

11/03
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE -- المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT DU GENIE ELECTRIQUE

**Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Automatique**

Thème

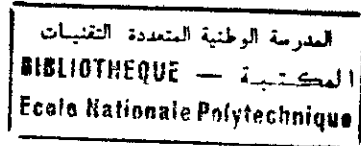
**Implémentation de la commande d'une
Machine de lyophilisation sur un automate
Programmable**

(avec élaboration d'une interface homme machine)

Proposé et dirigé par :
Mr.E.M. BERKOUK
Mr. M.F ESSAIHI

Etudié par :
Melle BENELMADJAT Sandra

Année universitaire 2002/2003
E.N.P. 10, Avenue Hassen Badi, EL Harrach, Alger



Humblement et affectueusement, j'adresse ces dédicaces :

A mes Parents, mes Frères, toute ma Famille et mes Amis ;

A tous mes Enseignants du primaire, du secondaire et du supérieur pour le savoir qu'ils m'ont inculqué ; qu'ils en soient indélébilement remerciés ;

En ces moments chargés d'une intense émotion,

Je ne peux m'empêcher de penser à ce funeste jour du 21mai 2003 où un séisme violent est venu endeuiller l'Algérie toute entière. Mes sentiments les plus attristés accompagnent la mémoire de toutes les victimes de ce tremblement de terre.

Remerciement

Permettez-moi en premier lieu d'exprimer mes plus vifs remerciements à tous ceux qui m'ont encadré, conseillé et aidé à réaliser ce travail dans les meilleures conditions :

Je remercie tout d'abord les membres du jury pour avoir consacré leur temps précieux à l'examen ce document et d'évaluer le travail accompli.

Je remercie mes encadreurs :

Dr: El Madjid BERKOUK.

Mr: Mohamed Fethi ESSAIHL.

Je leur serai éternellement reconnaissante pour la disponibilité, la patience et le temps qu'ils m'ont consacré.

Mes sincères remerciements s'adressent également à tous mes professeurs de l'Ecole Nationale Polytechnique pour l'enseignement et les connaissances qu'ils m'ont prodigués.

J'adresse mon meilleur souvenir au personnel du CDTA et à son Directeur Général, pour leur accueil chaleureux et leur disponibilité.

Merci à Toutes et à Tous.

Benelmadjat Sandra

Sommaire :

Introduction générale	1
1.étude de la lyophilisation	3
introduction	3
1.1 définition de la lyophilisation	3
1.2 principes physiques de la lyophilisation	4
1.2.1 la congélation	4
1.2.2 la dessiccation	7
1.2.2.1 diagramme de changement de phase de l'eau pure	10
1.2.2.2 conditions opératoires	11
1.3 techniques industrielles et en développement	17
1.3.1 lyophilisation sous vide	18
1.3.2 lyophilisation avec adsorbants	21
1.4 coût énergétique de la lyophilisation	23
1.5 avantages et inconvénients de la lyophilisation	23
conclusion	24
2. description de la machine de lyophilisation et du cycle à implanter	26
Introduction	26
2.1 la machine à lyophiliser	26
2.1.1 la chambre	27
2.1.2 piège à vapeur	27
2.1.3 unité de pompage sous vide	28
2.1.4 système de circulation du fluide de transfert chaleur	28
2.1.5 groupe de réfrigération	29
2.1.5.1 composant du groupe de réfrigération	30
2.1.5.2 fonctionnement du groupe de refroidissement	32
2.1.6 groupe de chauffage	33
2.2 capteurs	34
2.2.1 capteurs de température	34
2.2.2 capteurs de pression	35
2.3 description de cycle de fonctionnement de la machine	36

