

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique
Département d'Automatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme

D'INGENIEUR D'ETAT EN AUTOMATIQUE

Thème

*CONCEPTION ET REALISATION D'UNE
REGULATION D'UN FOUR DE
CEMENTATION A LA SNVI.*

Proposé par :

M^r. HADJ ALI

Présenté par :

M^r. HALLI Hocine

M^{lle}. BOURAHLA Faiza

Dirigé par :

M^r. HASNAOUI

Soutenu le **08/07/09** Devant le jury d'examen composé de :

M^r MAIDI.

Mr AKROUF.

M^{elle} CHILALI.

Promotion 2009

Remerciements

Que tous ceux qui nous ont assistés pour la réalisation de ce mémoire trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Nous tenons à remercier Monsieur M. HASNAOUI pour avoir accepté de nous encadrer, et nous remercions aussi tous les enseignants du département automatique pour leurs précieux conseils généreusement prodigués.

Nos remerciements les plus vifs vont également à l'ensemble des cadres et employés de la DVI (SNVI). En particulier notre encadreur M^R HADJ ALI Kamel, M^R MADANI, M^R BEN ALI. Pour leur assistance et leur disponibilité à tous les moments.

Nous tenons également à remercier les membres du jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.

Sommaire

| | |
|--|--|
| Introduction générale..... | 1 |
| Chapitre I | Etude technologique du four de cémentation (MECI) |
| I.1 Introduction..... | 2 |
| I.2 Cémentation | 2 |
| I.2.1 Définition | 2 |
| I.2.2 Principe | 2 |
| I.2.3 Procédé de cémentation | 3 |
| I.2.4 Processus de décomposition du Perlithol..... | 3 |
| I.3 Structure et constituants du four | 3 |
| I.3.1 Caractéristiques du four | 3 |
| I.3.2 Schéma du four | 4 |
| I.3.3 Nomenclature | 4 |
| I.3.4 Cabine de puissance | 4 |
| I.3.5 Cabine de commande | 6 |
| I.4 Fonctionnement du four..... | 7 |
| I.4.1 Vérification avant la mise en marche..... | 7 |
| I.4.2 Mise en chauffe..... | 8 |
| I.4.3 Chargement | 9 |
| I.4.4 Conduite du four | 9 |
| I.4.4.1 Egalisation des températures..... | 9 |
| I.4.4.2 Calibration..... | 10 |
| I.4.5 Contrôle de profondeurs cémentées..... | 11 |
| I.4.6 Déchargement | 11 |
| I.5 Partie électrique | 11 |
| I.5.1 Fonctionnement..... | 19 |
| I.5.1.1 Mise en chauffe..... | 19 |
| I.5.1.2 Mise en régulation de l'atmosphère..... | 19 |
| I.5.1.3 Utilisation du doseur DR | 20 |
| I.5.1.4 Levage du couvercle | 21 |
| Conclusion..... | 21 |

Chapitre II **Description de la partie régulation du système existant**

| | |
|---|----|
| II.1 Introduction | 22 |
| II.2 Régulation de la température | 22 |
| II.2.1 Canne pyrométrique | 22 |
| II.2.2 Les thermocouples | 22 |
| II.2.3 Plages de température | 23 |
| II.3 Types des régulateurs utilisés | 23 |
| II.3.1 Présentation du régulateur électronique à deux positions | 24 |
| II.3.1.1 Résumé des spécifications techniques | 24 |
| II.3.1.2 Repérage des éléments..... | 25 |
| II.3.1.3 Principe de fonctionnement..... | 26 |
| II.3.2 Présentation du régulateur électronique STATICOR | 29 |
| II.4 Régulation de l'atmosphère | 30 |
| II.4.1 Élément détecteur | 30 |
| II.4.2 Régulateur..... | 31 |
| II.4.3 Prévision de la mesure | 31 |
| Conclusion..... | 35 |

Chapitre III **Modélisation du système**

| | |
|--|----|
| III.1 Introduction | 36 |
| III.2 Généralités..... | 36 |
| III.2.1 Modèles | 36 |
| III.2.2 Types de modèles | 36 |
| III.2.3 Choix de la structure du modèle..... | 37 |
| III.3 Principe d'identification | 37 |
| III.3.1 Définition | 37 |
| III.3.2 Méthodes d'identification..... | 38 |
| III.3.2.1 Méthodes graphiques..... | 38 |
| III.3.2.2 Méthodes non récursives | 38 |
| III.3.2.3 Méthodes récursives | 38 |
| III.4 Identification du four..... | 38 |
| III.4.1 Etapes d'une bonne identification | 38 |
| III.4.2 Identification par la méthode graphique..... | 39 |
| III.4.3 Application de la méthode..... | 40 |
| III.4.4 Système du premier ordre | 41 |

| | |
|--|----|
| III.4.4.1 Points caractéristiques de la réponse indicielle | 42 |
| III.5 Validation du modèle | 43 |
| III.6 Calcul du correcteur | 43 |
| III.6.1 Objectifs de la correction | 43 |
| III.6.2 Démarche de synthèse des correcteurs | 44 |
| III.6.3 Correction d'un système à retard | 44 |
| III.6.4 Compensation des temps morts | 44 |
| III.6.5 Calcul des paramètres du régulateur PID | 45 |
| III.6.6 Méthode de Ziegler-Nichols | 45 |
| III.6.7 Calcul des paramètres PI | 46 |
| III.6.8 Partie simulation | 47 |
| Conclusion | 49 |

Chapitre IV

Etude du nouveau matériel de régulation

| | |
|---|----|
| IV.1 Introduction | 50 |
| IV.2 Types et actions correctives des régulateurs | 50 |
| IV.2.1 Régulateur Tout ou Rien | 50 |
| IV.2.2 Régulateur PID | 51 |
| IV.2.3 Influence des actions | 51 |
| IV.2.3.1 Action proportionnelle | 51 |
| IV.2.3.2 Action intégrale | 51 |
| IV.2.3.3 Action dérivée | 52 |
| IV.2.3.4 Action PID | 52 |
| IV.3 Généralités sur la logique floue | 52 |
| IV.3.1 Principe de la logique floue | 53 |
| IV.3.1.1 Variables floues | 53 |
| IV.3.1.2 Règles d'inférence | 53 |
| IV.3.1.3 Opérateur flous | 53 |
| IV.3.2 Structure d'un régulateur flou | 53 |
| IV.3.2.1 Fuzzyfication | 54 |
| IV.3.2.2 Règles d'inférence | 54 |
| IV.3.2.3 Défuzzyfication | 54 |
| IV.3.3 Performances et réglage d'un régulateur flou | 54 |
| IV.4 Réglage adaptatif | 55 |
| IV.5 Description du régulateur de procédé Ascon X5 | 55 |

| | |
|--|----|
| IV.5.1 Définition des entrées/sorties | 55 |
| IV.5.2 Connexions électriques | 57 |
| IV.5.3 Exemple d'un schéma de câblage | 58 |
| IV.5.4 Utilisation..... | 58 |
| IV.5.4.1 Fonctions des touches et de l'afficheur en mode utilisation | 58 |
| IV.5.4.2 Fonction des touches et de l'afficheur en mode programmation . | 59 |
| IV.5.5 Procédure d'autoréglage du régulateur | 59 |
| IV.5.5.1 Fuzzy tuning..... | 59 |
| IV.5.5.2 Adaptative tuning..... | 60 |
| IV.5.6 Liaisons séries | 61 |
| IV.5.6.1 Profibus DP Esclave..... | 61 |
| IV.5.6.2 Modbus Esclave | 61 |
| IV.5.6.3 Modbus Maitre/ Package mathématique..... | 61 |
| IV.5.7 Procédure de configuration | 62 |
| IV.5.8 Commande du régulateur | 62 |
| IV.6 Description du régulateur Ascon M3 | 63 |
| IV.6.1 Définition des entrées/sorties | 63 |
| IV.6.2 Connexions électriques | 64 |
| IV.6.3 Exemple d'un schéma de câblage | 64 |
| IV.7 Description de l'enregistreur..... | 65 |
| IV.7.1 Généralités | 65 |
| IV.7.2 Conditions de fonctionnement | 65 |
| IV.7.3 Mode de réglage de données | 65 |
| IV.8 Description du Protherm 50 | 66 |
| IV.8.1 Généralités | 66 |
| IV.8.2 Mesure..... | 67 |
| IV.8.3 Calcul | 67 |
| IV.8.4 Régulation | 67 |
| IV.8.5 Configuration | 67 |
| IV.8.6 Caractéristiques techniques..... | 67 |
| IV.8.7 Schéma de raccordements électriques..... | 68 |
| IV.9 Description de la sonde à oxygène CS87..... | 68 |
| IV.9.1 Généralités | 68 |
| IV.9.2 Caractéristiques techniques..... | 69 |

| | |
|---|----|
| IV.9.3 Principe de fonctionnement | 69 |
| IV.9.4 Schéma de raccordements électriques..... | 69 |
| IV.9.5 Schéma de raccordements pneumatiques..... | 70 |
| IV.9.6 Remarque concernant la purge de la sonde..... | 70 |
| IV.9.7 Vue d'ensemble de la sonde..... | 70 |
| IV.10 Constituants du Rack et ses raccordements | 71 |
| IV.10.1 Protherm 50..... | 71 |
| IV.10.2 Automate WAGO | 71 |
| IV.10.2.1 Schéma d'alimentation et de connexion WAGO- Protherm..... | 72 |
| IV.10.2.2 Module WAGO à deux sorties relais | 72 |
| IV.10.3 Pompe à vide..... | 73 |
| IV.10.4 Contrôleurs de débit | 73 |
| IV.10.5 Alimentation du Rack | 73 |
| Conclusion..... | 74 |

Chapitre V

Conception et réalisation de la régulation

| | |
|--|-----------|
| V.1 Introduction | 75 |
| V.2 Régulation de température..... | 75 |
| V.2.1 Fonction du régulateur Ascon X5 | 75 |
| V.2.2 Fonction du régulateur Ascon M3..... | 75 |
| V.2.3 Fonction de l'enregistreur YOKOGAWA | 75 |
| V.3 Régulation de l'atmosphère..... | 76 |
| V.3.1 Fonction de la sonde à oxygène | 76 |
| V.3.2 Fonction du Protherm..... | 76 |
| V.4 Conception..... | 76 |
| V.4.1 Implantation du circuit de puissance | 77 |
| V.4.2 Implantation du circuit de commande | 77 |
| V.4.3 Fonctionnement | 88 |
| V.4.3.1 Mise en chauffe | 88 |
| V.4.3.2 Injection liquide..... | 88 |
| V.4.3.3 Levage du couvercle..... | 89 |
| Conclusion..... | 89 |
| Conclusion générale | 90 |

Introduction

Une entreprise industrielle est une unité économique de production dont la mission est d'assurer la production des biens (produits) adaptés aux besoins du marché, tout en assurant des bénéfices et de la pérennité de l'entreprise.

Après 1962, l'industrie en Algérie était au stade embryonnaire se limitant aux besoins de l'époque.

En 1967 fut créée la SONACOME regroupent en son sein 11 entreprises qui deviendront autonomes à partir de 1980, ce choix organisationnel a été confirmé par le conseil des ministres, le 06 juillet 1981 donnant ainsi naissance à la Société Nationale des Véhicules Industriels(SNVI).

La SNVI est née à l'issue de la restructuration de la SONACOME par décret n° 81-342 du 12 décembre 1981, qui lui consacra le statut d'entreprise socialiste à caractère économique régie par les principes directeurs de la gestion socialiste des entreprises (GSE) en rigueur au plan institutionnel.

A partir de 1995, la SNVI change de statut juridique pour devenir une Entreprise Publique Economique (EPE), régie droit commun ; la SNVI est alors érigée en société par action (SPA), au capital social de 2,2 milliards de dinars.

➤ **Objet social**

- La SNVI recherche un développement de la production, de l'exportation, de la distribution et de la maintenance des véhicules industriels.

- Par véhicules industriels il faut entendre :

- ✓ Les camions.
- ✓ Les autobus.
- ✓ Les autocars.
- ✓ Les camions spéciaux.
- ✓ Les remorques et semi-remorques.

➤ **Siege social**

- Son siège est situé à Rouiba- Alger, Route Nationale n° 05.BP 153.

➤ **Organisation de la SNVI**

- La SNVI adopte le modèle organisationnel uniforme structuré en cohérence parfaite avec les objectifs du contrat de performances de la manière suivante :

- Une assemblée des travailleurs soutenue par des commissions permanentes,
- Un conseil de surveillance
- Un Directeur Général Unique de l'Entreprise épaulé par des Cadres Dirigeants, des Directeurs d'Unités (commerciales, production et Prestation de Service).

Pour accomplir ses différentes missions, la S.N.V.I a développé toute une variété d'activités qu'on peut regrouper en deux grandes catégories homogènes : les activités opérationnelles et les activités fonctionnelles.

En 2000, la réorganisation de la SNVI et la création de trois divisions, donnent une nouvelle configuration comme suit :

- Direction des Ressources Humaines.
- Direction Comptabilité et Finance.
- Direction de l'administration et Moyens.
- Direction commerciale, toujours avec les anciennes unités commerciales.
- Direction du Partenariat et de la Restructuration Industrielle.
- Direction de l'Audit, Contrôle de Gestion et de l'Organisation.
- Division des Véhicules Industriels.
- Division carrosseries Industrielles qui chapeaute les deux unités de carrosseries (Rouiba et Tiaret).
- Division Fonderie de Rouiba.

➤ **Présentation de la Division des Véhicules Industriels (DVI)**

La DVI est une unité de production des véhicules industriels (camions, cars, bus, minicars, minibus). Elle regroupe six bâtiments de production dont trois affectés à l'usinage et trois autres au montage.

- Centres de production d'usinage :

- Mécanique (ME).
- Forge (FO).
- Atelier de rénovation machines (ARM).

- Centres de production du montage

- Tôlerie Emboutissage (TE).
- Montage Camion (MC).
- Montage Autobus (MA).

➤ **Présentation du bâtiment mécanique**

C'est un bâtiment de production affecté à l'usinage des pièces mécaniques, le traitement thermique, ponts, et boîtes à vitesse.

L'usinage de ces organes est réalisé sur 568 machines.

➤ **Présentation de l'atelier de traitement thermique**

La division de l'atelier de traitement thermique est divisée en 06 sections :

- **La section 112** : est un secteur de cémentation composé de 04 fours MECI et 04 cellules de refroidissement.

- **La section 113** : est un secteur de trempe comprend :

- Un four de trempe N133 (semi automatique).
- Un four sole tournante (trempe unitaire des pièces délicates).
- Un four de trempe verticale (homocarb).
- Deux générateurs de production d'atmosphère de protection.
- Une ligne de lavage et revenu.
- Trois bacs stefi (bac à l'huile, bac à eau et bac de lavage).
- Deux grenailleuses (à table rotative et à tonneau).

- **La section 115** : est un secteur de redressage composée de :

- Deux presses hydrauliques de 80 et 50 tonnes, pour le redressage des pièces déformées lors des traitements.
- Deux fours à bain de plomb.

- **La section 116** : est un secteur de sablage et métallisation, elle comporte une cabine de sablage et de métallisation (métallisation est une opération qui consiste à déposer sur des pièces une matière résistante aux frottements et à l'usure). Elle comporte aussi deux machines de trempes par induction haute fréquence qui permet la trempe superficielle des pièces.

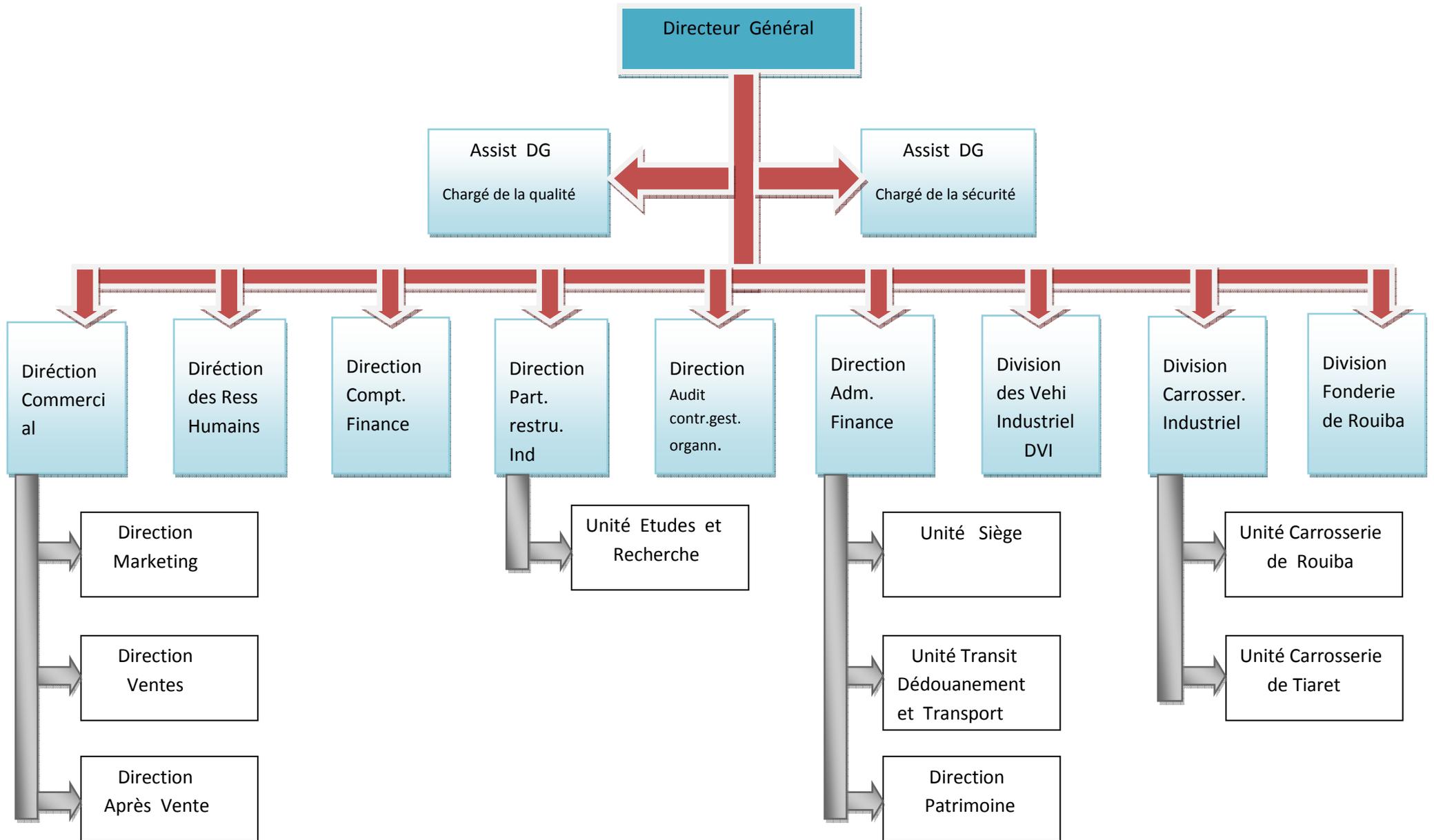
- **La section 118** : comporte :

- Deux machines de trempes superficielle au chalumeau.
- Un four à bain de sel pour différents traitements à l'état liquide.
- Une ligne de phosphatation de deux types :- Anti corrosion.

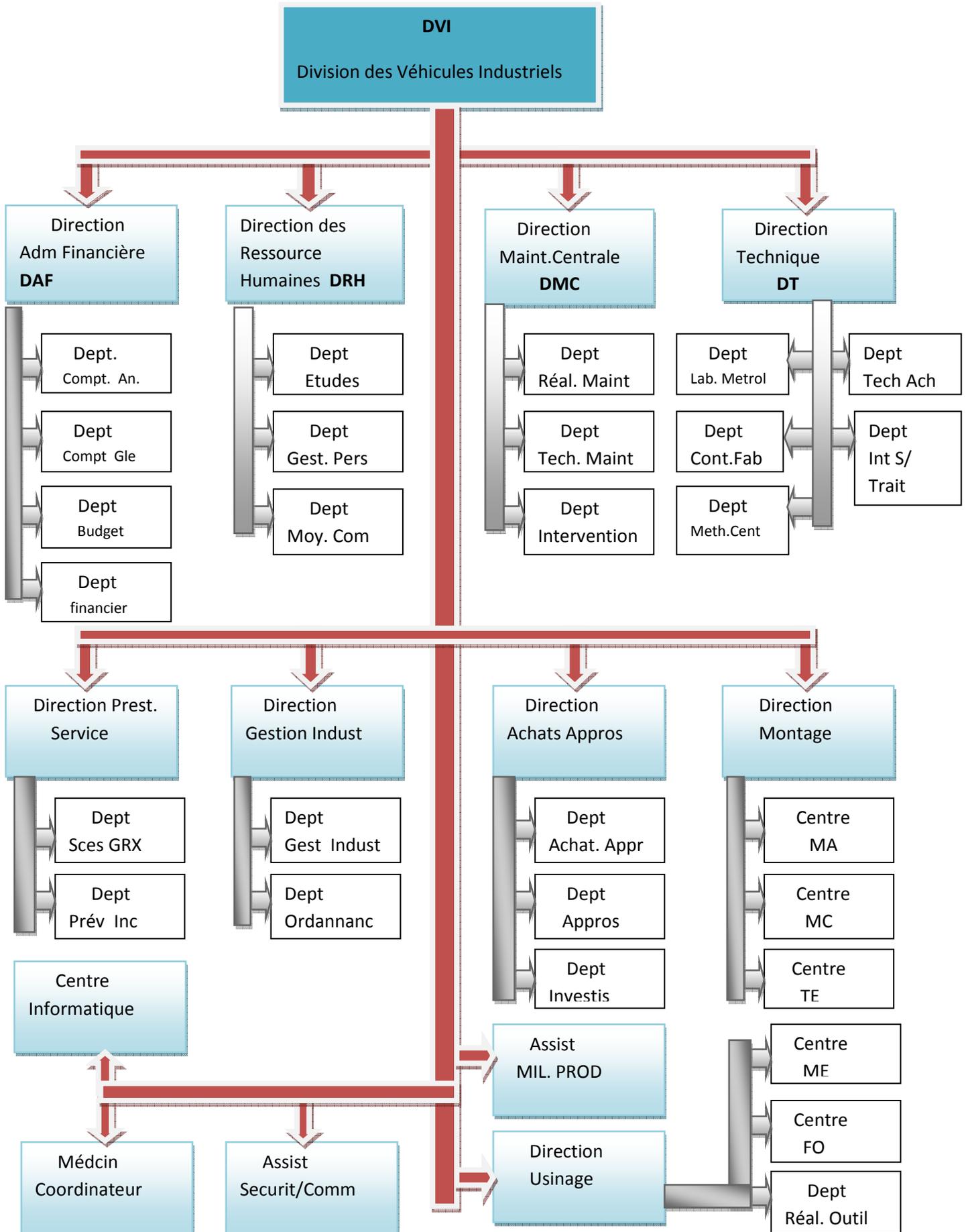
- Traitement anti grippage.

- **La section 236** : est un secteur de contrôle, comporte :
 - Deux machines de contrôle de dureté (Brinell et Rockwell).
 - Metalloscope qui élimine les pièces qui présentent les défauts de trempe énergétique (fissures....).

Organigramme de la SNVI :



Organigramme de la DVI :



Introduction Générale

Introduction générale

Les contraintes croissantes de rentabilités et d'amélioration de la productivité ont conduit à la réalisation de plus en plus des systèmes de production plus puissants et hautement fiables.

Les systèmes complexes utilisés dans les sites industriels pour différentes productions, soit disant par raison du vieillissement, demandent et nécessitent une rénovation, car les avantages de la technologie d'aujourd'hui par rapport à celle du passé nous offrent la possibilité d'augmenter la fiabilité et d'améliorer les performances de ces systèmes afin de réaliser leurs fonctions.

La Société Nationale des Véhicules Industriels (SNVI) nous a offert une occasion de réaliser une régulation pour un four de cémentation à l'aide d'un nouveau matériel plus sophistiqué.

Pour ce faire, notre travail effectué et organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous montrons l'étude technologique du four de cémentation (MECI) ainsi que son fonctionnement.
- Au deuxième chapitre, nous intéressons à la partie régulation de ce système, pour comprendre le fonctionnement et le rôle de chaque appareil.
- Le troisième chapitre est, quant à lui, consacré à l'identification du four et de calculer un correcteur.
- Dans le quatrième chapitre, nous étudierons en général le nouveau matériel de régulation acquis par la SNVI.
- La réalisation de cette régulation est décrite au cinquième chapitre, en se basant surtout sur la partie électrique.
- Nous terminons notre travail par une conclusion générale, un bilan et des perspectives sur le travail réalisé.

Chapitre I

*Etude technologique du four
de cémentation (MECI)*

I 1 Introduction

En raison de l'augmentation des coûts de la main d'œuvre, de l'énergie et des matières premières, il existe une tendance nette à prolonger la durée de vie des pièces, tout en augmentant leurs performances, afin de faire à une compétitivité dans ce domaine.

Des efforts sont consentis pour moderniser ces installations et les rendre beaucoup plus performantes et rentables.

Depuis la création de l'atelier traitements thermiques à la SNVI les opérations de traitements thermiques, thermochimiques, les traitements de surfaces de protection y sont réalisés.

▪ **Traitements thermiques :**

Sont des opérations de chauffage et de refroidissement, destinés à modifier les propriétés et les caractéristiques mécaniques d'un acier, de manière à adapter son aptitude à un emploi déterminé.

▪ **Traitements thermochimiques :**

On donne le nom de traitements thermochimiques à la saturation superficielle de l'acier en tel ou tel élément (exemple en carbone, azote, aluminium, chrome, etc....), par diffusion à l'état atomique, à partir d'un milieu extérieur porté à une température élevée.

Il consiste à chauffer une pièce jusqu'à la température donnée dans un milieu solide, gazeux ou liquide, qui dégage facilement l'élément de diffusion à l'état atomique, à le maintenir à cette température, puis à le refroidir.

- Le four à étudier est destiné à faire une cémentation gazeuse.

I.2 Cémentation

I.2.1 Définition

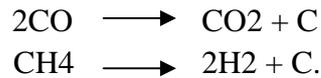
La cémentation est un procédé thermochimique, consiste à enrichir en carbone la couche superficielle d'une pièce en acier à bas carbone ; l'opération se déroule entre 880-920 °C, dans un milieu capable de lui céder du carbone.

I.2.2 Principe

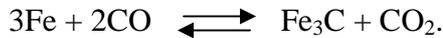
Le transfert du carbone dans l'acier s'effectue pratiquement en phase gazeuse.

Les éléments de base doivent être des hydrocarbures de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène CO, CO₂, H₂O, CH₄ et N₂.

La réaction principale qui assure la carburation et la dissociation du méthane et de l'oxyde du carbone :



La réaction de cémentation est :



I.2.3 Procède de cémentation

L'atmosphère cémentante utilisée est un gaz obtenu par craquage d'une molécule (dans notre cas on utilise un liquide de composition déterminée (alcool isopropylique + hydrocarbure)) sur une plaque située à l'intérieur du moufle du four, donc à la température adaptée pour le traitement.

Le gaz mis en mouvement par un ventilateur puissant suit un circuit déterminé. Après avoir été chauffé au contact du moufle, il passe sur toutes les pièces auxquelles il cède une partie de sa chaleur. L'étanchéité de ces fours étant un facteur important doit faire l'objet d'une surveillance continue.

I.2.4 Processus de décomposition du Perlithol

Le produit utilisé est le Perlithol qui est un produit organique composé de 80% d'alcool isopropylique et 20% de white spirit.

Le Perlithol injecté arrive sur une plaque de craquage en oxyde de nickel qui est un catalyseur, comme le four est en haute température on a donc le passage de la phase liquide à la phase gazeuse. Ce craquage donne naissance à une atmosphère cémentante contenant du CO (20%), CH₄ (38%), CO₂ (0.5%), H₂ (40%), N₂ (1.5%), et traces de H₂O. l'élément essentiel dans la phase active est le CO.

I.3 Structure et constituants du four

Le four Meci MICROCARB est un four puits à résistances électriques et à convection forcée utilisée pour la cémentation gazeuse des aciers.

I.3.1 Caractéristiques du four

- Température maximale = 950 °C.
- Température moyenne de traitement = 900-920 °C.
- Température minimale d'injection de liquide = 650 °C.
- Température minimale d'introduction du carbohm = 820 °C.

- Température minimale de calibration = 870 °C.
- Charge maximale = 800 Kg de pièces.
- Hauteur = 3 m.
- Hauteur utile 1,525 m.
- Diamètre intérieur = 1,50 m.
- Diamètre intérieur utile = 0,790 m.
- Puissance 126 KW.

I.3.2 Schéma du four : voir la figure I.1.

I.3.3 Nomenclature

| Indice | Désignation |
|--------|--|
| 01 | Potence de levage. |
| 02 | Bras de levage. |
| 03 | Conduite arrivée du Perlithol. |
| 04 | Elément détecteur. |
| 05 | Couvercle. |
| 06 | Carcasse. |
| 07 | Briques Réfractaires. |
| 08 | Résistances Electriques de chauffage. |
| 09 | Support du Panier. |
| 10 | Moufle. |
| 11 | Turbine. |
| 12 | Moteur Electrique actionnant le ventilateur. |
| 13 | Panier. |
| 14 | Plaque de craquage du Perlithol. |
| 15 | Canne Pyrométrique. |
| 16 | Tuyau échappement du gaz. |
| 17 | Moteur Electrique de levage couvercle. |

Notre four est relié à une armoire de deux cabines :

I.3.4 Cabine de puissance : Elle comporte :

- Un sectionneur.
- Un disjoncteur.
- Des transformateurs abaisseurs de tension.
- Des contacteurs four.
- Des fusibles.
- Des contacteurs et discontacteurs...

La figure I.2 montre cette cabine de puissance.

FOUR ELECTRIQUE MICROCARB

Coupe générale

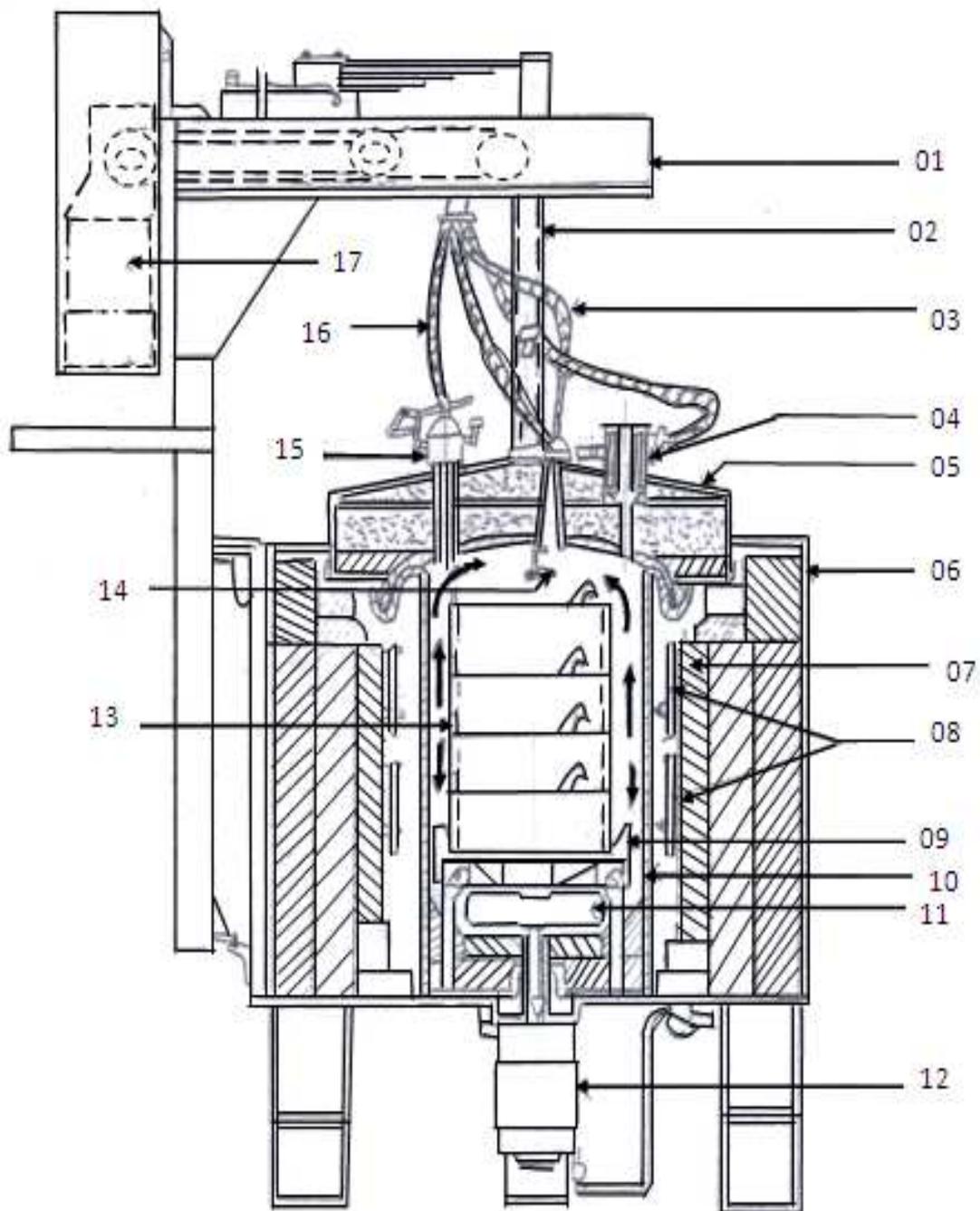


Figure I.1 Coupe générale du four électrique MECI

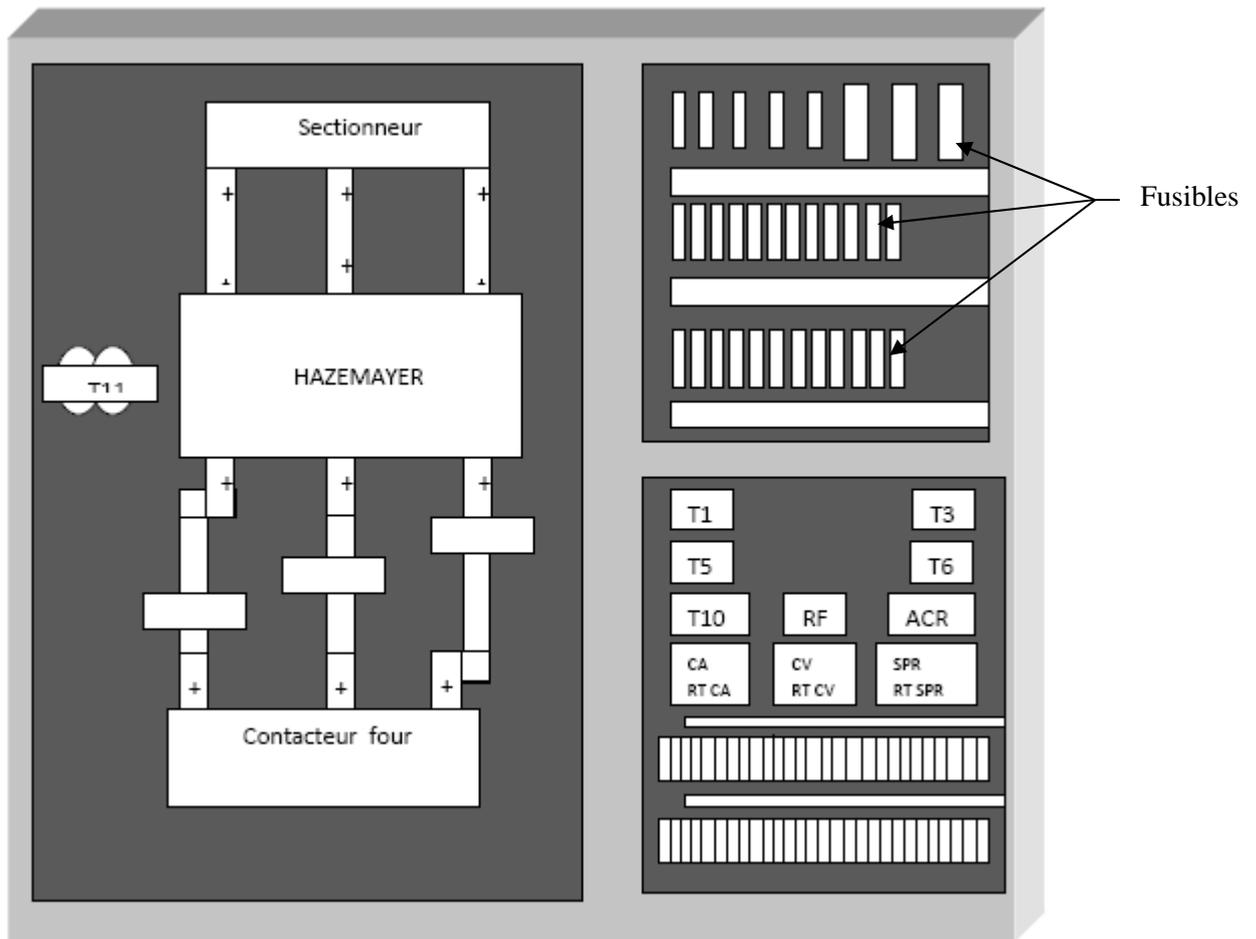


Figure I.2 Cabine de puissance du four.

