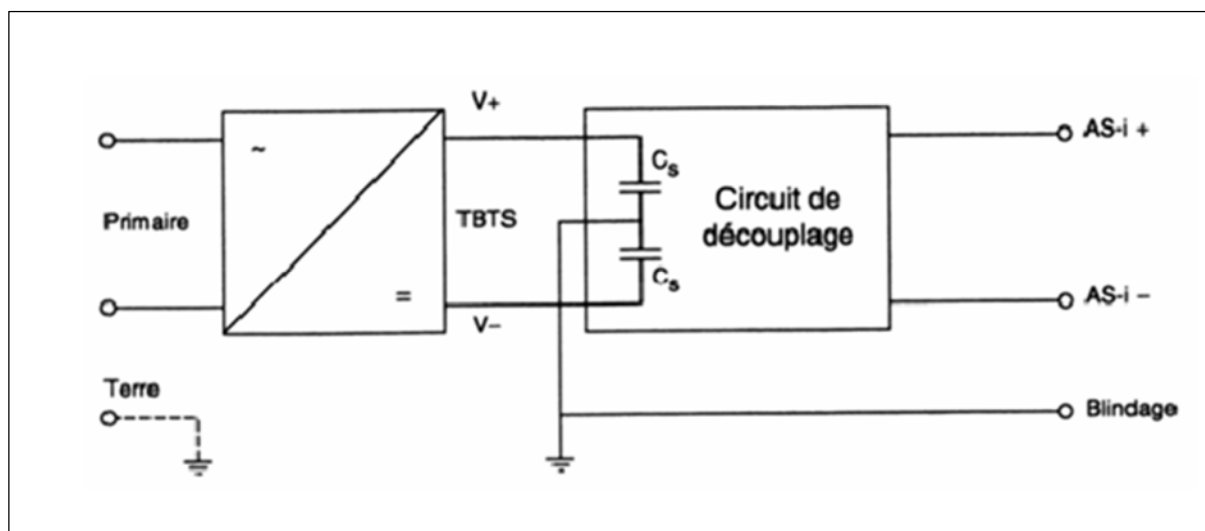


Figure 48. Le circuit d'alimentation AS-i

- **Alimentation auxiliaire**

Dans certains cas, en particulier lorsque l'installation comporte beaucoup d'actionneurs très consommateurs d'énergie, la consommation totale peut dépasser la capacité maximum du câble AS-i, qui est limitée à environ 8A. Il est alors nécessaire d'utiliser une (ou plusieurs) alimentation auxiliaire pour réaliser une distribution de puissance. Cette alimentation auxiliaire sera également utile lorsque, pour des raisons de sécurité, on souhaite pouvoir couper l'alimentation des actionneurs sans couper celle des capteurs.

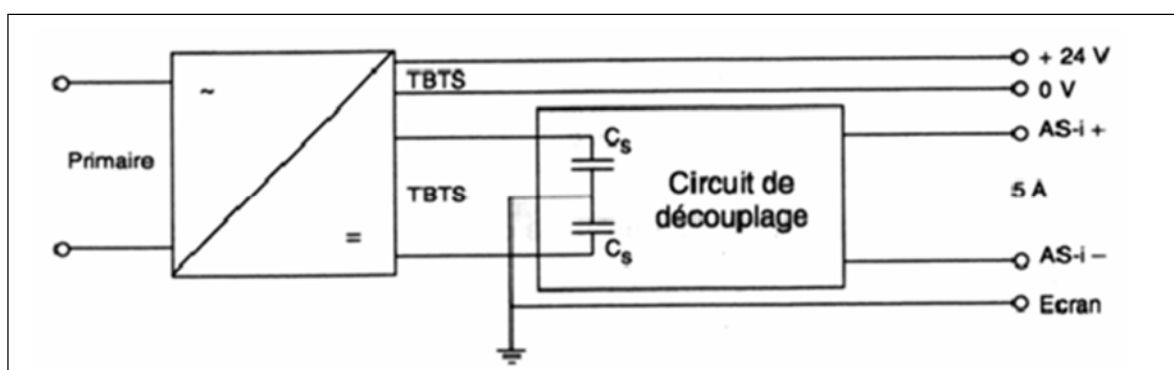


Figure 49. Le circuit d'alimentation auxiliaire AS-i

III.2.3.4 Le câble et les accessoires de connexion

Pour les systèmes AS-i, on a développé les éléments de connexion spécifiques suivants :

- Le câble plat
- Des accessoires adaptés à ce câble, et qui garantissent une étanchéité jusqu'à IP67.

a- Le câble plat AS-i

Le câble plat n'est pas blindé. Il véhicule les signaux et alimente électriquement en courant continu 24 V les capteurs et actionneurs. Il est de couleur jaune et la section des fils est de 1,5 mm. Les connexions sur le câble s'effectuent par les **prises vampires** des accessoires de raccordement. Le matériau de la gaine a des propriétés physiques telles que les perçages réalisés par les prises vampires se referment hermétiquement dès le retrait des prises. La gaine est qualifiée d' "auto-cicatrisante", ce qui facilite le retrait ou l'ajout de constituants sur le câble. En effet, la connexion est rapide, les prises vampires viennent percer l'isolant et établir le contact assurant un raccordement fiable. Ce procédé donne à l'installation une très grande flexibilité. Ce câble a un profil spécial permettant d'éviter l'inversion des polarités lors des raccordements.

Il existe également une version noire de ce câble, de mêmes caractéristiques, mais réservée à la distribution des alimentations 24 V auxiliaires.

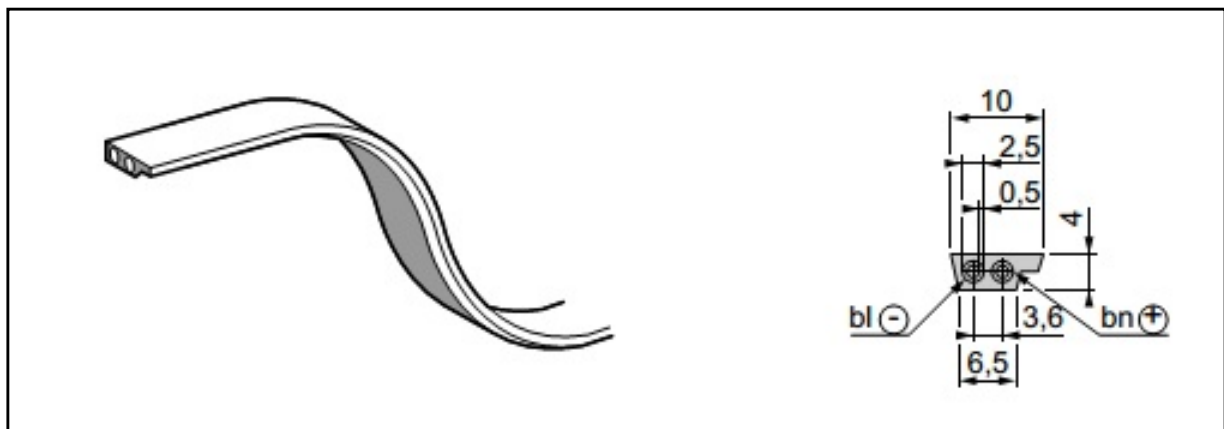


Figure 50. Le câble plat AS-i

b- Les accessoires de connexion IP67

Ces accessoires, munis de connexions vampires, permettent un câblage rapide sur le câble. Différents types sont disponibles :

➤ *Les Té et les dérivations*

Les Té et les dérivations ne contiennent pas d'électronique, ils sont uniquement passifs.

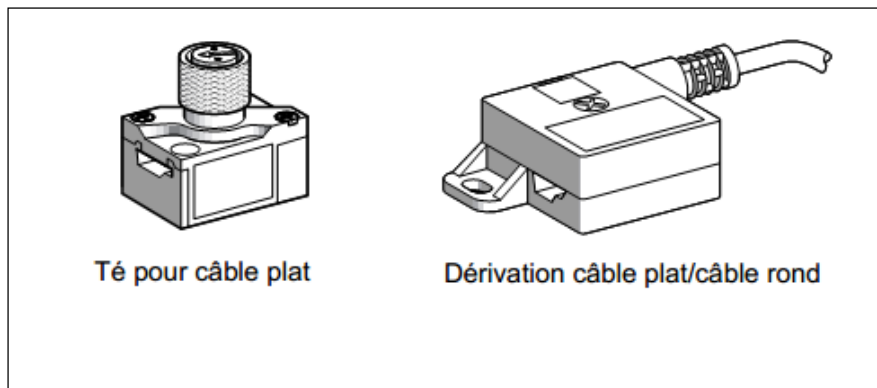


Figure 51. Le Té et la dérivation

➤ *Les répartiteurs*

Les répartiteurs existent en deux versions :

- Répartiteurs actifs, contenant le circuit ASIC, et destinés aux capteurs traditionnels.
- Répartiteurs passifs, sans électronique, destinés à des capteurs et actionneurs « asifiés ».

Les embases des répartiteurs possèdent deux emplacements pour câble plat, qui, suivant les variantes, sont destinés à :

- Deux câbles jaunes : les prises vampires sont alors en parallèles ce qui permet de créer des dérivations.
- Un câble jaune et un câble noir, utilisé pour le raccordement d'une alimentation auxiliaire de 24 Volt.

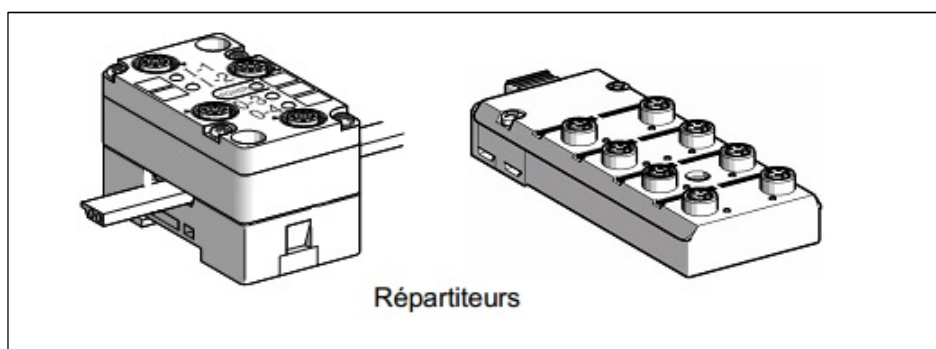


Figure 52. Les répartiteurs

c- Les interfaces IP20

Basés sur le concept Telefast, ces interfaces sont destinées à être montées en coffret ou en armoire. Elles permettent le raccordement des entrées-sorties TOR de capteurs/ actionneurs traditionnels par bornier à vis ou à lames souples en variante. Elles interfacent jusqu'à 4 entrées et 4 sorties. Ces interfaces sont utilisables avec câble plat ou câble rond.

Elles intègrent en outre des fonctions telles que :

- raccordement de capteurs 2 ou 3 fils (isolés ou alimentés par AS-i)
- autoprotection des sorties
- protection de l'alimentation des capteurs
- diagnostics
- repérage par étiquettes.

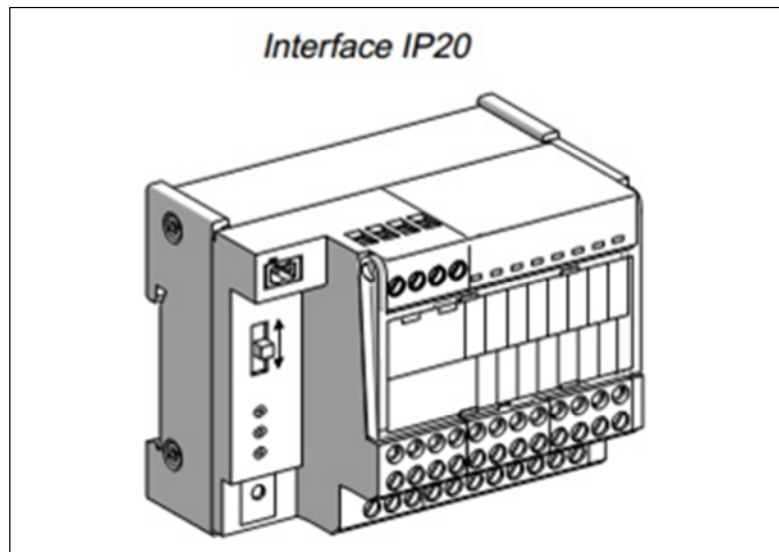


Figure 53. L'interface IP 20

d- Les autres possibilités de câblage

Dans certaines applications telles que :

- Câblage en coffrets ou armoires
- Rayonnements électromagnétiques exceptionnels...

L'utilisateur peut souhaiter utiliser du câble rond, blindé ou non blindé. AS-i peut être implanté sur ce type de câble et, pour ces applications, des répartiteurs existent en version à presse étoupe.

III.2.3.5. Les éléments complémentaires

Différents constituants complémentaires ont également été développés. Ce sont en particulier :

- Un répéteur, permettant d'étendre le système jusqu'à 300 m.
- Un module de détection de terre, permettant de signaler un défaut de terre sur le câble ou sur l'alimentation des capteurs.

- Une pocket, destinée à l'adressage des esclaves.

III.2.3.6 Topologie jusqu'à 100 m et extension à 300 m

- **Topologie à 100m**

La topologie d'AS-i est libre, elle s'adapte parfaitement aux besoins des utilisateurs. Un nouveau branchement peut partir d'un point quelconque. Aucune résistance d'adaptation ou de terminaison n'est nécessaire. Les produits peuvent être positionnés sans contrainte particulière de distance sur le câble. Le câble peut ainsi cheminer de façon optimale vers les capteurs et les actionneurs.

- **Extension jusqu'à 300m**

L'extension se fait à l'aide du répéteur. Ce répéteur peut être placé en n'importe quel point du câble AS-i. Il régénère le signal et réalise le découplage galvanique des deux segments. De ce fait, une alimentation AS-i est nécessaire derrière le répéteur. Le répéteur introduit un retard dans la transmission des données. Du fait de ce retard, deux répéteurs peuvent être mis en série, mais pas plus. Il est ainsi possible d'aller avec AS-i jusqu'à 300m du maître. Outre sa fonction d'extension du réseau AS-i, le répéteur peut être utilisé pour créer des segments AS-i indépendants, en particulier lorsque la consommation de courant devient excessive sur un segment.

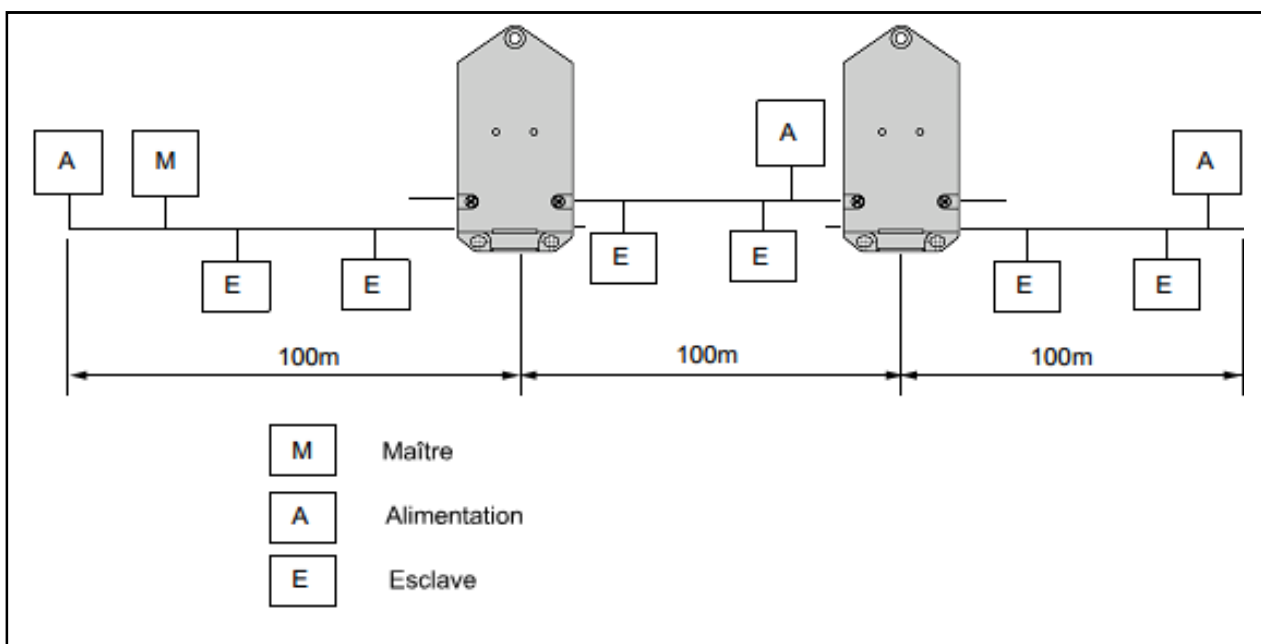


Figure 54 : Schéma d'extension du réseau jusqu'à 300

IV. Conclusion

Les différentes techniques et méthodes de communication présentées dans ce chapitre facilite la communication entre différentes unités, et améliorant la gestion et la flexibilité au sein de l'industrie, en vue de la possibilité d'utiliser une même infrastructure de transmission pour d'autre processus.