3. présentation matérielle des automates programmables	39
introduction	39
3.1 définition d'un automate programmable	39
3.2 organisation et architecture générale d'un API	40
3.2.1 l'alimentation	40
3.2.2 le CPU	41
3.2.3 la mémoire	41
3.2.4 les modules d'entrées/sorties	41
3.3 description des automates GE Fanuc série 90-30	42
3.3.1 description des modèles d'API série 90-30	42
3.3.2 platines	45
3.3.3 alimentation	48
3.3.4 UC des API série 90-30	50
3.3.5 la mémoire utilisateur pour l'API série 90-30	52
3.3.6 système d'E/S des API série 90-30	55
3.3.7 modules optionnels pour les API série 90-30	58
3.4. description de l'API utilisé pour la commande de la machine lyophilisation	65
3.5 utiliser un PC au lieu d'un API ?	67
4. programmation des automates GE FANUC série 90-30	69
introduction	69
4.1 description d'un cycle API	69
4.1.1 cycle de programme normal	69
4.1.2 variantes du cycle de programme	71
4.2 organisation du programme et données/références utilisateur	72
4.2.1 bloc de sous-programme	73
4.2.2 types de données	73
4.2.3 structure des blocs fonctionnels	74
4.2.4 paramètres des blocs fonctionnels	75
4.3 Jeu d'instruction des API série 90-30	76
4.3.1 Instructions par diagramme en échelle	77
4.3.2 Instructions de temporisation et de comptage	78
4.3.3 Instructions arithmétiques	81
4.3.4 Instruction de comparaisons	82
4.3.5 Les opérations logiques	83
4.3.6 Instruction de transfert de données	84
4.3.7 Instructions sur tableau	85
4.3.8 Instruction de conversion	86
4.3.9 Les instructions de commande	86
4.4 le régulateur PID	87
conclusion	89

5. Implémentation de la commande sur API et IHM	90
Introduction	90
5.1 Implémentation sur l'API	90
5.1.1 Traitement du mode automatique	91
5.1.2 Traitement du mode pas à pas	94
5.1.3 Traitement du mode manuel	96
5.1.4 Simulation du fonctionnement des éléments de la machine	96
5.1.5 Simulation des défaillances de la machine	97
5.1.6 La régulation de température	98
5.2 Interface homme-machine (IHM)	99
5.3 Résultat et simulation	112
Conclusion	119
Conclusion générale	120
Annexe CD-ROM	
Bibliographie	

introduction générale

Autrefois appelée cryodessiccation, la lyophilisation est un procédé de séchage dont le principe consiste à sublimer de la glace d'un produit congelé. L'eau du produit passe donc directement de l'état solide à l'état de vapeur.

En dehors du fameux café en poudre lyophilisé, la lyophilisation reste une technique de séchage peu connue du grand public. Elle n'en reste pas moins un procédé remarquable, qui assure au mieux la conservation des qualités du produit telles que la forme, l'aspect ou les qualités aromatiques. De plus, la faible proportion d'eau liquide présente dans le produit réduit les possibilités de développement de réactions d'altération.

Les premiers automates programmables (programmable logic contrôler, PLC) ont été introduits en 1969 aux Etats Unis pour satisfaire les besoins de l'industrie automobile. Le but recherché était de remplacer les armoires à relais utilisés pour l'automatisation des machines de fabrication par des équipements moins coûteux, et surtout plus faciles à modifier.

Depuis leurs apparitions, les automates programmables se sont répandus très rapidement dans l'industrie, au point de représenter aujourd'hui plus de la moitié des équipements de commande utilisés en industrie.

Le but de ce travail est d'implémenter une commande pour la machine de lyophilisation sur un automate programmable, de simuler le fonctionnement de la machine afin de tester la commande et de réaliser une interface homme machine qui nous permettra de visualiser le fonctionnement de la machine en cours de la simulation.

Le présent mémoire est structuré de la manière suivante :

-Dans le **premier chapitre**, on présente une étude théorique du processus de lyophilisation.

-Au **deuxième chapitre**, on développe la machine de lyophilisation, les capteurs disponible a son niveau ainsi que la description d'un cycle de lyophilisation.

-Le **troisième chapitre** est entièrement consacré à la description des automates programmables de GE FANUC 90-30.

-Le **quatrième chapitre** porte sur la programmation des automates programmables GE FANUC série 90-30.

-Le **dernier chapitre** traite de l'implémentation de la commande de la machine de lyophilisation sur un automate programmable et le logiciel de suspension.

- Une conclusion générale clôture ce mémoire.

