

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A.MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique

# Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master en électromécanique

Thème

---

**Étude et automatisation du système de dépoussiérage  
au niveau de l'unité de conditionnement du sucre de  
CEVITAL**

---

Réalisé par :

MOUSSI Ouramdane

BAOUZ Syphax

Encadré par :

Mr: TAZERART Farid

Mr: ADJIR Nacer

Membres du jury :

Mr : LAIFAOUI. A

Mr : ALOUI. L

Promotion 2019

## REMERCIEMENTS

*Premièrement il y a lieu de remercier Dieu, le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a accordé durant toutes ces longues années d'études.*

*Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à nos promoteurs **Mr TAZERART.F** et **Mr ADJIR.N** pour leurs conseils, et leurs disponibilité et l'aide qu'ils nous ont apporté.*

*Notre gratitude va également à **Mr MOUSSI Achour** qui nous a aidé tout au long de ce mémoire.*

*Nos remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel du complexe agro-alimentaire **CEVITAL**.*

*Les membres du jury nous font l'honneur de juger ce travail, qu'ils en soient remerciés.*

*Enfin, dans un souci d'exhaustivité, nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin, à accomplir ce travail.*

# *Dédicaces*

*A mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de me soutenir tout au long de mon parcours d'étude.*

*A la mémoire de mes grands-parents.*

*A mon oncle Achour.*

*A mes chers frères.*

*A mes chères sœurs.*

*A Mes neveux.*

*A mon ami SYPHAX avec lequel j'ai eu le plaisir de travailler et à toute sa famille.*

*A toute ma famille, mes tentes et cousins.*

*A mes amis.*

*Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie afin que je puisse à mon tour vous combler.*

*Ouramdane*

# *Dédicaces*

*A mes très chers parents qui n'ont jamais cessé de me soutenir tout au long de mon parcours d'étude.*

*A la mémoire de mes grands-parents.*

*A ma chère sœur KAHINA.*

*A mon ami OURAMDANE avec lequel j'ai eu le plaisir de travailler et à toute sa famille.*

*A toute ma famille, mes tentes, oncles et cousins.*

*A mes amis en particulier MADJID et MASSI.*

*Que dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie afin que je puisse à mon tour vous combler.*

*SYPHAX*

## *Liste des symboles*

---

$l$  : Longueur de la conduite en [m].

$D$  : Diamètre de conduite en [m].

$\lambda$  : Coefficient de perte de charge linéaire.

$\xi$  : Coefficient des pertes de charge singulières.

$\rho$  : La masse volumique de l'air [ $\text{kg.m}^3$ ].

$V$  : La vitesse moyenne de l'air en [ $\text{m.s}^{-1}$ ].

$Q_v$  : Débit volumique du fluide en ( $\text{m}^3.\text{s}$ ).

$Re$  : Nombre de Reynolds

$\nu$  (nu) : viscosité cinématique [ $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$ ].

$\varepsilon$ : Rugosité absolue de la paroi interne de la conduite [m].

$\Delta P$  : Les pertes de charges [Pa].

$\Delta P_L$  : Les pertes de charges linéaires [Pa].

$\Delta P_S$  : Les pertes de charges singulières [Pa].

$T$  : Température ambiante [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**GRAFCET** : **GRA**phe **F**onctionnel de **C**ommandes **É**tapes **T**ransitions

## Chapitre I

<b>Figure I.1 :</b> Différents types de dépoussiéreurs.....	5
<b>Figure I.2:</b> Différents types de dépoussiéreurs à media filtrants avec décolmatage pneumatique.....	7
<b>Figure I.3 :</b> Schéma de principe d'un cyclone.....	8
<b>Figure I.4 :</b> Schéma d'installation de nettoyage centralisé.....	11
<b>Figure I.5 :</b> Schéma d'un dépoussiéreur TORIT de la série DCE 2000.....	12
<b>Figure I.6 :</b> Coupe de la plaque de base et de deux éléments filtrants, illustrant le principe de Fonctionnement des cycles de colmatage / décolmatage du dépoussiéreur.....	14
<b>Figure I.7 :</b> Coupe de base d'un filtre à cyclone.....	15
<b>Figure I.8 :</b> Schématisation de l'influence de l'humidité sur l'évolution de la perte de charge en fonction de la masse surfacique de particules collectées.....	16

## Chapitre II

<b>Figure II.1 :</b> Schémas global de l'installation de dépoussiérage .....	18
<b>Figure II.2 :</b> Schémas de dépoussiéreur.....	19
<b>Figure II.3 :</b> Clapet anti-retour à contrepoids en mode fonctionnement.....	22
<b>Figure II.4 :</b> Arrête-flamme statique en ligne à matrice en métal gaufré.....	23
<b>Figure II.5 :</b> Les composants d'une évente d'explosion.....	25
<b>Figure II.6 :</b> Représentation graphique d'une explosion avec ou sans événement.....	26
<b>Figure II.7:</b> Différentes composants de dépoussiéreur.....	27
<b>Figure II.8 :</b> Les différents composants internes de dépoussiéreur .....	28
<b>Figure II.9 :</b> Filtre de dépoussiéreur.....	29
<b>Figure II.10 :</b> Trou de connexion du mesureur de DP.....	30
<b>Figure II.11 :</b> Groupe décolmatage.....	31

## *Liste des figures*

---

<b>Figure II.12 :</b> Tuyaux de décolmatage.....	33
<b>Figure II.13 :</b> Une électrovanne.....	34
<b>Figure II.14:</b> Moto-ventilateur .....	36
<b>Figure II.15 :</b> Une écluse rotative.....	38

### **Chapitre III**

<b>Figure III.1 :</b> Les différents types d'écoulements.....	44
<b>Figure III.2 :</b> Schémas d'un coude circulaire cintré.....	46
<b>Figure III.3 :</b> Graphe des pertes de charges du conduit.....	52
<b>Figure III.4 :</b> La courbe caractéristique de ventilateur et les points des pertes de charges en fonction de la température.....	53

### **Chapitre IV**

<b>Figure IV.1 :</b> Système de commande.....	55
<b>Figure IV.2 :</b> Schémas de principe du diagramme FAST.....	58
<b>Figure IV.3 :</b> Schématisation du diagramme FAST.....	59
<b>Figure IV.4 :</b> Diagramme FAST du système de dépoussiérage.....	61
<b>Figure IV.5 :</b> GRAFCET des trémies.....	62
<b>Figure IV.6 :</b> GRAFCET du système de décolmatage.....	66
<b>Figure IV.7 :</b> GRAFCET du système du transfert.....	70
<b>Figure IV.8 :</b> GRAFCET défaut (trémie).....	73
<b>Figure IV.9 :</b> GRAFCET de défaut (système du décolmatage).....	74
<b>Figure IV.10 :</b> GRAFCET de défaut du (système du transfert).....	74

### **Chapitre V**

<b>Figure V.1 :</b> Compilation sous WinCC flexible Runtime.....	80
<b>Figure V.2 :</b> Liaisons entre la station S7-300 et la station HMI.....	80

## *Liste des figures*

---

<b>Figure V.3 :</b> Vue d'accueil (HOME).....	81
<b>Figure V.4 :</b> Vue du système trémies.....	82
<b>Figure V.5 :</b> Vue du système décolmatage.....	82
<b>Figure V.6 :</b> Vue du système de transfert.....	83
<b>Figure V.7 :</b> Vue d'alarme.....	83

**Chapitre II**

<b>Image II.1:</b> Clapet anti-retour à contrepoids .....	21
<b>Image II.2 :</b> Clapet anti-retour .....	23
<b>Image II.3 :</b> Tube « U ».....	30
<b>Image II.4 :</b> Temporisateur électronique.....	32
<b>Image II.5:</b> Réservoir d'air comprimé.....	35
<b>Image II.6:</b> Vis de transfert .....	37
<b>Image II.7:</b> Roue de la turbine.....	40

### **Chapitre III**

<b>Tableau III.1</b> : Résultats du calcul de débit et de la vitesse dans les différents tronçons du conduit.....	47
<b>Tableau III.2</b> : Résultat du calcul de nombre de Reynolds pour 10°C.....	47
<b>Tableau III.3</b> : Résultat du calcul de coefficient de frottement $\lambda$ pour 10°C.....	47
<b>Tableau III.4</b> : Résultats du calcul des pertes de charge linéaire pour 10°C.....	48
<b>Tableau III.5</b> : Résultat du calcul de nombre de Reynolds pour 30°C.....	48
<b>Tableau III.16</b> : Résultat du calcul de coefficient de frottement $\lambda$ pour 30°C.....	48
<b>Tableau III.7</b> : Résultats du calcul des pertes de charge linéaire pour 30°C.....	49
<b>Tableau III.8</b> : Résultat du calcul de nombre de Reynolds pour 50°C.....	49
<b>Tableau III.9</b> : Résultat du calcul de coefficient de frottement $\lambda$ pour 50°C.....	49
<b>Tableau III.10</b> : Résultats du calcul des pertes de charge linéaire.....	50
<b>Tableaux III.11</b> : Résultats du calcul des pertes de charge singulières dans le conduit.....	50
<b>Tableau III.12</b> : Résultats des pertes de charges singulières totales dans le conduit.....	52
<b>Tableau III.13</b> : Résultats des pertes de charges totales dans le conduit.....	52
<b>Tableau III.14</b> : Conversion d'unités de [Pa] vers le [mmH <sub>2</sub> O].....	52

### **Chapitre IV**

<b>Tableau IV.1</b> : Equations des transitions pour GRAFCET (trémies).....	63
<b>Tableau IV.2</b> : Equations des étapes pour GRAFCET (trémies).....	63
<b>Tableau IV.3</b> : Equations des actions pour GRAFCET (trémies).....	63
<b>Tableau IV.4</b> : Adressage pour GRAFCET (trémies).....	64
<b>Tableau IV.5</b> : Equations des transitions pour GRAFCET (décolmatage).....	67

## *liste des tableaux*

---

<b>Tableau IV.6</b> : Equations des étapes pour GRAFCET (décolmatage).....	67
<b>Tableau IV.7</b> : Equations des actions pour GRAFCET (décolmatage).....	68
<b>Tableau IV.8</b> : Adressage pour GRAFCET (décolmatage).....	68
<b>Tableau IV.9</b> : Equations des transitions pour GRAFCET (transfert).....	70
<b>Tableau IV.10</b> : Equations des étapes pour GRAFCET (transfert).....	70
<b>Tableau IV.11</b> : Equations des actions pour GRAFCET (transfert).....	70
<b>Tableau IV.12</b> : Adressage pour GRAFCET (transfert).....	71

# Sommaire

## **Présentation de l'entreprise CEVITAL**

### **Introduction générale**

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

### **Chapitre I : Généralités sur les dépoussiéreurs**

I. Introduction.....	2
I.1. Généralité sur la poussière : .....	2
I.1.1. Caractères physiques et chimiques des poussières :.....	3
I.1.2. Les risques de poussières :.....	4
I.1.3. Normes et poussières :.....	5
I.2. Différents types de dépoussiéreurs :.....	5
I.2.1. Dépoussiéreur à couche filtrante : .....	6
I.2.2. Dépoussiéreurs centrifuges (ou mécaniques) :.....	7
I.2.3. Dépoussiéreurs électriques :.....	9
I.2.4. Dépoussiéreur par voie humide : .....	9
I.3. Choisir un dépoussiéreur performant :.....	10
I.4. Dépoussiérage centralisé : .....	10
I.4.1. Transport des poussières : .....	11
I.4.2. Filtration de la poussière : .....	11
I.4.2.1. Filtration par un dépoussiéreur à poches : .....	11
I.4.2.2. Filtration par un dépoussiéreur à cyclone :.....	14
I.5. Facteurs influent sur le transport et la filtration d'air poussiéreux :.....	15
I.6. problématique : .....	17
I.7. conclusion.....	17

**Chapitre II : Etude des différents composants du dépoussiéreur du système actuel**

II.1. Le principe du fonctionnement de l'installation : .....	18
II.2. Le système de dépoussiérage : .....	20
II.2.1. Le système qui assure la sécurité : .....	21
II.2.1.1. Clapet anti-retour à contrepoids : .....	21
II.2.1.2. Arrête-flamme .....	23
II.2.1.3. Evente d'explosion : .....	25
II.2.2. Le dépoussiéreur : .....	27
II.2.2.1. Les composants .....	27
II.2.2.2. Les filtres : .....	29
II.2.2.3. Group décolmatage : .....	31
II.2.2.3. Moto-ventilateur : .....	36
II.2.3. Le système du transfert de poussière : .....	38
II.2.4. Le système de stockage : .....	41
II.3. Conclusion : .....	42

**Chapitre III : Calcul des pertes de charges dans les conduits**

III. Introduction : .....	43
III.1. Pertes de charge dans les canalisations : .....	43
III.1.1. Pertes de charge linéaire (par frottement) : .....	43
III.1.1.1. Détermination du coefficient de frottement de Darcy ( $\lambda$ ) : .....	44
III.1.1.2. Différents types d'écoulement : .....	44
III.1.2. Les pertes charges singulières : .....	46
III.2. Application numérique : .....	48
III.2.1. Les pertes de charges linéaires : .....	48
III.2.2. Les pertes de charges singulières : .....	51

III.3. Conclusion : ..... 55

**Chapitre IV : Automatisation du système de dépoussiérage**

IV.1. Introduction ..... 56

IV.2. Présentation du système de commande ..... 56

IV.3. Analyse fonctionnelle du système de dépoussiérage ..... 57

IV.4. Méthode FAST..... 59

    IV.4.1. Principe..... 59

    IV.4.2. Fonction..... 60

    IV.4.3. Schématisation..... 60

        IV.5.1.1. Mise en équation du GRAFCET des trémies..... 64

        IV.5.2.1. Mise en équation du GRAFCET du système décolmatage..... 68

    IV.5.3. GRAFCET du système du transfert..... 71

        IV.5.3.1. Mise en équation du GRAFCET du système du transfert ..... 71

IV.7. GRAFCET des défauts..... 74

    IV.7.1. Le GRAFCET défaut (trémie)..... 74

    IV.7.2. Le GRAFCET de défaut (système décolmatage) ..... 75

    IV.7.3. Le GRAFCET de défaut du (système transfert) ..... 75

IV.7. Conclusion..... 76

**Chapitre V : Supervision**

V.1. Introduction..... 77

V.2. Supervision : ..... 78

    V.2.1. Modules fonctionnels d'un système de supervision : ..... 78

## *Sommaire*

---

V.2.2. Traitement des données : .....	78
V.2.3. Présentation du logiciel de supervision : .....	79
V.2.4. Progiciel WinCC Flexible : .....	80
V.2.5. Logiciel exécutif SIMATIC WinCC Flexible Runtime : .....	80
V.2.6. Intégration dans SIMATIC STEP 7 : .....	81
V.2.7. Plateforme de supervision de la station : .....	82
V.3. Conclusion.....	85

### **Conclusion générale**

Conclusion générale .....	86
---------------------------	----

## ❖ **Présentation générale de complexe Cevital**

### ◆ **Historique**

Cevital est parmi les entreprises algériennes qui ont vu le jour dès l'entrée de notre pays en économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998.

Cevital contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité.

### ◆ **Situation géographique**

Cevital est implanté au niveau du nouveau quai du port de Bejaia à 3 km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN26. Son complexe de production s'étend sur une superficie de 45000 m<sup>2</sup>. Cette situation géographique de l'entreprise lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui confère l'avantage de proximité économique. En effet elle se trouve proche du port et de l'aéroport. (Figure1)

### ◆ **Missions et objectifs**

L'entreprise a pour mission principale de développer la production et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et de sucre à prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et de le fidéliser.

Les objectifs visés par Cevital peuvent se présenter comme suit :

L'extension de ces produits sur tout le territoire national.

L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.

L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail.

L'encouragement des agricultures par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses.

La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production.

Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations.



## *Présentation de l'entreprise*

---

- Cogénération (production de l'énergie électrique avec une capacité de 64 MW et de la vapeur).

### ◆ **Direction énergie et utilités**

La direction énergie est constituée de deux départements qui sont :

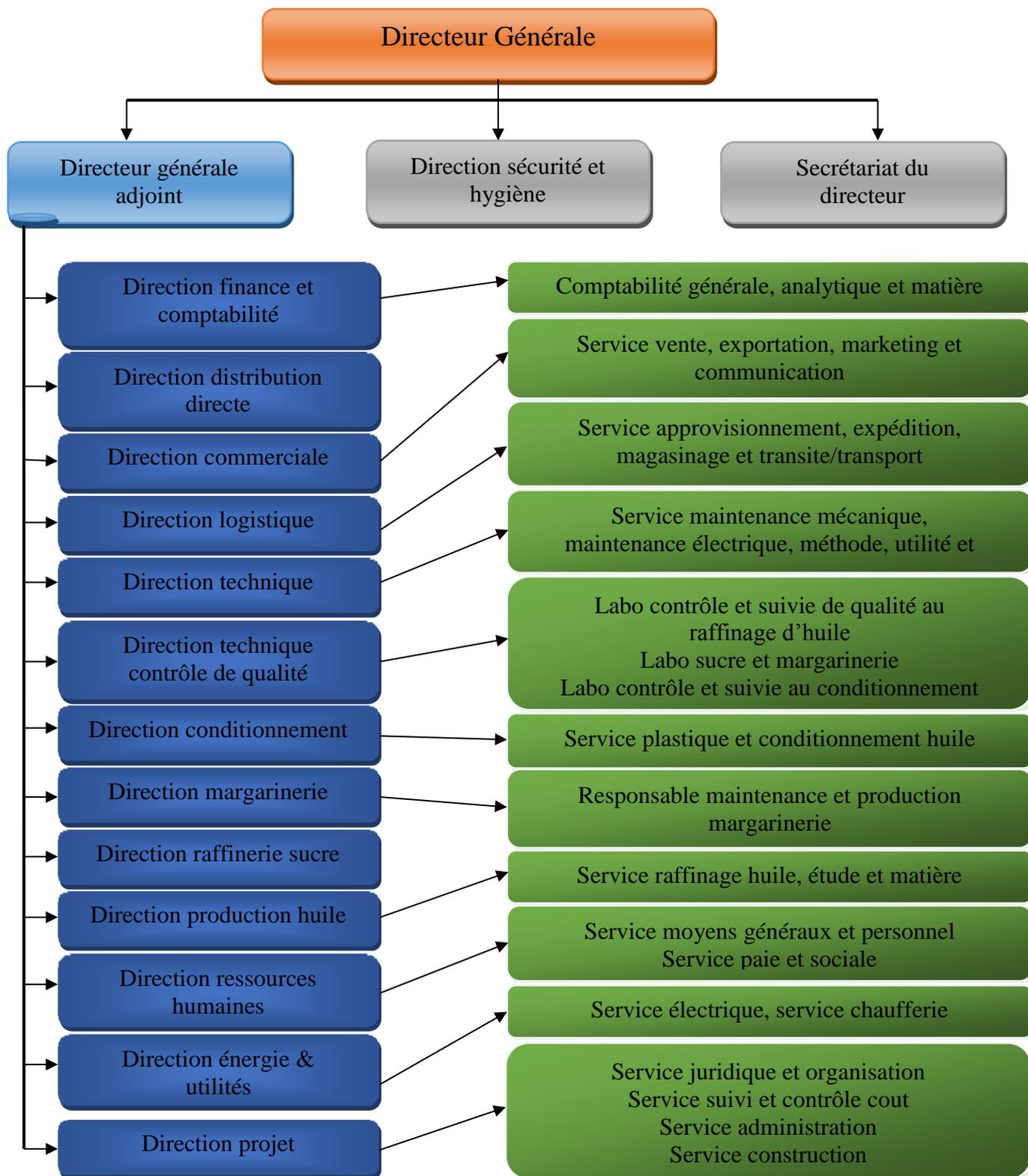
Département électricité (production et distribution de l'énergie électrique).

On distingue :

- Le poste 60 kV ;
- Le poste 30 kV ;
- La cogénération.
- Département chaufferie (production et distribution de la vapeur)

◆ Différents organes constituant le complexe cevital

L'organigramme suivant donne une vue générale sur les différents organes constituant le complexe Cevital.



Organigramme constituant le complexe Cevital.

# Introduction

En matière économique une entreprise se doit d'être efficiente à tous les niveaux de production. Outre la production à proprement parlé, on peut aussi distinguer le traitement des déchets et des rejets du processus d'activité, y compris leur récupération et leur retraitement éventuel.

Une des unités de l'usine CEVITAL de Bejaïa est spécialisée dans le conditionnement de sucre. C'est dans cette unité que nous avons effectué notre stage.

L'objectif de notre travail est de solutionner les problèmes de colmatage de la poussière de sucre et les pertes de charge dans les conduits. Cet objectif ne peut être atteint qu'après avoir étudié le système actuel. Notre rôle est de proposer un programme qui va gérer le fonctionnement automatisé de l'installation.

Ce mémoire retrace l'intégralité de notre stage et se compose comme suite ;

Le premier chapitre décrira les dépoussiéreurs industriels. Les différences entre ceux-ci résident dans le type de filtration. Nous verrons dans ce chapitre les avantages et les inconvénients de chacun d'entre eux.

Dans le deuxième chapitre nous verrons le système actuel nous décrirons ainsi l'ensemble des composants utilisés ainsi que leurs rendements et leurs efficacités.

Le chapitre trois sera consacré au conduits et aux calculs des pertes de charge qui en découlent.

Dans le quatrième chapitre, nous traiterons du cœur de notre projet qui consiste à automatiser les trémies et le groupe de décolmatage ainsi que le système de convoyage en passant des « GRAFCET » avec « AUTOMGEN ». Nous allons ainsi établir les équations logiques jusqu'à la programmation avec « STEP 7 ».

Le cinquième sera consacré à la supervision avec « WinCC flexible ». Cette dernière permettra de contrôler le système de dépoussiérage sur un pupitre distant. Elle permet aussi de gérer et actionner toutes les commandes à partir de ce pupitre.

Enfin, nous terminerons avec une conclusion générale et quelques perspectives.

# Chapitre I

Généralités sur les dépoussiéreurs

## I. Introduction

De nombreux procédés industriels provoquent des contaminations de l'air sous forme de poussières et particules. Les poussières, selon leurs compositions, peuvent être relativement sans danger tout comme elles peuvent être explosives, corrosives ou encore très toxiques.

Les conséquences sont notamment des explosions et la pollution particulaire des ateliers de travail. Mis à part l'inconfort résultant d'une exposition à un empoussiérement trop important, il y a l'apparition de maladies professionnelles. La prévention des maladies professionnelles exige que l'exposition des personnes aux polluants soit évitée ou réduite aux niveaux les plus faibles possibles.

À cause des nombreuses conséquences de la poussière, la filtration de l'air est une préoccupation majeure dans de nombreux secteurs industriels. Les dépoussiéreurs n'ont pas pour seule tâche d'éliminer les particules solides présentes dans les effluents gazeux. Ils doivent aussi offrir un air bien filtré. Pour la plupart des gens, un dépoussiéreur est une machine qui sert à filtrer l'air. Cependant pour offrir un air bien filtré, il faut une bonne efficacité de filtration.

### I.1. Généralité sur la poussière

L'étude d'une installation de dépoussiérage, nécessite une connaissance préalable de la nature et des caractéristiques des poussières à capter et à séparer, notamment pour les plus fines qui sont les plus nocives.

#### Définition :

La poussière est une substance en poudre très fine, avec des particules comprises entre 0,01 et 100  $\mu\text{m}$  voire même 250 $\mu\text{m}$ . Elle est susceptible, sous certaines circonstances, de rester en suspension dans l'air durant un temps plus ou moins long.

#### Origine :

Les poussières peuvent être de source diverses telles que :

- ◆ Alimentaires (farine, sucre...);
- ◆ Végétales (écorces, liège, coton ...);
- ◆ Métalliques (aluminium, cuivre, magnésium...);
- ◆ Industrielles (matière plastique, déchets pulvérulents...).

Celle qui nous intéresse ici est de source alimentaire et est particulièrement issue du processus du sucre. La première particularité des poussières d'origine alimentaire est qu'elles sont généralement de dimension supérieure à 0.01  $\mu\text{m}$ .

### I.1.1. Caractères physiques et chimiques des poussières

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte : taille, concentration, toxicité, abrasivité, densité. Les particules à capter sont de forme ronde, de taille moyenne  $5\ \mu\text{m}$ , de densité apparente 0,3 (masse de poussière dans un mètre cube d'air) et de concentration  $30\ \text{g}/\text{m}^3$ . Par ailleurs, elles sont de nature minérale, sèche et non toxique [1].

#### + Hygrométrie

L'humidité de l'air ou de la poussière aura une très grande importance sur le choix du dépoussiéreur, certaines particules sont avides d'eau, aussi le calcul des réseaux ainsi que le choix du média filtrant devront être appropriés à cette donnée.

#### + Densité

La troisième caractéristique à prendre en considération est la densité apparente, cette densité apparente est inférieure à la densité réelle de la matière usinée. En générale la densité apparente des poussières, est de l'ordre de 0,3.

#### + Granulométrie des poussières

L'analyse par granulométrie laser de la poussière à filtrer permet de déterminer la taille des particules élémentaires ainsi que la distribution/répartition granulométrique qui représente la fréquence statistique des différentes tailles des particules.

Cette analyse optionnelle permet de choisir le media filtrant le mieux adapté, plus spécialement dans le cadre d'une filtration de poussières de granulométrie très faible ou à l'inverse de risques d'abrasions par des particules de taille élevée.

#### + Risque d'explosion

Quelles que soient les poussières, il est nécessaire de déterminer le risque s'il existe. Il faut connaître la classe d'explosivité correspondante. Des matières aussi inoffensives que l'aluminium, le sucre, la farine peuvent sous forme de poussière et sous certaines concentrations, se transformer en explosifs redoutables. D'une façon générale il y a lieu de se méfier de toutes substances inflammables [2].

#### + Abrasivité

Ne pas tenir compte de ce paramètre serait source de grande surprise. Certaines poussières sont très abrasives. La prudence impose de diminuer la vitesse de l'air dans la canalisation afin d'éviter l'usure. Le choix du media filtrant devra être approprié à cette donnée.

## Toxicités

Les poussières provoquent différents types de nuisances : Salissures et détérioration du matériel lors de leur déposition, toxicité selon leur dimension. Ce sont les particules les plus fines, de dimension comprise entre 0,3 et 5 $\mu$ m qui sont généralement les plus dangereuses pour l'être humain car inhalable par les voies respiratoires.

### I.1.2. Les risques de poussières

La nécessité d'extraction des dites poussières vient du fait qu'elles font plus de mal que nous ne pouvons l'imaginer. En plus du fait qu'elles causent salissures et détérioration du matériel lors de leur dépôt, les poussières contiennent des agents nocifs qui affectent l'organisme par contact cutané ou par inhalation.

#### Le contact cutané

Les affections se caractérisent par la survenue d'allergies de contact, notamment sur le cou, le visage, les mains, les avant-bras et parfois les yeux (conjonctivite). Elles se manifestent par des vésicules suintantes accompagnées de démangeaisons et souvent de fissures.

#### L'inhalation

L'inhalation de poussières se traduit par une irritation des voies respiratoires. Elle se manifeste par des éternuements répétés, des rhinites aiguës (rhumes), des saignements de nez, de l'asthme. Les plus fines (dimensions comprises entre 0,3 et 5 $\mu$ m) sont encore plus dangereuses car elles peuvent atteindre les autres organes par inhalation, et ce à travers les poumons et la circulation sanguine. Cette inhalation, peut aussi provoquer le cancer de l'ethmoïde (os constituant la partie supérieure des fosses nasales). Les premiers signes surviennent parfois des années après la fin de l'exposition. Il s'agit d'écoulements purulents et sanglants par le nez accompagnés de douleurs de la face. C'est une maladie très grave dont le traitement est difficile.

En définitive, les particules de tailles supérieures à 5  $\mu$ m sont inhalées mais on considère qu'elles sont rejetées lors de l'expiration tandis que les particules de tailles comprises entre 0 et 5  $\mu$ m sont les plus dangereuses et ceci même lorsque la matière qui les compose n'est pas toxique. Les particules de tailles supérieures à 5  $\mu$ m sont généralement arrêtées au niveau des voies respiratoires et par suite expulsées par les voies naturelles. Elles ne sont pas dangereuses mais peuvent devenir gênantes.

### I.1.3. Normes et poussières

Il est important de noter que le respect des normes est une démarche volontaire. Son élaboration consensuelle permet à l'entreprise y adhérant de bénéficier d'une "veille techno normative". Cette veille lui permet de rester à jour de toutes évolutions. Elle permet aussi d'assurer l'interchangeabilité et la maintenance facile de ses équipements. La mission normative pour le matériel de dépoussiérage aborde les sujets suivants.

- l'émission admissible des poussières à l'intérieur et à l'extérieur des locaux ;
- la conception des réseaux ;
- les risques d'incendie et le matériel de prévention ;
- le niveau sonore ;
- les appareils de contrôle et de sécurité ;

## I.2. Différents types de dépoussiéreurs

Les dépoussiéreurs sont des appareils qui séparent les particules solides (poussières, copeaux, sciures, etc.) d'un courant gazeux dans lequel elles sont en suspension. On distingue quatre principaux types de dépoussiéreurs : mécaniques, électriques, à couche poreuse (dépoussiéreurs à manches) et par voie humide (dépoussiéreurs laveurs). En raison des réglementations liées au code du travail et à la protection de l'environnement les dépoussiéreurs sont utilisés dans de nombreuses industries. L'organigramme (figure I.1) illustre les grandes familles de dépoussiéreurs :

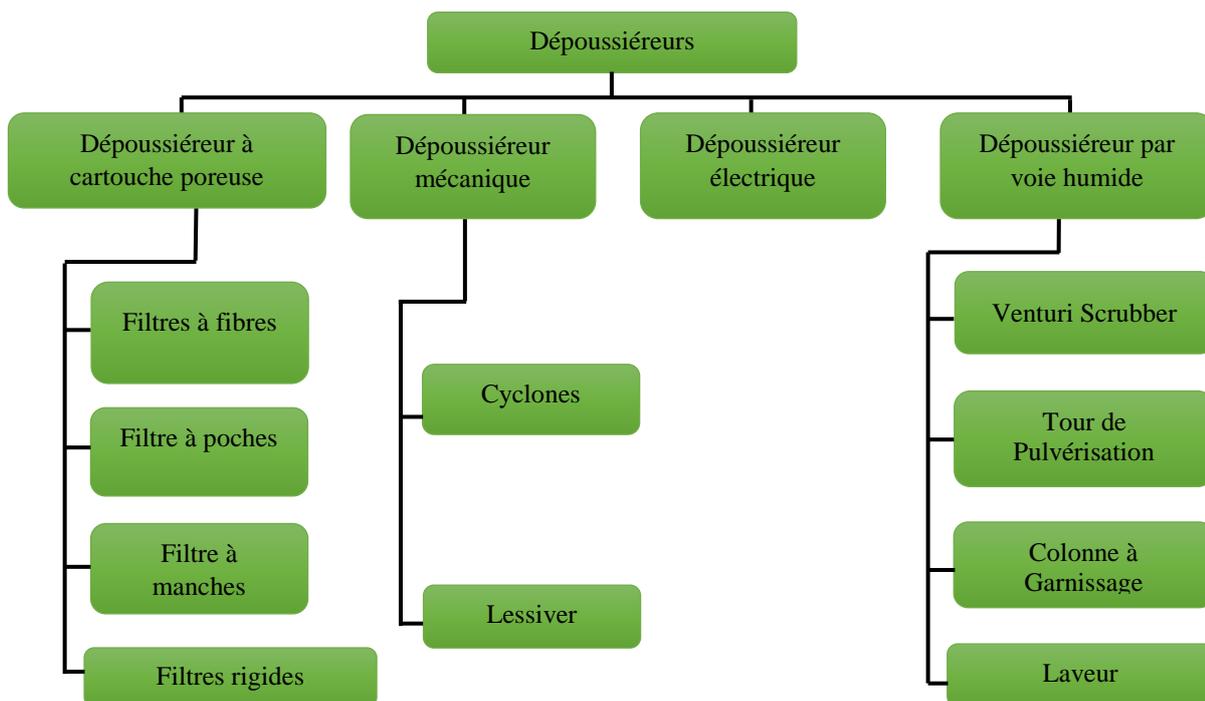


Figure I.1 : Différents types de dépoussiéreurs.

Le choix entre les technologies de filtration avec injection d'air comprimé ou avec une charge électrique, aussi bien entre les mono-étagés ou les poly-étagés, constituent autant paramètres de choix. Dans chaque famille de dépoussiéreurs, il existe de multiples variantes [3].

### **I.2.1. Dépoussiéreur à couche filtrante**

Ces dispositifs de filtration captent les particules au fur et à mesure qu'elles passent dans un filtre de tissu spécialisé. L'exemple le plus courant d'un dispositif de filtration est le «dépoussiéreur à manche ». Il capte la poussière en laissant passer lentement l'air à travers plusieurs épaisseurs de tissu. Progressivement, une couche de poussières s'accumule sur le tissu.

Ces poussières agissent également comme un filtre et elles améliorent dès le départ l'efficacité du captage de poussières du système. Après une accumulation continue de poussières, le tissu finit par s'encrasser de façon excessive et la poussière doit être enlevée. Cette opération se fait soit par un système automatique qui déloge la poussière du tissu en le secouant, soit par le remplacement des sacs en tissu. Les industries qui utilisent couramment les dépoussiéreurs à couches filtrantes sont les fonderies, les industries de la manutention des grains et de la manutention des matières et les entreprises qui effectuent des opérations de broyage, d'affûtage ou de meulage.

#### **✚ Dépoussiéreurs à manche ou à poche**

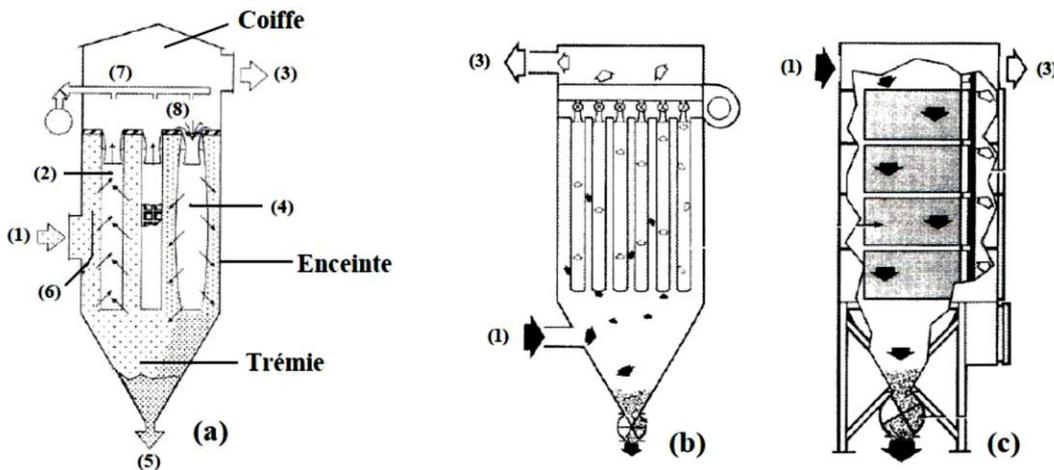
Le dépoussiéreur à media filtrants est le système de filtration le plus utilisé dans l'industrie pour éliminer les particules solides présentes dans les effluents gazeux avant leur rejet dans l'atmosphère ou un recyclage dans les ateliers de travail. Il est constitué de media filtrants se présentant généralement sous la forme de manches ou de poches. Le fonctionnement cyclique des dépoussiéreurs consiste en une alternance de cycles de colmatage et de décolmatage. Il constitue le mode de traitement de l'air le plus répandu au niveau du dépoussiérage industriel.

#### **- Description de fonctionnement**

Après captage dans un atelier, l'air chargé en poussières pénètre dans le caisson de filtration et rencontre généralement un déflecteur sur lequel s'impactent les plus grosses particules. L'air empoussiéré peut pénétrer dans le caisson de filtration soit par le bas, soit par le haut (figure I.2). L'air traverse les poches de l'extérieur vers l'intérieur. Pendant la phase de colmatage, les poussières sont retenues sur la surface externe des manches et s'accumulent sous forme d'une couche appelée gâteau de filtration. L'air filtré remonte à l'intérieur des poches et est évacué par la partie supérieure du caisson, la coiffe.

Les éléments filtrants doivent donc être périodiquement régénérés par décolmatage.

L'injection d'air comprimé à l'intérieur des poches provoque le détachement du gâteau de particules qui tombe sous forme d'agglomérats de différentes tailles dans la trémie constituant la partie basse du caisson et qui sont ensuite évacués par une écluse rotative [4].



**Figure I.2 :** Différents types de dépoussiéreurs (a) à media filtrants (b) décolmatage (pneumatique).

#### Avantage :

- Rendement de 95%, même sur poussières fine.
- Aussi efficace, et moins coûteux qu'un séparateur électrostatique.

#### Inconvénients :

- Débit relativement réduit → multiplication des cellules de filtre.
- Consommation d'air comprimé pour décolmatage.
- Risque d'incendie.
- Risque d'explosion lors du décolmatage (poussière concentrée en suspension).

### I.2.2. Dépoussiéreurs centrifuges (ou mécaniques)

Les dépoussiéreurs centrifuges sont couramment utilisés pour extraire les poussières grossières contenues dans un jet d'air, et servent souvent au pré-filtrage avant l'utilisation d'un dépoussiéreur plus efficace. Ils sont également utilisés comme séparateurs de produit. Ils ne conviennent toutefois pas au prélèvement de particules fines. Le type le plus courant de dépoussiéreurs centrifuges est le séparateur hydrocyclone.

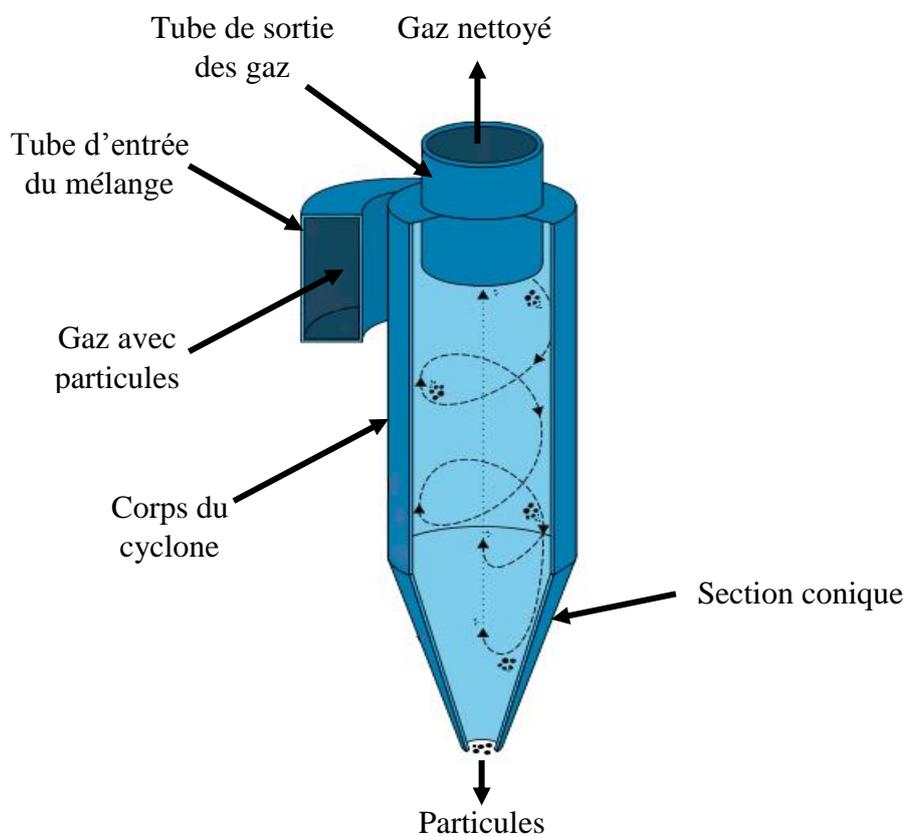
Ils sont couramment employés dans les opérations de travail du bois, le broyage de caoutchouc et comme préfiltres avant le passage dans les filtres en tissu.

### ✓ Description du fonctionnement des cyclones

Les cyclones sont considérés comme des meilleures techniques disponibles et sont cités à ce titre dans les industries alimentaires, des boissons et laitières. Dans un séparateur à effet centrifuge, on va imprimer un mouvement de rotation à l'air chargé en poussières à éliminer (figure I.3)

L'effet de la force centrifuge va alors faire déplacer les particules vers la paroi où elles seront collectées.

On peut aussi voir un cyclone comme une chambre de sédimentation dans laquelle l'effet de la gravité serait augmenté par la force centrifuge [5].



**Figure I.3 :** Schéma de principe d'un cyclone.

#### Avantage

- ✓ Simple de construction et d'utilisation.
- ✓ Investissement faible- peu exigeant en entretien.
- ✓ Peut-être combiné : (plusieurs unités en parallèle pour augmenter le débit, ou plusieurs unités en série pour augmenter l'efficacité de rétention).

#### Inconvénients

- ✓ Inefficace pour les particules  $< 10\mu\text{m}$  (n'est alors qu'un premier étage de "dégrossissage").
- ✓ Intérêt / séparateurs à choc pour les grosses particules (plusieurs mm).

### **I.2.3. Dépoussiéreurs électriques**

Les dépoussiéreurs électriques extraient les particules fines présentes dans l'air en communiquant une charge électrique aux particules. Les particules sont donc attirées vers une plaque portant une charge contraire. Les dépoussiéreurs électriques sont très efficaces pour prélever les particules fines, mais ils ne peuvent être utilisés pour les opérations très poussiéreuses car ils se colmatent facilement.

Ils peuvent extraire efficacement les particules fines, mais pas les gaz ni les vapeurs présents dans l'air. Les dépoussiéreurs électriques ne doivent pas être utilisés près de produits chimiques inflammables parce qu'ils peuvent causer une explosion s'ils produisent la moindre étincelle. Ils sont couramment employés dans les opérations de combustion du charbon et d'extrusion du plastique, ainsi que dans l'exploitation de mines de métaux.

### **I.2.4. Dépoussiéreur par voie humide**

Les dépoussiéreurs par voie humide et les collecteurs de poudre humide sont disponibles en de nombreux modèles différents, et sont aussi utilisés avec des gaz et des vapeurs.

Les dépoussiéreurs par voie humide utilisent de l'eau pour aider à dégager les contaminants des poussières, des gaz ou des vapeurs. Le principe mécanique est l'impact par inertie des particules de poussière sur des gouttelettes d'eau. Les particules humides sont éliminées par une force centrifuge ou un captage par impact sur des déflecteurs. Ces dépoussiéreurs peuvent tolérer une température élevée et des gaz fortement chargés d'humidité. Le prélèvement de poussières par voie humide peut minimiser un problème d'empoussiérement secondaire lors de l'élimination des matières recueillies.

De plus, certaines poussières représentent un risque d'incendie ou d'explosion quand elles sont sèches et un système de dépoussiéreurs par voie humide minimise ce risque. Cependant, l'utilisation d'eau peut engendrer une certaine corrosion à l'intérieur du dépoussiéreur, et une protection contre le gel peut s'avérer nécessaire si les dépoussiéreurs sont installés à l'extérieur, sous un climat froid.

Ils sont couramment employés dans les fonderies, les entreprises effectuant l'affinage des métaux et les opérations de métallurgie.

### I.3. Choisir un dépoussiéreur performant :

Le choix optimal de la technologie de dépoussiéreur doit prendre en compte les besoins spécifiques du processus. Ce choix est important car il affecte directement l'efficacité énergétique du système, en jouant à la fois sur les performances du dépoussiéreur lui-même, mais aussi sur les autres éléments de l'installation.

Le choix des dépoussiéreurs est vaste. Il dépend de plusieurs facteurs: le débit et la concentration de la suspension, les caractéristiques physiques et chimiques des liquides et des solides. On peut citer:

- ✓ Les tissus filtrants: textiles naturels (coton, jute), toiles métalliques (fer, laiton, inox), tissus en matière plastique (nylon, PVC, polyester, téflon).
- ✓ Les milieux filtrants pulvérulents: sable, charbon, diatomite.
- ✓ Les matières poreuses: porcelaine, verre, charbon, silice, métaux.

Il faut éviter le colmatage qui peut avoir lieu avec des particules aux formes particulières (bâtonnet par exemple) pouvant pénétrer dans les ouvertures sans les traverser. Il vaut donc mieux choisir des ouvertures plus larges qui laissent passer ces particules et reprendre la fraction de filtrat les comprenant pour une nouvelle filtration avec un gâteau déjà constitué qui les arrête.

Pour arrêter les petites particules, on a intérêt à procéder à la floculation de ces particules pour l'obtention de particules plus grosses et donc plus faciles à filtrer (application de flocculant dans le traitement des eaux). On peut aussi agglomérer les particules par adsorption sur des coagulant (chaux, sulfate ferreux, magnésie).