CHAPITRE IV

**Application de la solution
réseau pour l'installation
de déminéralisation d'eau**

I. Introduction

L'application de la solution réseau consiste à implémenter la méthode et la structure la plus compatible à l'installation. Sachant que la solution de commande actuelle est basée sur automate programmable industriel de la firme SCHNEIDER. A savoir, un TSX P57 102. Les protocoles de communication compatibles et les moins couteux sont :

- Ethernet pour le niveau supervision ;
- Modbus pour le niveau cellule ;
- AS-i pour le niveau capteurs et actionneurs.

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes à suivre pour mettre en œuvre la solution réseau proposée. La configuration des différents protocoles de communication est opérée sous le logiciel PL7 Pro.

II. Application de la solution réseau [13][14]

II.1. Communication Ethernet

La communication entre un ordinateur (PC) et l'API se fait par l'intermédiaire de réseau Ethernet. Ce protocole de communication nécessite l'introduction d'un module de communication dans l'automate TSX P57 102 :

- L'API TSX P57 102 présent dans l'installation ne possède pas une carte réseau Ethernet. Alors, on est amené à intégrer un module de communication équipé d'une carte Ethernet de référence ETY 110.
- L'ordinateur est équipé d'une carte réseau.
- **L'adressage**

Sur l'installation il y a deux machines à interconnecter : un PC et un Automate (API). Pour cela on utilise un adressage IP de classe C.

- Adresse IP PC : 192.100.50.1
- Adresse IP API : 192.100.50.2
- Masque sous-réseau : 255.255.255.0

- **Le câblage**

Pour le câblage Ethernet, on utilise les paires torsadées comme support de transmission avec des connecteurs RJ45.

Vu que la distance qui sépare l'API de la salle de contrôle est inférieure à 100 m, on n'aura pas besoin d'utiliser des répéteurs.

- **Les informations échangées de l'API vers le PC**
 - Etats des pompes marche/arrêt.
 - Etats des vannes ouvertes/fermés.
 - Etats des détecteurs de niveaux.
 - Valeur de la résistivité.
 - Valeur de quantité d'eau brute.
 - Valeur de quantité d'eau déminéralisée produite.
 - Etat du ventilateur de dégazeur.
- **Les informations échangées de PC vers le l'API**

Les informations communiquées du PC vers l'API sont des paramètres de configuration tels que les temporisations, la valeur de seuil de résistivité...

II.2. Communication MODBUS

La communication MODBUS se fait entre l'API et des équipements intelligents tels que les départs moteurs, les pupitres, les variateurs de vitesse, les API esclaves...

Sur l'installation, la communication MODBUS se fait entre l'API (maître) et les départs moteurs (esclaves) des pompes et de ventilateur du dégazeur.

- L'automate (API) doit être équipé d'un port de liaison MODBUS. L'automate TSX P57 102 de l'installation n'est pas équipé de cette liaison. Pour cela, on lui intègre un module de communication MODBUS de référence TSX SCY 11601. Ce module supporte 32 esclaves répartis en 16 entrées et 16 sorties dont on a configuré 15 esclaves qui sont les départs moteurs des 14 pompes et du ventilateur.
- On intègre pour les pompes des départs moteurs à démarrage directe de type Altistart 48 de Schneider.

- **Câblage**

Pour la liaison MODBUS, on utilise la norme RS 485 comme support de transmission avec de connecteurs RJ45, vu que c'est la norme qui admet le câblage multipoints.

- **Adressage**

Les adresses MODBUS sont des adresses numériques de 1 à 64 attribuées par l'utilisateur.

- **Les données MODBUS**

Les données échangées entre l'API et les équipements intelligents (départs moteurs) sont les requêtes marche/arrêt des pompes et du ventilateur.

Les équipements intelligents (départs moteurs) communiquent à l'API le non mise en marche des pompes et du ventilateur.

II.3. Communication AS-i

Les actionneurs et les capteurs communiquent avec l'API via le bus de terrain AS-i par l'intermédiaire d'un maître qui gère la communication.

Sur l'installation, on utilise un maître de type « API » qui intègre un coupleur de communication AS-i de référence TSX SAY 100. Ce coupleur supporte 31 esclaves dont on a utilisé 11 répartiteurs IP67 actifs pour configurer 17 capteurs et 44 électrovannes.

Les capteurs et les actionneurs utilisés dans l'installation sont traditionnels. Pour que ces capteurs et ces actionneurs puissent communiquer avec l'API, on utilise des répartiteurs actifs de type IP67.

Pour le câblage AS-i, on utilise des câbles spéciaux (câble plat de couleur jaune).

- **L'adressage AS-i**

L'adressage des esclaves AS-i est un adressage numérique variant de 0 à 31.

- **Les données**

Les données échangées entre le maître AS-i et ses esclaves sont les tâches que doivent exécuter ces derniers, par exemple l'ouverture et la fermeture des vannes.

Les données transmises vers le maître AS-i sont les états des actionneurs et des capteurs.

III. Configuration de la communication réseau Ethernet, Modbus et As-i

III.1. Présentation du logiciel PL7

Le logiciel PL7 est le logiciel de programmation des automates Schneider sous Windows. Il existe trois versions : PL7 Micro, PL7 Junior et PL7 Pro.

Le logiciel PL7 Junior permet de programmer des automates TSX 57 tandis que PL7 Micro permet de programmer que des automates TSX 37.

PL7 Pro offre, en plus des fonctionnalités du logiciel PL7 Junior, la possibilité de créer des blocs fonction utilisateur DFB (Derived Function Block), des écrans d'exploitations et des modules fonctionnels.

Le logiciel PL7 comporte quatre langages de programmation :

- Langage à contact (LD)

C'est un langage graphique qui permet la transcription de schémas à relais (figure 1). Il offre les symboles graphique de base : contacts, bobines, relais, blocs fonctionnels qui s'organisent sous forme de réseaux.

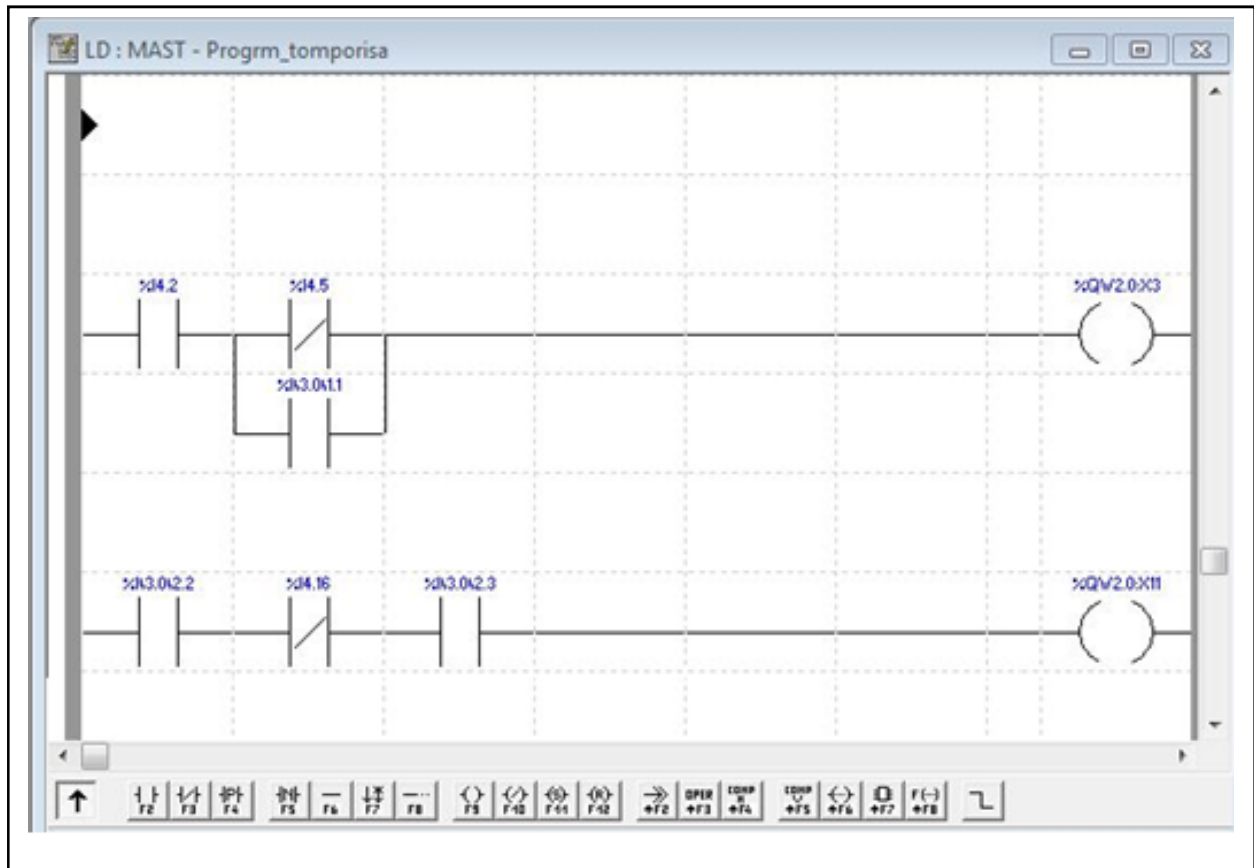


Figure 55 : exemple de programme en langage contact (LD)

- Langage liste d'instructions (IL)

C'est un langage textuel de même nature que l'assembleur (langage machine). Il permet l'écriture de traitement logique et numérique (figure 2). Très peu utilisé.

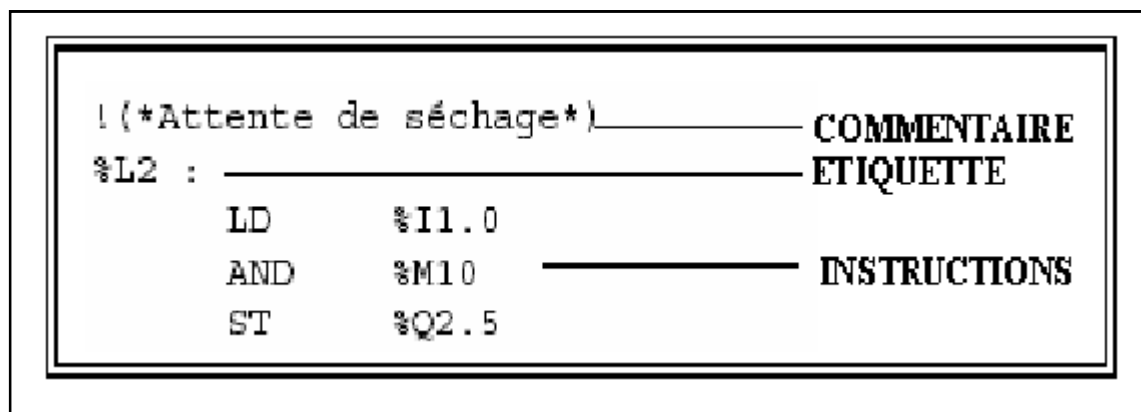


Figure 56 : Exemple de programme en langage Liste d'instructions (IL)

- Langage littéral structuré (ST)

C'est un langage évolué de type algorithmique particulièrement adapté à la programmation des fonctions arithmétiques complexes, manipulations de tableaux et gestions de messages. Il permet la réalisation de programmes par écriture de lignes de programmation, constituées de caractères alphanumériques (figure 56).

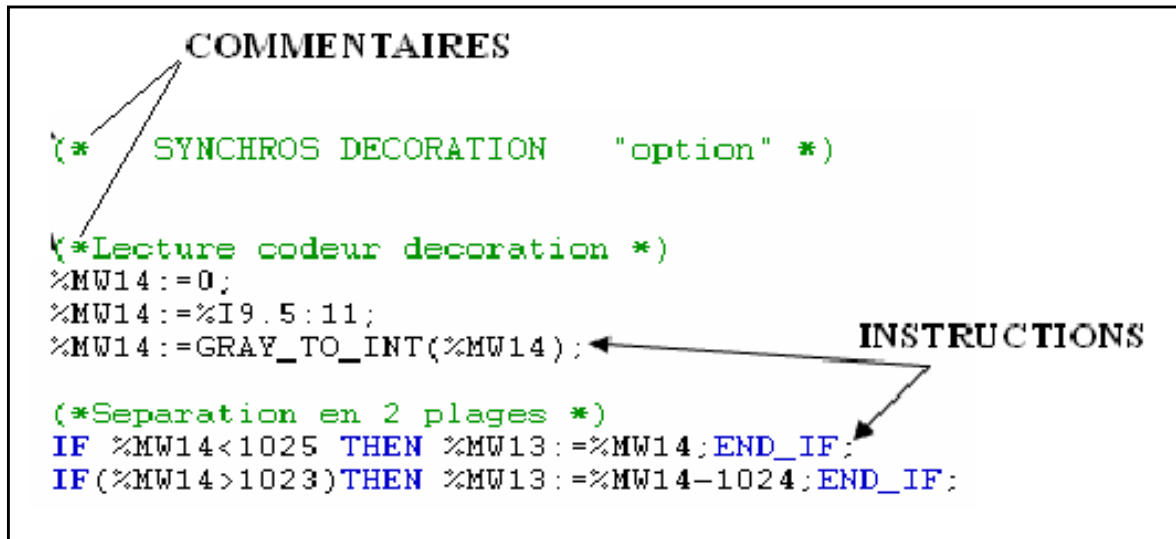


Figure 57 : Exemple de programme en langage littéral structuré (ST)

- Langage Grafcet

Ce langage permet de représenter graphiquement et de façon structurée le fonctionnement d'un automatisme séquentiel.