I.3.5 Cabine de commande : Elle comporte :

- Deux enregistreurs.
- Deux régulateurs.
- Des amplificateurs.
- Deux pompes.
- Des relais.
- Des électrovannes.

L'implantation mécanique de la cabine du four est représentée par la figure I.3

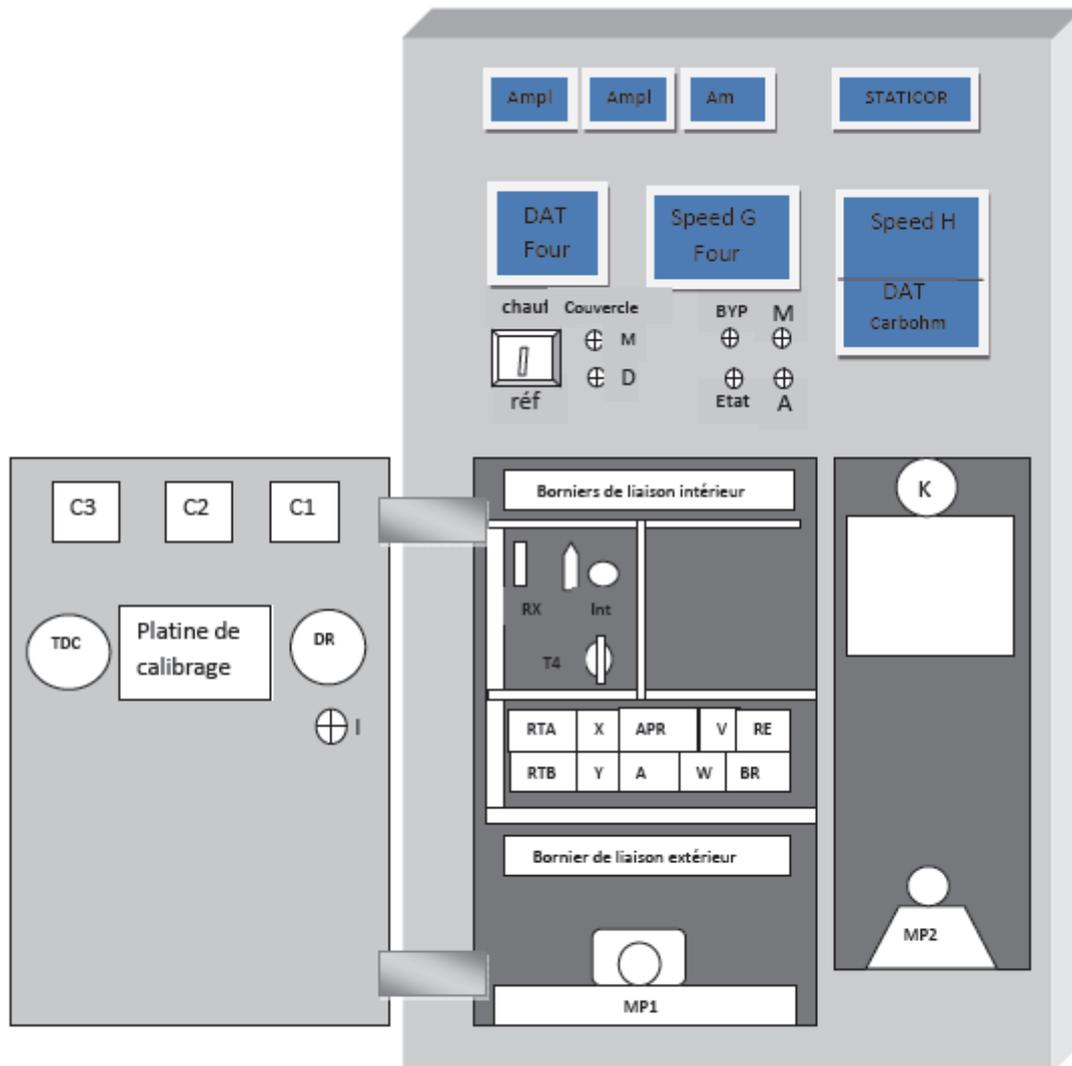


Figure I.3 Cabine de commande du four.

I 4. Fonctionnement du four

Dans notre étude le contrôle du potentiel carbone de l'atmosphère se fait à l'aide du dispositif MICROCARB dont l'élément sensible est appelé CARBOHM. L'étalonnage de cet élément s'appelle : « CALIBRATION ».

I.4.1 Vérification avant la mise en marche

On s'assure que le débit d'huile de lubrification de la turbine est de 4 à 5 gouttes par minute, et que l'eau de refroidissement de la turbine et du carbohm s'écoule normalement.

On vérifie que le régulateur de sécurité TROP CHAUD est sur 1000 °C.

On s'assure que le commutateur de sécurité est sur « ARRET », que le commutateur « AUTO-MANUEL » est sur MANUEL, ainsi que les volets de refroidissement sont fermés.

On vérifie le réglage de la vanne « REFOULEMENT A L'ATMOSPHERE » et que la vanne « ASPIRATION D'AIR » est ouverte.

On s'assure que la soupape de sécurité est ouverte.

I.4.2 Mise en chauffe

Après avoir mettre l'armoire de puissance sous tension et que le sectionneur général extérieur soit fermé :

- Mettre l'interrupteur général de l'armoire PYRO sur la position « FOUR ». Les voyants four et pyromètre doivent s'allumer et les trois phases sur les ampèremètres doivent être équilibrés.
- Faire tourner le ventilateur, couvercle ouvert, pendant 30 minutes, pour chasser les gaz et s'assurer que la turbine fonctionne normalement.

✓ Remarque

L'ouverture avec pivotement du couvercle entraîne l'arrêt de la turbine.

- Afficher la température de traitement sur le régulateur et s'assurer que celui-ci fonctionne (boutons régulation et mesure).
- A partir de 650 °C le voyant «AUTORISATION INJECTION LIQUIDE » s'éclaire, et on peut injecter le liquide.

Sans vouloir définir la composition idéale de l'atmosphère, il faut souligner toutefois que sa valeur cémentante est variable et dépend de la propreté des pièces à cémenter, de la température du four et également du poids et de la surface des pièces à traiter, ce qui nécessite l'obligation d'avoir la possibilité de faire varier le débit du liquide injecté goutte à goutte dans le four.

➤ Deux méthodes sont appliquées pour injecter le liquide :

1- Par injection intermittente du liquide 'commandée par une minuterie réglable' ce qui permet une diffusion homogène du carbone dans la pièce à traiter pendant l'arrêt d'injection du liquide (3 à 5 minutes d'injection pour 5 à 7 minutes d'arrêt de la pompe suivant les charges en traitement).

2- Par système électronique basé sur la carburation et la décarburation d'un fil de 1/10 mm de diamètre qui commande l'injection du liquide.

Pour l'injection de liquide, l'interrupteur « marche continu (MC)-marche intermittente(MI) » est sur MC et le débit de la pompe est réglé en plaçant le repère sur la position correspondante à 0.6 l/h.

- Actionner la pompe en appuyant sur le bouton poussoir (pompe marche).
- Après quelques minutes d'injection, fermer la soupape de sécurité.
- Lors de la mise en route de la pompe, le voyant « sécurité CARBOHM » s'éclaire, dont sa protection est assurée par le courant gazeux d'azote hydrogéné 75-25.
 - Pression d'azote hydrogéné 0.15 bar.
 - Débit d'azote hydrogéné 50 l/h.
- Le four peut être chargé lorsque la température de traitement est atteinte.

I.4.3 Chargement

Avant l'ouverture du couvercle la pompe d'injection du liquide doit être arrêtée (bouton poussoir ARRET POMPE).

- Soulever le couvercle (bouton MONTEE COUVERCLE) et le faire pivoter puis introduire la charge.
- Fermer le couvercle (bouton DESCENTE COUVERCLE) suivi de l'introduction de quatre témoins de contrôle des profondeurs cémentées dans la soupape de sécurité.

I.4.4 Conduite du four

Suite au chargement la température du four peut descendre au-dessous de 650 °C. Le voyant « AUTORISATION INJECTION DU LIQUIDE » s'éteint ; Le pivotement arrête automatiquement la pompe.

Dés qu'il se sera allumé :

- Remettre la pompe en marche en vérifiant que le débit est de 0,6 l/h et que l'interrupteur MC-MI est sur MC.
- Vérifier que le dispositif de protection du carbohm fonctionne : voyant « SECURITE CARBOHM » allumé. Ainsi que les débitmètres AIR et GAZ du four doivent être à zéro.

Lorsque le four est en température depuis une dizaine de minutes, égaliser les températures.

I.4.4.1 Egalisation des températures

a) En fonctionnement normal le régulateur est connecté à la canne-pyrométrique située au fond du four (TC FOND).

b) A l'aide de l'inverseur de couple, (bouton TC FOND - TC COUVERCLE) sur TC-COUVERCLE, repérer la température au niveau du couvercle, si elle est supérieure à celle du fond du four fermer légèrement les volets de refroidissement dans le cas contraire les ouvrir légèrement.

c) 15 mn après cette opération ; vérifier l'égalité des températures – un écart de 15 °C est toléré.

Lorsque le four est en température depuis 1 h ; Vérifier que la cémentation a démarré en contrôlant le 1^{er} témoin et descendre le carbohm en procédant comme suit :

- Interrupteur MARCHE MANUELLE-MARCHE AUTO sur MARCHE AUTO.
- Appuyant sur le bouton « BY PASS » les voyants « Automatique et « Carbohm fonction » s'allument, le voyant « Sécurité carbohm » s'éteint, le débitmètre revient à zéro.
- Régler le débitmètre « GAZ du FOUR » à 80 l/h et le potentiel en carbone à la valeur indiquée sur les fiches d'instruction.
- Augmenter le débit de la pompe : repère correspondant à 1,2 l/h.

Lorsque la teneur en carbone enregistrée est stabilisée depuis 30 mn, enclencher une calibration.

I.4.4.2 Calibration

- Cette opération est destinée à régénérer le carbohm et à l'étalonner, celle-ci s'effectue en début de chauffe et doit être renouvelée si la chauffe dépasse 8 h. Il ne faut pas faire de calibration :

- En dessous de 870 °C.
- Lorsque la température n'est pas constante.

✓ Remarque

Il ne faut pas ouvrir la soupape (retrait de témoins) pendant la calibration.

- Lorsque la pompe d'injection du liquide est arrêtée, voyant éteint, sur le régulateur de l'enregistreur du pourcentage de carbone on démarre l'étalonnage.

- Une minuterie « FIN D'ETALONNAGE » sert à ajuster le temps d'étalonnage est réglée sur 3 mn. En effet le temps d'étalonnage doit être compris entre 10 et 15 mn. Un étalonnage effectué en moins de 10 mn doit être répété et espacé de 15 mn.

Il n'est pas nécessaire de répéter un étalonnage trop long :

- Si la calibration est trop longue, augmenter le débit d'air.
- Si la calibration est trop courte, augmenter le débit d'azote –hydrogéné.

✓ Remarque

Pendant l'étalonnage, la pompe d'injection du liquide est commandée automatiquement suivant un cycle de 20 s de marche et 40 s d'arrêt.

I.4.5 Contrôle des profondeurs cémentées

En début de traitement on a introduit 04 témoins dans la cheminée.

On avait vérifié le départ de cémentation sur le 1^{er} témoin, après 1h de maintien. Le 2^{ème} témoin sera retiré après un nombre d'heure égal à la moitié de l'épaisseur visée :

Exemple : Ep. 7-9/10 —————> 4 h.
 13-15/10 —————> 7 h.

- L'épaisseur lue servira à évaluer l'heure de retrait du 3^{ème} témoin en moyenne, on évalue la pénétration à 1/10 à l'heure.

- Le 4^{ème} témoin ne servira qu'au cas où l'épaisseur lue sur le 3^{ème} témoin est insuffisante et nécessite un maintien supplémentaire en température. Il pourra également servir de confirmation de l'épaisseur lue sur le 3^{ème}.

- Pour le contrôle de la profondeur cémentée, se référer aux consignes de contrôle.

I.4.6 Déchargement

Lorsque la profondeur de la cémentation est atteinte, ouvrir les volets de refroidissement.

- 10 mn avant le déchargement (vers 790 - 800 °C) relever le carbohm en mettant le commutateur marche sur MANUEL.

- On arrête la pompe et après avoir préparé la cellule de refroidissement, on soulève le couvercle (bouton MONTEE COUVERCLE et on le pivote puis on extrait la charge et on la place rapidement dans la cellule de refroidissement.

- On referme le couvercle et les volets de refroidissement, ainsi que la soupape de sécurité puis on met la pompe en route.

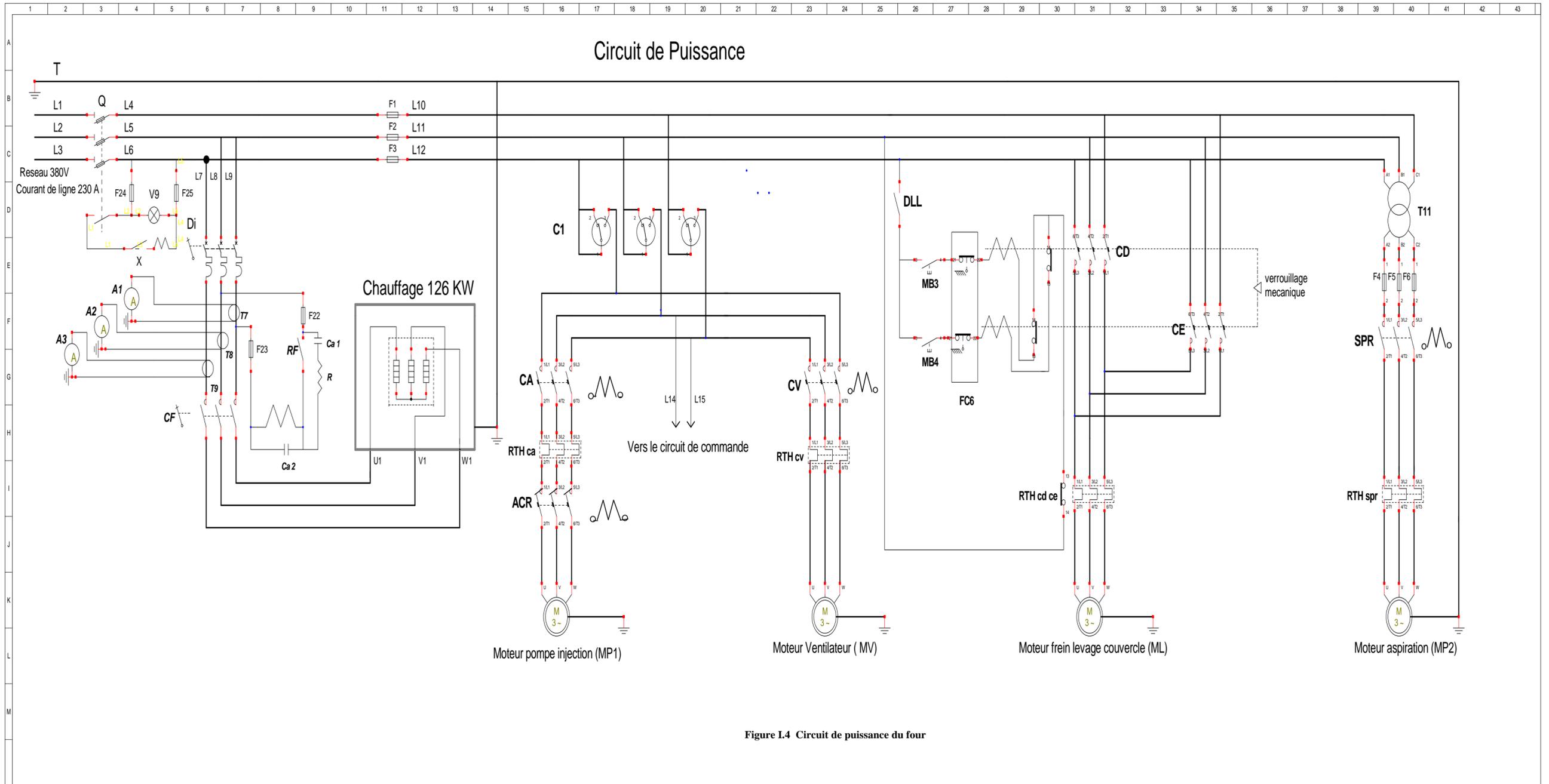
Le four peut être rechargé dès que sa température de traitement est atteinte.

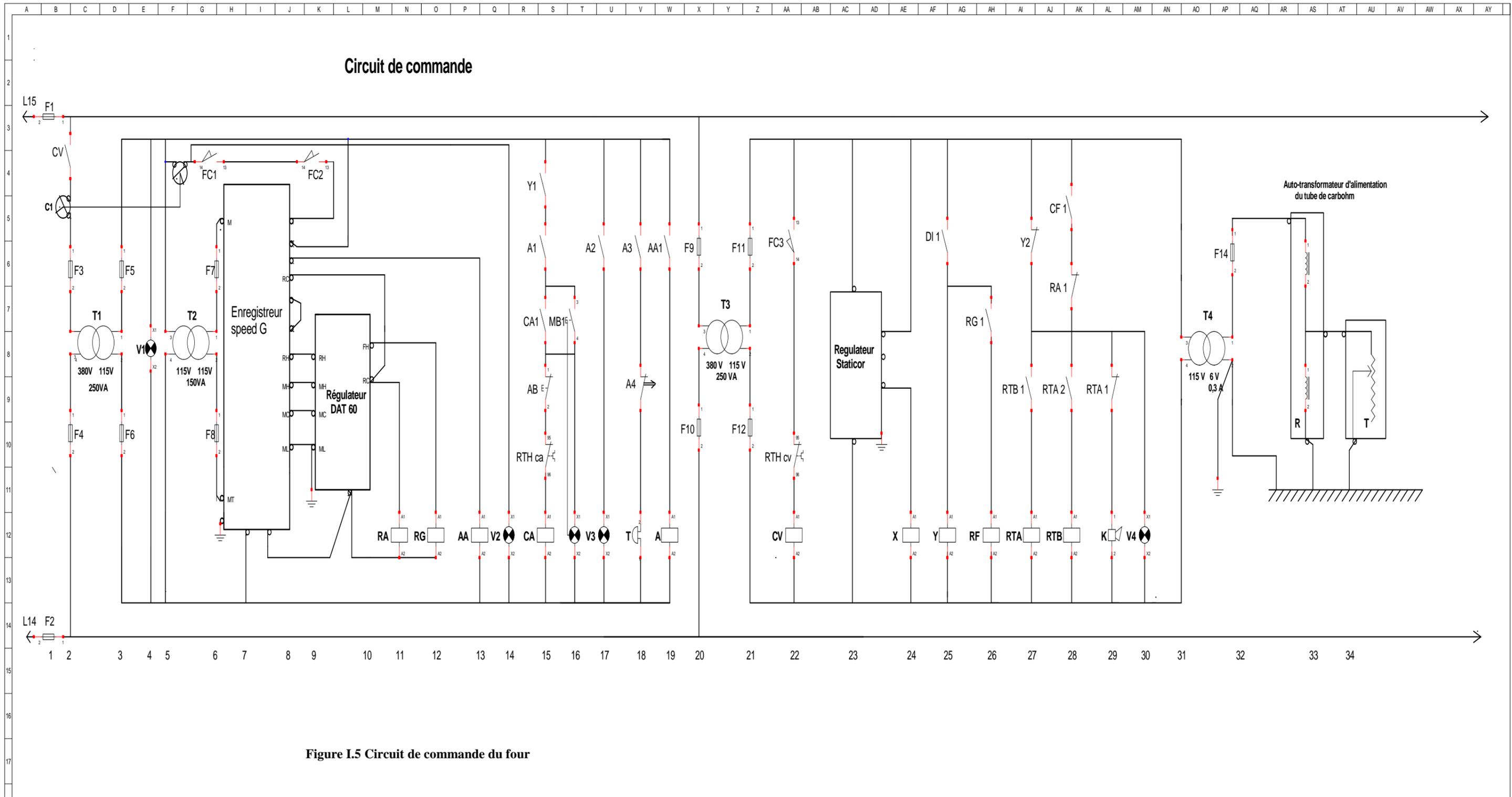
I.5 Partie électrique

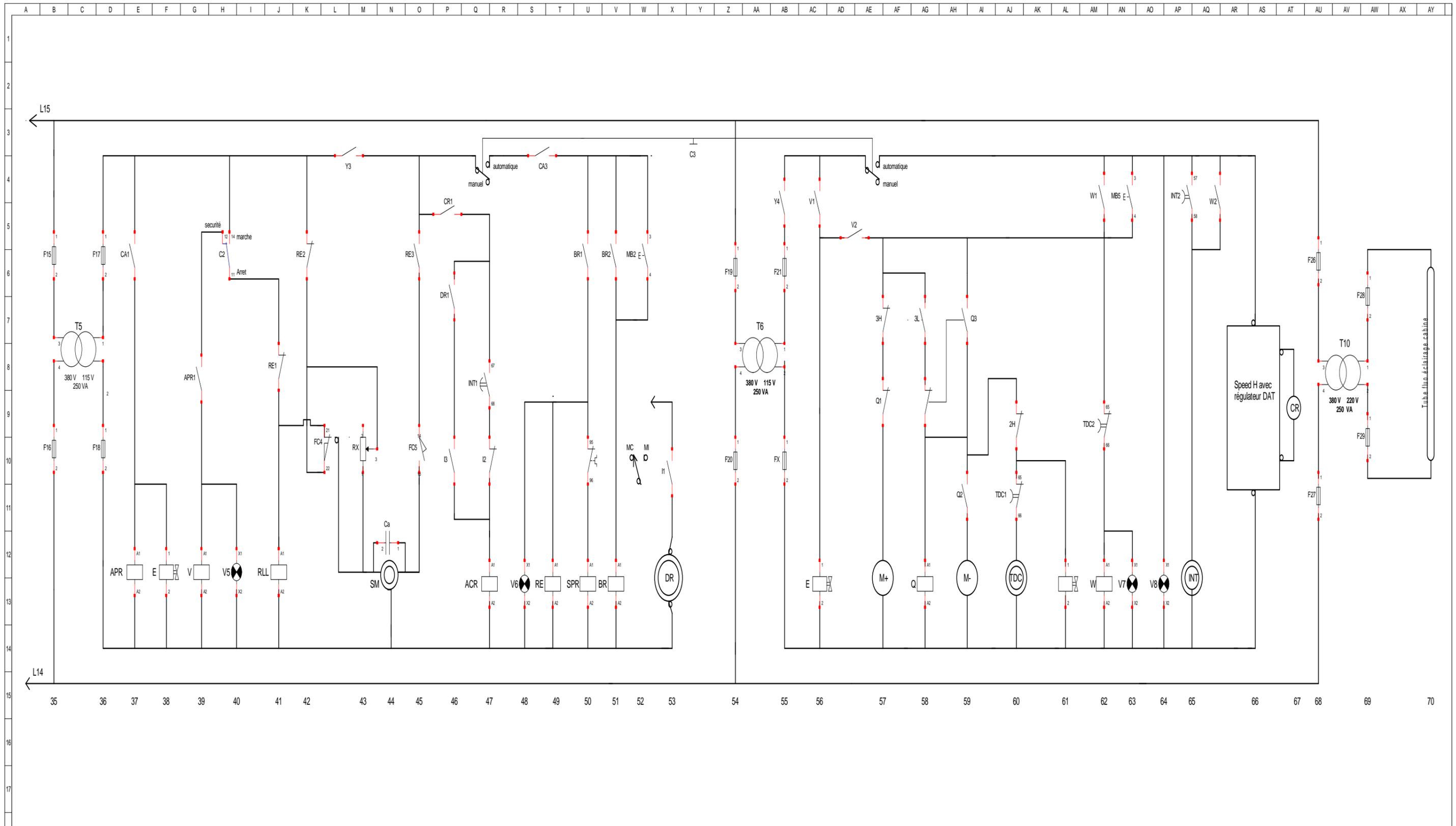
La figure I.4 présente les différents éléments de puissance du fonctionnement du four et leurs câblages (circuit de puissance).

La figure I.5 présente le circuit de commande qui permet le fonctionnement général du four.

Nous expliquerons dans ce qui suit le mode opératoire.







NOMENCLATURE

A/ Appareils dans schéma de puissance

| Repère | Nomenclature |
|------------|--|
| Q | Sectionneur tripolaire $I_n = 500$ A, avec 3 fusibles de classe gf 315A, et deux contacts auxiliaires à fermeture. |
| Di | Disjoncteur tripolaire $I_n = 400$ A, équipé de 03 relais magnéto-thermiques. |
| A1- A2 -A3 | Ampèremètres type NE 96 A90. Echelle normale 0- 325 A. |
| T7-T8-T9 | Transformateurs d'intensité, calibre 250/5 A. |
| CF | Contacteur, $I_n = 320$ A, avec 03 pôles à fermeture et à soufflage magnétique. Bobine 380 V- 50 Hz, service mécanique intensif et circuit magnétique. |
| CA | Discontacteur avec relais. Bobine 110 V-50Hz tripolaire. |
| RTH ca | Relais de protection thermique ; calibre 0,4 à 0,62 A. |
| ACR | Contacteur tripolaire $I = 12$ A. Bobine 110 V- 50Hz. |
| CV | Discontacteur avec relais. Bobine 110 V- 50Hz tripolaire. |
| RTH cv | Relais de protection thermique, calibre 4 à 5,4 A. |
| CE - CD | Discontacteur inverseur $I = 12$ A. Bobines 380 V- 50Hz tripolaire. |
| RTH ce_ cd | Relais de protection thermique, calibre : 1 à 1,5 A. |
| SPR | Discontacteur avec relais. Bobine 110 V- 50Hz tripolaire. |
| RTH spr | Relais de protection thermique. |
| V9 | Voyant lumineux rouge. |
| RF | Contacteur $I_n = 8$ A, bobine 110 V-50Hz. |
| R | Resistance 22 Ω - 45W. |
| Ca1 | Condensateur 0,1 μ F. |
| Ca2 | Condensateur 4 μ F. |
| F24- F25 | Cartouche fusible 0,5 A, classe gf (grande fusion). |
| F22- F23 | Cartouche fusible 2 A, classe gf. |
| F1-F2-F3 | Cartouche fusible 25A, classe gf. |
| F4-F5-F6 | Cartouche fusible 1 A, classe aM (accompagnement moteur). |

B/ Appareils dans schéma de commande :

| Repère | Ligne | Nomenclature |
|---------|-------|---|
| C1 | 2 | Commutateur général pyrométrie pour arrêt, In= 32 A. |
| F1- F2 | 1 | Cartouche fusible 8 A, classe aM. Protection circuit de commande. |
| F3- F4 | 2 | Cartouche fusible 2A, classe aM. Protection primaire T1. |
| F5- F6 | 3 | Cartouche fusible 2A, classe aM. Protection secondaire. |
| T1 | 2-3 | Transformateur d'isolement. |
| T2 | 5-6 | Transformateur d'isolement pour alimentation du pyromètre. |
| F7- F8 | 6 | Cartouche fusible 2A, classe gf. Protection pyrométrie. |
| FC1-FC2 | 6-9 | Contact fin de course à fermeture, sur vanne de refroidissement. |
| RA | 11 | Relais d'alarme temps max (à manque de tension) |
| RG | 12 | Relais auxiliaire de régulation |
| AA | 13 | Relais auxiliaire de commande pompe à injection. |
| V2 | 14 | Voyant blanc four. |
| CA | 15 | Contacteur pompe d'injection. |
| V3 | 17 | Voyant autorisation injection du liquide. |
| T | 18 | Sonnette signal à 650°C. |
| A | 19 | Relais de commande de la pompe d'injection. |
| F9-F10 | 20 | Protection primaire T3. |
| T3 | 20-21 | Transformateur d'isolement. |
| F11-F12 | 20 | Protection secondaire. |
| CV | 22 | Contacteur ventilateur. |
| FC3 | | Fin de course sur couvercle (couvercle fermé). |
| X | 24 | Relais de sécurité sur commande disjoncteur. |

| | | |
|---------|-------|--|
| Y | 25 | Relais auxiliaire de commande du circuit Microcarb. |
| RF | 26 | Relais de commande de contacteur de chauffage. |
| RTA | 27 | Relais aux tempo-klaxon (temps de travail). |
| RTB | 28 | Relais aux tempo-klaxon (temps de repos). |
| K | 29 | Alarme sonore-circuit de chauffage défectueux. |
| V4 | 30 | Voyant rouge « température max ». |
| T4 | 31-32 | Transformateur d'alimentation de la jauge. |
| F14 | 32 | Protection secondaire. |
| R | 33 | Récepteur de jauge. |
| T | 34 | Transformateur de jauge. |
| F15-F16 | 35 | Protection primaire T5. |
| T5 | 35-36 | Transformateur d'isolement. |
| F17-F18 | 36 | Protection secondaire. |
| APR | 37 | Relais auxiliaire de CA. |
| E | 38 | Electrovanne sur circuit d'ammoniac. |
| V | 39 | Relais auxiliaire. |
| C2 | 40 | -Sur position marche, calibration manuelle permet également le nettoyage du tube de carbohm. -Sur position arrêt position normale pour le traitement permet de souffler sur le carbohm quand celui-ci est rentré. |
| V5 | 40 | Voyant vert sécurité carbohm. |
| RLL | 41 | Relais de sécurité empêchant le levage de couvercle lorsque le carbohm est introduit dans le four. |
| FC4 | 42 | Fin de course carbohm complètement sorti. |
| RX | 43 | Resistance permet d'annuler la tendance naturelle du carbohm à descendre pesanteur. |
| SM | 44 | Servomoteur du carbohm |
| FC5 | 45 | Fin de course carbohm complètement entré. |
| ACR | 47 | Contacteur de régulation du liquide. |

| | | |
|---------|-------|---|
| INT1 | 47 | Fermé 17s – ouvert 40s fermé 3s. |
| V6 | 48 | Voyant vert carbohm en fonction. |
| RE | 49 | Relais aux de commande sortie d'entrée du carbohm. |
| SPR | 50 | Discontacteur de la pompe d'aspiration. |
| BR | 51 | Relais de by pass pour introduction manuelle du carbohm. |
| MB2 | 52 | Poussoir de commande introduction manuelle du carbohm. |
| DR | 53 | Doseur cyclique pour régulation du liquide en marche manuelle. |
| I | 52 | Commutateur pour commande du doseur cyclique. |
| C3 | 53 | Commutateur « manuel-automatique ». |
| F19-F20 | 54 | Protection primaire T6. |
| T6 | 54-55 | Transformateur d'isolement. |
| F21-Fx | 55 | Protection secondaire. |
| E | 56 | E.v ouverte sous tension permet de souffler dans le tube de carbohm de l'air + ammoniac craqué pour l'étalonnage. E : hors tension, aspiration gaz du four. |
| M+ | 57 | Moteur d'étalonnage, déséquilibre du pont avec entrainement de l'affichage vers l'origine de l'échelle. |
| Q | 58 | Relais auxiliaire pour commande de descente. |
| M- | 59 | Moteur d'étalonnage, déséquilibre du pont avec entrainement de l'affichage vers le max de l'échelle. |
| TDC | 60 | Minuterie temps de calibrage. |
| W | 62 | Relais de commande calibrage. |
| V7 | 63 | Voyant vert étalonnage. |
| V8 | 64 | Voyant vert automatique. |
| INT | 65 | Combinateur à cycle constant réglant l'injection pendant le calibrage. |
| L1-L2 | 66 | Enregistrement de calibration du % de carbone. |
| CR | 67 | Régulation du liquide homocarb. |
| TF | 70 | Ensemble des tubes fluorescents. |

I.5.1 Fonctionnement

I.5.1.1 mise en chauffe

On ferme le sectionneur Q, le voyant V9 s'allume. La fermeture du disjoncteur Di est conditionnée par la fermeture du contact X.