### I.4. Dépoussiérage centralisé

Le dépoussiérage centralisé consiste, comme son nom l'indique, à centraliser les différents débits d'aspiration provenant de chaque point de captation jusqu'à un filtre collecteur.

L'industrie des silos de stockage de céréales utilise majoritairement des systèmes d'aspirations centralisées. Les principales techniques mises en œuvre pour séparer l'air de la poussière sont mécaniques ou par filtres à couches poreuses.

Le dépoussiérage centralisé de l'air est groupé dans un local fermé. Cette technique permet de confiner les nuisances associées aux dépoussiéreurs et de faciliter les interventions de maintenance.

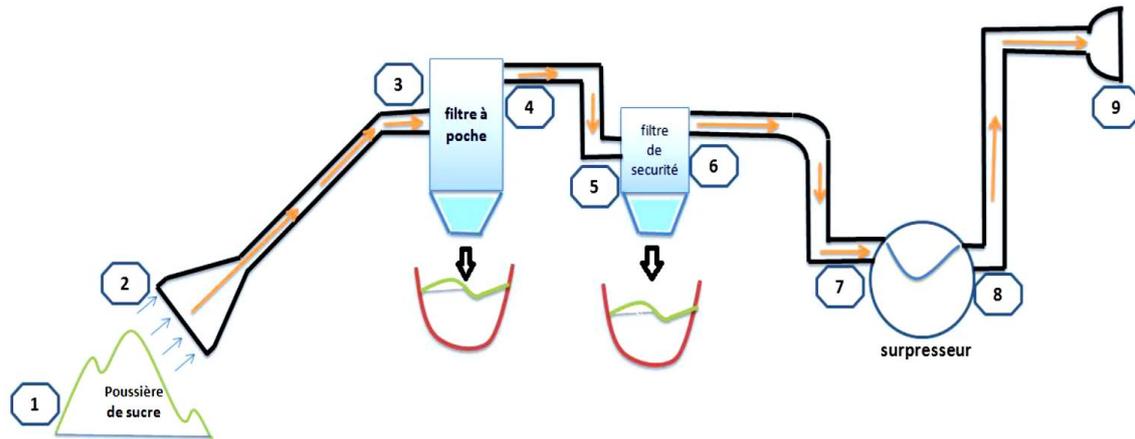


Figure I.4 : Schéma d'installation de nettoyage centralisé.

### I.4.1. Transport des poussières

Les réseaux de canalisations assurant le transport des poussières combustibles doivent être construits en matériaux non combustibles, capables de résister aux charges de pression de fonctionnement ou à la surpression causée par une déflagration. Les embranchements et les coudes doivent être conçus de façon à minimiser les pertes de charge. Les vitesses de transport doivent être suffisantes pour éviter l'accumulation de dépôts dans les canalisations et les dispositifs de captage.

### I.4.2. Filtration de la poussière

Cette poussière, est acheminée avec un réseau de canalisation jusqu'au dépoussiéreur qui assure la filtration. Deux méthodes différentes permettent de réaliser l'opération de filtration.

- ✓ Filtration par un dépoussiéreur à poches.
- ✓ Filtration par un dépoussiéreur à cyclone.

#### I.4.2.1. Filtration par un dépoussiéreur à poches

##### 🔧 Définition du dépoussiéreur à poches

C'est un dépoussiéreur à décolmatage par air comprimé à contre-courant, conçu pour traiter de grandes quantités d'air chargé de poussières. Il est capable de fonctionner en continu pendant de très longues périodes. Le système de nettoyage par air comprimé à contre-courant, qui agit pendant le fonctionnement normal du filtre, sert non seulement à maintenir en permanence une efficacité optimale, mais aussi à permettre au filtre de fonctionner à un débit constant.

Ces éléments filtrants sont de forme rectangulaire et disposés horizontalement (figure I. 5).

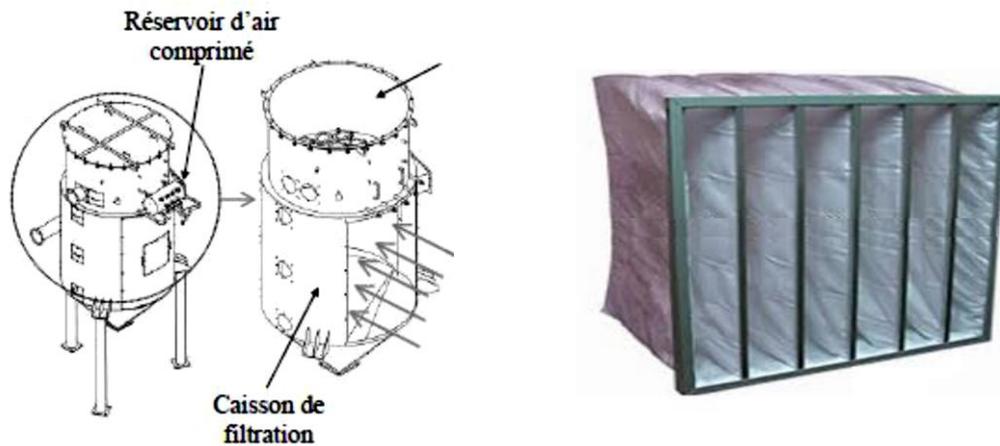


Figure I.5 : Schéma d'un dépoussiéreur TORIT de la série DCE 2000 [6].

### ✚ Différents éléments du dépoussiéreur à poches

#### ✓ Poches filtrantes

Chaque élément est de forme rectangulaire. Il comprend un cadre grillagé sur lequel est soudé un collecteur de sortie. Le collecteur est en acier avec une bride d'étanchéité. L'élément filtrant lui-même consiste en une poche rectangulaire comprenant un joint d'étanchéité du côté ouverture. La poche est glissée sur le châssis métallique jusqu'à ce que le joint vienne buter contre la bride d'étanchéité. Le joint est comprimé quand l'élément est inséré dans la plaque de base, et isole complètement le côté air ou du côté air propre du filtre [7].

#### ✓ Plaque de base

La plaque de base est une structure rectangulaire en tôle, avec brides pour la rigidité, et qui comprend une pièce emboutie percée en acier dans laquelle les éléments sont insérés et fixés par étriers. Le nombre de plaques de base dépend de la taille du filtre.

#### ✓ Tubes d'injection

Une série de tubes d'injection de pleine longueur est placée du côté propre du filtre, ces tubes étant de petits orifices situés à côté du collecteur de sortie de chaque élément. L'extrémité ouvert de chaque tube est connectée par un flexible en caoutchouc à une vanne d'air comprimé, l'extrémité fermée est aplatie, et fixée par un boulon et un écrou.

#### ✓ Électrovannes

L'air comprimé est envoyé à chaque tube d'injection par une vanne à membrane, dont l'ouverture et la fermeture sont commandées par une électrovanne pilote connectée à l'évent de membrane par un tube flexible en nylon. Les électrovannes sont excitées en séquence par des

impulsions électriques produites par un séquenceur. La durée d'une impulsion sur une poche de l'à-coup de pression du décolmatage est fixée à 100 ms et est effectuée avec de l'air comprimé entre 5,2 et 7,1 bars.

#### ✓ Séquenceur numérique

Le séquenceur maître/Esclave est la partie intelligente de système, il permet de commander les processus de nettoyage des filtres JET. Le filtre est composé d'une commande des électrovannes pour fixer le temps de l'ouverture des vannes (temps d'impulsion) et d'une commande de temps d'arrêt et de fixation de l'ordre de la mise en fonction des électrovannes.

L'indication de bon fonctionnement par des diodes lumineuses (LED) du réseau, de l'alarme, de la sortie du vanne, de la durée de cycle, de l'indicateur de défaut sur le relais d'alarme, la surveillance de tension de réseau et le démarrage-arrêt pour la commande dépendant de la pression différentielle.

#### ✓ Écluses rotatives

Le but de l'écluse rotative est avant tout de réguler l'évacuation des déchets. Elle se comporte comme une barrière mécanique à l'égard de l'explosion de poussière. Si elle répond à des critères spécifiques en matière de largeur de fente ou de résistances mécanique maximales, elle peut très bien suffire pour contenir les flammes et la pression. Une écluse rotative utilisée comme barrière d'explosion pourra être mise sur le marché uniquement après des essais d'explosion réalisés par un organigramme notifié comme tout dispositif de protection vis-à-vis du risque d'explosion conformément à la réglementation relative aux atmosphères explosives.

L'étanchéité aux sources d'allumage est efficace selon l'expérience lorsque deux plages sont engagées de chaque côté du corps de l'écluse, que ces pales sont en métal et que la fente entre l'enveloppe et le rotor est inférieur ou égale à 0.2mm. Bien qu'il soit possible de calculer les exigences auxquelles une écluse rotative résistant à l'explosion doit satisfaire, il est obligatoire de tester des prototypes avec des explosions expérimentales et de les faire certifier.

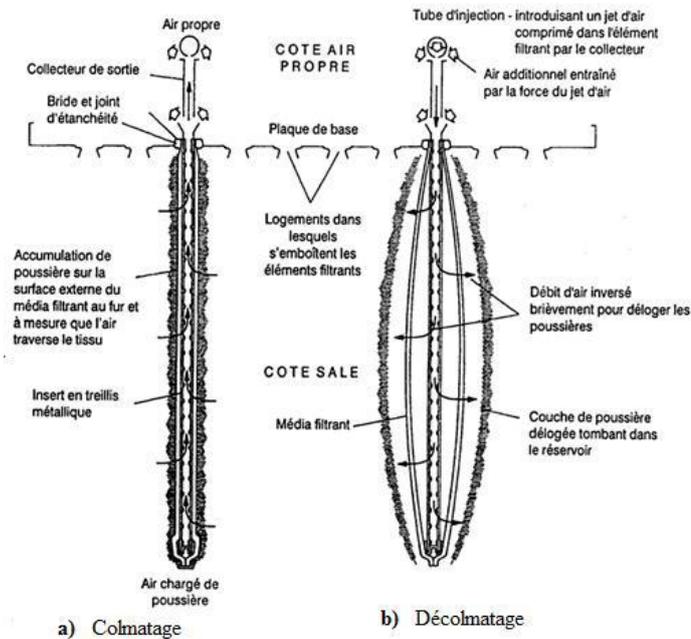
En cas d'explosion, l'écluse doit être immobilisée immédiatement par détecteur de manière que les poussières enflammées ou incandescentes ne soient pas transportées est qu'elles ne causent pas un incendie ou une explosion derrière l'écluse [8].

#### Principe de fonctionnement du dépoussiéreur à poche

L'air chargé de poussières est amené par des conduits dans la chambre où se trouvent les éléments filtrants. Il entre en contact avec toutes les surfaces externes de ces éléments. Un gâteau de particules se forme sur l'extérieur de l'élément filtrant, au fur et à mesure que l'air traverse la

surface filtrante. L'air propre sort du collecteur de sortie de chaque élément filtrant pour aller dans la chambre air propre ; de là, il est évacué dans l'atmosphère par l'intermédiaire d'un surpresseur.

A intervalles réguliers, contrôlés par le coffret de commande, chaque groupe de deux éléments filtrants reçoit à tour de rôle une brève injection d'air comprimé, à partir de son tube d'injection associé. Ceci entraîne une inversion rapide et puissante du flux d'air qui traverse l'élément filtrant et décroche de manière plus ou moins efficace la couche de poussière, qui tombe alors dans la trémie de récupération.



**Figure I.6 :** Coupe de la plaque de base et de deux éléments filtrants, illustrant le principe de fonctionnement des cycles de colmatage / décolmatage du dépoussiéreur [4].

#### I.4.2.2. Filtration par un dépoussiéreur à cyclone

##### ✚ Généralité sur le dépoussiéreur à cyclone

L'utilisation des cyclones dans les systèmes industriels date de très longtemps et au fil des années plusieurs formes et dimensions leur ont été données. En effet, la géométrie est très déterminante du fait de son influence sur la force centrifuge à l'intérieur du cylindre et donc sur les performances de l'appareil. Les paramètres à surveiller pour garantir l'efficacité de ce dispositif sont donc :

- La hauteur du cyclone qui détermine le temps de séjour du fluide en son sein
- La vitesse tangentielle du fluide
- Le diamètre du corps du cyclone.

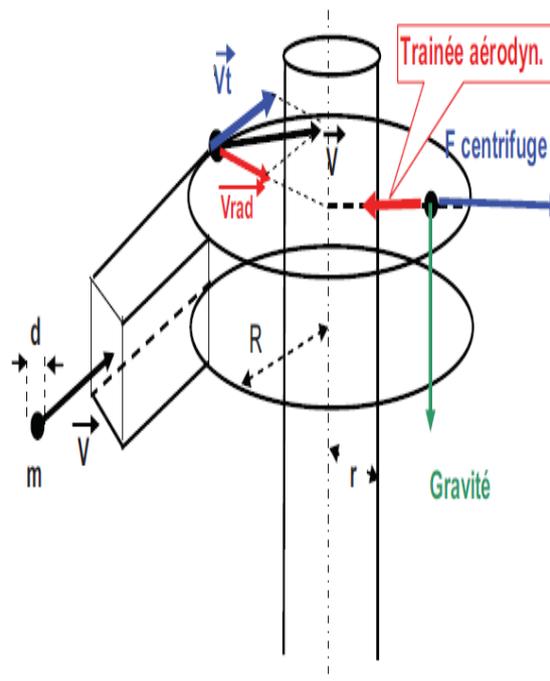


Figure I.7 : Coupe de base d'un filtre à cyclone [9].

#### ✚ Principe de fonctionnement du cyclone

Le principe de fonctionnement du cyclone est relativement simple. A la bouche d'entrée du dispositif, le mélange air-poussières est immédiatement entraîné en mouvement de rotation du fait de la courbure de la paroi. Le tourbillon engendré confère aux particules une énergie cinétique centrifuge qui tend à les plaquer sur la surface interne des cylindres. Ce phénomène implique que les poussières se déchargeront au premier orifice qu'elles rencontreront. Quant aux gaz, ils sont entraînés vers un cylindre ou jupe au centre par un tourbillon ascensionnel dû à la différence de pression entre l'intérieur du cyclone et le milieu atmosphère [10]. Les cyclones peuvent donc assurer le captage des poussières de 5 à 30  $\mu\text{m}$  même si leur efficacité devient faible pour des particules de moins de 10  $\mu\text{m}$ . Toujours dans le but d'accroître les performances de filtration.

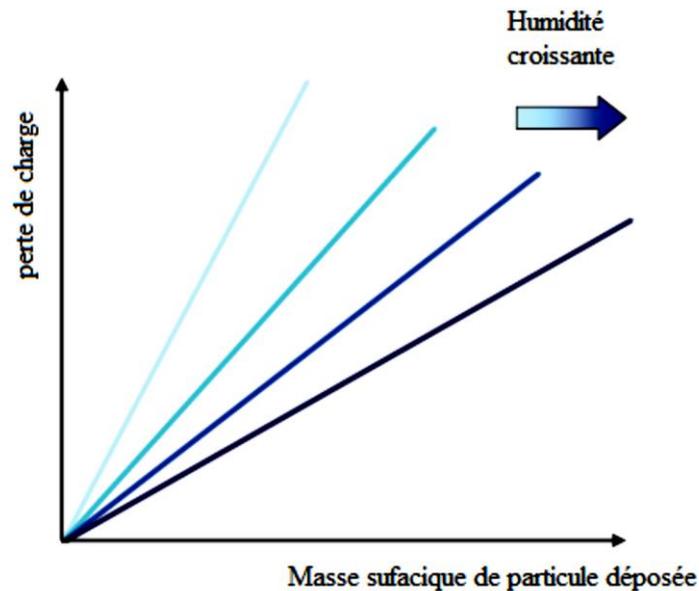
### I.5. Facteurs influent sur le transport et la filtration d'air poussiéreux

#### ✚ Humidité

La présence d'humidité durant la filtration de la poussière provoque la décantation des particules sur la face intérieure des conduites d'aspiration, ce qui augmente la viscosité dynamique des particules et la vitesse d'aspiration cela mène à une augmentation de la perte de charge dans le circuit [11].

D'un autre coté la présence d'humidité durant le colmatage d'un filtre provoque une compression du gâteau des particules et une augmentation des forces d'adhésion engendrée par

l'augmentation de la vitesse de filtration, corrélativement les pertes de charge augmentent de façon linéaire avec la masse surfacique des particules collectées.



**Figure I.8 :** Schématisation de l'influence de l'humidité sur l'évolution de la perte de charge en fonction de la masse surfacique de particules collectées.

### ✚ Granulométrie de la poussière

La géométrie du dépôt diffère selon la taille des particules. Le dépôt dans la poussière est plus aéré et donc de faible compacité. Néanmoins, les particules ayant un faible diamètre, leur surface spécifique est d'autant plus grande, ce qui conduit à une plus grande perte de charge du filtre. Inversement, pour les plus grosses particules, le dépôt a une plus grande compacité, mais la surface spécifique étant plus faible que pour les particules submicroniques, cela conduit à une perte de charge moins importante pour une même masse de particules déposées. Ainsi, plus les particules sont petites, plus la perte de charge est grande pour une même masse de particules déposées ; de même, la zone de transition apparaît pour une masse surfacique de particules collectées d'autant plus faible que le diamètre des particules est petit.

D'autre part la granulométrie de la poussière de sucre influe sur les conduites d'aspiration. Cette dernière dépend de la géométrie des particules et de la vitesse d'aspiration, les grandes particules se redéposent facilement sur les surfaces intérieures des parois. L'effet est inverse pour les particules plus fines. La décantation des particules constituant un gâteau entraîne une diminution de la section des conduites qui conduit. Cette diminution de la section augmente à une augmentation de la vitesse d'aspiration et des pertes de charges [12].

## **I.6. problématique**

Les problèmes majeurs qu'on trouve dans les systèmes de traitement d'air poussiéreux sont l'humidité, la granulométrie et les pertes de charges dans les conduites.

Dans le système de dépoussiérage situé dans l'unité de conditionnement de sucre de CEVITAL, le dépoussiéreur actuel n'est pas efficace, il ne répond pas aux exigences voulus, notamment une utilisation continue.

En effet les deux problèmes majeurs sont :

- Le colmatage des poches filtrantes dû à l'humidité.
- L'insuffisance d'aspiration d'air poussiéreux (air-fines particules de sucre).

## **I.7. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons montré les différentes procédures de traitement de la poussière et nous avons conclu que le bon fonctionnement de système de nettoyage centralisé, en termes de dépenses énergétique (perte de charge) et de l'efficacité d'aspiration, dépend de l'humidité, la granulométrie de la poussière du sucre et enfin le système de filtration.

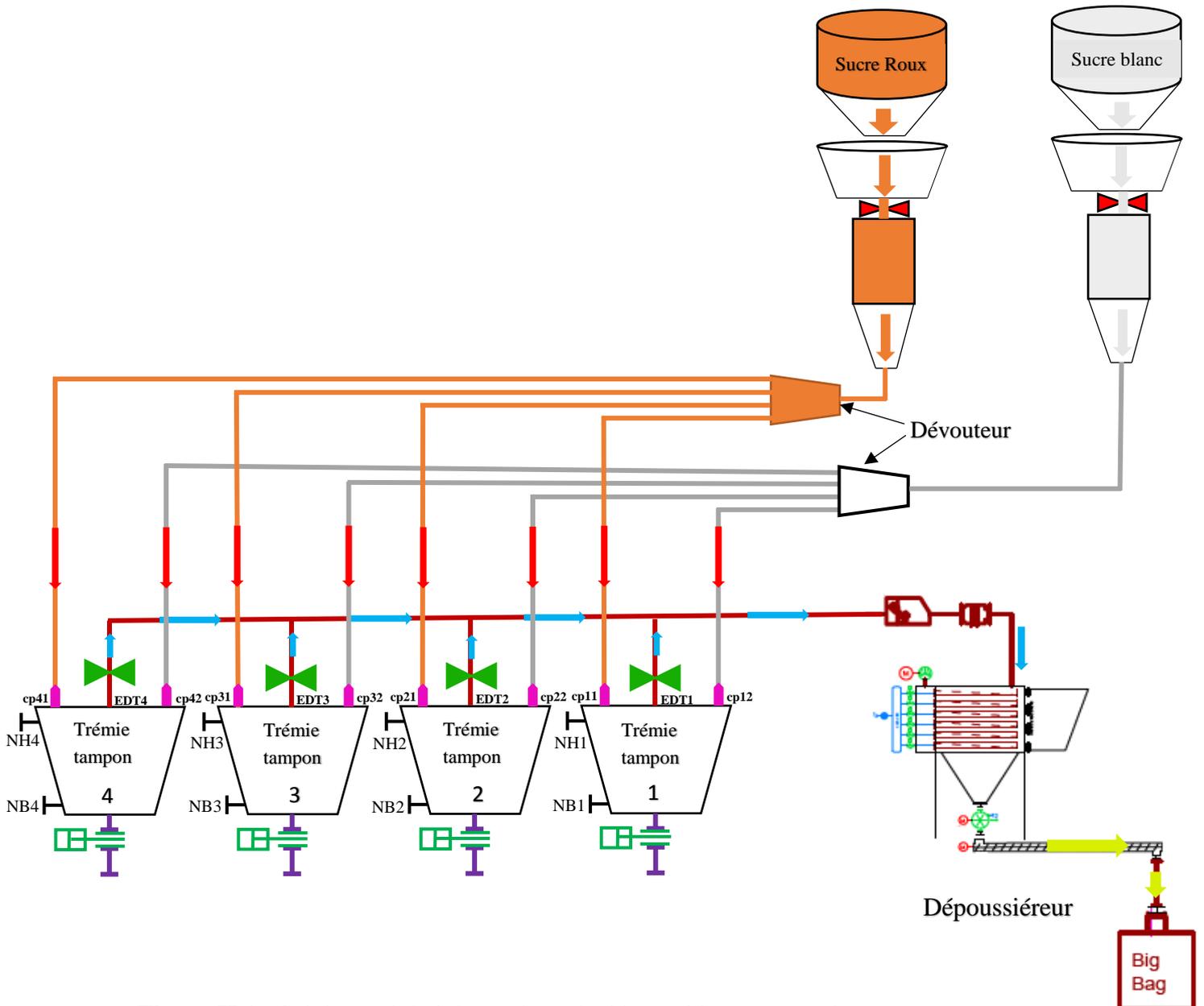
Dans le chapitre suivant nous allons étudier les différents composants du dépoussiéreur actuel afin de connaître le rôle de chaque composant et son principe de fonctionnement.

# Chapitre II

Etude des différents composants  
du dépoussiéreur du système  
actuel

## II.1. Le principe du fonctionnement de l'installation actuel

En raison de réglementation liées au code du travail et à la protection de l'environnement, les dépoussiéreurs sont utilisés dans de nombreuses industries. La figure ci-dessous représente l'installation de dépoussiérage disposée par le complexe CEVITAL où elle renferme un dépoussiéreur.



**Figure II.1 :** Schémas global du système de dépoussiérage proposé.

→ : Sens d'aspiration.

→ : Sens de transfert des fines de produit

┌ : Détecteur du niveau.

■ : Capteur de présence du produit (sucre rouge ou blanc).

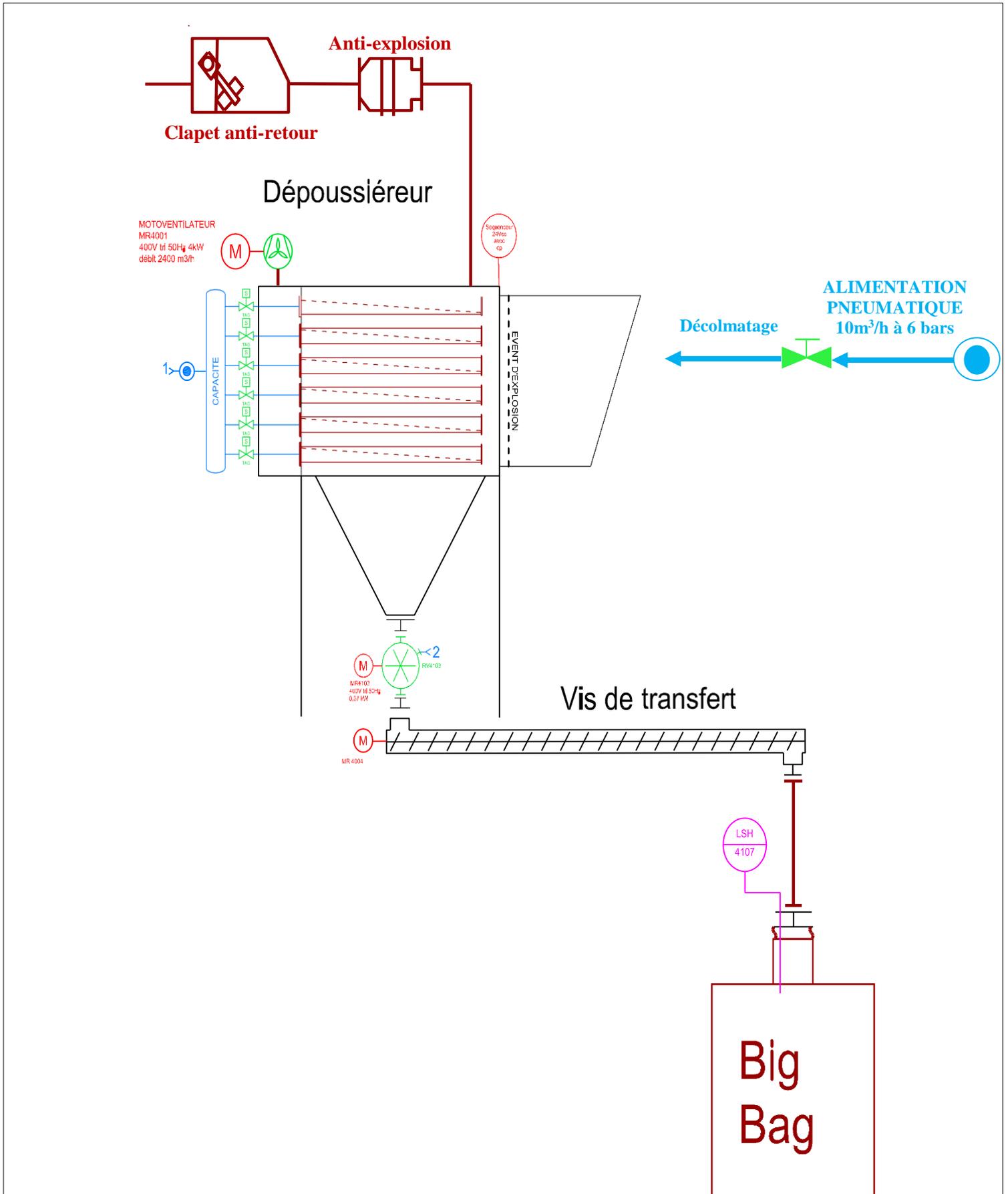


Figure II.2 : Schémas de dépoussiéreur.

Le process de conditionnement de sucre (1Kg) est alimenté par des trémies de sucre. Un Dévouteur est mis en place pour permettre d'extraire le sucre des trémies.

Le sucre extrait de la trémie sera ensuite envoyé dans des conduits de 100mm de diamètre au moyen d'air comprimé d'une pression de 6 bars.

Lorsque le sucre se déplace dans les conduits vers les trémies tampon, des grains se frottent entre eux et donnent naissance à de fines particules. Ces particules détériorent la qualité du produit. Arrivés dans les trémies de réception, les grains qui ont une masse importante tombent dans le bas des trémies, par contre les fines particules se mélangent avec l'air.

Un dépoussiéreur est installé. Grâce à son extracteur, le mélange (air-particules) est absorbé dans les trémies, traverse les conduits d'extraction pour arriver dans l'enceinte de dépoussiéreur où l'air se sépare de ces fines particules.

Traversant les tamis sous forme de poches, les particules sont piégées par les fibres. Les fines particules restent sur la poche et l'air pénètre à l'intérieur pour qu'il soit évacué.

L'accumulation des particules sur le tamis donne naissance à un phénomène du colmatage. Ce qui empêche l'air de pénétrer. Cette accumulation réduit l'efficacité du dépoussiérage, et à chaque fois qu'il y aura un colmatage l'efficacité décline.

Pour résoudre ce problème (colmatage), on insuffle des jets d'air comprimé en sens opposé du flux d'air filtré issu d'un réservoir. Ce dernier se remplit par un réseau d'air comprimé (un réseau de 6 bar alimente l'ensemble de l'unité de conditionnement), qui se trouve sur le dépoussiéreur pour avoir une quantité d'air suffisante pour le décolmatage.

Cette opération est commandée par un temporisateur électronique. Ce dernier est basé sur la génération des signaux électrique, ces signaux seront envoyés aux électrovannes, qui s'ouvrent pour laisser l'air du réservoir heurter les poches. Les particules fines du produit se décolmatent des tamis et tombent au fond de la trémie du dépoussiéreur reçue par une écluse. Cette dernière est entraînée en rotation grâce à un moteur électrique. Un autre moteur entraîne une vis sans fin qui assure le transfert des particules fines du produit issues de l'écluse vers un « big-bag » où elles seront réutilisées comme matière première.

## II.2. Le système de dépoussiérage

Le système de dépoussiérage est composé en quatre sous-systèmes :

- 1) Le système qui assure la sécurité :
  - ◆ Le clapet anti-retour ;
  - ◆ L'anti-explosion (Arête-flammes) ;

- ◆ Event d'explosion ;
- 2) Le dépoussiéreur :
  - ◆ Les différents composants ;
  - ◆ Les filtres ;
  - ◆ groupe de décolmatage ;
  - ◆ Le moto-ventilateur ;
- 3) Le système du transfert de poussière :
  - ◆ L'écluse ;
  - ◆ La vis sans fin ;
- 4) Le système de stockage :
  - ◆ Big-bag ;

### II.2.1. Le système qui assure la sécurité

#### II.2.1.1. Clapet anti-retour à contrepoids



**Image II.1** : Clapet anti-retour à contrepoids [13].

Les clapets anti-retour à contrepoids ont été conçus pour le cloisonnement des explosions de poussières, ils doivent être utilisés comme un système de protection, ils sont capables d'isoler une déflagration entre un container et le système qui lui est connectés.

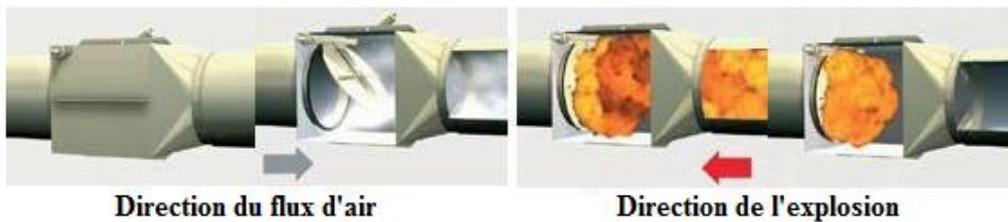
La philosophie de base pour le cloisonnement d'une explosion est :

- Empêcher la propagation de l'onde de choc et de la flamme produites par une explosion.
- De cette manière il est possible d'isoler dans un process, une enceinte des autres éléments qui lui sont raccordés.

Le clapet anti-retour de cloisonnement d'explosion est un système passif, il n'a donc besoin ni de système de détection, ni de système de contrôle ou d'indicateur de fonction.

Ces clapets, comme les tuyauteries sur lesquelles ils sont installés, doivent pouvoir supporter la pression maximale réduite d'explosion.

La distance entre l'enceinte où l'explosion peut se produire et le clapet de cloisonnement, dépend directement de la vitesse maximale de propagation du front de flammes et du temps de réponse du système de cloisonnement.



**Figure II.3** : Clapet anti-retour à contrepoids en mode fonctionnement [14].

Les principales caractéristiques qui influencent sur les performances d'un système de cloisonnement d'explosion sont :

- Les caractéristiques d'explosion des poussières.
- Le type de protection contre les explosions installé sur l'enceinte où doit se produire l'explosion.
- Le diamètre, la longueur et la résistance mécanique de la canalisation.
- La vitesse du mélange air-poussières à l'intérieur de la canalisation.
- La vitesse de front de flammes.
- Le temps de fermeture du clapet.

La vitesse de front de flamme est donnée par la formule suivante [13]

$$V_F = V_{\text{flux-air}} + S_F \quad (\text{II.1})$$

$V_F$  : vitesse totale du front de flamme [m/s]

$V_{\text{flux-air}}$  : vitesse de transport dans la canalisation [m/s]

$S_F$  : vitesse du front de flamme en absence de flux de transport [m/s]



Image II.2 : Clapet anti-retour [14].

### II.2.1.2. Arrête-flamme

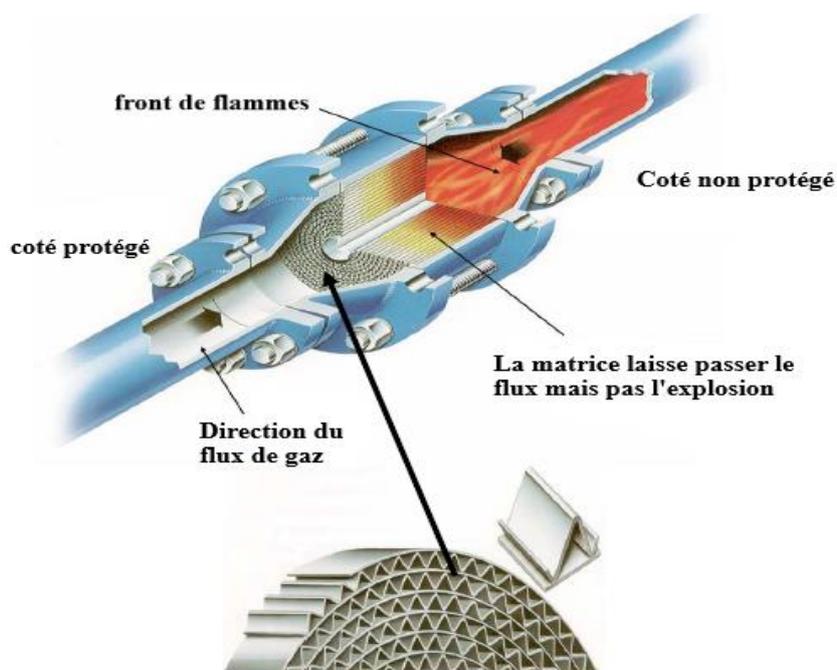


Figure II.4 : Arrête-flamme statique en ligne à matrice en métal gaufré [15].

Les arrête-flammes empêchent la propagation d'une explosion dans une canalisation ou dans une enceinte contenant des gaz ou vapeurs inflammable.

La plupart des arrête-flamme installés dans l'industrie sont constitués d'un corps et d'un élément de coincement de flamme formant une matrice perméable aux gaz.

Bien que généralement l'élément soit solide, il peut être également constitué par un produit liquide (eau, liquide de procédé, etc.) [15].

Dans ce cas de dépoussiéreur l'élément utilisé (l'élément de coincement de flammes) est de nature solide, pour le but de ne pas humidifier le mélange air-fines particules du sucre.

#### ❖ **Composition de l'anti-flamme**

L'anti-flamme est composé d'un corps et de l'élément de coincement de flamme

##### ➤ **L'élément de coincement de flamme :**

C'est l'élément essentiel de l'anti-flamme, on le trouve intégré à l'intérieur du corps, sous forme d'une matrice métallique perméable au gaz, et qui va permettre la diminution de la température en cas d'explosion

##### ➤ **Corps :**

C'est un couvercle qui contient l'intérieur l'élément de coincement de flamme, comme il possède des extrémités adapté pour son montage dans l'installation.

#### ◆ **Le principe de fonctionnement**

Lorsque les conditions d'explosion auront lieu dans des canalisations ou dans des équipements où il y a des gaz ou des substances inflammable, une explosion se déclenche donnera naissance à une augmentation de température et de pression qui vont se propager à une grande vitesse dans ces milieux, dans le cas où un anti-flamme est installé, « les cellules de la matrice forment un maillage étroit qui empêche une flamme de se propager en refroidissent rapidement les gaz brûlé », ce qui va arrêter la propagation de l'explosion, pour ne pas avoir de dégâts.

### II.2.1.3. Evénement d'explosion

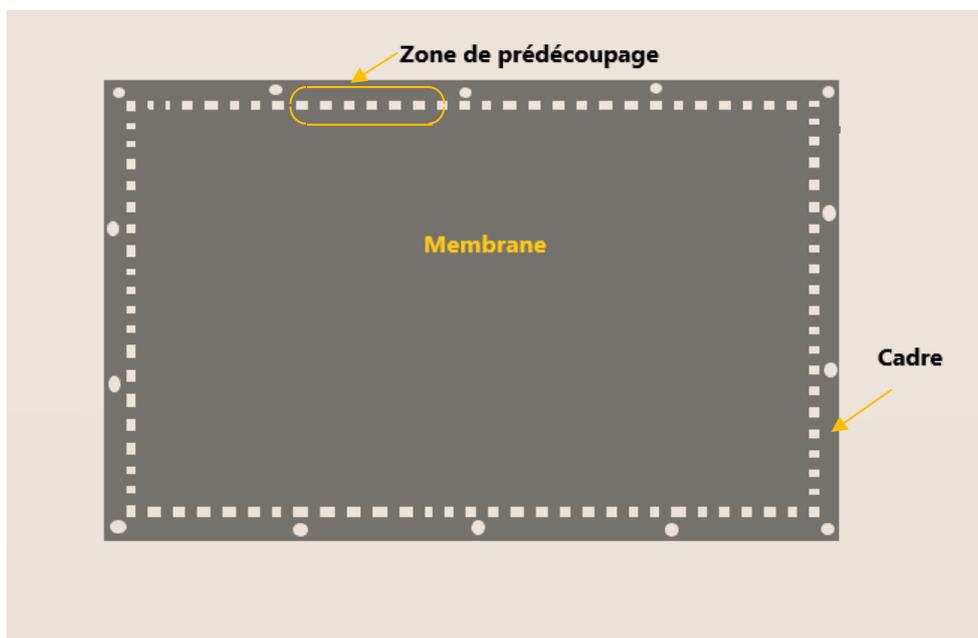


Figure II.5 : Les composants d'un événement d'explosion.

Est un dispositif de sécurité, consiste à éviter l'éclatement d'une enceinte (équipement ou local) en cas d'explosion de gaz ou de poussière qui aurait lieu dans cette enceinte et d'éviter des projections. [16]

#### ◆ Composition de l'événement d'explosion

L'événement d'explosion (membrane anti-déflagration) est composé de trois éléments suivant :

##### ➤ Cadre

C'est le support de la membrane qui se fixe sur la paroi de l'enceinte du dépoussiéreur.

La zone de pré-découpage :

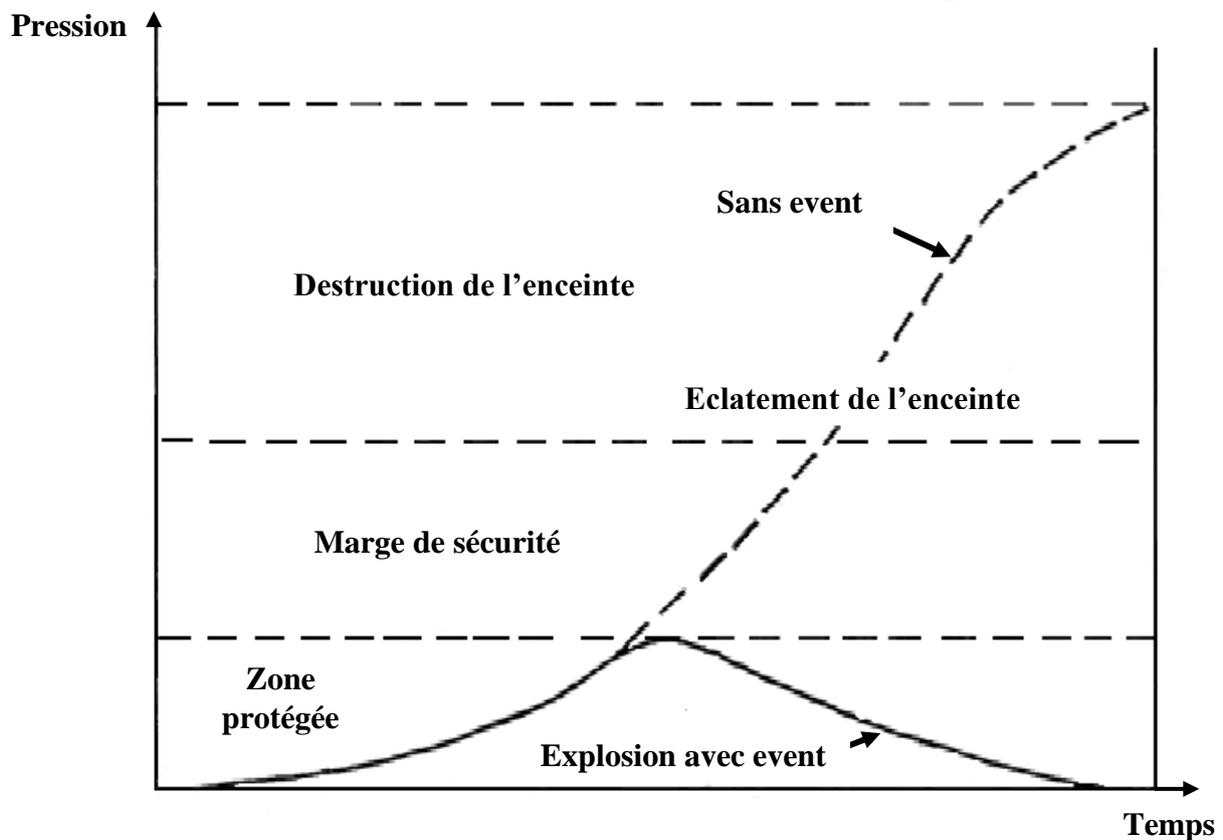
C'est une zone qui se situe entre la membrane et le cadre elle est prédécoupée pour la fragiliser par rapport à d'autres composants d'une installation

##### ➤ La membrane

C'est une tôle de métal sur laquelle la pression de l'explosion exerce sa force.

### ◆ Le principe de fonctionnement

Au moment de l'explosion qui aura lieu dans un milieu donné (enceinte ou installation) par l'inflammation des gaz ou de la poussière inflammable, une très grande pression va se développer dans ce milieu, lorsque cette pression dépasse une certaine valeur (pression critique de l'événement), la membrane qui est reliée au cadre de l'événement à travers la zone de pré-découpage va découper, ce découpage est dû à la force exercée par cette pression développée par l'explosion, ce qui va permettre à cette pression de s'échapper évitant l'éclatement de l'équipement.



**Figure II.6 :** Représentation graphique d'une explosion avec ou sans événement [16].

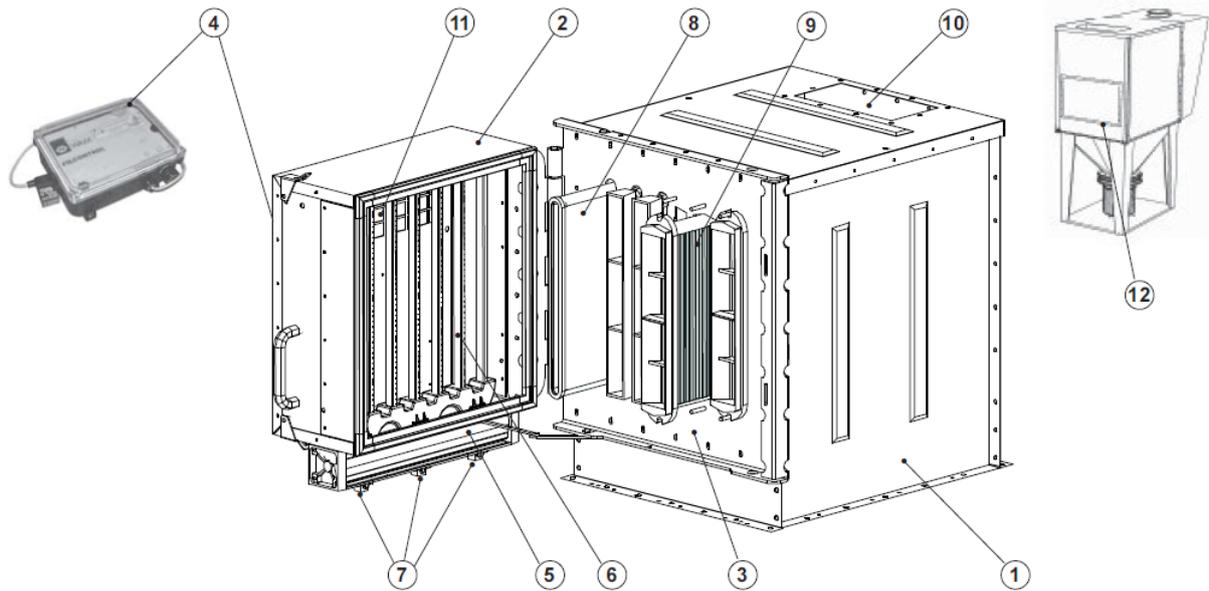
La figure (II.5) montre la courbe comparative « Pression/Temps » d'une déflagration dans une enceinte équipée ou non d'un événement, c'est-à-dire respectivement pour une explosion évacuée ou contenue.