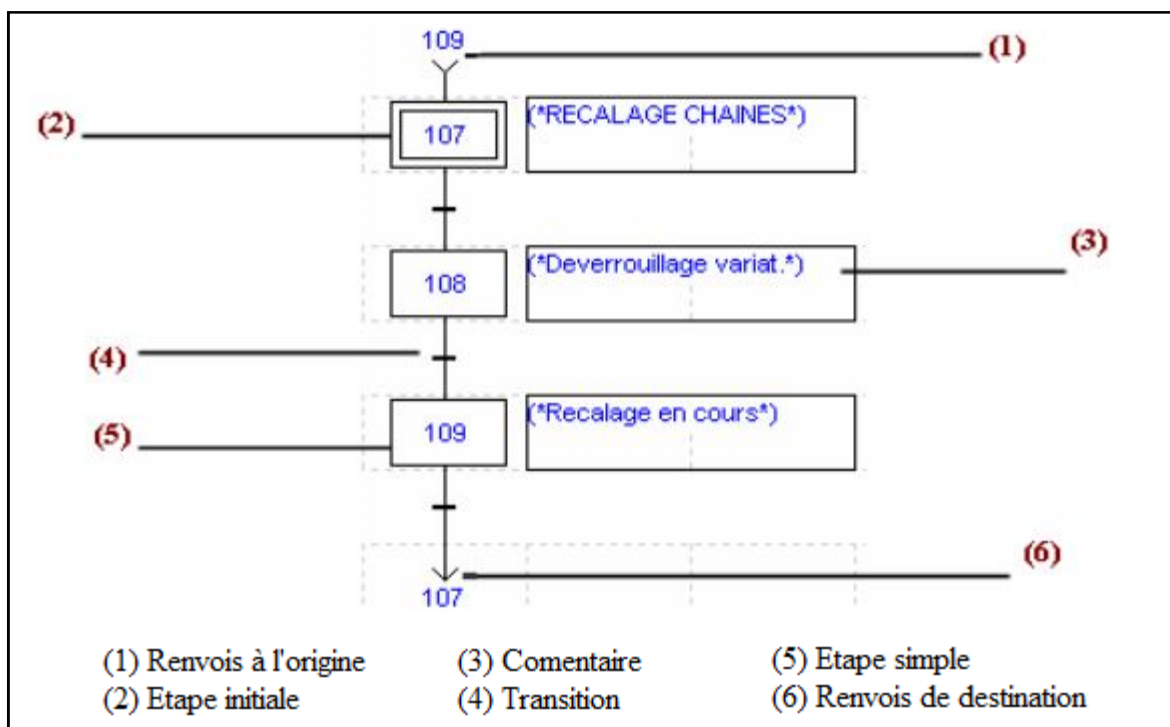


Figure 58 : Exemple de programme en langage Grafcet

III.1.1. Les principaux objets booléens

- **Bits d'entrées/sorties** : Les bits entrées %I et les bits sorties %Q sont les images logiques des états électriques des entrées/sorties.
- **Bits internes** : Les bits internes %Mi permettent de mémoriser des états intermédiaires durant l'exécution du programme.
- **Bits systèmes** : Les bits systèmes %S0 à %S27 surveillent le bon fonctionnement de l'automate ainsi que le déroulement du programme applicatif.
- **Bits blocs fonctions** : Les bits de blocs fonctions correspondent aux sorties des blocs fonctions standards ou instance de DFB. Ces sorties peuvent être câblées directement soit exploitées en tant que objets.
- **Bits du mot** : Le logiciel PL7 Pro donne la possibilité d'extraire l'un des 16 bit d'un mot. Bits d'état des étapes et macro-étapes du Grafcet.

III.2. Configuration matériel d'automate sur PL7 Pro

La configuration de l'automate TSX P57 102 sur le logiciel PL7 Pro se fait comme suit :

III.2.1. Choix du processeur

Le choix du processeur se fait lors de la création d'une nouvelle application en cliquant sur l'icône « nouvelle application », une fenêtre contenant la liste des processeurs apparait pour valider le choix du processeur.

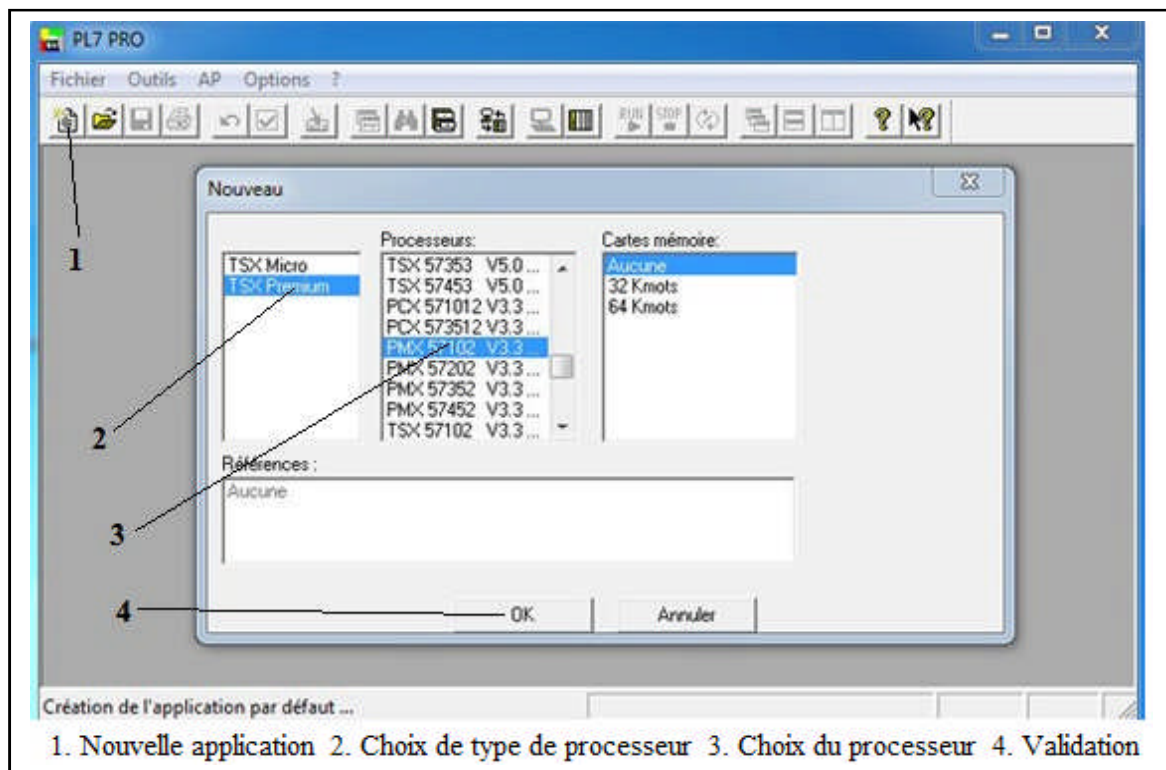


Figure 59 : Sélection d'un processeur pour la configuration de l'API TSX

III.2.2 Sélection des modules

Pour sélectionner les modules de l'automate, il faut aller sur « configuration matérielle », la fenêtre « configuration » apparaît. Réaliser un double clic sur la position du module à ajouter sur le rack pour ouvrir la fenêtre « ajouter un module », dans cette fenêtre on choisit la famille et la référence du module.

Dans notre cas on a choisi :

- Deux modules d'entrées de la famille Tout Ou Rien de référence TSX DEY 64D2K.
- Un module de sortie de la famille Tout Ou Rien (TOR) de référence TSX DSY 16R5.
- Un coupleur Ethernet de la famille communication de référence TSX ETY 110.
- Un module Modbus de la famille communication de référence TSX SCY 11601.
- Un coupleur AS-i de la famille communication de référence TSX SAY 100.

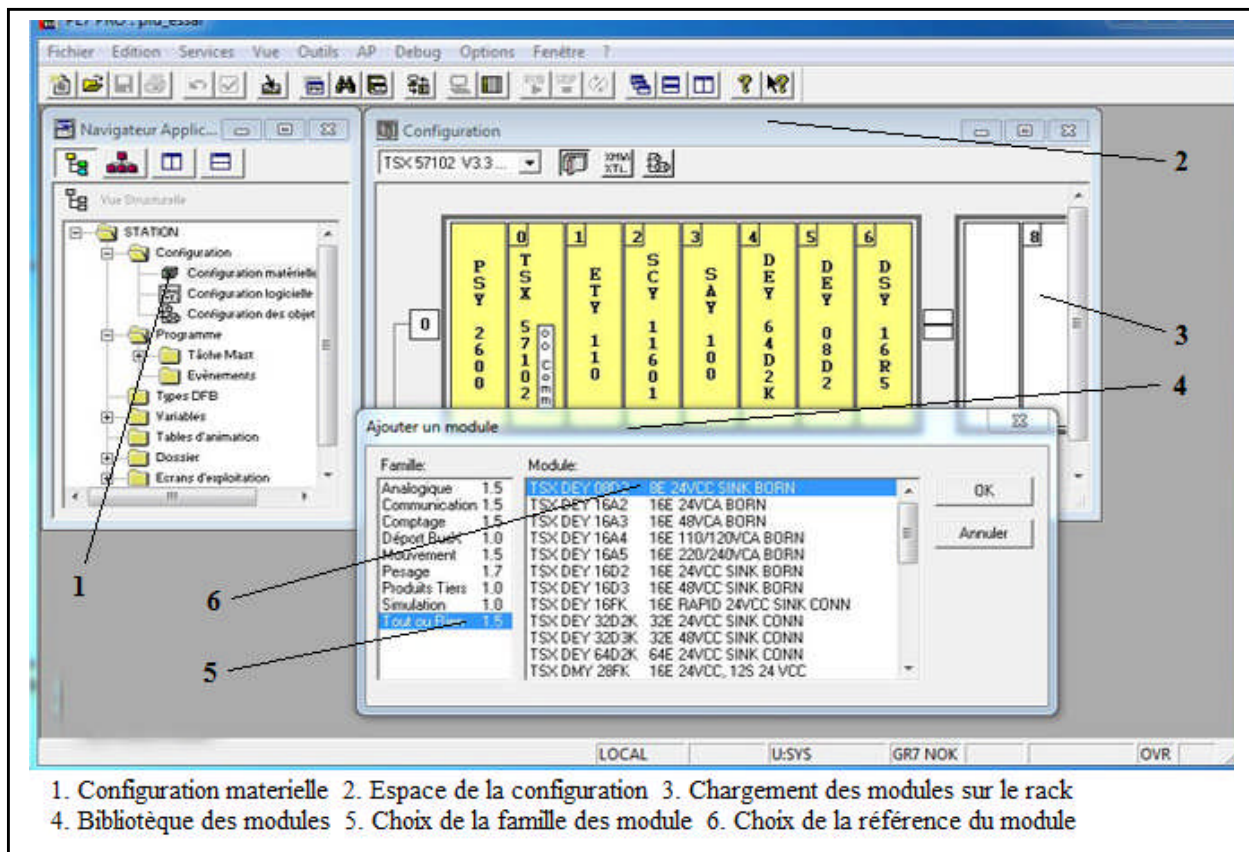


Figure 60 : Configuration de l'API TSX P57 102

III.3. Configuration des différents modules et coupleurs

Cette configuration consiste à paramétrer les modules et les coupleurs et de leurs attribuer les adresses des capteurs et actionneurs.

III.3.1. Configuration de coupleur Ethernet TSX ETY 110

Une fois le coupleur est ajouté sur le rack, on réalise un double clic dessus. Une fenêtre de configuration des paramètres du coupleur apparait. Elle permet de configurer :

- Les adresses IP du coupleur ETY et des équipements distants (PC dans notre cas)
- Le type de protocole : UNITE (TCP/IP) ou MODBUS.
- Le type de la trame Ethernet

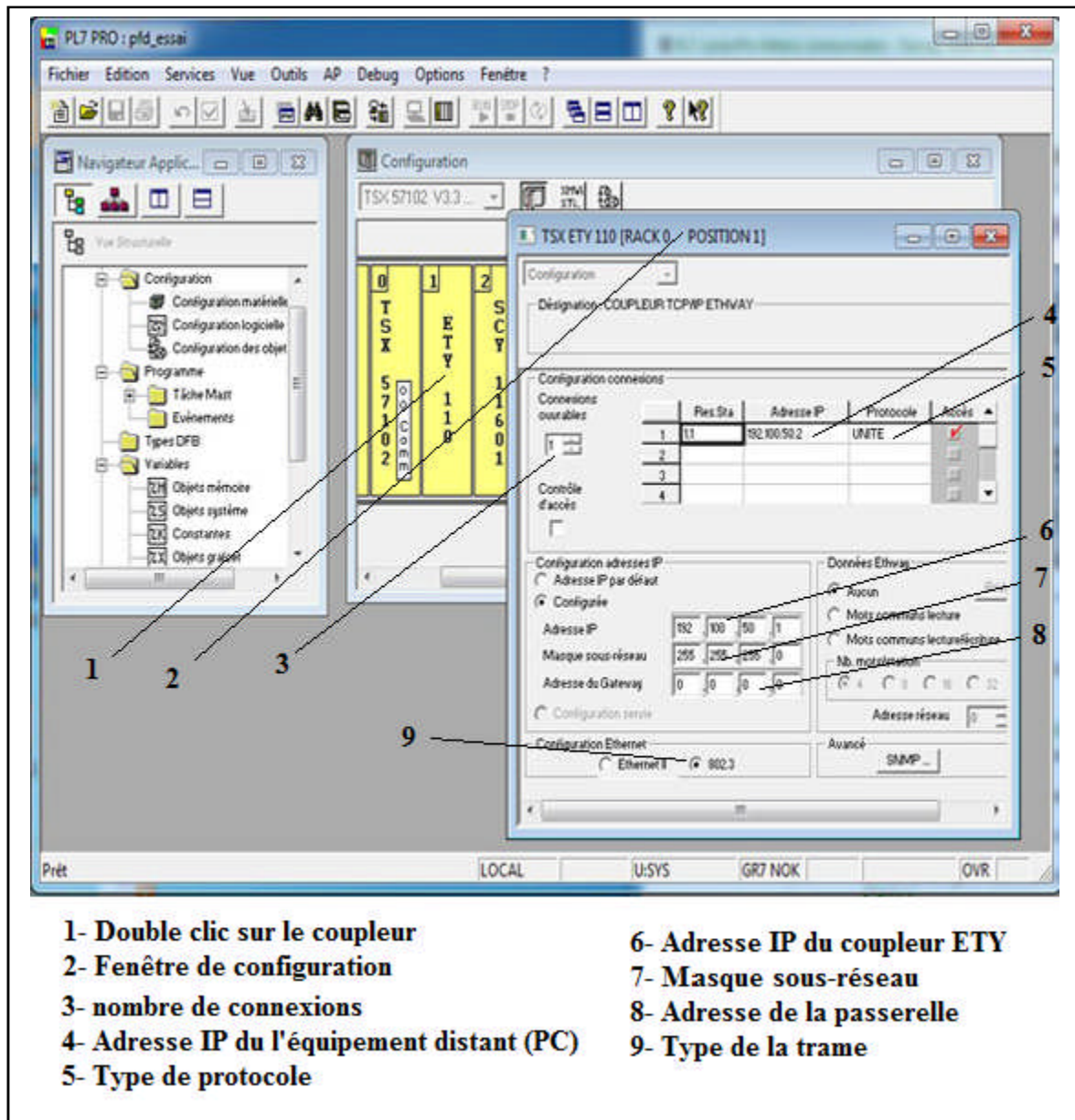


Figure 61 : Configuration des paramètres pour réseau Ethernet

Pour que la liaison Ethernet soit établie, le driver XIP doit être installé sur le PC. La configuration de ce driver consiste à lui attribuer l'adresse IP du coupleur ETY.