Chapitre

1

Étude de la lyophilisation

INTRODUCTION

La lyophilisation est une déshydratation par le froid. Cette technique a été inventée par les Français **Arsène d'Arsonval** et **Bordas** à Paris en 1906, et redécouverte par l'Américain **Shackwell** (1851-1940) à Saint Louis (Missouri) en 1909.

Les premières applications du procédé furent médicales. Entre 1946 et 1947, l'Américain **E.W. Flosdorff** démontra que le procédé de lyophilisation pouvait être appliqué dans de bonnes conditions à des produits alimentaires. Ce n'est qu'en 1955 que la lyophilisation fit son entrée dans l'industrie alimentaire avec le traitement des crevettes du Texas et des crabes du Maryland. [16]

Avant de réaliser une commande de la machine de lyophilisation, il est nécessaire de d'abord l'étude théorique du processus de lyophilisation, afin de comprendre son mécanisme et ses exigences. Ces connaissances seront nécessaires pour appréhender le fonctionnement de la machine et pouvoir la commander.

1.1 DEFINITION DE LA LYOPHILISATION

La lyophilisation ou cryodessiccation peut être définie comme l'opération qui consiste à sécher une solution ou un corps imprégné d'eau en le maintenant à une température suffisamment basse pour que la plus grande partie de l'eau qu'il contient soit congelée.

L'extraction de cette eau du produit se fait donc par sublimation de la glace.

Alors que le terme « cryodessiccation » ne fait que traduire cette définition (« cryo » = froid), le nom de « lyophilisation » se rapporte à l'une des propriétés les plus spécifiques des produits séchés par cette technique.

Le produit lyophilisé possède une texture poreuse qui lui permet le plus souvent de se dissoudre ou de se laisser pénétrer par un solvant avec une grande rapidité (« lyo »=solvant-« phile »=ami).

En raison de ces particularités, la lyophilisation occupe une place originale au regard des techniques de séchage. Elle permet d'obtenir des produits finaux de haute

qualité. La transition du produit de l'état congelé à l'état déshydraté, en l'absence d'une forte proportion d'eau liquide, réduit les possibilités de développement des réactions d'altération. Un autre avantage technologique important de la lyophilisation repose sur la capacité du produit lyophilisé à se réhydrater instantanément. [12]

1.2 PRINCIPES PHYSIQUES [12]

Le procédé de lyophilisation repose en pratique sur deux opérations chronologiques : la congélation et la déshydratation. La congélation est considérée comme une étape préalable à l'opération de déshydratation. Cette dernière recouvre deux principes physiques : la sublimation de la glace (cristaux formés par congélation) et la désorption de la quantité d'eau résiduelle non congelée. Cette dernière fraction d'eau peut représenter 10 à 30% de l'eau initialement présente dans le produit.

1.2.1 La congélation

Lorsqu'on refroidit progressivement une solution, la glace commence à se former en général à une température légèrement inférieure à 0° C. La température à laquelle la glace apparaît (température de congélation commençante), est théoriquement inférieure à 0°C de la valeur de l'abaissement cryoscopique.

D'après la loi de RAOULT l'abaissement cryoscopique est égale à :

$$\Delta T = K \cdot \gamma \cdot C \cdot M$$

K : constante cryoscopique du solvant (=18.5 pour l'eau).

C : concentration en g pour 100g de solvant.

M : Masse moléculaire du soluté en g.

Expérimentalement on constate, le plus souvent, que la température du produit s'abaisse en dessous de ΔT avant que la glace n'apparaisse. Ce phénomène de sous refroidissement est variable pour une même solution selon les conditions expérimentales, la nature et la concentration des solutés.

Il faut préciser, à ce titre, que la poursuite de la solidification de l'eau est liée à l'abaissement de la température de l'échantillon, la cristallisation de la glace ayant pour conséquence la concentration de la phase liquide restante.

Pendant cette période du refroidissement, le produit comporte des cristaux de glace baignant dans une phase liquide de plus en plus concentrée dite « **solution interstitielle** » à un stade ultérieur, lesquelles solutions interstitielles arrivées à une température et une concentration se solidifie. On obtient alors, un mélange de fins cristaux de glace et cristaux de soluté.