Dans le cas de l'explosion pour laquelle la pression maximale, qui peut être atteinte lors de l'explosion, est supérieure à la pression de calcul d'éclatement de l'enceinte, il y a destruction de l'enceinte.

Dans le cas où la pression est suffisamment réduite par l'intermédiaire d'un événement, la pression résultante reste inférieure. L'enceinte ne subit donc aucun dommage [16].

## II.2.2. Le dépoussiéreur

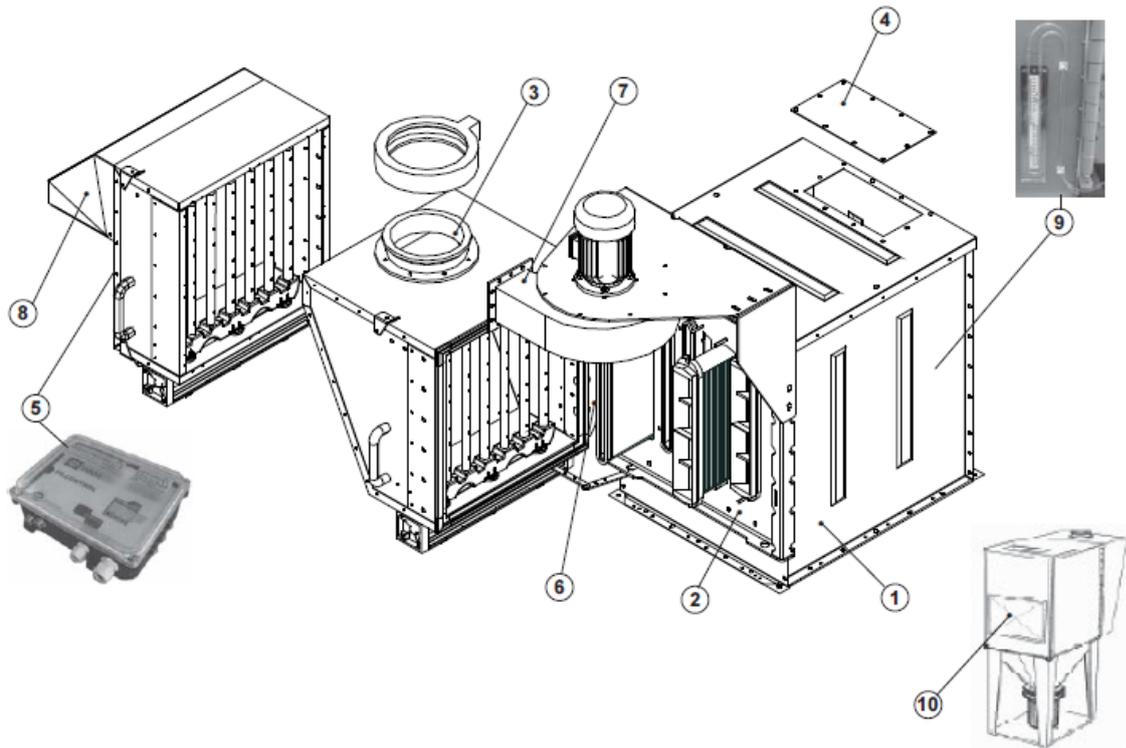
### II.2.2.1. Les composants



**Figure II.7:** Différents composants de dépoussiéreur[13].

Le dépoussiéreur est composé de :

- 1- Corps filtre.
- 2- Chapeau.
- 3- Plaque porte éléments.
- 4- Temporisateur électronique.
- 5- Réservoir d'air comprimé.
- 6- Tubes de décolmatage.
- 7- Electrovanes.
- 8- Poches.
- 9- POLYPEAT.
- 10- Entrée d'air souillé.
- 11- Bride sortie d'air propre.
- 12- Bride de montage du sas anti-explosion.

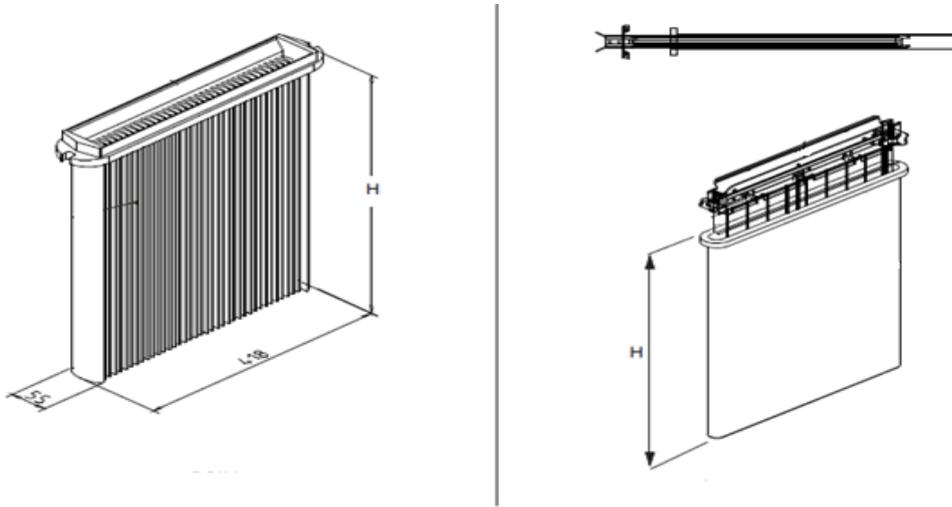


**Figure II.8 :** Différents composants internes de dépoussiéreur [13].

- 1- Corps filtre.
- 2- Plaque porte éléments.
- 3- Equipement sortie filtre : raccord.
- 4- Plaque de fermeture entrée air sale.
- 5- MDPE (mesureur différentiel de pression électronique)
- 6- Chamière.
- 7- Equipement sortie filtre : aspirateur.
- 8- Equipement sortie filtre : parapluie.
- 9- MDP (mesureur différentiel de pression).
- 10- Panneau anti-explosion.

### II.2.2.2. Les filtres :

Les filtres peuvent être montés des éléments filtrants lisses (poches), ou des éléments plissés cette dernière solution garantit une utilisation optimale de l'espace à disposition.



**Figure II.9 :** Filtre de dépoussiéreur [13].

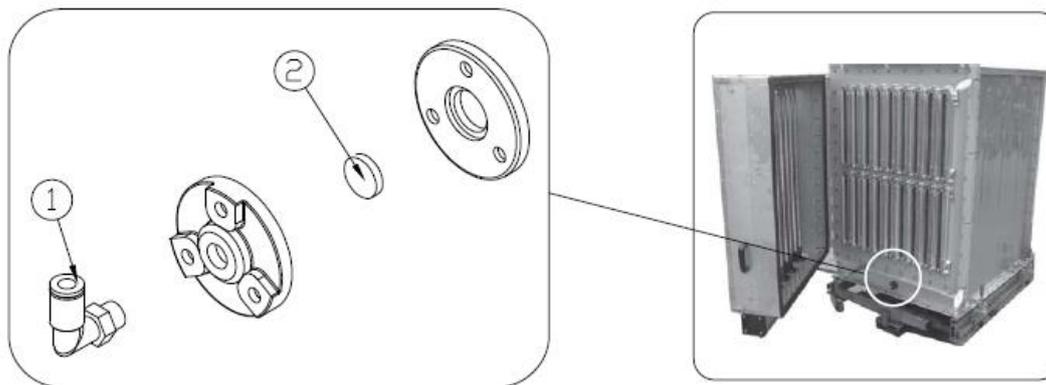
Le système venturi, appliqué dans les filtres a spécialement été conçu pour rendre le système plus efficace.

Le venturi est intégré directement sur la tête.

Pour tous les éléments filtrants il est possible d'utiliser différents types de médias (médias filtrants), permettant de satisfaire les exigences de toutes les applications dans les différents industriels.

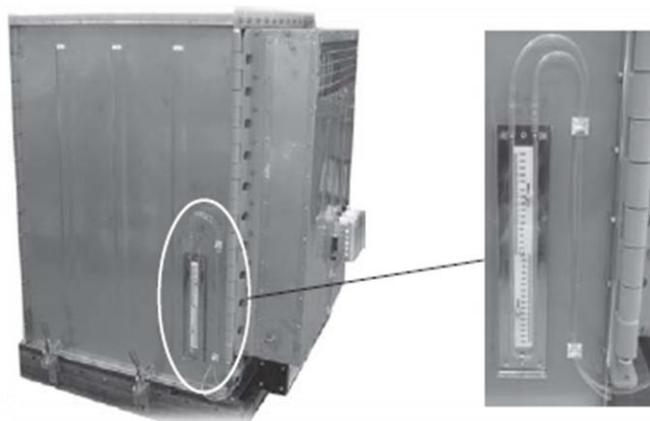
Les filtres peuvent être dotés de dispositifs qui mesurent la différence de pression entre la partie sale et la partie propre du filtre, afin de contrôler le degré de propreté des éléments filtrants.

Sur le corps du filtre sont présents les trous nécessaire à la connexion du mesureur différentiel de pression, dans le trou est introduit un raccord à branchement rapide (1) doté de pastille filtrante(2).



**Figure II.10 :** Trou de connexion du mesureur de DP[13].

Sur le corps est installé un tube transparent en « U », relie sur une extrémité à la partie propre et à l'autre extrémité à la partie sale du filtre. Il doit être rempli d'eau et grâce à une échelle graduée il permet la lecture du DP.

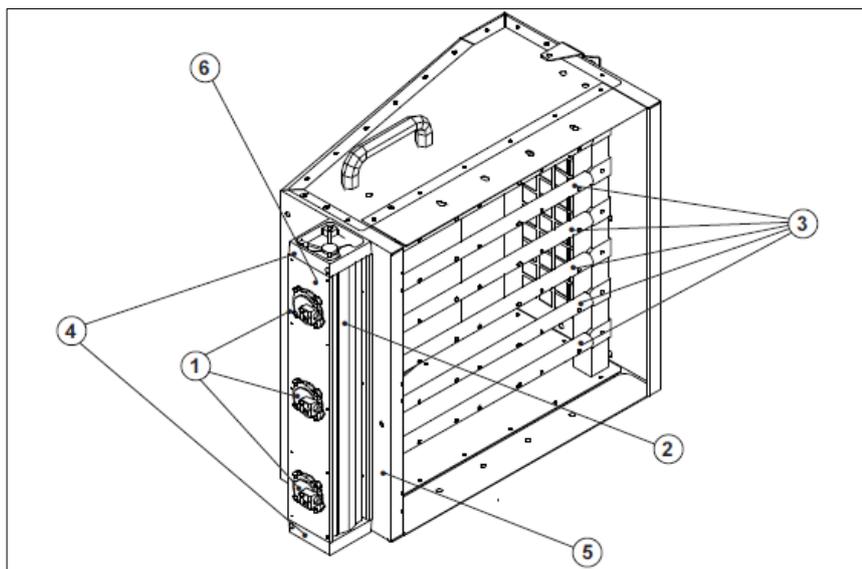


**Image II.3 :** Tube « U ».

Le module MDPE (mesureur différentiel électronique de pression) est monté directement sur la carte électronique de contrôle.

La différence de pression est exprimée à travers un écran à 3 chiffres. Si l'on fixe les deux seuils de pression d'intervention (min et max) on peut faire fonctionner le nettoyage cyclique du filtre que quand cela est effectivement nécessaire en économisant ainsi de l'énergie.

### II.2.2.3. Group décolmatage



**Figure II.11 :** Groupe décolmatage [13].

Ses principaux composants :

- Electrovannes (1) montées directement à l'intérieur du réservoir d'air comprimé (2) de manière à réduire au minimum les pertes de charge ;
- Tuyaux de décolmatage (3) en acier (acier inoxydable) ;
- Réservoir en aluminium anodisé à l'extérieur avec les deux têtes (4), elles aussi en aluminium à traitement cathodique noir opaque ;
- Robinet d'entrée de l'air (5).
- Robinet vidange eau de condensation (6).

Le temporisateur (timer électronique) gère de manière séquentielle, l'ouverture et la fermeture des électrovannes, ces dernières commandent l'envoi de l'air comprimé dans des tubes de décolmatage.

Le filtre a besoin d'être relié à une conduite d'air comprimé à 6 bars constant.

L'air doit être propre, déshumidifié et déshuilé.

**❖ Temporisateur (timer électronique)**

**Image II.4 :** Temporisateur électronique[13].

Le temporisateur est le cerveau de dépoussiéreur grâce à sa carte électronique.

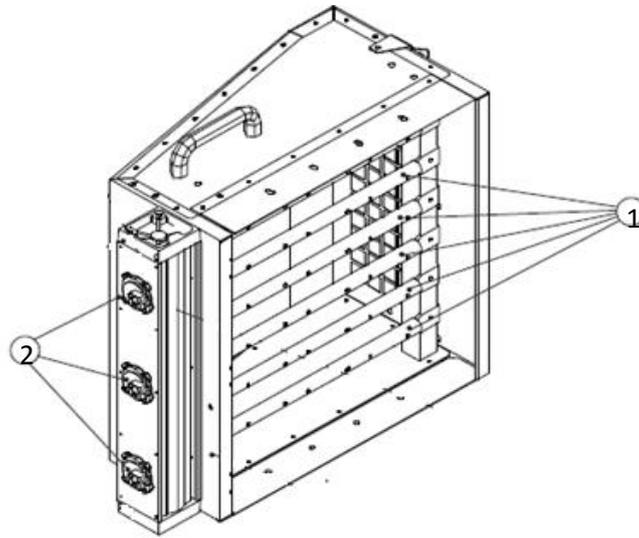
La carte électronique a la fonction de commander de manière séquentielle le cycle de nettoyage à air comprimé des éléments filtrants, avec possibilité de changer le temps de décolmatage et le temps de pause entre une impulsion et l'autre.

Les temps de pause vont de 5 à 90 seconds, ceux de travail vont de 100 à 300 ms.

La carte est dotée de temporisateur fixe de 10 min pour permettre un nettoyage supplémentaire du filtre à la fin du cycle de travail.

La carte électronique peut être alimentée à des tensions de 260V/24V AC/DC 50/60 Hz et elle est montée à l'intérieur d'un boîtier qui garantit un degré de protection.

### ❖ Tuyaux de décolmatage



**Figure II.12** : Les tuyaux de décolmatage [13]

C'est des tubes en acier inoxydable perforés (1), sont connectés aux électrovannes (2), ces dernières se trouvent à l'intérieur du réservoir d'air comprimé.

Les tuyaux de décolmatage servent à répartir et guider les jets d'air comprimé d'une pression de 6 bars à contre-courant sur les poches de manière alternée.

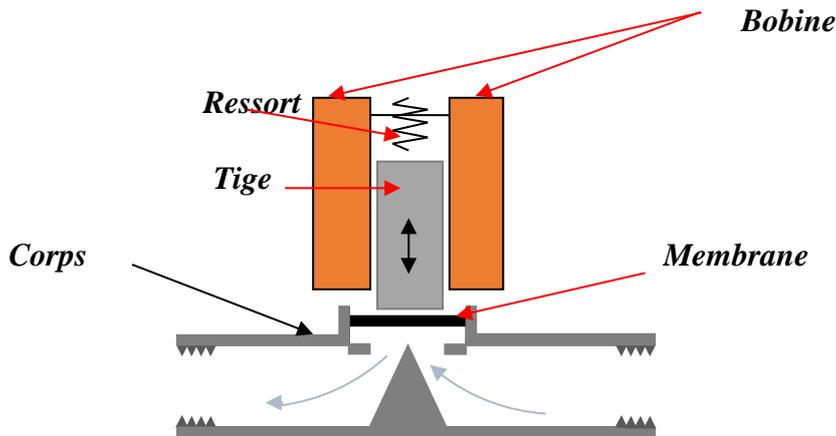
### ❖ Les électrovannes

Les électrovannes sont des outils de contrôle des fluides (liquide ou gazeux) commandés par des signaux électriques, il y en a deux types des électrovannes tout ou rien, elles s'ouvrent et se ferment totalement suivant des signaux de leur commande.

On trouve aussi des électrovannes régulatrices (proportionnelles), s'ouvrent et se ferment en fonction du signal de leur commande.

Dans notre cas ce sont des tout ou rien normale fermée qui sont utilisés, pour avoir un débit maximal dans les tuyaux de décolmatage.

◆ **Composition de l'électrovanne**



**Figure II.13 : Une électrovanne**

➤ **Le corps**

C'est l'élément qui assure l'étanchéité pour le fluide envers l'extérieur

➤ **Les connections**

Sont des composants avec les quelle en relie l'électrovanne a une source d'alimentation avec laquelle en commande cette dernière

➤ **La bobine**

C'est un enroulement de fil conducteur isolé par un matériau isolant, où elle crée un champ magnétique lorsqu'il y a une circulation de courant dans le fil

➤ **Tige plongeante (plongeur)**

C'est le noyau mobile de l'électroaimant formé par cette tige et la bobine, il convertie l'énergie magnétique en énergie mécanique mouvement de translation

➤ **Ressort**

C'est l'élément de rappel pour la tige, il renvoi la tige à position fermé lorsque la bobine n'est pas excitée

➤ **Membrane :**

C'est la peau ou couvercle, grâce asa souplesse elle assure une bonne étanchéité entre l'amont et l'aval

### ◆ Le fonctionnement de l'électrovanne

Comme on a une électrovanne toute ou rien normalement fermée, l'air comprimé du réservoir qui se trouve en amont de cette électrovanne est bloqué, dès qu'un signal électrique arrive, il y aura une circulation de courant dans la bobine, cette circulation va donner naissance à un champ magnétique, le noyau fixé solidairement sur la membrane va s'attirer par le champ magnétique créée par la bobine, alors la membrane va se retirer de sa position de fermeture, elle va céder au déplacement de l'air qui se trouve a sont amont vers l'aval,

C'est ainsi que l'air de réservoir est contrôlé par l'électrovanne commandée par des signaux électrique.

### ❖ Le réservoir d'air comprimé



**Image II.5 :** Réservoir d'air comprimé

C'est un récipient en aluminium anodisé qui possède un certain volume occupé par l'air comprimé qu'il reçoit par son entrée, l'air est stocké dans ce réservoir pour donner une capacité de décolmatage.

### ◆ Composition du réservoir

Le réservoir est composé de ces éléments suivants :

#### ➤ La cellule de stockage

Elle est constitué d'un volume formé pour des parois sous forme cubique fermé par deux tête carré chacune à l'extrémité assurent étanchéité du réservoir, elle a pour but de stocké de l'air comprimé, dans elle jeux un rôle capitale de la capacité du décolmatage

➤ **Le robinet d'arrêt d'air d'entrée**

C'est une petite vanne manuelle qui sert à lasser ou de bloquer l'air comprimé d'entrerau au réservoir

➤ **Robinet de vidange d'eau de condensation**

C'est une petite vanne manuelle qui permet de vidanger l'eau qui se trouve dans le réservoir qui est due à la condensation des particules d'eau qui se trouve dans l'air

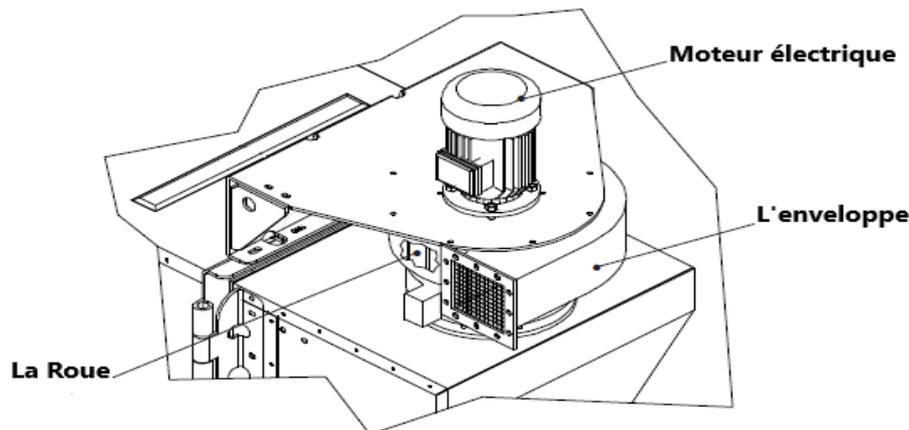
➤ **Les ouvertures pour les électrovannes**

Ce sont des ouvertures Persée sur le réservoir pour permettre l'installation des électrovannes, mais d'une façon étanche pour que le réservoir n'ait de fuites

◆ **Le principe de fonctionnement**

L'air comprimé arrive dans un réseau d'alimentation pneumatique par des compresseurs ensuite sera stocké dans le réservoir de dépoussiéreur, pour donner une quantité d'air suffisante pour le décolmatage (6bars).

**II.2.2.3. Moto-ventilateur :**



**Figure II.14 :** Moto-ventilateur [13]

Le ventilateur est une turbomachine réceptrice qui fournit l'énergie nécessaire pour entretenir l'écoulement de l'air dans le circuit de ventilation, il doit être choisi pour débiter un certain volume d'air sous une certaine pression (qui dépend de la résistance du circuit).

### ◆ Composition du moto-ventilateur

Le moto-ventilateur est composé par des éléments dont les rôles sont différents.

#### ➤ Le moteur électrique

C'est un moteur asynchrone, il a comme rôle d'entraîner la roue du ventilateur à la désiré, c'est un convertisseur électromécanique de l'énergie électrique vers l'énergie mécanique

#### ➤ L'enveloppe

C'est elle qui en enveloppe les composants internes du ventilateur, elle est en tôle, étanche aux infiltrations d'eau, comme elle protège l'intérieur (les éléments interne) du ventilateur mécaniquement

#### ➤ La roue(Turbine)



**Image II.6 :** Roue de la turbine [17].

Est une roue qui se trouve à l'intérieur de l'enveloppe, sur laquelle des aubes sont soudés, lors de sa mise en rotation ces aubes vont entraîner l'air vers les parois de l'enveloppe pour qu'il soit acheminé vers l'extérieur

### ◆ Principe de fonctionnement du moto-ventilateur

L'écoulement de l'air dans le réseau de canalisation est produit par le ventilateur. En créant une dépression dans la canalisation située en amont du ventilateur, la force exercée par la pression atmosphérique ambiante permet à l'air de s'introduire dans le capteur. Le ventilateur permet d'accélérer l'air et de maintenir l'écoulement en combattant la résistance à l'écoulement générée par le réseau.

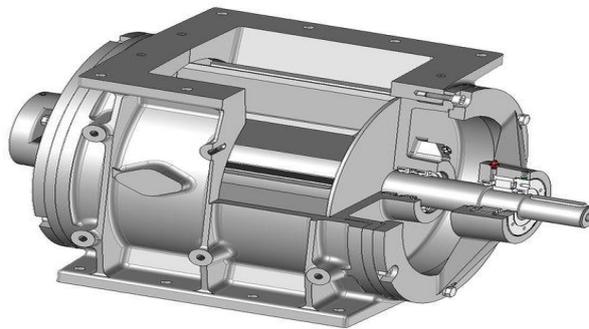
Comme dans le cas de ce dépoussiéreur le ventilateur utilisé est de type centrifuge. Dans les ventilateurs centrifuges, l'air est aspiré parallèlement à l'axe de rotation d'une roue à aubes tournant dans une volute et est rejeté à la périphérie par la force centrifuge suivant un plan perpendiculaire à l'axe de rotation. Ces ventilateurs permettent de développer des

pressions statiques élevées et sont mieux adaptés aux réseaux qui représentent des fortes pertes de charge causées notamment par les dispositifs de captage.

### II.2.3. Le système du transfert de poussière

#### ❖ L'écluse

Il s'agit d'un dispositif multifonction utilisé en industrie, permettent de contrôler le transfert de matière dans une canalisation ou vers un dispositif donné, cette dernière est une vanne doté d'un rotor permettant de réguler le débit ou bien elle est utilisée pour le dosage des produits pulvérulents ou granulaires.



**Figure II.15 : Une écluse rotative [18]**

#### ◆ Composition de l'écluse

L'écluse est constituée de différents composants dans chacun assure sa fonction

##### ➤ Le corps ou (carcasse)

Elle assure l'étanchéité entre l'intérieur et l'extérieur de l'écluse, il est aussi le support des autres composants

##### ➤ Le rotor

Fugger dans le corps, il est doté d'un nombre de pales, elles forment avec la carcasse des cellules, qui se remplissent de matière à transférer

➤ **Arbre de puissance**

Il permet la transmission de puissance vers le rotor, fixé solidairement avec le rotor, ce dernier entraîne le rotor en rotation.

➤ **Les pallier et roulement**

Fixé sur le corps de l'écluse, ils assurent le guidage uniquement en rotation, facilitent aussi la rotation en diminuant les frottements

➤ **Les brides**

Sont des adaptateurs permettent la facilité de l'implantation de l'écluse dans une canalisation ou dans un équipement

➤ **Le moteur électrique**

C'est l'élément générique de l'énergie pour l'écluse, sa fonction est de convertir l'énergie électrique à une énergie mécanique

➤ **Le réducteur**

C'est un convertisseur de vitesse assure la réduction de la vitesse du moteur, pour l'adapter au rotor de l'écluse à travers l'arbre de transmission

◆ **Le principe de fonctionnement**

Dès que le moteur –réducteur se mit en marche ,il entraine l'arbre du rotor ,ce dernier se met en rotation au tour de l'axe de son arbre qui ont le même axe de rotation, ce dernier qui a des pales forment des cellule sur le rotor, avec la rotation les cellule sont ainsi mis en rotation ,de la matière issue de son entrée se repose dans ces cellule va se porter dans le mouvement vers la sortie de l'écluse ,arrivée à sa sortie le produit tombe dans des conduite ou ans un autre dispositif

**❖ Convoyeur à vis sans fin****Image II.7** : Vis du transfert.

C'est un dispositif doté d'une vis sans fin à l'intérieur de son corps, animé par un mouvement de rotation, sa cannelure hélicoïdale permet de faire déplacer un produit d'un point à l'autre. Utilisé dans différents domaines généralement en industrie, il a pour but de faire convoyer des produits.

**◆ Composition du convoyeur à vis sans fin**

Le convoyeur à vis sans fin est constitué de différents composants. Ces composants ainsi que les rôles dévolus à chacun sont:

**➤ Le corps**

Il joue deux rôles. Il est le support de la vis et des composants qui le suivent. Il sert aussi de récipient de la matière à convoyer

**➤ La vis sans fin**

On distingue deux éléments essentiels :

**➤ Arbre de transmission**

C'est l'élément qui porte la cannelure hélicoïdale, et assure la rotation de celle-ci.

➤ **La cannelure hélicoïdale**

C'est l'élément qui convoie la matière. Lorsqu'il tourne il pousse le produit d'un point à l'autre.

➤ **L'élément de guidage en rotation**

Il est constitué soit de paliers ou de roulements. Leur rôle est de guider uniquement la vis en rotation.

➤ **Moteur électrique**

Il convertit l'énergie électrique vers une énergie mécanique pour la transmettre à la vis de transfert à travers un convertisseur dynamique.

➤ **Réducteur de vitesse**

C'est un convertisseur dynamique, il adapte la vitesse du moteur pour faire tourner la vis de transfert.

◆ **Le principe de fonctionnement**

Quand le moteur se met en marche, il entraîne l'engrenage du réducteur. Il réduit ainsi la vitesse et l'adapte pour la vis de transfert. L'arbre de la vis aura un mouvement en rotation. La cannelure hélicoïdale, fixée sur l'arbre suit le même mouvement. La matière qui tombe à l'entrée du convoyeur sera poussée vers sa sortie.

## II.2.4. Le système de stockage

❖ **Big-bag**

C'est un sac de stockage de poussière, on le considère comme étant un récipient final de la poussière.

Dans notre cas c'est une poussière de sucre, obtenue par l'opération du dépoussiérage (séparation des fines particules de sucre et l'air).

Des quantités considérables de cette farine seront récupérées, elle sera convoyée vers le Big-Bag pour qu'elle se stocke temporairement, une fois le big-bag est rempli on va le vider et réutiliser le produit comme matière première.

### **II.3. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur l'ensemble de l'installation actuel et son principe de fonctionnement. Nous avons ensuite fait une étude pour chaque composant du dépoussiéreur.

Malgré tous les composants qui équipent le dépoussiéreur, certaines contraintes influencent lourdement le fonctionnement du dépoussiéreur et l'empêchent de répondre aux exigences, y compris l'humidité et la granulométrie de sucre et les pertes dans les canalisations.

Dans le prochain chapitre nous allons calculer les pertes de charges dans les conduits afin de constater l'efficacité du moto-ventilateur et de répondre aux questions suivantes :

- Est-ce-que le ventilateur arrive pallier les pertes de charges ?
- Est-ce-que le ventilateur convient au système actuel de dépoussiérage ?

# Chapitre III

Calcul des pertes de charges  
dans les conduits

### III. Introduction :

Afin de trouver la solution technique pour le système de dépoussiérage, nous avons remarqué une chute de pression due aux pertes de charge dans les canalisations (mauvais dimensionnement).

#### III.1. Pertes de charge dans les canalisations :

L'air qui s'écoule dans une canalisation subit une chute de pression totale  $\Delta P$  [Pa] appelée perte de charge. [19]

La perte de charge désigne la perte irréversible d'énergie de pression que subit un liquide ou un gaz lors de son passage dans une conduite, un tuyau ou un autre élément de réseau de fluide. [20]

##### III.1.1. Pertes de charge linéaire (par frottement) :

Sont provoquées par la viscosité de l'air. Frottement des molécules entre elles et le long des parois.

Elles prennent naissance lorsqu'il y a mouvement de l'air et ont lieu sur toute la longueur des conduits.

Pour les calculer on utilise la formule de Darcy-Wei Bach :

$$\Delta P_L = \lambda \cdot \frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (\text{III.1})$$

L : Longueur de la conduite en [m].

D : Diamètre de conduite en [m].

$\lambda$  : Le coefficient de perte de charge, il est sans dimension et en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité de la paroi.

$\rho$  : La masse volumique de l'air [ $\text{kg.m}^{-3}$ ].

V : La vitesse moyenne de l'air en [ $\text{m.s}^{-1}$ ] définie par :

$$V = \frac{4}{\pi D^2} Q_v \quad (\text{III.2})$$

$Q_v$  : Débit volumique du fluide en ( $\text{m}^3.\text{s}$ ).

### III.1.1.1. Détermination du coefficient de frottement de Darcy ( $\lambda$ ) :

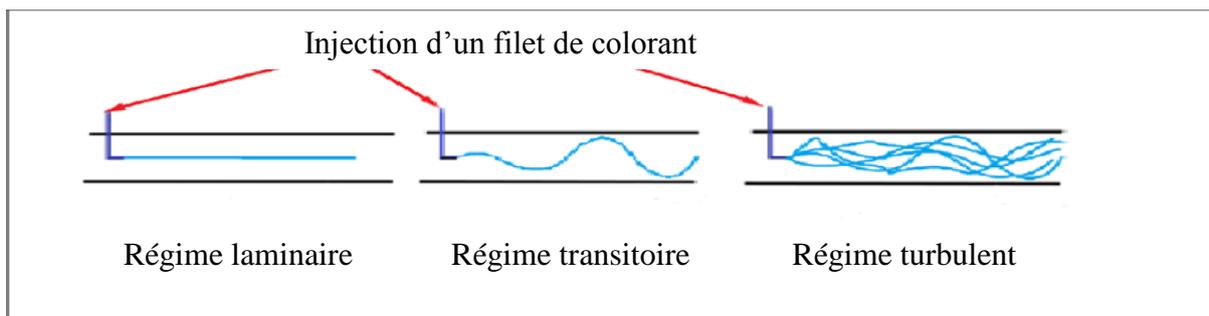
Le coefficient de frottement de Darcy dépend :

- du régime d'écoulement « Re ».
- De la rugosité absolue de la conduite «  $\varepsilon$  ».
- Du diamètre de la conduite « D ».

La recherche de ce facteur peut se réaliser soit en utilisant des relations empiriques ou on exploitant un diagramme appelé « diagramme universel » ou « **diagramme de MOODY** »

Afin de tenir compte de tous les facteurs cités précédemment, on considérera plusieurs types d'écoulement :

### III.1.1.2. Différents types d'écoulement :



**Figure III.1** : Différents types d'écoulements.

Tous les liquides ne s'écoulent pas de la même manière, si on observe l'eau d'une rivière on voit que l'écoulement est en permanence le siège de multiples tourbillons, par contre lorsque on verse de l'huile d'une bouteille ou du miel dans un pot, on voit qu'il y a pas de tourbillons

Un moyen est utilisé pour distinguer le régime de l'écoulement appelé le « **nombre de Reynolds** »

On dit que le régime est :

#### ♦ Laminaire :

Si l'écoulement du fluide n'a pas de tourbillons, pour ce régime d'écoulement le nombre de Reynolds est inférieure à 2000 sans unité ( $Re < 2000$ ).

◆ **Tourbillon :**

Si l'écoulement du fluide présente des tourbillons dans son mouvement, le nombre de Reynolds nous renseigne sur le type de l'écoulement pour ce régime le nombre de Reynolds est supérieur à 2000 sans unité ( $Re > 2000$ ).

- En régime d'écoulement laminaire,  $\lambda$  est indépendant de la rugosité de la conduite.

- La formule de Poiseuille :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (\text{III.3})$$

$$\Delta P_L = 32 \frac{L}{D^2} V \rho \nu \quad (\text{III.4})$$

- La perte de pression est proportionnelle à la vitesse de l'air.

❖ **Le nombre de Reynolds :**

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{III.5})$$

V : vitesse moyenne de l'écoulement [m/s].

D : diamètre intérieur de la conduite [m].

$\nu$  ( $\nu$ ) : viscosité cinématique [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

- En régime d'écoulement turbulent,  $\lambda$  dépend du nombre de Reynolds et de la rugosité relative  $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$  de la conduite.

- Equation de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (\text{III.6})$$

$\lambda$ : Coefficient de frottement de Darcy.

$\varepsilon$ : Rugosité absolue de la paroi interne de la conduite [m].

D: diamètre intérieur de la conduite [m]

Re: nombre de Reynolds.

- Equation de Cole brook-white :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \quad (\text{III.7})$$

- ✓ Pas de solution analytique.
- ✓ Résolution par itération.
- Formule de Swamee – Jain :

$$\lambda = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (\text{III.8})$$

### III.1.2. Les pertes charges singulières :

Lorsque les canalisations comportent des coudes, des changements de direction, des rétreintes, des piquages ou encore des vannes, des chaudières, le fluide qui s'écoulant dans cette conduite va subir des pertes de pression dans ces point qu'on appelle les « **pertes de charges singulières** ».

Ces pertes sous résume dans l'équation suivante :

$$\Delta P_s = \xi \rho \frac{V^2}{2} \quad [\text{Pa}] \quad (\text{III.9})$$

$\xi$  : Coefficient de perte de charge singulière.

#### ❖ Dans le cas des coudes 90° et 45° :

Pour la détermination du coefficient de perte de pression singulière pour ces coudes on fait appel a des tables qui donne la valeur de ce coefficient pour quelque dimension des coudes

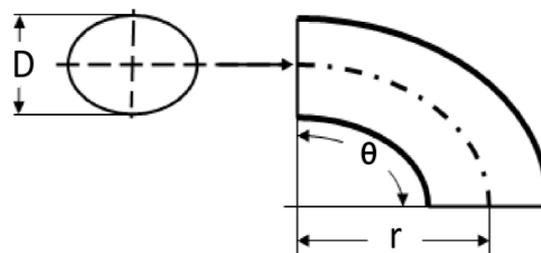
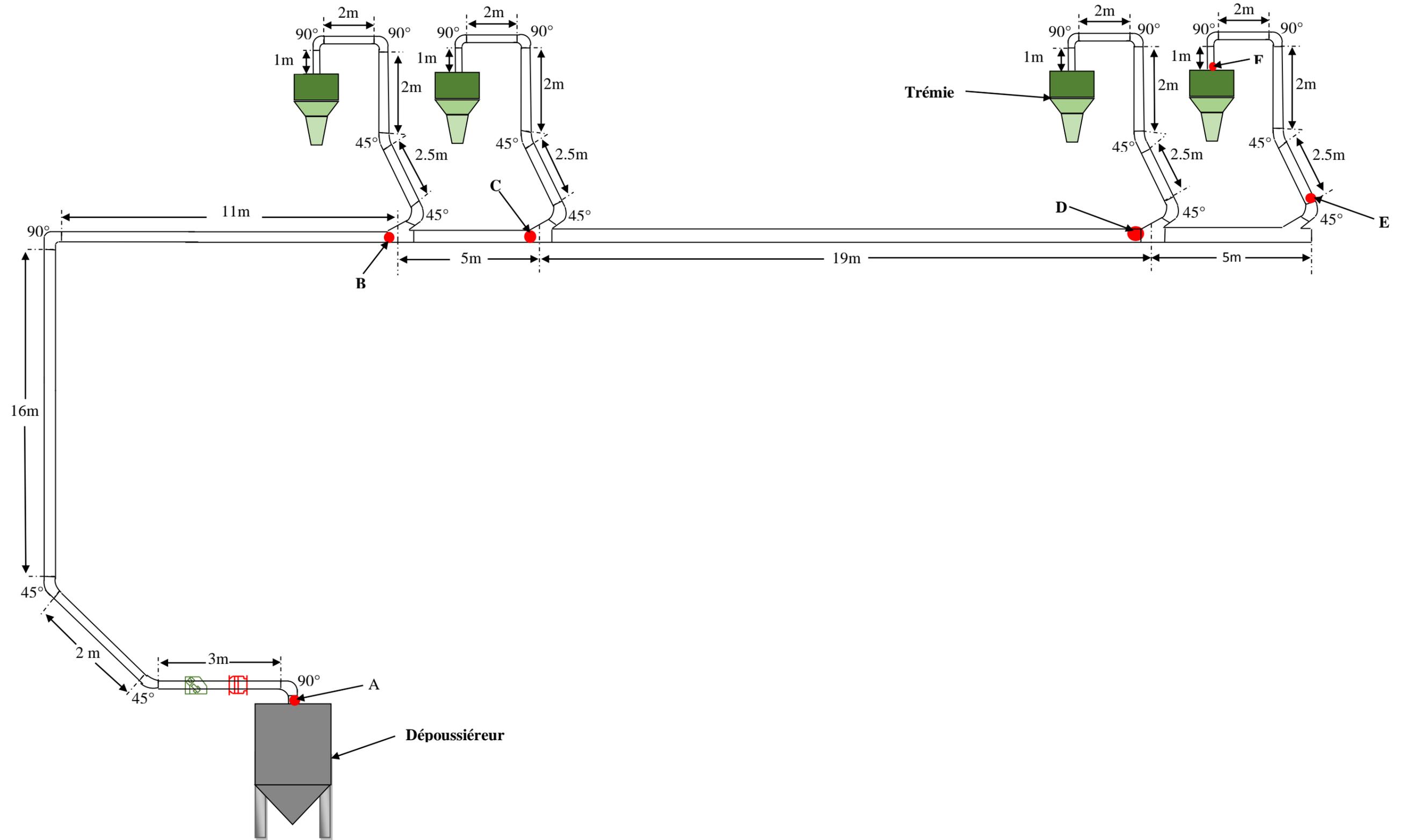


Figure III.2 : Schéma d'un coude circulaire cintré.



## III.2. Application numérique :

### III.2.1. Les pertes de charges linéaires :

**Tableau III.1 :** Résultats du calcul de débit et de la vitesse dans les différents tronçons du conduit.

Tançons	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
Diamètre [m]	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longueur [m]	32	5	19	5	7.5
Débit [m <sup>3</sup> /s]	<b>0.67</b>	<b>0.5025</b>	<b>0.335</b>	<b>0.1675</b>	<b>0.1675</b>
Vitesse [m/s]	<b>33.323</b>	<b>24.992</b>	<b>16.661</b>	<b>8.330</b>	<b>8.330</b>

#### ❖ Pour une température de 10 °C :

Pour calculer le coefficient des pertes par frottement, on doit calculer le nombre de Reynolds.

**Tableau III.2 :** Résultat du calcul de nombre de Reynolds (**Annexe2**).

Grandeur	Formule utilisée	
Diamètre intérieur du conduit D [m]	-	0.16
Débit d'air Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]	-	2400
Débit d'air Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /s] = Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h] / 3600	0.67
Vitesse moyenne de l'air V [m/s]	V = 4 Q <sub>v</sub> / π D <sup>2</sup>	33.323
Viscosité cinématique υ [m <sup>2</sup> /s]	-	1.413 10 <sup>-5</sup>
Nombre de Reynolds	Re = V D / υ	<b>377330</b>
Masse volumique de l'air	-	1.244

Re > 2000 ⇒ Régime turbulent :

Après le calcul de **Re**, on calcule le coefficient de pertes de charge linéaire λ.

**Tableau III.3 :** Résultat du calcul de coefficient de frottement λ.

Grandeur	Formule utilisée	Résultat
Nombre de Reynolds Re	-	377330
La rugosité absolue d'acier Inox (Annexe 1)	-	3 10 <sup>-5</sup>
Le coefficient de frottement de darcy (λ)	$\lambda = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7 D} \frac{\varepsilon}{Re^{0.9}} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	<b>0.0158</b>

On calcule ΔP<sub>L</sub> d'après la formule (**III.1**) :

**Tableau III.4** : Résultats du calcul des pertes de charge linéaire.

Tançons	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
Diamètre [m]	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longueur [m]	32	5	19	5	7.5
Vitesse [m/s]	33.323	24.992	16.661	8.330	8.330
Reynolds	<b>377330</b>	<b>282995</b>	<b>188659</b>	<b>94324</b>	<b>94324</b>
$\lambda$	<b>0.0158</b>	<b>0.0163</b>	<b>0.0171</b>	<b>0.0191</b>	<b>0.0191</b>
$\Delta P_L$ [Pa]	<b>2182.55</b>	<b>197.89</b>	<b>350.6</b>	<b>25.76</b>	<b>154.56</b>
$\Delta P_L$ (Totale) [Pa]	<b>2911.36</b>				

## ❖ Pour une température de 30 °C :

**Tableau III.5** : Résultat du calcul de nombre de Reynolds (Annexe2).

Grandeur	Formule utilisée	Résultat
Diamètre intérieur du conduit D [m]	-	0.16
Débit d'air $Q_v$ [m <sup>3</sup> /h]	-	2400
Débit d'air $Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s] = $Q_v$ [m <sup>3</sup> /h] / 3600	0.67
Vitesse moyenne de l'air V [m/s]	$V = 4 Q_v / \pi D^2$	33.323
Viscosité cinématique $\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	-	$1.605 \cdot 10^{-5}$
Nombre de Reynolds	$Re = V D / \nu$	<b>332191</b>
Masse volumique de l'air	-	1.155

$Re > 2000 \Rightarrow$  Régime turbulent :

**Tableau III.6** : Résultat du calcul de coefficient de frottement  $\lambda$  (Annexe1).

Grandeur	Formule utilisée	Résultat
Nombre de Reynolds Re	-	332191
La rugosité absolue d'acier Inox	-	$3 \cdot 10^{-5}$
Le coefficient de frottement de darcy $\lambda$	$\lambda = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	<b>0.0146</b>

On calcule  $\Delta P_L$  d'après la formule (III.1) :

**Tableau III.7** : Résultats du calcul des pertes de charge linéaire.

Tançons	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
Diamètre [m]	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longueur [m]	32	5	19	5	7.5
Vitesse [m/s]	33.323	24.992	16.661	8.330	8.330
Reynolds	<b>332191</b>	<b>249141</b>	<b>166090</b>	<b>83040</b>	<b>83040</b>
$\lambda$	0.0160	0.0165	0.0174	0.0195	0.0195
$\Delta P_L$ [Pa]	<b>2052.06</b>	<b>185.98</b>	<b>331.23</b>	<b>24.41</b>	<b>146.48</b>
$\Delta P_L$ (Totale) [Pa]	<b>2740.16</b>				

❖ Pour une température de 50 °C :

**Tableau III.8** : résultat du calcul de nombre de Reynolds (Annexe2).

Grandeur	Formule utilisée	
Diamètre intérieur du conduit D [m]	-	0.16
Débit d'air $Q_v$ [m <sup>3</sup> /h]	-	2400
Débit d'air $Q_v$ [m <sup>3</sup> /s]	$Q_v$ [m <sup>3</sup> /s] = $Q_v$ [m <sup>3</sup> /h] / 3600	0.67
Vitesse moyenne de l'air V [m/s]	$V = 4 Q_v / \pi D^2$	33.323
Viscosité cinématique $\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	-	$1.827 \cdot 10^{-5}$
Nombre de Reynolds	$Re = V D / \nu$	<b>291827</b>
La masse volumique de l'air	-	1.067

$Re > 2000 \Rightarrow$  Régime turbulent :

**Tableau III.9** : Résultat du calcul de coefficient de frottement  $\lambda$  (Annexe1).

Grandeur	Formule utilisée	Résultat
Nombre de Reynolds Re	-	291827
La rugosité absolue d'acier Inox	-	$3 \cdot 10^{-5}$
Le coefficient de frottement de darcy $\lambda$	$\lambda = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7} \frac{\varepsilon}{D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$	<b>0.0162</b>

On calcule  $\Delta P_L$  d'après la formule (II.2) :

**Tableau III.10** : résultats du calcul des pertes de charge linéaire.

Tançons	A-B	B-C	C-D	D-E	E-F
Diamètre [m]	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Longueur [m]	32	5	19	5	7.5
Vitesse [m/s]	33.323	24.992	16.661	8.330	8.330
Reynolds	<b>291827</b>	<b>218868</b>	<b>145909</b>	<b>72950</b>	<b>72950</b>
$\lambda$	<b>0.0162</b>	<b>0.0168</b>	<b>0.0178</b>	<b>0.020</b>	<b>0.020</b>
$\Delta P_L$ [Pa]	<b>1919.4</b>	<b>174.9</b>	<b>313.03</b>	<b>23.13</b>	<b>138.8</b>
$\Delta P_L$ (Totale) [Pa]	<b>2569.26</b>				

**III.2.2. Les pertes de charges singulières :**

D'après la formule (III.9) et la valeur de coefficient de pertes de charges singulière (**Annexe3 et 4**) de chaque composant, on calcule  $\Delta P$ .