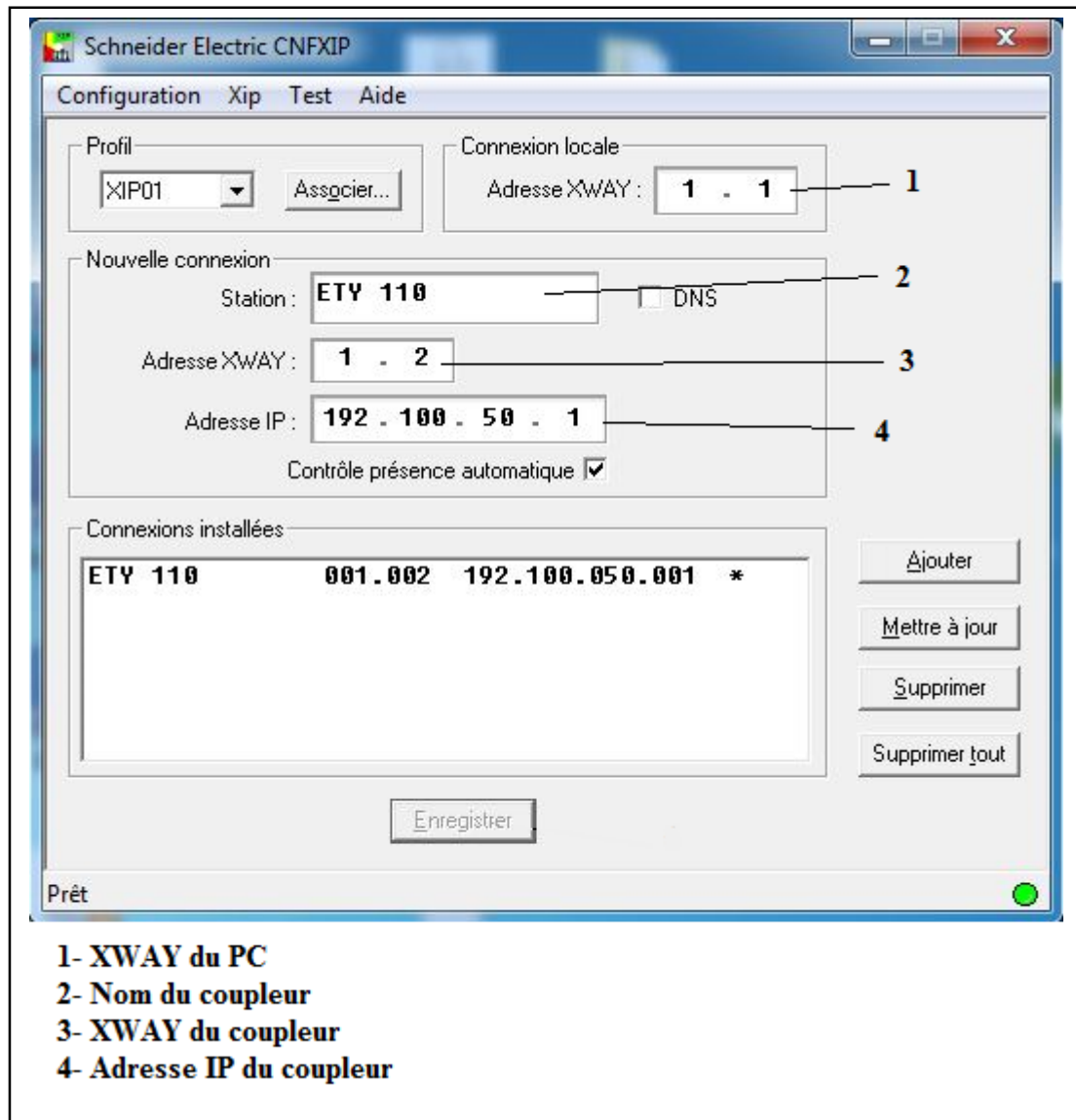


Figure 62 : Configuration du driver XIP

III.3.2. Configuration du module MODBUS TSX SCY 11601

On réalise un double clic sur le module SCY 11601. Une fenêtre de configuration des paramètres du module apparaît. Elle permet de configurer :

- Type de liaison sur la voie. Dans notre cas, elle est configurée sur : liaison MODBUS/JBUS.
- Type du coupleur : maître ou esclave. Dans notre cas, il est configuré en maître.
- Vitesse de transmission.
- Données : RTU ou ASCII.
- Parité.

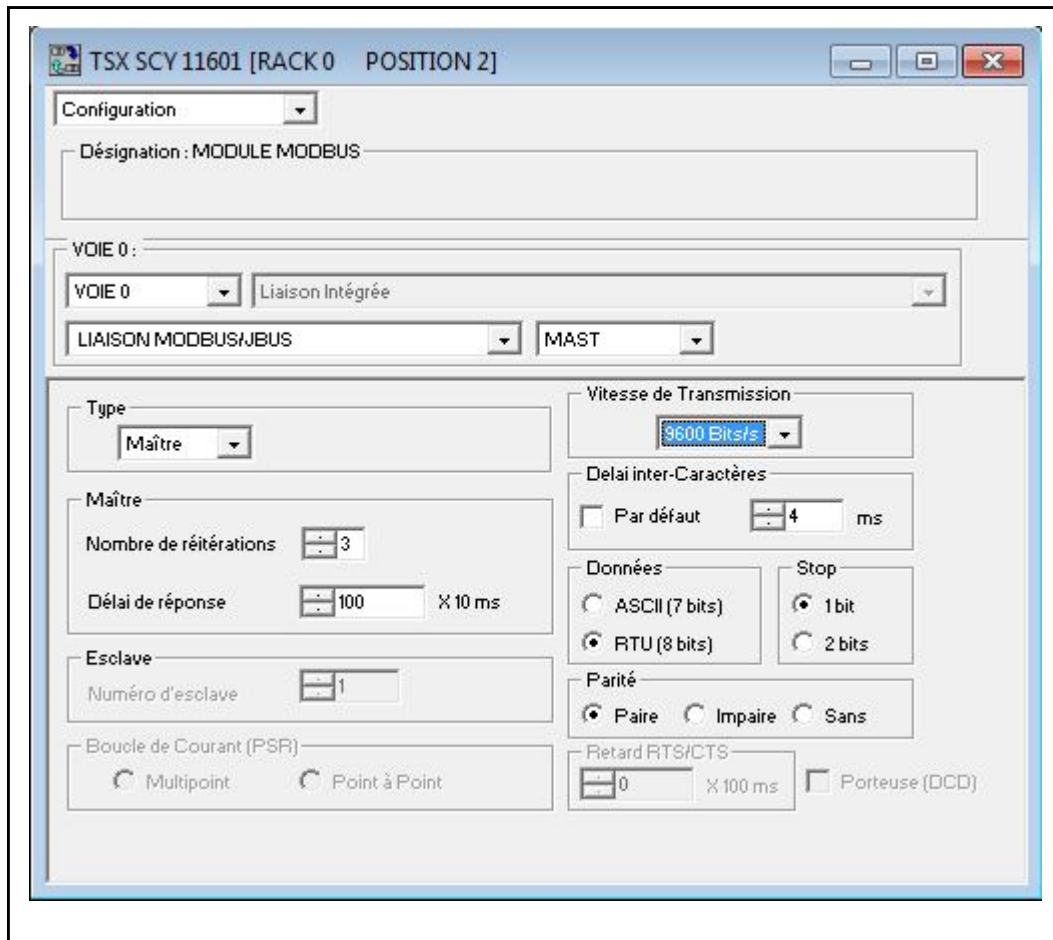


Figure 63 : Configuration du module MODBUS

III.3.3. Configuration du coupleur AS-i TSX SAY 100

Sur le module SAY 100, On réalise un double clic, Une fenêtre de configuration des paramètres du module apparait. Pour ajouter un esclave AS-i, on réalise un double clic sur l'une des cases figurantes dans « configuration AS-interface » (figure 64). La fenêtre « Associer un profil » s'ouvre dont on choisit la famille de l'esclave et sa référence (figure 65).

III.3.4. Configuration des modules entrées/sorties TOR

La configuration des modules d'entrées/sorties consiste seulement à leurs attribuer les adresses des capteurs et des actionneurs.

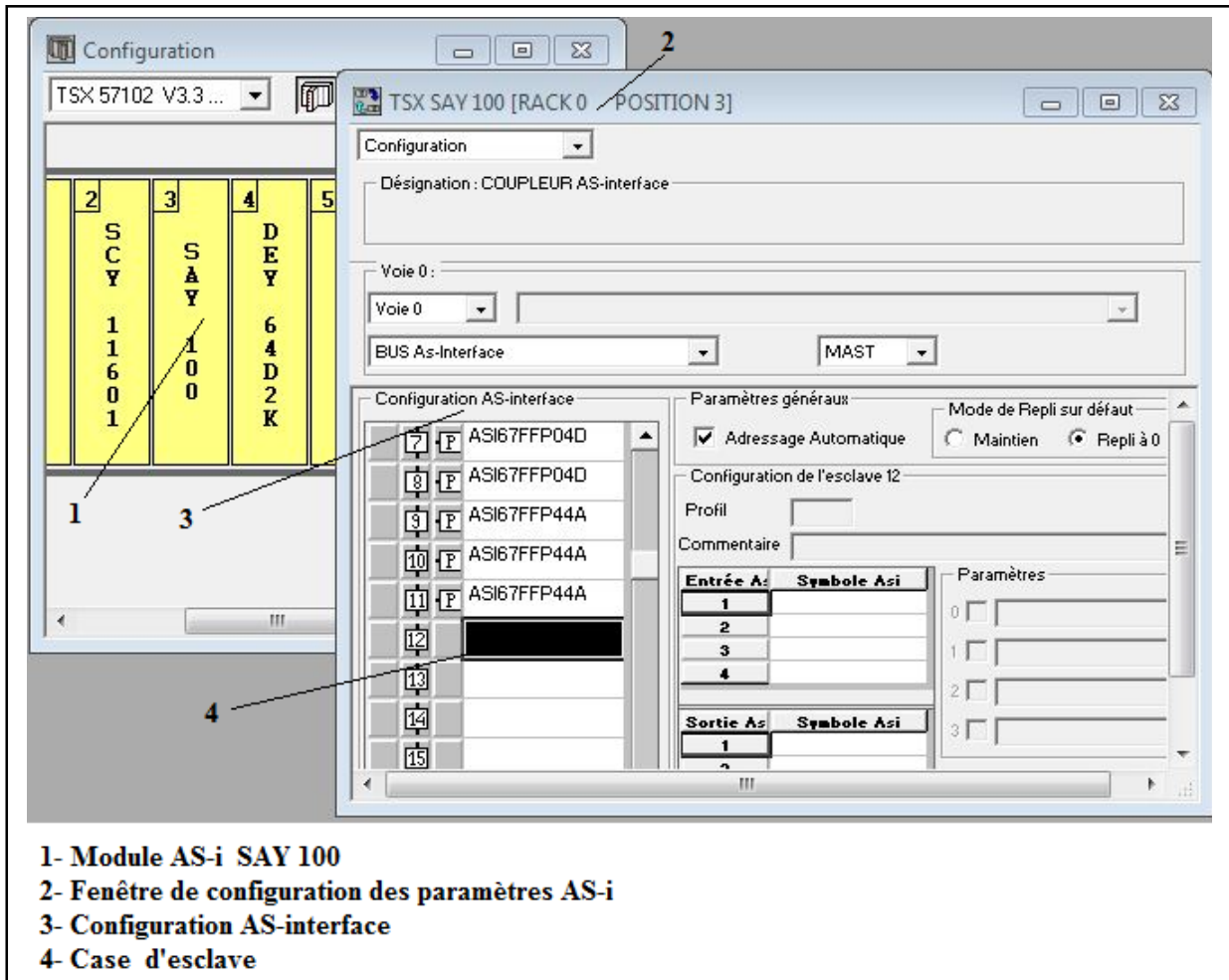


Figure 64 : Configuration du coupleur AS-i

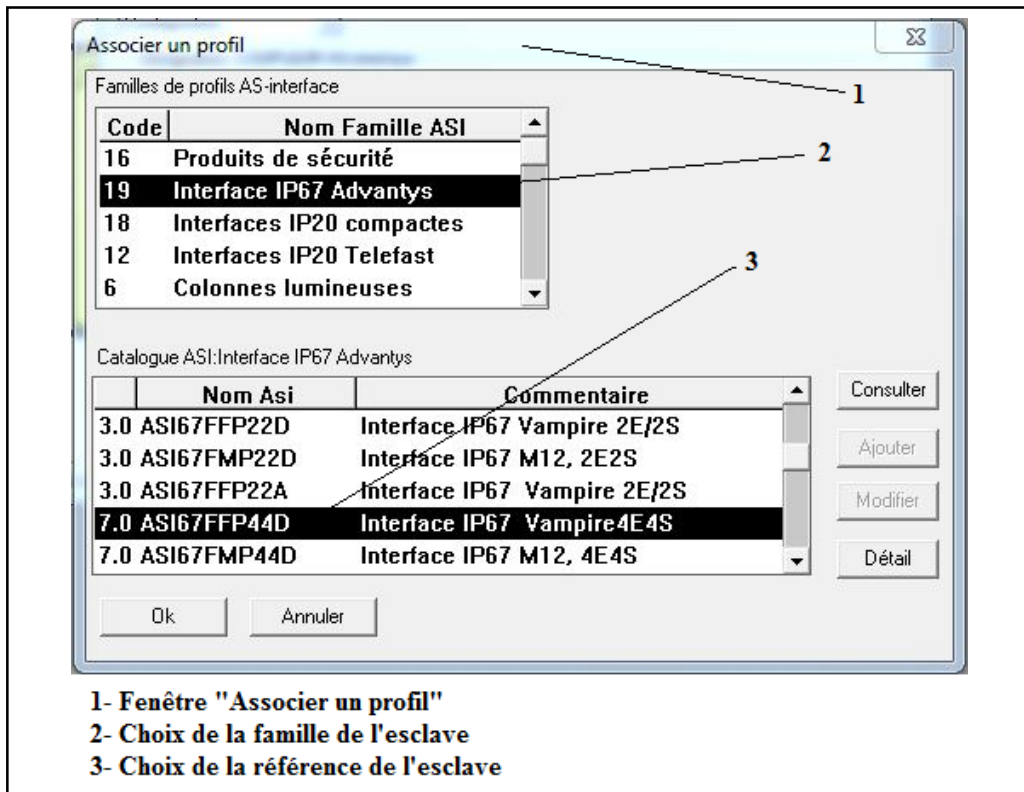


Figure 65 : Choix de la famille et la référence de

III.4. Attribution d'adresses des capteurs et actionneurs aux modules et coupleurs

III.4.1. Attribution d'adresses des E/S du module SCY 11601

On ouvre la rubrique « variable » et on réalise un double clic sur « E/S », la fenêtre « variables » apparaît. Sur « Adr » on sélectionne le module TSX SCY 11601 et la table des entrées/sorties accessibles par le module s'affiche. On attribue des symboles et des commentaires aux adresses des entrées/sorties utilisées pour indiquer les esclaves Modbus physiques.

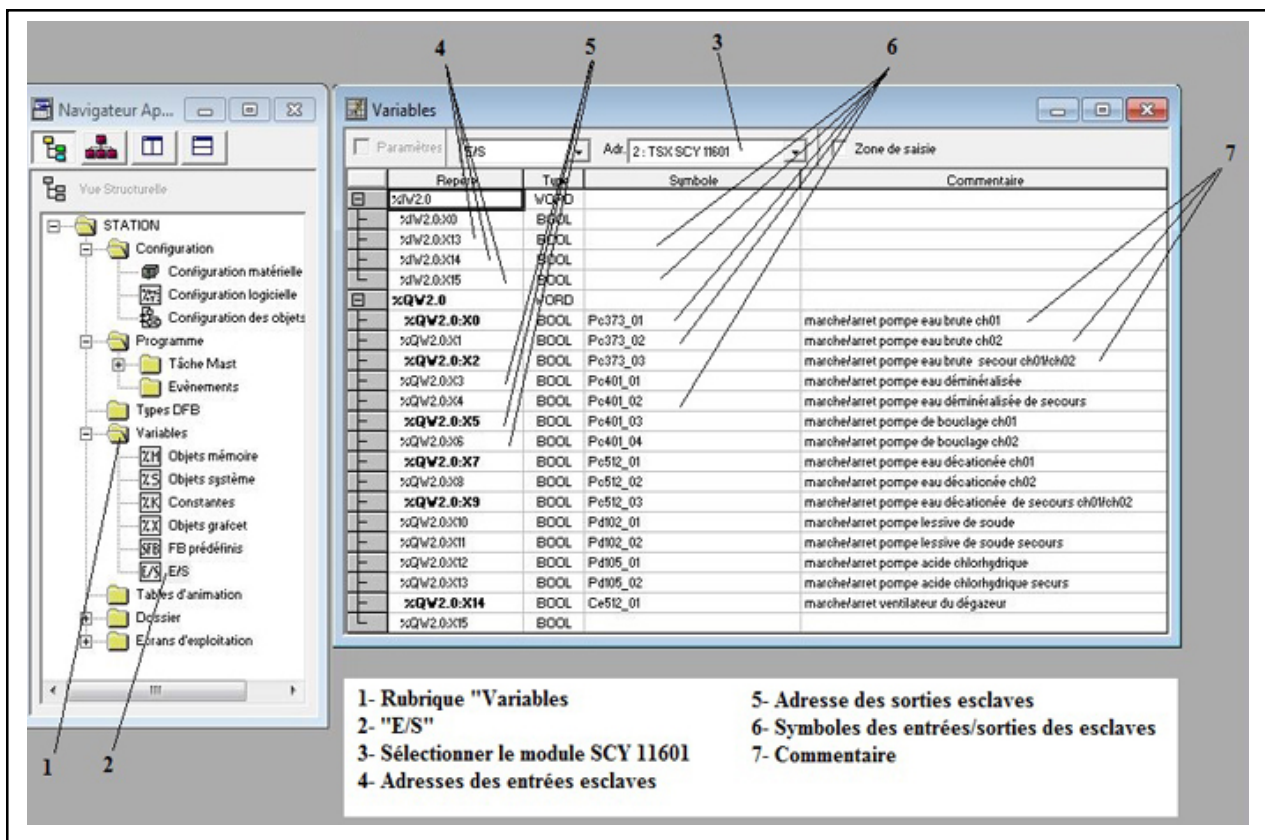


Figure 66 : Attribution des adresses entrées/sorties des esclaves Modbus

III.4.2. Attribution d'adresses E/S du module SAY 100

On ouvre la rubrique « variable » et on réalise un double clic sur « E/S », la fenêtre « variables » apparaît. Sur « Adr » on sélectionne le module TSX SAY 100 et la table des entrées/sorties accessibles par le module s'affiche. On attribue des symboles et des commentaires aux adresses des entrées/sorties utilisées pour indiquer les esclaves AS-i physiques.