Il faut noter, cependant, que quand un produit a atteint sa température de solidification totale, toute l'eau qu'il contient n'a pas été congelée, en effet, le système comporte de l'eau non congelable qu'elle que soit la température de refroidissement.

Les phénomènes de la congélation sont essentiellement les mêmes dans un tissu ou une suspension cellulaire, que dans une solution. En effet, pour les solutions on observe une première étape de congélation de l'eau suivie d'une solidification des solutions interstitielles concentrées.

Par ailleurs, pour un refroidissement lent, la formation de la glace dans les systèmes cellulaires, débute par une cristallisation extracellulaire (à l'extérieur des cellules uniquement), à la suite de quoi on remarque une cristallisation intracellulaire à des températures plus basses. Si le refroidissement est rapide, il y a cristallisation intra et extracellulaire simultanément (formation de glace à l'intérieure et à l'extérieur des cellules en même temps).

◆ Texture à l'état congelé

La répartition de la glace en un nombre plus ou moins grand de cristaux dépend des conditions dans lesquelles se sont effectuées :

- la nucléation : apparition des germes cristallins.
- la croissance de ces germes.

La texture du produit à l'état congelé joue un rôle considérable dans la façon dont se déroulera la dessiccation et dans les propriétés du produit lyophilisé (couleur, rétention des substances aromatiques volatiles, rapidité de réhydratation, etc....).

a. La nucléation

Si un liquide initialement à la température T_A (figure I-1) est refroidi sous la pression P_A , normalement, lorsque sa température devient égale à T_M , il devrait se cristalliser. En fait, l'état liquide est maintenu jusqu'à une température T_N , plus ou moins basse selon les conditions expérimentales. De ce fait entre T_M et T_N , le liquide est dans un état de sous refroidissement. Cet état de sous refroidissement prend fin lorsqu'il y a apparition de germes cristallins (nucléation).

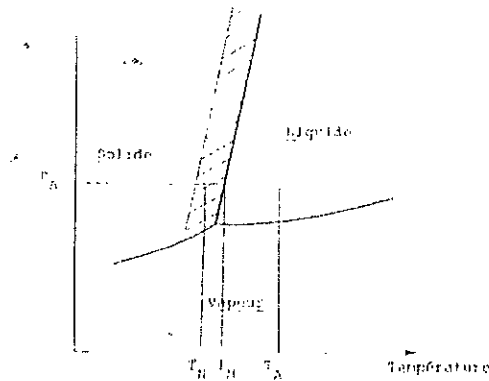


Figure I-1 : Diagramme des phases d'un corps pur (en hachure : zone de sous refroidissement du liquide)

b. Croissance des cristaux de glace

La croissance des cristaux est influencée essentiellement par le sous refroidissement et la concentration des substance dissoutes.

- La croissance des cristaux devient beaucoup plus lente pour de fort sous refroidissement (si le produit descend à des températures très basses avant l'apparition de cristaux de glace, la croissance de ces derniers est ralentie.).
- La croissance des cristaux de glace, lorsque l'eau contient des solutés, est inférieure à celle de l'eau pure pour un même sous refroidissement. Par ailleurs, la cristallisation du produit se trouve ralentie par la concentration de la solution (plus la solution est concentrée, plus la cristallisation est lente.).

c. Texture résultante

La répartition de la glace en un petit nombre de gros cristaux, ou en un grand nombre d'unités plus petites, dans un échantillon congelé dépend, d'une part de la

crystallisation du produit se trouve ralentie par la concentration de la solution (plus la solution est concentrée, plus la cristallisation est lente.).

c. Texture résultante

La répartition de la glace en un petit nombre de gros cristaux, ou en un grand nombre d'unités plus petites, dans un échantillon congelé dépend, d'une part de la façon dont sa température a été abaissée, d'autre part de la nature et de la concentration des substances éventuellement dissoutes ou en suspension.

En considérant le cas de l'eau pure, pour les températures voisines de 0° C, la vitesse de croissance cristalline augmente rapidement, alors que la vitesse de nucléation reste faible. Donc, si l'échantillon est maintenu dans cette zone de température, les quelques germes apparus, pourront se développer de façon importante avant que de nouveaux germes ne prennent naissance. L'échantillon congelé comportera alors un petit nombre de cristaux de grande taille.