**Tableaux III.11:** Résultats du calcul des pertes de charge singulières dans le conduit.

- ◆ Les pertes de charge dans les coudes 90° au niveau de la canalisation principale :

Température	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	D[m]	V [m/s]	$\xi$	$\Delta P$
10°C	1.244	0.16	33.323	0.13	<b>89.788</b>
30°C	1.155	0.16	33.323	0.13	<b>83.365</b>
50°C	1.067	0.16	33.323	0.13	<b>77.013</b>

- ◆ Les pertes de charge dans les coudes 45° au niveau de la canalisation principale :

Température	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	D[m]	V [m/s]	$\xi$	$\Delta P$
10°C	1.244	0.16	33.323	0.07	<b>48.347</b>
30°C	1.155	0.16	33.323	0.07	<b>44.888</b>
50°C	1.067	0.16	33.323	0.07	<b>41.468</b>

- ◆ Les pertes de charge dans les coudes 90° au niveau des canalisations qui mènent vers les trémies :

Température	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	D[m]	V [m/s]	$\xi$	$\Delta P$
10°C	1.244	0.16	8.330	0.13	<b>5.610</b>
30°C	1.155	0.16	8.330	0.13	<b>5.209</b>
50°C	1.067	0.16	8.330	0.13	<b>4.812</b>

- ◆ Les pertes de charge dans les coudes 45° au niveau des canalisations qui mènent vers les trémies :

Température	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	D[m]	V [m/s]	$\xi$	$\Delta P$
10°C	1.244	0.16	8.330	0.07	<b>3.021</b>
30°C	1.155	0.16	8.330	0.07	<b>2.805</b>
50°C	1.067	0.16	8.330	0.07	<b>2.591</b>

- ◆ Les pertes de charge au niveau des branchements vers les trémies :

Température	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	D[m]	V [m/s]	$\xi$	$\Delta P$
10°C	1.244	0.16	8.330	0.5	<b>21.579</b>
30°C	1.155	0.16	8.330	0.5	<b>20.036</b>
50°C	1.067	0.16	8.330	0.5	<b>18.509</b>

### Remarque :

Dans le tableau précédent (III.11), on a obtenu des résultats pour un seul coude de 45° et 90°, et pour un seul branchement, pour avoir les pertes totale on a multiplié fois les nombres des coudes et des branchements semblables.

#### ❖ La perte de charge au niveau du clapet anti retour :

Le clapet anti retour permet de limiter les pertes de charge à 10mmCE

$$\Delta P_1 = 10 \text{mmCE} = 98.1 \text{ [Pa] [PK]}.$$

Dans notre calcul on prend le cas  $\Rightarrow \Delta p = 98.1 \text{ [Pa]}$ .

#### ❖ La perte de charge au niveau des filtres :

Il faut considérer une perte de charge de 70 mm H<sub>2</sub>O en fonction du type de filtre, de la granulométrie et de la concentration de la poussière.

$$\Delta P_1 = 70 \text{mmCE} = 686.7 \text{ [Pa]}$$

Dans notre calcul on prend le cas  $\Rightarrow \Delta P = 686.7 \text{ [Pa]}$ .

#### ❖ La perte de charge au niveau de l'arrête flamme :

L'anti flamme permet de limiter les pertes de charge à 15mmH<sub>2</sub>O.

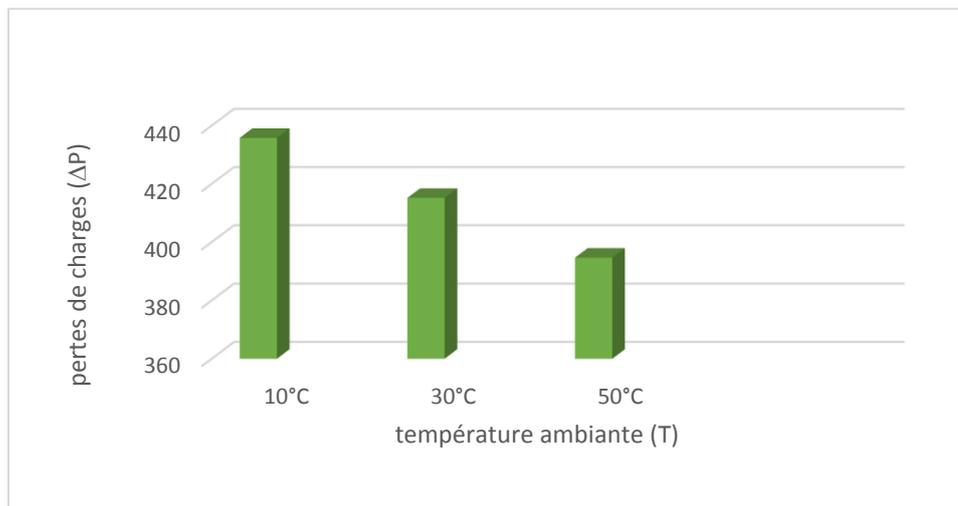
$$\Delta P = 15 \text{mm H}_2\text{O} = 147.15 \text{ [Pa]}.$$

**Tableau III.12** : Résultats des pertes de charges singulières totales dans le conduit.

Température	$\Delta P$ singulières totale
10°C	<b>1363.584</b>
30°C	<b>1332.712</b>
50°C	<b>1302.172</b>

**Tableau III.13** : Résultats des pertes de charges totales dans le conduit.

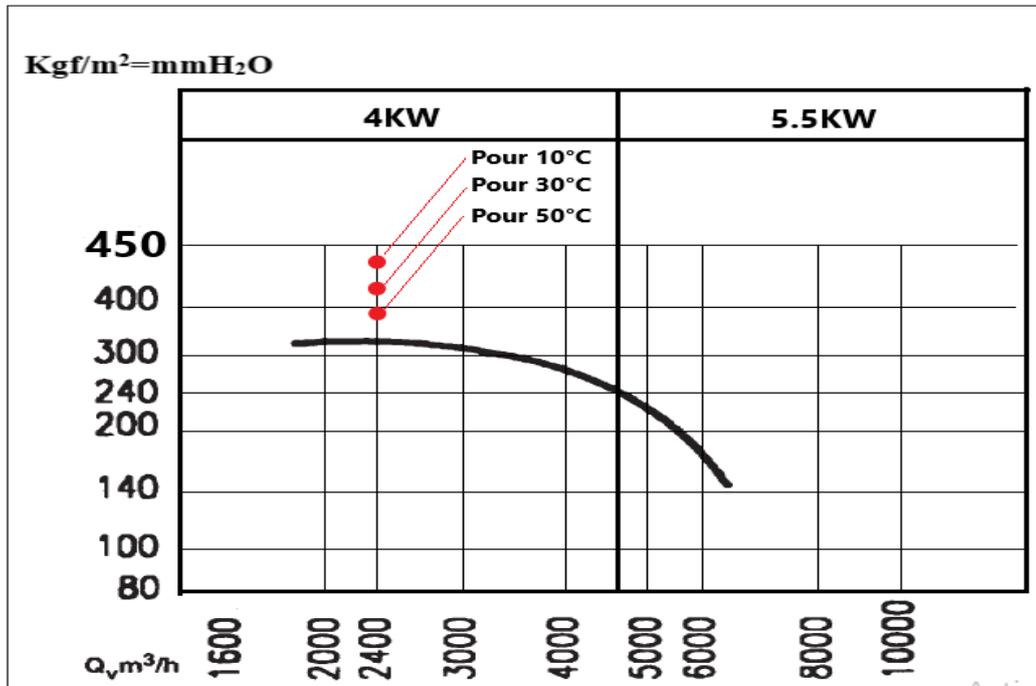
Température	$\Delta P$ totale du conduit
10°C	<b>4274.944</b>
30°C	<b>4072.872</b>
50°C	<b>3871.432</b>

**Figure III.3**: Graphe des pertes de charges du conduit.**Tableau III.14** : Conversion d'unité de [Pa] vers [mmH<sub>2</sub>O].

Température	$\Delta P$ totale du conduit	
	[Pa]	[mmH <sub>2</sub> O]
10°C	<b>4274.944</b>	<b>435.77</b>
30°C	<b>4072.872</b>	<b>415.17</b>
50°C	<b>3871.432</b>	<b>394.64</b>

La figure ci-dessous (III.4) donne les caractéristiques du ventilateur en fonction du débit ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) et trois points des pertes de charge [ $\text{mmH}_2\text{O}$ ], en fonction de température.

Nous avons exploré cette figure pour trouver le point de fonctionnement du ventilateur.



**Figure III.4 :** La courbe caractéristique du ventilateur et les points des pertes de charge en fonction de la température[13].

◆ **Interprétations de la courbe :**

- pour un débit fixe ( $2400\text{m}^3/\text{h}$ ), on a représenté les trois points qui indiquent les valeurs des pertes de charges [ $\text{mmH}_2\text{O}$ ], pour les trois valeurs de température qu'on a choisi.
- pour le débit ( $2400\text{m}^3/\text{h}$ ), nous n'avons pas obtenu le point du fonctionnement qui est l'intersection de la courbe caractéristique du ventilateur et l'un des points.
- D'après la courbe on déduit que le ventilateur ne convient pas pour cette installation. En effet il ne peut pas pallier les pertes de charge de l'installation pour un débit ( $2400\text{m}^3/\text{h}$ ).

**III.3. Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons calculé les pertes de charges linéaires et singulières sur la base de valeurs empiriques. Nous les avons ensuite représentées sur la courbe caractéristique du ventilateur du dépoussiéreur.

Ce chapitre nous a ainsi permis de déduire que le ventilateur n'est pas efficace. Il faut le changer par un autre qui palliera les pertes de charges dans l'ensemble de l'installation de dépoussiérage.

# Chapitre IV

Automatisation du système de  
dépoussiérage

## IV.1. Introduction

Afin de résoudre les problèmes de colmatage des poches, les pertes de charges dans les conduits et les filtres, nous avons opté pour des solutions techniques. Nous allons réaliser un programme d'automatisation du système de dépeussierage. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser le logiciel de programmation pour des systèmes d'automatisation SIMATIC Manager STEP7 et le logiciel AUTOMGEN.

## IV.2. Présentation du système de commande

Le système se compose des éléments suivants :

Quatre trémies de réception du produit, d'un circuit d'aspiration, d'un dépeussier, d'une écluse et d'une vis de transfert et d'un big-bag.

Les trémies se composent ainsi de huit capteurs de présence du produit (sucre blanc et sucre roux).

Le circuit d'aspiration est composé de quatre électrovannes.

Le dépeussier est composé d'un ventilateur et d'un groupe de décolmatage, ce dernier est composé de six électrovannes et deux capteurs de pression et d'un capteur d'humidité, et une sonde du niveau dans le big-bag.

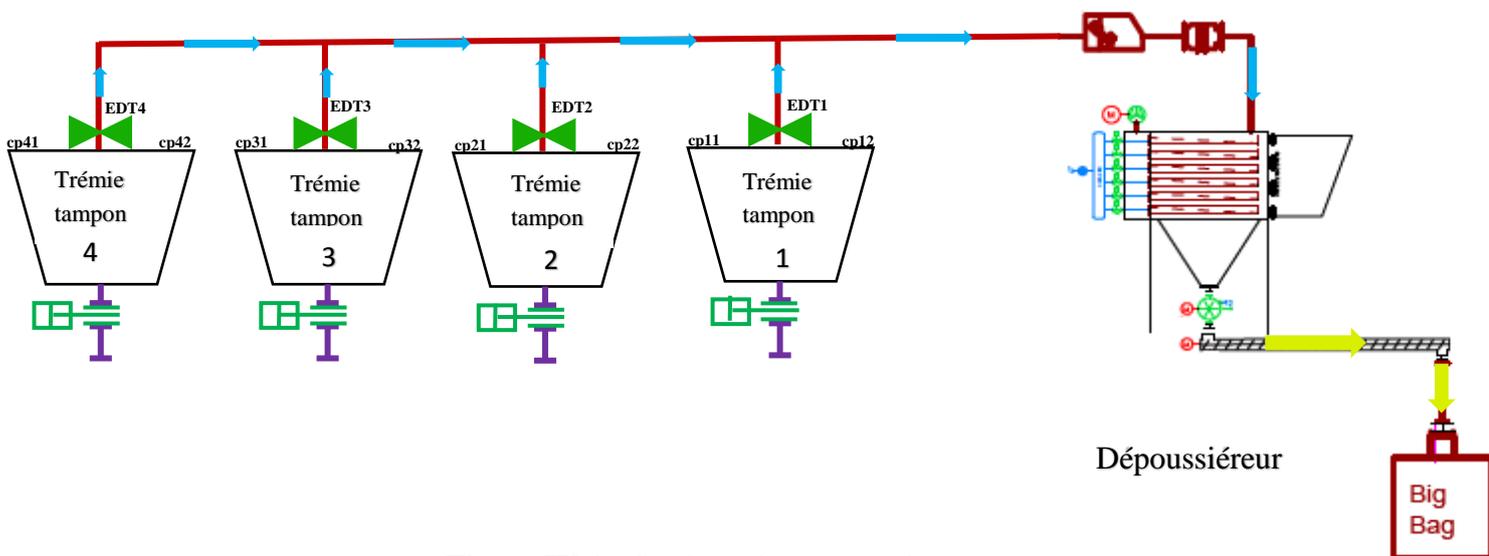


Figure IV.1 : Système de commande.

### IV.3. Analyse fonctionnelle du système de dépoussiérage

#### ❖ Le système d'aspiration

1. Le bouton marche « **BM** » actionné ;
2. Un signal de l'un des capteurs CPT<sub>11</sub> OU CPT<sub>12</sub> de la trémie 1 indique la présence du produit ;
3. L'électrovanne EDT<sub>1</sub> s'ouvre ;
4. Un signal de l'un des capteurs CPT<sub>21</sub> OU CPT<sub>22</sub> de la trémie 2 indique la présence du produit ;
5. L'électrovanne EDT<sub>2</sub> s'ouvre ;
6. Un signal de l'un des capteurs CPT<sub>31</sub> OU CPT<sub>32</sub> de la trémie 3 indique la présence du produit ;
7. L'électrovanne EDT<sub>3</sub> s'ouvre ;
8. Un signal de l'un des capteurs CPT<sub>41</sub> OU CPT<sub>42</sub> de la trémie 4 indique la présence du produit ;
9. L'électrovanne EDT<sub>4</sub> s'ouvre ;
10. Le MR4001 actionné ;

#### Remarque :

L'ouverture des EDT<sub>i</sub> est valable, s'il y a au minimum l'envoi de produit vers deux trémies ;

Le MR4001 s'actionne, s'il y a au minimum deux électrovannes EDT<sub>i</sub> qui s'ouvrent ;

Les électrovannes se ferment après 60 secondes de l'absence de produit ;

#### ❖ Le système de décolmatage

1. le bouton marche « **BM** » est actionné ;
2. Les capteurs PSH<sub>1</sub> et PSH<sub>2</sub> indiquent une différence de pression entre l'amont et ;  
l'aval des poches filtrantes ;
3. Un capteur CH indique que le taux d'humidité est inférieur à 60% ;
4. L'électrovanne S<sub>1</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
5. Après 10s de la fermeture de S<sub>1</sub>, l'électrovanne S<sub>3</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
6. Après 10s de la fermeture de S<sub>3</sub>, l'électrovanne S<sub>5</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
7. Après 10s de la fermeture de S<sub>5</sub>, l'électrovanne S<sub>2</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
8. Après 10s de la fermeture de S<sub>2</sub>, l'électrovanne S<sub>4</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
9. Après 10s de la fermeture de S<sub>4</sub>, l'électrovanne S<sub>6</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;

10. Après 10s de la fermeture de S<sub>6</sub>, l'électrovanne S<sub>1</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
11. Si le capteur CH indique que le taux d'humidité est supérieur à 60% alors ;
12. L'électrovanne S<sub>1</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
13. Après 5s de la fermeture de S<sub>1</sub>, l'électrovanne S<sub>3</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
14. Après 5s de la fermeture de S<sub>3</sub>, l'électrovanne S<sub>5</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
15. Après 5s de la fermeture de S<sub>5</sub>, l'électrovanne S<sub>2</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
16. Après 5s de la fermeture de S<sub>2</sub>, l'électrovanne S<sub>4</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
17. Après 5s de la fermeture de S<sub>4</sub>, l'électrovanne S<sub>6</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;
18. Après 5s de la fermeture de S<sub>6</sub>, l'électrovanne S<sub>1</sub> s'ouvre pour une durée de 200ms ;

#### ❖ **Système de transfert**

1. le bouton marche « **BM** » est actionné ;
2. la sonde LSH<sub>4107</sub> de niveau indique que le Big-Bag n'est pas plein ;
3. les MR<sub>4103</sub> et MR<sub>4004</sub> s'actionnent ;
4. Si la sonde LSH<sub>4107</sub> de niveau indique que le Big-Bag est plein ;
5. les MR<sub>4103</sub> et MR<sub>4004</sub> s'arrêtent ;

#### ❖ **Activation du bouton d'arrêt d'urgence « AU » ;**

1. le système d'aspiration s'arrête ;
2. le système de décolmatage s'arrête ;
3. le système de transfert s'arrête ;

La reprise des taches se fait en désactivent le bouton « **AU** », puis en appuient sur le bouton « **BM** »

#### ❖ **Activation de bouton d'arrêt doux « stop »**

1. le système d'aspiration s'arrête ;
2. le système de décolmatage s'arrête lorsque le cycle de décolmatage est fini ;
3. le système de transfert s'arrête ;

La reprise des taches il suffit d'appuyer sur le bouton « **BM** »

#### ❖ **Activation du bouton de Réinitialisation « Réinit »**

1. le système d'aspiration sera réinitialisé ;
2. le système de décolmatage sera réinitialisé ;
3. le système de transfert sera réinitialisé ;

La reprise des tâches il suffit d'appuyer sur le bouton « **BM** »

## IV.4. Méthode FAST

### IV.4.1. Principe

Le diagramme FAST (Function Analysis System Technique) permet de traduire chacune des fonctions de service en fonction(s) technique(s), puis matériellement en solution(s) constructive(s).

Il se construit de gauche à droite, dans une logique du pourquoi au comment.

Dès lors que les fonctions de services sont identifiées, cette méthode les ordonne et les décompose logiquement pour aboutir aux solutions techniques de réalisation. Le diagramme FAST constitue alors un ensemble de données essentielles permettant d'avoir une bonne connaissance d'un produit complexe et ainsi de pouvoir améliorer la solution proposée.

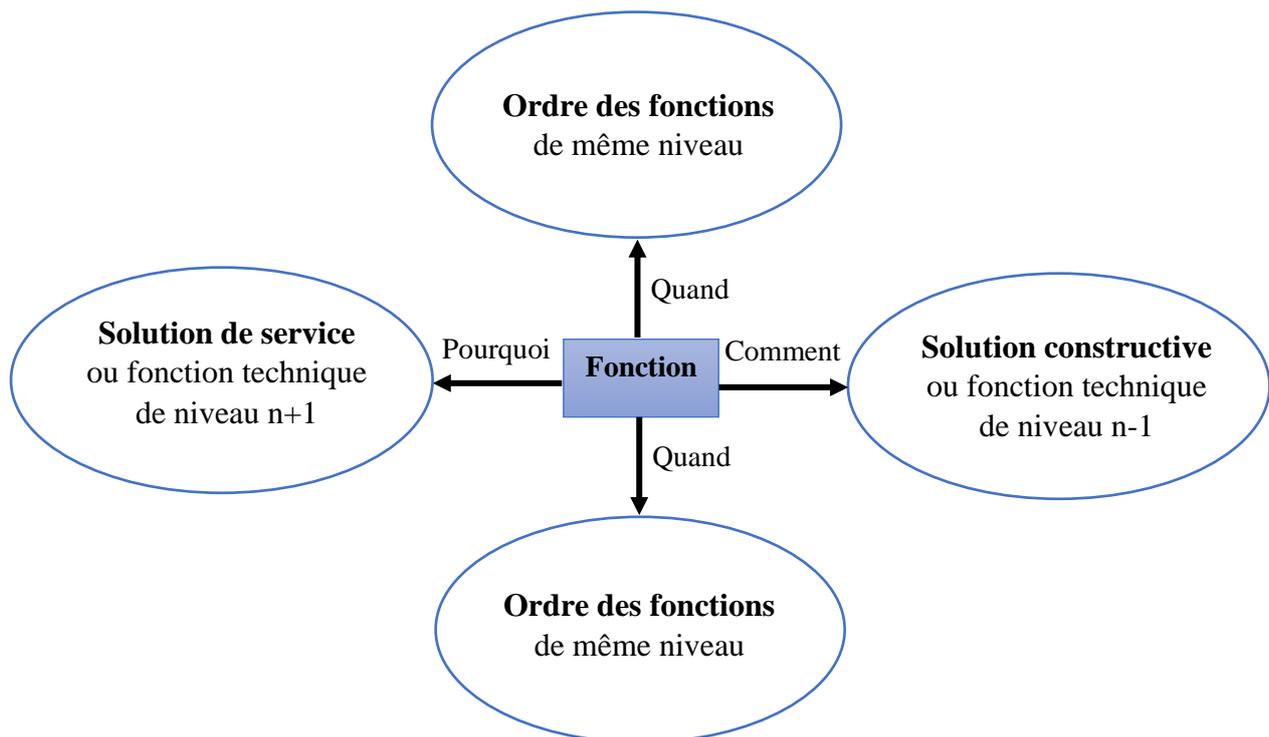
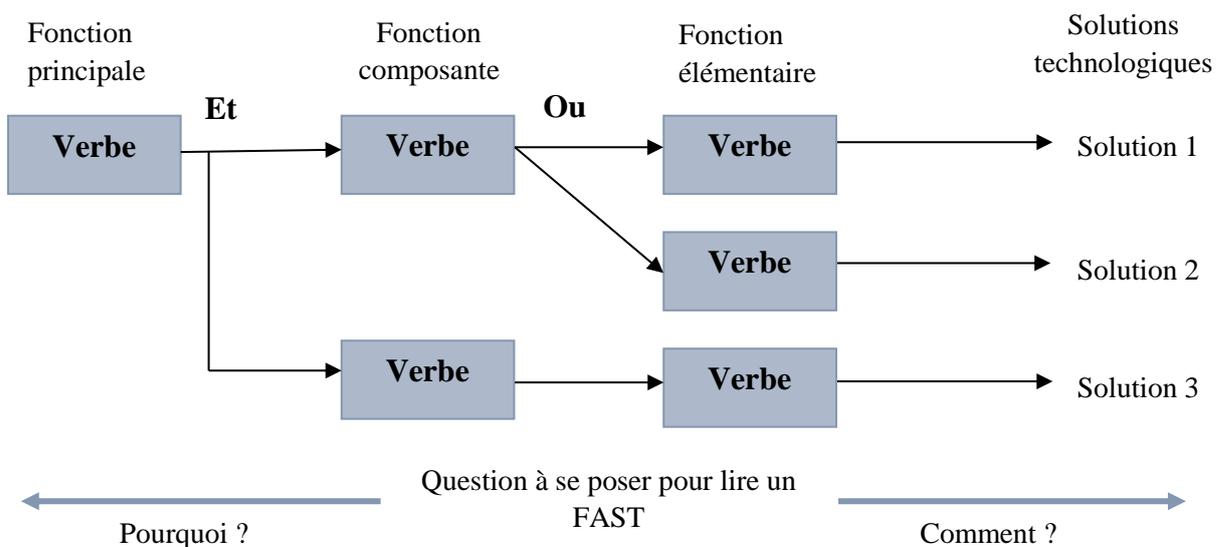


Figure IV.2 : Schémas du principe du diagramme FAST.

#### IV.4.2. Fonction

- Les fonctions de service constituent une relation entre le système et le milieu extérieur.
- Il faut souvent plusieurs fonctions de service pour répondre à un besoin.
- Les fonctions techniques sont internes au produit, elles sont choisies par le constructeur dans le cadre d'une solution, pour assurer une fonction de service.

#### IV.4.3. Schématisation



**Figure IV.3 :** Schématisation du diagramme FAST.

La méthode s'appuie sur une technique interrogative. En partant d'une fonction principale, elle présente les fonctions dans un enchaînement logique en répondant aux trois questions :

**Pourquoi ?** Pourquoi une fonction doit-elle être assurée ? (suivant l'axe horizontal orienté vers la gauche).

Accès à une fonction technique d'ordre supérieur, on y répond en lisant le diagramme de droite à gauche.

**Comment ?** Comment cette fonction doit-elle être assurée ? (suivant l'axe horizontal orienté vers la droite)

On décompose alors la fonction, et on peut lire la réponse à la question en parcourant le diagramme de gauche à droite.

**Quand ?** Quand cette fonction doit-elle être assurée ? (suivant un axe vertical orienté vers le bas) Recherche des simultanités, qui sont alors représentées verticalement [22].

Nous avons appliqué la méthode FAST pour notre système afin de faire une analyse fonctionnelle ce qui a donné la figure (IV.4).

Elle est composée de fonction principale « enlever la poussière », de fonctions composantes « aspirer la poussière », « séparer la poussière de l'air », « décolmater les poches » « Évacuer la poussière », de fonctions élémentaires..., et de solutions technologiques « moteur électrique », « les tamis à fibre », « alimentation pneumatique »...

IV.4.4. Diagramme FAST du système de dépolluage

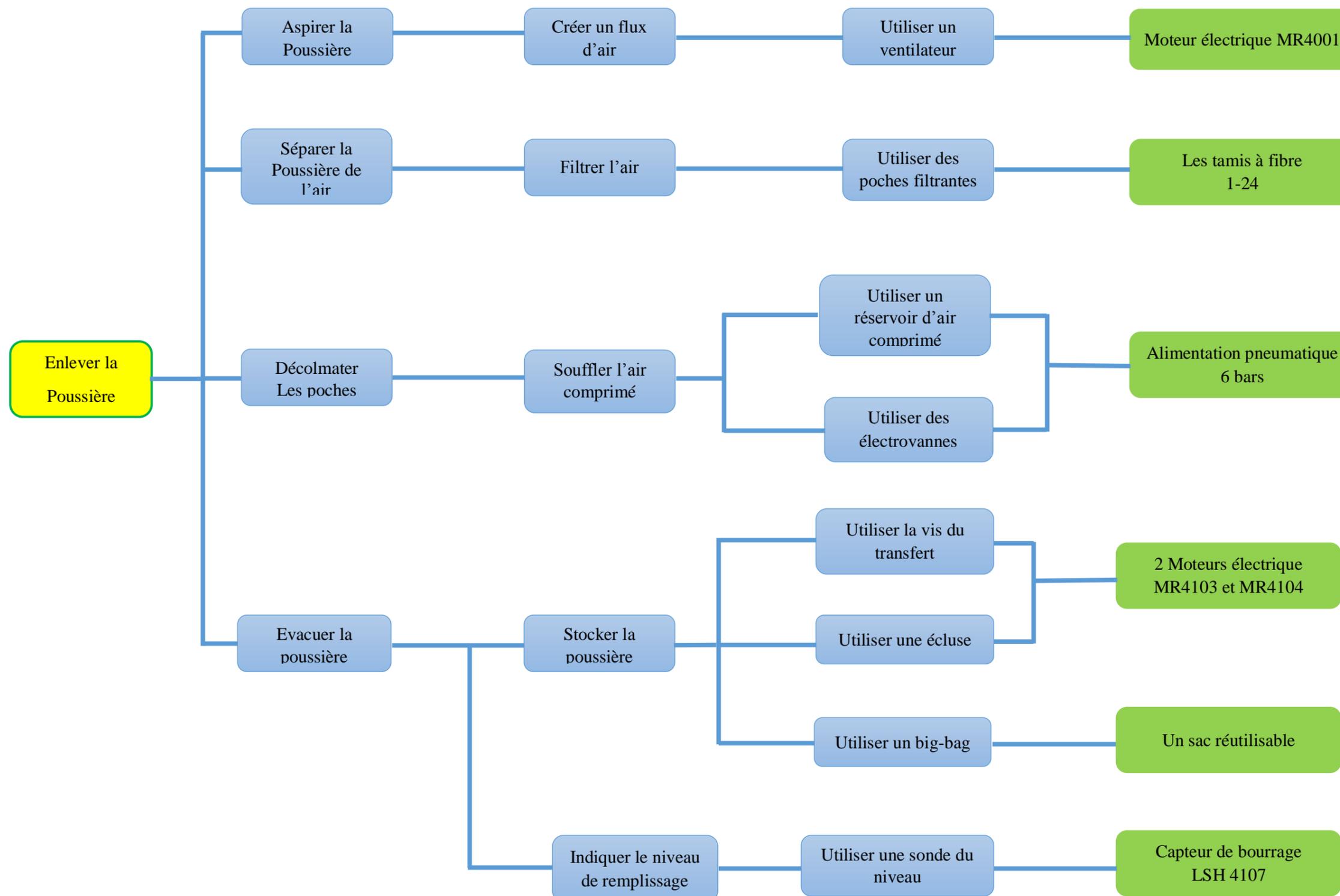


Figure IV.4 : Diagramme FAST du système de dépolluage.

**IV.5. GRAFCET du système :**

Nous avons décomposé le système de dépeussierage en trois GRAFCET et on les a tracés à base de l'analyse fonctionnelle par la méthode FAST.

**IV.5.1. GRAFCET des trémies :**

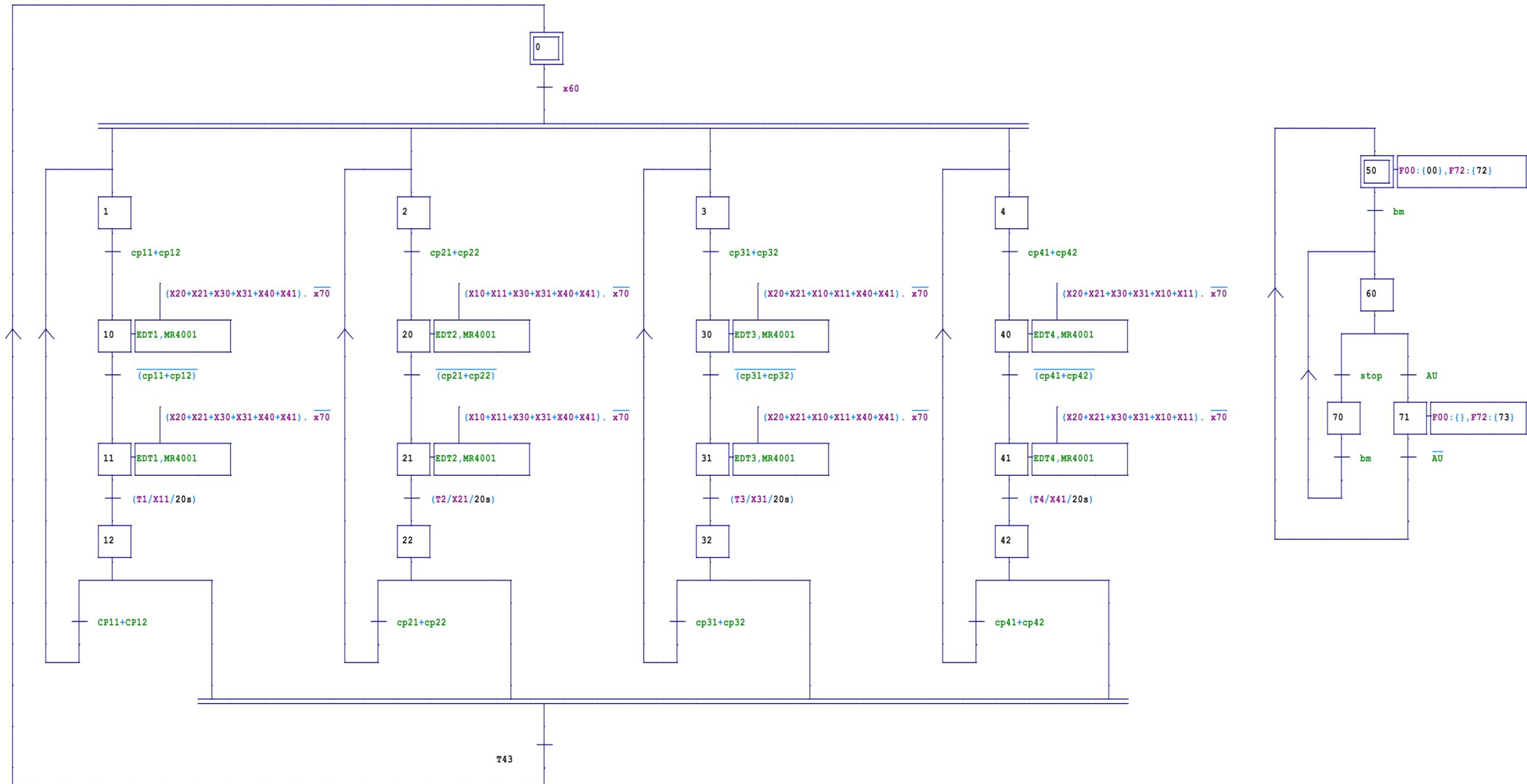


Figure IV.5 : GRAFCET des trémies.

**IV.5.1.1. Mise en équation du GRAFCET des trémies**

Une fois le GRAFCET est réalisé, nous allons maintenant essayer de les traduire en équations.

**Tableau IV.1 :** Equations des transitions.

Transition	Equation
$T_0$	$bm.X_0$
$T_1$	$(cp_{11} + cp_{12}).X_1$
$T_{10}$	$(\overline{cp_{11}}.\overline{cp_{12}}).X_{10}$
$T_{11}$	$(t_1 / X_{11} / 20s).X_{11}$
$T_{12}$	$(cp_{11} + cp_{12}).X_{12}$
$T_2$	$cp_{21} + cp_{22}).X_2$
$T_{20}$	$(\overline{cp_{21}}.\overline{cp_{22}}).X_{20}$
$T_{21}$	$(t_2 / X_{21} / 20s).X_{21}$
$T_{22}$	$(cp_{21} + cp_{22}).X_{22}$
$T_3$	$(cp_{31} + cp_{32}).X_3$
$T_{30}$	$(\overline{cp_{31}}.\overline{cp_{32}}).X_{30}$
$T_{31}$	$(t_3 / X_{31} / 20s).X_{31}$
$T_{32}$	$(cp_{31} + cp_{32}).X_{32}$
$T_4$	$(cp_{41} + cp_{42}).X_4$
$T_{40}$	$(\overline{cp_{41}}.\overline{cp_{42}}).X_{40}$
$T_{41}$	$(t_4 / X_{41} / 20s).X_{41}$
$T_{42}$	$(cp_{41} + cp_{42}).X_{42}$
$T_{43}$	$X_{12}.X_{22}.X_{32}.X_{42}$

**Tableau IV.2 :** Equations des étapes.

Etape	Equation
$X_0$	$T_{43} + X_0.\bar{T}_0$
$X_1$	$T_0 + X_1.\bar{T}_1$
$X_{10}$	$T_1 + T_{12} + X_{10}.\bar{T}_{10}$
$X_{11}$	$T_{10} + X_{11}.\bar{T}_{11}$
$X_{12}$	$T_{11} + X_{12}.\bar{T}_{12}.\bar{T}_{43}$
$X_2$	$T_0 + X_2.\bar{T}_2$
$X_{20}$	$T_2 + T_{22} + X_{20}.\bar{T}_{20}$
$X_{21}$	$T_{20} + X_{21}.\bar{T}_{21}$
$X_{22}$	$T_{21} + X_{22}.\bar{T}_{22}.\bar{T}_{43}$
$X_3$	$T_0 + X_3.\bar{T}_3$
$X_{30}$	$T_3 + T_{32} + X_{30}.\bar{T}_{30}$
$X_{31}$	$T_{30} + X_{31}.\bar{T}_{31}$
$X_{32}$	$T_{31} + X_{32}.\bar{T}_{32}.\bar{T}_{43}$
$X_4$	$T_0 + X_4.\bar{T}_4$
$X_{40}$	$T_4 + T_{42} + X_{40}.\bar{T}_{40}$
$X_{41}$	$T_{40} + X_{41}.\bar{T}_{41}$
$X_{42}$	$T_{41} + X_{42}.\bar{T}_{42}.\bar{T}_{43}$

**Tableau IV.3 :** Equations des actions.

Action	Equation
$EDT_1$	$(X_{10} + X_{11}).(X_{20} + X_{21} + X_{30} + X_{31} + X_{40} + X_{41})$
$EDT_2$	$(X_{20} + X_{21}).(X_{10} + X_{11} + X_{30} + X_{31} + X_{40} + X_{41})$
$EDT_3$	$(X_{30} + X_{31}).(X_{20} + X_{21} + X_{10} + X_{11} + X_{40} + X_{41})$
$EDT_4$	$(X_{40} + X_{41}).(X_{20} + X_{21} + X_{30} + X_{31} + X_{10} + X_{41})$
$MR_{4001}$	$EDT_1 + EDT_2 + EDT_3 + EDT_4$

**Tableau IV.4** : Adressage.

Adresses							
Entrées		Sorties		Transitions		Étapes	
bm	E0.0	EDT1	A0.0	T0	M0.0	X0	M2.2
stop	E0.1	EDT2	A0.1	T1	M0.1	X1	M2.3
AU	E0.2	EDT3	A0.2	T10	M0.2	X10	M2.4
Réinit	E0.3	EDT4	A0.3	T11	M0.3	X11	M2.5
Cp11	E0.4	MR4001	A0.4	T12	M0.4	X12	M2.6
Cp12	E0.5			T2	M0.5	X2	M2.7
Cp21	E0.6			T20	M0.6	X20	M3.0
Cp22	E0.7			T21	M0.7	X21	M3.1
Cp31	E1.0			T22	M1.0	X22	M3.2
Cp32	E1.1			T3	M1.1	X3	M3.3
Cp41	E1.2			T30	M1.2	X30	M3.4
Cp42	E1.3			T31	M1.3	X31	M3.5
				T32	M1.4	X32	M3.6
				T4	M1.5	X4	M3.7
				T40	M1.6	X40	M4.0
				T41	M1.7	X41	M4.1
				T42	M2.0	X42	M4.2
				T43	M2.1	INIT	M4.3

**Exemple 1** : langage ladder

A base des équations logiques et le tableau d'adressage, nous allons programmer en utilisant le langage ladder.

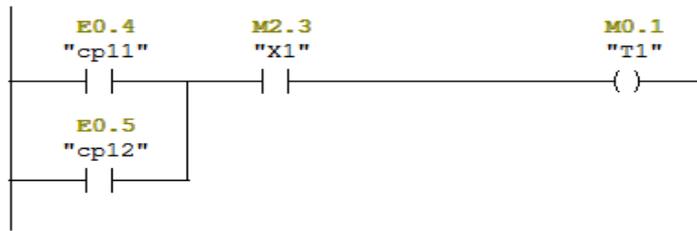
Le réseau 2 représente l'équation de transition T1 qui permet d'activer l'étape X10.

Le réseau 8 représente l'équation de transition T21 qui permet d'activer l'étape X22.

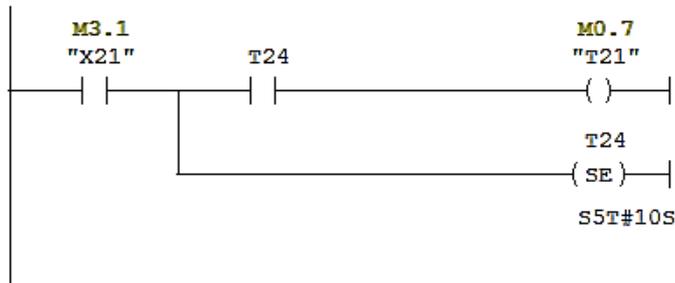
Le réseau 21 représente l'équation d'étape X10 qui permet d'activer les actions EDT1 et MR4001.

Le réseau 36 représente l'équation d'action EDT1

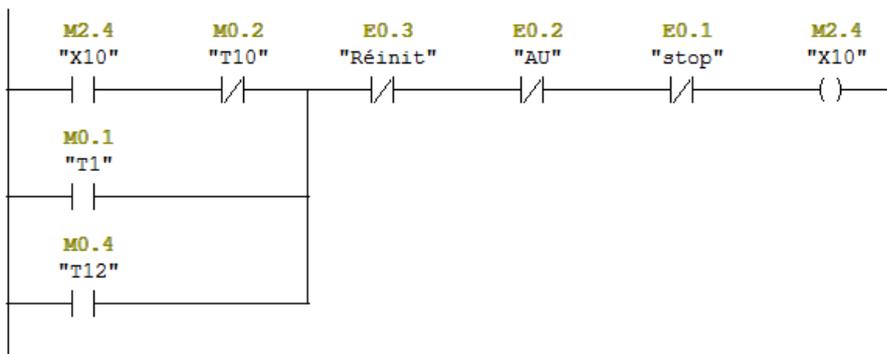
Réseau 2 : équation de la transition "T1"



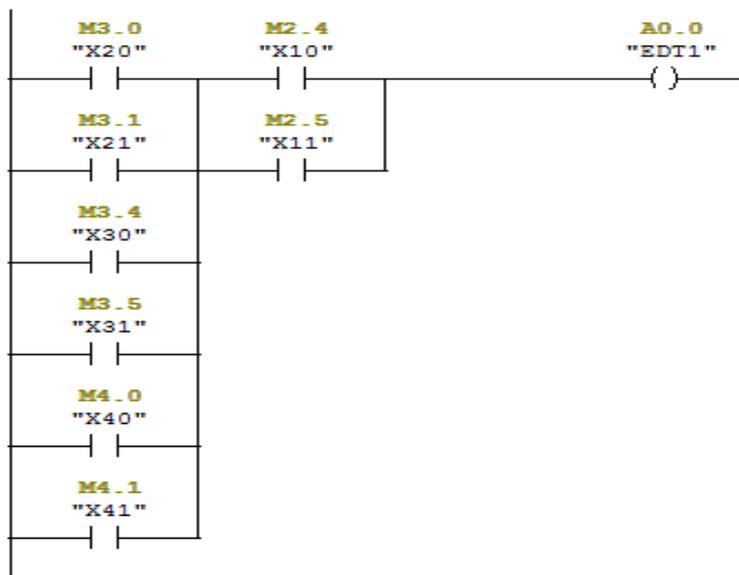
Réseau 8 : équation de la transition "T21"



Réseau 21 : équation D'étape "X10"



Réseau 36 : équation D'action "EDT1"



IV.5.2. GRAFCET du système décolmatage

La figure ci-dessous représente le GRAFCET du système de décolmatage.