On actionne le commutateur général pyrométrie C1 qui entraîne le passage de l'énergie électrique vers le circuit de commande via les lignes L14 – L15. Dès qu'on met le moteur ventilateur en marche, le contact CV (ligne 2) se ferme.

En passant par le transformateur T1, le voyant V1 s'allume et le transformateur T2 s'alimente, ce qui entraîne l'alimentation de l'enregistreur Speed G qui est branché avec le régulateur DAT 60, à ce niveau on aura l'alimentation des relais RA, RG, et AA donc l'ouverture ou la fermeture de tous les contacts correspondent à ces relais :

- Ouverture du contact RA1 (ligne 28).
- Fermeture du contact RG1 (ligne 26).
- Fermeture du contact AA1 (ligne 19).

Le contact AA1, alimente le relais A d'où l'excitation des contacts A1, A2, A3 (ligne 15- 17 et 18) et la désexcitation du contact temporisé A4 (ligne 18).

Le voyant V3 s'allume à partir du contact A2, et le voyant V2 après avoir actionner le C1.

Le transformateur T3 alimente le régulateur Staticor qui entraîne l'auto-alimentation du relais X, donc la fermeture du contact X. Ce dernier alimente la bobine qui permet la fermeture de Di.

Pour le chauffage des résistances, il faut passer par le contact CF qui est conditionné par RF1 (ligne 28).

Lorsque le Di est actionné, le contact DI1 (ligne 25) se ferme, on aura l'alimentation des relais RF et Y, donc le contact RF1 s'excite et alimente la bobine qui actionne CF. A cette phase on aura l'alimentation des résistances pour la chauffe.

Dès qu'on atteint 650 °C, le contact A4 se referme et on aura le signal sonnette T. A ce moment on peut injecter le liquide procédant comme suit :

En appuyant sur le bouton poussoir MB1 (ligne 16), le relais CA sera alimenté et son contact CA1 (ligne 15) s'excitera. Puisque le contacteur ACR est normalement fermé donc le liquide s'injecte normalement.

I.5.1.2 Mise en régulation de l'atmosphère

A partir du transformateur T5 le relais auxiliaire APR est alimenté, et l'électrovanne E est actionnée.

Lors de l'injection du liquide, le commutateur C2 est sur position arrêt. Le contact APR1 (ligne 39) fermé ; le relais auxiliaire V s'alimente et le voyant sécurité carbohm V5 s'allume.

▪ Procédure de descente du carbohm

Lorsque la cémentation à démarré en contrôlant le 1^{ère} témoin, on fait descendre le carbohm comme suit :

On met le commutateur C3 (ligne 53) sur marche auto, le régulateur DAT et l'enregistreur speed H s'alimentent et actionnent le CR, le voyant V8 s'allume.

En appuyant sur le By pass MB2 (ligne 52), le relais BR s'alimente d'où l'excitation des contacts BR1 et BR2 (ligne 51 – 52). BR1 entraine l'alimentation des deux relais SPR et RE ainsi que l'allumage du voyant V6, donc la pompe aspiration d'air est actionnée.

▪ Etalonnage du carbohm

Lorsque le commutateur C3 est sur position AUTO, un appui sur le bouton poussoir MB5 (ligne 63) entraine l'alimentation du relais W et l'allumage du voyant V, ce qui suit par l'excitation des contacts W1 (ligne 62) et W2 (ligne 66).

La fermeture du contact W déclenche le combinateur INT et les contacts de ce dernier INT1 (ligne 47) et INT2 (ligne 65) s'exciteront.

En passant par les contacts V1 (ligne 56) et V2 L'électrovanne E s'ouvre et le moteur M+ s'alimente.

A l'ouverture du contact 3H et la fermeture du contact 3L, le relais auxiliaire pour la commande de descente s'alimente donc le contact à recouvrement s'excite et à travers ce contact qu'on déclenche la minuterie temps de calibrage TDC.

Les contacts TDC1 (ligne 60) et TDC2 (ligne 62) sont temporisés à fermeture, après un certain temps ces contacts se désexcitent d'où la désalimentation du relais W et l'alimentation du moteur descente M-.

I.5.1.3 Utilisation du doseur DR

Des éléments du système de contrôle du potentiel carbone peuvent être momentanément hors usage. L'utilisation du doseur cyclique CROUZET permet de ne pas interrompre le cycle de cémentation. Le temps d'injection du doseur est défini pour chaque four.

▪ Mise en marche du DR :

On met le commutateur C3 sur manuel, et l'inverseur MI-MC sur MI, le doseur DR s'alimente et les contacts DR1 et I3 se ferment assurant l'actionnement du contacteur de régulation du liquide ACR.

Certains éléments du système d'étalonnage automatique peuvent ne pas fonctionner mais un étalonnage manuel est possible, en utilisant le commutateur sécurité.

I.5.1.4 Levage du couvercle

Le levage du couvercle est conditionné par le contact du relais RLL.

On ne peut ouvrir le couvercle que si le carbohm est complètement rentré c'est-à-dire en fin de course FC5.

Conclusion

Nous avons donné une vue générale sur le fonctionnement du système, en particulier ses différents constituants ainsi que les schémas électriques de puissance et de commande.

Dans le chapitre suivant, on abordera la description de la partie régulation de ce système.

Chapitre II

*Description de la partie
régulation du système
existant*

II.1 Introduction

Dans notre processus la cémentation correcte exige le contrôle des trois variables en étroite relation, les résultats obtenus dépendent de l'exactitude avec laquelle chacune de ces données est contrôlée. Les trois variables sont :

- Température du four.
- Temps – durée en température. (Le temps mis pour la cémentation de l'épaisseur désirée).
- Potentiel de carbone de l'atmosphère du four.

La méthode développée appliquée à la cémentation gazeuse, contrôle le potentiel carbone et la température de façon directe dans la chambre du four. L'enregistrement de ces deux paramètres est également effectué d'une façon permanente en pourcentage de carbone pour l'atmosphère et en °C pour la température du four. Pour cela on présente deux régulations; une pour la température et l'autre pour l'atmosphère.

II.2 Régulation de la température

L'instrument utilisé pour repérer (mesurer) la température est une canne pyrométrique située au fond du four.

II.2.1 Canne pyrométrique

Une canne pyrométrique permet d'assurer la protection mécanique et chimique de l'organe sensible ; le capteur (thermo résistance ou couple thermoélectrique). Elle est destinée à la mesure de température. On récupère à ses bornes un signal (résistance ou tension) dépendant de la température.

II.2.2 Les thermocouples (couples thermoélectriques)

Un thermocouple est un ensemble constitué de deux conducteurs A et B, formant entre eux deux jonctions aux températures T_1 et T_2 délivre une f.é.m. de Seebeck qui dépend d'une part de la nature des conducteurs et d'autre part des températures T_1 et T_2 . En général la température de l'une des jonctions est fixe, connue et sert de référence ($T_1 = T_{\text{réf}}$) ; celle T_2 de l'autre jonction est la température T_c qu'elle atteint lorsque est placée dans le milieu étudié de température inconnue T_x : la température T_c est fonction de T_x et l'ensemble des échanges thermiques possibles avec d'autres milieux.

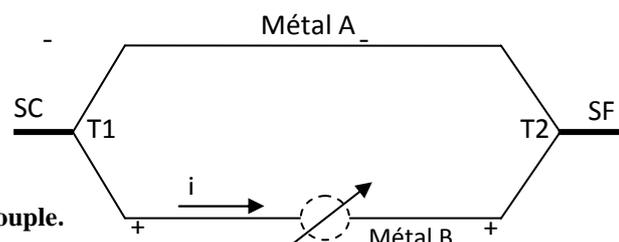


Figure. II.1 Schéma de principe d'un thermocouple.

II.2.3 Plage de température

La plage de température à l'intérieur de laquelle un thermocouple est utilisable est limitée :

- Aux basses températures, par la décroissance de son pouvoir thermoélectrique.
- Aux températures élevées, par les risques de contamination par l'atmosphère ambiante, par l'évaporation de l'un des constituants d'un alliage du couple, par la croissance de grains cristallins entraînant la fragilisation des conducteurs, et enfin par la fusion de l'un des conducteurs.

Les thermocouples disposent de la plage de température la plus large puisqu'on peut les utiliser de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $2760\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le thermocouple utilisé dans notre cas est du type K (chromel/ alumel), qui a une plage de température de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

II.3 Types des régulateurs utilisés

En général une chaîne de régulation peut être représentée par le schéma fonctionnel suivant :

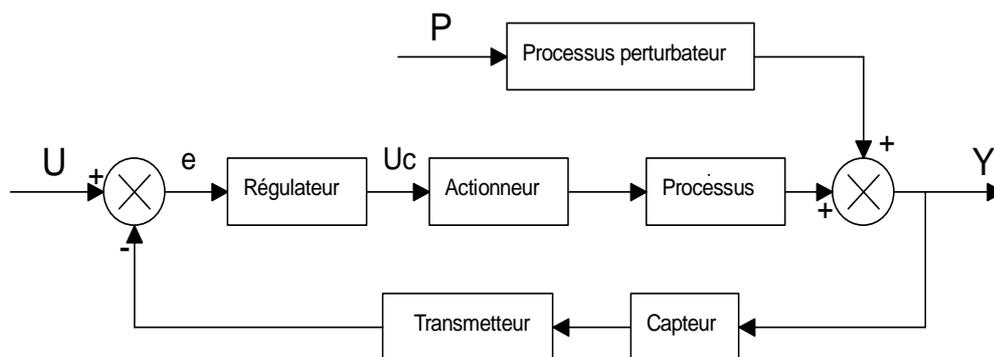


Figure. II.2 Schéma fonctionnel d'une chaîne de régulation.

Dans notre système, la chaîne de régulation comprend les parties principales suivantes :

1- Un élément primaire sensible à la variable régulée. Dans le cas des régulateurs à deux positions, il s'agit le plus souvent d'un thermocouple, d'un thermomètre à résistances ou d'une lunette à radiation (rayotube).

2- Un enregistreur ou indicateur des signaux provenant de l'élément primaire. Cet appareil comprend un dispositif de fixation du point de consigne et fournit le signal d'écart.

3- Un régulateur, lequel modifie la durée relative de temps actif de l'organe de réglage en fonction des écarts de la variable à partir du point de consigne. Ce régulateur possède des actions proportionnelle et intégrale réglables pour assurer une réaction satisfaisante de chauffage.

4- Un organe de réglage. Il s'agit le plus souvent d'un contacteur dans le circuit d'un four électrique.

5- Eventuellement un générateur de programme de type à came à point de consigne commandé par moteur.

Cette chaîne de régulation est représentée par la figure. II.3.

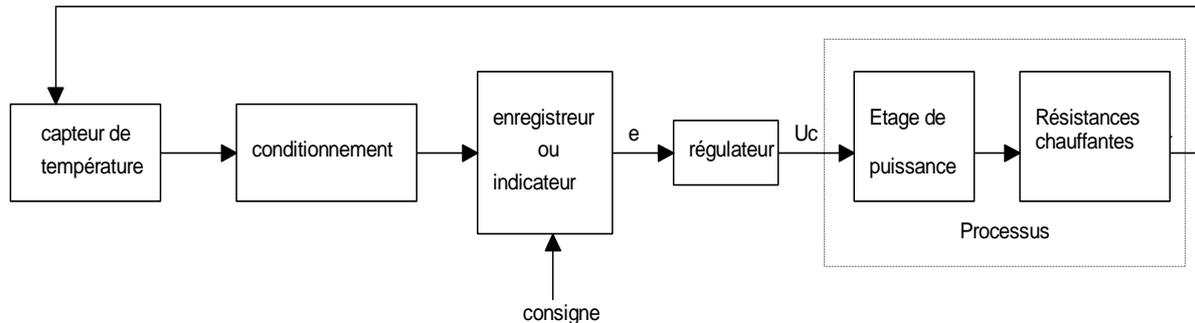


Figure. II.3 Schéma d'une chaîne type de régulation.

II.3.1 Présentation du régulateur électronique à deux positions

Le plus souvent, le régulateur électronique à deux positions (Automatique – Manuelle) est utilisé pour la conduite automatique de chauffe du four ou autres dispositifs électriques. Il peut aussi être utilisé pour la conduite d'une chauffe au combustible lorsque l'alimentation en courant alternatif soit stable.

Ce régulateur, en somme s'applique à tous les cas d'utilisation où il est nécessaire de disposer de deux positions et d'actions proportionnelle et intégrale.

Ce type de régulateur fait varier la durée des impulsions de chauffe du four suivant les écarts entre la température mesurée et la consigne.

Lorsque ces deux valeurs sont égales, la proportion entre les temps actif et mort est constante. Le temps actif croit avec une baisse de température et décroît avec une augmentation. Les deux actions (proportionnelle et intégrale) font varier le temps actif relatif d'après :

- Importance.
- Durée de l'écart.

II.3.1.1 Résumé des spécifications techniques

- Commutateur Auto-Manu : permet d'utiliser la commande automatique ou manuelle. Sur les positions MAN, il y'a un choix de 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 impulsions par minute.
- Cadran d'affichage manuel de durée relative des impulsions : gradué de 10 à 90%. Fixe le rapport entre les temps actif et mort. Au point de 50% les durées de ces temps (ON & OFF) seraient sensiblement égales. La figure suivante montre un exemple de ces temps actifs pour trois valeurs : 90, 50 et 10%.

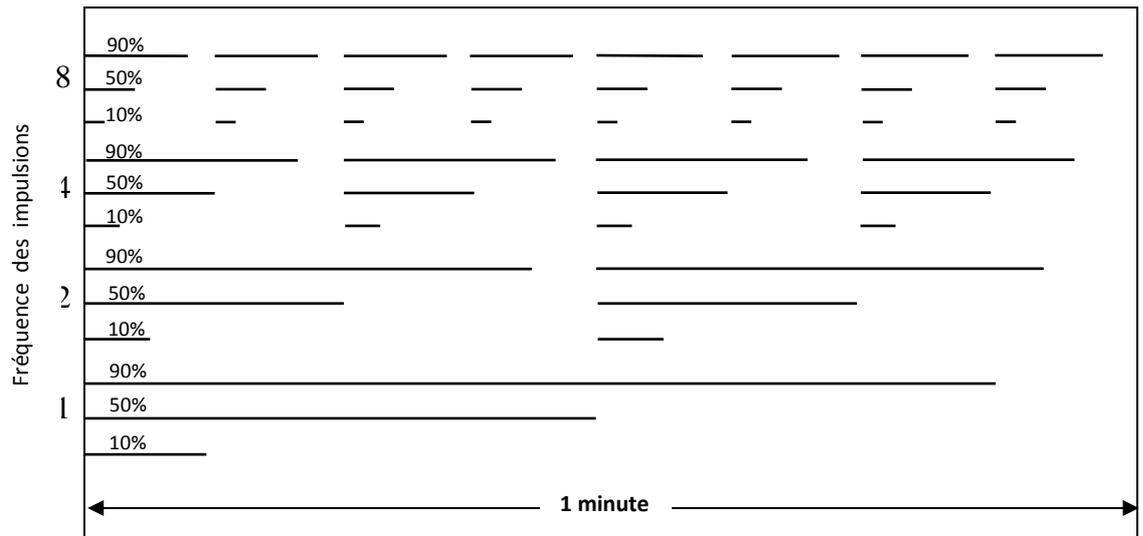


Figure. II.4 Fréquence et rapport temps actif/ temps mort.

- Cadran d'action proportionnelle : gradué de 2 à 50%. Modifie le pourcentage de temps actif proportionnellement à la tension aux bornes de l'enregistreur.
- Cadran d'action intégrale : gradué de 0,1 à 1 répétition par minute. Modifie le pourcentage de temps actif avec une rapidité proportionnelle à la déviation de la plume depuis le point de consigne.
- Cadran de fréquence des impulsions en marche automatique: commande le gain de l'amplificateur. Non gradué, permet de faire varier la fréquence de 0,5 à 30 impulsions par minute environ.
- Cadran d'allure première montée : gradué de 0 à 100. Empêche le dépassement de point de consigne au cours du démarrage ou à la suite d'un accroissement soudain de la charge.
- Lampe de signalisation : s'allumant en jaune pendant les impulsions.
- Alimentation : 120 volts, 50 ou 60 Hz.
- Consommation : 50 VA.
- Limite de la température ambiante : -9 °C à 50 °C.
- Boîtier : métallique avec porte en matière moulée, prévu pour montage encastré.
- Encombrement : 165 × 280 × 280 mm.
- Masse : 8 kg environ.

II.3.1.2 Repérage des éléments

a- Fil calibré : ce fil calibré se trouve dans l'enregistreur (ou indicateur). Sa fonction est de créer une tension de déséquilibre proportionnelle à l'écart entre la température mesurée et le point

de consigne. La valeur de cette tension de déséquilibre dépend en outre du réglage du potentiomètre de bande proportionnelle.

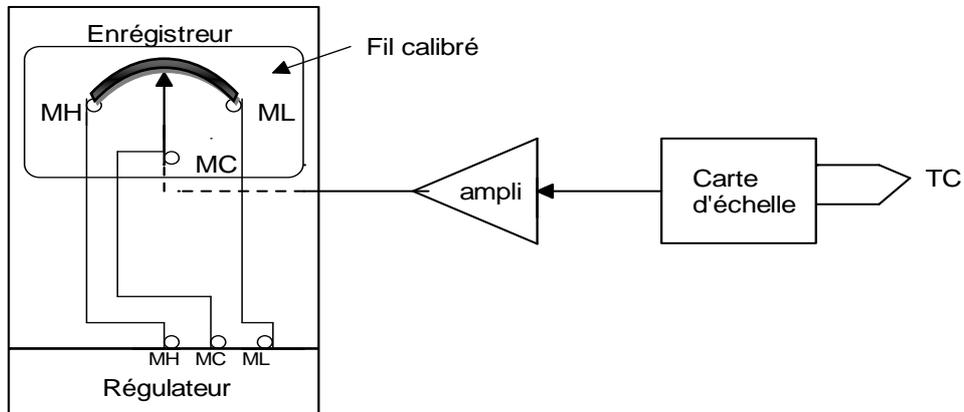


Figure. II.5 Schéma explicatif du montage du fil calibré.

b- Relais K1 et K2 : ces relais sont enfilés dans des socles sur le châssis de l'amplificateur. Tous deux ont une extrémité de leur enroulement reliée en permanence à la tension alternative 250 V par rapport à la masse. Les autres extrémités des enroulements sont reliées respectivement aux plaques de deux tubes à vide. En conséquence, chaque fois que la grille de l'un des tubes est à un potentiel nul ou positif en phase avec l'alimentation 250 V, ce tube devient conducteur et met sous tension le relais qui lui est associé.

Pendant le fonctionnement automatique, le relais K2 envoie les impulsions aux résistances chauffantes.

c- Relais auxiliaire : ce relais est connecté entre les bornes de sortie FH et L4 du régulateur, la fermeture du contact K2-1 met le relais sous tension et lui fait fermer le circuit de chauffage du four.

✓ **Remarque**

Le circuit de ce régulateur est un circuit à tube qui est une technologie dépassée, pour cela on n'a pas entré dans tous ses détails pour l'expliquer plus.

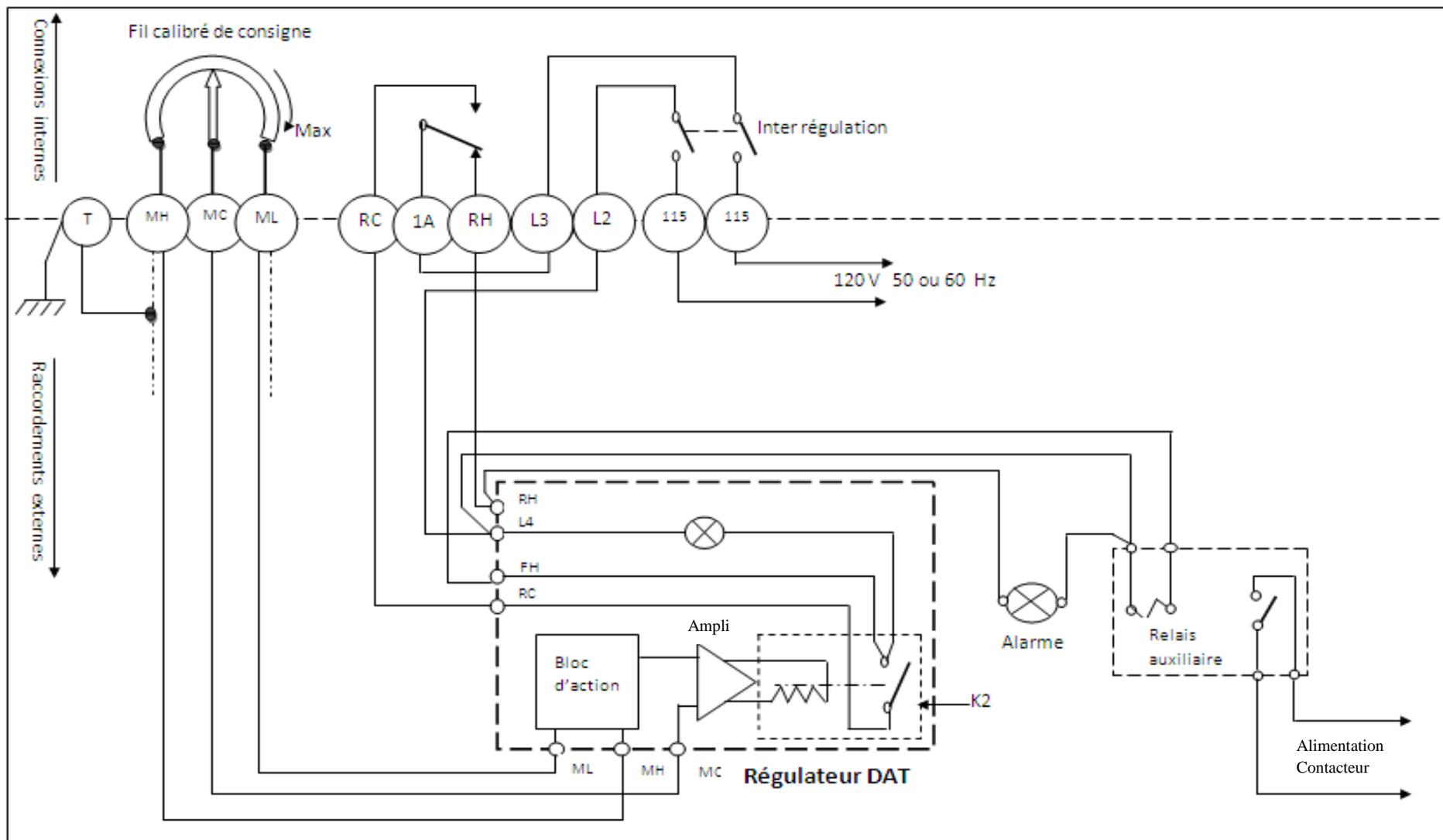
La figure. II.6 montre les différents raccordements du régulateur.

II.3.1.3 Principe de fonctionnement

L'appareil se compose essentiellement d'un pont de WHEATSTONE (bloc d'action) en courant alternatif, d'un amplificateur et d'un relais.

La partie inférieure du pont contient :

Figure. II.6 : schéma de raccords internes et externes du régulateur.



- Le fil calibré de commande CS.
- Le potentiomètre de réglage d'action proportionnelle R10.
- Les résistances R7 et R9.

La partie supérieure du pont contient les résistances thermosensibles R11, R12, R13 et R14 ainsi que les rhéostats accouplés R15 et R16 ; ces derniers permettent de régler l'action intégrale. Comme le montre la figure .II.7

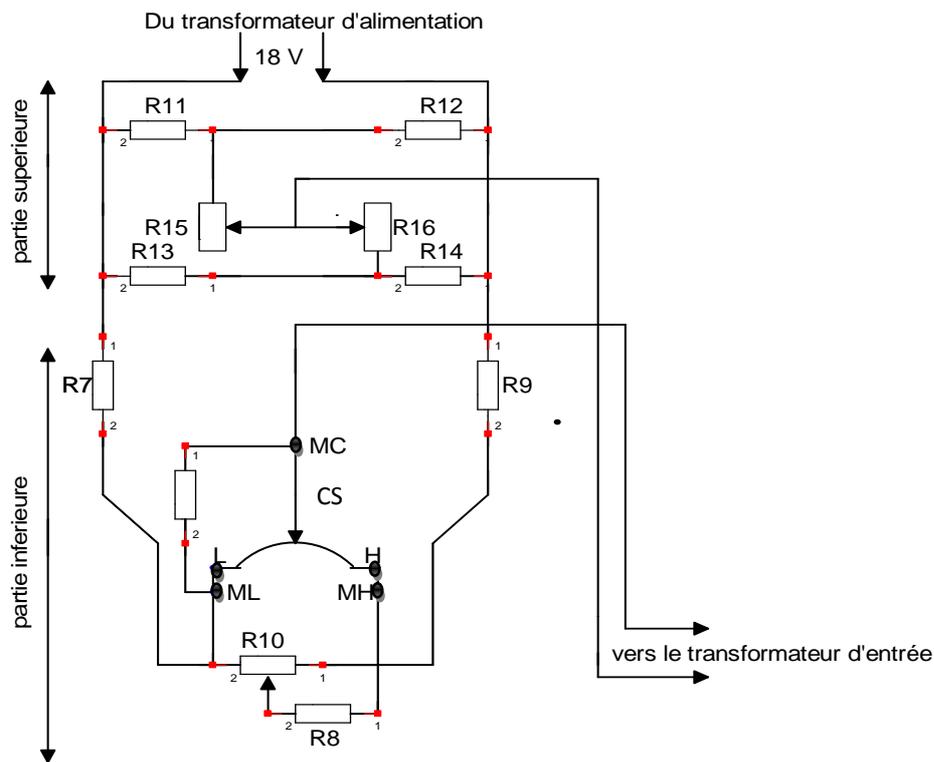


Figure. II.7 Schéma de principe du pont (bloc d'action).

➤ Action proportionnelle

On suppose qu'à température ambiante R13 plus élevée que R14. La résistance R14 est thermosensible et doit être échauffée pour égaler R13. R14 étant inférieure à R13, le pont est en déséquilibre. Cette tension de déséquilibre est appliquée au transformateur d'entrée qui sera ensuite amplifiée. En conséquence, lorsque le courant de chauffe du four est coupé, la résistance R14 se refroidit et sa valeur diminue ; dès que cette valeur devient inférieure à R13 la tension d'entrée à l'amplificateur est inversée à nouveau et le relais K2 se trouve à nouveau excité, rétablissant la chauffe du four.

Si la température du four s'écarte du point de consigne, le fil calibré de commande se déplace proportionnellement à la différence, en augmentant le déséquilibre du pont. Pour répondre à

la nouvelle demande d'apport de chaleur, la résistance thermosensible R14 doit fonctionner à une nouvelle température. Le relais K2 reste fermé ou ouvert plus longtemps, suivant le sens du déséquilibre, modifiant ainsi la chauffe du four et en même temps la température de R14.

Il s'ensuit que l'apport moyen de chaleur au four est proportionnel à la position du curseur du fil calibré.

La plage de température sur laquelle fonctionne le curseur du fil calibré pour régler le rapport temps actif- temps passif entre 100 % actif et 100% passif est fixé par le potentiomètre de bande proportionnelle R10.

➤ **Action intégrale**

Afin de maintenir la température du four au point de consigne, l'utilisation de l'action intégrale est nécessaire, qui a comme rôle de réduire et éliminer l'écart.

Cette action intégrale est introduite par les caractéristiques de la résistance R13. Celle-ci est une résistance thermosensible à temps de réponse élevé.

A mesure que la température du four augmente et que le curseur du fil calibré de commande se déplace et que l'action proportionnelle réduit l'apport de chaleur, la température de R13 décroît lentement. La résistance R14 doit alors fonctionner à une température plus basse encore, ce qui réduit d'avantage l'apport de chaleur. Cette action se poursuit jusqu'au retour au point de consigne, le curseur du fil calibré étant alors en milieu.

✓ **Remarque :**

Ce régulateur possède son boîtier individuel pour montage en dehors de l'enregistreur de type speedomax G qui est un enregistreur électronique sert à enregistrer les variations de la température en fonction du temps.

II.3.2 Présentation du régulateur électronique STATICOR :

C'est un régulateur électronique universel utilisé comme régulateur de sécurité commandant le relais X (indiqué sur le schéma de commande) qui permet d'arrêter le fonctionnement du système (four) dans le cas où la température dépasse 1000 °C.

Il permet aussi :

- D'assurer des fonctions d'alarme-commutation Tout ou Rien ; ou des fonctions de régulation discontinue élaborées PD ou PID.
- De commander des sorties de type numérique ou analogique.

II.4 Régulation de l'atmosphère

La durée de l'opération de cémentation, fonction de l'épaisseur désirée est contrôlée par prélèvements de témoins. Les résultats sont toujours reproductibles. Des charges différentes peuvent être traitées à des réglages identiques. Les cycles peuvent être modifiés avec facilité, éliminant l'à peu près et réduisant les rebuts provenant d'une cémentation inappropriée (carbure excédentaire peuvent être évités). Une cémentation normale, non asservie, peut donner des pièces où le carbone de surface peut atteindre 1,3 % - 1,5 %. De telle cémentation de surface ont pour résultat un excès de carbure en réseau peu désirable. Un contrôle du potentiel carbone par contre élimine ce défaut. Le contrôle du carbone peut être automatiquement contrôlé à n'importe quelle valeur par des considérations métallurgiques (0,75 ou 0,90 % de carbone par exemple).

La gamme de régulation possible couvre la plage de 0,15 à 1,15 % de carbone, d'où la possibilité d'effectuer des opérations de restauration sur acier décarburé.

Nous étudierons schématiquement le principe de contrôle du potentiel carbone de l'atmosphère du four.

II.4.1 Élément détecteur

Le principe de l'élément détecteur est basé sur l'exposition d'un fil de faible diamètre en alliage fer-nickel dans l'atmosphère du four à la température de travail. Ce détecteur répond aux variations du potentiel carbone de l'atmosphère du four exactement de la même manière que le fait l'acier des pièces à traiter. A mesure que le carbone augmente ou diminue l'élément détecteur se cimente ou perd sa cémentation et sa résistance électrique augmente ou diminue.

Le principe est donc basé sur la loi de résistivité d'un fil d'acier en fonction de sa teneur en carbone à une température donnée, soit : $\rho = \rho_0(1 + \alpha C)$.

Avec $\alpha = f(t)$ et C : concentration en carbone.

La variation de résistance de l'élément détecteur en fonction de la teneur en carbone à une température donnée est une fonction linéaire.

L'élément détecteur convenablement maintenu par un support céramique est monté dans un tube protecteur à l'extrémité ouverte qu'il est possible d'introduire dans le four à travers le couvercle par un système à commande automatique (après stabilisation de la température à la valeur désirée et après établissement de l'atmosphère du four).

Une pompe de débit calibré permet de prélever une fraction de l'atmosphère du four par l'intermédiaire du tube protecteur. L'élément détecteur baignant dans cette atmosphère peut en saisir toute variation de la teneur en carbone.

✓ Remarques :

- Il est nécessaire d'avoir une température régulée. Une variation de 50° C est équivalente à 0,30 % de carbone.
- Toute variation de température serait amplifiée en termes de % de carbone.
- Il est nécessaire d'avoir un contrôle de température linéaire, un système correcteur (compensation automatique) est néanmoins prévu, dispositif nécessaire en particulier dans le cas d'un changement désiré dans la température de travail.

II.4.2 Régulateur

Le détecteur d'équilibre est constitué par un circuit en pont de WHEATSTONE qui mesure les changements de résistance de l'élément détecteur et règle automatiquement l'écoulement du liquide de cémentation dans le four. Cette injection de liquide, fonction du déséquilibre du pont de mesure et du système régulateur est telle, que son action est proportionnée à la valeur absolue du déséquilibre. La période d'action du système d'injection est ainsi réglée dans la proportion nécessitée pour maintenir le carbone de surface de la charge au point de contrôle prédéterminé.

L'injection du liquide, du type « Tout ou Rien » s'effectue par impulsions de caractéristiques telles qu'elle dépendent de la valeur absolue du déséquilibre. Ce qui signifie que le rapport des temps d'action et d'arrêt de la pompe est ajusté en proportion de l'importance, de la durée et de la rapidité de variation de la teneur en carbone de l'atmosphère du four autour du point désiré.

Schématiquement le principe du système régulateur peut être représenté par la figure. II.8.

Sur ce schéma, le fil calibré potentiomètre P2 est monté dans l'ensemble régulateur de température. Il élimine l'effet de variation de la résistance de l'élément détecteur lors de changement du point de réglage de la température de fonctionnement du four.

Le signal de sortie du pont de mesure est également transmis à l'enregistreur de % de C, de sorte que l'enregistrement indique à tous moments le dosage du carbone actif dans l'atmosphère de cémentation. Toute marche anormale apparaît de plus sur cet enregistrement.