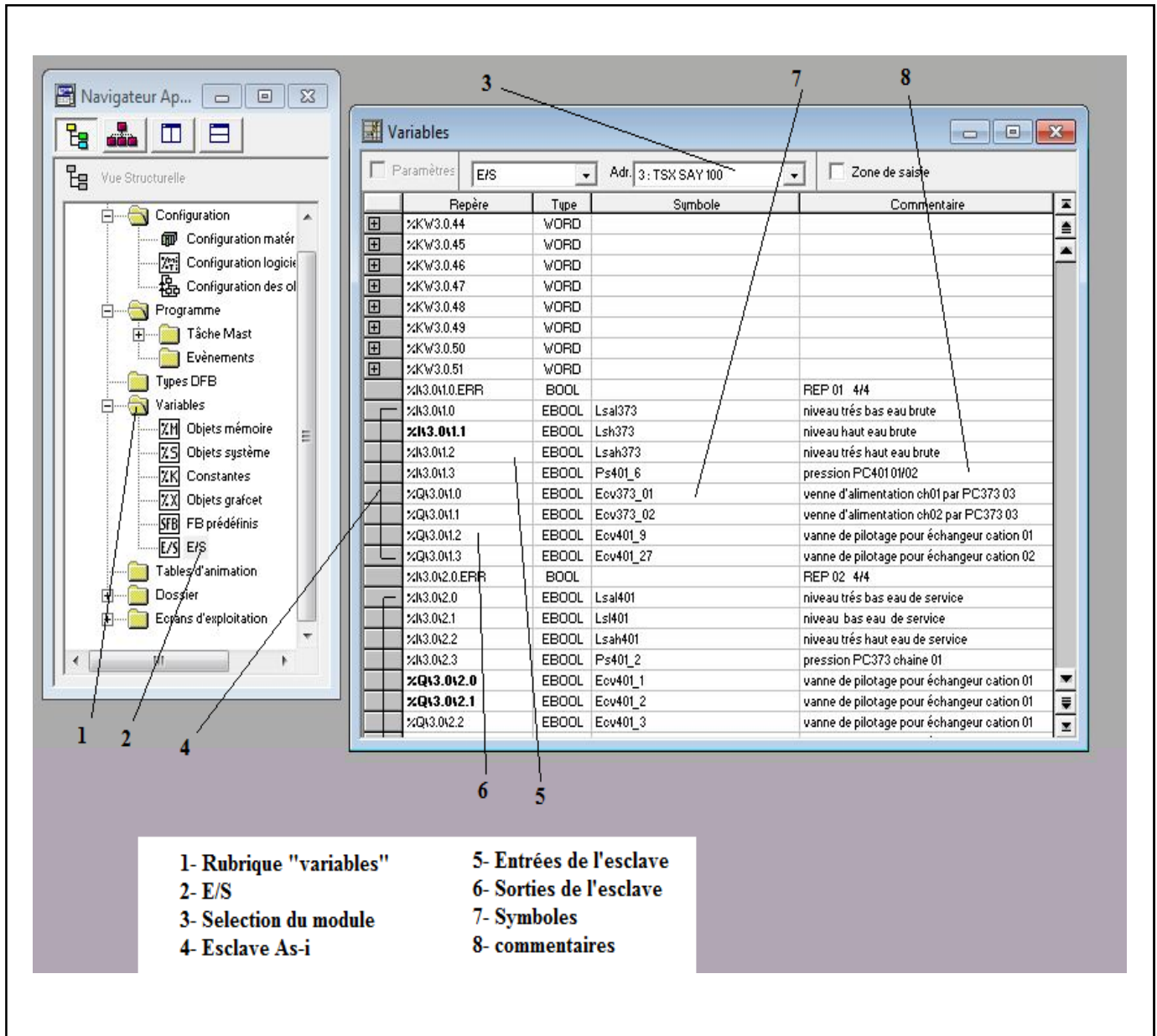


Figure 67 : Attribution des adresses entrées/sorties des esclaves AS-i

III.4.3. Attribution d'adresses des entrées/sorties TOR :

On ouvre la rubrique « variable » et on réalise un double clic sur « E/S », la fenêtre « variables » apparaît. Sur « Adr » on sélectionne le module TSX DEY 64D2K pour les entrées TOR ou le module TSX DSY 16R5 pour les sorties TOR, la table des entrées/sorties accessibles par le module s'affiche. On attribue des symboles et des commentaires aux adresses des entrées/sorties TOR.

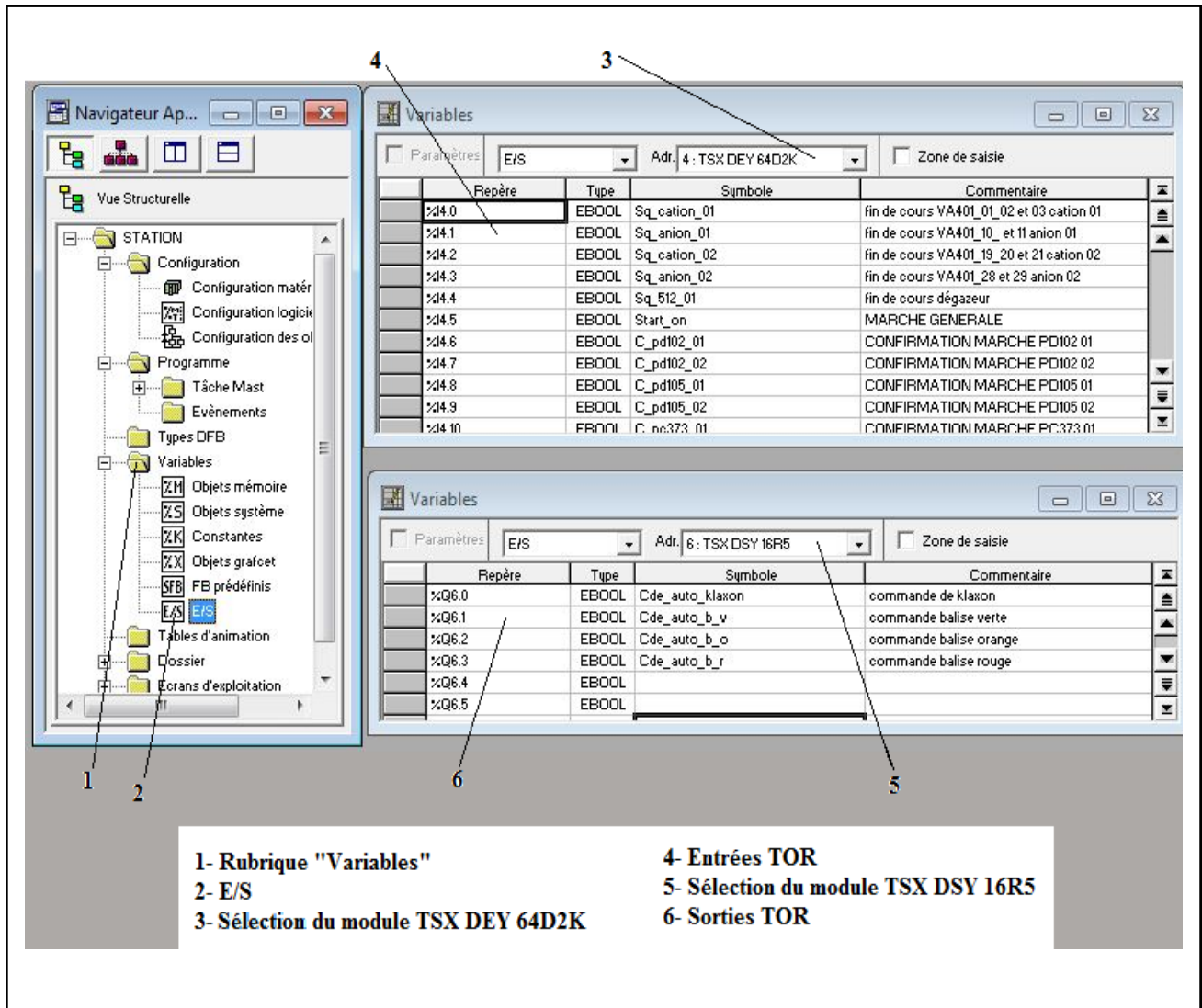


Figure 68 : Attribution des adresses entrées/sorties TOR

III.5. Réalisation d'une supervision sur PL7 Pro

III.5.1. Création de la synoptic de supervision de l'installation

Pour réaliser une supervision sur PL7 Pro, on se positionne sur la rubrique « Ecran d'exploitation » et on double clic dessus, la fenêtre « Ecran d'exploitation » s'affiche. On se positionne sur « Ecran », on réalise un clic droit et on sélectionne « créer » pour créer un nouvel écran. En utilisant les éléments figurants à gauche de la fenêtre « Ecran d'exploitation » et la bibliothèque des objets graphiques (Actionneurs, Afficheur, Machines, Fluides...), on réalise la synotypique de supervision de l'installation.

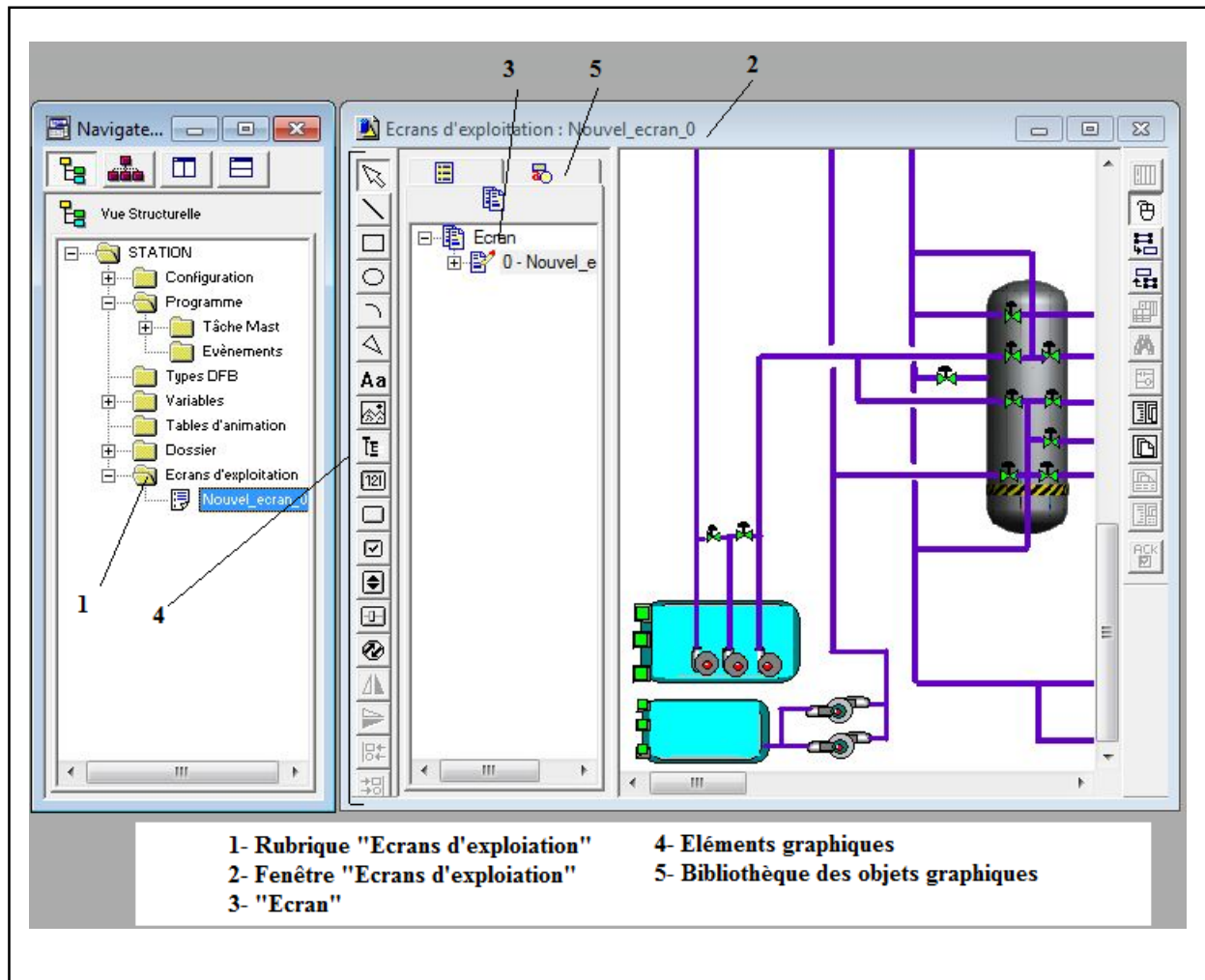


Figure 69 : Réalisation d'une supervision sur PL7 Pro

III.5.2. Configuration des propriétés de l'objet

Tous les objets graphiques (simple ou composés) créés dans un écran peuvent être animés. Le type de l'animation dépend de la nature de l'objet graphique à animer. Les attributs d'animation permettent de :

- décider de l'animation d'un objet.
- choisir la variable d'animation.
- choisir les conditions d'affichage.

Pour animer un objet graphique, on réalise un clic droit dessus et on sélectionne « propriété ». Une fenêtre « propriétés de l'objet » apparaît, sur cette fenêtre on attribue l'adresse de l'équipement physique représenté par cet objet dans le champ « symbole » et on choisit les conditions d'affichage.