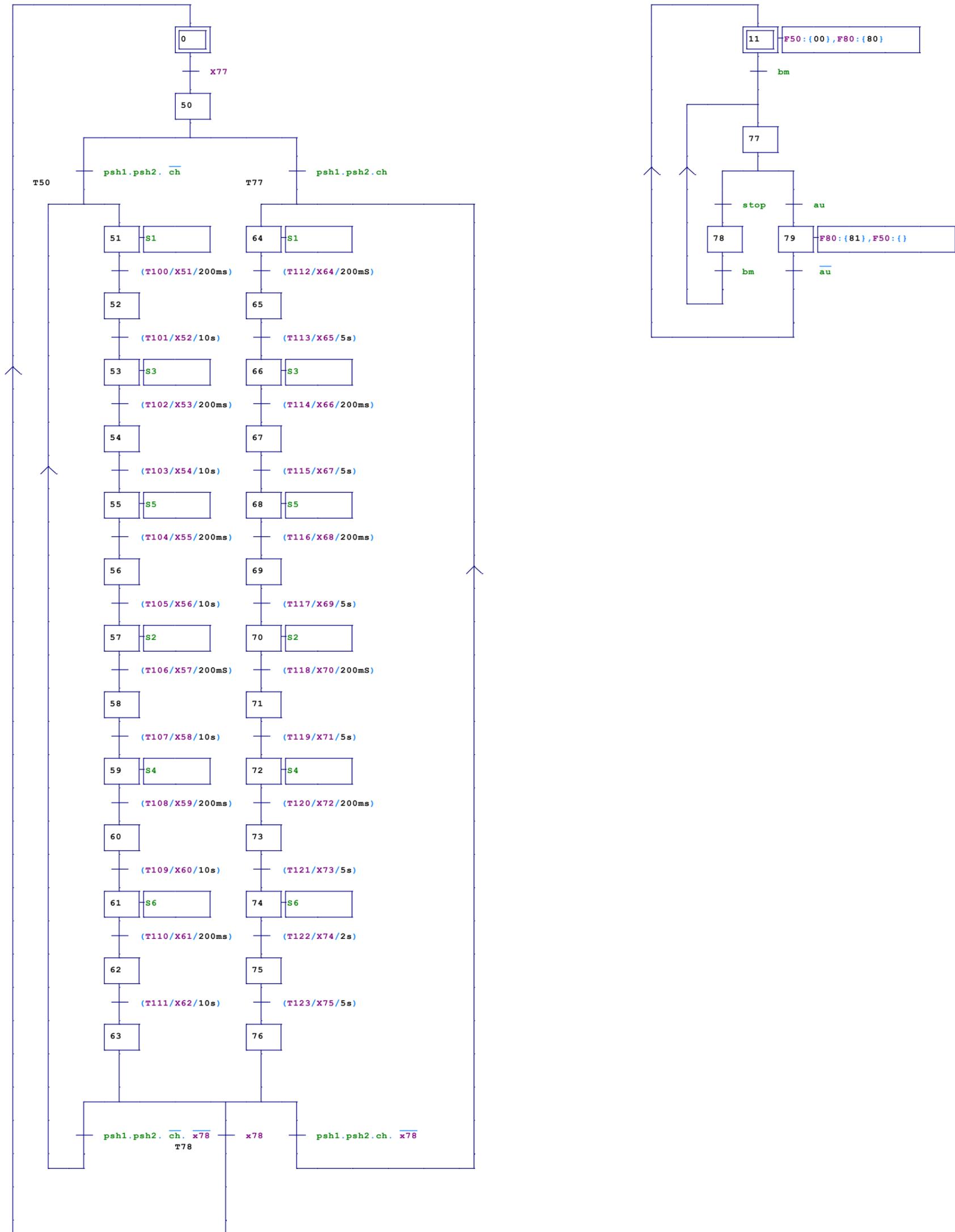


Figure IV.6 : GRAFCET du système de décolmatage.

IV.5.2.1. Mise en équation du GRAFCET du système décolmatage

Tableau IV.5 : Equations des transitions.

Transition	Equation
$T_0$	$bm.X_0$
$T_{50}$	$psh_1.psh_2.\overline{ch}.X_{50}$
$T_{51}$	$(t_{100} / X_{51} / 200ms).X_{51}$
$T_{52}$	$(t_{101} / X_{52} / 10s).X_{52}$
$T_{53}$	$(t_{102} / X_{53} / 200ms).X_{53}$
$T_{54}$	$(t_{103} / X_{54} / 10s).X_{54}$
$T_{55}$	$(t_{104} / X_{55} / 200ms).X_{55}$
$T_{56}$	$(t_{105} / X_{56} / 10s).X_{56}$
$T_{57}$	$(t_{106} / X_{57} / 200ms).X_{57}$
$T_{58}$	$(t_{107} / X_{58} / 10s).X_{58}$
$T_{59}$	$(t_{108} / X_{59} / 200ms).X_{59}$
$T_{60}$	$(t_{109} / X_{60} / 10s).X_{60}$
$T_{61}$	$(t_{110} / X_{61} / 200ms).X_{61}$
$T_{62}$	$(t_{111} / X_{62} / 10s).X_{62}$
$T_{63}$	$psh_1.psh_2.\overline{ch}.(X_{63} + X_{76})$
$T_{64}$	$(t_{112} / X_{64} / 200ms).X_{64}$
$T_{65}$	$(t_{113} / X_{65} / 5s).X_{65}$
$T_{66}$	$(t_{114} / X_{66} / 200ms).X_{66}$
$T_{67}$	$(t_{115} / X_{67} / 5s).X_{67}$
$T_{68}$	$(t_{116} / X_{68} / 200ms).X_{68}$
$T_{69}$	$(t_{117} / X_{69} / 5s).X_{69}$
$T_{70}$	$(t_{118} / X_{70} / 200ms).X_{70}$
$T_{71}$	$(t_{119} / X_{71} / 5s).X_{71}$
$T_{72}$	$(t_{120} / X_{72} / 200ms).X_{72}$
$T_{73}$	$(t_{121} / X_{73} / 5s).X_{73}$
$T_{74}$	$(t_{122} / X_{74} / 200ms).X_{74}$
$T_{75}$	$(t_{123} / X_{75} / 5s).X_{75}$
$T_{76}$	$psh_1.psh_2.ch.(X_{63} + X_{76})$
$T_{77}$	$psh_1.psh_2.ch.X_{50}$
$T_{78}$	$stop.(X_{63} + X_{76})$

Tableau IV.6 : Equations des étapes.

Etape	Equation
$X_0$	$T_{78} + X_0.\overline{T_0}$
$X_{50}$	$T_0 + X_{50}.\overline{(T_{50}.T_{77})}$
$X_{51}$	$T_{63} + T_{50} + X_{51}.\overline{T_{51}}$
$X_{52}$	$T_{51} + X_{52}.\overline{T_{52}}$
$X_{53}$	$T_{52} + X_{53}.\overline{T_{53}}$
$X_{54}$	$T_{53} + X_{54}.\overline{T_{54}}$
$X_{55}$	$T_{54} + X_{55}.\overline{T_{55}}$
$X_{56}$	$T_{55} + X_{56}.\overline{T_{56}}$
$X_{57}$	$T_{56} + X_{57}.\overline{T_{57}}$
$X_{58}$	$T_{57} + X_{58}.\overline{T_{58}}$
$X_{59}$	$T_{58} + X_{59}.\overline{T_{59}}$
$X_{60}$	$T_{59} + X_{60}.\overline{T_{60}}$
$X_{61}$	$T_{60} + X_{61}.\overline{T_{61}}$
$X_{62}$	$T_{61} + X_{62}.\overline{T_{62}}$
$X_{63}$	$T_{62} + X_{63}.\overline{(T_{63}.T_{76}.T_{78})}$
$X_{64}$	$T_{76} + T_{77} + X_{64}.\overline{T_{64}}$
$X_{65}$	$T_{64} + X_{65}.\overline{T_{65}}$
$X_{66}$	$T_{65} + X_{66}.\overline{T_{66}}$
$X_{67}$	$T_{66} + X_{67}.\overline{T_{67}}$
$X_{68}$	$T_{67} + X_{68}.\overline{T_{68}}$
$X_{69}$	$T_{68} + X_{69}.\overline{T_{69}}$
$X_{70}$	$T_{69} + X_{70}.\overline{T_{70}}$
$X_{71}$	$T_{70} + X_{71}.\overline{T_{71}}$
$X_{72}$	$T_{71} + X_{72}.\overline{T_{72}}$
$X_{73}$	$T_{72} + X_{73}.\overline{T_{73}}$
$X_{74}$	$T_{73} + X_{74}.\overline{T_{74}}$
$X_{75}$	$T_{74} + X_{75}.\overline{T_{75}}$
$X_{76}$	$T_{75} + X_{76}.\overline{(T_{63}.T_{76}.T_{78})}$

**Tableau IV.7 :** Equations des actions.

Action	Equation
$S_1$	$X_{51} + X_{64}$
$S_2$	$X_{57} + X_{70}$
$S_3$	$X_{53} + X_{66}$
$S_4$	$X_{59} + X_{72}$
$S_5$	$X_{55} + X_{68}$
$S_6$	$X_{61} + X_{74}$

**Tableau IV.8 :** Adressage.

Adresses							
Entrées		Sorties		Transitions		Etapas	
bm	E0.0	S1	A0.4	T0	M0.0	X0	M2.2
stop	E0.1	S2	A0.5	T50	M4.2	X50	M8.0
AU	E0.2	S3	A0.6	T51	M4.3	X51	M8.1
Réinit	E0.3	S4	A0.7	T52	M4.4	X52	M8.2
Psh1	E0.4	S5	A1.0	T53	M4.5	X53	M8.3
Psh2	E0.5	S6	A1.1	T54	M4.6	X54	M8.4
				T55	M4.7	X55	M8.5
				T56	M5.0	X56	M8.6
				T57	M5.1	X57	M8.7
				T58	M5.2	X58	M9.0
				T59	M5.3	X59	M9.1
				T60	M5.4	X60	M9.2
				T61	M5.5	X61	M9.3
				T62	M5.6	X62	M9.4
				T63	M5.7	X63	M9.5
				T64	M6.0	X64	M9.6
				T65	M6.1	X65	M9.7
				T66	M6.2	X66	M10.0
				T67	M6.3	X67	M10.1
				T68	M6.4	X68	M10.2
				T69	M6.5	X69	M10.3
				T70	M6.6	X70	M10.4
				T71	M6.7	X71	M10.5
				T72	M7.0	X72	M10.6
				T73	M7.1	X73	M10.7
				T74	M7.2	X74	M11.0
				T75	M7.3	X75	M11.1
				T76	M7.4	X76	M11.2
				T77	M7.5	INIT	M4.3
				T78	M7.6		

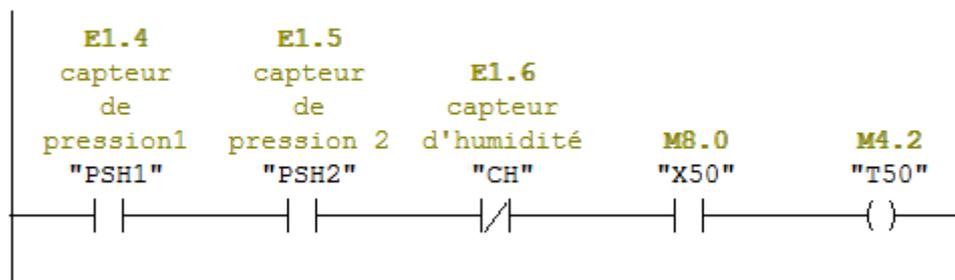
**Exemple 2 : langage ladder**

Le réseau 2 représente l'équation de la transition T50 qui permet d'activer l'étape S1.

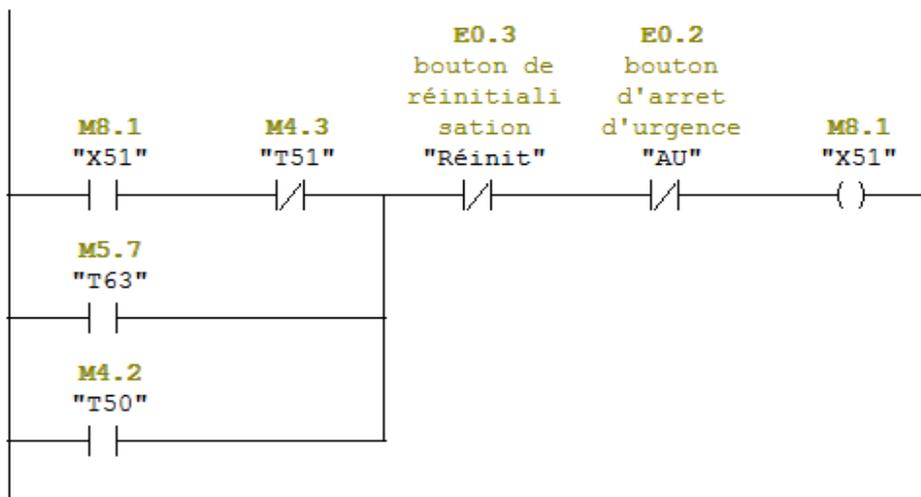
Le réseau 33 représente l'équation de l'étape X51 qui permet d'activer l'action S1.

Le réseau 59 représente l'équation de l'action S1.

Réseau 2 : équation de la transition "T50"



Réseau 33 : équation d'étape "X51"



Réseau 59 : équation d'action "S1"



IV.5.3. GRAFCET du système du transfert

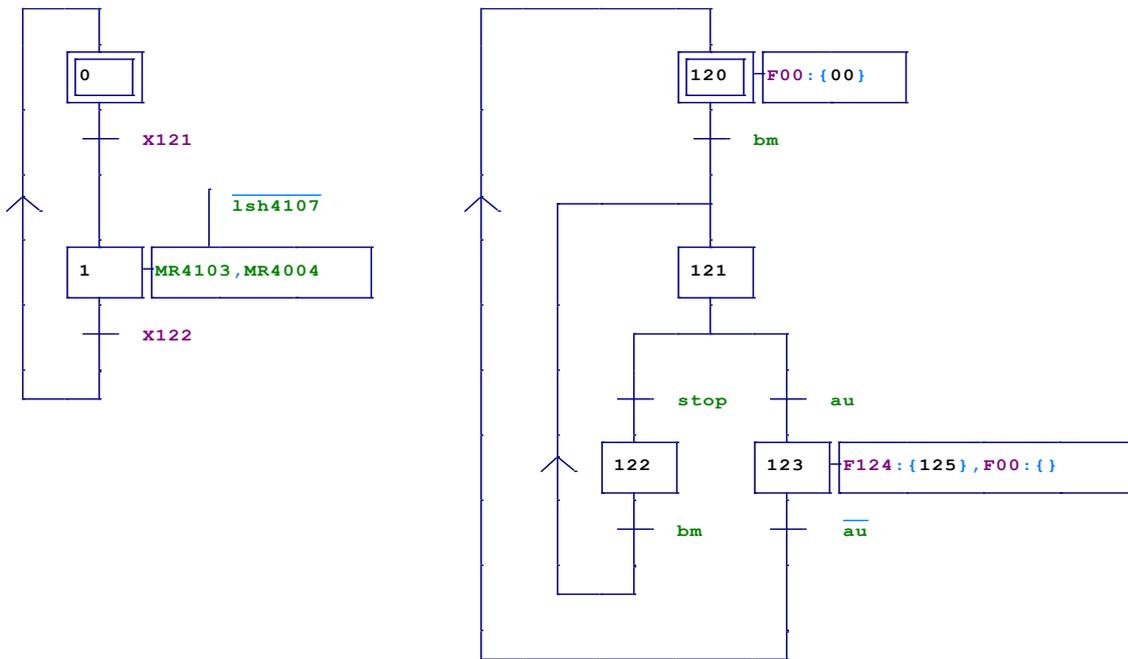


Figure IV.7 : Grafcet du système du transfert.

IV.5.3.1. Mise en équation du GRAFCET du système du transfert

Tableau IV.9 : Equations des transitions.

Transition	Equation
$T_0$	$bm.X_0$
$T_1$	$stop.X_1$

Tableau IV.10 : Equations des étapes.

Etape	Equation
$X_0$	$T_1 + X_0.\overline{T_0}$
$X_1$	$T_0 + X_1.\overline{T_1}$

Tableau IV.11 : Equations des actions.

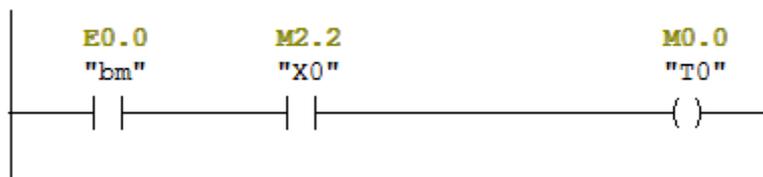
Action	Equation
$MR_{4103}$	$X_1.\overline{Ish_{4107}}$
$MR_{4004}$	$X_1.\overline{Ish_{4107}}$

Tableau IV.12 : Adressage.

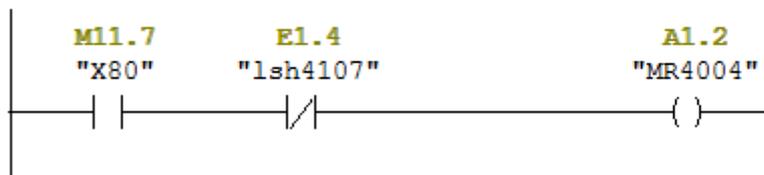
Adresses							
Entrées		Sorties		Transitions		Étapes	
bm	E0.0	MR4004	A1.2	T0	M0.0	X0	M2.2
stop	E0.1	MR4103	A1.3	T80	M11.6	X80	M11.7
AU	E0.2						
Réinit	E0.3						
Lsh4107	E104						

Exemple 3 : langage ladder

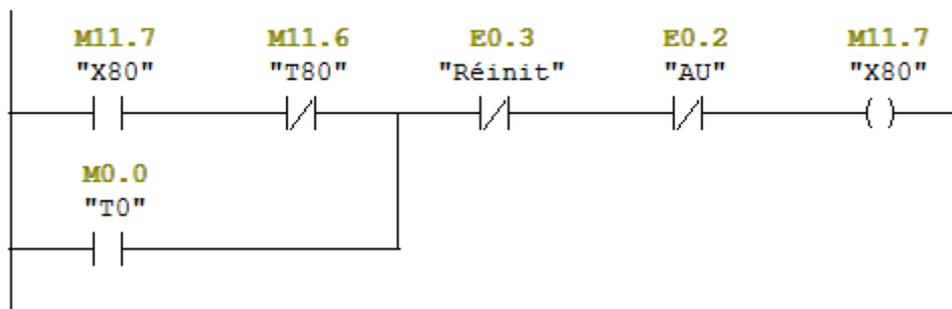
Réseau 1 : équation de la transition "T0"



Réseau 7 : équation d'action "MR41033"



Réseau 4 : équation d'étape "X80"



**Remarque**

Pour activer l'étape initiale (X0), il faut ajouter cette condition comme un memento (réseau 65) pour chaque programme réalisé, sinon l'étape initiale dans les conditions initiales ne sera pas activer.

Réseau 65 : initialisation d'étape "X0"



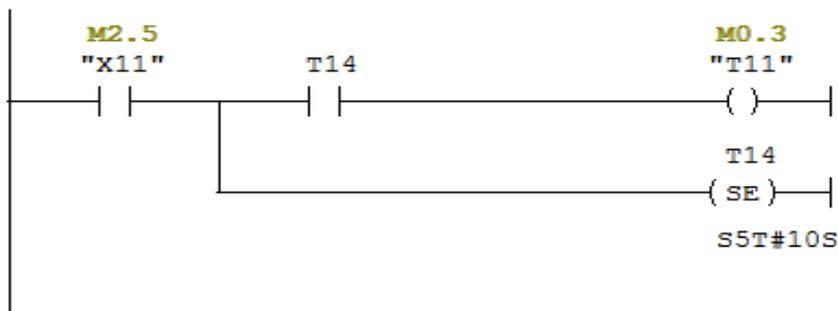
Pour l'insertion des boutons d'arrêt d'urgence (AU) et réinitialisation( **Réinit**) chaque équation logique de l'étape doit être multiplié fois  $[(\overline{AU}).(\overline{Réinit})]$ ,sauf l'étape initiale (X0).

**Exemple**

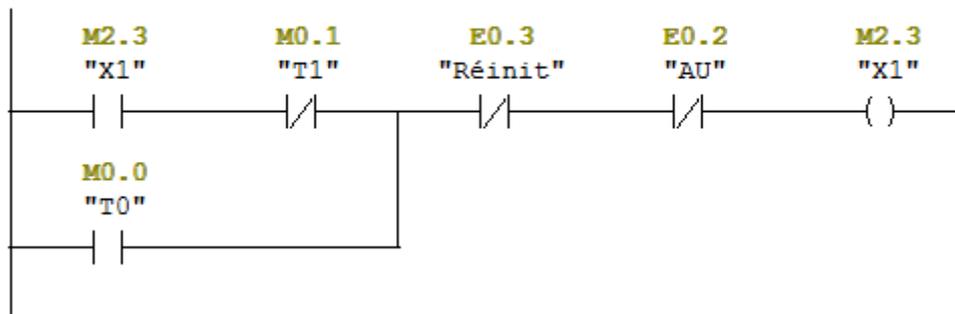
$$X_0 = (T_{78} + X_0.\overline{T_0} + Réinit).\overline{AU}$$

$$X_1 = [(T_0 + X_1.\overline{T_1}).\overline{Réinit}].\overline{AU}$$

Réseau 4 : équation de la transition "T11"



Réseau 20 : équation D'étape "X1"



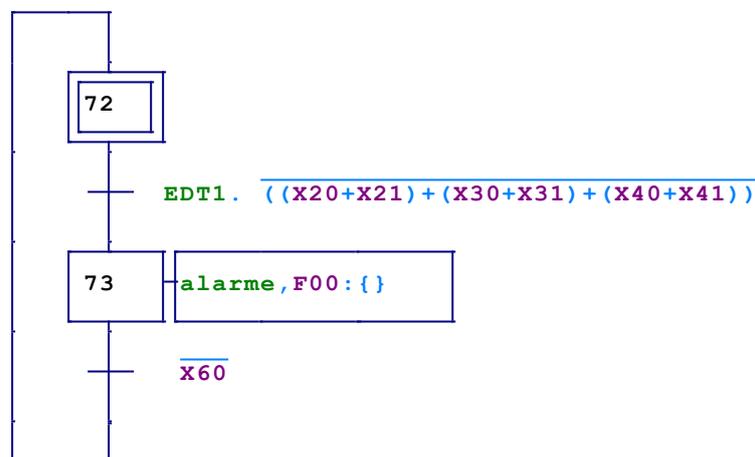
**Pour la temporisation :**

Dans la simulation on a mis pour la temporisation des trémies 10s pour se ferment, mais réellement il le faut 60s pour que se ferment.

**IV.7. GRAFCET des défauts**

**IV.7.1. Le GRAFCET défaut (trémie)**

La figure ci-dessous représente un exemple d'un GRAFCET de défaut pour une trémie.



**Figure IV.8 :** GRAFCET défaut (trémies).

### IV.7.2. Le GRAFCET de défaut (système décolmatage)

La figure ci-dessous représente un exemple de grafcet de défaut pour le système de décolmatage.

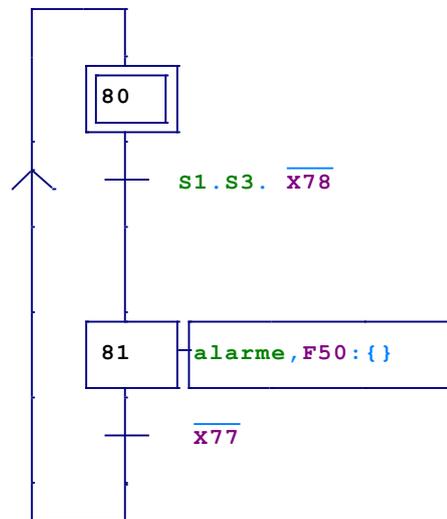


Figure IV.9 : GRAFCET de défaut (système du décolmatage).

### IV.7.3. Le GRAFCET de défaut du (système transfert)

La figure ci-dessous représente un exemple de grafcet de défaut pour le système du transfert.

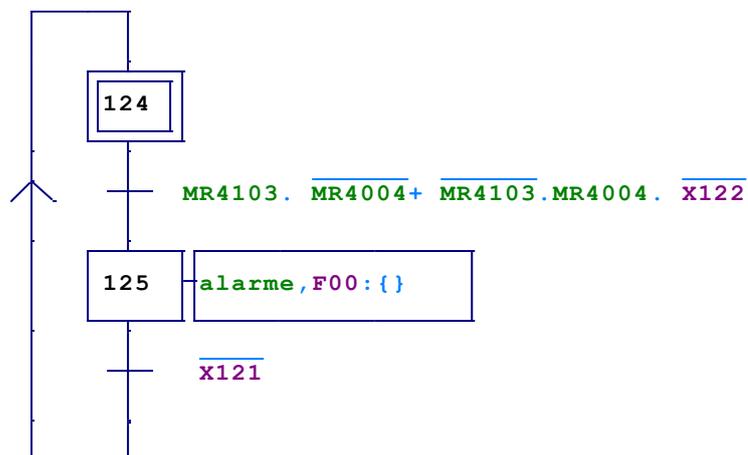


Figure IV.10 : GRAFCET de défaut (système du transfert).

**IV.7. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis de décrire les étapes essentielles dans le processus d'automatisation d'un système de dépoussiérage. En effet nous avons élaboré des GRAFCET, grâce au logiciel AUTOMGEN 8. Nous avons en effet déduit les équations logiques régissant

# Chapitre V

Supervision

## V.1. Introduction

Dans le cadre d'une évolution conduisant à une automatisation de plus en plus globale, l'automate est de moins en moins acheté « nu ». Et même si c'est le cas, il doit pouvoir se connecter à d'autres matériels, et dialoguer avec les agents d'exploitation.

Les types de communication supportés par les API modernes sont :

- La communication avec un opérateur par un pupitre ou un terminal industriel : Ils permettent une communication homme-machine, et ce dans les deux sens (clavier alphanumérique, écran à affichage graphique). Ils offrent des protections telles des claviers étanches pour une utilisation en ambiance industrielle.
- Les échanges d'informations avec une supervision dont le rôle dépasse largement la communication entre l'API et l'opérateur. Les postes de supervision constituent un outil de communication à distance pour recevoir des informations de l'automate, lui donner des ordres, voir changer certains de ses paramètres.
- Les échanges d'informations avec des capteurs et actionneurs intelligents.

Avec le développement des automates programmables, de nouvelles gammes d'interfaces sont apparues. Ces dernières permettent d'élargir les possibilités de dialogue via des échanges de messages numériques et alphanumériques, ainsi qu'avec une représentation des machines et d'installation par l'imagerie animée. C'est ce qu'en appelle la Supervision.

Le système de supervision donne de l'aide à l'opérateur dans la conduite du processus. Son but est de présenter à l'opérateur les valeurs et les résultats des différentes grandeurs utilisées dans les processus industriels.

Dans notre cas une fois le pupitre est mis sous réseau, il permet :

- ✓ la visualisation de l'état des électrovannes du circuit d'aspiration et le moto-ventilateur.
- ✓ La visualisation du groupe du décolmatage (les électrovannes).
- ✓ La visualisation du système du transfert (les moteurs de l'écluse et de la vis du transfert)
- ✓ la détection des défauts via l'affichage des alarmes.

## V.2. Supervision

La supervision permet la visualisation en temps réel l'état et l'évolution d'un système automatisé. Afin que l'opérateur puisse prendre, le plus vite possible, les décisions permettant d'atteindre les objectifs de production.

Elle est une forme très évoluer de dialogue homme machine dont les possibilités vont bien au-delà de celle de fonction de conduite et surveillance, elle répond à des besoins nécessitant en générale une puissance de traitement de données très importante.

A plus haut niveau, la supervision peut permettre des opérations telles que la gestion d'un ensemble d'installations industrielles, la planification des travaux de maintenance, la gestion et contrôle des stocks d'approvisionnement de lignes ou de machines de production, ...etc. [23]

### V.2.1. Modules fonctionnels d'un système de supervision

La plupart des systèmes de supervision se composent d'un moteur central (logiciel) auquel se rattachent des données provenant des équipements (automates, pupitres...etc.). Le logiciel de supervision assure l'affichage, le traitement des données et la communication avec d'autres applications. Il propose des modules fonctionnels tels que éditeurs graphiques, historiques des données, rapports de suivi de production, acquisition des informations venantes du procédé par l'intermédiaire d'une unité de commande, archivage et restitution des données pour une analyse ultérieure (maintenance, statistique...etc.), gestion des alarmes et des événements. [24]

### V.2.2. Traitement des données

Divers traitements standards sont disponibles sur les systèmes de supervision, l'opérateur peut aussi développer son programme à partir de langages particuliers à la machine qu'il utilise. Les traitements les plus courants sont [24] :

➤ **Représentation graphique des données**

Elle est sous forme de courbes de conduite ou d'historiques présentés à l'écran, avec des facilités diverses (loupes, fenêtres).

➤ **Traitement des alarmes et des défauts**

L'alarme étant généralement élaborée par comparaison d'une variable à un seuil. A chaque apparition d'un défaut l'opérateur doit l'acquitter afin d'assurer une meilleure gestion de l'historique des alarmes.

➤ **Priorité des alarmes**

On suppose le problème de la priorité des alarmes, dans le souci d'éviter des cas de figure où l'opérateur serait contraint d'en acquitter simultanément un trop grand nombre. Une hiérarchie des alarmes peut parfois se définir a priori par rapport au processus.

➤ **Zone de communication**

Une zone de communication permet d'accéder à une plage d'adresse définie dans l'automate pour permettre d'échange de données avec les PC de supervision et les pupitres de contrôle-commande.

➤ **Zone d'affichage**

Les images constituent une représentation graphique du processus. On peut afficher le déroulement du processus en indiquant l'état des équipements (niveau de remplissage des cuves, vanne ouverte ou fermée...). Une image peut combiner des éléments statiques et dynamiques.

### V.2.3. Présentation du logiciel de supervision

En informatique industrielle, la supervision des procédés est un pupitre de commande évoluée, elle permet de surveiller et/ou de contrôler l'exécution de tâches du procédé.

Un logiciel de supervision fonctionne généralement sur un ordinateur en communication via un réseau local industriel (MPI, PROFIBUS, ETHERNET...etc.) avec un ou plusieurs équipements Électroniques, automate programmable industriel ou ordinateur de commande direct (commande numérique).

Parmi les logiciels de supervision les plus utilisés dans l'industrie :

- ❖ Protool ;
- ❖ WinCC (Windows Control Center);
- ❖ Indu soft web studio ;
- ❖ Vijeo look ;
- ❖ In Touch ...etc.

Pour l'élaboration de la plateforme de supervision du système de dépoussiérage, nous avons utilisé le WinCC flexible. C'est le logiciel IHM (interface homme-machine) pour la réalisation, par des moyens d'ingénierie simples et efficaces, des concepts d'automatisation évolutifs au niveau de la machine [24].

#### **V.2.4. Logiciel WinCC Flexible**

WinCC flexible est l'interface homme-machine (IHM) idéale pour toutes les applications au pied de la machine et du processus dans la construction d'installations, de machines et de machines de série.

Le WinCC flexible permet de disposer d'un logiciel d'ingénierie pour tous les pupitres opérateur SIMATIC HMI, du plus petit Micro Panel jusqu'au Multi Panel ainsi que d'un logiciel de supervision runtime pour solutions monoposte basées sur PC et tournant sous Windows XP.7 et Vista.

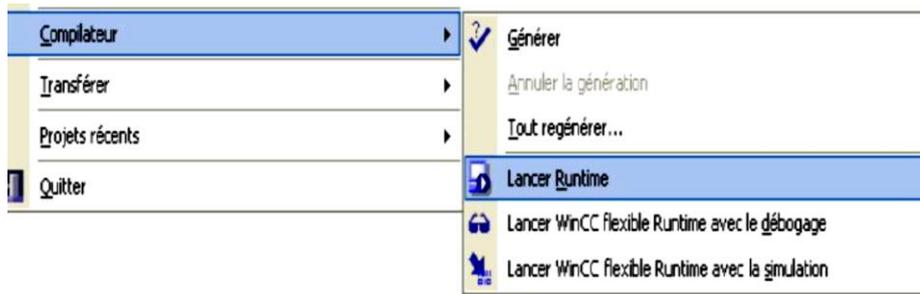
Les projets peuvent être portés sans conversion et sont exécutables sur diverses plateformes IHM. Grâce à des logiciels et à des projets multilingues, WinCC flexible peut être utilisé dans le monde entier.

#### **V.2.5. Logiciel exécutif SIMATIC WinCC Flexible Runtime**

La partie exploitation (Runtime) est embarquée sur tous les terminaux SIMATIC HMI, les fonctionnalités IHM et les capacités fonctionnelles dépendent de la configuration matérielle.

WinCC Flexible Runtime est disponible pour les PC en différentes variantes qui se différencient par le nombre de Power Tags utilisés (seules les variables qui possèdent une liaison procès avec l'automate sont comptabilisées comme Power Tags). En plus de ces Power Tags, le système peut gérer des variables internes (sans liaisons au processus), des seuils constants ou variables et des messages (jusqu'à 4000) comme options additionnelles du système. Avec le SIMATIC WinCC Flexible Runtime, nous pouvons simuler notre plateforme d'en moins deux manières :

- ◆ En utilisant le S7-PLCSIM pour la manipulation des variables (lancer Runtime) ;
- ◆ En utilisant la table de simulation qui permet d'entrer les valeurs des variables (lancé WinCC flexible avec la simulation).



**Figure V.1 :** Compilation sous WinCC flexible Runtime.

### V.2.6. Intégration dans SIMATIC STEP 7

L'intégration dans l'environnement de configuration de SIMATIC Step 7 autorise la gestion de projets WinCC flexible à l'intérieur de Step 7 et l'utilisation commune des paramètres de communication, variables et messages. Il en résulte une réduction de la fréquence d'erreur et par conséquent du travail de configuration.

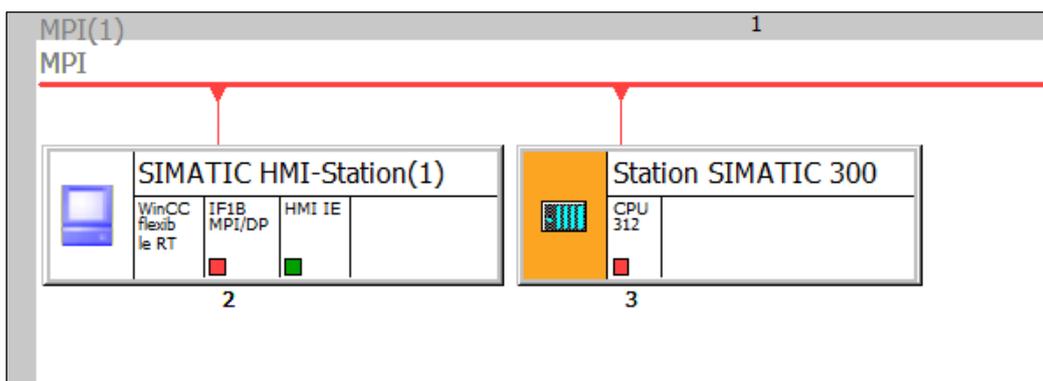
Dans le cas d'une application intégrée, la gestion des projets s'effectue par le gestionnaire SIMATIC Manager qui est une composante de Step 7.

Le SIMATIC Manager nous donne accès à tous les objets de WinCC flexible. On peut créer, copier ou effacer des terminaux IHM tout comme des objets IHM individuels, tels que des images ou recettes.

Pendant la configuration, on accède directement à la table des mnémoniques et aux blocs de données Step7 7 qu'on a défini au moment d'établissement du programme d'automate.

Il n'est donc pas nécessaire de définir des variables procès dans WinCC flexible.

La figure suivante montre la liaison entre la station S7-300 et la station de supervision HMI.



**Figure V.2 :** Liaisons entre la station S7-300 et la station HMI

### V.2.7. Plateforme de supervision de la station

Pour élaborer la plateforme de supervision qui permet de contrôler et de commander notre système, nous avons créé cinq vues données comme suite :

- ◆ Vue d'accueil (HOME) ;
- ◆ Vue du système trémies ;
- ◆ Vue du système du décolmatage ;
- ◆ Vue du système du transfert ;
- ◆ Vue d'alarme ;

#### 🏠 Vue d'accueil(HOME)

La vue d'accueil est la vue d'entrée, est toujours visible sur le pupitre. Elle présente le slogan de l'entreprise CEVITAL et celui de l'université de Bejaia. Elle montre aussi le produit fini de l'usine (tel qu'il est commercialisé).

Sur le plan fonctionnel, cette vue contient trois boutons poussoirs qui permettent d'accéder à aux fonctionnalités du logiciel.



Figure V.3 : vue d'accueil (HOME)

**✚ Vue du système trémies**

Cet écran montre les différents composants du système trémies. Il permet d'actionner quatre boutons poussoirs avec lesquels on contrôle le système.

Au bas de l'écran, des fonctions permettent d'aller sur le « décolmatage » et « convoyage »

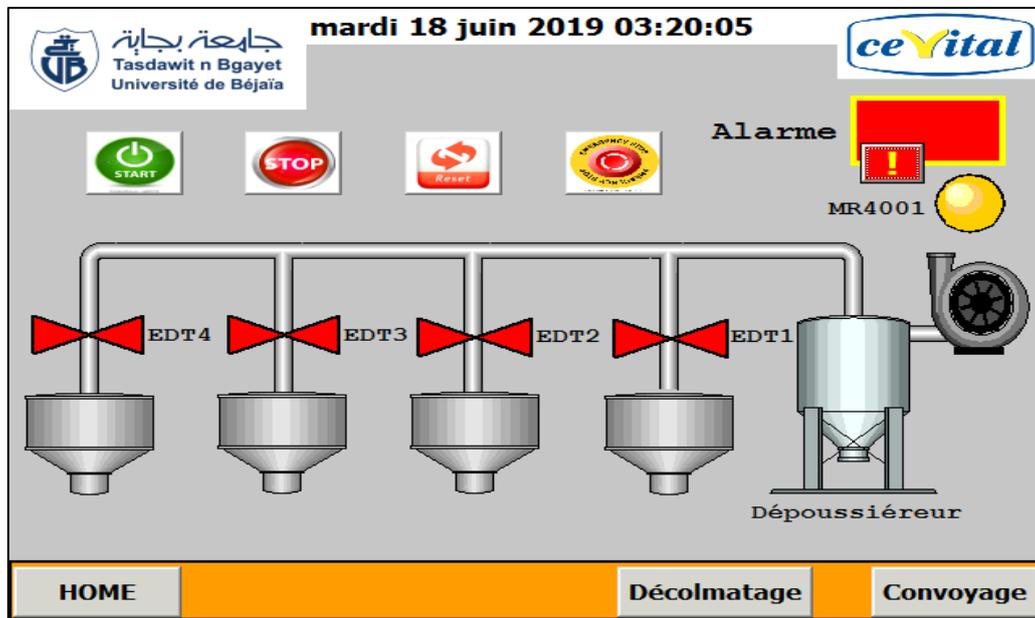


Figure V.4 : vue du système trémies.

**✚ Vue du système décolmatage**

Cette vue permet de superviser le système décolmatage. Elle montre des boutons pour le contrôle du système, et des autres boutons pour passer ou de retourner vers les autres vue.

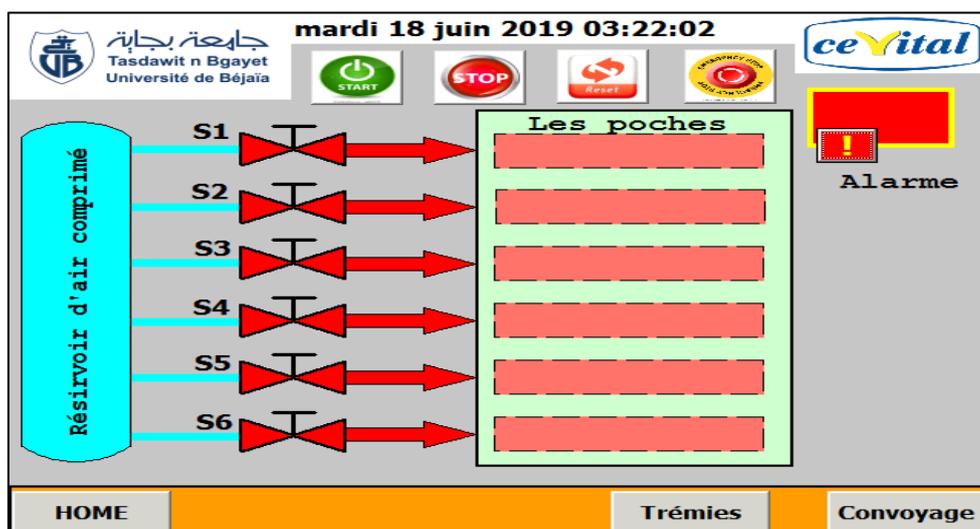
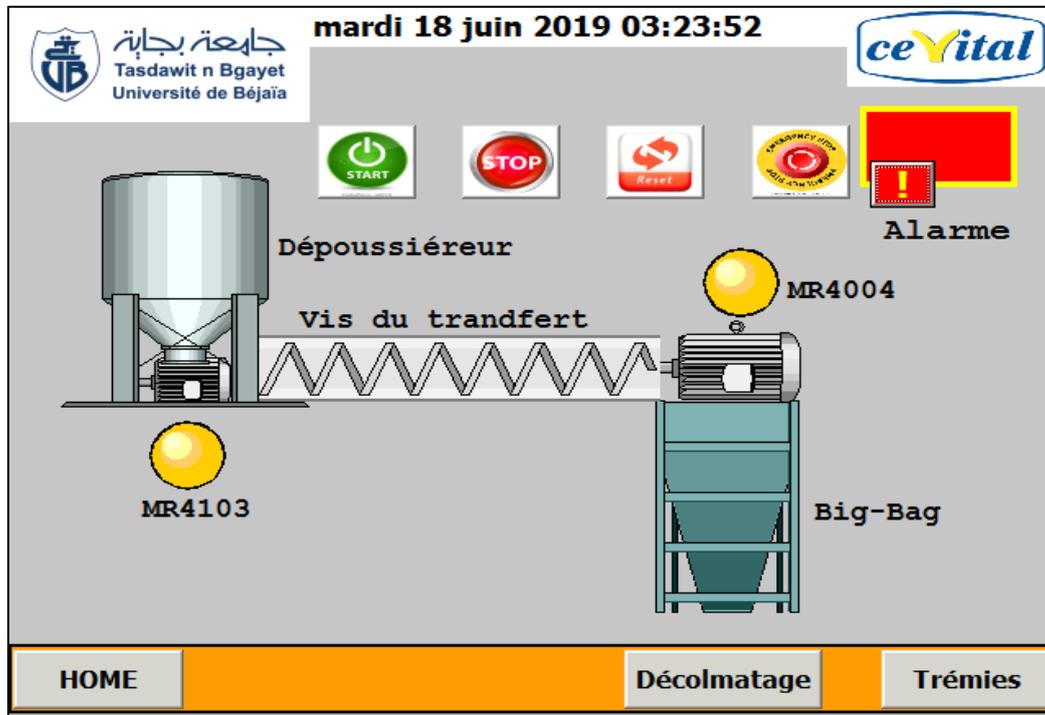


Figure V.5 : vue du système décolmatage.

**✚ Vue du système de convoyage**

L'écran du système de transfert nous permet de le visualiser. Elle contient ainsi des boutons pour le contrôle le système et autre pour naviguer dans les différentes vue.



**Figure V.6 :** vue du système de transfert.

**✚ Vue d'alarme**

Cette vue nous permet de lire des messages lors de défaut dans le système.



**Figure V.7 :** Vue d'alarme.

### **V.3. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté la procédure à suivre pour la création de l'Interface Homme Machine qui va nous permettre de contrôler et superviser le système de dépoussiérage à distance.

Nous avons développé une plateforme de supervision qui permet de suivre l'évolution du procédé en fonction du temps et qui simplifie la tâche de contrôle pour l'opérateur. Cette plateforme est développée sous le logiciel WinCC flexible, elle est composée de vues qui permettent une visualisation dynamique des entrées/sorties, afin de contrôler le bon fonctionnement.

Conclusion

## *Conclusion générale*

---

L'objectif essentiel de notre travail a été l'amélioration d'un dépoussiéreur afin qu'il puisse répondre aux besoins de l'unité de conditionnement du sucre au sein du complexe agro-alimentaire CEVITAL.

Dans le premier chapitre nous avons abordé les dépoussiéreurs industriels et leur classification.

Dans le chapitre deux nous avons fait la description du système actuel avec l'étude des composants qui les constitue.

Dans le chapitre trois nous avons calculé les pertes de charges dans les conduits.

Dans les chapitres quatre et cinq nous avons établi des GRAFCET ainsi que ses équations logiques, ensuite on a fait la programmation jusqu'à la supervision.

Ce stage nous a permis de découvrir l'environnement industriel et de mettre en pratique nos connaissances théoriques. Il nous a aussi donné l'opportunité de nous familiariser avec des logiciels spécialisés dans l'automatisme industriel, comme « l'AUTOMGEN » et le « STEP7 », ainsi qu'avec un outil de supervision simple et puissant « WinCC Flexible ».

Notre apport principal à l'entreprise est la mise en place d'une solution automatisée. Cette proposition vise à augmenter l'efficacité de système de dépoussiérage.

Nous espérons avoir répondu positivement aux attentes de l'entreprise qui nous a accueillis.