A Supposer, maintenant, qu'un échantillon puisse être maintenu à l'état de sous refroidissement jusqu'à environ de -40°C, puis se cristallise, il comportera alors, un grand nombre de petits cristaux. Dans ces conditions, la vitesse de croissance des cristaux de glace n'est pas plus élevée que dans le cas précédent. Par contre, la vitesse de nucléation est considérablement plus grande (par rapport au cas précédent).

1.2.2 La dissection

La lyophilisation étant par définition la dessiccation d'un produit à l'état congelé, l'extraction de l'eau se fait par sublimation, c'est-à-dire le processus par lequel s'effectue le passage direct de la glace à l'état de vapeur. Ceci ne vaut que pour une partie seulement de l'eau d'un système biologique, la plus grande d'ailleurs en général. Une fraction de l'eau de ces produits en effet est dite eau incongelable (eau liée), son extraction correspondra à un phénomène de désorption.

En lyophilisation, la dessiccation se fait dans un échantillon solide et en général compact. Il paraît donc évident à priori que la sublimation s'effectue, à partir de la surface libre du spécimen. La sublimation des cristaux de glace entraîne la formation d'une couche superficielle poreuse de matière "sèche", contenant encore tout ou partie de son eau liée.

La sublimation se poursuit vers la profondeur de l'échantillon selon une surface, en principe parallèle à la surface libre, appelée front de sublimation (ou interface de sublimation). La Figure suivante représente la structure schématique de l'échantillon :

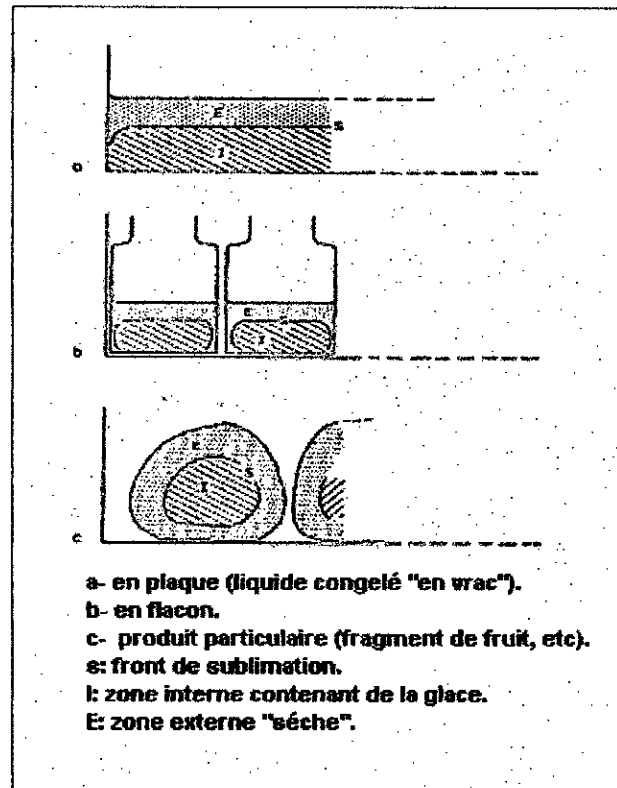


Figure 1-2 : structure schématique de l'échantillon en cours de sublimation

L'observation microscopique de systèmes aqueux congelés montre que, très souvent, il n'y a pas continuité entre les plages de glace qui sont enserrées dans le réseau interstitiel, On peut donc se demander comment la vapeur d'eau émise au front de sublimation est extraite au travers de la "couche sèche". Selon Mac KENZIE (1966) cette extraction peut être faite suivant trois mécanismes différents, jouant chacun un rôle plus ou moins important selon la nature du produit et les conditions de congélation et de dessiccation (Figure 1-3) :