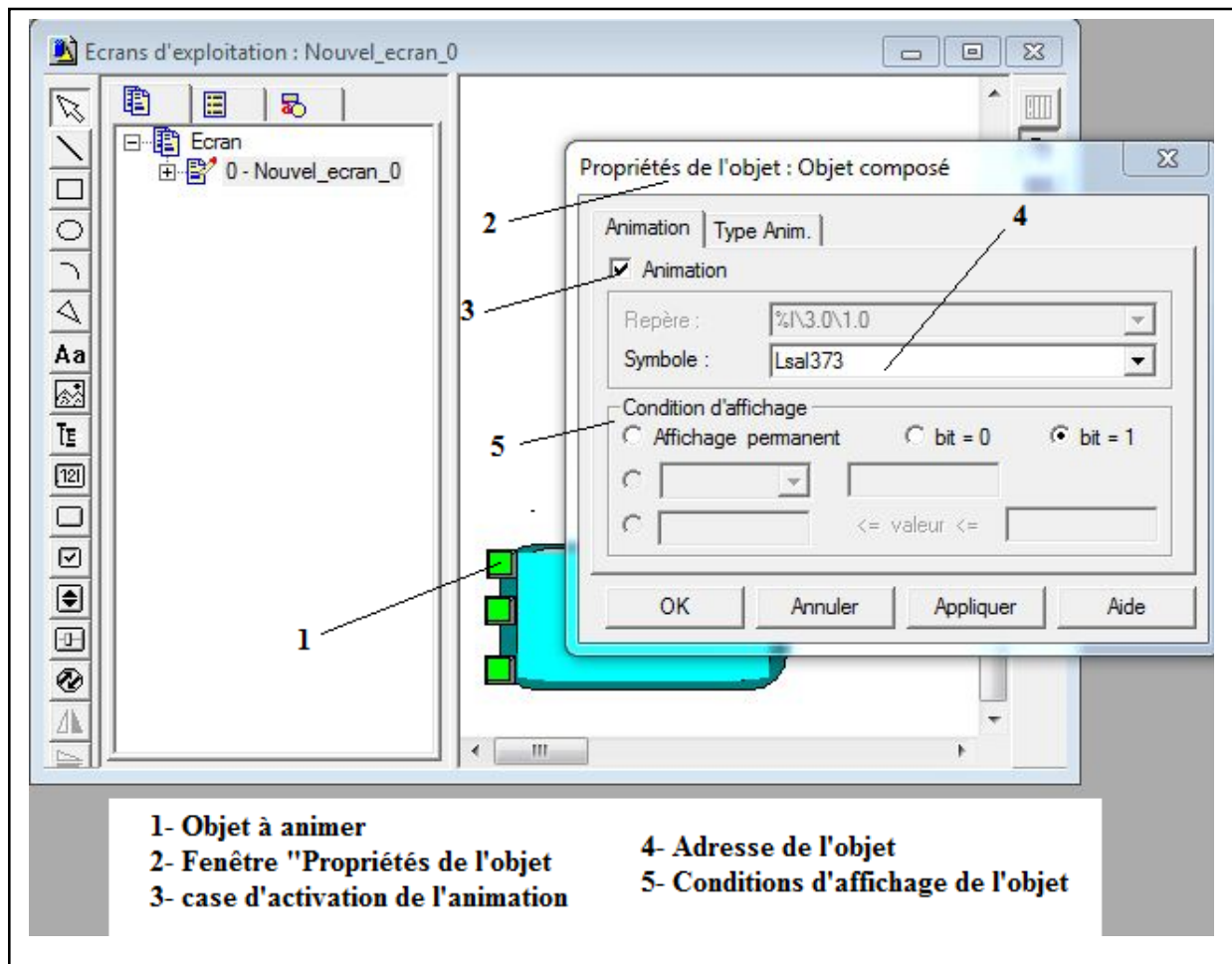


Figure 70 : Configuration des propriétés de l'objet

III.6. Modification du programme pour adapter la solution réseau

III.6.1. Modification apportées pour adapter le réseau Modbus

Pour adapter le réseau Modbus, La modification du programme consiste à modifier les adresses des pompes et du ventilateur configurées sur le module de sortie TOR par les nouvelles adresses Modbus.

Exemple :

- L'adresse de la pompe PC373 01 « %Q5.4 » configurée sur le module de sortie TOR est modifiée par sa nouvelle adresse « %QW2.0 :X0 » configurée sur le module Modbus.

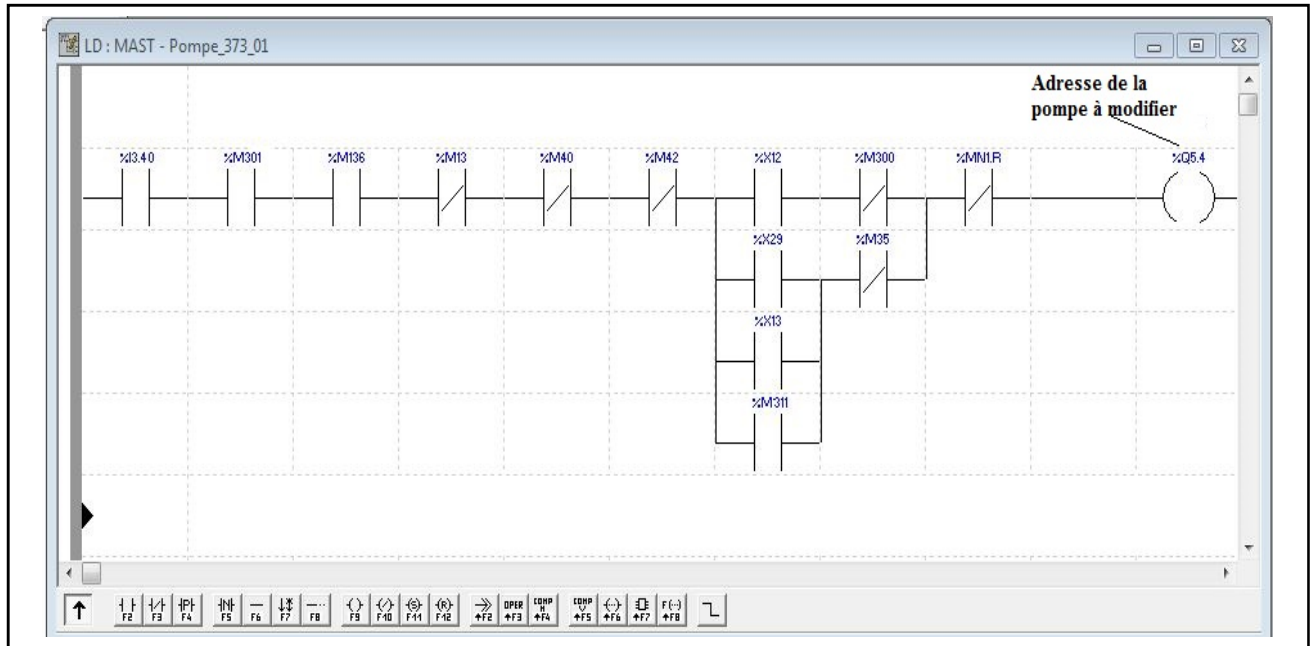


Figure 71 : adresse de pompe sur le module de sortie TOR

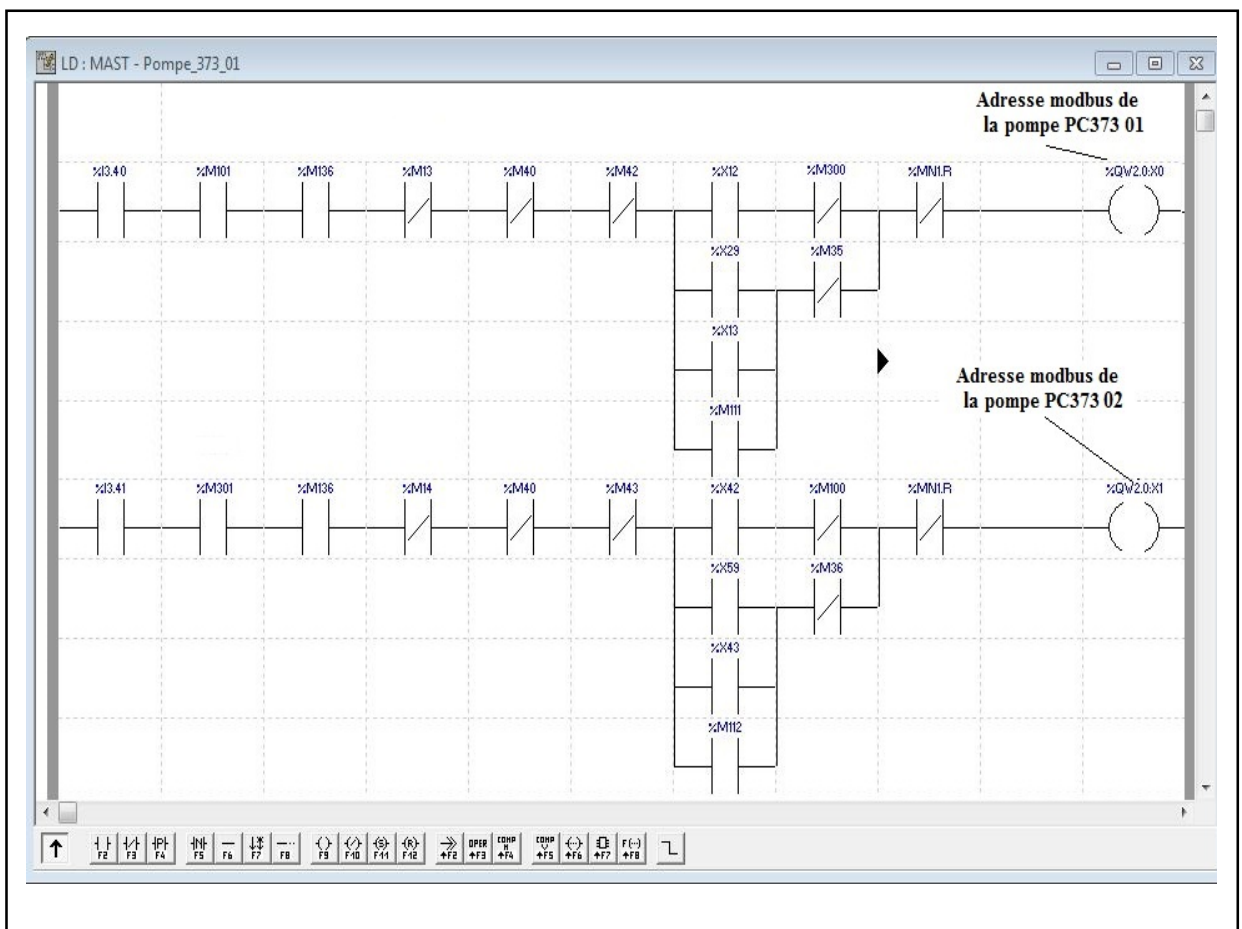


Figure 72 : adresse de pompe sur le module Modbus

III.6.2. Modification apportées pour adapter le réseau AS-i

Pour adapter le réseau AS-i, La modification du programme consiste à modifier les adresses des capteurs et des vannes configurées sur le module d'entrées et de sorties TOR par les nouvelles adresses AS-i.

Exemple :

- L'adresse du capteur LSAH 401 « % I2.14 » configurée sur le module de d'entrée TOR est modifiée par sa nouvelle adresse « %I\3.0\2.2 » configurée sur le coupleur AS-i.
- L'adresse de la vanne ECV401 05 « %Q8.5 » configurée sur le module de d'entrée TOR est modifiée par sa nouvelle adresse « %Q\3.0\2.0 » configurée sur le coupleur AS-i

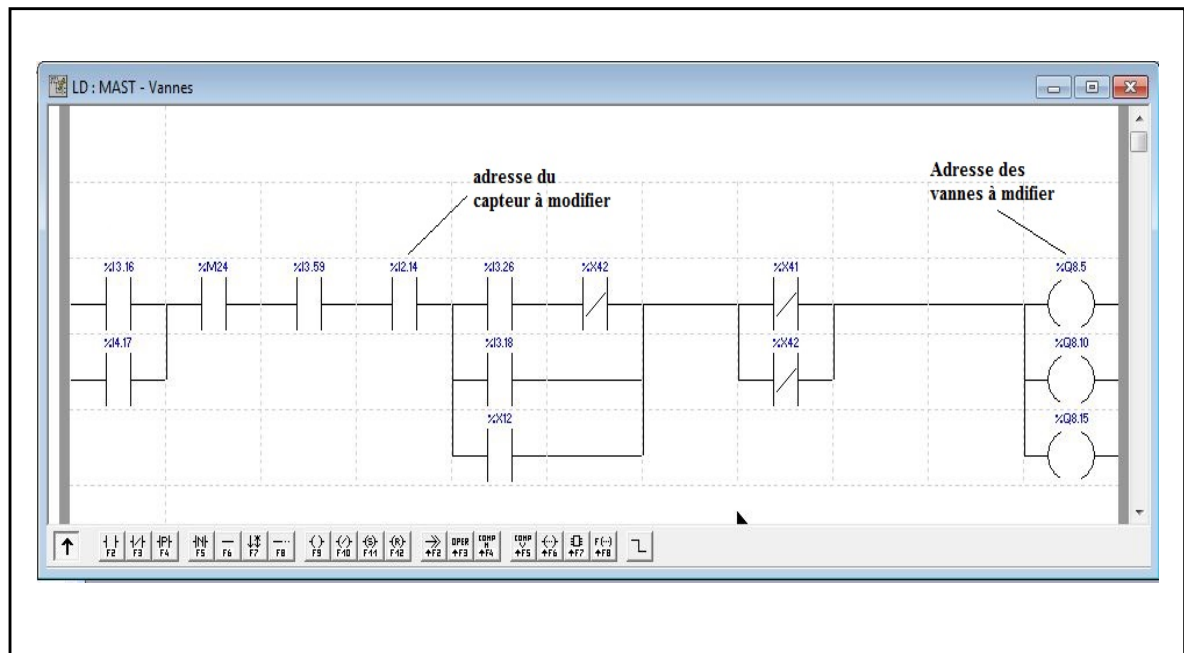


Figure 73 : adresse de vannes et capteur sur le module E/S TOR

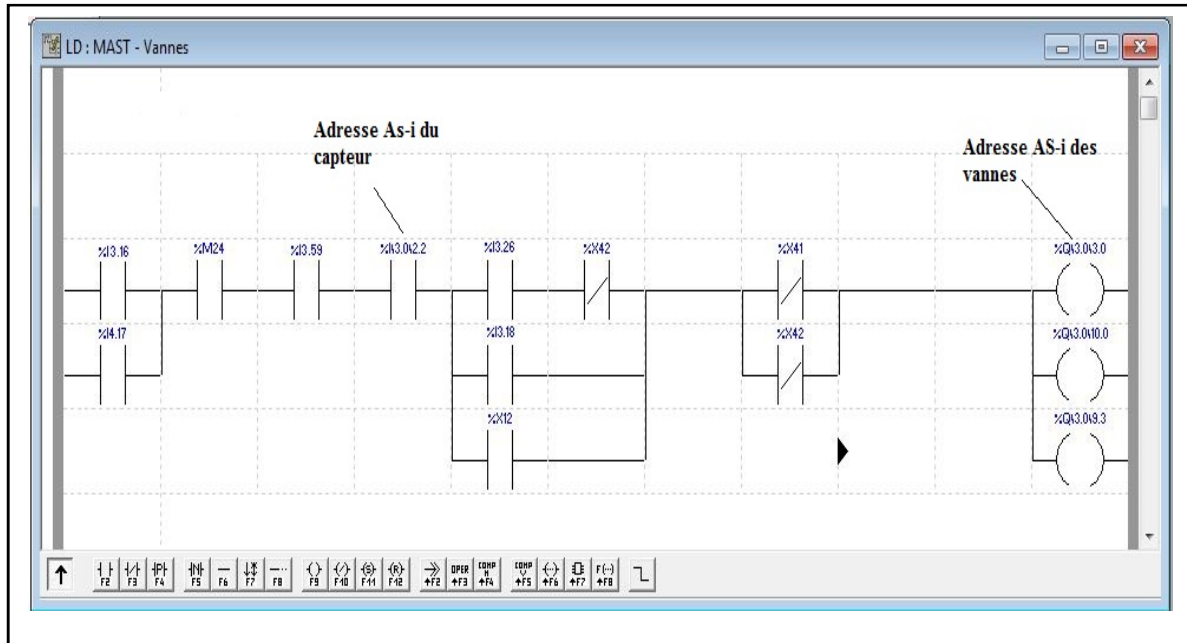


Figure 74 : adresse de vannes et capteur sur le coupleur AS-i

IV. Conclusion

L'adaptation et l'application de la solution réseau présentée dans ce chapitre sur l'installation nécessite l'intégration des modules de communication Ethernet, Modbus et As-i à l'automate TSX P57 102. Des départs moteurs pour les pompes et le ventilateur et des répartiteurs actifs pour connecter les capteurs et les actionneurs seront également ajoutés à l'installation.

Pour mettre à jour la solution programmé » de l'installation, les adresses des entrées/sorties sont adaptées à la nouvelle configuration du système de commande.

Le logiciel PL7 Pro utilisé pour configurer cette solution réseau est le logiciel le plus répandu pour la programmation des automates Schneider, il offre une simple procédure de configuration et la possibilité de réaliser une supervision.

Conclusion générale

L'étude que nous avons réalisée rentre dans le cadre d'un plan de modernisation des automatismes au sein de la Société Nationale des Véhicules Industriels (SNVI). Elle été dédiée à l'adaptation d'une solution réseau à l'installation de déminéralisation de l'eau industrielle en vue d'améliorer ses performances. Ce travail nous été bénéfique quant à l'acquisition de beaucoup de connaissances théoriques, techniques et pratiques.

Ce travail nous a permet de comprendre le fonctionnement de l'installation de déminéralisation d'eau industrielle en tant que procédé et en tant qu'un système automatisé.