Notre travail peut être poursuivi de quelques perspectives :

- Etude et dimensionnement du moto-ventilateur qui va assurer le bon fonctionnement et qui va pallier les chutes de pression dans l'installation.
- Etude et amélioration des poches filtrantes qui permettra de réduire le colmatage.
- Déshumidifie l'air dans les poches filtrantes.

Puisse ce modeste travail servir de base pour notre vie professionnelle, et être bénéfique pour les promotions à venir.

## Références bibliographique

## *Recherche bibliographique*

---

- [1] BRIGITTE R, SIMON A YVES C, « Caractérisation des poussières dans les boulangeries artisanales », Rapport R-693 IRSST (2011).
- [2] INERIS- Etude et recherche DRA14. « Evaluation des performances des barrières techniques de prévention et de protection pour réduire les risques majeurs ». Prévention des risques d'explosion et d'incendie dans les filtres à manches. (Décembre 2002).
- [3] GAGNÉ D, « les dépoussiéreurs », Hygieniste industriel CRSSS-AT (1987).
- [4] X. Simon ; « Etude du décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs à manches », INPL, thèse (2005).
- [5] Techniques de l'ingénieur. « Dépoussiérage et dévésiculation ».
- [6] Xavier Simon, Dominique Thomas, Denis Bemer, Sandrine Chazelet, Roland Regnier.  
« Etude du décolmatage pneumatique des dépoussiéreurs à manches ».1<sup>ères</sup> Journées Filtration des Aérosols, Nancy, Jun (2007).
- [7] Catalogue Donaldson. « Filtre de dépoussiérage dalmatique encastrable »; Série DLM V.
- [8] Catalogue des notices techniques ACMB Algérie 2454, dépoussiérage silo 80 000 T, Lesquin, le (25/02/09).
- [9] VERDET Jean-Marc, « transport pneumatique et dépoussiérage le risque explosion de poussières », compte-rendu de la reunion du (22 mars 2013).
- [10] F. Diadhiou, « Le dépoussiérage et la filtration aux Ciments Du Sahel » : Etude du fonctionnement et de la maintenance du Baghouse, ESPCADD, these, (2008).
- [11] E. Chay, D. Chen, « Relative humidity effect on the filter loading characteristics». 9th World Filtration Congress, Nouvelle Orléans, (2004).
- [12] D. Thomas, « Etude de la filtration des aérosols par des filtres à fibres ». Habilitation à Diriger des Recherches de l'Université Henri Poincaré de Nancy, (2001).
- [13] document technique, CEVITAL
- [14] <https://www.fiktech.nl/fr/produit /clapet-anti-retour-atex>.
- [15]. A. BUCHER , « Définition des arrête-flammes »,ALSATEC (2005).

## *Recherche bibliographique*

---

- [16] I. Vuidart « Étude sur les équipements de réservoirs de stockages de liquides et de gaz liquéfiés » INERIS - 1996.
- [17] SODECA, Ctra. de Berga, E-08580 St. Quirze de Besora BARCELONE (Espagne)
- [18] <https://www.google.com/ecluse+rotatif>
- [19] INRS ED 695 « principe généraux de ventilation », 4<sup>ème</sup> édition, boulevard richard-lenoir75011, paris, mis à jour mars 2017
- [20] J.CARBONNET et M.ROQUES, « Mécanique des fluides », cours,2003
- [21] Christophe Delmotte, Laboratoire Qualité de l’Air et Ventilation CSTC - Centre Scientifique et Technique de la Construction, 2012
- [22] [jackadit.com/index.php?page=ecoconception3](http://jackadit.com/index.php?page=ecoconception3)
- [23] MEZARLI.F & MOUHOUBLIN, PFE., « Automatisation est supervision d’une installation de filtrage d’huile au niveau du complexe CEVITAL ». Université A/MIRA Bejaïa, Promotion 2010.
- [24] CHEMALIA & BOURIAH.L, PFE., « Automatisation des procédés industriels ». Université Boumerdes, Promotion 2004.

Annexe

**Annexe 1 :**

Rugosité absolue de différentes conduites [21]

Matériaux au type de conduite	Rugosité absolue $\epsilon$	
	[mm]	[m]
Acier Inox, PVC, Aluminium.	0.03	$3 \cdot 10^{-5}$
Acier galvanisé à joint spiral.	0.09	$9 \cdot 10^{-5}$
Acier galvanisé à joint longitudinal.	0.15	$1.5 \cdot 10^{-4}$
Flexible en aluminium.	0.5	$5 \cdot 10^{-4}$
Fibre de verre.	0.9	$9 \cdot 10^{-4}$
Flexible en PVC armé ou en aluminium-polyester.	3	$3 \cdot 10^{-3}$

**Annexe 2 :**

Masse volumique et viscosité cinématique de l'air sous la pression atmosphérique normale de  
101325[Pa] [21]

Température °C	Air sec		Air humide (Humidité relative 50%)	
	Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Viscosité Cinématique 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s	Masse volumique Kg/m <sup>3</sup>	Viscosité Cinématique 10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup> /s
-20	1.395	1.157	1.394	1.158
-10	1.342	1.239	1.341	1.239
0	1.293	1.323	1.291	1.325
<b>10</b>	1.247	1.410	<b>1.244</b>	<b>1.413</b>
20	1.204	1.500	1.199	1.506
<b>30</b>	1.165	1.592	<b>1.155</b>	<b>1.605</b>
40	1.127	1.687	1.112	1.711
<b>50</b>	1.093	1.785	<b>1.067</b>	<b>1.827</b>
60	1.060	1.885	1.020	1.958
70	1.029	1.989	0.969	2.111
80	1.000	2.095	0.911	2.297
90	0.972	2.203	0.845	2.535
100	0.946	2.315	0.767	2.854

**Annexe 3 :**Tableaux des valeurs empiriques  $\xi$  [21].◆ **Coudes cintrés à 90° :**

$\frac{r_m}{D}$	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5
$\xi$	0.71	0.33	Voir tableau suivant	Voir tableau suivant	0.13	0.12

◆ **Coudes cintrés à 90° :**

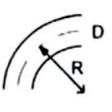
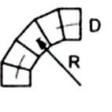
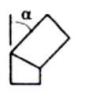
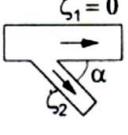
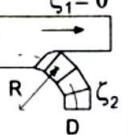
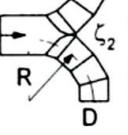
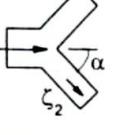
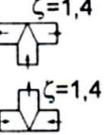
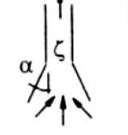
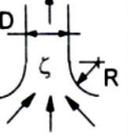
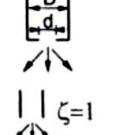
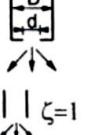
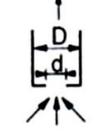
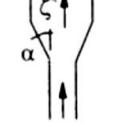
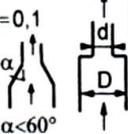
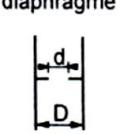
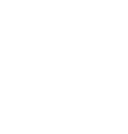
$\frac{r_m}{D}$	D (mm)						
	75	80	100	125	160	200	250
1	0.44	0.43	0.37	0.30	0.25	0.24	0.24
1.5	0.30	0.28	0.21	0.16	0.13	0.11	0.11

◆ **Coudes cintrés à 45° :**

$\frac{r_m}{D}$	D (mm)						
	75	80	100	125	160	200	250
1	0.20	0.19	0.17	0.14	0.11	0.11	0.11
1.5	0.18	0.17	0.13	0.1	0.07	0.07	0.07

## Annexe 4 :

Les valeurs empirique de  $\xi$  dans les conduites à section circulaire [21].

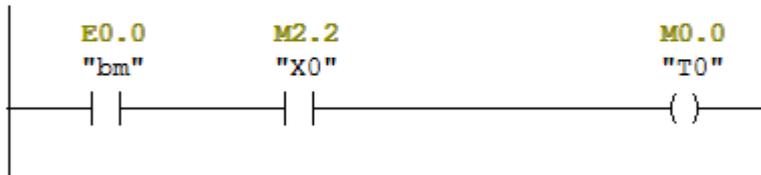
Conduits à section circulaire (diamètre = D)													
	R/D	$\zeta$		R/D	$\zeta$		R/D	$\zeta$		$\alpha$	$\zeta$		
	0,5	0,9		0,5	1,3		0,5	1,1		15°	0,1		
	0,75	0,45		0,75	0,8		0,75	0,6		30°	0,2		
	1,0	0,35		1,0	0,5		1,0	0,4		45°	0,5		
	1,5	0,25		1,5	0,3		1,5	0,25		60°	0,7		
2,0	0,2	2,0	0,25	2,0	0,2	90°	1,3						
	$\zeta_1 = 0$	$\zeta_2$		$\zeta_1 = 0$	$\zeta_2$		R/D	$\zeta_2$		$\alpha$	$\zeta_2$		
	$\alpha$			$\alpha$			$\alpha$			0,5	1,2	15°	0,1
	15°	0,1		15°	0,9		15°	0,6		0,75	0,6	30°	0,3
	30°	0,3		30°	0,8		30°	0,4		1,0	0,4	45°	0,7
	45°	0,5		45°	0,6		45°	0,25		1,5	0,25	60°	1,0
60°	0,7	60°	0,5	60°	0,2	2,0	0,2	90°	1,4				
	$\zeta = 1,4$			$\alpha$	$\zeta$		R/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$		
	$\zeta = 0,9$			0°	0,9		0,2	0,2		0,1	2,5		
	$\zeta = 0,5$			15°	0,5		0,5	0,1		2,5			
				30°	0,3		0,8	0,05		2,5			
				45°	0,3		0,4			2,3			
				60°	0,4		0,8			1,9			
	90°	0,5	0,9		1,5								
	d/D	$\zeta$		$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$		
	0,1	1,0		5°	0,15		0,1	0,6		1	0		
	0,2	0,9		10°	0,25		0,2	0,5		0,9	0,1		
	0,4	0,7		15°	0,4		0,4	0,4		0,8	1		
	0,6	0,4		30°	0,8		0,6	0,3		0,7	2		
	0,8	0,2		45°	0,9		0,8	0,2		0,6	5		
		90°	1,0	0,8	0,2	0,6	8						
								diaphragme					

Programme

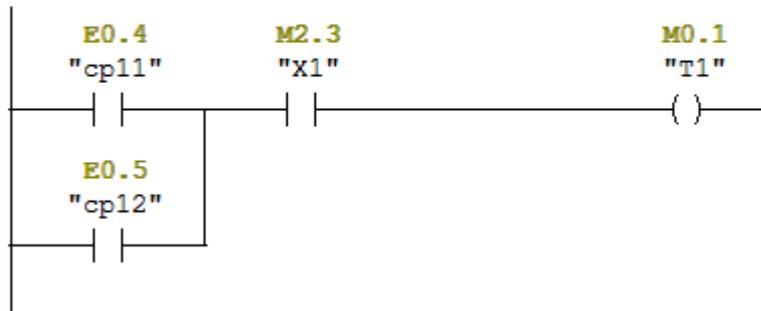
# Programme

## ❖ Programme ladder des trémies :

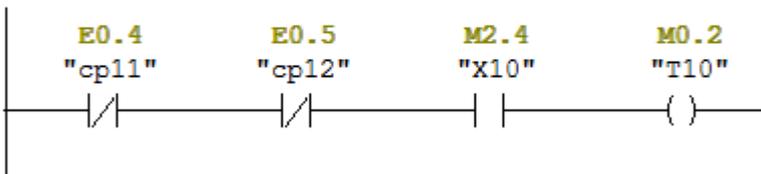
Réseau 1 : équation de la transition "T0"



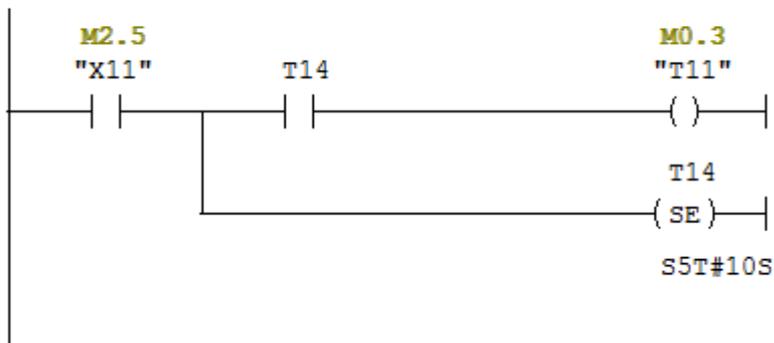
Réseau 2 : équation de la transition "T1"



Réseau 3 : équation de la transition "T10"

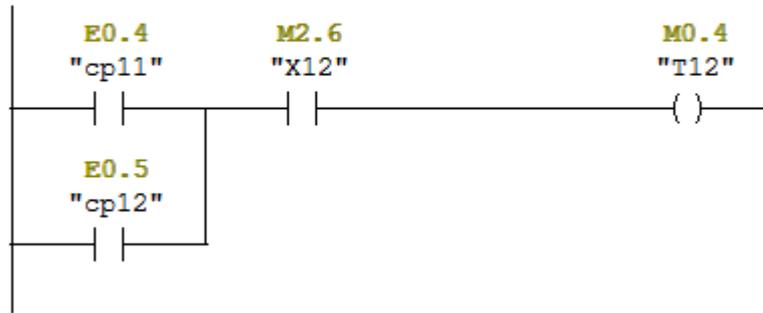


Réseau 4 : équation de la transition "T11"

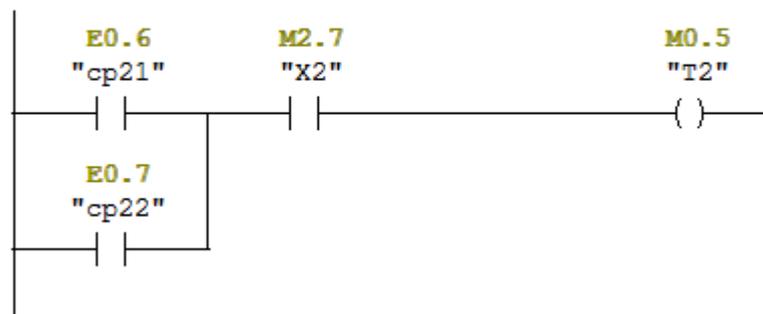


# Programme

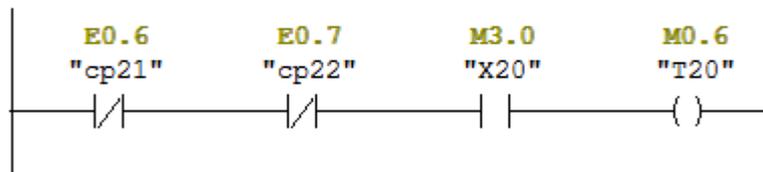
Réseau 5 : équation de la transition "T12"



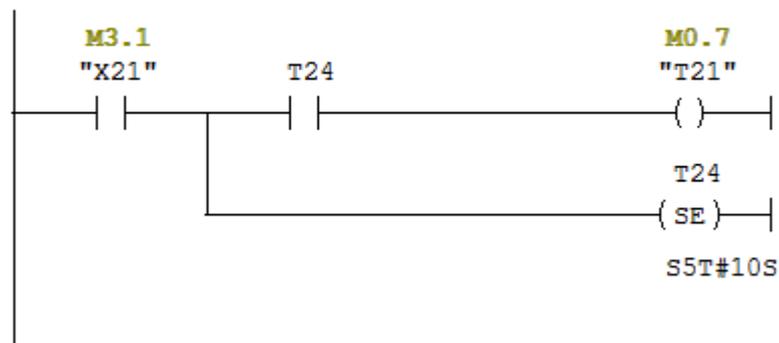
Réseau 6 : équation de la transition "T2"



Réseau 7 : équation de la transition "T20"

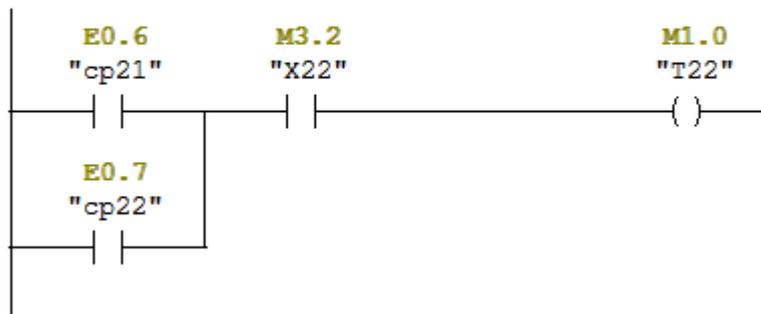


Réseau 8 : équation de la transition "T21"

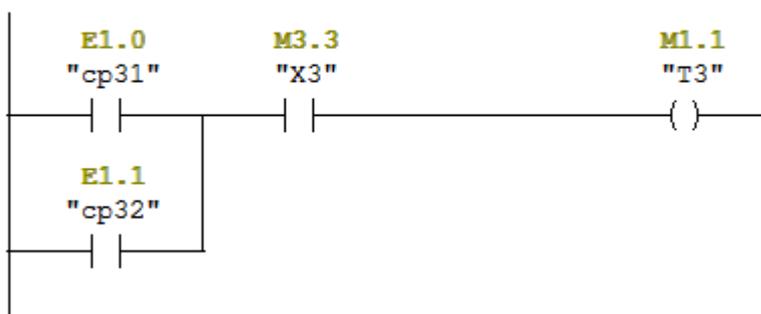


# Programme

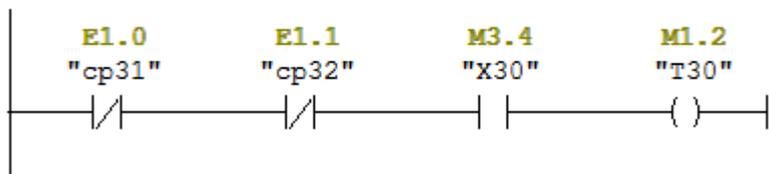
Réseau 9 : équation de la transition "T22"



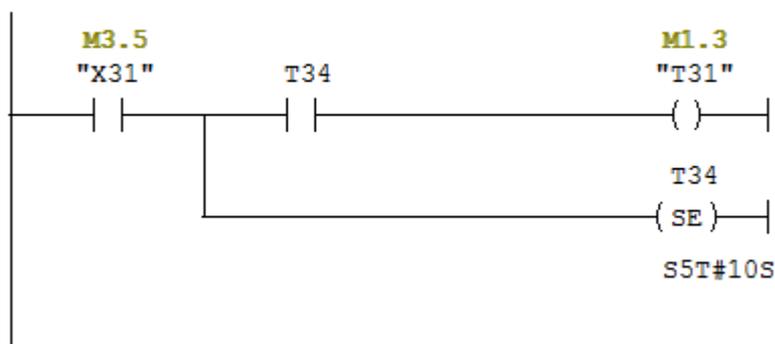
Réseau 10 : équation de la transition "T3"



Réseau 11 : équation de la transition "T30"

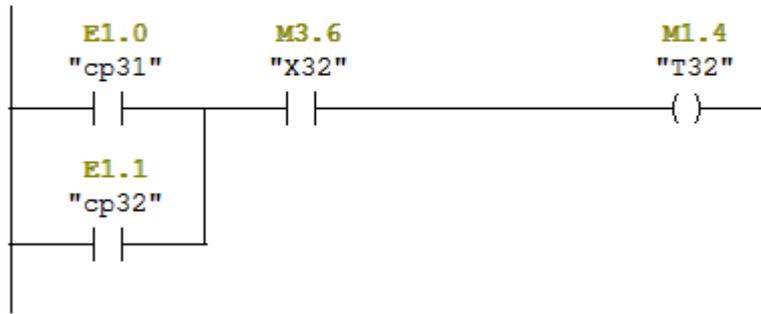


Réseau 12 : équation de la transition "T31"

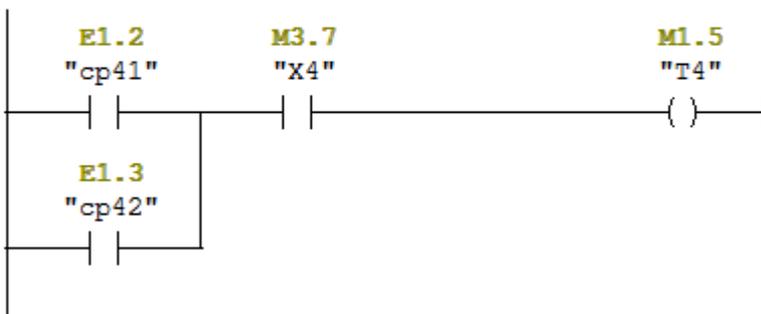


# Programme

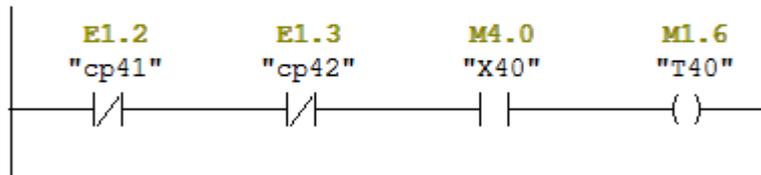
Réseau 13 : équation de la transition "T32"



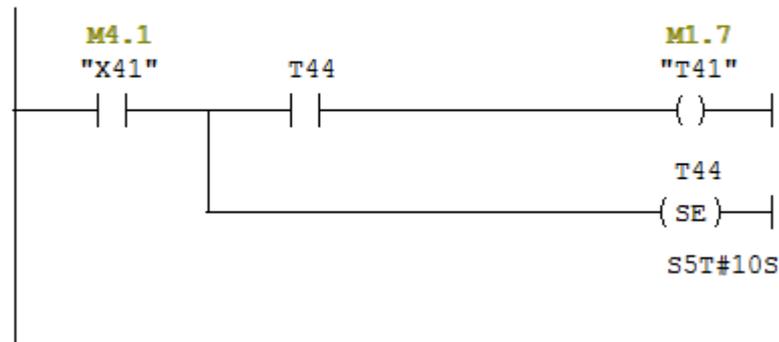
Réseau 14 : équation de la transition "T4"



Réseau 15 : équation de la transition "40"

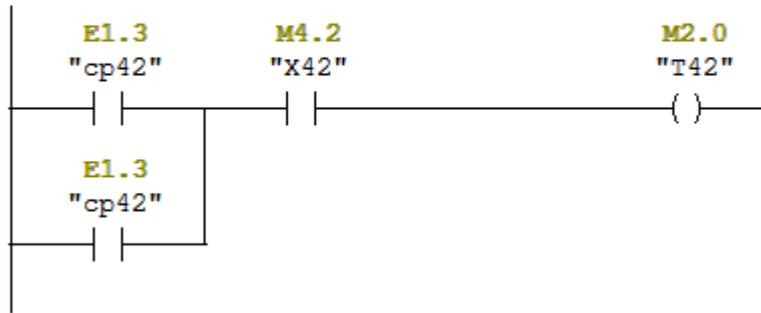


Réseau 16 : équation de la transition "T41"

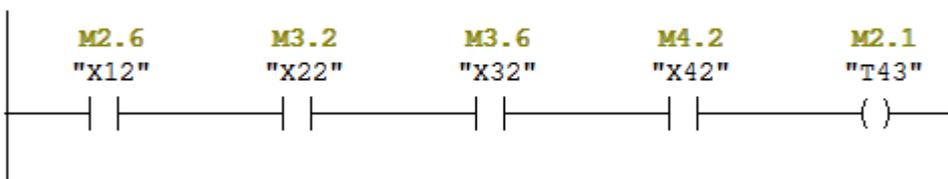


# Programme

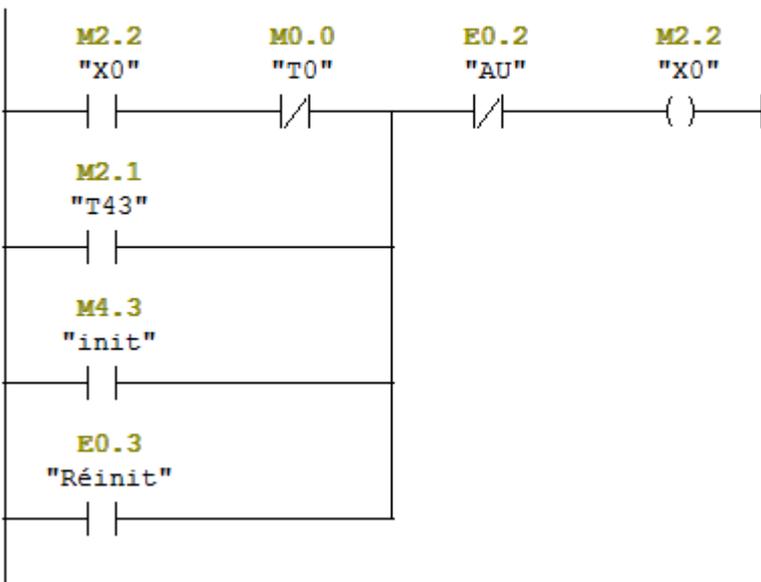
Réseau 17 : équation de la transition "T42"



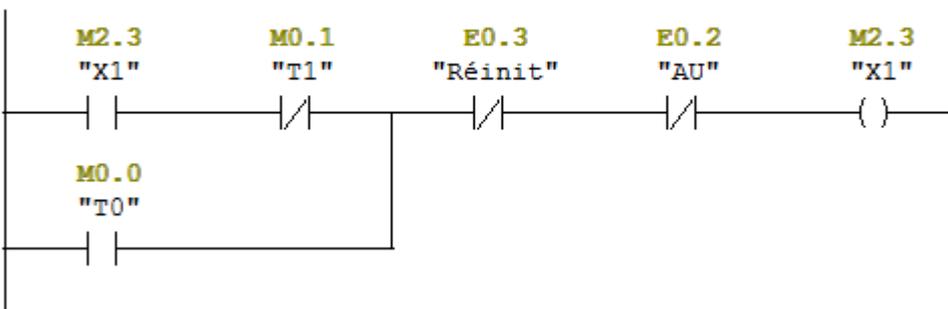
Réseau 18 : équation de la transition "T43"



Réseau 19 : équation D'étape "X0"

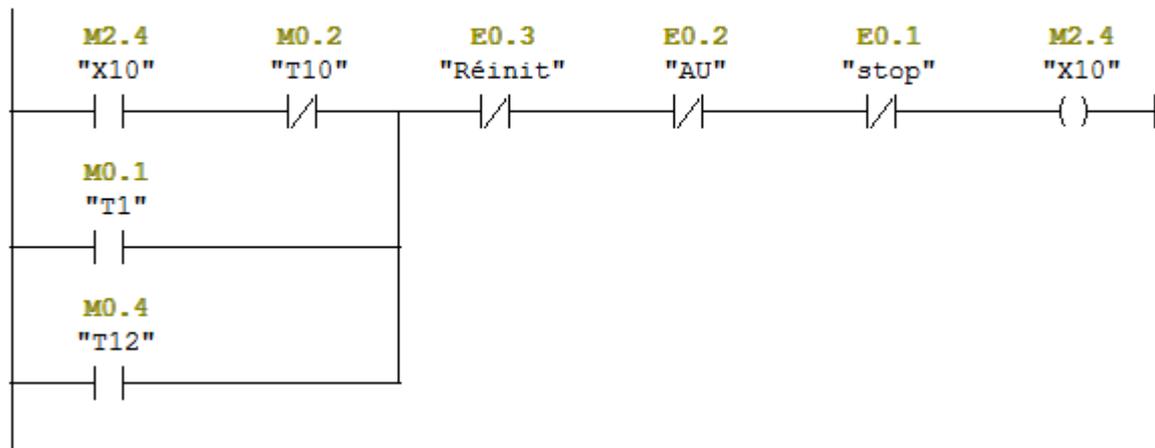


Réseau 20 : équation D'étape "X1"

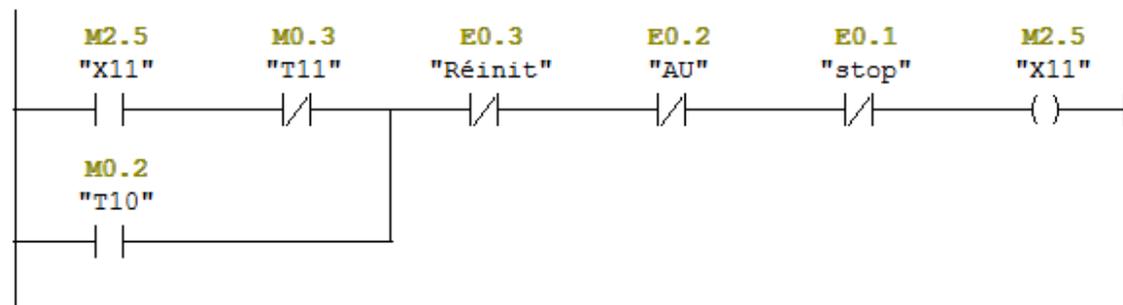


# Programme

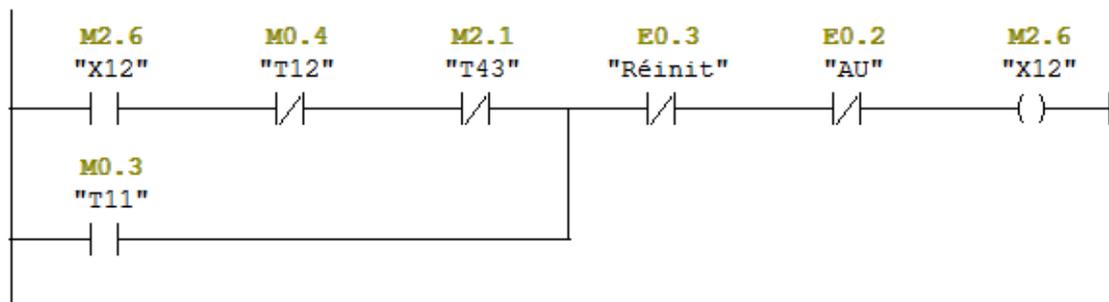
Réseau 21 : équation D'étape "X10"



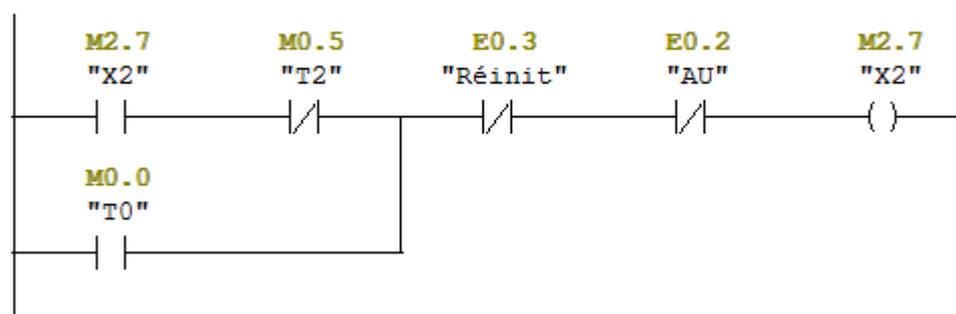
Réseau 22 : équation D'étape "X11"



Réseau 23 : équation D'étape "X12"

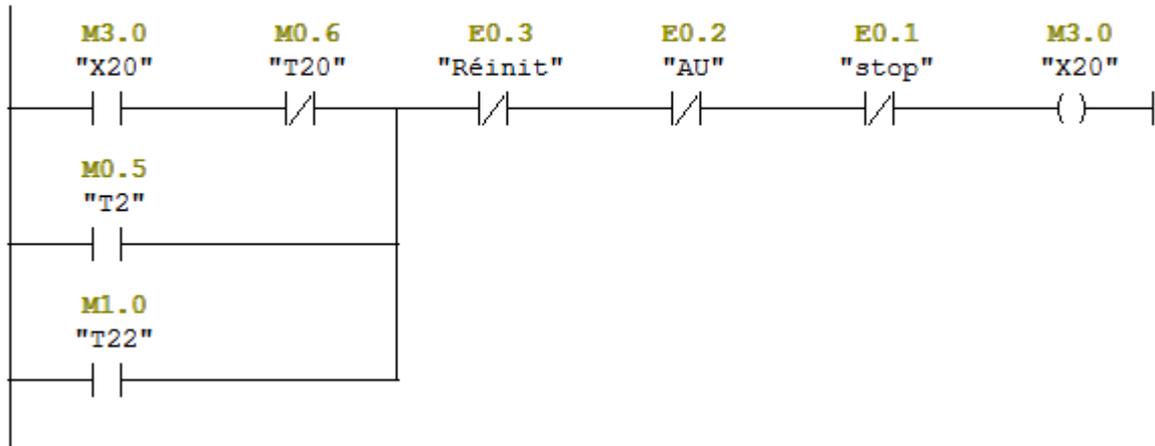


Réseau 24 : équation D'étape "X2"

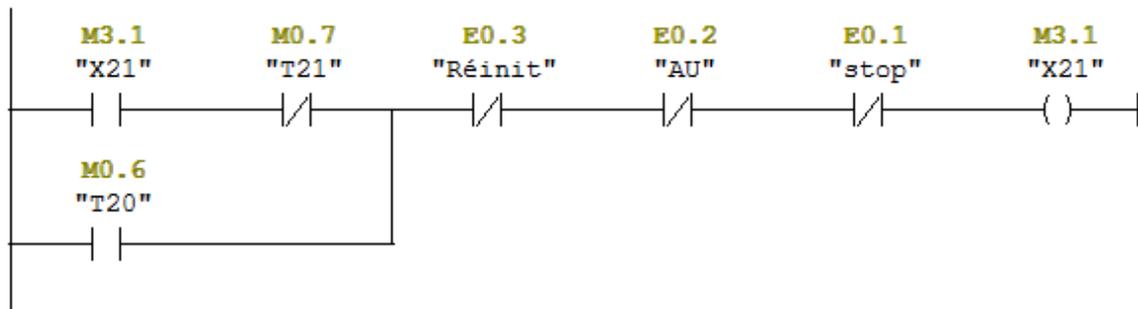


# Programme

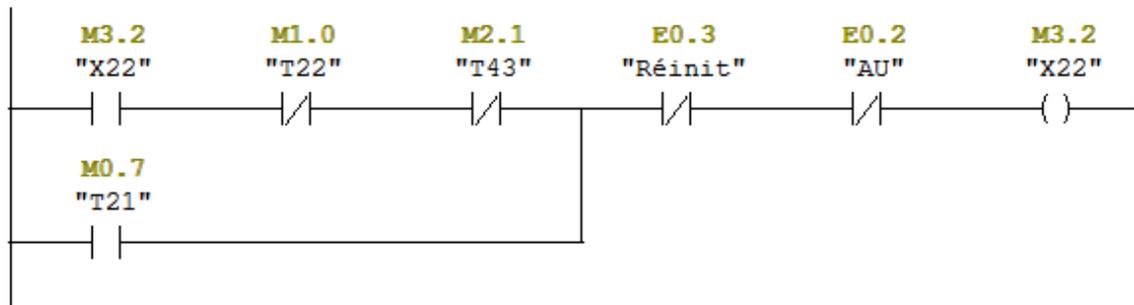
Réseau 25 : équation D'étape "X20"



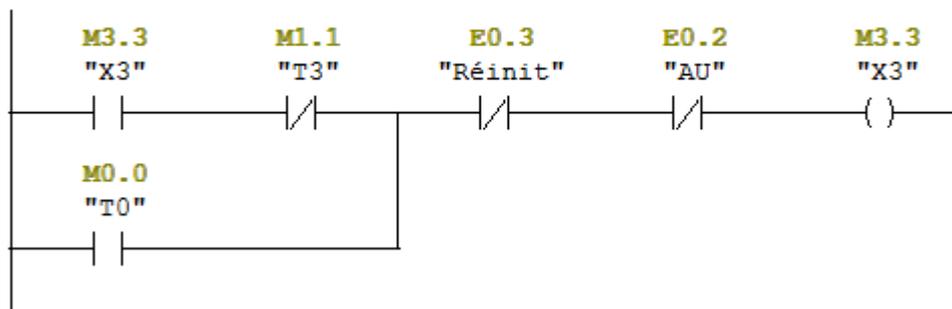
Réseau 26 : équation D'étape "X21"



Réseau 27 : équation D'étape "X22"

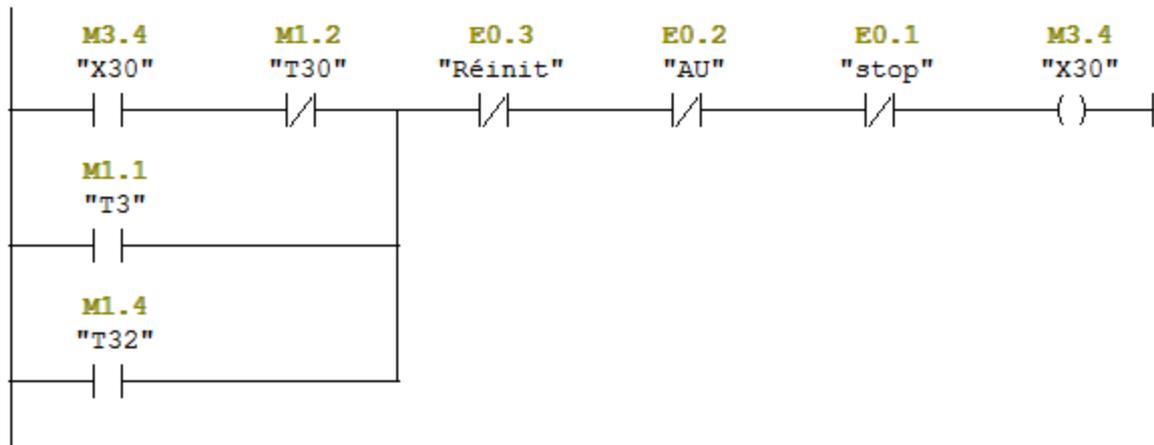


Réseau 28 : équation D'étape "X3"

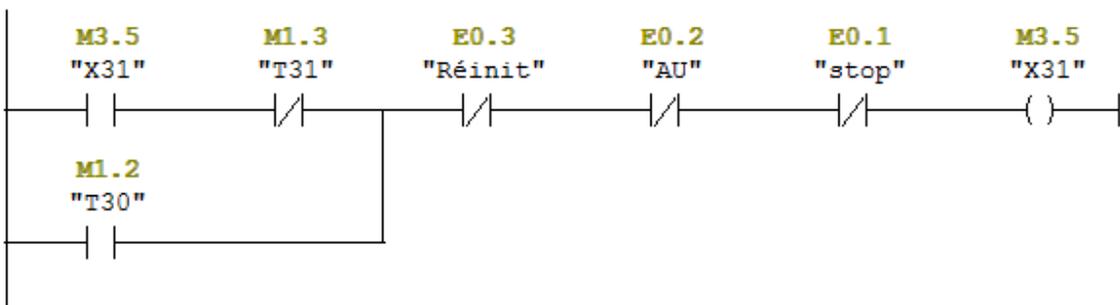


# Programme

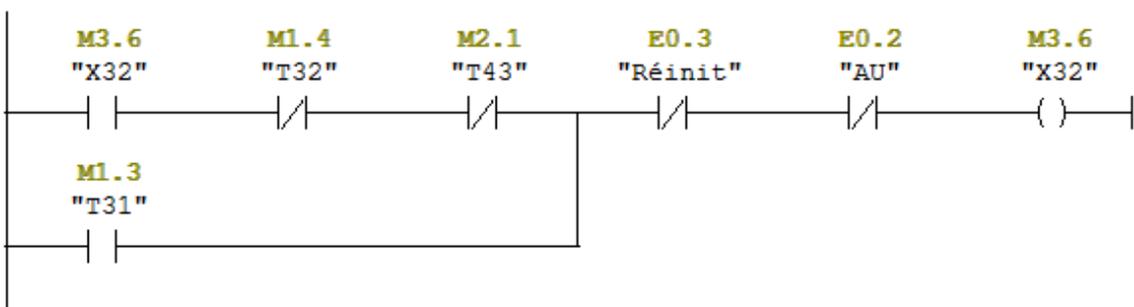
Réseau 29 : équation D'étape "X30"



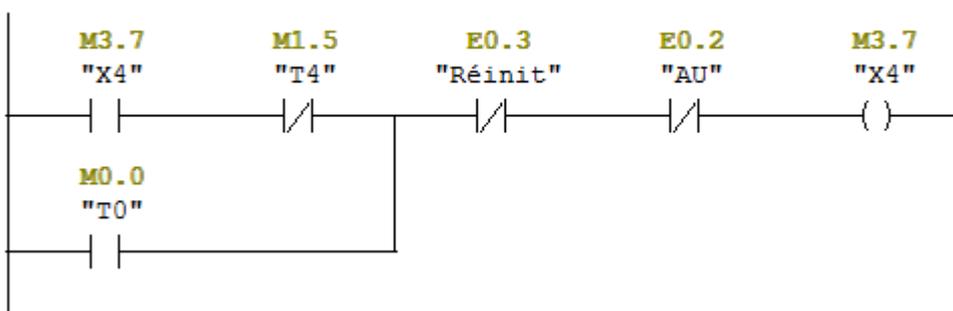
Réseau 30 : équation D'étape "X31"



Réseau 31 : équation D'étape "X32"

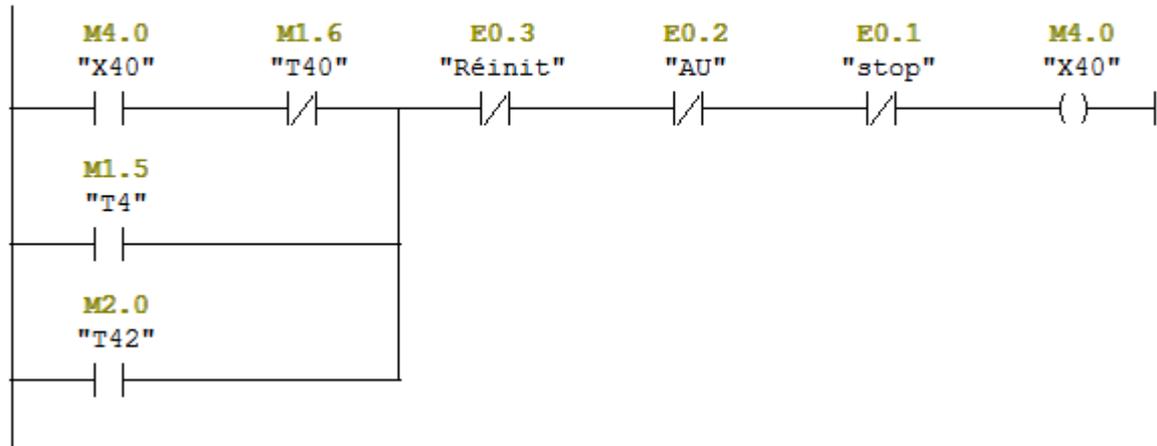


Réseau 32 : équation D'étape "X4"

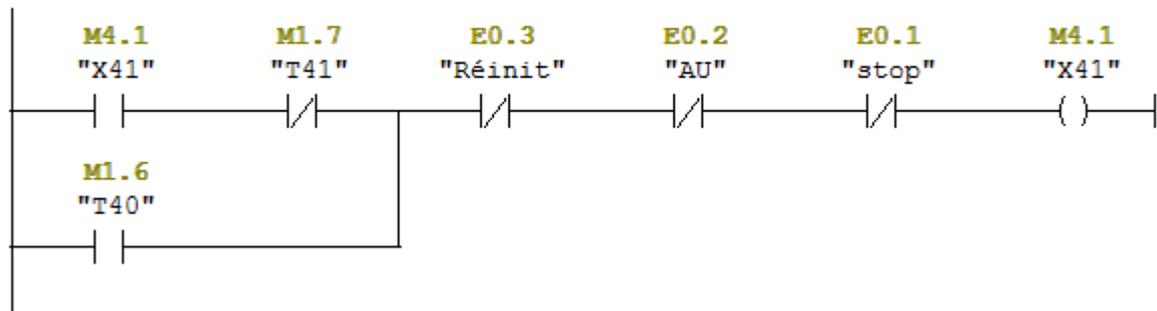


# Programme

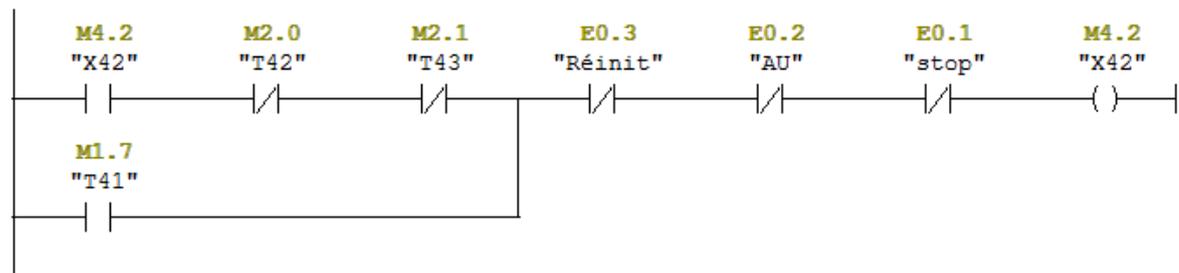
Réseau 33 : équation D'étape "X40"