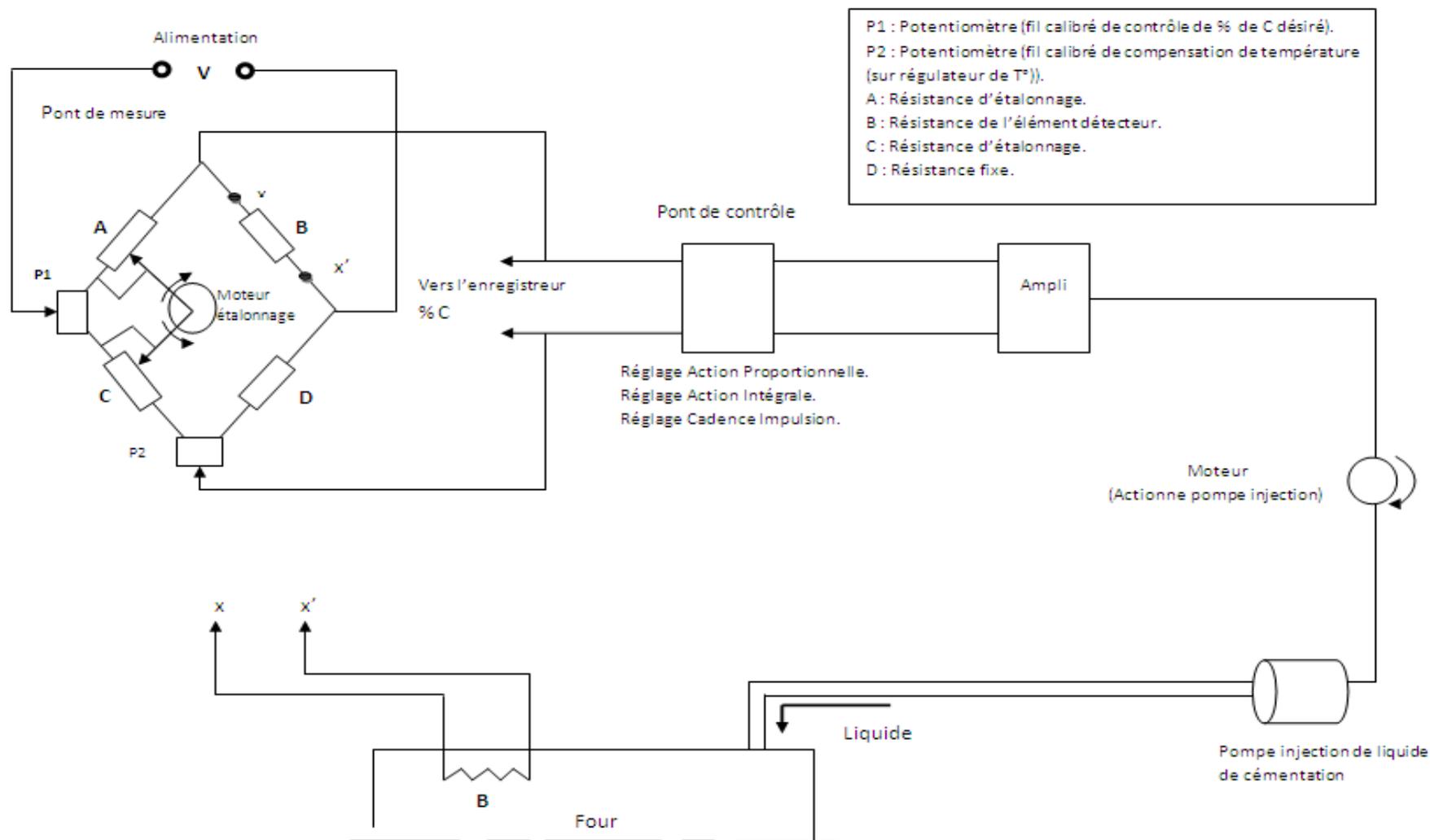
II.4.3 Prévision de la mesure

- Gamme ouverte : 0,15 % à 1,15 % de carbone.
- Précision de régulation : $\pm 0,01$ % de carbone.
- Gamme température 780 °C – 954 °C.

La précision des mesures est maintenue par un système d'étalonnage de l'élément détecteur.

La méthode d'étalonnage est basée sur une propriété physique du système carbone-fer. Au dessous de 870 °C, tout le carbone peut être enlevé d'un tel alliage fer-carbone avant que

Figure. II.8 schéma de principe du système régulateur



l'oxydation du fer commence. Une décarburation contrôlée peut être effectuée avec un minimum reproductible.

Pendant le retrait de C, la résistance du fil diminue jusqu'à ce que la valeur reproductible soit atteinte. Ensuite le fer commence à s'oxyder et la résistance de l'élément croit. Ces phénomènes rendent possible la méthode d'étalonnage appliquée sur l'appareil. Sur la figure. II.9 on peut suivre la décarburation de l'élément détecteur et la variation de sa résistance.

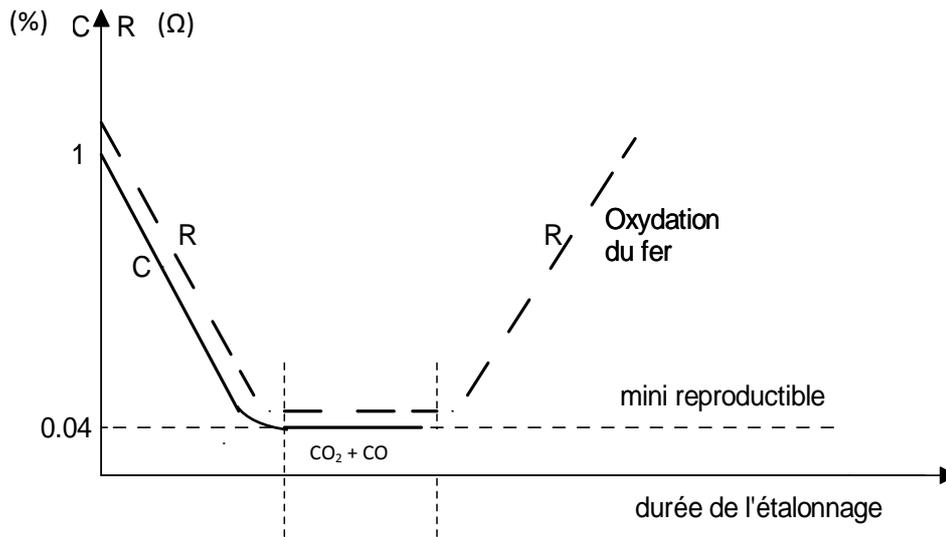


Figure. II.9 Courbe indiquant la décarburation de l'élément détecteur et la variation de sa résistance.

L'opération d'étalonnage est automatique, mais à mise en route manuelle.

Pendant le cycle d'étalonnage l'aspiration du gaz du four à travers la gaine de l'élément détecteur est coupée. Un mélange d'air et d'azote hydrogéné (75 % N₂ + 25 % H₂) y est substitué. Ce mélange réagit avec le gaz du four dans la gaine pour réduire progressivement le carbone. Le taux de réduction est fait assez lentement pour permettre à l'élément détecteur de perdre son carbone.

En début d'étalonnage des résistances fixes R1- R2 étalonnées sont substituées au fil calibré de contrôle. L'équilibre du pont de mesure est rétabli par la rotation du moteur d'étalonnage, lequel entraîne les résistances d'étalonnage A- C. (figure. II.10).

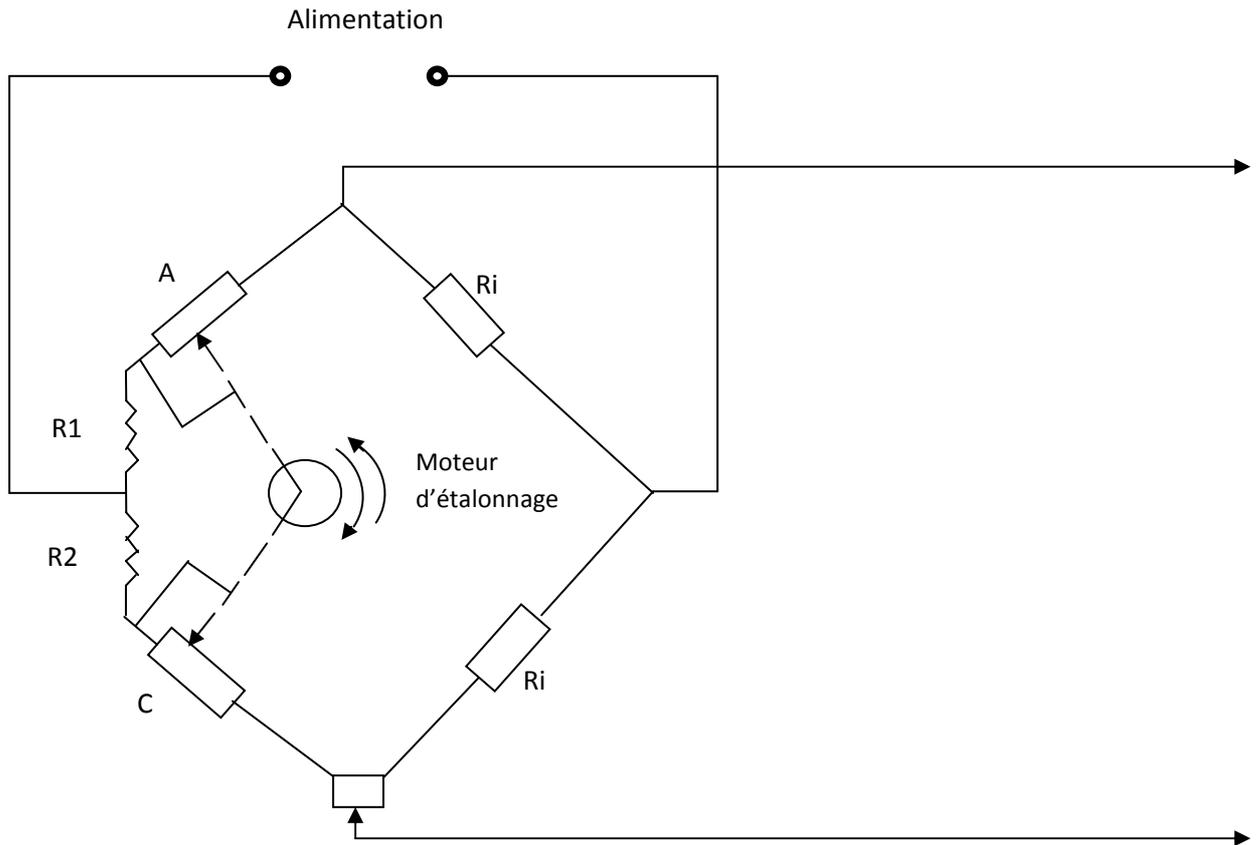


Figure. II.10 Pont de mesure utilisé pour l'étalonnage de l'élément détecteur.

La décarburation de l'élément détecteur commence et se poursuit dans le temps amenant une variation de résistance de l'élément détecteur.

L'équilibrage du pont durant cette variation est maintenu par rotation du moteur d'étalonnage. Lorsque le minimum reproductible est atteint, l'oxydation de l'élément provoque une inversion dans le sens de variation de sa résistance, phénomène qui est utilisé pour arrêter automatiquement l'opération.

Trois conditions sont ainsi été obtenues :

- Comparaison de l'élément détecteur à la valeur étalon (mini-reproductible).
- Elément détecteur positionné sur cette valeur prise comme origine de mesure.
- Equilibre du circuit de mesure établi.

✓ Remarque

Le circuit de régulation de l'atmosphère est muni d'un régulateur électronique (même type que celui utilisé pour la régulation de la température) accompagné d'un enregistreur électronique de type Speedomax H.

L'enregistreur de type speedomax H peut être muni d'un ou plusieurs inverseurs (ou interrupteurs) commandés par la rotation de l'axe principal.

Puisque il est utilisé avec un régulateur électronique le bloc de régulation peut comporter en plus un fil calibré également entraîné par l'axe principal.

Le fil calibré, les inverseurs avec leurs cames de commande et le dispositif de réglage du point de consigne, forment le bloc de régulation.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné une vue générale sur la partie régulation du système existant, ce dernier utilise une technologie dépassée qui pose de délicats problèmes à cause :

- De l'obsolescence des matériels utilisés et l'inexistence des pièces de rechange sur le marché.
- Des pannes fréquentes.
- Du non fiabilité du matériel...etc.

Dans l'objectif de sa modernisation, on va réaliser une nouvelle régulation, pour cela les prochains chapitres seront consacrés à l'identification du système puis la réalisation.

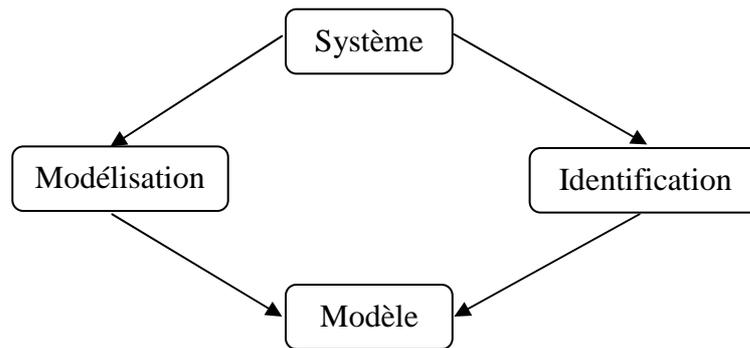
Chapitre III

Identification du four

III.1 Introduction

Afin de pouvoir déterminer le modèle du système, deux méthodes peuvent être appliquées :

- La modélisation qui nécessite la traduction de toutes les lois physiques à des équations mathématiques,
- et l'identification appelée encore modélisation expérimentale, utilise les expériences pour déterminer les paramètres du modèle.



III.2 Généralités

III.2.1 Modèle

Un modèle est une représentation mathématique qui exprime les relations entre les variables caractéristiques du système. Cette représentation est donnée sous forme d'équations mathématiques (différentielles et/ou algébriques) où interviennent les paramètres du système.

III.2.2 Types de modèle

a- Modèle de connaissance

Il est élaboré à partir des lois de la physique ou de la chimie dont l'objectif principal est d'expliquer un phénomène par des relations mathématiques comportant de nombreux paramètres ayant un sens physique (résistance, inductance, masse, coefficient de frottement, section, longueur...). Ce type de modèle est appelé encore une boîte blanche.

b- Modèle de comportement

Ce modèle est généralement linéaire, sa validité reste limitée à des petites variations autour du point de fonctionnement, on les appelle aussi fonction de transfert ou modèle ARMAX.

Les coefficients du modèle représentent ses paramètres qui peuvent avoir un sens physique ou non. Ce modèle est désigné aussi par le terme boîte noire.

c- Modèle intermédiaire

Il constitue un hybride entre les deux modèles précédents. On peut les considérer comme des modèles de connaissance simplifiés. La structure est déterminée par des lois physiques (Modèle de connaissance) et les paramètres sont déterminés à partir des mesures (modélisation semi physique).

III.2.3 Choix de la structure du modèle

Le problème rencontré dans le cas des modèles de comportement (fonction de transfert) est le choix de l'ordre des polynômes (numérateur et dénominateur) de la fonction de transfert. Cette procédure peut se faire par expérience, ou par modélisation ou par des algorithmes qui estiment à partir des données la complexité des modèles.

✓ Remarque

La modélisation présente d'emblée des difficultés assez dérangeantes car elle contraint à faire généralement un retour en arrière sur les objectifs, l'intérêt et l'utilité du modèle.

Comme le procédé à étudier est un four, dont la modélisation est une tâche complexe, nous avons opté pour l'identification du modèle directement à partir des mesures expérimentales.

III.3 Principe d'identification

III.3.1 Définition

L'identification est l'opération de détermination des paramètres d'un modèle mathématique d'un procédé pour avoir un modèle complet dont la connaissance est nécessaire pour la conception et la mise en œuvre d'un système de régulation performant.

L'identification est une technique expérimentale qui s'appuie sur l'utilisation de procédures et algorithmes manipulant les mesures expérimentales. Il existe différentes méthodes pour l'identification :

- Méthodes graphiques.
- Méthodes récursives.
- Méthode non récursives.

Le principe de chaque méthode est présenté dans la section suivante.

III.3.2 Méthode d'identification

III.3.2.1 Méthodes graphiques : elles sont basées sur la réponse indicielle du système, elles ne permettent pas d'avoir des résultats précis mais peuvent conduire à un modèle suffisant.

III.3.2.2 Méthodes non récursives : traitent les données (entrées/sorties) obtenues sur une période de temps fixe supérieure au temps nécessaire pour que le système atteigne son état stationnaire.

III.3.2.3 Méthodes récursives : traitent les paires de données (entrées/sortie) à chaque instant et produisent aussi une estimation paramétrique au fur et à mesure de l'acquisition des données ou de la lecture des données (utilisée généralement dans la commande adaptative).

III.4 Identification du four

Nous allons maintenant aborder l'identification de notre système. Nécessairement, il nous faut connaître la fonction de transfert du système, c'est-à-dire la fonction qui relie la grandeur réglante à la grandeur réglée.

III.4.1 Etapes d'une bonne identification

Un processus n'admet pas un modèle unique et l'automaticien cherchera toujours un bon modèle, plus ou moins compliqué et précis, adapté à son problème.

On peut généralement décomposer en quatre étapes la conduite d'une bonne identification (voir figure III.1) ; celle-ci est facilitée par les renseignements dont on dispose au préalable sur le processus réel.

Les renseignements préalables concernant le système ou processus à identifier peuvent porter sur :

- Son domaine de linéarité défini par sa caractéristique statique.
- Son temps de réponse, résultat d'un essai indiciel et qui, dans le cas discret, aidera au choix de la période d'échantillonnage.
- La présence ou non d'un intégrateur, d'un retard pur.

On éliminera par filtrage passe-haut les composantes continues sur les mesures (excitation et sortie) lorsqu'on s'intéresse à leurs seules variations ; par ailleurs, un éventuel filtrage passe-bas permettra de diminuer l'influence des bruits à spectre large.

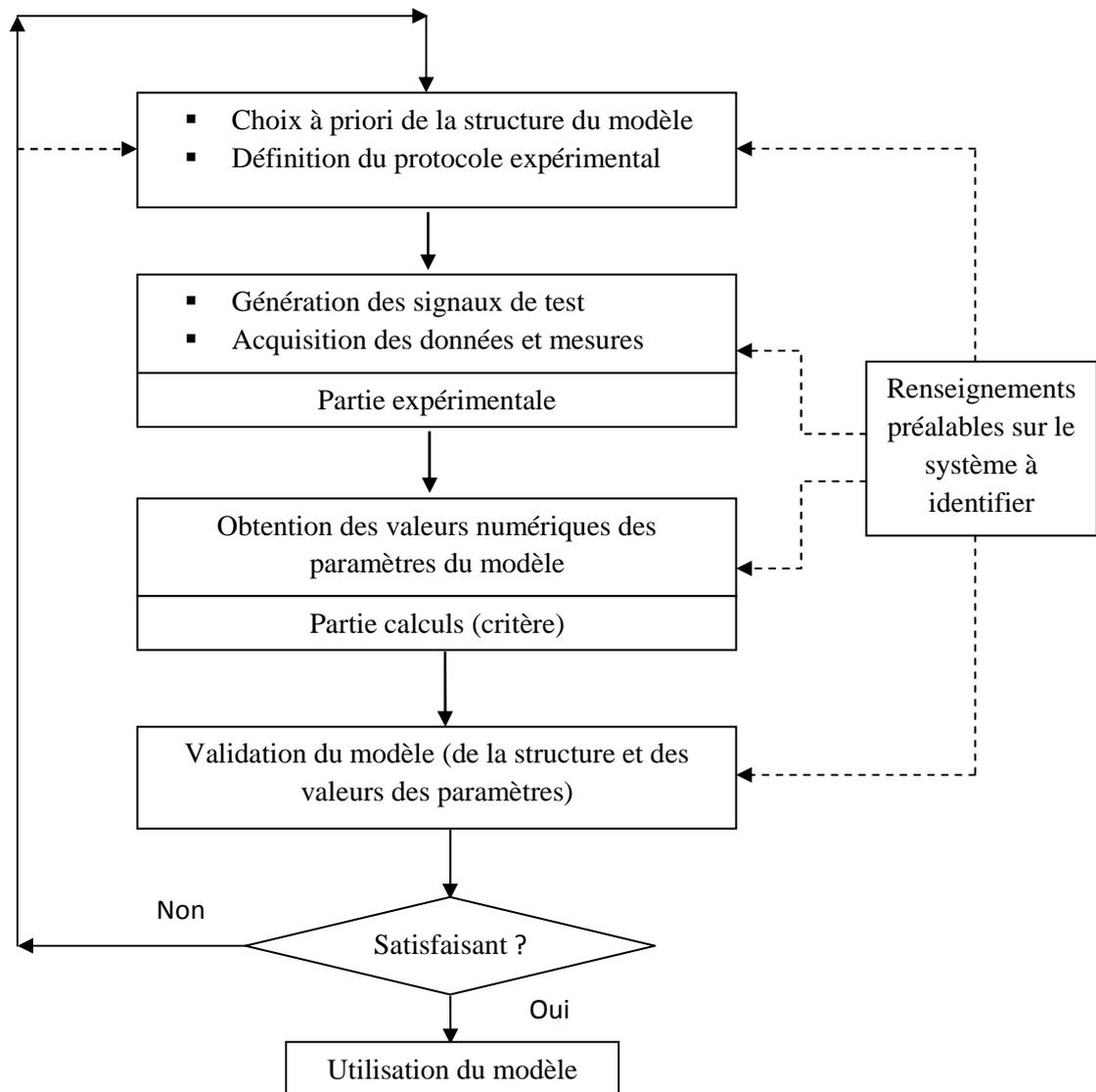


Figure.III.1 Etapes de l'identification.

III.4.2 Identification par la méthode graphique

Pour toute identification en boucle ouverte le régulateur doit être en position manuelle, c.à.d. hors service et les signaux de commande sont envoyés à l'aide d'un détenteur ou générateur de courant interne au régulateur. Le système doit être en régime permanent (signal de commande et signal de sortie sont constants).

On excite le système par un échelon unité, et on enregistre le signal de sortie du transmetteur.

La fonction de transfert s'écrira : $G(p) = \frac{k}{(1+\tau p)^n}$ avec : k : Gain statique.

τ : Constante de temps.

n : Ordre du système.

III.4.3 Application de la méthode

D'après les expériences réalisées, on a relevé un tableau (voir ci-après) de mesures de variation de la température en fonction du temps.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|------|-----|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|
| t (mm) | 0 | 3.75 | 7.5 | 11.25 | 15 | 18.75 | 22.5 | 26.25 | 30 | 33.75 | 37.5 | 41.25 | 45 | 48.75 | 52.5 | 56.25 |
| T (°C) | 516 | 516 | 516 | 516 | 540 | 556 | 568 | 588 | 604 | 620 | 632 | 644 | 658 | 672 | 680 | 688 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|--------|-----|--------|-------|--------|-----|
| 60 | 63.75 | 67.5 | 71.25 | 75 | 78.75 | 82.5 | 86.25 | 90 | 93.75 | 97.5 | 101.25 | 105 | 108.75 | 112.5 | 116.25 | 120 |
| 696 | 704 | 716 | 728 | 736 | 748 | 752 | 760 | 764 | 768 | 780 | 786 | 792 | 796 | 804 | 812 | 817 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|--------|-----|--------|-------|--------|-----|--------|-------|--------|-----|--------|-------|--------|
| 123.75 | 127.5 | 131.25 | 135 | 138.75 | 142.5 | 146.25 | 150 | 153.25 | 157.5 | 161.25 | 165 | 168.75 | 172.5 | 176.25 |
| 824 | 832 | 836 | 840 | 850 | 854 | 864 | 872 | 876 | 876 | 884 | 888 | 892 | 896 | 896 |

| | | |
|-----|--------|-------|
| 180 | 183.75 | 187.5 |
| 896 | 896 | 896 |

A partir de ces mesures, on a obtenu la courbe représentée sur la figure suivante :

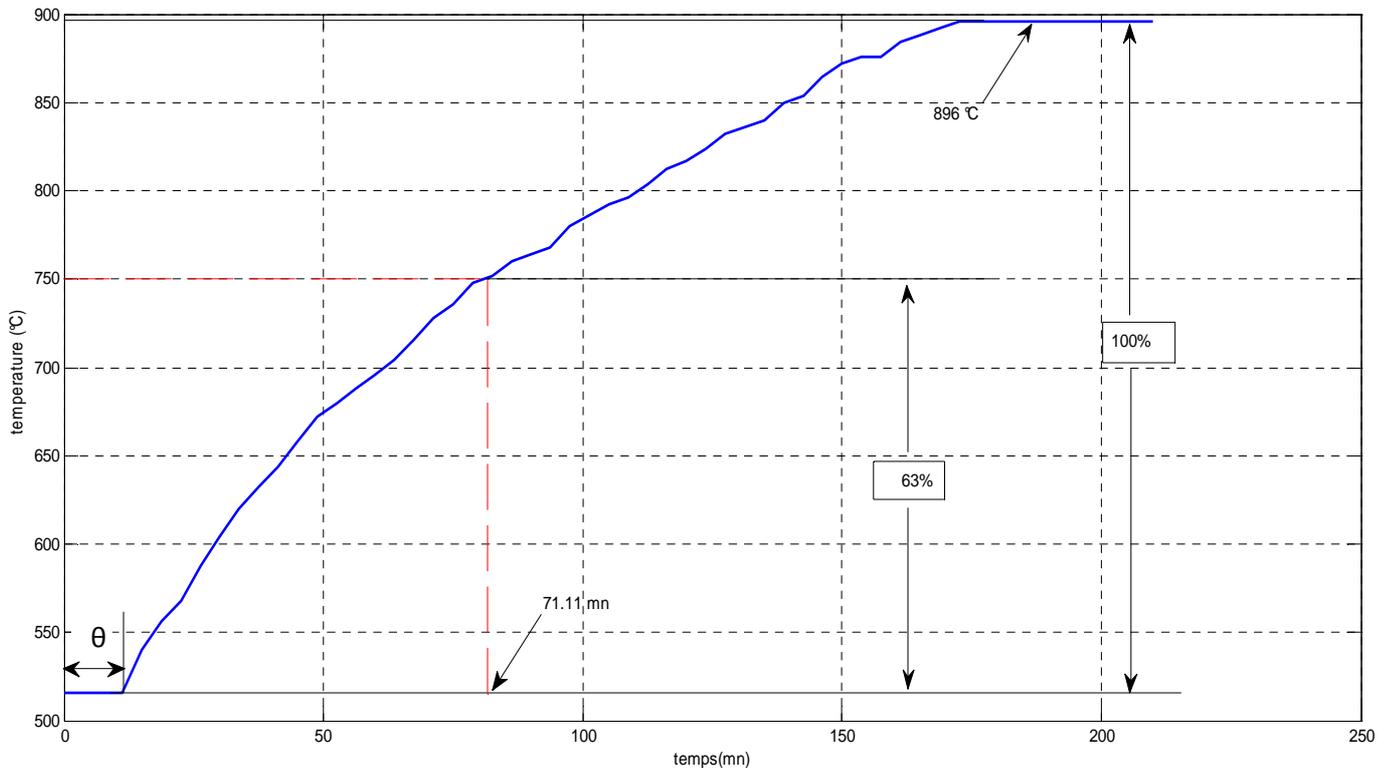


Figure.III.2 Evolution de la température en fonction du temps.

L'évolution de la température présente une allure d'un élément de premier ordre avec retard. Par conséquent, on peut considérer que le système est d'ordre 1.

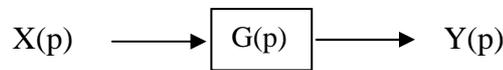
III.4.4 Système de premier ordre

Un système physique d'entrée X(t) et de sortie Y(t) est dit du premier ordre s'il régit par une équation différentielle du 1^{er} ordre du type :

$$\tau \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t) \dots \dots (1)$$

Par définition, il faut réaliser un échelon sur le signal d'entrée, à partir d'un point de fonctionnement stable, et déterminer l'évolution du signal de sortie.

La transmittance correspondante en boucle ouverte peut être schématisée comme suit :



Donc :

$$G(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k}{1 + \tau p}$$

La résolution mathématique de l'équation (1) donne le signal y(t) :

$$y(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

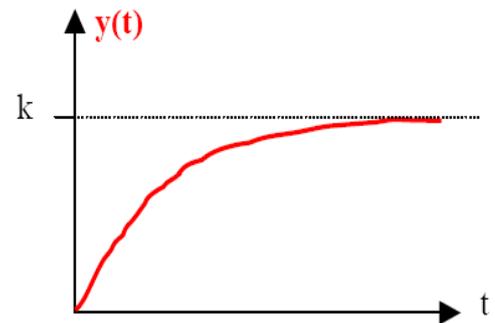


Figure.III.3 Réponse transitoire à un échelon.

Ce signal croît en fonction du temps (figure.III.3) et tend asymptotiquement vers la valeur k. Si l'échelon sur X(t) est d'amplitude E la valeur finale est KE.

Dans notre cas, le système contient un retard T, d'où l'écriture de la fonction de transfert sera :

$$G(p) = \frac{k}{1 + \tau p} e^{-\theta p}$$

La réponse du système prendra la forme :

$$y(t) = k(1 - e^{-\frac{t-\theta}{\tau}})$$

III.4.4.1 Points caractéristiques de la réponse indicielle

- ✓ Constante de temps τ : pour $t = \tau$; $y(\tau) = 0,63k$ (c'est-à-dire 63% de la valeur finale).
- ✓ Temps de réponse tr : pour $t = 3\tau$; $y(3\tau) = 0,95k$ (c'est-à-dire 95% de la valeur finale).
- ✓ Temps de montée tm : $tm = 2,2\tau$.

La réponse indicielle présente un point anguleux pour $t = 0$ et la tangente à la courbe à cet instant est inclinée. Cette tangente coupe l'asymptote horizontale à la courbe en un point d'abscisse τ .

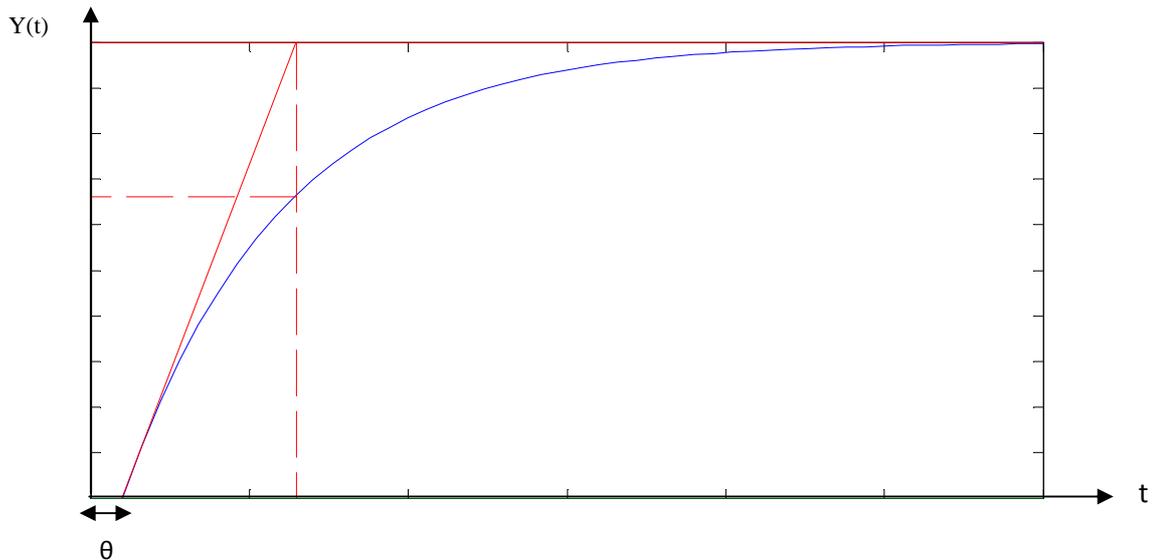


Figure.III.4 Méthode de détermination de la constante de temps.

En appliquant cette méthode, on peut déterminer tous les paramètres de la fonction de transfert du système étudié.

Après son application sur la courbe obtenue de la figure.III.2, on peut tirer ces différents paramètres :

- 1) La constante de temps ; $\tau = 71,11$ mn.
- 2) Le gain statique ; $k = 896 - 516 = 380$.
- 3) Le retard ; $\theta = 11,32$ mn.

Ainsi, la fonction de transfert du système s'écrira :

$$G(p) = \frac{k}{1+\tau p} e^{-\theta p} = \frac{380}{1+71,11p} e^{-11,32p}$$

▪ **Autres points caractéristiques :**

- $y(\tau) = 0,63k = 239,4$. (°C).
- Le temps de réponse ; $tr = 3\tau = 213,33$ mn.
- $y(tr) = 0,95k = 361$. (°C).

- Le temps de montée t_m ; $t_m = 2,2\tau = 156,442$ mn.

En conclusion, le modèle obtenu est un modèle du 1^{er} ordre avec retard à trois paramètres τ , k et T .

III.5 Validation du modèle

La validation du modèle, c'est une procédure qui suit à chaque fois l'étape d'identification ou de modélisation des systèmes. Elle consiste à comparer la réponse du système réel à celle du modèle, si les deux réponses sont identiques ou presque identiques on valide le modèle sinon on refait la modélisation afin d'obtenir un modèle satisfaisant.

▪ Application

A l'aide du logiciel Matlab, on a tracé la réponse du système réel (mesures réalisées) et celle prédite par le modèle identifié. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure III.5 qui montre une légère différence mais qui reste acceptable. Par conséquent, le modèle obtenu est satisfaisant.

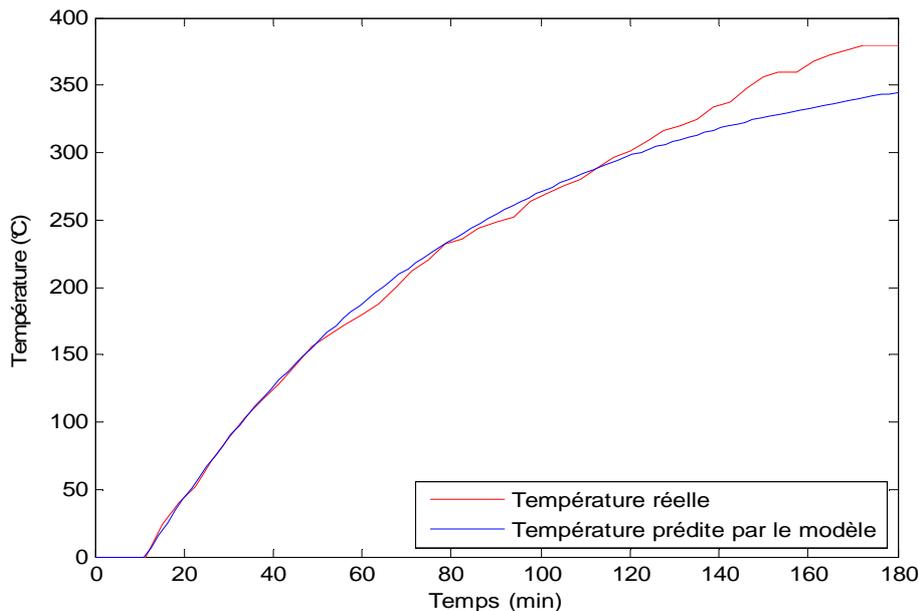


Figure III.5 Courbes représentant la réponse du système et du modèle.

III.6 Calcul du correcteur

III.6.1 Objectifs de la correction

L'objectif est de trouver un moyen pour améliorer les performances d'un système c'est à dire :

- Comment rendre stable un système instable.

- Comment augmenter les marges de stabilité d'un asservissement instable proche de l'instabilité.
- Comment annuler ou réduire les écarts statiques.
- Comment augmenter la rapidité d'un asservissement jugé trop lent.
- Diminuer les dépassements et les oscillations d'un asservissement mal amorti.

Le principe est d'insérer dans l'asservissement un dispositif appelé « correcteur » ou « compensateur » ou « régulateur ».