On a pu comprendre l'utilité et les caractéristiques des différents équipements utilisés dans l'installation déminéralisation d'eau industrielle.

On a pu acquérir de nouvelles connaissances théoriques et techniques dans le domaine de réseaux de communication, en particulier, les réseaux locaux industriels. Ce qui nous a permis de proposer et d'adapter une solution réseau à l'installation.

On a acquis notamment une maitrise du logiciel PL7 Pro de programmation des automates programmables de la firme Schneider et de nous familiarisé avec le langage de programmation Grafset.

On a aussi développé une plateforme de supervision afin de contrôler et de diagnostiquer le fonctionnement de l'installation de déminéralisation d'eau industrielle.

En général, ce travail nous a permis de nous familiariser avec le milieu industriel et professionnel.

En fin, nous espérant que ce travail puisse apporter un plus et servir d'un support supplémentaire aux promotions à venir.

BIBLIOGRAGHIE

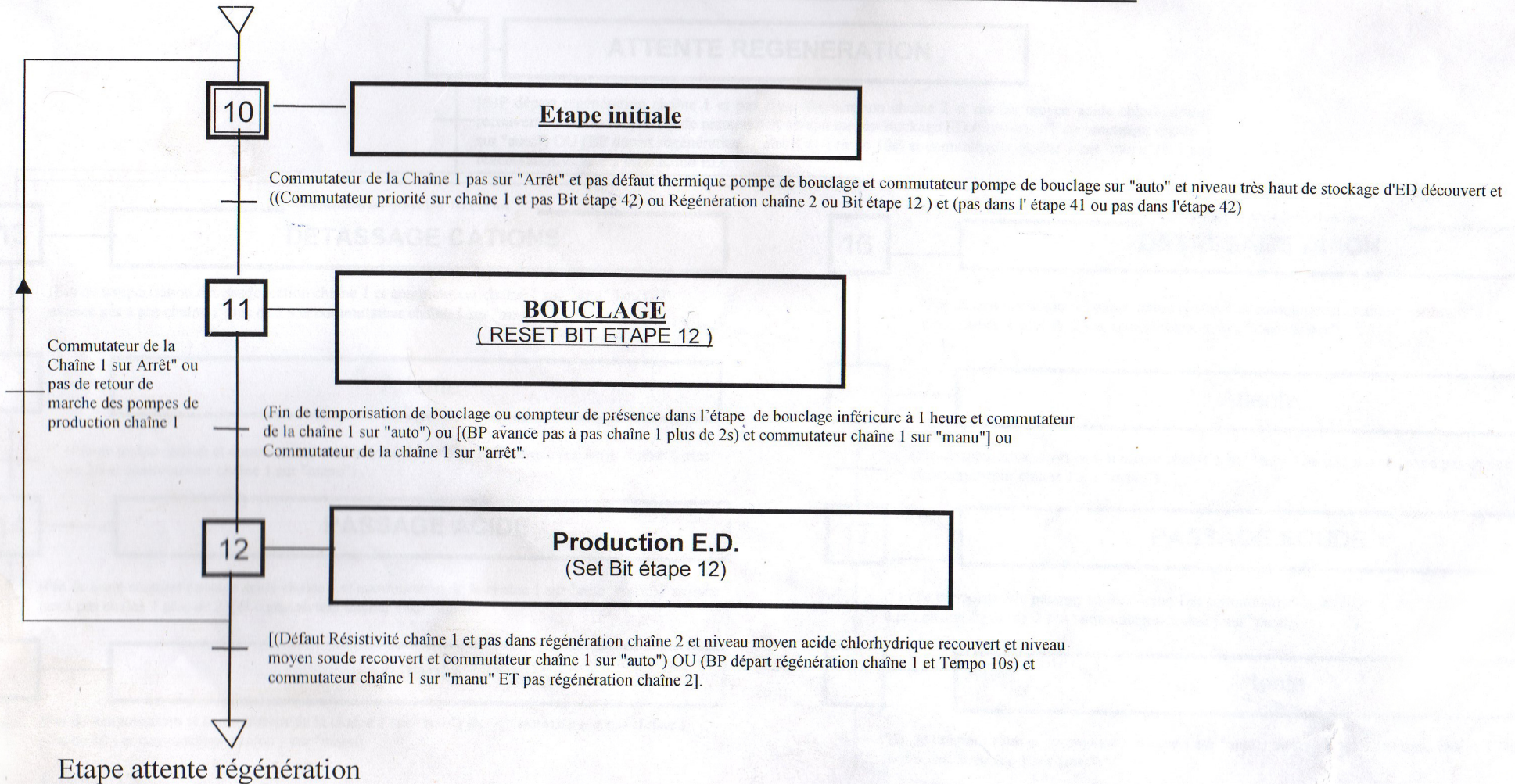
BIBLIOGRAPHIE

- [1] « Guide des solutions d'automatisme » Publications Techniques, Schneider Electric
- [2] Richard ZURAWSKI, The industrial communication technology handbook, Taylor and Francis, CRC Press 2005
- [3] Manuel de conduite et de fonctionnement 2002, Hytec Industrie, Manuel de l'entreprise
- [4] « Rénovation d'une unité de déminéralisation » Documentation technique des matériels 2002, Hytec Industrie, Manuel de l'entreprise
- [5] Richard MATHIEU, G.I. D4.13/Chapitre 1c – pompes
- [6] Pompes doseuses à membrane et piston hydraulique et accessoires 50 Hz, GRUNDFOS LIVRET TECHNIQUE
- [7] Composants des circuits électropneumatiques, Soutien scolaire, Cours Mécanique des fluides, Maxicours
- [8] Guide des automatismes, Thierry Schanen-2007
- [9] Le grand guide des systèmes de contrôle-commande industriels, Cédric SINDJUI
- [10] Les réseaux locaux, IUT Informatique Bordeaux1 ~ ASR2 Réseau [Janvier-juin 2009]
- [11] Réseaux locaux, Ethernet, C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)
- [12] Système de câblage As-i, Manuel de référence 2000, Schneider Electric
- [13] PL7 Junior/ Pro, Métier communication TOM 3, Schneider Electric
- [14] Modicon Premium PLCs using PL7 software, TSX 57/ PCX 57 processors, implantation Manual volum 1, Schneider Electric

ANNEXES

Etape 31

GRAF CET NIVEAU 1 CHAÎNE 1 DE PRODUCTION ED



Etape 12



[(BP départ régénération chaîne 1 et pas dans régénération chaîne 2 et niveau moyen acide chlorhydrique recouvert et niveau moyen soude recouvert et niveau moyen stockage ED recouvert ET commutateur chaîne 1 sur "auto") OU (BP départ régénération chaîne 1 et Tempo 10s) et commutateur chaîne 1 sur "manu"] ET pas régénération chaîne 2 production ED.

Décolmataoe tous les 10 cycles

13 — **DETASSAGE CATIONS**

(Fin de temporisation détassage cation chaîne 1 et commutateur chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 2 s et commutateur chaîne 1 sur "manu")

Attente

(Fin de temporisation et commutateur chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 2 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

14 — **PASSAGE ACIDE**

(Fin de temporisation passage acide chaîne 1 et commutateur de la chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 2 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

Attente

(Fin de temporisation et commutateur de la chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 10 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

Etape 15

Décolmataoe tous les 10 cycles

16 — **DETASSAGE ANION**

(Fin de temporisation détassage anion chaîne 1 et commutateur chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 2 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

Attente

(Fin de temporisation et commutateur chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 2 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

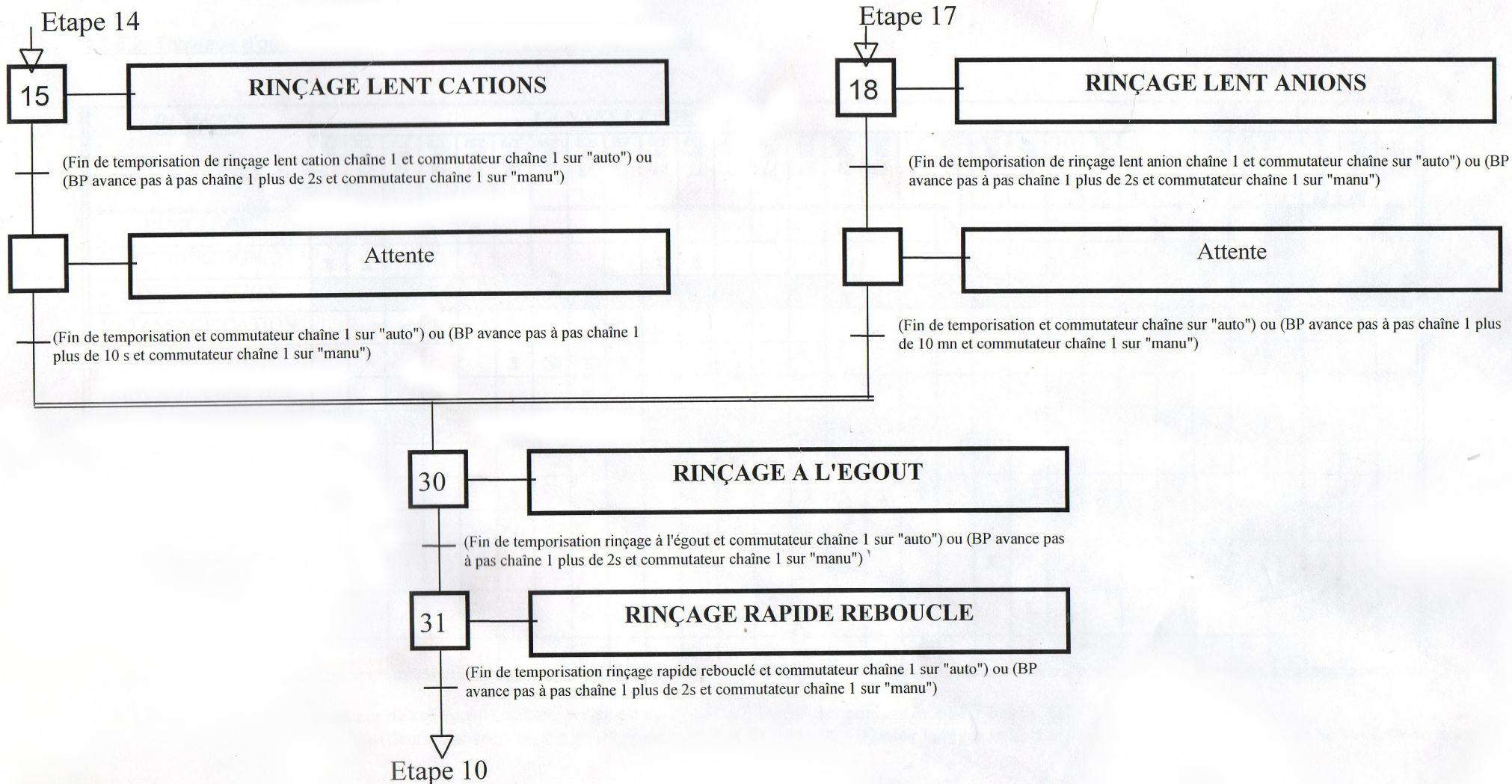
17 — **PASSAGE SOUDE**

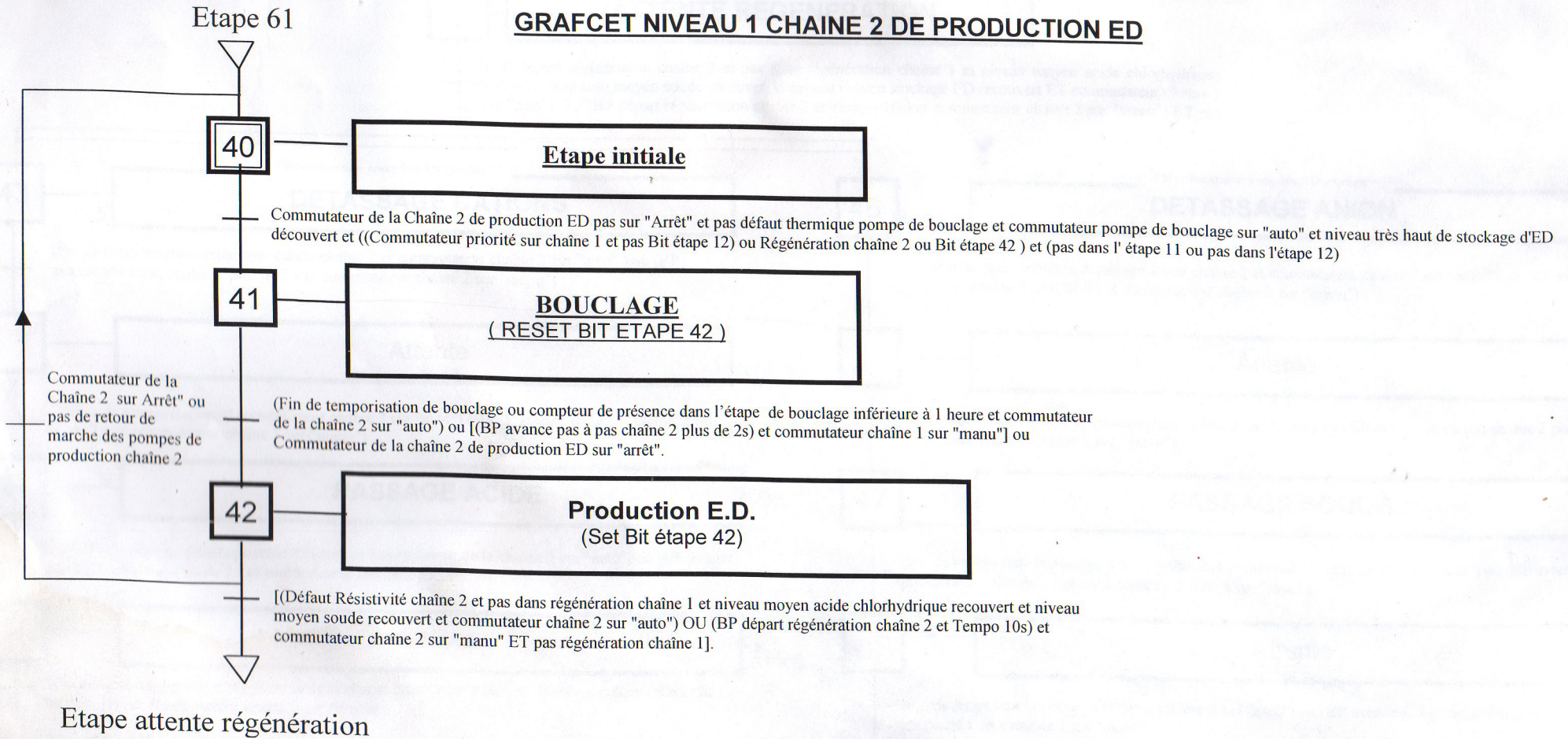
(Fin de temporisation passage soude chaîne 1 et commutateur de la chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 2 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

Attente

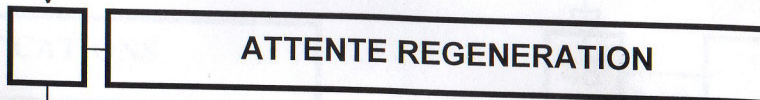
(Fin de temporisation et commutateur chaîne 1 sur "auto") ou (BP avance pas à pas chaîne 1 plus de 10 s et commutateur chaîne 1 sur "manu").