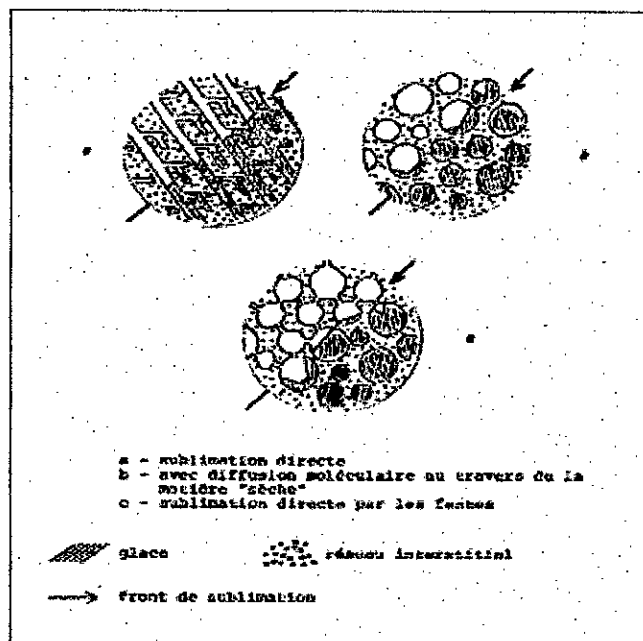


Figure 1-3 : Représentation schématique des mécanismes de lyophilisation (d'après l'observation sous le microscope)

Ainsi il ressort trois cas de figure :

- **Sublimation directe** : Dans certains cas, les cristaux de glace sont en contact les uns avec les autres ; la vapeur d'eau est extraite au travers d'un système poreux continu.

- **Diffusion moléculaire au travers de la "matière sèche"** : Lorsque les cristaux de glace sont enveloppés par le réseau interstitiel, la vapeur d'eau doit passer d'un espace vide à un autre en traversant les parois par diffusion moléculaire.

- **Sublimation directe par les fentes** : Des fentes se forment dans le réseau de matière sèche après le passage du front de sublimation, permettant la sublimation directe. Ces fentes, dues à la rétraction du réseau lorsqu'il se déshydrate, sont particulièrement importantes lorsque les conditions de dessiccation favorisent une désorption active dès le début de la lyophilisation.

La déshydratation par sublimation de la glace laisse au produit la forme et le volume qu'il possédait à l'état congelé. La texture poreuse du produit lyophilisé reflète la texture du produit congelé.

1.2.2.1 Diagramme de changement de phase de l'eau pure

La sublimation d'un corps est caractérisée par le passage direct de l'état solide à l'état vapeur, moyennant un apport de chaleur approprié (changement d'état endothermique). La variation d'enthalpie de sublimation (ΔH_s) peut être déduite, d'après la première loi de la thermodynamique, de la somme des variations d'enthalpies de fusion (ΔH_f) et de vaporisation (ΔH_v). L'ordre de grandeur de ΔH_s , pour l'eau pure est de 2 809 kJ - kg⁻¹ au point triple.

S'appuyant sur le diagramme des phases de l'eau pure (figure-4-), la zone de sublimation correspond à la zone des faibles pressions de vapeur et des faibles températures, en deçà du point triple (610 Pa ; 0,01 ° C).

La pression de vapeur saturante (P_i°) à l'équilibre de sublimation peut être estimée, en première approximation, par extension de la loi de Clausius- Clapeyron : [10]

$$(d \ln P_i^\circ)/(dT) = -(\Delta H_s M_w)/R T^2$$

La pression de vapeur saturante de l'eau à l'état solide est cependant suffisamment élevée pour que l'on envisage, en pratique, la déshydratation par sublimation.

À partir de l'étape de congélation (cristallisation trajet A) qui se déroule généralement à pression atmosphérique, il sera donc nécessaire en premier lieu d'abaisser la pression de vapeur au-dessous du point triple (trajet B). Puis, est vertu des règles de déplacement des équilibres, le passage à l'état vapeur sera favorisé par une augmentation de température (transformation endothermique trajet C) et/ou par une diminution de la pression (la sublimation entraîne une augmentation de volume).