III.6.2 Démarches de synthèse des correcteurs

La synthèse d'un correcteur pour un système dynamique passe par les étapes suivantes :

- Choix du type du correcteur.
- Calcul des paramètres du correcteur.
- Vérification par simulation.
- Réalisation du correcteur et insertion.

III.6.3 Correction des systèmes à retard

Les régulateurs PID sont mal adaptés à la régulation des systèmes avec retard. C'est une de leurs limites.

La régulation est moins bonne alors que le retard est égal à un quart de la constante de temps. Un retard égal à la moitié de cette constante de temps est la limite maximale qu'un PID peut réguler. Pour réguler de tel processus, il est nécessaire de compenser ce retard dans la structure de régulateur.

Dans notre cas, un correcteur PID peut être adopté pour la commande de la température.

III.6.4 Compensation des temps morts

Une des limitations du régulateur PID est la difficulté, voir l'impossibilité, de réguler des systèmes avec un retard important (temps mort). Les performances du PID se dégradent dès que le retard dépasse la moitié de la constante de temps principal du procédé.

Cette limitation n'est d'ailleurs pas propre au régulateur PID, elle concerne tous les algorithmes de régulation qui ne font pas appel à un modèle explicite du procédé de façon à compenser le retard. Les régulateurs flous par exemple sont mal adaptés aux processus avec retard, alors que les régulateurs à modèle interne ou prédictif s'en affranchissent sans problèmes.

Quand le retard ne dépasse pas un quart de la constante de temps on se permet d'appliquer les méthodes simples de calculs d'un PID.

La démarche adoptée est de choisir une structure particulière et de calculer ensuite, les éléments de cette structure à fin de satisfaire les performances fixées.

III.6.5 Calcul des paramètres du régulateur PID

Le régulateur PID est largement employé afin d'améliorer les performances du système. La structure du PID facile à comprendre, donc facile à régler et à maintenir. Ces raisons expliquent pourquoi il est si largement employé, de plus sous la forme PI, car l'action D est en général mise à zéro.

Dans la plupart des cas pratiques, le procédé est modélisé par une réponse à l'échelon sous forme d'un premier ordre avec retard.

Pour une adaptation correcte du régulateur PID, on applique une méthode empirique simple appelée « méthode de Ziegler-Nickols»

III.6.6 Méthode de Ziegler-Nickols

Ziegler et Nickols ont été les premiers à montrer comment on pouvait choisir les paramètres d'un régulateur PID à partir d'une réponse à un échelon du procédé. Leur méthode, même si elle n'est pas la meilleure, jouit d'une notoriété telle qu'il n'est pas possible de l'ignorer.

L'idée consiste à approximer la réponse du procédé à un échelon unitaire, que l'on suppose apériodique par un modèle du type :

$$G(p) = \frac{K}{1+\tau p} e^{-\theta p}$$

Il suffit ensuite d'appliquer les relations de la table suivante que l'on utilise un régulateur P, PI ou PID. Ces relations ont été développées empiriquement pour donner une réponse en boucle fermée oscillante, avec un dépassement initial de l'ordre de 30 à 40% et avec un rapport d'amplitude des oscillations de 1/4.

| Type de régulateur | K_c | $\frac{1}{Ti}$ | T_d |
|--------------------|-----------------------|----------------------|-------|
| P | $\frac{1}{R\theta}$ | — | — |
| PI | $\frac{0,9}{R\theta}$ | $\frac{\theta}{0,3}$ | — |
| PID | $\frac{1,2}{R\theta}$ | 20 | 0,50 |

Telle que $R = \frac{K}{\tau}$

L'application de la méthode de Ziegler-Nichols au modèle du four identifié dont les paramètres sont :

- $K = 380$.
- $\tau = 71,11 \text{ mn}$.
- $\theta = 11,32 \text{ mn}$.

D'où

$$R = 5.343$$

L'équation de correcteur PI adoptée est de la forme :

$$\begin{aligned} C(p) &= Kc \left(1 + \frac{1}{T_{ip}} + T_d p \right) \\ &= Kc + \frac{Kc}{T_{ip}} + Kc \cdot T_d p \end{aligned}$$

III.6.7 Calcul des paramètres P et I :

- **Calcul de l'action proportionnelle**

$$P = Kc = \frac{0,9}{R\theta} \quad ; \quad P = \frac{0,9}{5,343 \times 11,32} = 0,015$$

$$P = 0,015$$

- **Calcul de l'action intégrale**

$$I = \frac{Kc}{Ti} = \frac{0,9}{R\theta} \times \frac{1}{\frac{\theta}{0,3}} = \frac{0,3 \times 0,9}{R \times \theta^2}$$

$$I = \frac{0,27}{R\theta^2} = \frac{0,27}{5,343 \cdot (11,32)^2} = 3,942 \times 10^{-4}$$

$$I = 3,942 \cdot 10^{-4}$$

III.6.8 Partie simulation

Pour évaluer les performances du correcteur, une simulation à l'aide de logiciel matlab a été réalisée.

Programme

```

K      = 380;    % gain du système
T      = 71.11; % Constante de temps
thêta = 11.32; % retard

R = K/T; % Pente

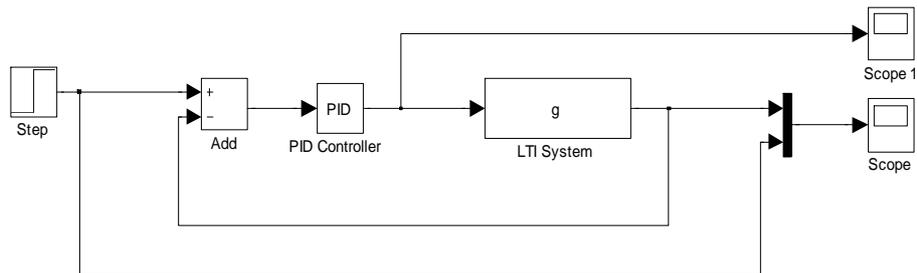
% Action proportionnelle
P = 0.9/(R*thêta);

% Action intégrale
I = 0.27/(R*thêta^2);

% Système à commander
g = tf(K,[T 1], 'InputDelay',theta);

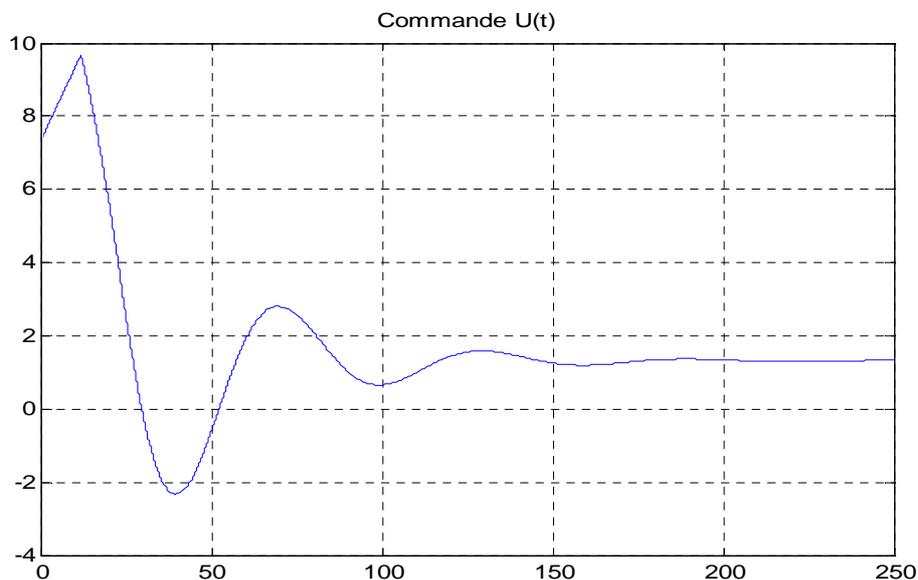
```

Schéma de simulation

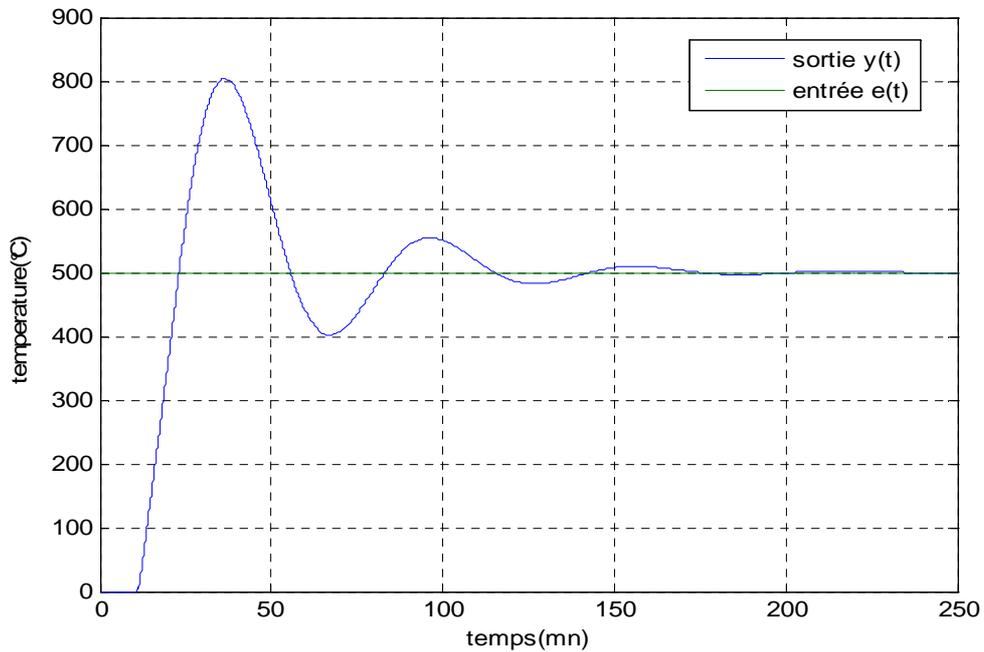


Résultat obtenus

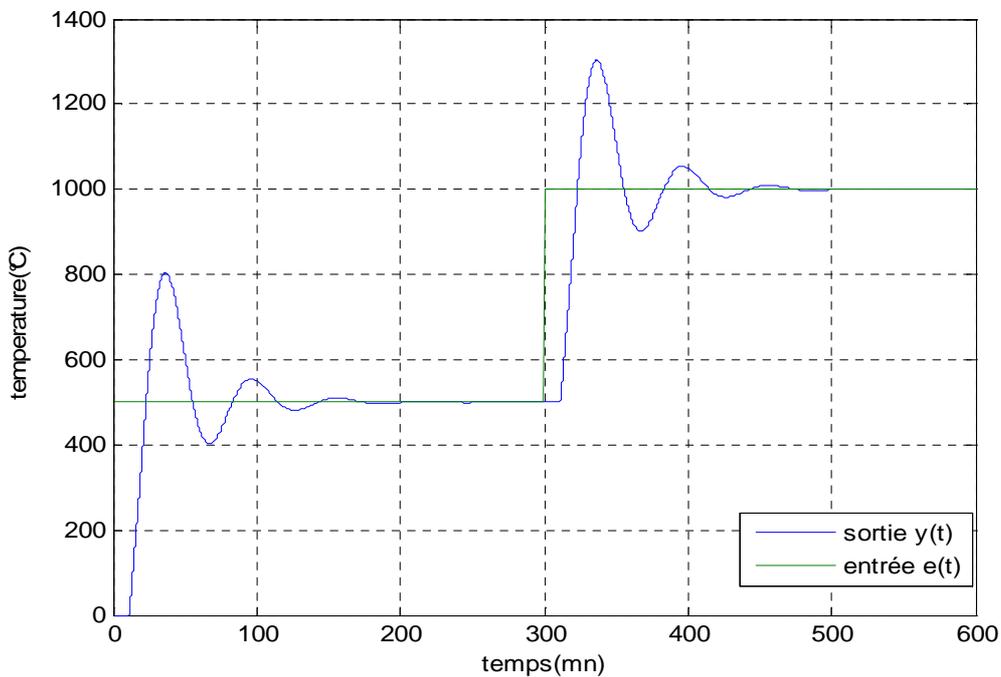
- Signal de commande :



En introduisant une entrée échelon égale à 500°C on aura une sortie oscillante. Les signaux visualisés sont les suivants :



Avec un changement consigne de 500°C à 1000°C, on obtient la sortie suivante :



▪ **Interprétation**

On constate que le correcteur PI assure une poursuite de la consigne imposée mais présente un dépassement tolérable pour le cas du four, car la variation de la température est

très lente en plus de la présence du retard qui est important.

Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté des généralités sur l'identification, puis on a procédé à l'identification du modèle du four à partir des mesures expérimentales en utilisant une méthode graphique. Comme le modèle obtenue est de premier ordre avec retard, la méthode de Ziegler-Nichols a été adoptée pour la synthèse d'un correcteur PI classique. Les performances de ce dernier ont été testées par simulation.

Chapitre IV

*Etude du nouveau matériel de
régulation*

IV.1 Introduction

Selon la complexité des systèmes, la régulation industrielle pose de délicats problèmes. Comme le notre, sa partie régulation fonctionne avec du matériel utilisant une technologie très dépassée, pour répondre à ces différents problèmes et afin d'améliorer les performances du système on a opté à réaliser un nouveau matériel de régulation, plus puissant et hautement fiable.

Ce matériel contient deux régulateurs de température " **Ascon X5** " et " **Ascon M3** ", muni d'un enregistreur électronique " **YOKOGAWA SR 1000** ", de plus un appareil " **Protherm 50** " permettant le calcul et la régulation du potentiel carbone à l'intérieur du four. Le Protherm est enfiché dans un Rack appelé " **Rack Selma** " qui contient aussi un mini automate " **WAGO** ", des relais, une électrovanne de purge, une pompe à vide et un bloc d'alimentation stabiliseur.

Une **sonde à oxygène** de type **CS 87**, mesure les pressions partielles d'oxygène dans l'atmosphère du four est reliée directement au Rack Selma.

IV.2 Types et actions correctives des régulateurs :

En fonction de l'écart mesure-consigne (M-C) évalué dans un comparateur, le régulateur élaboré selon sa conception des actions correctives moins complexes. Les actions correctives usuelles sont les suivantes :

- Action tout ou rien,
- Action proportionnelle,
- Action intégrale,
- Action dérivée.

IV.2.1 Régulateur Tout ou Rien

Largement répandus dans les systèmes thermiques, ils présentent en fait une caractéristique à seuil et hystérésis réglables et commandent un relais électromagnétique ou un relais statique.

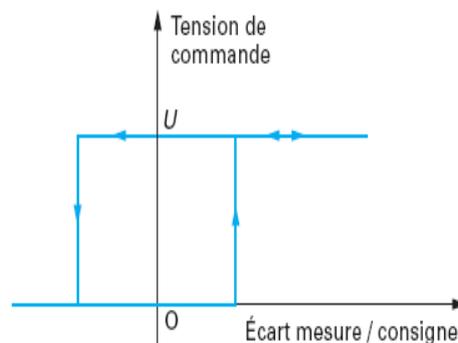


Figure IV.1 Régulateur TOR à seuil et hystérésis.

IV.2.2 Régulateur PID

Dans les régulateurs industriels on n'utilise pas les actions I et D seules mais en combinaison avec l'action P d'où la conception d'un régulateur PID, utilisable en régulateur PI ou PID selon les besoins de régulation. Il existe plusieurs architectures possibles pour combiner les trois actions (série, parallèle ou mixte), on présente ici l'architecture parallèle.

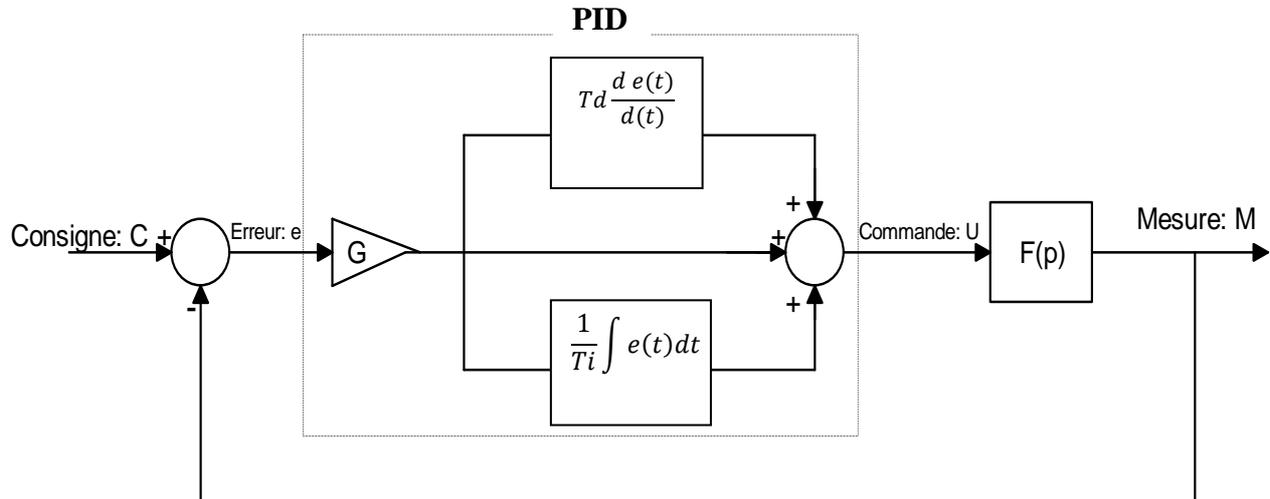


Figure IV.2 Structure parallèle d'un régulateur PID.

IV.2.3 Influences des actions

IV.2.3.1 Action Proportionnelle

L'action proportionnelle est la base de la constitution de la boucle, où elle se trouve quasiment toujours présente. Elle se traduit par une variation du signal U du régulateur proportionnelle à l'écart mesure-consigne. Face à une variation brutale de consigne d'une grandeur perturbatrice, elle va ramener le système dans un nouvel état d'équilibre.

La variation du signal de sortie est proportionnelle à l'écart mesure-consigne.

$$U = G(M-C) + U_0$$

Avec U_0 : valeur du signal de commande à l'état initial.

IV.2.3.2 Action intégrale

L'action intégrale permet d'annuler l'écart statique. Elle s'ajoute à l'action proportionnelle pour former le régulateur PI, et modifie la sortie de ce régulateur en fonction de l'écart dans le temps, donc en fonction de l'intégrale :

$$U = G(M - C) + \frac{G}{T_i} \int_0^t (M - C) dt + U_0$$

IV.2.3.3 Action dérivée

Toujours en complément des autres (P et I) réagissant proportionnellement à la vitesse de variation de la réponse afin d'améliorer le comportement dynamique (diminution du temps de réponse) du système.

Lorsque l'action D est associée avec l'action P on aura :

$$U = G(M - C) + GTd \frac{d(M-C)}{dt} + U_0$$

VI.2.3.4 Action PID

L'algorithme est la somme des actions P, I et D est donné ci-dessous

$$U = G(M - C) + \frac{G}{T_i} \int_0^t (M - C) dt + G.Td \frac{d(M-C)}{dt} + U_0$$

Les paramètres du PID influencent sur la réponse du système de la manière suivante :

- **G** : Lorsque **G** augmente, le temps de montée est plus court mais il y a un dépassement plus important. Le temps d'établissement varie peu et l'erreur statique se trouve améliorée.
- **Ti** : Lorsque $\frac{1}{T_i}$ augmente, le temps de montée est plus court mais il y a un dépassement plus important. Le temps d'établissement au régime stationnaire s'allonge mais dans ce cas on assure une erreur statique nulle.
- **Td** : Lorsque **Td** augmente, le temps de montée change peu mais le dépassement diminue. Le temps d'établissement au régime stationnaire est meilleur. Pas d'influences sur l'erreur statique.

Citons que les régulateurs de température utilisés, sont basés sur le réglage flou et le réglage auto adaptatif qui ont fait une percée rapide dans le monde industriel.

IV.3 Généralités sur la logique floue

La logique floue suscite actuellement un intérêt général de la part des chercheurs, des ingénieurs et des industriels, plus généralement de la part de tous ceux de qui éprouvent le besoin de formaliser des méthodes empiriques, de généraliser des modes de raisonnement naturels, d'automatiser la prise de décision de leurs domaine, et de construire des systèmes artificiels effectuant les tâches habituellement prises en charge par les humains.

L'idée de base de la logique floue consiste à accorder aux affirmations un certain degré de vérité, ce qui est bien pratique pour représenter la réalité, où les choses comme chacun sait, ne sont pas toujours tranchées.

IV.3.1 Principe de la logique floue

La logique floue n'est autre que l'extension de la logique combinatoire à l'aide d'une série de notions fondamentales développées qui permis de justifier et de montrer certaines notions de base. Les éléments indispensables à la compréhension du réglage par la logique floue sont :

- Les variables floues.
- Les règles d'inférences.
- Les opérateurs flous.

IV.3.1.1 Variables floues

La variable floue présente toute une gradation entre la valeur vraie la valeur faux. En considérant les deux notions suivantes :

- les fonctions d'appartenance qui permettent de définir le degré de vérité de la variable floue en fonction la grandeur d'entrée.
- les ensembles flous qui définissent le nombre de variables floues associées à une grandeur d'entrée.

IV.3.1.2 Règles d'inférence

Les règles d'inférence constituent un ensemble de règles floues permettant de décrire sous forme des règles linguistiques une fonction de transfert entre les variables d'entrée et celles de sortie d'un système donné.

IV.3.1.3 Opérateur flous

Ces opérateurs sont : ET, OU, NON et ALORS. Ils sont appliqués aux variables floues par les règles d'inférence.

IV.3.2 Structure d'un régulateur flou

La structure de base d'un régulateur flou est inspirée de celle du régulateur PI discret. Rappelons, que sous forme incrémentale, ce régulateur est décrit par l'équation :

$$u(k) = u(k - 1) + K\Delta e(k) + K\frac{Te}{Ti}e(k - 1)$$

Où K est le gain, T_i la constante intégrale et T_e la période d'échantillonnage. La variable $e(k)$ est l'écart entre la consigne et la mesure, et $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ est sa variation entre deux instants d'échantillonnage et $u(k)$ l'action à appliquer.



Figure IV.3 Structure interne d'un régulateur flou.

IV.3.2.1 Fuzzyfication

Permet de transformer les grandeurs générées à l'entrée en partie floue, donc c'est le mécanisme réalisant l'interface numérique-linguistique.

IV.3.2.2 Règles d'inférence

C'est une base de connaissance qui contient les règles floues décrivant le comportement du système.

IV.3.2.3 Défuzzyfication

C'est la l'interface linguistique numérique, qui transforme la partie floue en valeurs numériques directement exploitables par le processus.

IV.3.3 Performances et réglage d'un régulateur flou

Comme nous l'avons déjà évoqué, les régulateurs basés sur la logique floue sont très divers. Les performances dépendent de la méthode de fuzzyfication retenue, des règles d'inférence qui peuvent varier à l'infini et du choix de la technique de défuzzyfication. Il est donc très difficile de dégager des règles générales pour régler un régulateur flou quelconque.

Cependant, il nous paraît important d'illustrer ici quelques idées simples sur le réglage des régulateurs flous, et sur les raisons qui font qu'ils « marchent ». Ces points importants sont les suivants :

- La normalisation des grandeurs est une étape clé du bon fonctionnement. Elle peut d'ailleurs être appliquée à n'importe quel type de régulateur (PID en particulier) et en améliorer notablement les performances.

- Le choix de la période d'échantillonnage est fondamental. En particulier, il apparaît qu'un régulateur flou utilisant une période d'échantillonnage trop petite par rapport aux constantes de temps ou au retard donne de mauvais résultats.
- Le choix des fonctions d'appartenance et du nombre d'ensembles flous semblent moins crucial.

IV.4 Réglage adaptatif

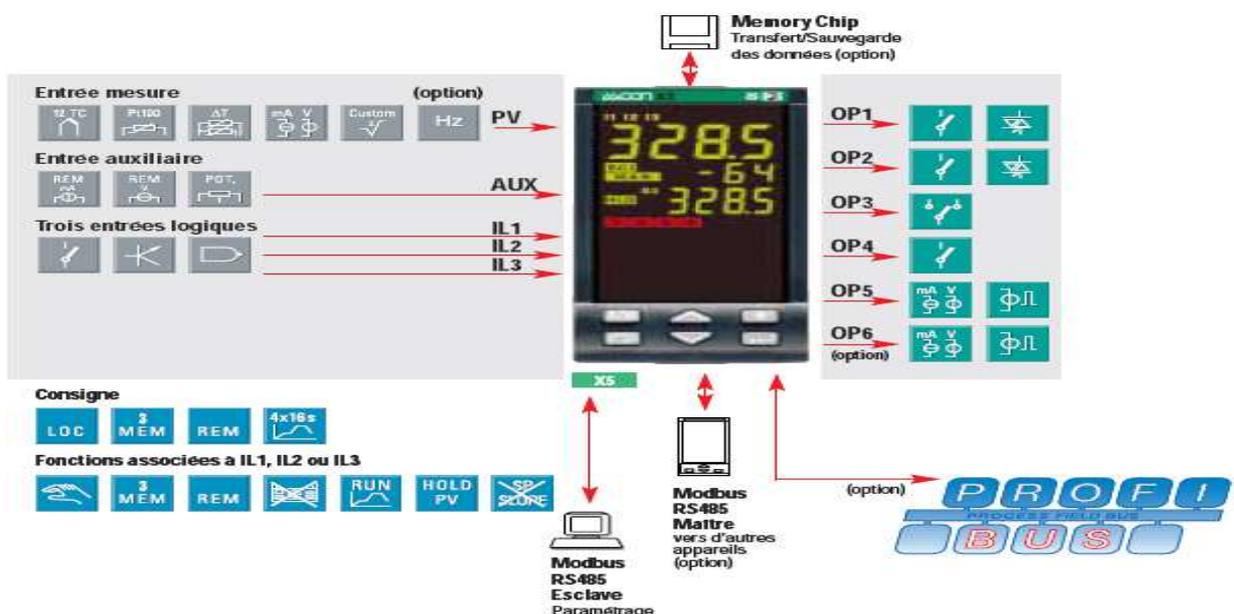
Le réglage adaptatif est l'ensemble des techniques utilisées pour l'ajustement automatique en ligne et en temps réel des régulateurs des boucles de commande afin de réaliser ou maintenir un certain niveau de performance quand les paramètres du procédé à commander soit inconnus ou varient dans le temps.

En effet le réglage adaptatif peut être vu comme une généralisation de la loi de commande en boucle fermée classique où les paramètres du régulateur ne sont pas plus déterminés une fois pour toute, mais sont modifiés en temps réel en utilisant les mesures effectuées sur le processus réel.

IV.5 Description du régulateur de procédé " Ascon X5 "

Les régulateurs de procédé avec PROFIBUS DP et Modbus Maître/Esclave, de la série X5 sont des régulateurs universels conçus pour fonctionner en environnement industriel. Ils disposent de fonctions très complètes. Ils peuvent être utilisés comme programmeur de consigne avec 4 programmes de 16 segments.

IV.5.1 Définition des entrées/sorties



a) Entrées

Pour ce régulateur, on distingue trois types d'entrées :

1- Entrées mesure universelle pour : thermocouples (L-J-K-S-R-T-B-N-E-W), capteurs thermométriques Pt100, mA et mV, la fréquence.

2- Entrées auxiliaires : pour la consigne externe (courant 0/4...20 mA, résistance d'entrée = 30Ω et tension 1...5V, 0...5V, 0...10V, résistance d'entrée = 300KΩ), pour le potentiomètre (sert à la mesure de la position du servomoteur).

3- Entrées logique (TTL, NPN et contact isolé) :

- L'entrée logique active correspond à l'état ON et au contact fermé.
- L'entrée logique inactive correspond à l'état OFF et au contact ouvert.

b) Sorties

Le régulateur présente six types de sorties OP1- OP2- OP3- OP4- OP5 et OP6. Le mode de fonctionnement de ces sorties est défini au moment de la configuration.

OP1 – OP2 —→ Sorties triac ou relais.

OP3 – OP4 —→ Sorties relais.

OP5 – OP6 —→ Sorties logiques/ analogiques de régulation ou retransmission.

Les combinaisons disponibles sont :

| | Régulation | | Alarmes | | | | Retransmission | |
|---------------|-----------------------|-----------------------|---------|-----|-----|-----|----------------|-----|
| | Principale (chaud) | Secondaire (froid) | AL1 | AL2 | AL3 | AL4 | PV/ SP | |
| Simple action | OP1 | | | OP2 | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 |
| | OP5 | | OP1 | OP2 | OP3 | OP4 | | OP6 |
| Double action | OP1 | OP2 | | | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 |
| | OP1 | OP5 | | OP2 | OP3 | OP4 | | OP6 |
| | OP5 | OP2 | OP1 | | OP3 | OP4 | | OP6 |
| | OP5 | OP6 | | OP2 | OP3 | OP4 | | |
| Servomoteur | OP1 | OP2 | | | OP3 | OP4 | OP5 | OP6 |

IV.5.2 Connexions électriques

La figure suivante montre les différents borniers de raccordement du régulateur :

Alimentation

- Version standard :
Tension nominale : 100 – 240V~
Fréquence : 50/60 Hz.
- Version basse tension :
Tension nominale : 24V.
Fréquence : 50/60 Hz.
Consommation : 3VA au maximum.

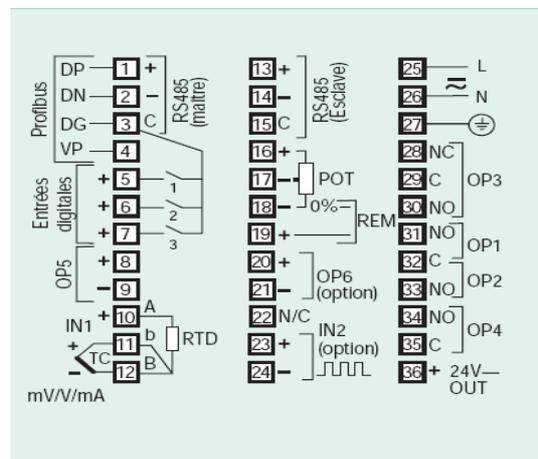


Figure IV.4 Borniers de raccordement du régulateur.

Bien que ce régulateur ait été conçu pour résister à de fortes perturbations présentées sur les sites industriels, il est vivement recommandé de suivre les recommandations suivantes :

- Séparation de lignes d'alimentation des autres lignes de puissance.
- Eloignement de l'appareil des unités de puissance, particulièrement de celles à contrôle par angle de phase.
- Séparation des signaux bas niveau de l'alimentation et des sorties.

Un câblage conseillé peut se présenter comme suit :

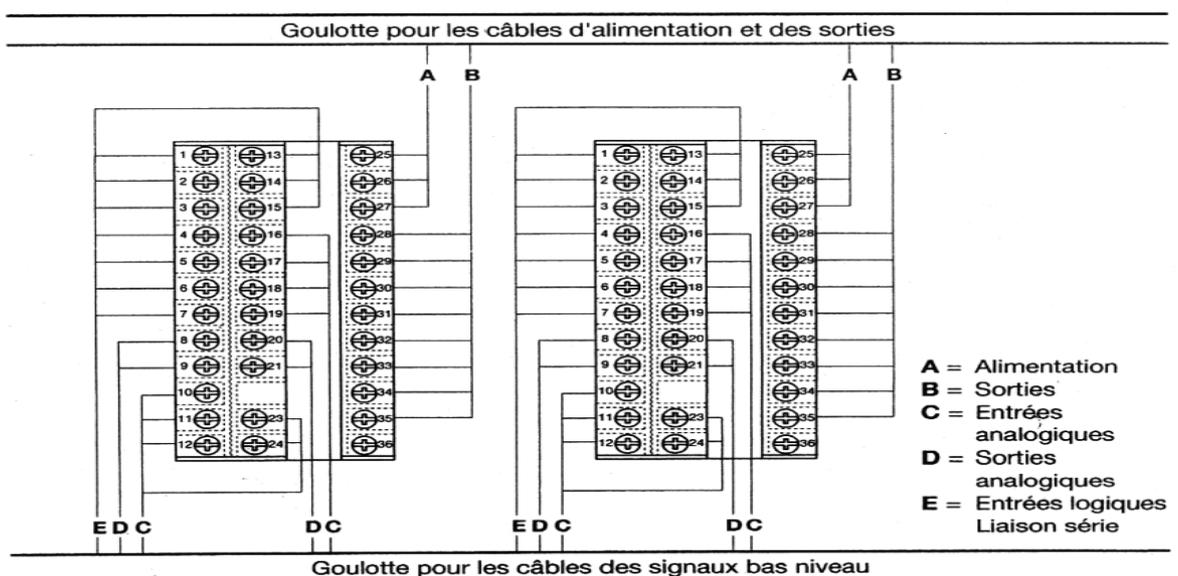


Figure IV.5 Schéma d'un type de câblage.