Etape 18



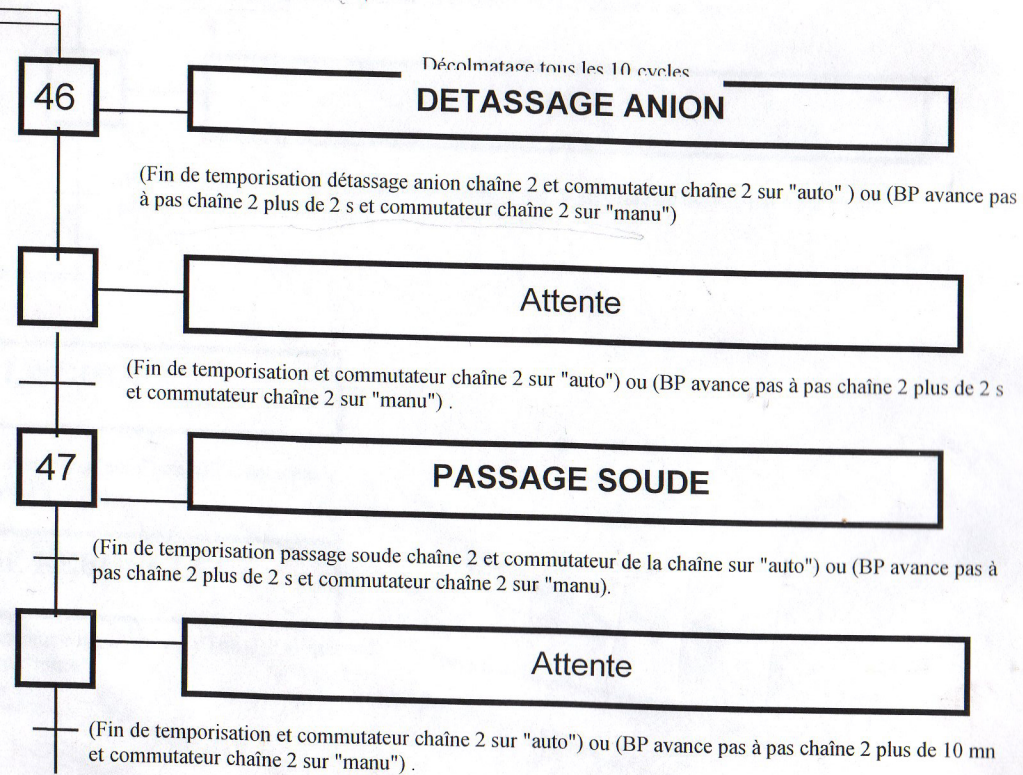
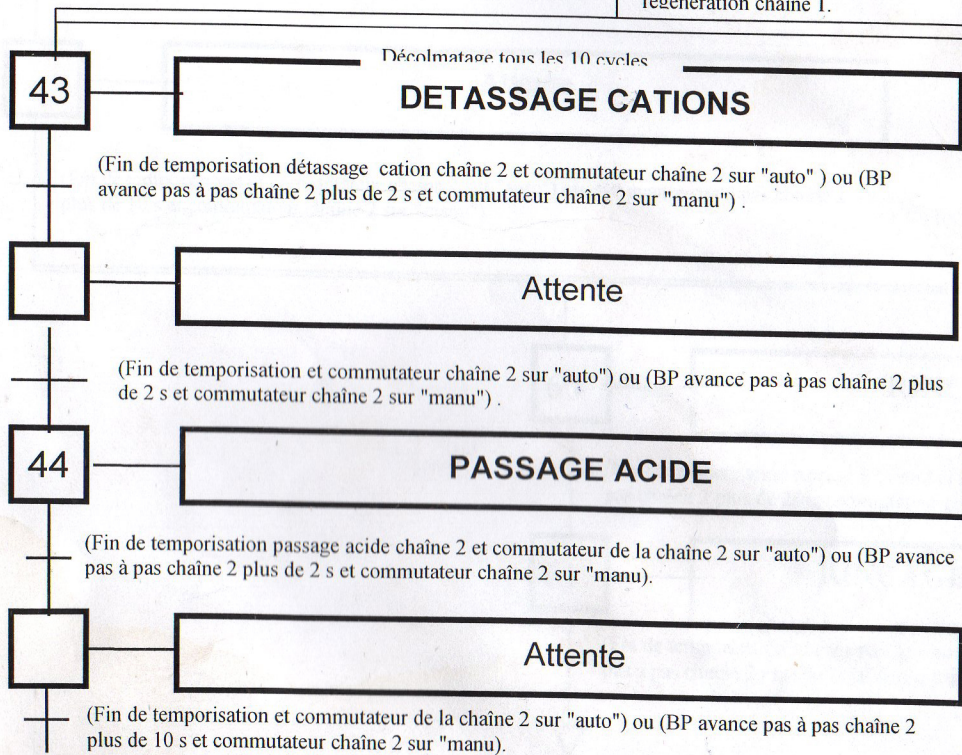
4.2.6. Cycle de fonctionnement de la chaîne 2 ED4.2.6.1. Description du cycle**GRAFNET NIVEAU 1 CHAÎNE 2 DE PRODUCTION ED**

Etape 42



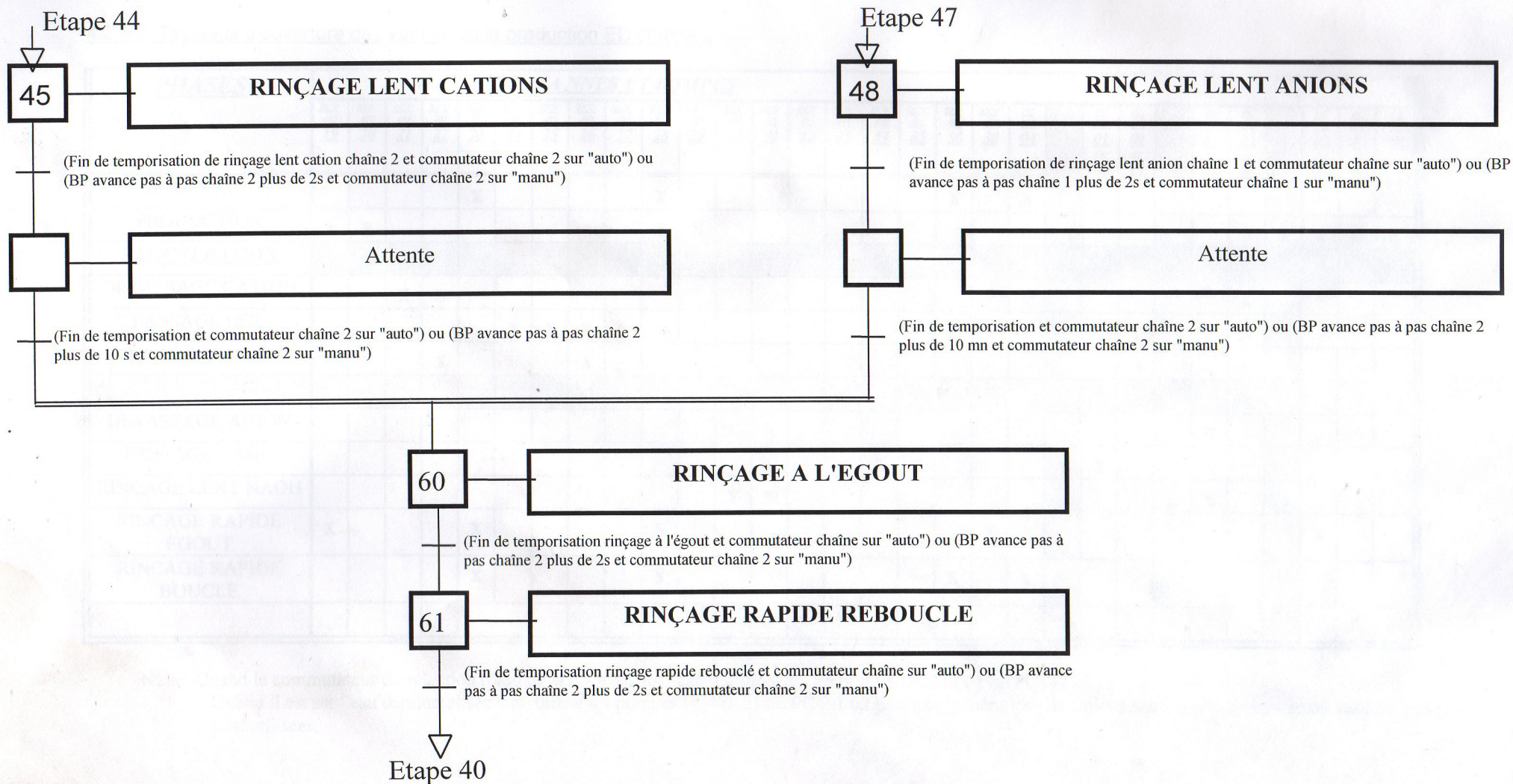
[(BP départ régénération chaîne 2 et pas dans régénération chaîne 1 et niveau moyen acide chlorhydrique recouvert et niveau moyen soude recouvert et niveau moyen stockage ED recouvert ET commutateur chaîne 2 sur "auto") OU (BP départ régénération chaîne 2 et Tempo 10s) et commutateur chaîne 2 sur "manu"] ET pas régénération chaîne 1.

D'eye 10g.



Etape 45

Etape 18



4.2.6.2. Tableaux d'ouverture des vannes de la production ED chaîne 2

PHASES	VANNES ET POMPES																																	
	ECV 401 19	ECV 401 20	ECV 401 21	ECV 401 22	ECV 401 23	ECV 401 24	ECV 401 25	ECV 401 26	ECV 401 27	ECV 401 28	ECV 401 29	ECV 401 30	ECV 401 31	ECV 401 32	ECV 401 33	ECV 401 34	ECV 401 35	ECV 401 36	ECV 401 38	PC 401 04		PD 102 01 ou 02	PD 105 01 ou 02		PC 401 01 ou 02	PC 512 01 ou 03		PC 373 02 ou 03	PC 512 02 ou 03	CE 512 01				
	BOUCLAGE					X					X									X	X													
PRODUCTION	X	X								X	X																				X	X	X	
REGENERATION																																		
DETASSAGE CATION			X	X																												X		
PASSAGE HCL						X	X	X	X																X							X		
RINCAGE LENT HCl				X				X																								X		
DETASSAGE ANION												X	X																			X		
PASSAGE NAOH														X	X	X	X							X								X		
RINCAGE LENT NAOH												X	X																			X		
RINCAGE RAPIDE EGOUT	X				X						X																				X			
RINCAGE RAPIDE BOUCLE					X						X																							

Nota : Quand le commutateur de sélection d'eau de service est sur "eau décationée", les pompes PC512 01 ou PC512 03 sont utilisées.

Quand il est sur "eau déminéralisée", on utilise les pompes PC401 01 ou PC401 02 pour la régénération des cations sauf lors du détassage où les deux pompes sont utilisées.

MODULE @2

REPERE

%QW2.0

SYMBOLE

COMMENTAIRE

%QW2.0:X0	Pc373_01	marche/arret pompe eau brute ch01
%QW2.0:X1	Pc373_02	marche/arret pompe eau brute ch02
%QW2.0:X2	Pc373_03	marche/arret pompe eau brute secours ch01/ch02
%QW2.0:X3	Pc401_01	marche/arret pompe eau déminéralisée
%QW2.0:X4	Pc401_02	marche/arret pompe eau déminéralisée de secours
%QW2.0:X5	Pc401_03	marche/arret pompe de bouclage ch01
%QW2.0:X6	Pc401_04	marche/arret pompe de bouclage ch02
%QW2.0:X7	Pc512_01	marche/arret pompe eau décactionée ch01
%QW2.0:X8	Pc512_02	marche/arret pompe eau décactionée ch02
%QW2.0:X9	Pc512_03	marche/arret pompe eau décactionée de secours ch01/ch02
%QW2.0:X10	Pd102_01	marche/arret pompe lessive de soude
%QW2.0:X11	Pd102_02	marche/arret pompe lessive de soude secours
%QW2.0:X12	Pd105_01	marche/arret pompe acide chlorhydrique
%QW2.0:X13	Pd105_02	marche/arret pompe acide chlorhydrique secours
%QW2.0:X14	Ce512_01	marche/arret ventilateur du dégazeur

MODULE @3

REPERE

%\3.0\1.0
%\3.0\1.1
%\3.0\1.2
%\3.0\1.3
%\3.0\1.0
%\3.0\1.1
%\3.0\1.2
%\3.0\1.3
%\3.0\2.0
%\3.0\2.1
%\3.0\2.2
%\3.0\2.3
%\3.0\2.0
%\3.0\2.1
%\3.0\2.2
%\3.0\2.3
%\3.0\3.0
%\3.0\3.1
%\3.0\3.2
%\3.0\3.3
%\3.0\3.0
%\3.0\3.1
%\3.0\3.2
%\3.0\3.3
%\3.0\3.0
%\3.0\3.1
%\3.0\3.2
%\3.0\3.3
%\3.0\3.0
%\3.0\3.1
%\3.0\3.2
%\3.0\3.3
%\3.0\4.0
%\3.0\4.1
%\3.0\4.2
%\3.0\4.3
%\3.0\5.0
%\3.0\5.1
%\3.0\5.2
%\3.0\5.3
%\3.0\6.0
%\3.0\6.1
%\3.0\6.2
%\3.0\6.3
%\3.0\6.0
%\3.0\6.1
%\3.0\6.2
%\3.0\6.3
%\3.0\7.0
%\3.0\7.1
%\3.0\7.2
%\3.0\7.3
%\3.0\8.0
%\3.0\8.1
%\3.0\8.2
%\3.0\8.3
%\3.0\9.0
%\3.0\9.1
%\3.0\9.0
%\3.0\9.1
%\3.0\9.2
%\3.0\9.3
%\3.0\10.0

SYMBOLE

Lsa1373
Lsh373
Lsa373
Ps401_6
Ecv373_01
Ecv373_02
Ecv401_9
Ecv401_27
Lsa401
Ls401
Lsah401
Ps401_2
Ecv401_1
Ecv401_2
Ecv401_3
Ecv401_4
Lsl105
Lsm105
Lsa373
Ps401_3
Ecv401_5
Ecv401_6
Ecv401_7
Ecv401_8
Ecv401_19
Ecv401_20
Ecv401_21
Ecv401_22
Ecv401_23
Ecv401_24
Ecv401_25
Ecv401_26
Lsl512
Lsh512
Ps401_4
Ps401_5
Ecv512_1
Ecv512_2
Ecv512_3
Ecv512_4
Ecv401_28
Ecv401_29
Ecv401_30
Ecv401_31
Ecv401_32
Ecv401_33
Ecv401_34
Ecv401_35
Xi401_01
Xi401_02
Ecv401_36
Ecv401_38
Ecv401_37
Ecv401_18
Lsl102

COMMENTAIRE

niveau très bas eau brute
niveau haut eau brute
niveau très haut eau brute
pression PC401 01/02
venne d'alimentation ch01 par PC373 03
venne d'alimentation ch02 par PC373 03
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
niveau très bas eau de service
niveau bas eau de service
niveau très haut eau de service
pression PC373 chaine 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
niveau bas acide chlorhydrique
niveau moyen acide chlorhydrique
niveau très haut acide chlorhydrique
pression PC373 chaine 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 01
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
vanne de pilotage pour échangeur cation 02
niveau bas dégazeur
niveau haut dégazeur
pression PC512 chaine 01
pression PC512 chaine 02
venne d'alimentation ch01 par PC512 03
venne d'alimentation ch01 par PC512 03
vanne d'alimentation ED régénération cation 02
vanne d'alimentation ED régénération cation 01
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
seuil résistivité ch01
seuil résistivité ch02
vanne de pilotage pour échangeur anion 02
vanne de pilotage pour rinçage rapide à l'égout chaine 02 anion 02
vanne de pilotage pour rinçage rapide à l'égout chaine 01 anion 01
vanne de pilotage pour échangeur anion 01
niveau bas lessive de soude

REPERE	SYMBOLE	COMMENTAIRE
%I3.0\10.1	Lsm102	niveau moyen lessive de soude
%I3.0\10.2	Lsah102	niveau très haut lessive de soude
%I3.0\10.3	Db102	débit PD102 01/02 lessive de soude
%Q\3.0\10.0	Ecv401_10	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%Q\3.0\10.1	Ecv401_11	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%Q\3.0\10.2	Ecv401_12	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%Q\3.0\10.3	Ecv401_13	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%I3.0\11.0	Db105	débit PD105 01/02 acide chlorhydrique
%I3.0\11.1	Fiq401	impulsion débit eau déminéralisée
%Q\3.0\11.0	Ecv401_14	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%Q\3.0\11.1	Ecv401_15	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%Q\3.0\11.2	Ecv401_16	vanne de pilotage pour échangeur anion 01
%Q\3.0\11.3	Ecv401_17	vanne de pilotage pour échangeur anion 01