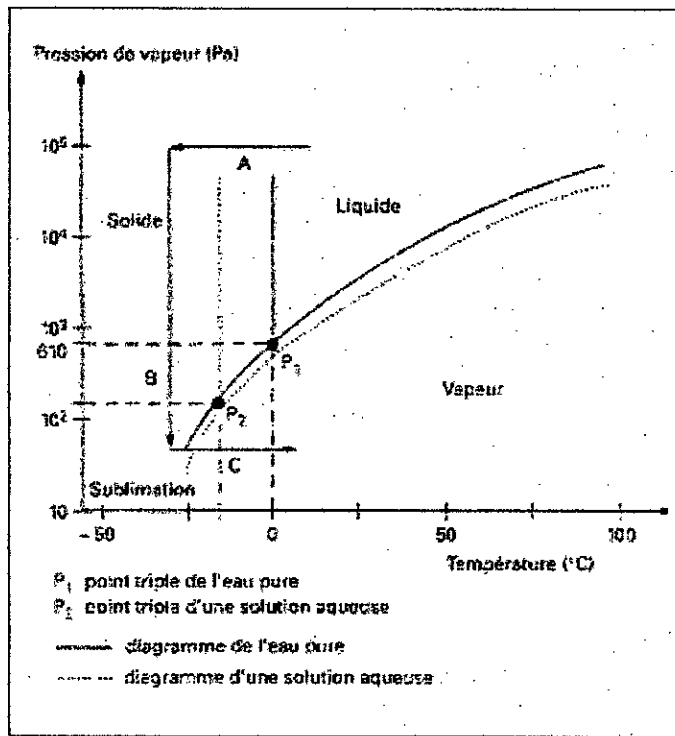


Figure 1-4 : Diagramme d'état de l'eau pure et d'une solution contenant un soluté

1.2.2.2 Conditions opératoires

Si l'on faisait subir la lyophilisation à un échantillon d'eau pure, l'opération représenterait pour l'eau les changements d'état représentés sur le diagramme suivant :

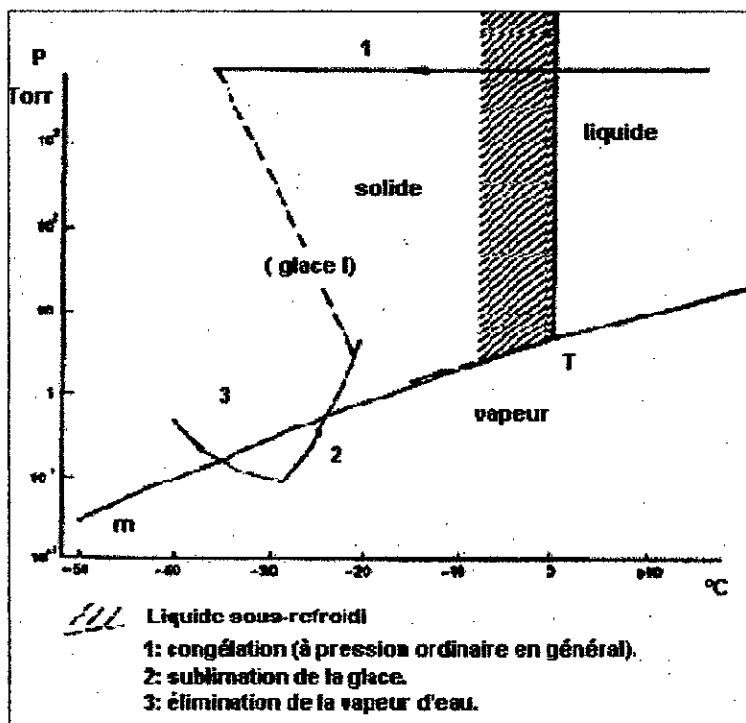


Figure 1-5: Diagramme des phases de l'eau (limité aux températures voisines de 0°C)

a. Condition de pression

Les conditions de pression doivent être prise en compte au cours de la sublimation et de la désorption du produit.

❖ Pour la sublimation :

Pour qu'il y ait sublimation de la glace, c'est-à-dire passage de l'état solide à l'état de vapeur, il faut que la température et la pression de vapeur d'eau du produit, soient inférieures à celles du point triple.

On admet d'une manière générale, que la glace formée dans la phase de congélation du produit, soit de la glace pure (c'est-à-dire de l'eau pure congelé), cette vapeur saturante du produit est égale à la pression de vapeur saturante de l'eau congelé, à la même température.