IV.5.3 Exemple d'un schéma de câblage (commande d'un servomoteur)

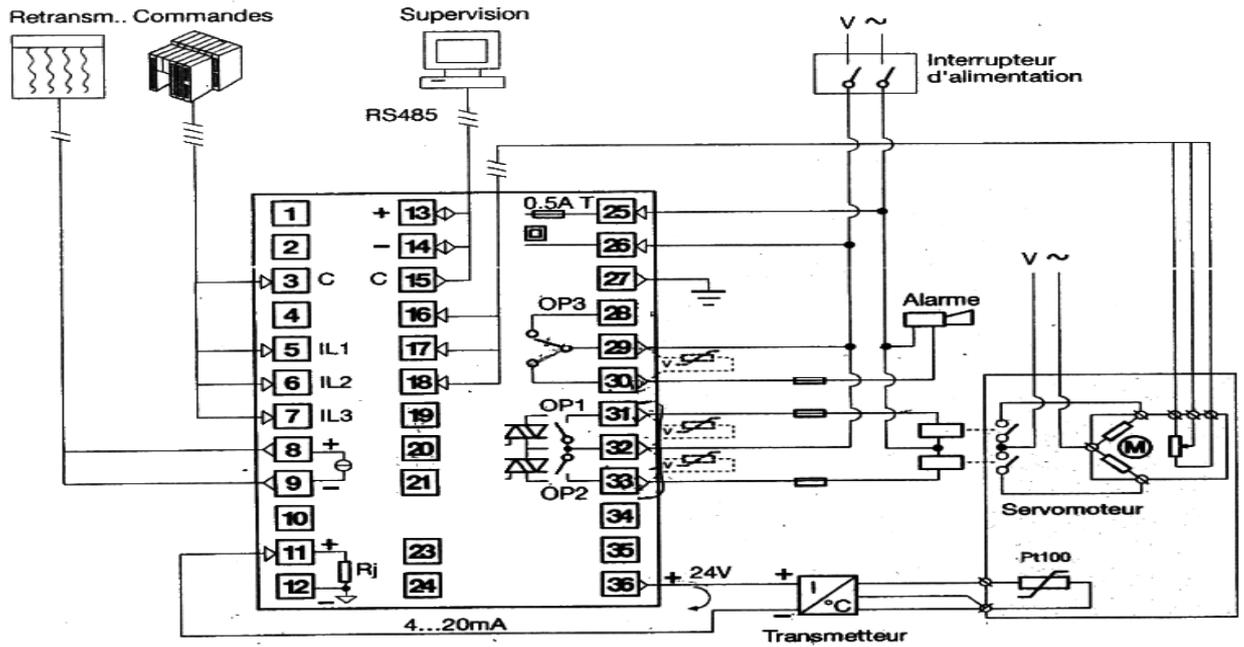
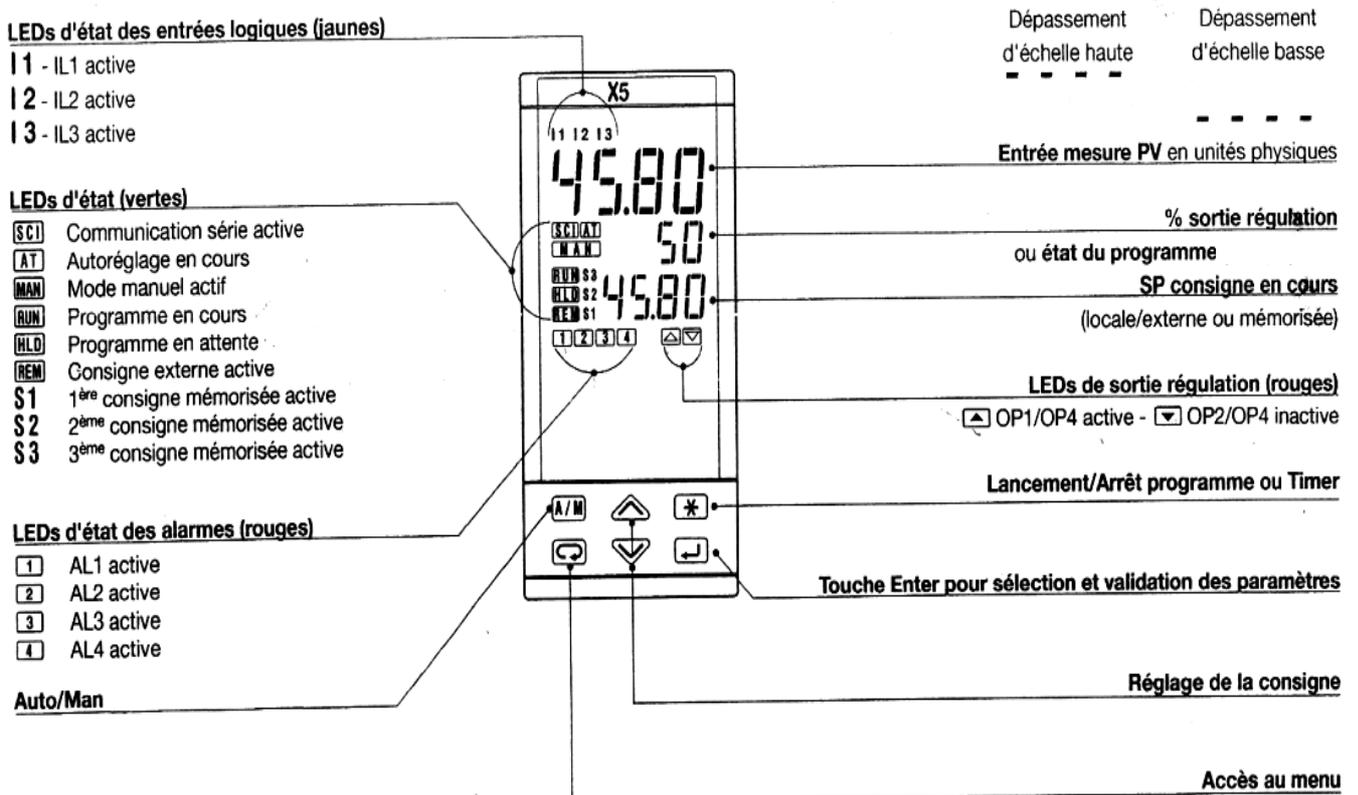


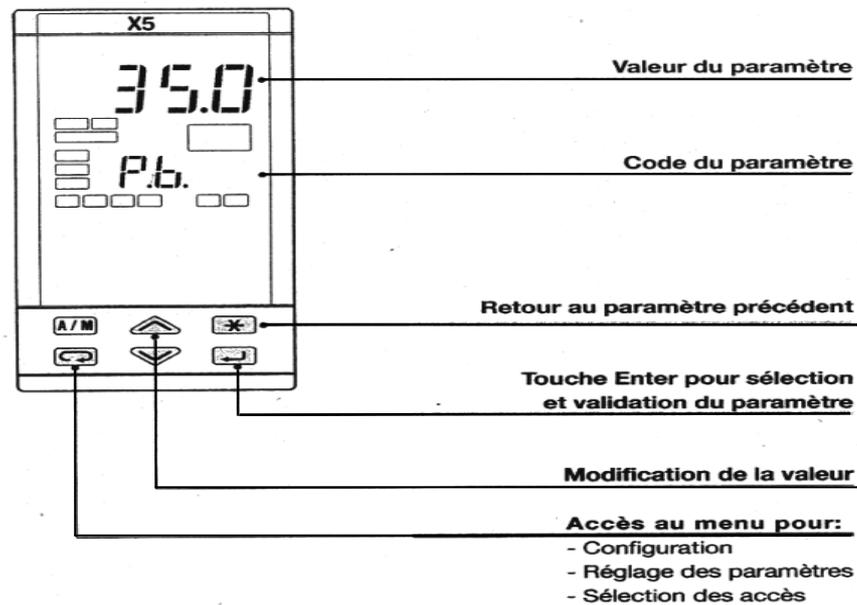
Figure VI.6 Schéma de câblage pour commande d'un servomoteur.

IV.5.4 Utilisation

IV.5.4.1 Fonctions des touches et des afficheurs en mode utilisation



IV.5.4.2 Fonctions des touches et de l'afficheur en mode programmation



IV.5.5 Procédure d'autoréglage du régulateur

Le régulateur propose deux types d'algorithme d'autoréglage :

- 1)- Fuzzy Tuning ; autoréglage initial avec sélection automatique de la méthode.
- 2)- Adaptive Tuning ; réglage des paramètres en continu avec auto apprentissage.

IV.3.5.1 Fuzzy Tuning (réglage flou)

Deux méthodes de réglage initial des paramètres sont disponibles :

- Autoréglage par réponse à un échelon.
- Autoréglage par fréquence naturelle du procédé.

Le Fuzzy Tuning sélectionne automatiquement la méthode la plus adaptée selon les conditions du procédé.

L'autoréglage par réponse à un échelon est sélectionné si, au lancement de la procédure, l'écart entre la mesure et la consigne est plus de 5% de l'échelle. Le régulateur modifie sa valeur de sortie et calcule ses paramètres PID qui deviennent opérationnels immédiatement. Le principal avantage de cette méthode est la vitesse de calcul des paramètres.

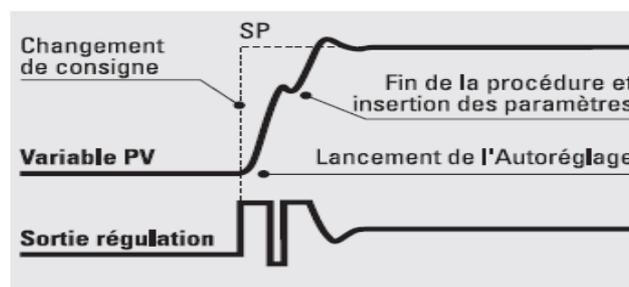


Figure IV.7 Autoréglage par réponse à un échelon.

D'un autre côté, l'autoréglage par fréquence naturelle du procédé est sélectionné si, au lancement de la procédure, la consigne est proche de la mesure. Dans ce cas, le régulateur provoque une oscillation du procédé autour de la consigne. Le principal avantage de cette méthode réside dans le peu de perturbation induite sur le procédé ainsi que la meilleure précision de calcul dans un temps raisonnable.

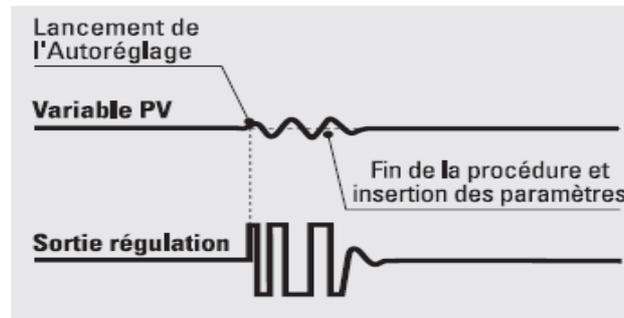


Figure IV.8 Autoréglage par fréquence naturelle du procédé.

IV.5.5.2 Adaptive Tuning (réglage auto adaptatif)

L'Adaptive - Tuning à auto apprentissage est le type non intrusif ; le signal de commande ne varie pas pendant la phase de recherche des nouveaux paramètres et ne perturbe pas donc le procédé. Il intervient uniquement quand cela est nécessaire : modification de consigne ou perturbation du procédé (variation de charge par exemple). Il ne demande aucune action de la part de l'opérateur.

L'Adaptive - Tuning est un mode réglage simple et sûr ; il analyse la réponse du procédé, mémorise la réaction en intensité et fréquence, et à partir des données statistiques mémorisées, corrige et valide le nouvel algorithme PID. Cette méthode est idéale pour les procédés non linéaires, pour lesquels il est fondamental d'adapter les paramètres PID en fonction des modifications qui surviennent sur le procédé.

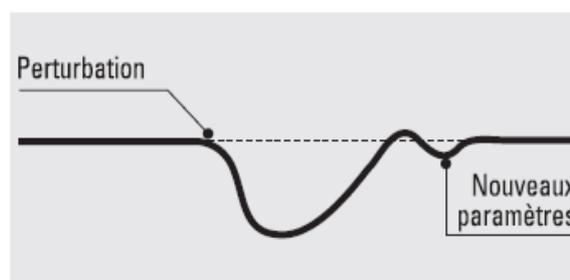


Figure IV.9 Réglage auto adaptatif.

✓ Remarque

En cas de coupure secteur, avec l'Adaptative Tuning actif, les valeurs des paramètres PID sont mémorisées et sont utilisées au redémarrage.

Au retour de l'alimentation, l'Adaptative Tuning redémarre automatiquement.

Ce régulateur présente une possibilité de trois liaisons séries avec d'autres instruments.

IV.5.6 Liaisons séries**IV.5.6.1 Profibus DP Esclave (Process Field Bus Protocol)**

Le Profibus est un réseau en bus robuste et performant pour la communication des instruments périphériques à une machine. Le Profibus DP permet un échange de donnée rapide et cyclique avec des appareils de terrain. Ce protocole offre divers avantages par rapport aux autres standards utilisés par d'autres fournisseurs :

- Vitesse de communication jusqu'à 12Mb/sec.
- La liste des données à transmettre est configurable par l'utilisateur. Elle peut être définie à l'aide du logiciel de configuration.

IV.5.6.2 Modbus Esclave

Les valeurs des paramètres peuvent être lues et si possible modifiées.

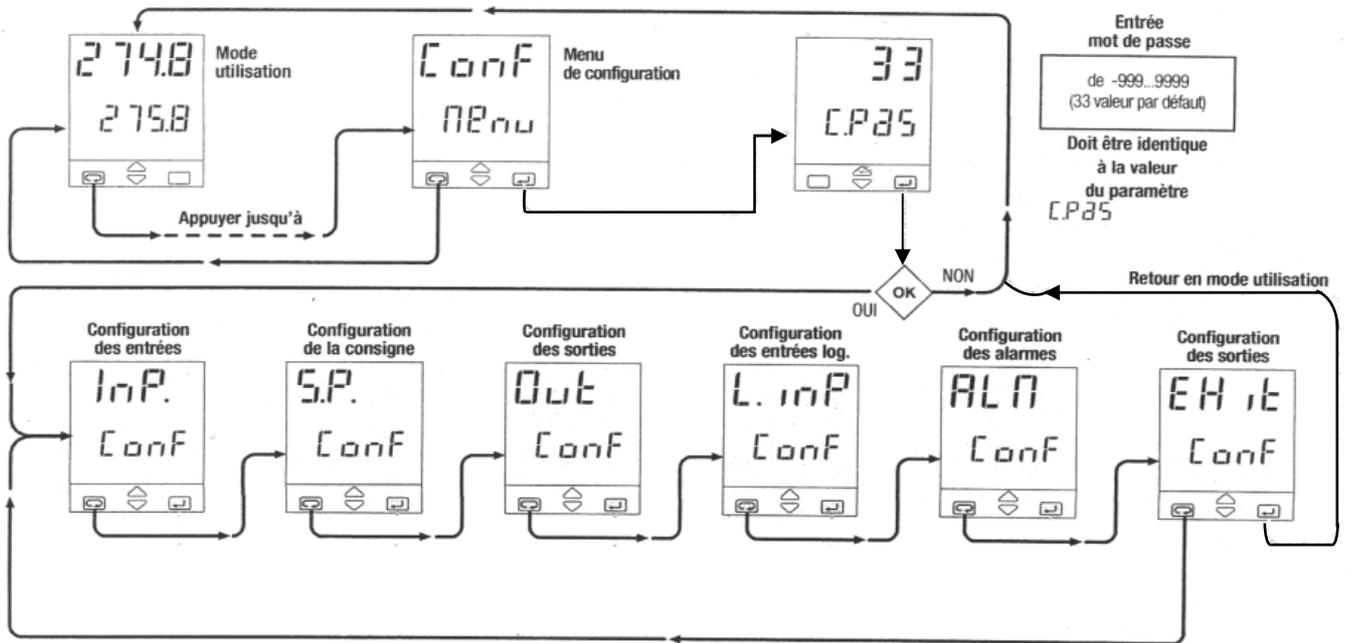
IV.5.6.3 Modbus Maitre/ Package Mathématique

La liaison série Modbus Maitre permet au régulateur d'échanger des informations avec des instruments équipés d'une communication Modbus Esclave (API par exemple).

Le Package Mathématique permet des calculs avec les données reçues par la communication. Il donne la possibilité de travailler sur n'importe quelle information disponible dans le régulateur au moyen d'un simple jeu d'opérateurs mathématiques. Il réalise par exemple la comparaison entre deux valeurs et envoie la plus haute à l'esclave.

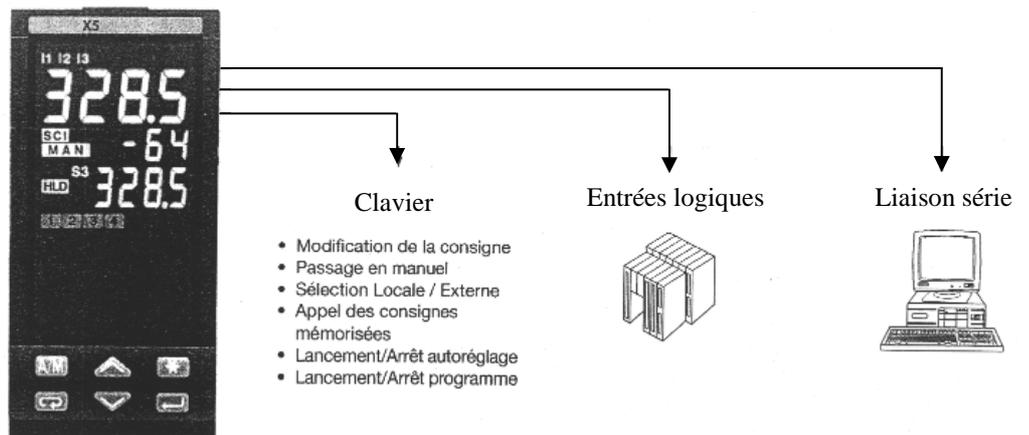
IV.5.7 Procédure de configuration

la procédure de configuration du régulateur se présente comme suit :



IV.5.8 Commandes du régulateur

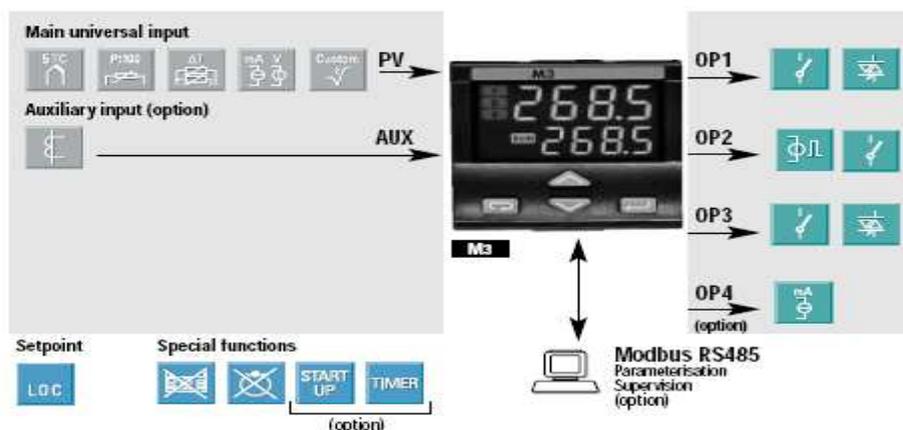
Les commandes peuvent être effectuées de trois façons, soit par clavier, par entrées logiques ou par liaison série.



IV.6 Description du régulateur " Ascon M3 "

Le régulateur Ascon M3 est un régulateur universel qui utilise les mêmes procédures ; de paramétrage, de configuration et d'autoréglage que celui de la série X5. Il se diffère du régulateur Ascon X5 seulement du cotés entrées/sorties, et la non disponibilité de la liaison série PROFIBUS.

IV.6.1 Définition des entrées/sorties



a) Entrées

Deux types d'entrées peuvent être appliqués à ce régulateur :

- 1- Entrée mesure universelle pour : thermocouples, Pt 100, mA et mV
- 2- Entrée auxiliaire uniquement pour transformateur d'intensité TI pour la mesure du courant de charge.

b) Sorties

Le régulateur présente quatre types de sortie OP1, OP2, OP3 et OP4. Le mode de fonctionnement de ces sorties est défini au moment de la configuration.

OP1 – OP3 → Sortie relais/ triac.

OP2 L → Sortie logique.

OP2 R → Sortie relais.

Les combinaisons disponibles sont :

| | Régulation | | Alarmes | | Retransmission |
|---------------|------------|-----|---------|-----|----------------|
| Simple action | OP1 | | OP2 | OP3 | OP4 |
| Simple action | OP1 | | OP1 | OP3 | OP4 |
| Double action | OP1 | OP3 | OP2 | | OP4 |
| Double action | OP1 | OP2 | | OP3 | OP4 |
| Double action | OP2 | OP3 | OP1 | | OP4 |

IV.6.2 Connexions électriques

Les borniers de raccordement du régulateur sont représentés sur la figure suivante :

Alimentation

- Version standard
Tension nominale : 100 – 240 V~
Fréquence : 50/60 Hz.
- Version basse tension
Tension nominale : 24V.
Fréquence : 50/60 Hz.
Consommation : 2,6W au maximum.

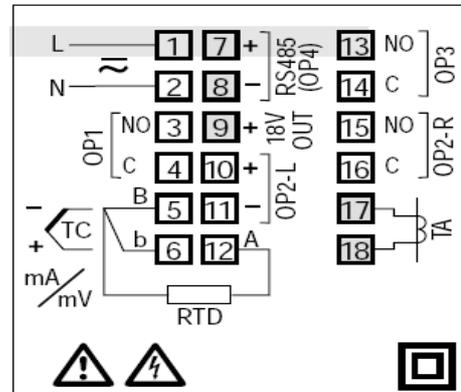


Figure IV.10 Borniers de raccordement du régulateur Ascon M3.

IV.6.3 Exemple d'un schéma de câblage d'une régulation chaud-froid :

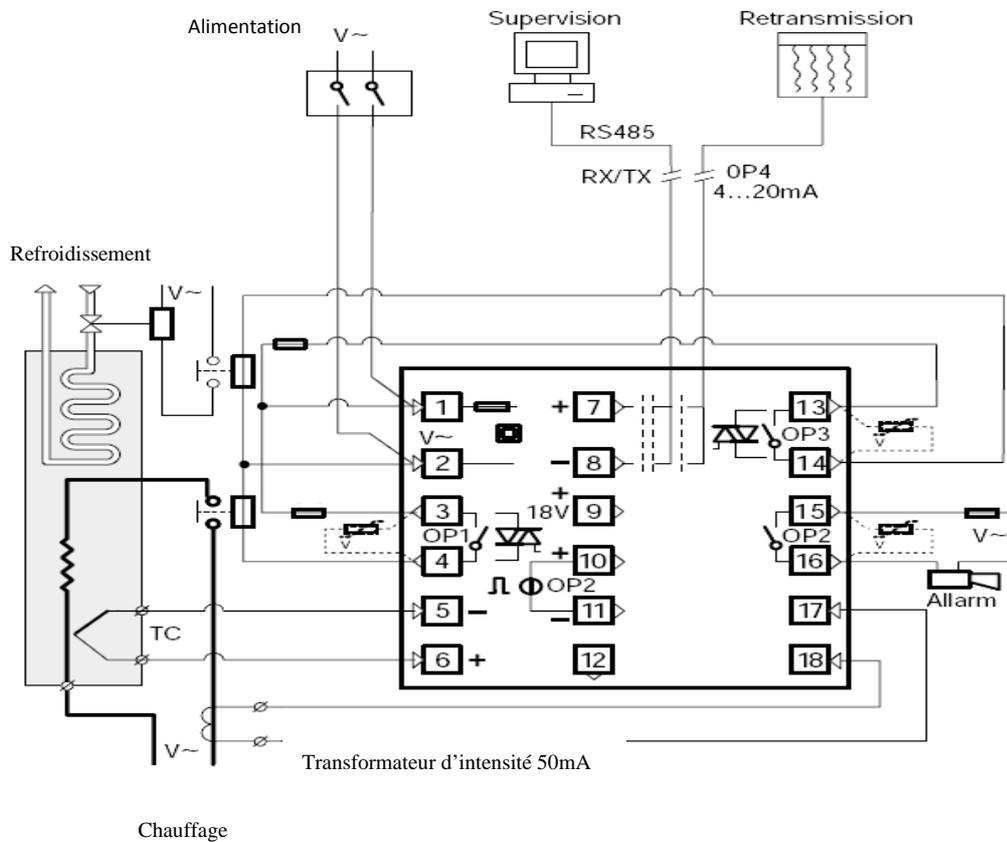


Figure IV.11 Schéma de câblage d'une régulation chaud/ froid.

IV.7 Description de l'enregistreur " YOKOGAWA SR 1000 "

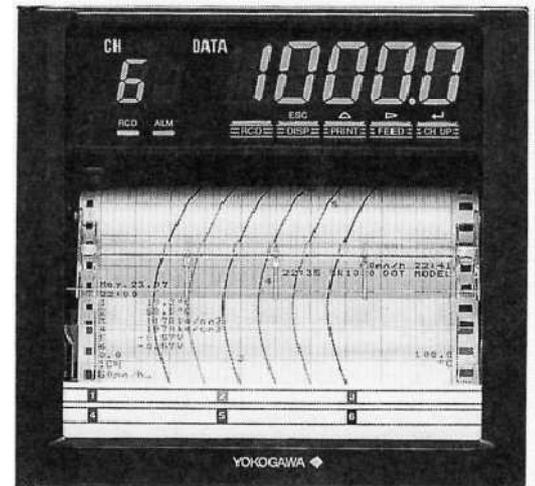
Afin de visualiser l'historique de la température et du potentiel carbone (c'est à dire les courbes d'évolution de la température et du carbone en fonction du temps) pour chaque essai de cémentation, un enregistreur de type " YOKOGAWA SR1000 " permet cette visualisation.

IV.7.1 Généralités

L'enregistreur SR1000 à six voies est un enregistreur de dimensions réduites utilisant un diagramme d'une largeur de 100 mm. Son entrée est universelle, il est donc entièrement programmable en tension/courant, thermocouple... etc.

En plus de l'enregistrement analogique, il imprime également des données numériques (date et heure, valeurs mesurées, vitesse de défilement, alarmes). La technologie sans contact choisie par **Yokogawa** limite les risques d'usure en utilisant des relais à semi conducteurs à haut pouvoir de coupure et des servomoteurs sans balais.

Grâce à ses dimensions réduites (220mm), le SR 1000 trouve sa place dans la plupart des applications, comme instrument de surveillance ou de contrôle de qualité.



IV.7.2 Conditions de fonctionnement

- Tension d'alimentation : 100 à 240 V.
- Consommation : 50 VA au maximum.
- Fréquence d'alimentation : 50/60 Hz.
- Température ambiante : 0 à 50 °C.
- Humidité ambiante : 20 à 80 % (entre 5 et 40 °C).
- Champ magnétique : inférieur à 400 AT/m.
- Choc : non admis.

IV.7.3 Modes de réglage des données

L'enregistreur fonctionne sous trois modes :

a- Exploitation normale (OPERATION)

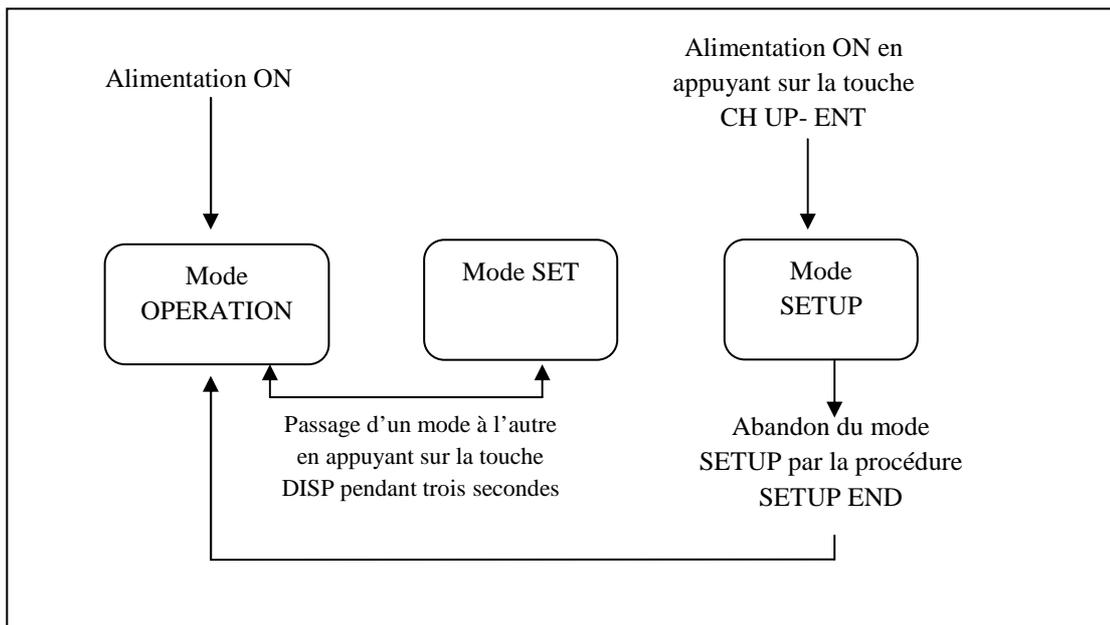
C'est le mode de l'exploitation quotidienne, lorsque l'appareil est mis sous tension, l'enregistreur se met automatiquement dans ce mode.

b- Mode SET

Ce mode permet d'introduire les données utilisées tous les jours, telles que les consignes d'alarmes et l'heure. En appuyant sur la touche DISP pendant trois secondes en mode OPERATON, l'appareil passe en mode SET.

c- Mode SETUP

Dans ce mode, on effectue les réglages nécessaires à l'impression digitale, les alarmes et autres fonctions, ainsi que l'ajustement de la position de la plume ou la position d'impression des points.



La cémentation correcte exige la régulation du potentiel Carbone dans l'atmosphère du four, et comme la mesure de la pression partielle d'oxygène nous permettra de calculer ce potentiel carbone, deux appareils (sonde à oxygène, Protherm 50) de mesure et de régulation fonctionnent dépendamment réalisent cette régulation.

IV.8 Description du " PROTHERM 50 "**IV.8.1 Généralités**

Le Protherm 50 est un appareil servant à calculer et réguler l'oxygène résiduel, la pression partielle d'oxygène, la température, la profondeur de nitruration et le potentiel carbone. Pour les mesures, une sonde à oxygène, une sonde lambda ou un analyseur de CO/CO2 peuvent être connectés.

L'utilisation de l'appareil s'effectue au moyen d'un seul bouton rotatif/poussoir à double actions. La configuration de l'appareil peut-être effectuée par liaison série. Interfaces CANBUS intégrée, PROFIBUS ou Modbus en option.

IV.8.2 Mesure

Trois entrées analogiques de haute précision.

- Potentiel Carbone : fém, température, CO.
- Température: deux canaux de régulation, mesure comparative.
- Profondeur de nitruration: fém, température.
- Régulation d'O₂ : fém, température, sonde à oxygène ou lambda.

IV.8.3 Calcul

Les valeurs spécifiques du processus sont calculées selon un modèle mathématique. Le calcul de toutes les grandeurs spécifiques telles que la teneur en oxygène (log (pO₂)), la teneur en carbone (CP), la vapeur d'eau (H₂O), le point de rosée (TP), la teneur en CO.

IV.8.4 Régulation

Algorithme de régulation PID optimisé pour le Potentiel Carbone, la température, la pression partielle d'oxygène, l'oxygène résiduel de 0-100%....etc.

Le régulateur est équipé d'un système d'auto optimisation, courbes de correction enregistrables, algorithme de nettoyage de la sonde intégré.

Pour le contrôle continu des signaux d'entrée/sortie, cinq relais librement configurables sont mis à la disposition. Par ailleurs, les signaux de sortie peuvent être raccordés par des interfaces ou directement par les unités CANBUS.

IV.8.5 Configuration

Possibilité d'effectuer la configuration par un logiciel PC sous WINDOWS ou LINUX. Il est possible d'imprimer la liste des configurations.

La configuration peut également s'effectuer par l'intermédiaire d'un modem sur le port série.

IV.8.6 Caractéristiques techniques

- Dimensions : 96 mm x 96 mm ; profondeur : 230 mm.
- Alimentation électrique : 24 V/ 150 mA.
- Trois entrées ANA (force électromotrice ou thermocouple).
- Trois entrées TOR.

- Cinq sorties TOR.
- Température ambiante maximale : 55°C.
- Connecteur SUB-D à 9 pôles.
- CANBUS intégré ; 125 kbits à env. 500 m.
- PROFIBUS ou Modbus disponibles en options.

IV.8.7 Schéma de raccordements électriques

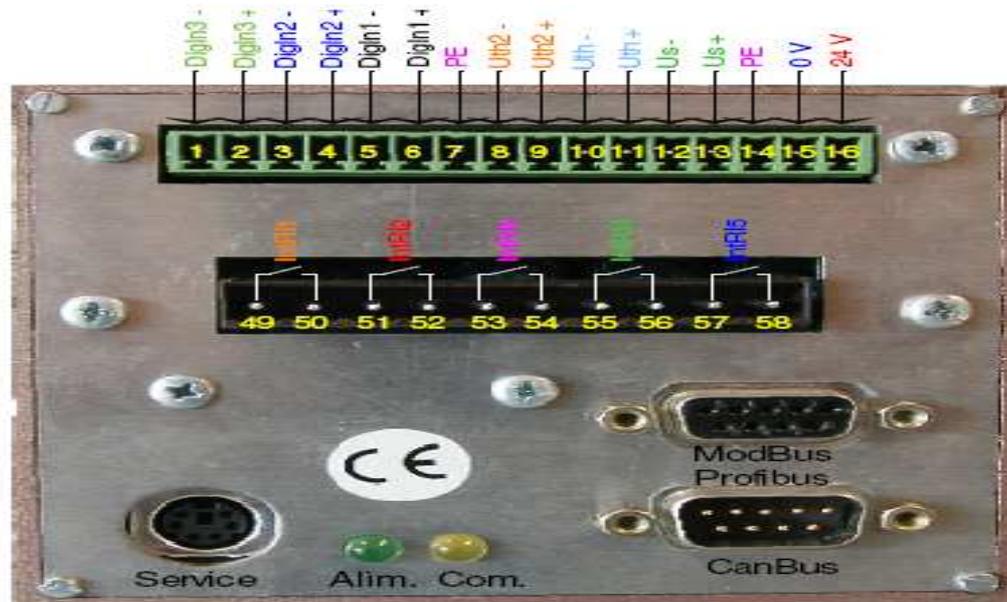


Figure IV.12 Raccordements électriques du Protherm 50.

A l'aide d'une sonde à oxygène, les pressions partielles de l'oxygène mesurées sont transférées directement au Protherm 50 qui assure le calcul et la régulation du potentiel carbone.

IV.9 Description de la " Sonde à Oxygène CS87"

IV.9.1 Généralités :

Les éléments de mesure de l'oxygène, type CS87 à base de dioxyde de zirconium, permettent de mesurer les pressions partielles d'oxygène dans les atmosphères des fours utilisés pour le traitement thermique des métaux et des céramiques. Ces sondes sont munies d'un tube extérieur métallique et se distinguent par leurs résistances mécaniques et par leurs excellentes insensibilités aux chocs thermiques. Un mécanisme spécial, procure un effet de nettoyage de la surface de contact entre le dioxyde de zirconium et l'électrode externe. (2 révolutions par heure).

Tous les raccordements électriques sont assurés par des connecteurs. Un raccord spécial permet d'injecter de l'air de purge, un autre raccord permet d'injecter l'air de référence. Chaque élément de mesure possède un thermocouple.

L'électronique de traitement permet de convertir les signaux électriques fournis par cet élément de mesure de l'oxygène, en grandeurs découlant de la pression partielle d'oxygène.

Exemples : Log pO2 pCO/pCO2 pH2O/pH2 Niveau de Carbone.

IV.9.2 Caractéristiques techniques :

- Plage de Mesure Oxygène : 1 – 10⁻²⁴ Bar.
- Plage de Température : 600 – 1100 °C.
- Thermocouple : type S / Pt10RhPt.
- Air de Référence : 10 - 20 l/h°.
- Température ambiante de la tête de raccordement maximum 80°C.
- Diamètre de thermocouple 0,2 mm ou 0,35 mm suivant spécifications.
- Alimentation moteur de nettoyage 220 Volts AC – 1 à 30 Tours/mn.