Réseau 34 : équation D'étape "X41"

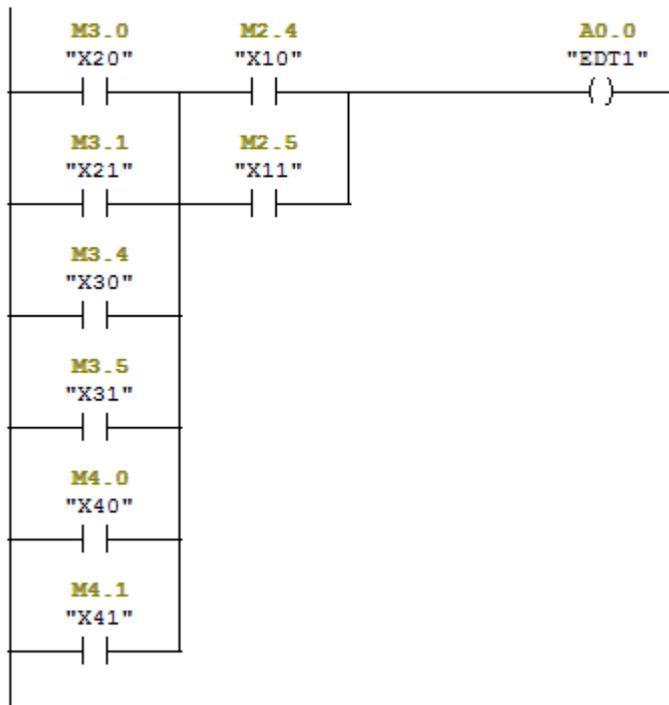


Réseau 35 : équation D'étape "X42"

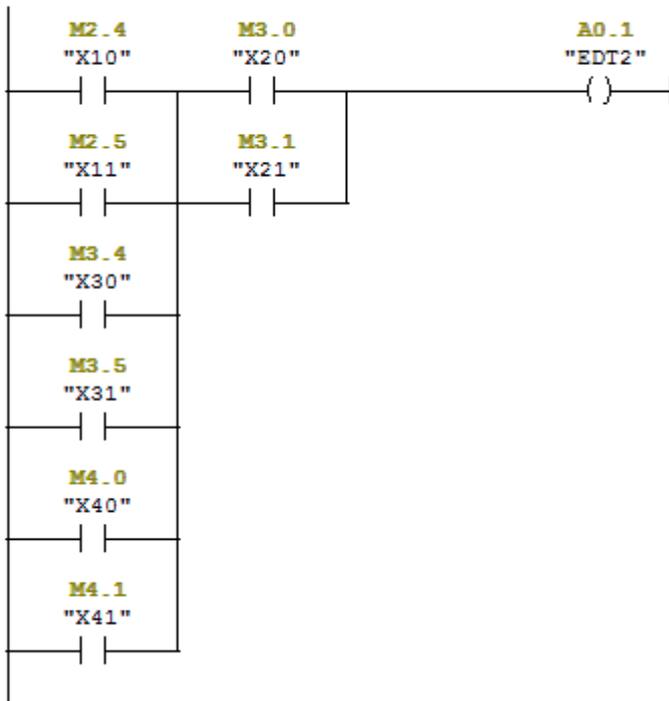


# Programme

Réseau 36 : équation D'action "EDT1"

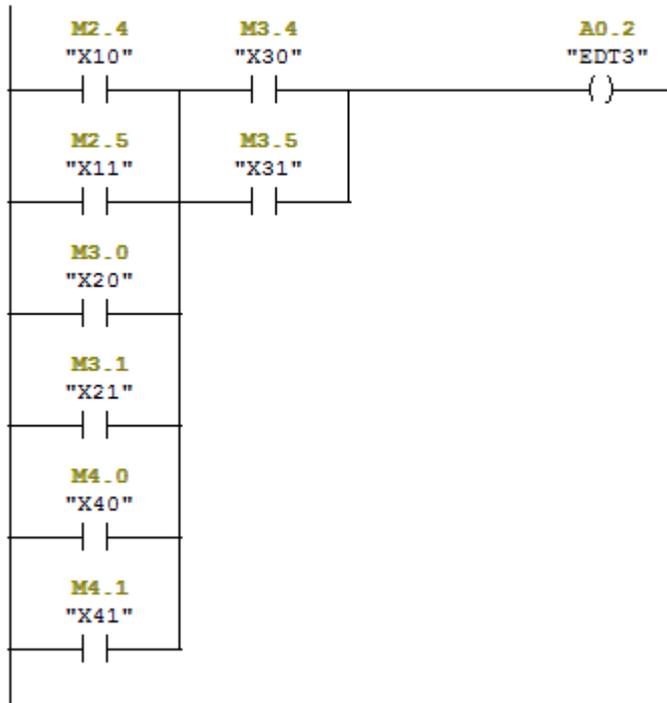


Réseau 37 : équation D'action "EDT2"

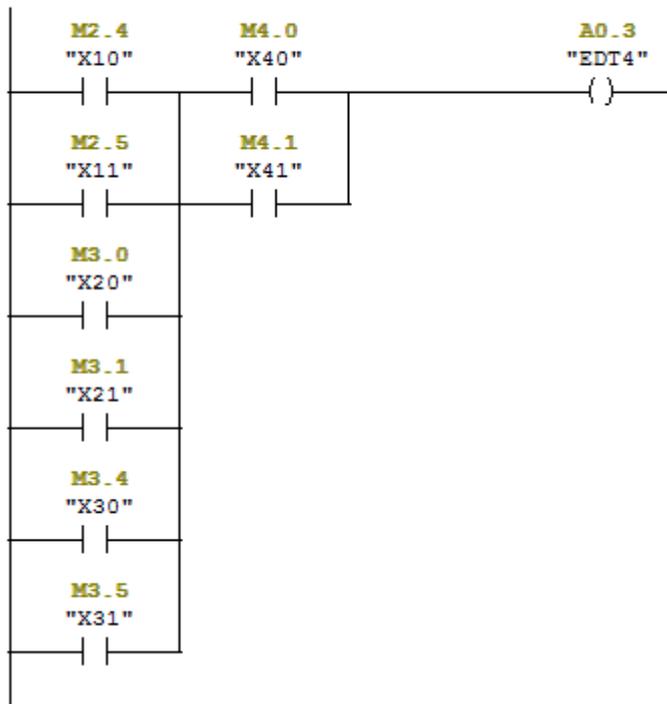


# Programme

Réseau 38 : équation D'action "EDT3"

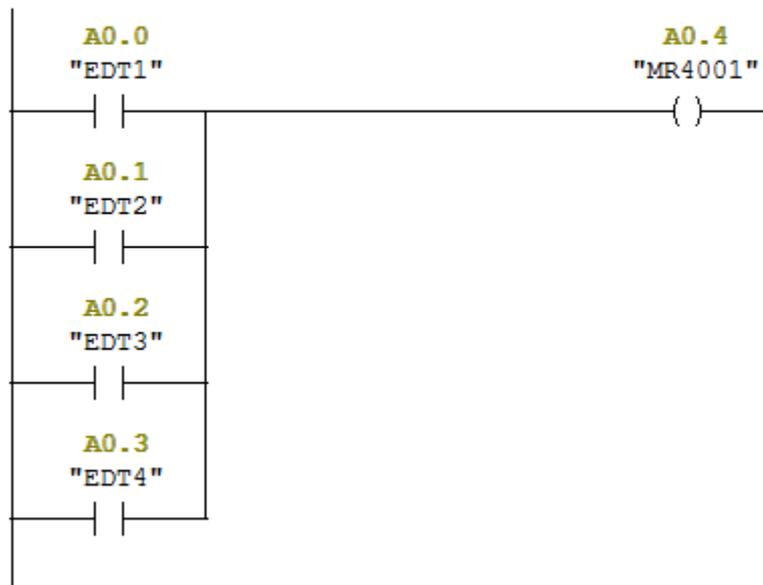


Réseau 39 : équation D'action "EDT4"

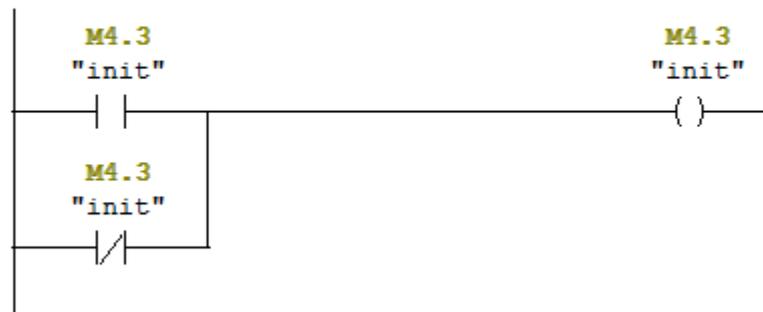


# Programme

Réseau 40 : équation D'action "MR4001"

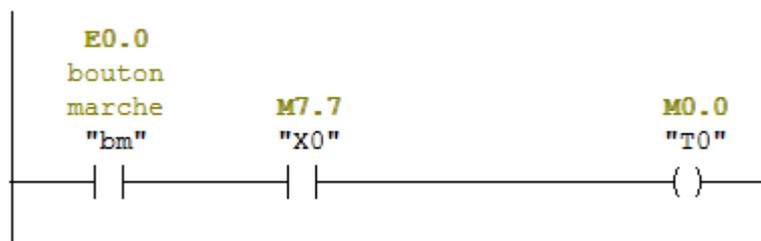


Réseau 41 : L'initialisation de l'étape "X0"



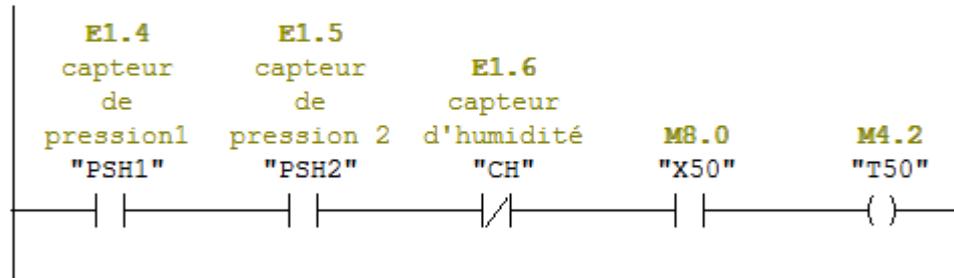
## ❖ Programme ladder de décolmatage :

Réseau 1 : équation de la transition "T0"

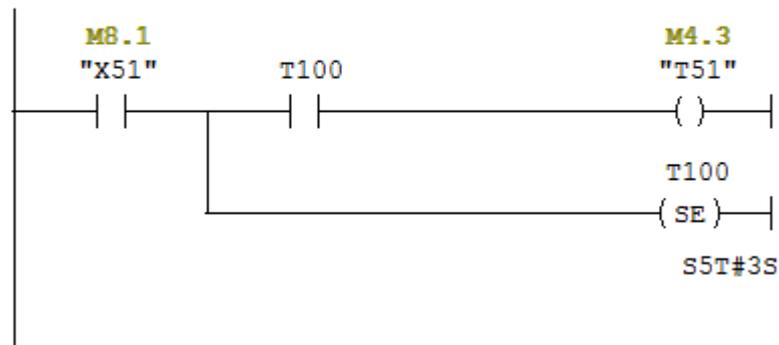


# Programme

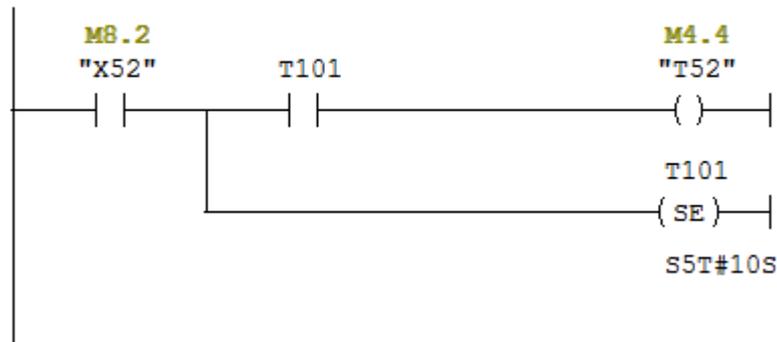
Réseau 2 : équation de la transition "T50"



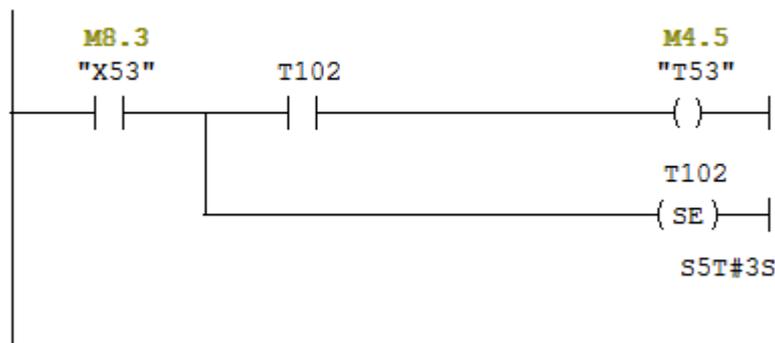
Réseau 3 : équation de la transition "T51"



Réseau 4 : équation de la transition "T52"

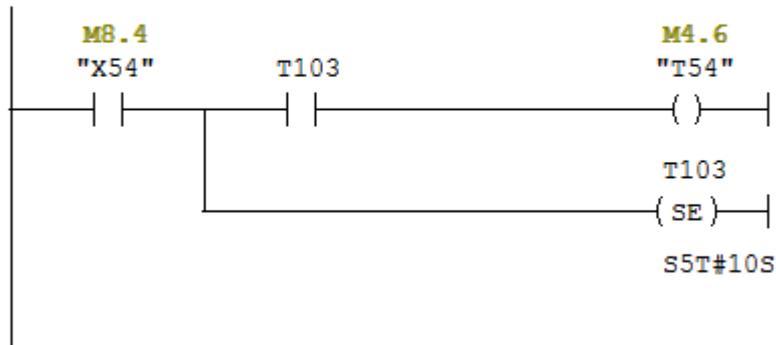


Réseau 5 : équation de la transition "T53"

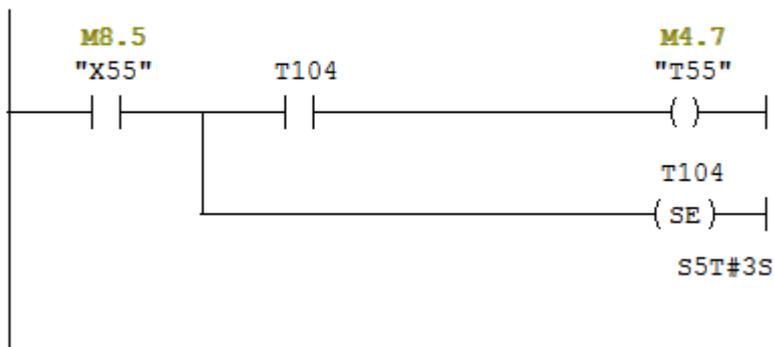


# Programme

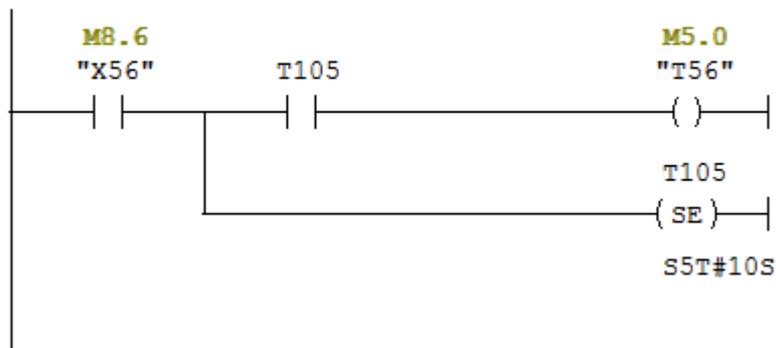
Réseau 6 : équation de la transition "T54"



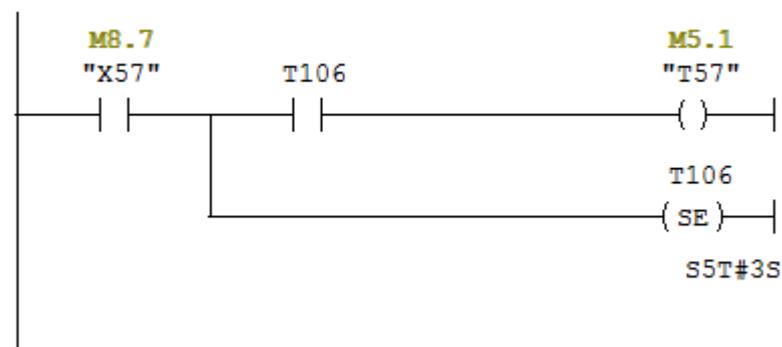
Réseau 7 : équation de la transition "T55"



Réseau 8 : équation de la transition "T56"

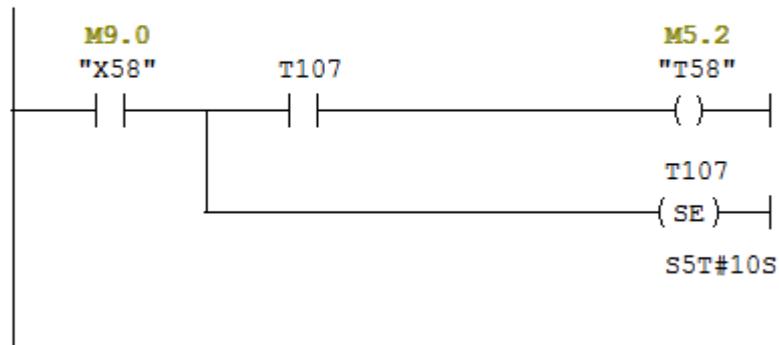


Réseau 9 : équation de la transition "T57"

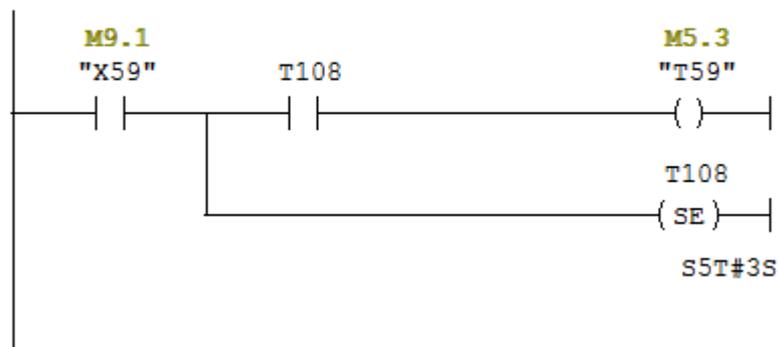


# Programme

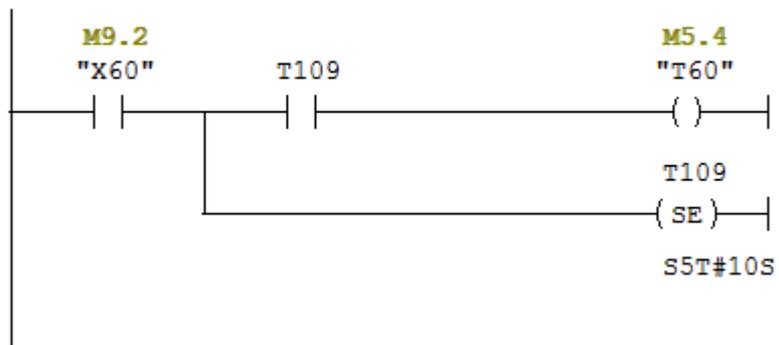
Réseau 10 : équation de la transition "T58"



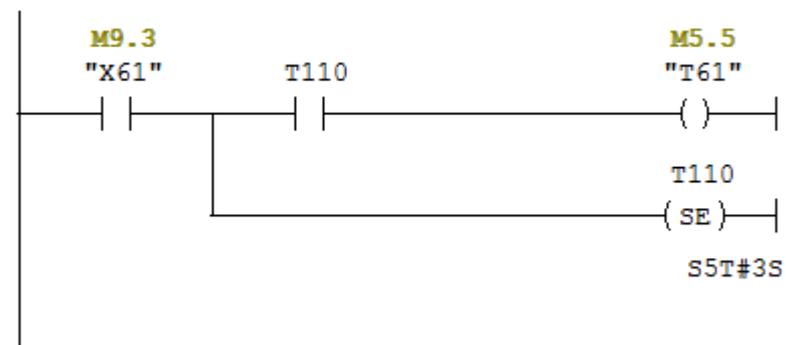
Réseau 11 : équation de la transition "T59"



Réseau 12 : équation de la transition "T60"

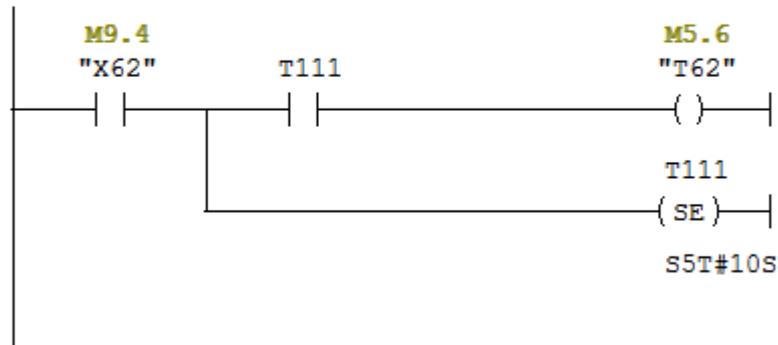


Réseau 13 : équation de la transition "T61"

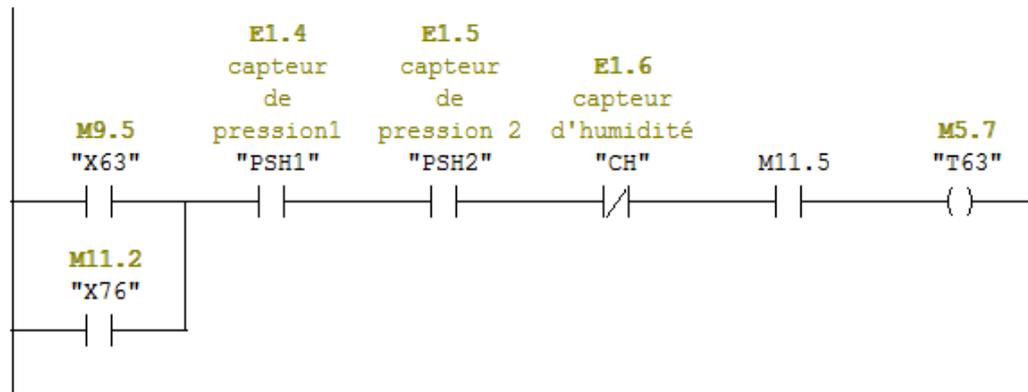


# Programme

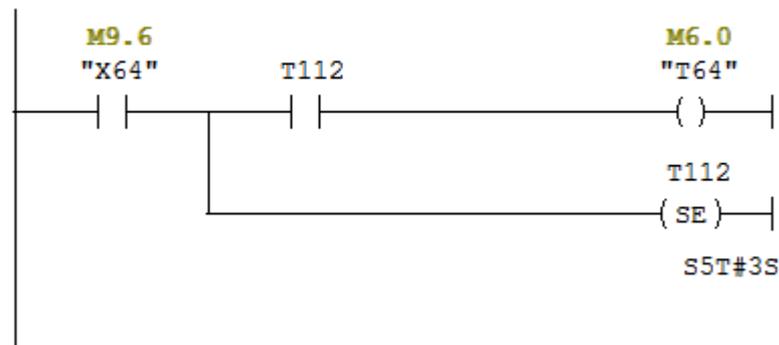
Réseau 14 : équation de la transition "T62"



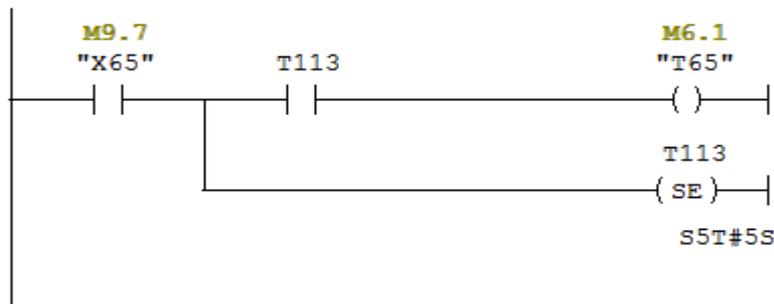
Réseau 15 : équation de la transition "T63"



Réseau 16 : équation de la transition "T64"

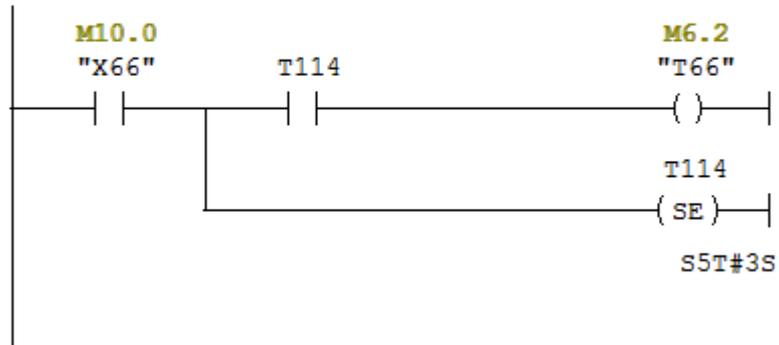


Réseau 17 : équation de la transition "T65"

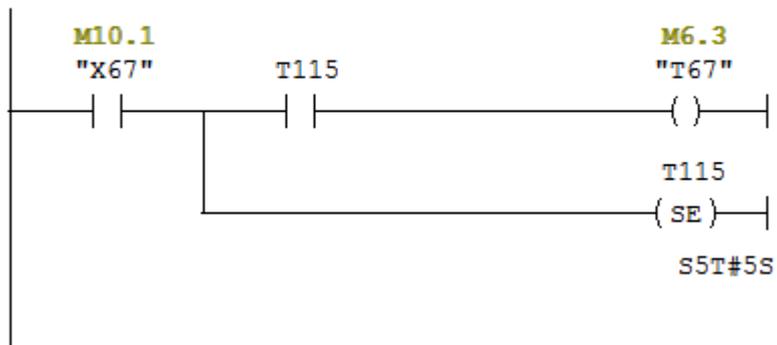


# Programme

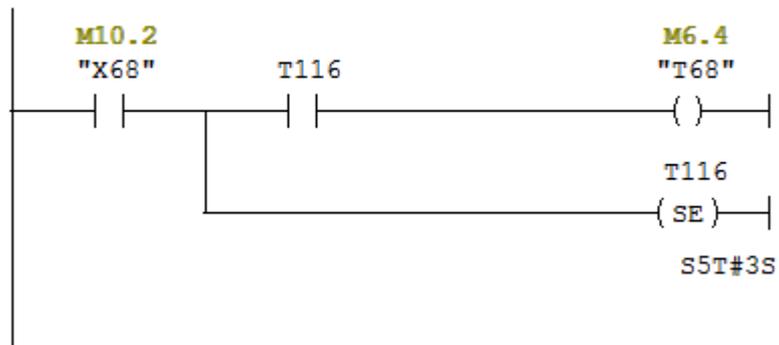
Réseau 18 : équation de la transition "T66"



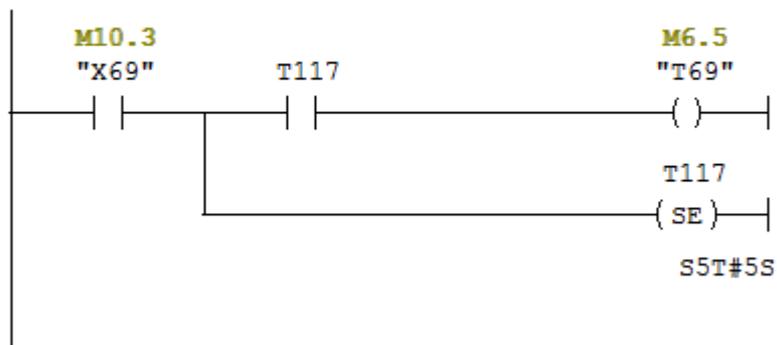
Réseau 19 : équation de la transition "T67"



Réseau 20 : équation de la transition "T68"

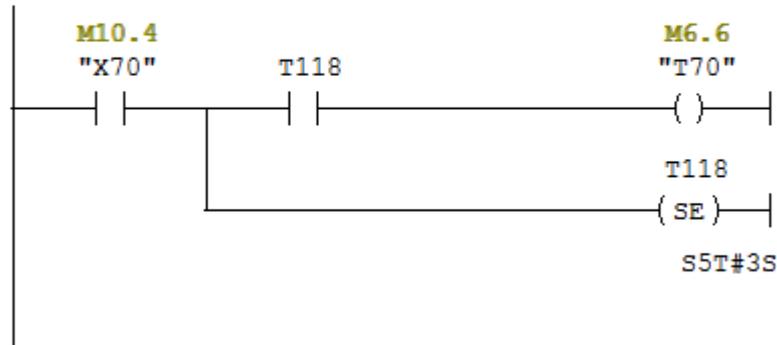


Réseau 21 : équation de la transition "T69"

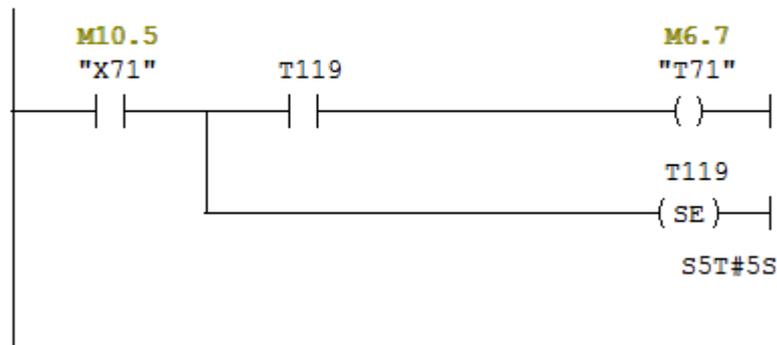


# Programme

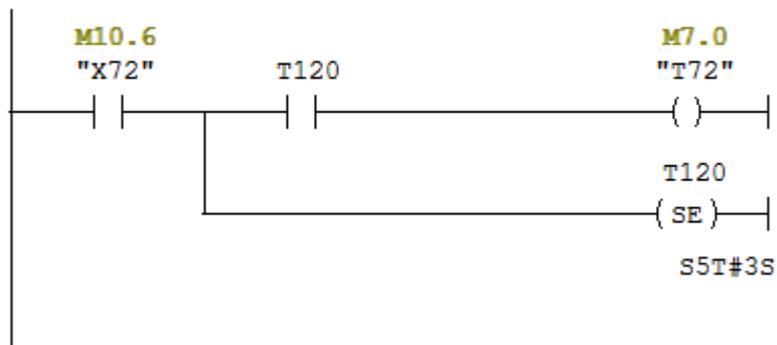
Réseau 22 : équation de la transition "T70"



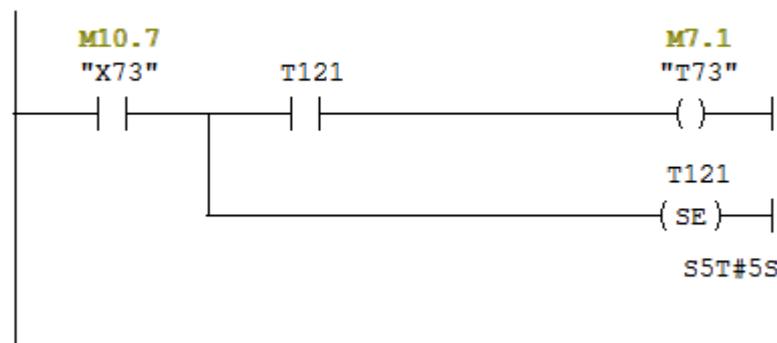
Réseau 23 : équation de la transition "T71"



Réseau 24 : équation de la transition "T72"

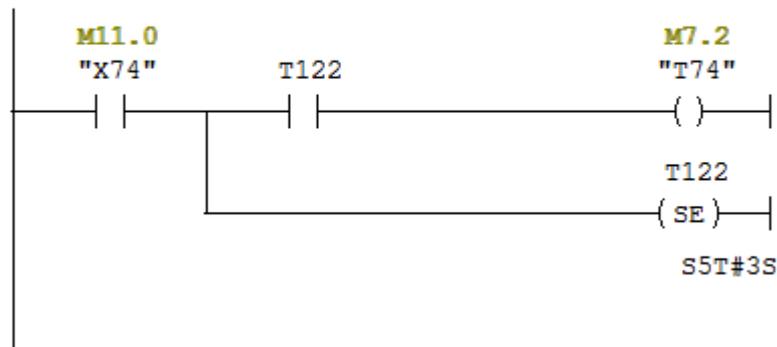


Réseau 25 : équation de la transition "T73"

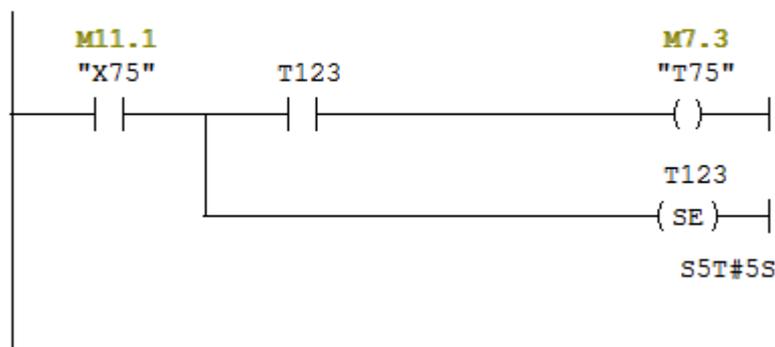


# Programme

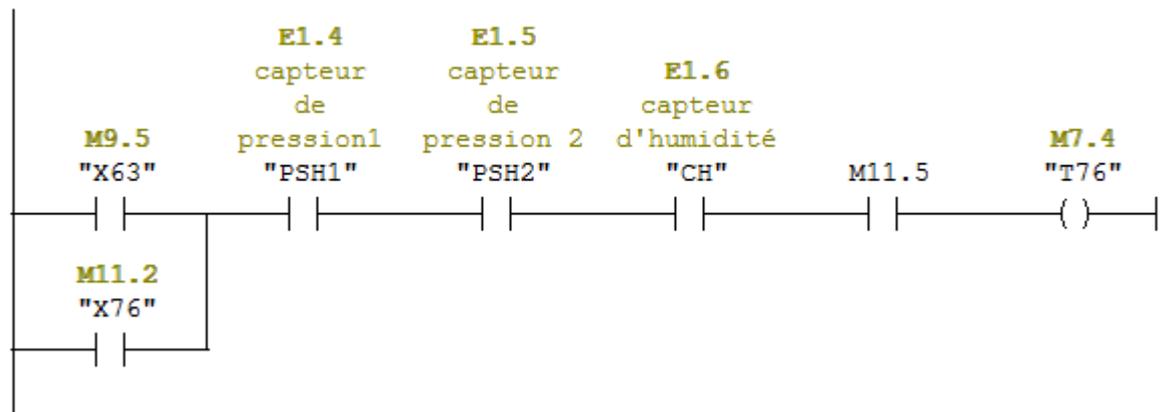
Réseau 26 : équation de la transition "T74"



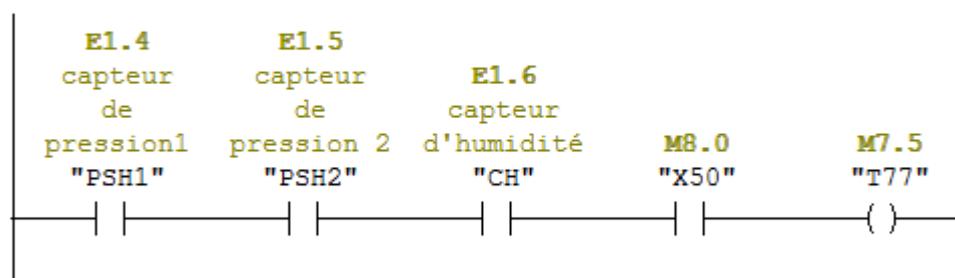
Réseau 27 : équation de la transition "T75"



Réseau 28 : équation de la transition "T76"

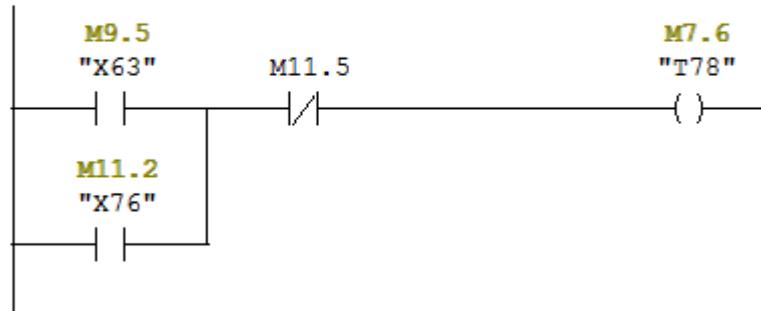


Réseau 29 : équation de la transition "T77"

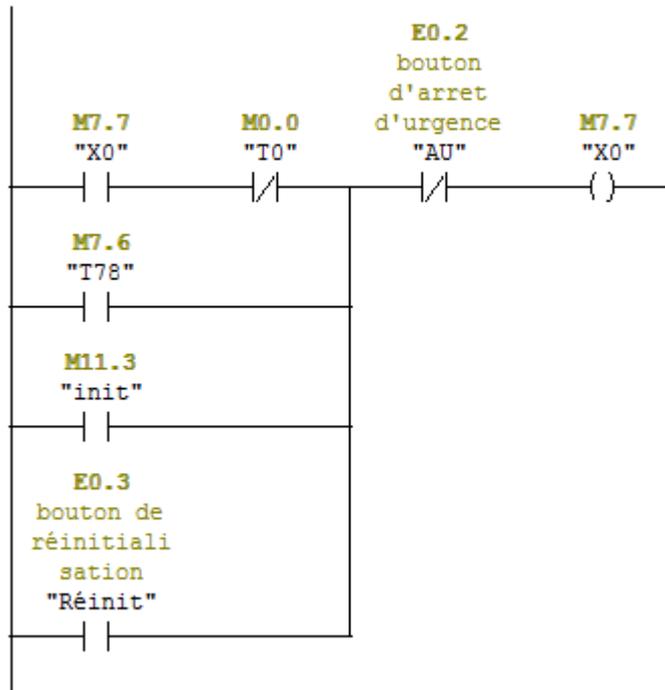


# Programme

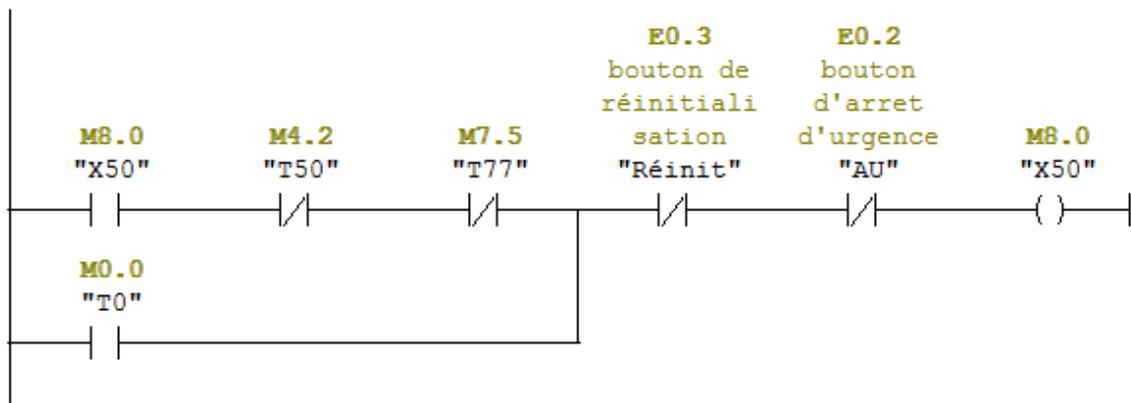
Réseau 30 : équation de la transition "T78"



Réseau 31 : équation d'étape "X0"

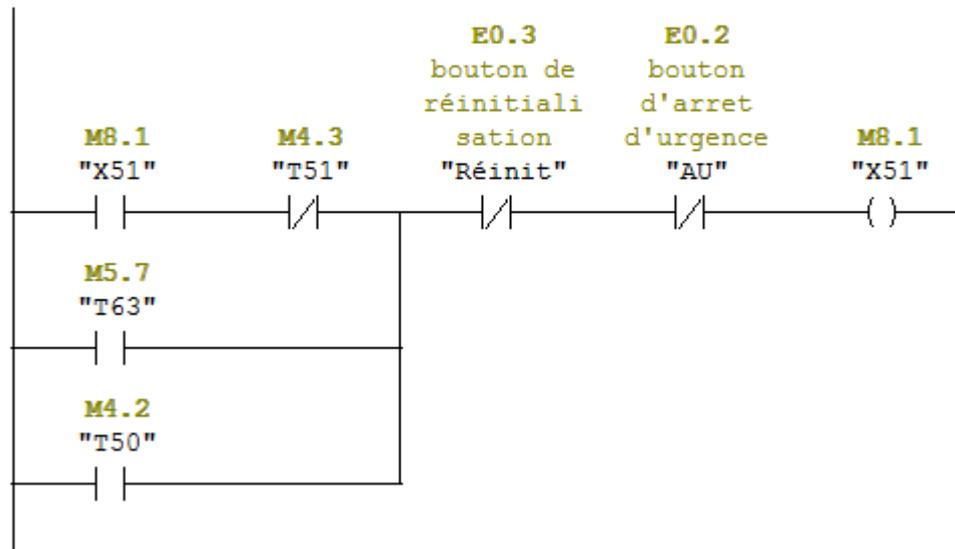


Réseau 32 : équation d'étape "X50"

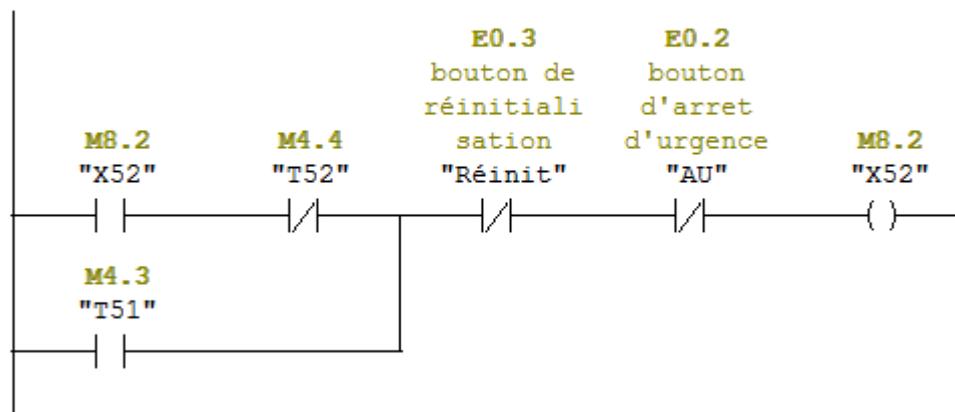


## Programme

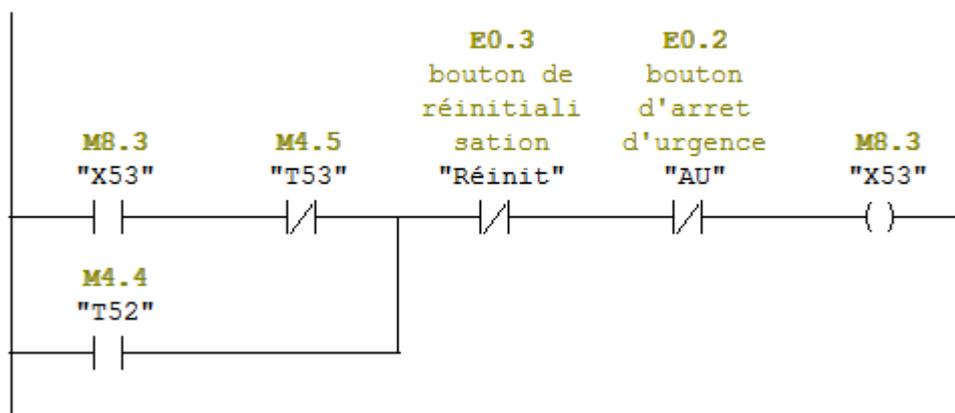
Réseau 33 : équation d'étape "X51"