IV.9.3 Principe de fonctionnement :

Une Sonde à Oxygène fonctionne selon le principe de la mesure d'une différence de pression partielle d'oxygène entre un air de référence et les gaz qui se trouvent dans un four de traitement thermique. L'air de référence donne à la sonde une concentration fixe en oxygène.

La pastille zirconium est donc soumise d'un coté à l'air de référence et de l'autre coté aux gaz se trouvant dans le four, ce qui va produire une fém.

Le signal donné par la sonde est donc un signal mesurable en millivolts qui permettra de calculer la concentration en oxygène. Cette concentration en oxygène permettra par exemple de calculer le Potentiel Carbone de l'atmosphère mesurée.

IV.9.4 Schéma de raccordements électriques

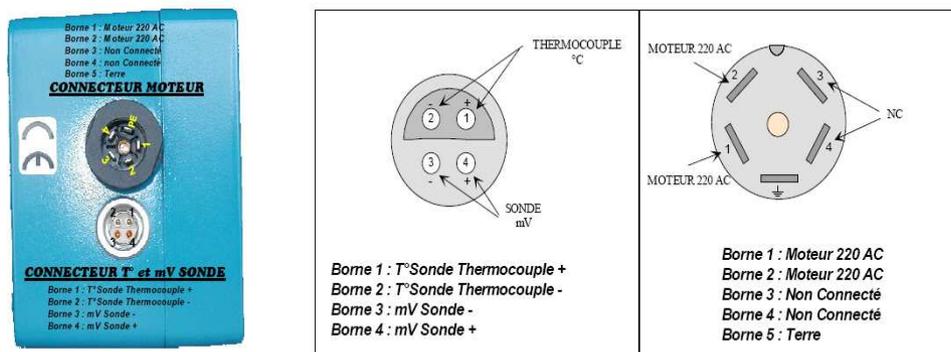


Figure IV.13 Raccordements électriques de la sonde.

IV.9.5 Schéma de raccordements pneumatiques



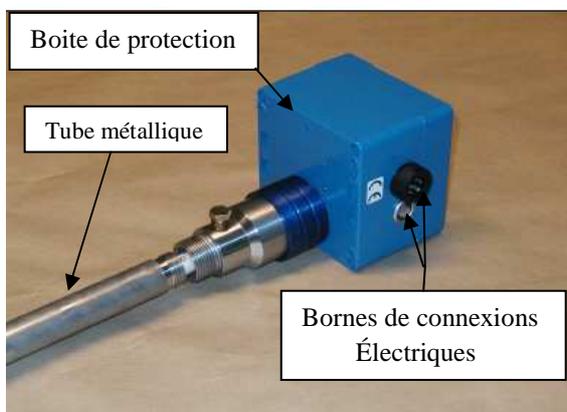
L'air de référence, par l'intermédiaire du tube intérieur est amené directement sur la pastille de zirconium.

L'air de purge est envoyé dans la sonde arrive dans la tête de mesure en passant entre le tube métallique extérieur et le tube en céramique.

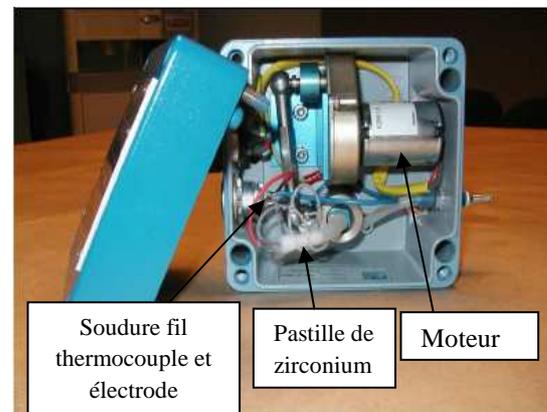
IV.9.6 Remarques concernant la purge de la sonde

Pour enlever la suie, qui s'accumule dans la sonde à oxygène avec le temps, la sonde peut être purgée avec de l'air pour brûler la suie. Pendant la purge, les valeurs de mesure de la sonde sont inutiles, parce que la fém restituée est fautive car il se produit des élévations de la température dues à la chaleur additionnelle produite par la suie brûlante. Par conséquent, la mesure de la sonde et l'action du régulateur d'atmosphère sont figées (Suivant le choix de « Mesures Figées ») pendant la purge sonde et pendant un certain temps après (appelé le temps de rétablissement) afin de tenir compte du rétablissement de la sonde pour lire des valeurs correctes.

IV.9.7 Vue d'ensemble de la sonde



Vue générale de l'extérieur



Vue générale de l'intérieur

Comme on a cité auparavant, le **Rack Selma** avec ses différents constituants est destiné à la régulation de l'atmosphère et de la température.

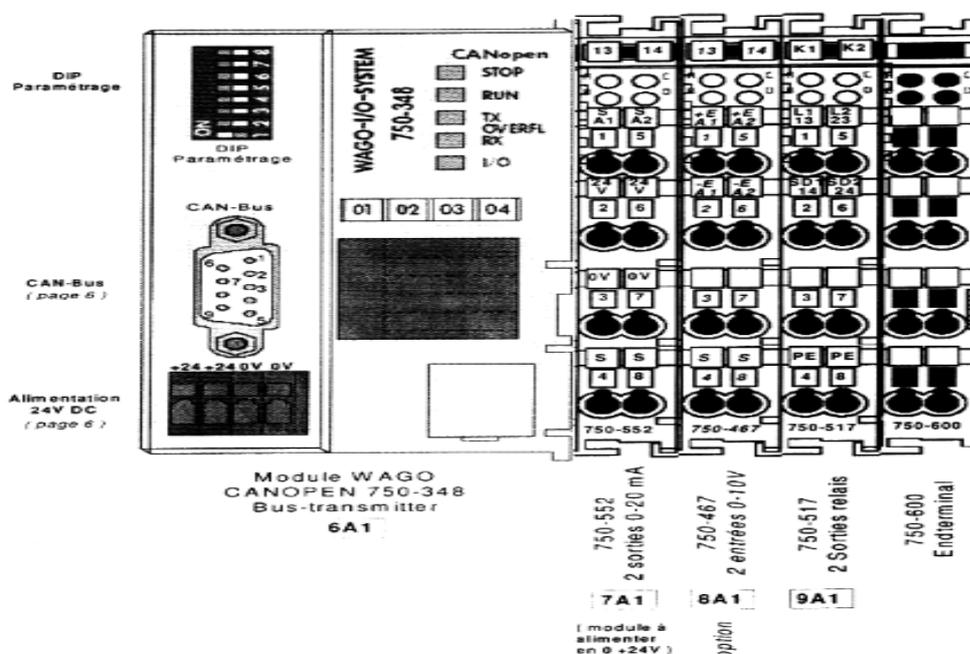
IV.10 Constituants du Rack et ses raccordements

IV.10.1 Protherm 50

Associé par un convertisseur analogique numérique (CAN Bus) avec un mini automate « WAGO ».

IV.10.2 Automate WAGO

L'automate WAGO-I/O-SYSTEM 750 a l'avantage d'être modulaire, tel que suivant la configuration du système on peut rajouter un ou plusieurs modules d'entrées/sorties standards WAGO.



✓ Remarque

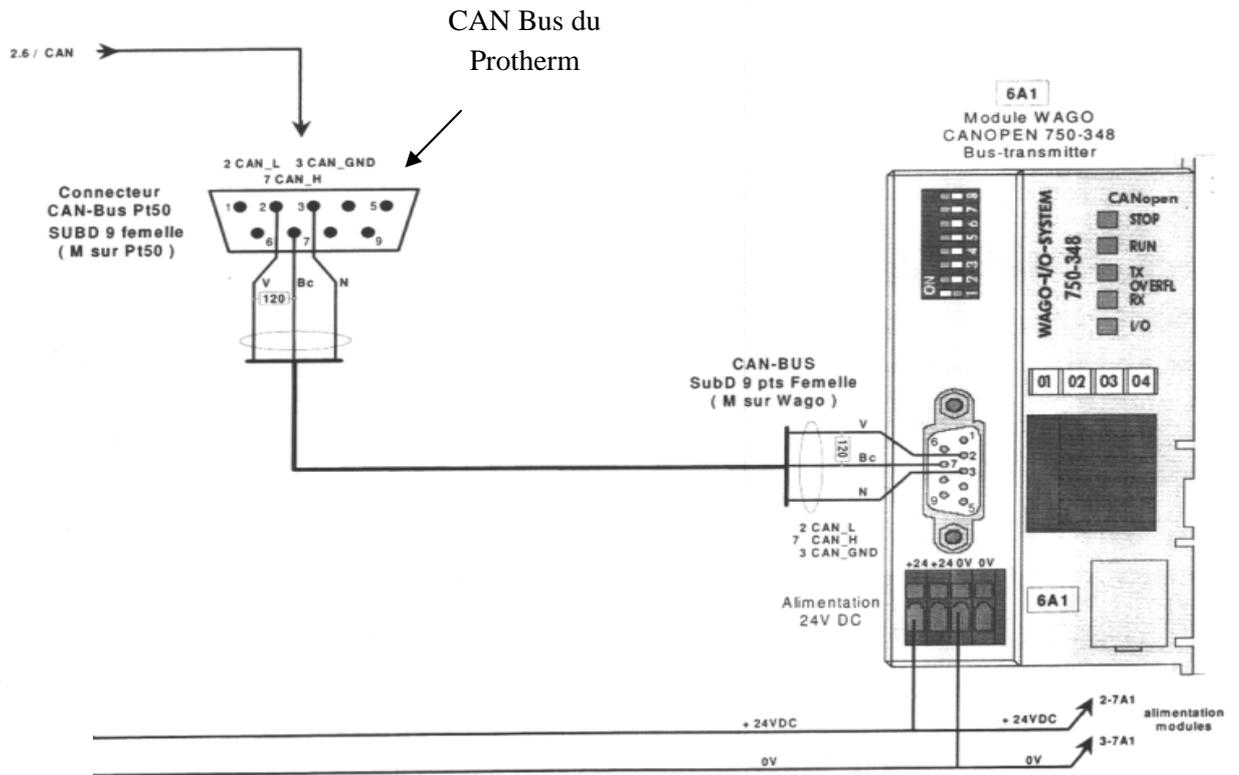
La référence de l'automate change selon le type et le nombre de modules d'entrées/sorties.

Pour le type 750-348 utilisé dans notre cas comprend :

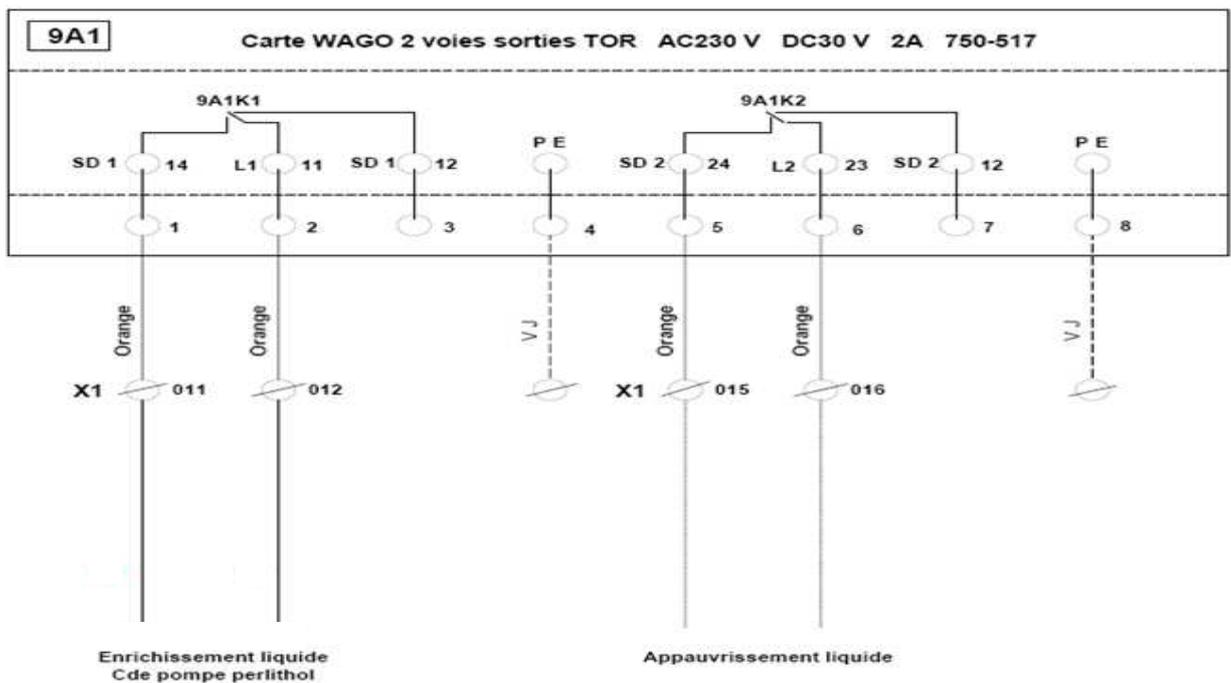
- Deux modules de sorties : un à deux sorties 0- 20mA et l'autre à deux sorties relais.
- Un module à deux entrées 0-10V.

Sa fonction est de commander la pompe d'injection du liquide, pour cela on utilise le module à sortie relais (9A1). L'automate reçoit les informations du Protherm concernant le potentiel carbone, puis il commande la pompe.

IV.10.2.1 Schéma d'alimentation et de connexion WAGO - Protherm



IV.10.2.2 Module WAGO à deux sorties relais (9A1)



IV.10.3 Pompe à vide

Permet d'aspirer l'air de référence, qui se conduit vers la sonde à Oxygène.

IV.10.4 Contrôleurs de débit

Le Rack est muni de deux contrôleurs de débit, un pour contrôler l'air de référence, et l'autre pour le contrôle de l'air de purge.

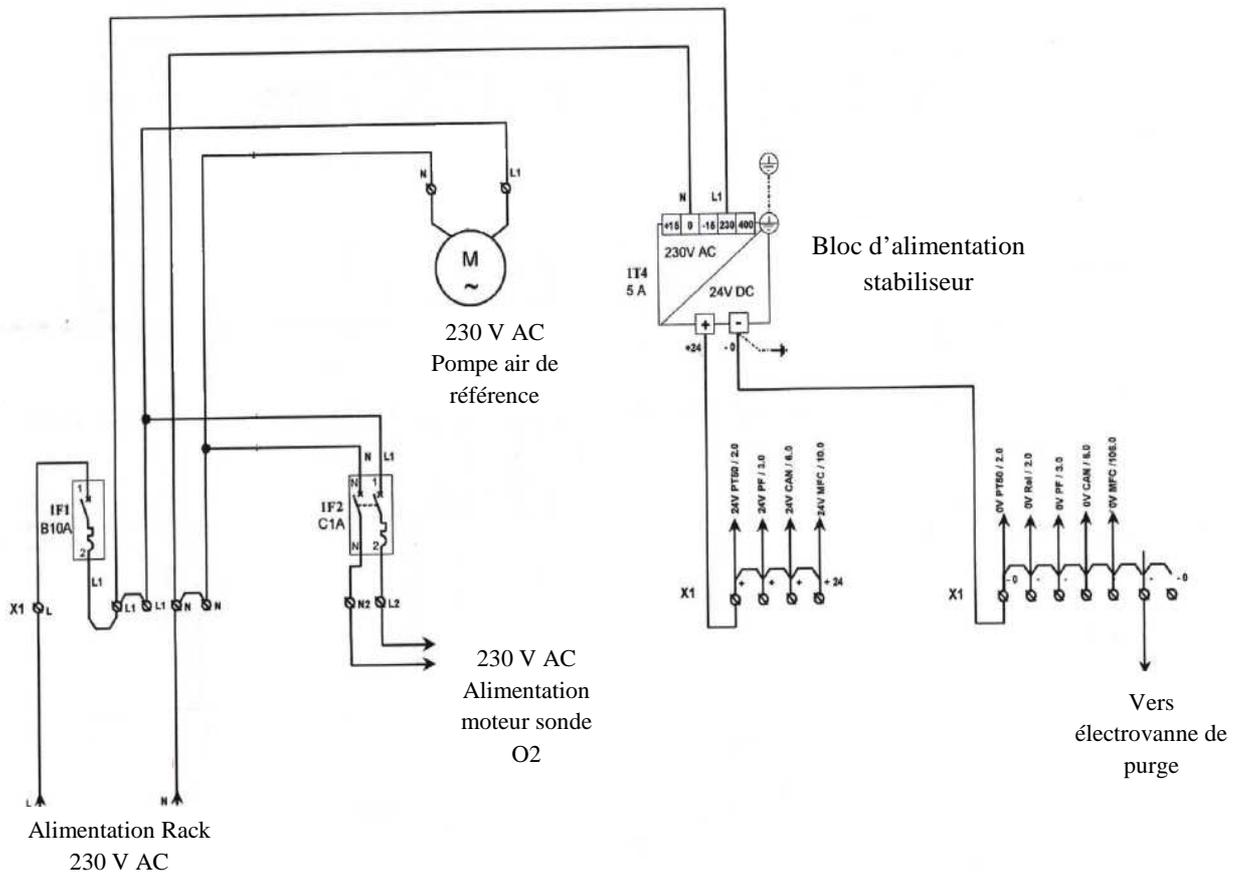


Protherm 50

Contrôleur de débit air de référence

Contrôleur de débit air de purge

IV.10.5 Alimentation du Rack



Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons représenté et expliqué le fonctionnement du matériel de régulation en général, et nous a permis de bien comprendre les étapes à suivre lors de sa réalisation.

Dans le chapitre suivant, on montrera cette conception et réalisation de ce matériel, en particulier les nouveaux schémas de câblage pour les circuits de puissance et de commande, suivis d'une explication générale du fonctionnement du système.

Chapitre V

*Conception et réalisation de la
régulation*

V.1 Introduction

Le four que nous avons étudié, est destiné à la cémentation des pièces en acier utilisées dans les véhicules (pignons, engrenages....).

Pour assurer une bonne dureté de ces pièces, la cémentation doit être correcte et précise ce que nous ne pouvons pas avoir avec la régulation existante. Pour y remédier nous allons utiliser le nouvel équipement présenté dans le chapitre précédent afin de réguler la température et le potentiel carbone.

V.2 Régulation de la température

On précise que le four est muni de trois thermocouples. Deux thermocouples de type K ; un est situé au milieu du four et l'autre au niveau du couvercle. Un thermocouple de type S est celui de la sonde, utilisé au fond du four.

V.2.1 Fonction du régulateur Ascon X5

Ce régulateur présente une seule entrée thermocouple, pour cela on a utilisé le thermocouple du couvercle à cette entrée. Donc le régulateur Ascon X5 avec ses fonctions très complètes nous assure la régulation de température.

V.2.2 Fonction du régulateur Ascon M3

Sa fonction est d'assurer la sécurité, on a utilisé le thermocouple du milieu du four comme entrée de ce régulateur qui commande un relais de sécurité (c'est à dire lorsque la température du four atteint la consigne 1000 °C, le régulateur dés alimente le relais de sécurité qui disjoncte les résistances chauffantes).

V.2.3 Fonction de l'enregistreur YOKOGAWA

Cet enregistreur offre la possibilité de visualiser l'historique de la température et du potentiel carbone.

Dans notre cas on a utilisé seulement la voie de température, tel que l'enregistreur reçoit deux sorties du régulateur de température Ascon X5. Les valeurs transmises sont enregistrées puis représentées sous forme de courbes.

V.3 Régulation de l'atmosphère

Le Rack Selma dont on trouve le Protherm 50 et la sonde à oxygène fonctionnent dépendamment pour assurer la régulation du potentiel carbone.

V.3.1 Fonction de la sonde à oxygène

Cette sonde est reliée avec le Protherm, elle mesure la pression partielle de l'oxygène à l'intérieur du four, et le signal donné par la sonde est un signal mesurable en mV, permet le calcul de la concentration en oxygène qui sera transmis au Protherm.

V.3.2 Fonction du Protherm

Ce Protherm dispose des plusieurs algorithmes de calcul, et l'un de ces algorithmes nous permet le calcul de la teneur en carbone à partir de la concentration en oxygène, pour cela une sonde O₂ est lui associée.

Après le calcul du potentiel carbone, les valeurs obtenues sont transmises via un CAN bus vers l'automate WAGO, qui commande la pompe d'injection du liquide.

✓ Remarque

Il est possible de faire une régulation de température avec le Protherm 50 du fait qu'il est relié à une sonde qui mesure aussi la température du four avec son thermocouple S. Mais notre choix n'est pas basé sur se Protherm pour assurer cette tâche, car il est enfiché dans un rack avec d'autres composants électriques (relais, fil de connexion...), et pour éviter toute défaillance produite par ces composants, nous avons utilisé le régulateur X5 qui reçoit les températures directement du thermocouple, et ce dernier rarement qu'il tombe en panne.

V.4 Conception

Après avoir étudié les appareils de régulation et déterminé leur fonctionnement et toutes les étapes à suivre pour réaliser la fonction demandée, nous sommes passés à la partie implantation.

Dans ce qui suit, le schéma électrique présente à l'aide des symboles graphiques les différentes parties du réseau ainsi que les équipements qui sont reliés et connectés fonctionnellement.

Ce schéma électrique a pour but :

- d'expliquer le fonctionnement de l'équipement.
- de fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation.
- de faciliter les essais et la maintenance.

V.4.1 Implantation du circuit de puissance

Les modifications apportées au circuit de puissance de l'ancien système, c'est d'enlever le moteur de pompe d'aspiration d'air car il est utilisé par l'élément détecteur (carbohm), puis de conditionner le disjoncteur Di par le contact KA1 (contact du relais de sécurité).

La figure V.1 représente l'implantation de ce circuit de puissance.

V.4.2 Implantation du circuit de commande

Sur la figure V.2, on représente l'implantation de ces équipements de régulation et le circuit de commande assurant le fonctionnement global du système.

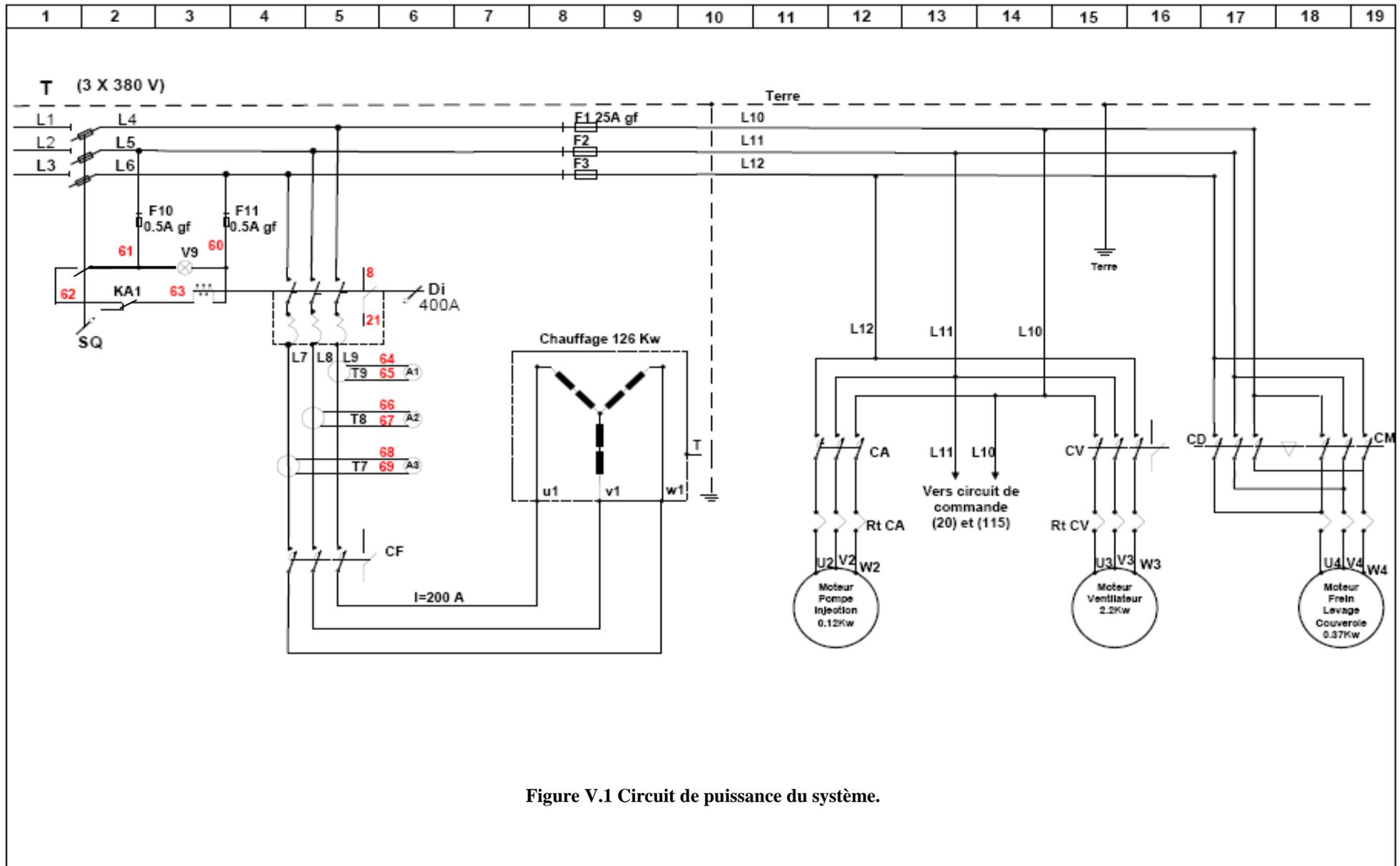


Figure V.1 Circuit de puissance du système.