Réseau 34 : équation d'étape "X52"

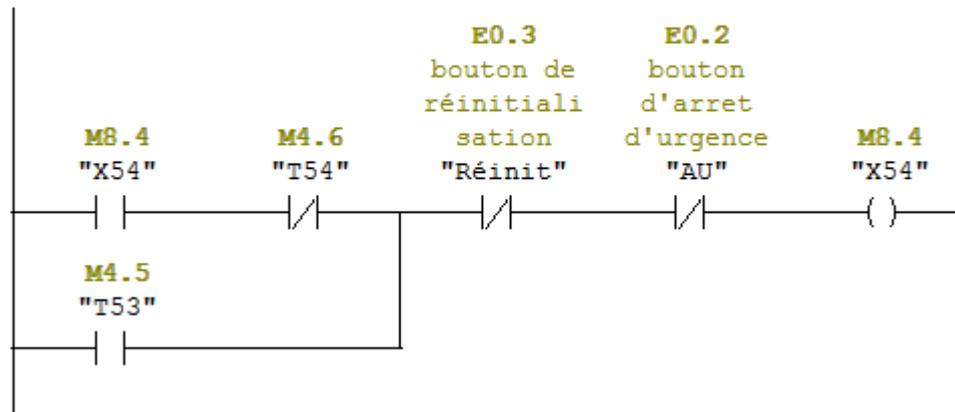


Réseau 35 : équation d'étape "X53"

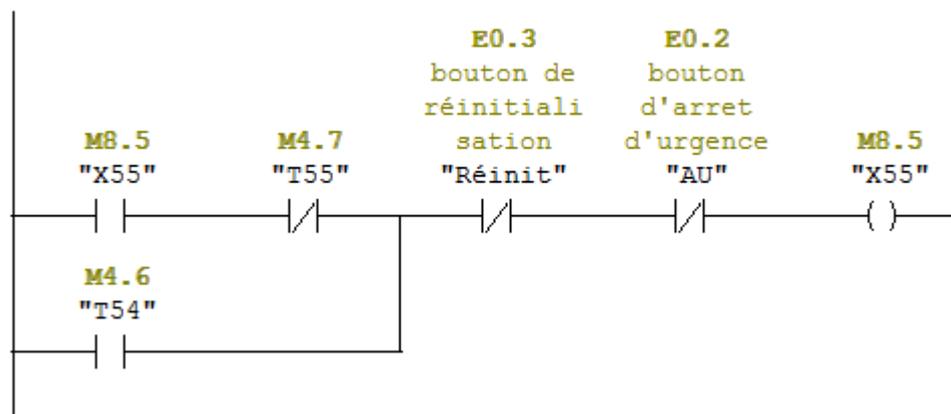


# Programme

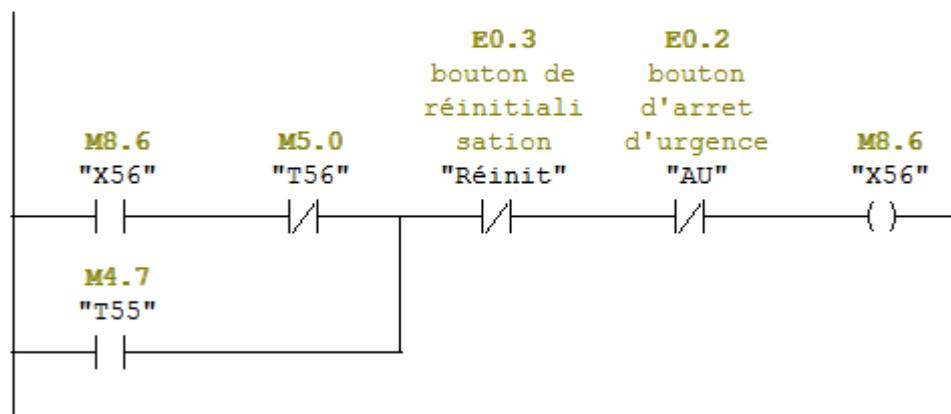
Réseau 36 : équation d'étape "X54"



Réseau 37 : équation d'étape "X55"

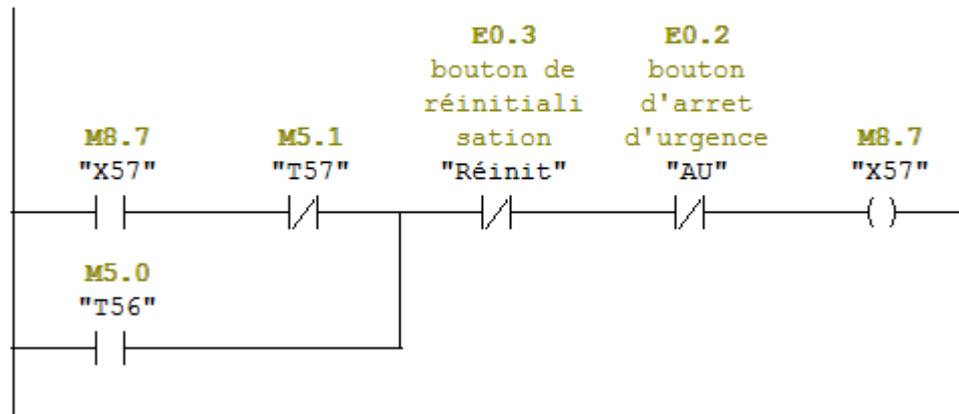


Réseau 38 : équation d'étape "X56"

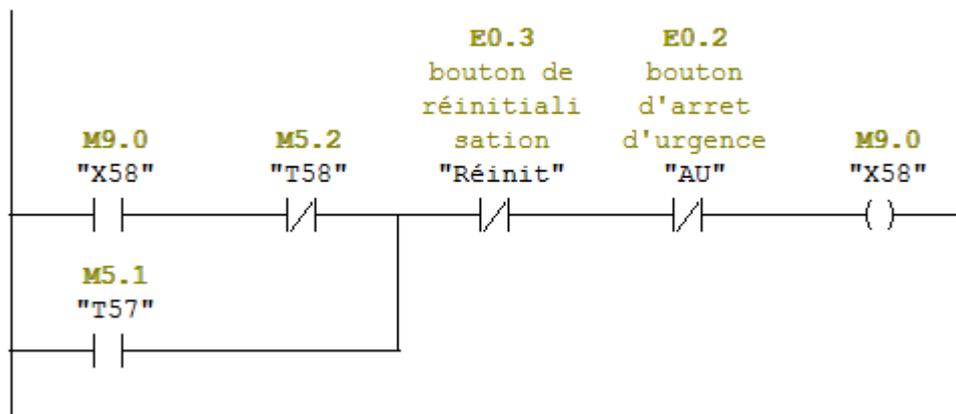


## Programme

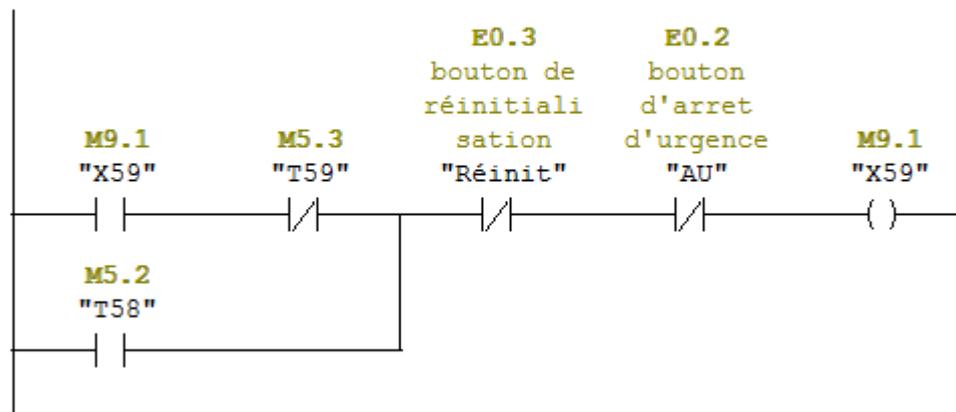
Réseau 39 : équation d'étape "X57"



Réseau 40 : équation d'étape "X58"

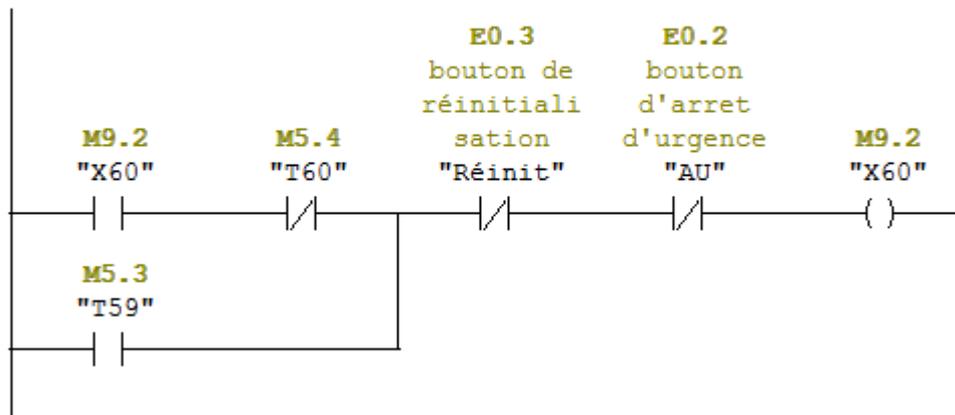


Réseau 41 : équation d'étape "X59"

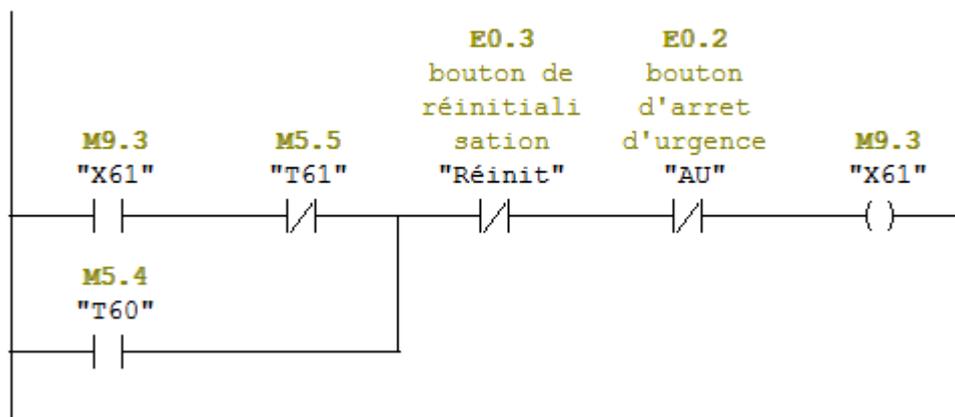


## Programme

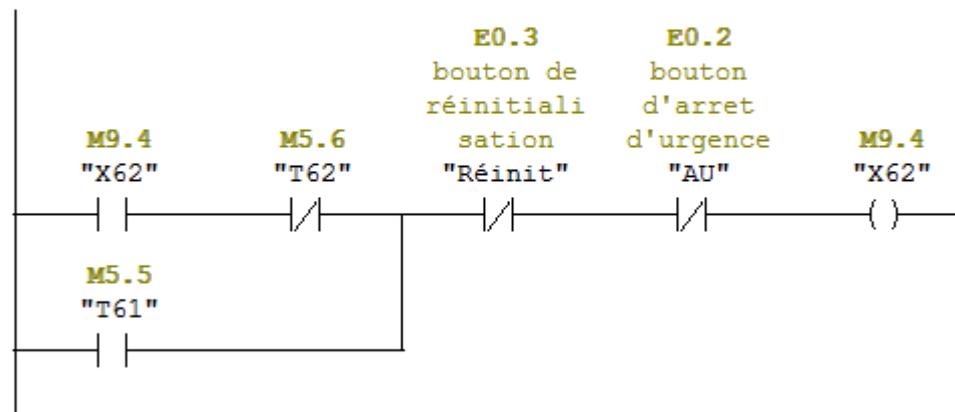
Réseau 42 : équation d'étape "X60"



Réseau 43 : équation d'étape "X61"

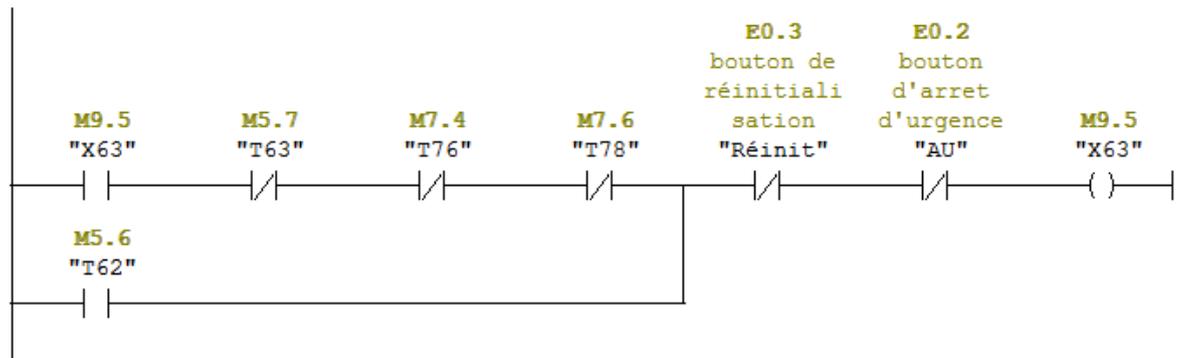


Réseau 44 : équation d'étape "X62"

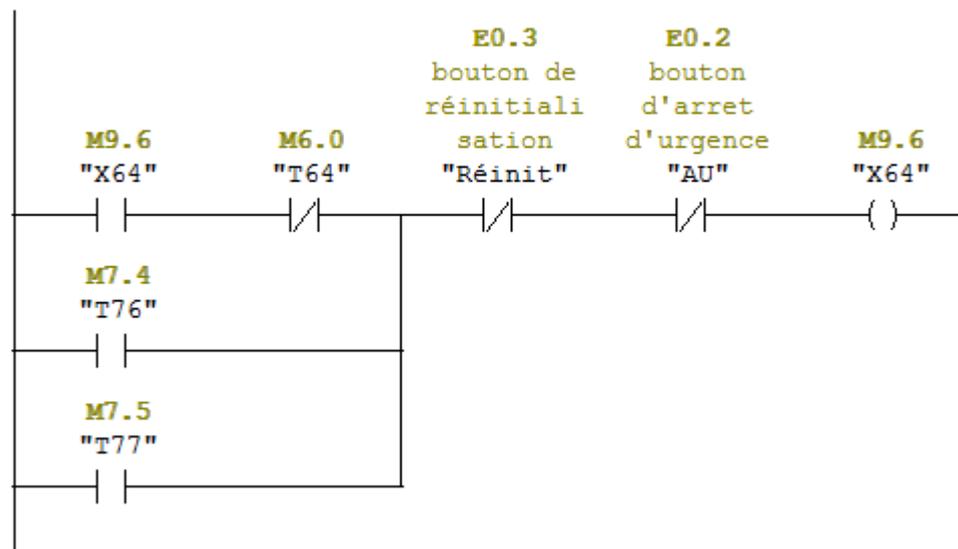


# Programme

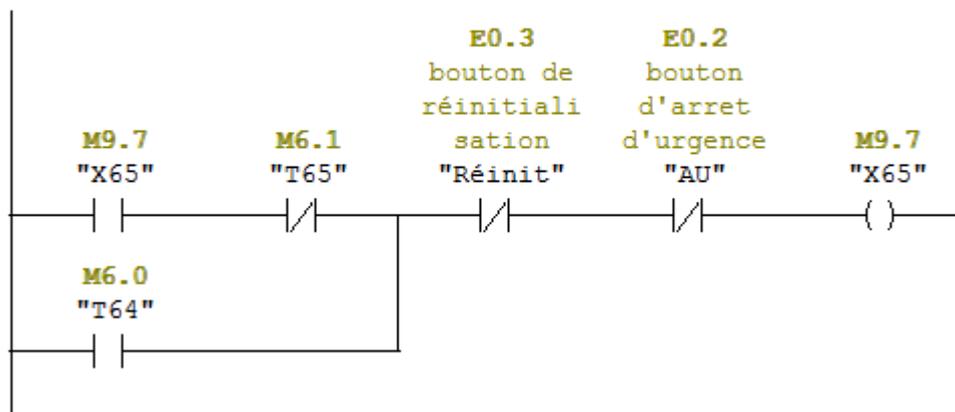
Réseau 45 : équation d'étape "X63"



Réseau 46 : équation d'étape "X64"

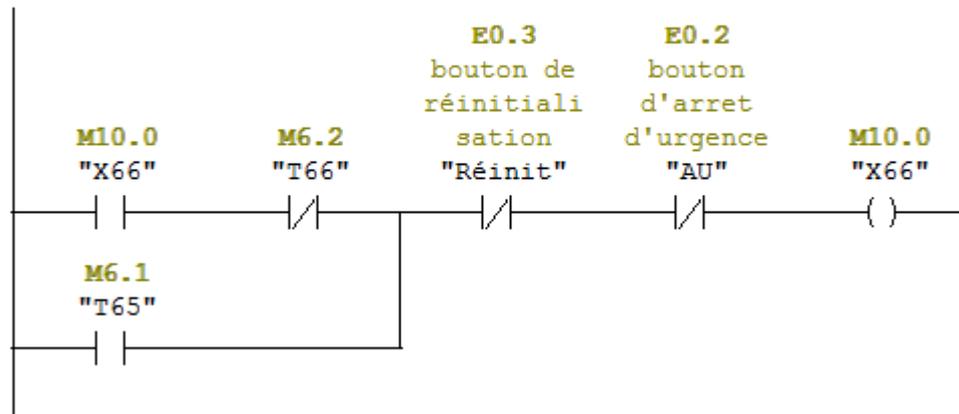


Réseau 47 : équation d'étape "X65"

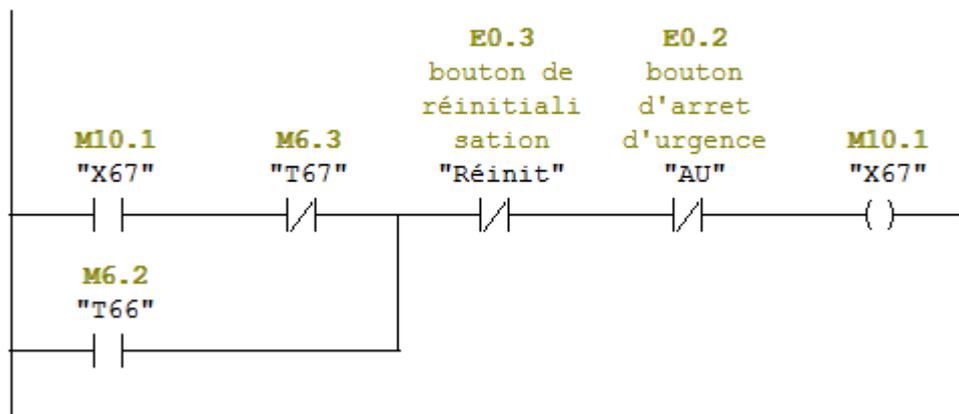


## Programme

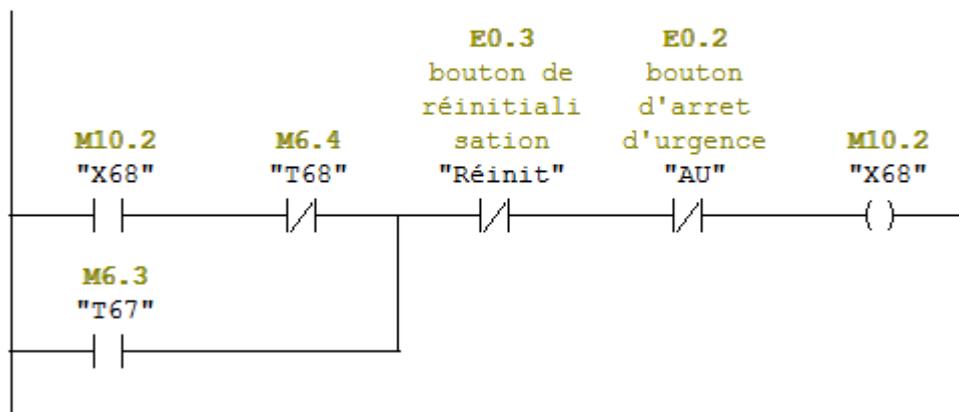
Réseau 48 : équation d'étape "X66"



Réseau 49 : équation d'étape "X67"

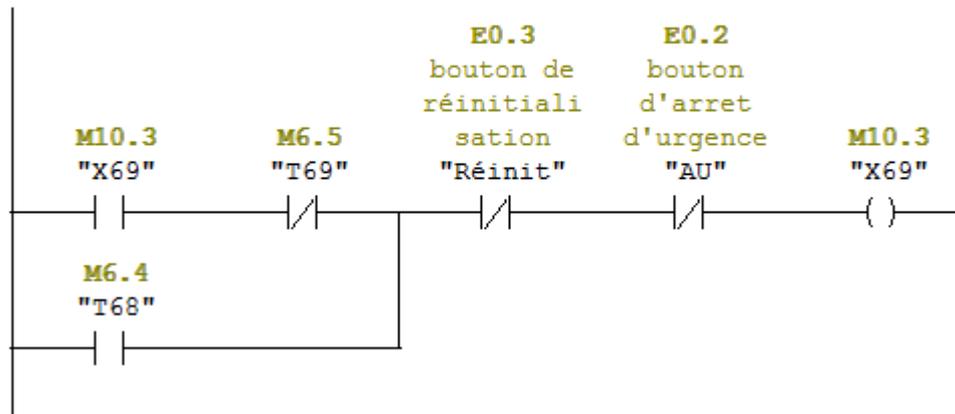


Réseau 50 : équation d'étape "X68"

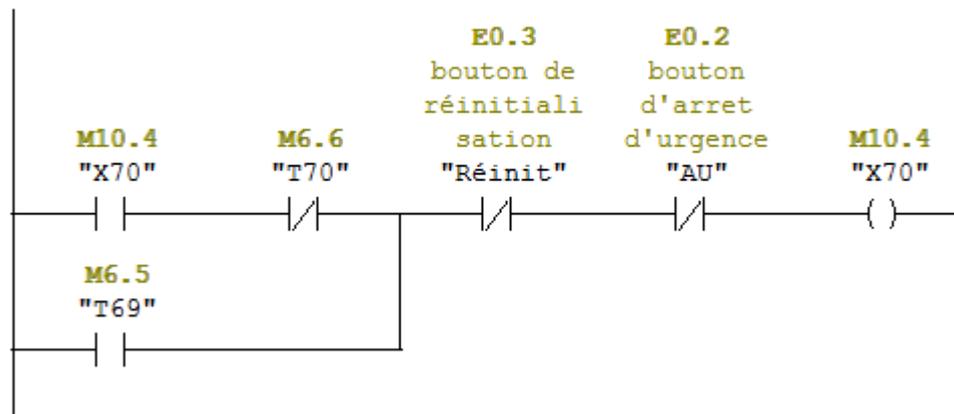


# Programme

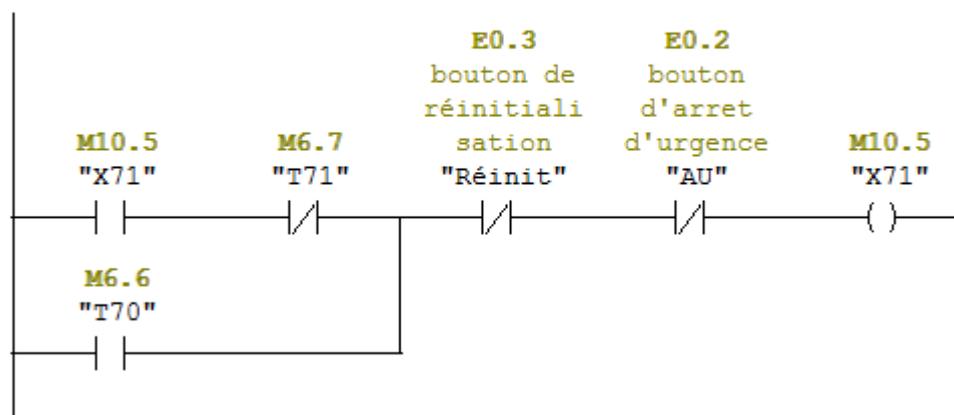
Réseau 51 : équation d'étape "X69"



Réseau 52 : équation d'étape "X70"

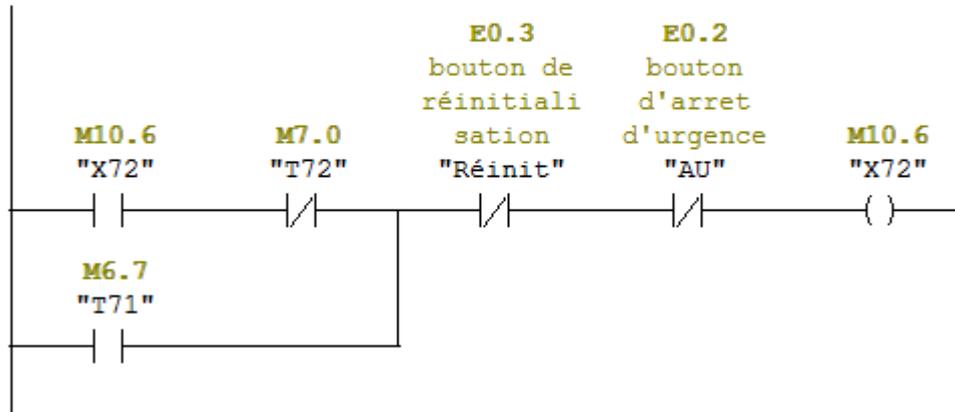


Réseau 53 : équation d'étape "X71"

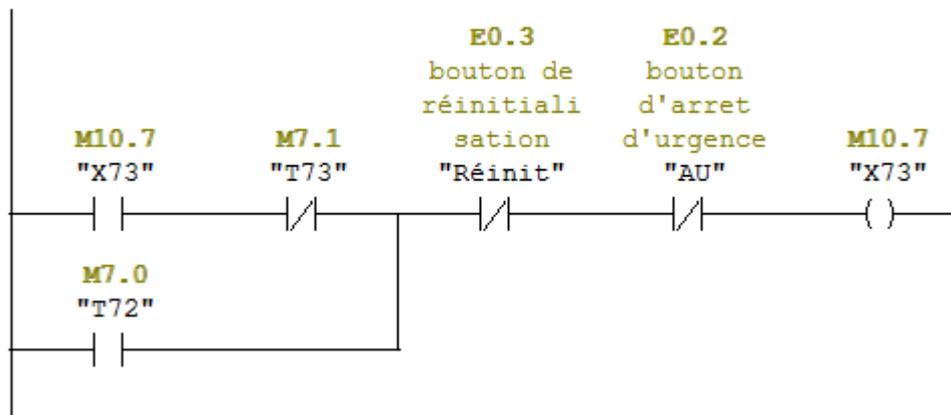


# Programme

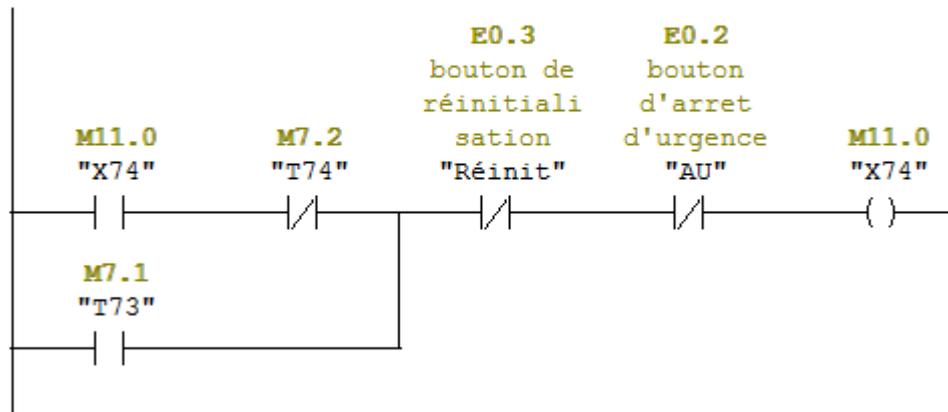
Réseau 54 : équation d'étape "X72"



Réseau 55 : équation d'étape "X73"

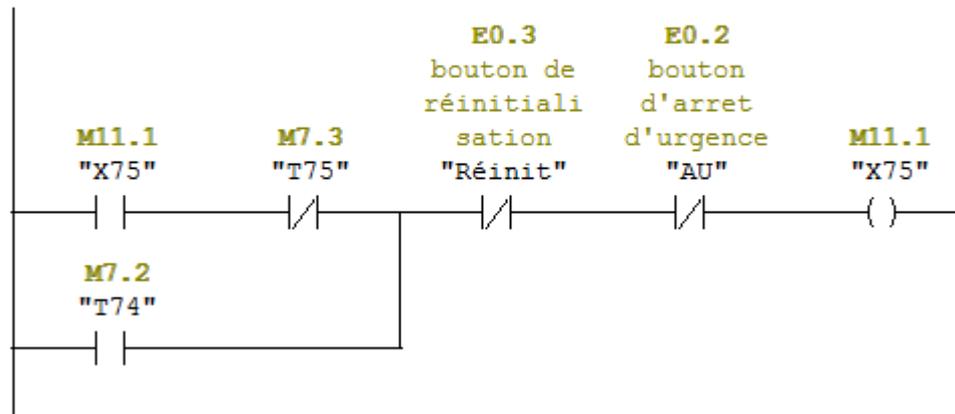


Réseau 56 : équation d'étape "X74"

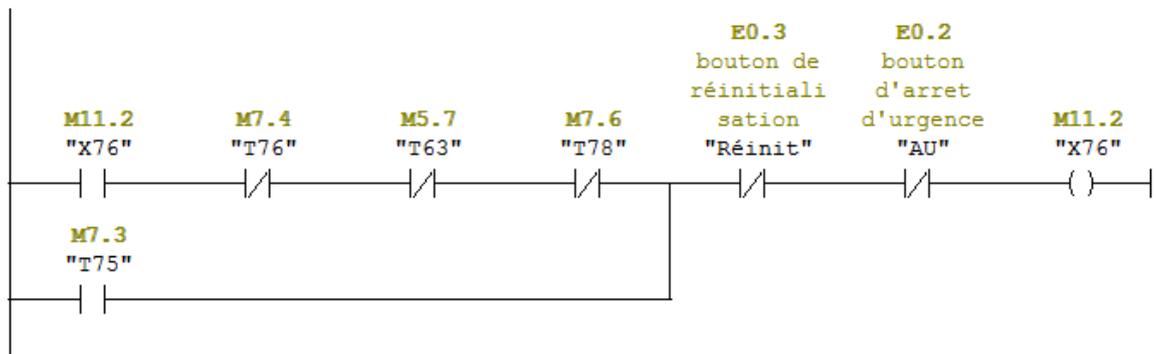


# Programme

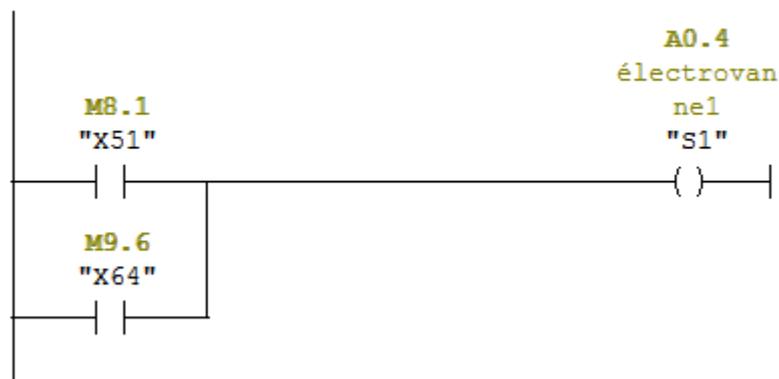
Réseau 57 : équation d'étape "X75"



Réseau 58 : équation d'étape "X76"



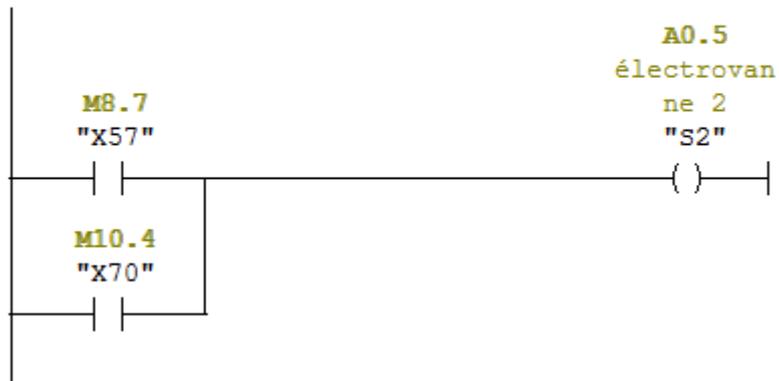
Réseau 59 : équation d'action "S1"



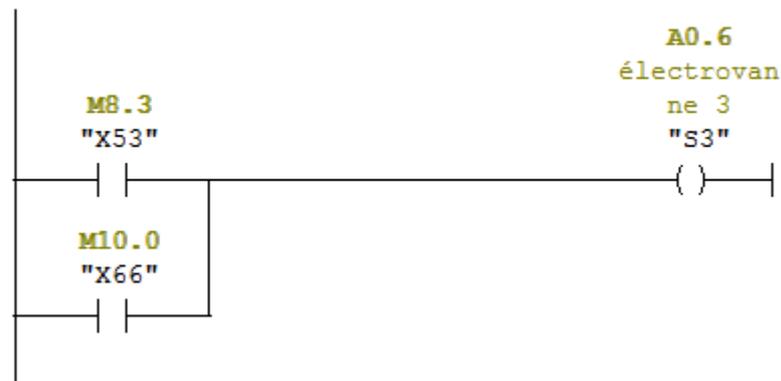
# Programme

---

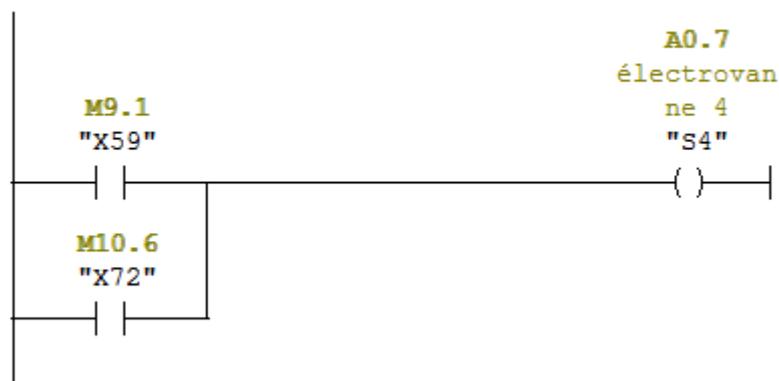
Réseau 60 : équation d'action "S2"



Réseau 61 : équation d'action "S3"

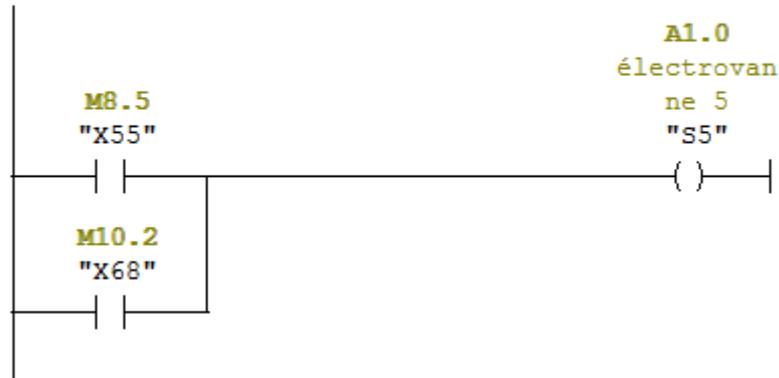


Réseau 62 : équation d'action "S4"

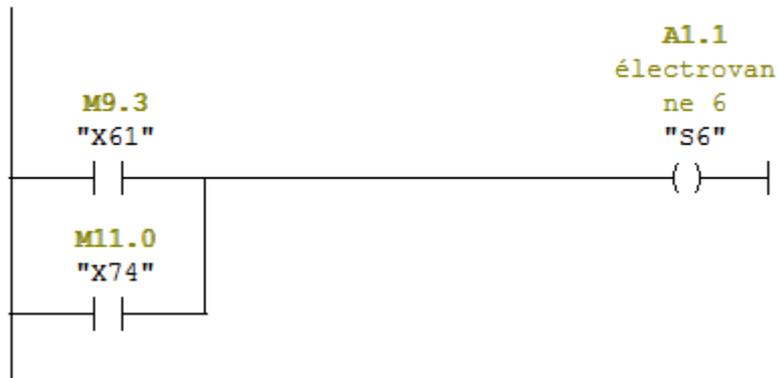


# Programme

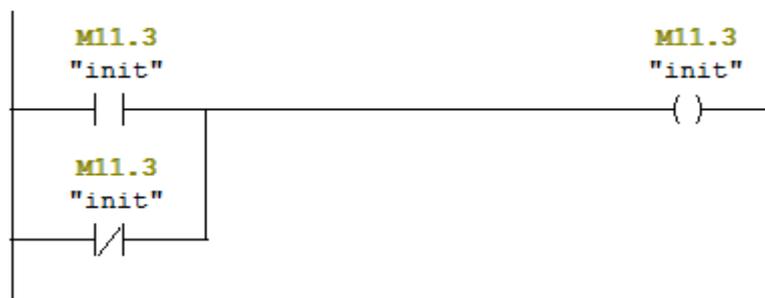
Réseau 63 : équation d'action "S5"



Réseau 64 : équation d'action "S6"

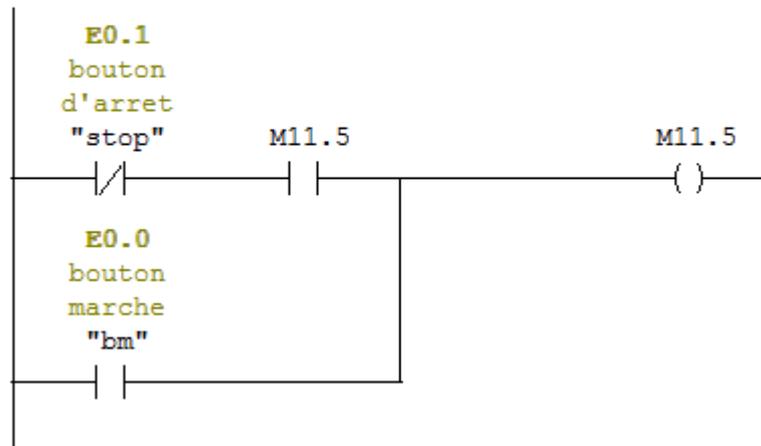


Réseau 65 : initialisation d'étape "X0"



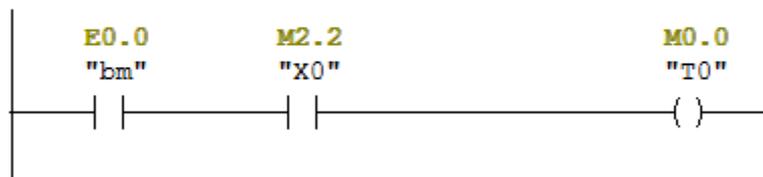
# Programme

Réseau 66 : bouton stop

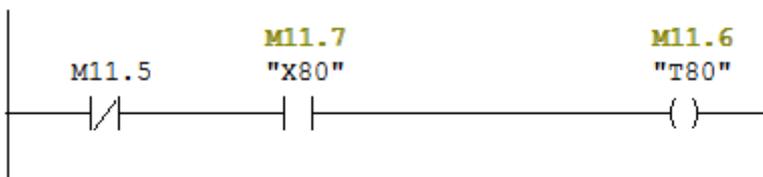


## ❖ Programme ladder du système du transfert :

Réseau 1 : équation de la transition "T0"

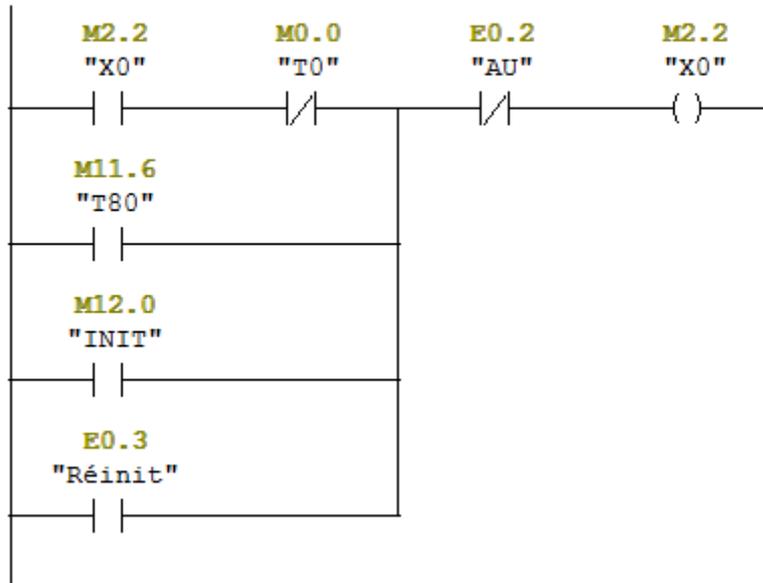


Réseau 2 : équation de la transition "T80"

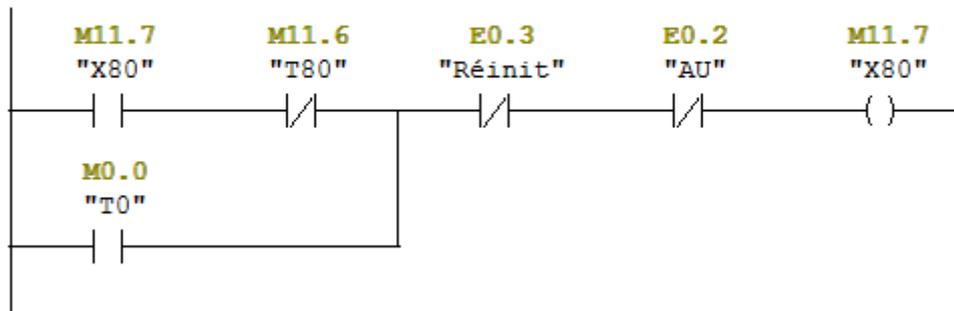


# Programme

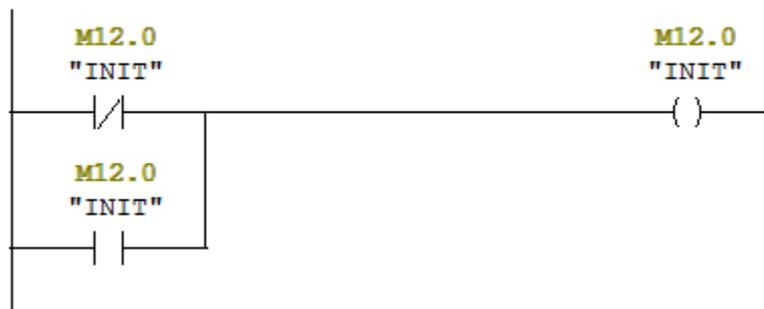
Réseau 3 : équation d'étape "X0"



Réseau 4 : équation d'étape "X80"



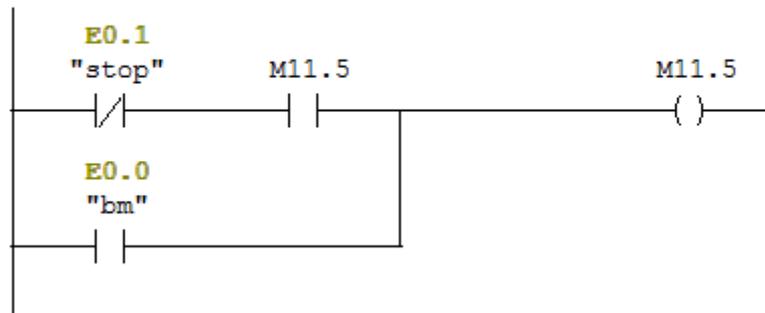
Réseau 5 : initialisation d'étape "X0"



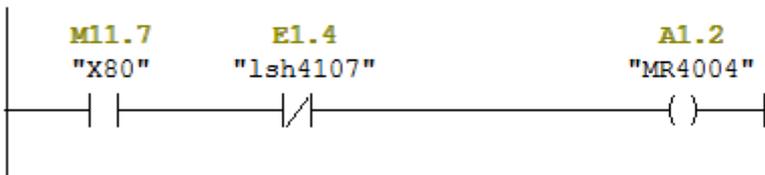
# Programme

---

Réseau 6 : bouton stop



Réseau 7 : équation d'action "MR41033"



Réseau 8 : équation d'action "MR4004"