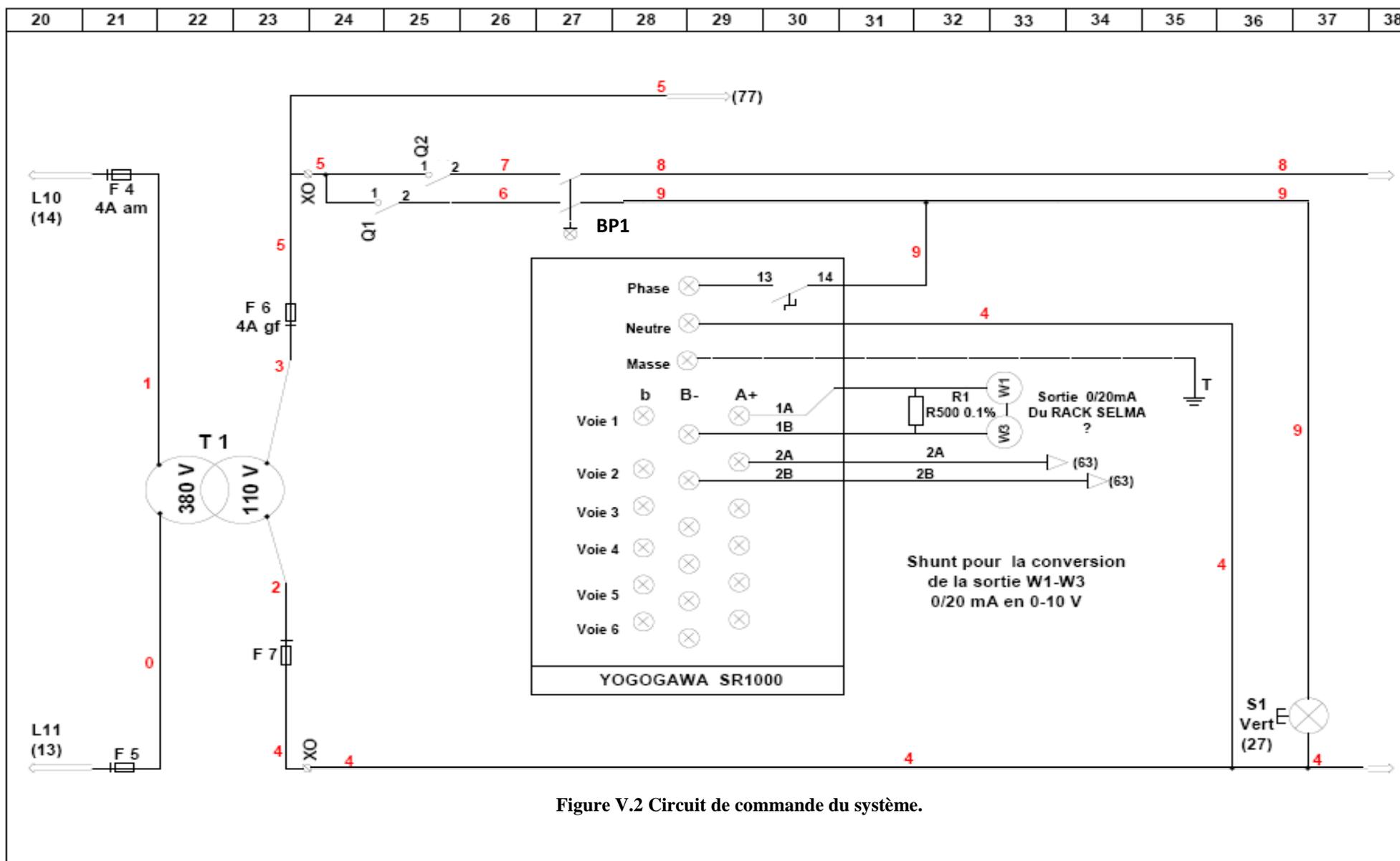
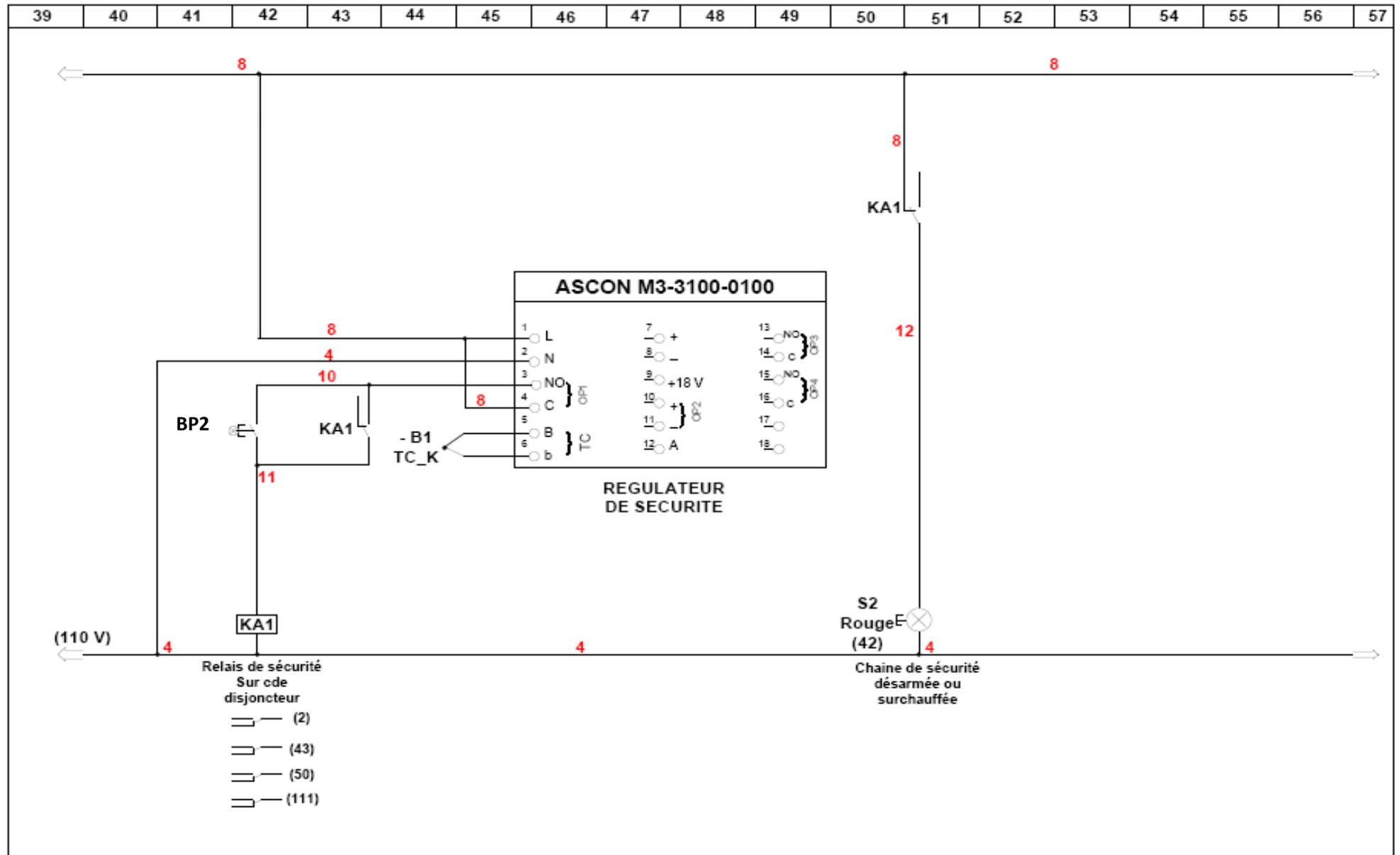
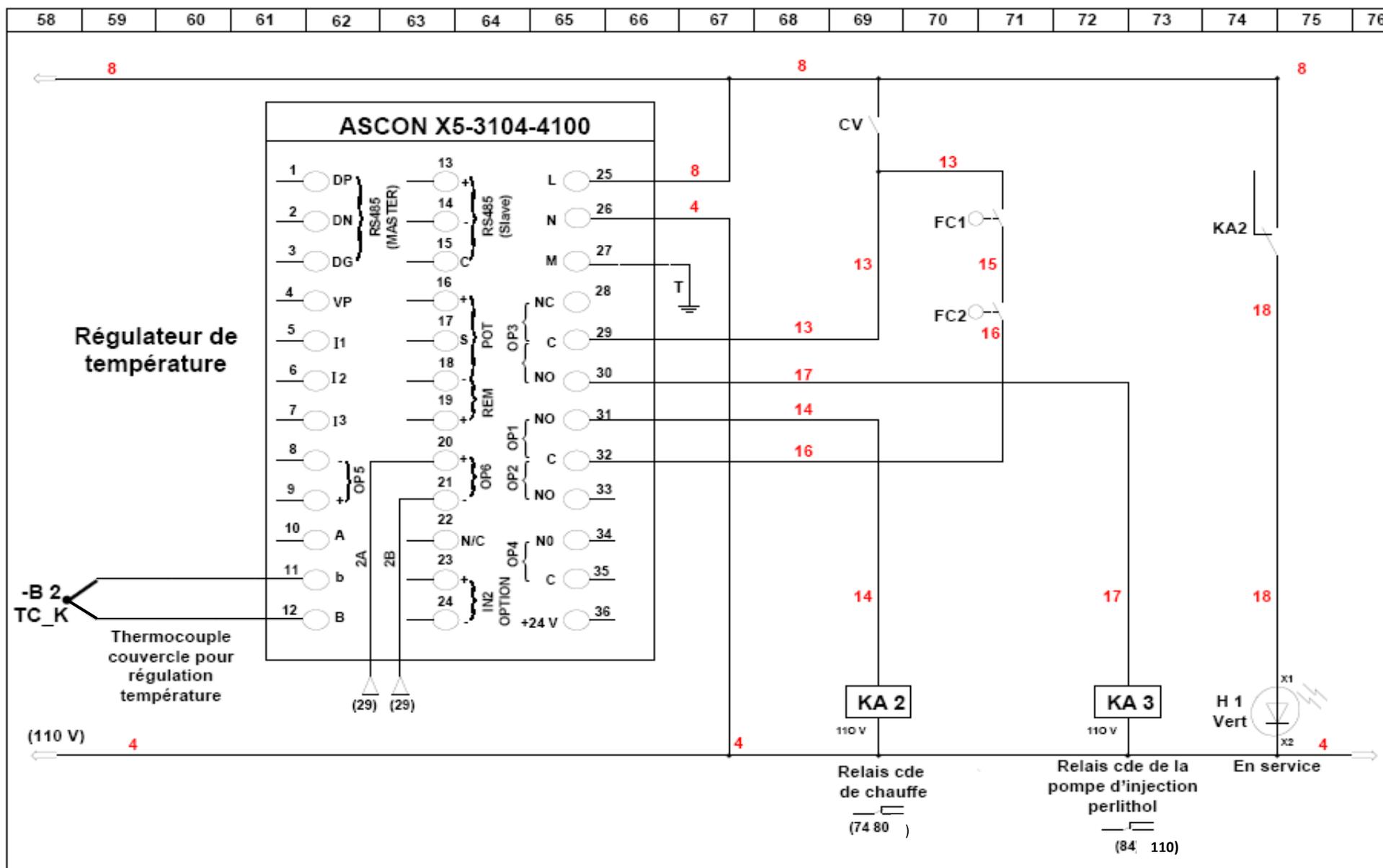
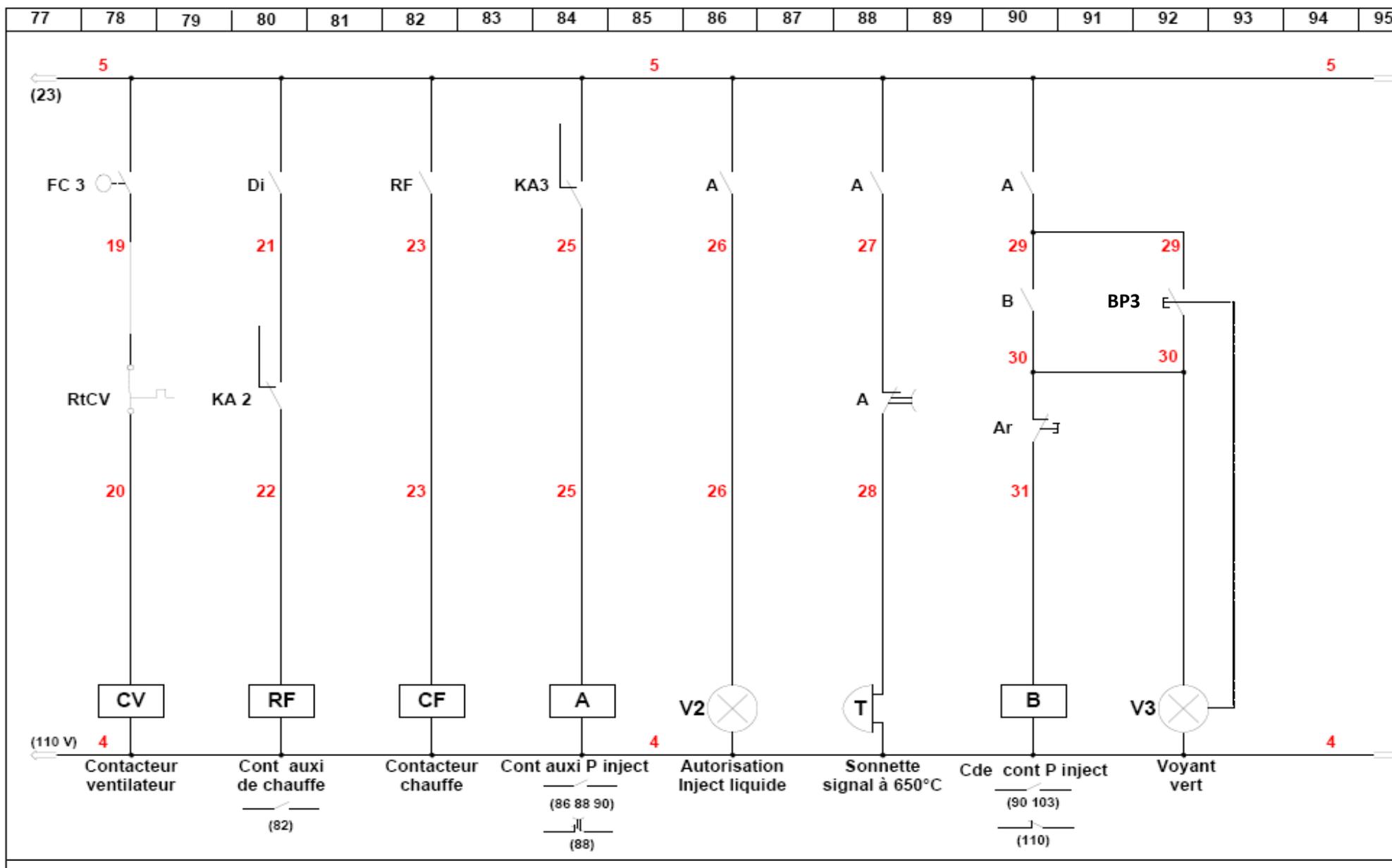
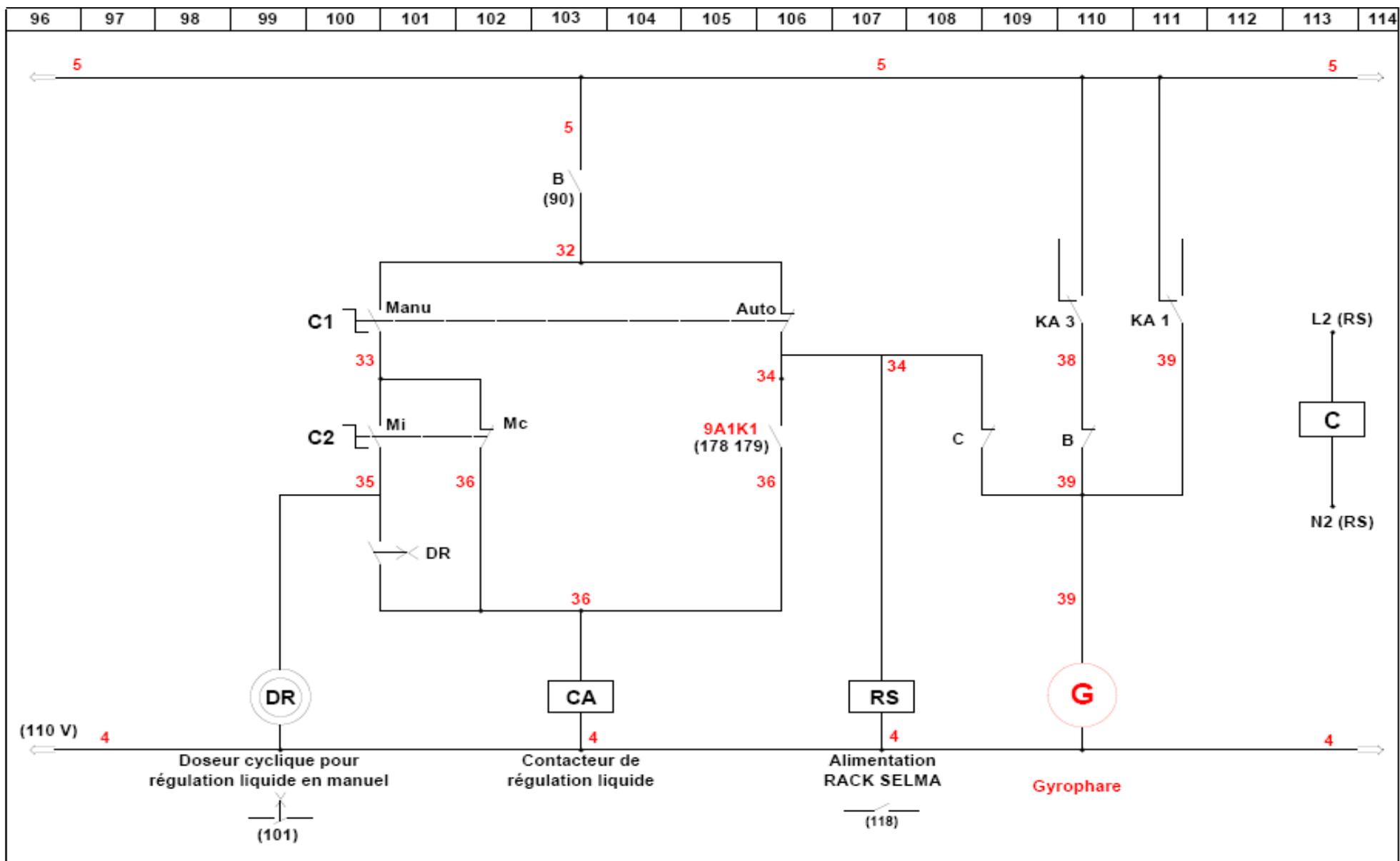


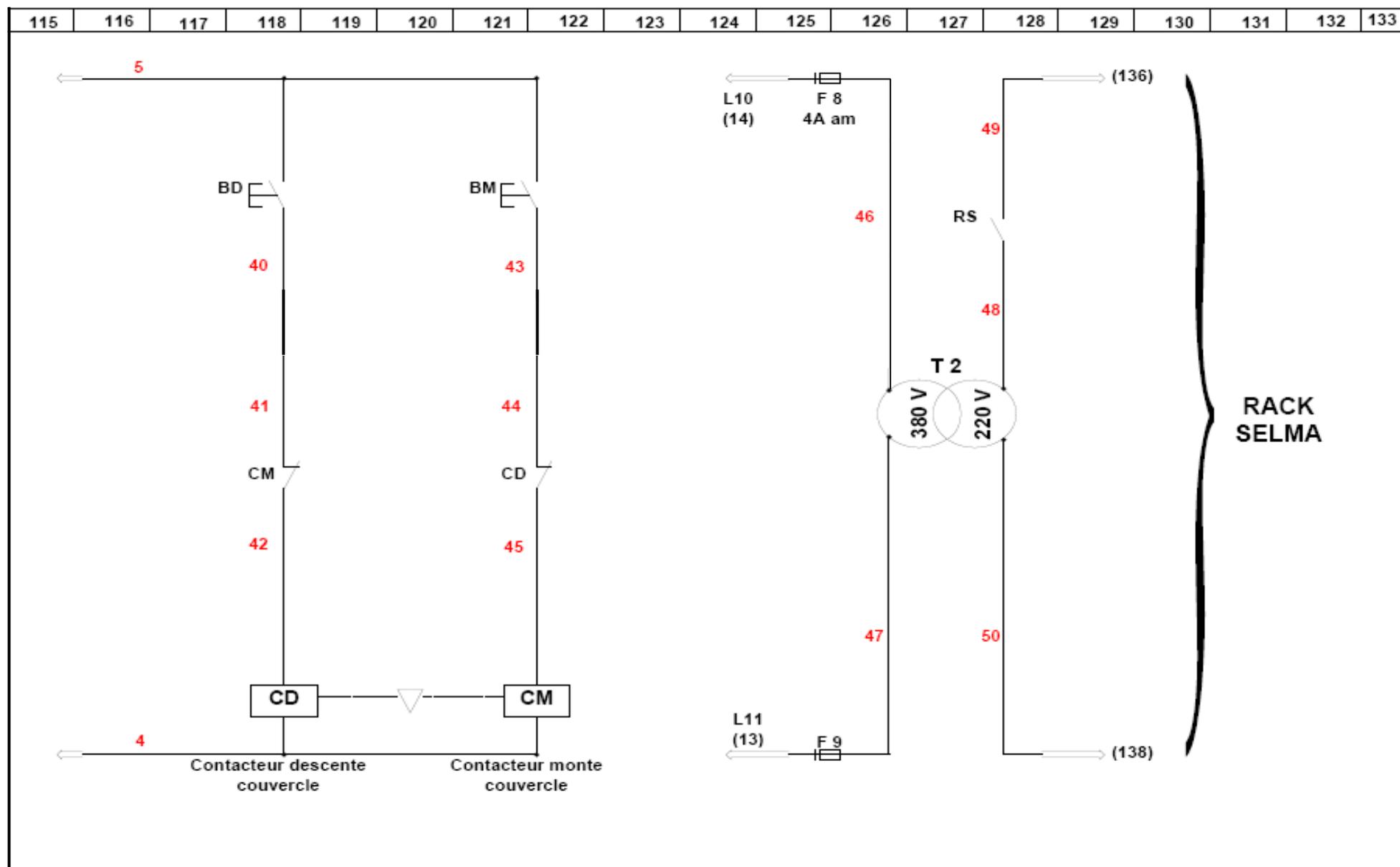
Figure V.2 Circuit de commande du système.

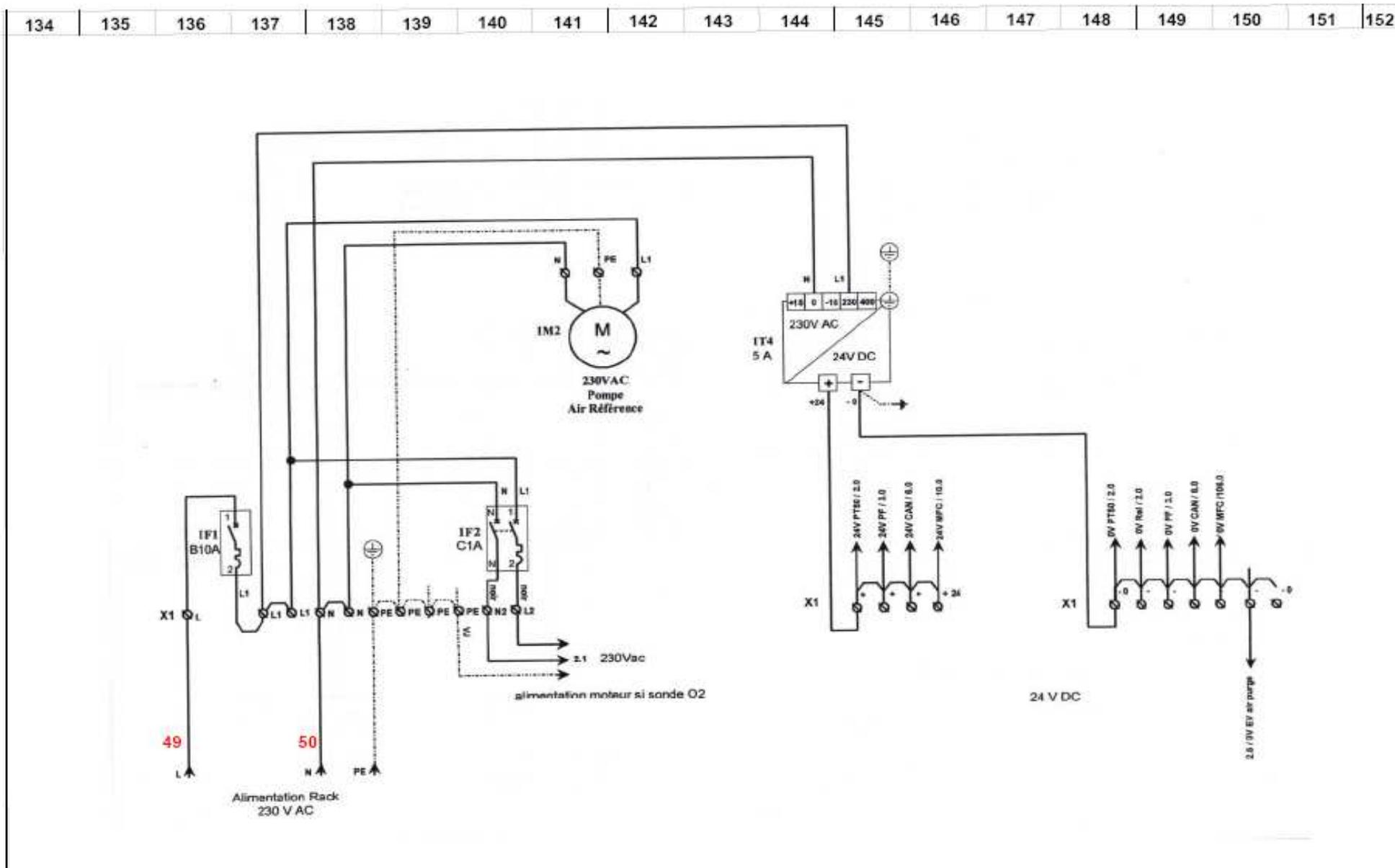


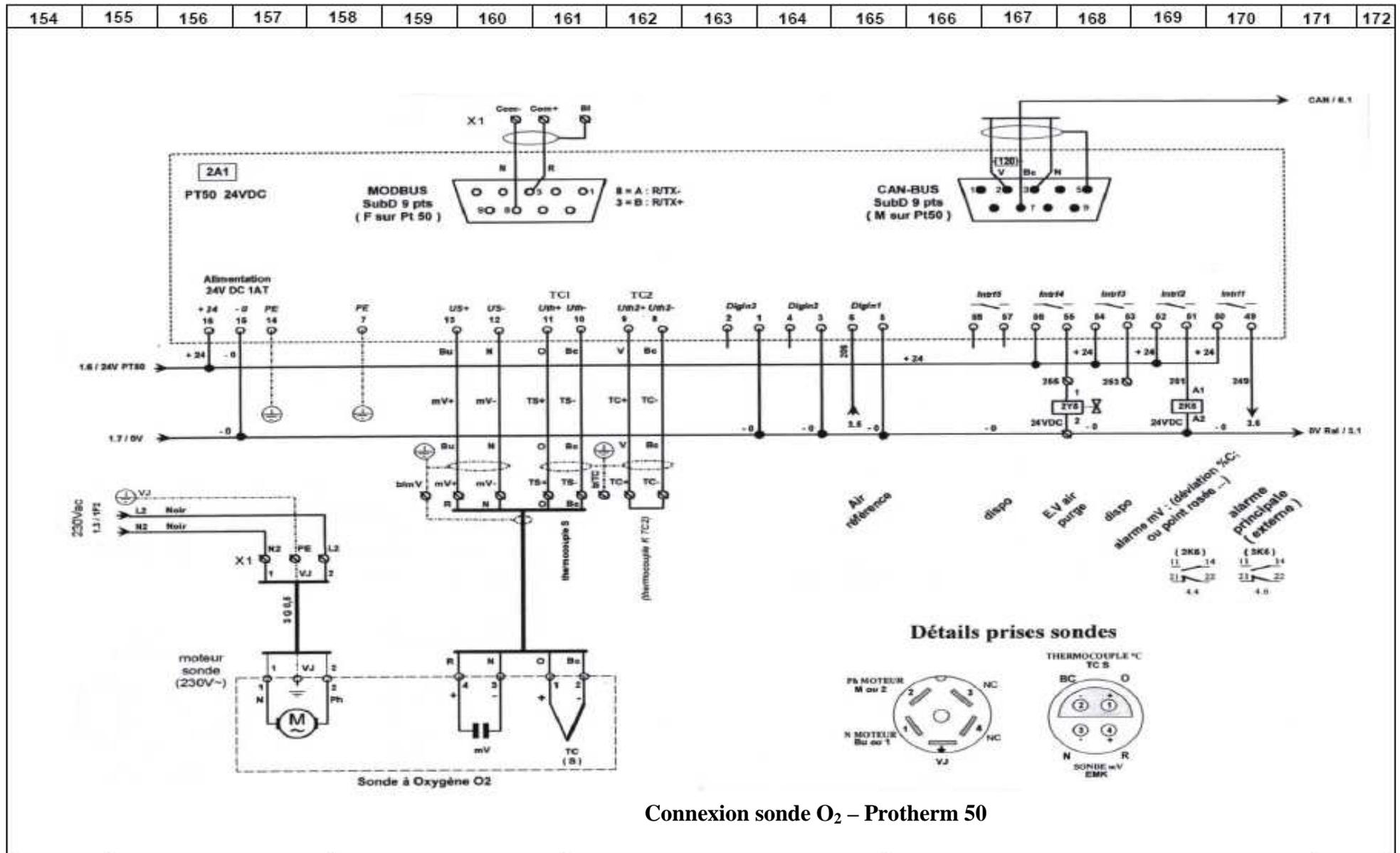


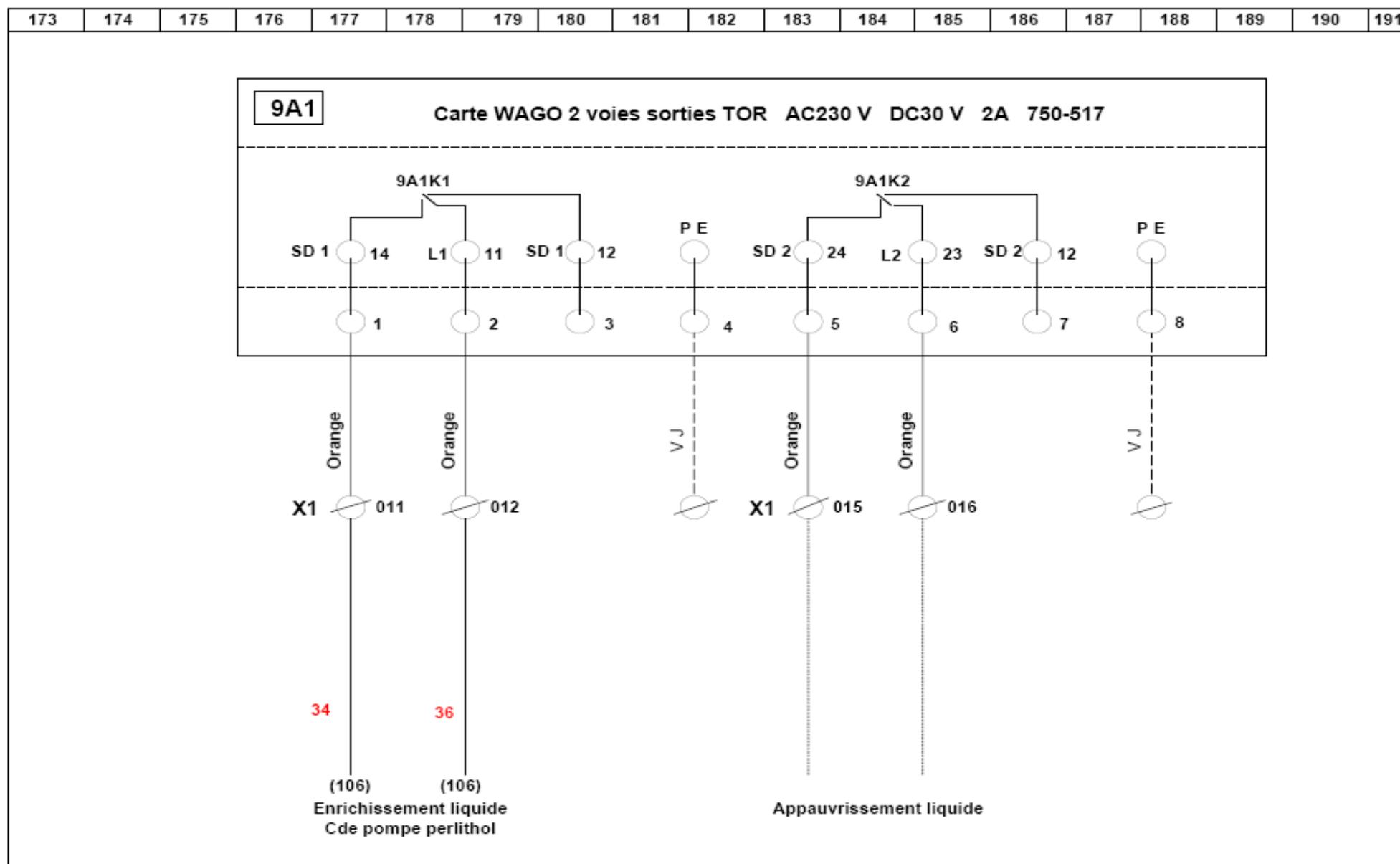












V.4.3 Fonctionnement

La fermeture du sectionneur entraîne le passage de l'énergie électrique vers le circuit de commande via les lignes L10 et L11. Le disjoncteur Di est conditionné par le contact KA1 donc sa fermeture nécessite l'excitation de ce contact.

V.4.3.1 Mise en chauffe

En partant du transformateur T1 on aura :

- Par le bouton poussoir BP1 on alimente l'enregistreur, suivi de l'allumage du voyant vert S1.
- Le régulateur de sécurité Ascon M3 est programmé en inverse (c'est à dire au repos le contact OP1 est fermé et dès qu'on atteint la consigne ce contact s'ouvre). Par le BP2 on alimente le relais de sécurité KA1 qui entraîne l'excitation de tous ses contacts. Le voyant rouge S2 s'allume et à ce niveau le disjoncteur s'actionne.
- Pour assurer la chauffe, le contacteur CF doit être alimenté, et pour cela : le fin de course FC3 (fin de course sur couvercle) qui doit être fermé actionne le contacteur ventilateur CV, et son contact CV (L 69) s'excite. En passant par les fins de course des vannes de refroidissement (FC1, FC2) qui doivent être obligatoirement fermées, le régulateur de température Ascon X5 alimente le relais de chauffe KA2. Le contact KA2 (L 80) actionne le contacteur auxiliaire RF qui assure la fermeture du contacteur CF, à cette phase on aura le chauffage des résistances.

V.4.3.2 Injection liquide

Lorsque la température du four atteint 650 °C, le contact KA3 (L 84) du relais de commande de la pompe d'injection du Perlithol alimente le contacteur auxiliaire A qui déclenche une sonnette temporisée, suivie de l'allumage du voyant V2.

En actionnant le BP3, on entraîne l'alimentation du relais de commande du contacteur de pompe d'injection B. Pour l'injection du liquide on va faire le choix entre le manuel et l'automatique.

- cas manuel : on joue sur le doseur cyclique DR pour la régulation du liquide.
- cas automatique : via le contact 9A1K1 se trouvant dans la carte (9A1) de l'automate WAGO, on alimente le contacteur de régulation de liquide CA.

Nous citons que le Rack Selma ne s'alimente qu'à partir de 650 °C.

✓ Remarque

Durant le fonctionnement, le Protherm 50 nous donne les valeurs réelles du potentiel carbone de l'atmosphère du four, mais au moment de purge de la sonde il ne nous donne pas des valeurs exactes et pour ça on ne les prend pas en considération jusqu'à la fin de cette purge.

V.4.3.3 Levage du couvercle

A l'aide des deux boutons descente - montée (BD et BM) on actionne les contacteurs CD et CM, qui sont verrouillés mécaniquement.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la partie réalisation où on a présenté les nouveaux schémas électriques de puissance et de commande.

Conclusion Générale

Conclusion générale

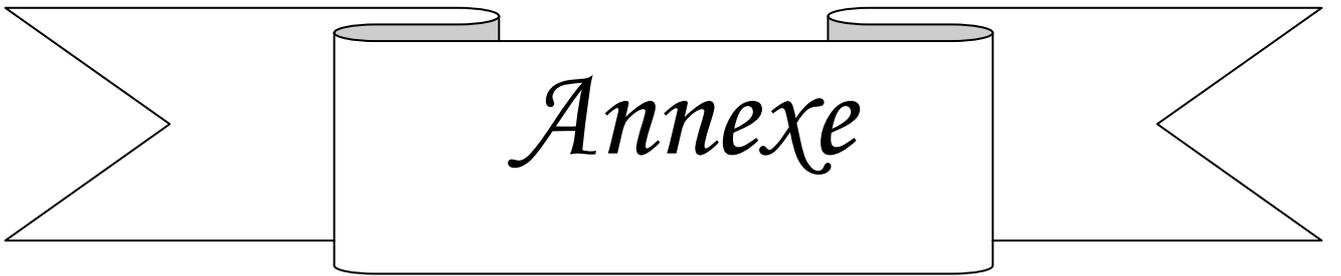
Notre travail a consisté en la réalisation d'une nouvelle régulation pour un four de cémentation afin d'améliorer ses performances. Bien que la partie régulation du système soit assez difficile à comprendre dans sa totalité en raison de manque de documentation, nous avons donné l'essentiel de ses aspects.

Les essais réalisés après le montage du nouveau matériel, nous ont donné des résultats satisfaisants. En outre, l'opérateur chargé de faire fonctionner ce four n'est plus obligé de faire des contrôle de témoins supplémentaires pendant la cémentation.

Notre système peut être entièrement automatisé, en l'adaptant un automate ce qui nécessite d'étudier toute la mécanique des bras soit de levage, de transport ou d'introduction de la charge, ainsi que les régulateurs utilisés doivent être programmés à partir de l'automate et il ne suffit pas de les considérer comme des régulateurs externes.

L'expérience que nous avons vécu pendant toute la durée du stage, nous a donné l'occasion de développer les connaissances que nous avons acquis à l'université.

Enfin, nous souhaitons que ce travail sera d'un grand apport pour les promotions à venir.



X 10 °C

0

10

20

30

40

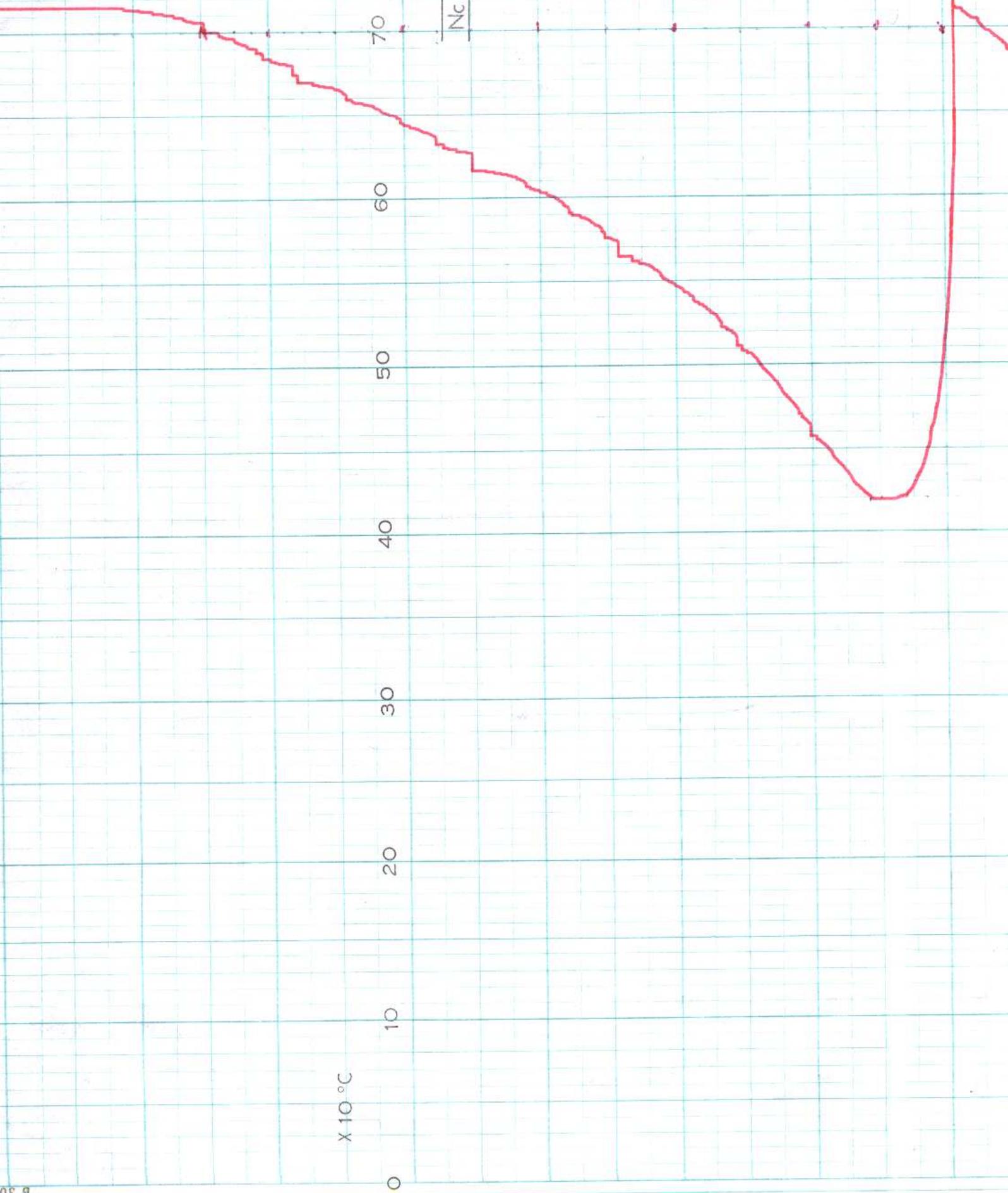
50

60

70

80

$N_c - N_a$ N



Bibliographie

- **Jean Marie Flaus**, « La régulation industrielle ». Collection automatique, Juillet 2000.
- **Grout Michel**, « Instrumentation Industrielle ; spécification et installation des capteurs et des vannes de régulation ». Edition DUNOD, Septembre 2002.
- **Patrick Prouvost**, « Automatique contrôle et régulation ». Edition DUNOD, Paris 2004.
- **Daniel DINDELEUX**, technique de régulation industrielle ». Edition Eyrolles, Paris 1978.
- **Bernadette Bouchon-Meunier**, « la logique floue ». Troisième édition, Novembre 1999.
- **MAIDI. A**, « Cours Modélisation et d'identification des systèmes », 4^{ème} année ingénieur automatique, 2008/2009.
- Documentations techniques, « SNVI ».
- Manuel d'exploitation, « Régulateur (Ascon X5, Ascon M3), enregistreur YOKOGAWA SR1000, Sonde à Oxygène CS87, Protherm 50 ».