Les variations de la pression de vapeur saturante de l'eau congelé, en fonction de la température sont représentées par la droite T_m de la figure I-5.

❖ Pour la désorption :

La désorption peut s'effectuer s'il existe un écart suffisant entre la pression de vapeur de l'eau liée sur le produit et la pression partielle de vapeur d'eau entretenue dans l'appareillage, la première peut être déduite des isothermes de désorption du produit (humidité relative d'équilibre).

Mais d'une façon générale, la sublimation est conduite avec un gradient de pression de vapeur élevé entre le front de sublimation et l'extérieur de l'échantillon, ce qui est la condition nécessaire pour avoir une dessiccation rapide. Il semble que, dans la plupart des cas, la pression de vapeur d'eau dans la couche "sèche" soit très faible par rapport aux pressions de vapeur saturante de l'eau liée : La désorption peut donc au moins débiter.

L'importance de la désorption réalisée avant la disparition de la glace dépend des isothermes de désorption du produit, c'est-à-dire de la pression de vapeur qu'il peut développer à une température donnée et pour une teneur en eau déterminée. Elle dépend également des conditions opératoires, en particulier de la température au niveau de la couche "sèche" : La désorption est favorisée par une température élevée; aussi sera-t-elle beaucoup plus avancée dans le cas où l'apport de chaleur est réalisé par la couche "sèche" que lorsqu'il est effectué exclusivement par la couche congelée.

La couche "sèche" peut atteindre un degré de dessiccation satisfaisant pendant, le cours même de la sublimation, rendant ainsi inutile une prolongation de l'opération. S'il n'en est pas ainsi, la désorption devra être poursuivie une fois la sublimation terminée, alors que la pression de vapeur d'eau dans l'appareillage tend à s'abaisser. Dans ce cas, on désigne par dessiccation secondaire la phase de l'opération pendant laquelle le produit ne comporte plus de glace.

b. Condition de température

❖ Température de la zone congelée

La sublimation de la glace étant un phénomène très endothermique, si l'échantillon ne recevait pas de chaleur du milieu, sa température s'abaisserait rapidement. Si l'on désire une dessiccation rapide, il faut maintenir la température au niveau du front de sublimation aussi élevée que possible. La vitesse de la sublimation elle-même dépend directement de la température. D'autre part, en élevant la température de l'échantillon, on peut accroître la différence entre la pression de vapeur au front de sublimation et celle que l'on peut maintenir, pratiquement, dans l'appareillage.

Par ailleurs, en raison même de la définition de la lyophilisation, la température de l'échantillon doit être maintenue inférieure à la température de fusion commençante, caractéristique du produit. Si cette condition n'est pas respectée, la fusion interstitielle du produit aboutit aux conséquences néfastes.

Maintenir l'échantillon à une température inférieure à son point de fusion commençante suffit effectivement, dans tous les cas où il s'agit seulement d'obtenir dans le produit une texture poreuse ou de lui conserver ses propriétés chimiques et biochimiques.

❖ Température de la zone sèche

Par contre les conditions de température dont il a été question ci-dessus peuvent être restreintes non seulement à la période pendant laquelle s'effectue la sublimation, mais aussi, pendant ce temps, à la zone de l'échantillon comportant encore de la glace.

La couche "sèche", ou bien l'ensemble de l'échantillon après la fin de la sublimation, peuvent fort bien être portés à des températures supérieures à 0° C, restant cependant inférieures à une certaine limite que nous essayerons de définir et

que nous appellerons température maximum de désorption. La désorption est accélérée par une élévation de la température de l'échantillon.

Cependant l'élévation de température au niveau de la couche "sèche" peut favoriser certaines altérations dont les plus fréquentes paraissent être :

- la dénaturation thermique des protéines, etc ...
- les réactions de brunissement non- enzymatique ;
- l'élimination de substances volatiles.

Comme nous l'indiquons par ailleurs, les phénomènes de dénaturation thermique et de brunissement non enzymatique, diminuent d'intensité à mesure que l'humidité du produit décroît. Il doit en être de même pour l'extraction des composés volatils. En théorie, la température tolérable devrait donc s'élever à mesure que la désorption progresse.

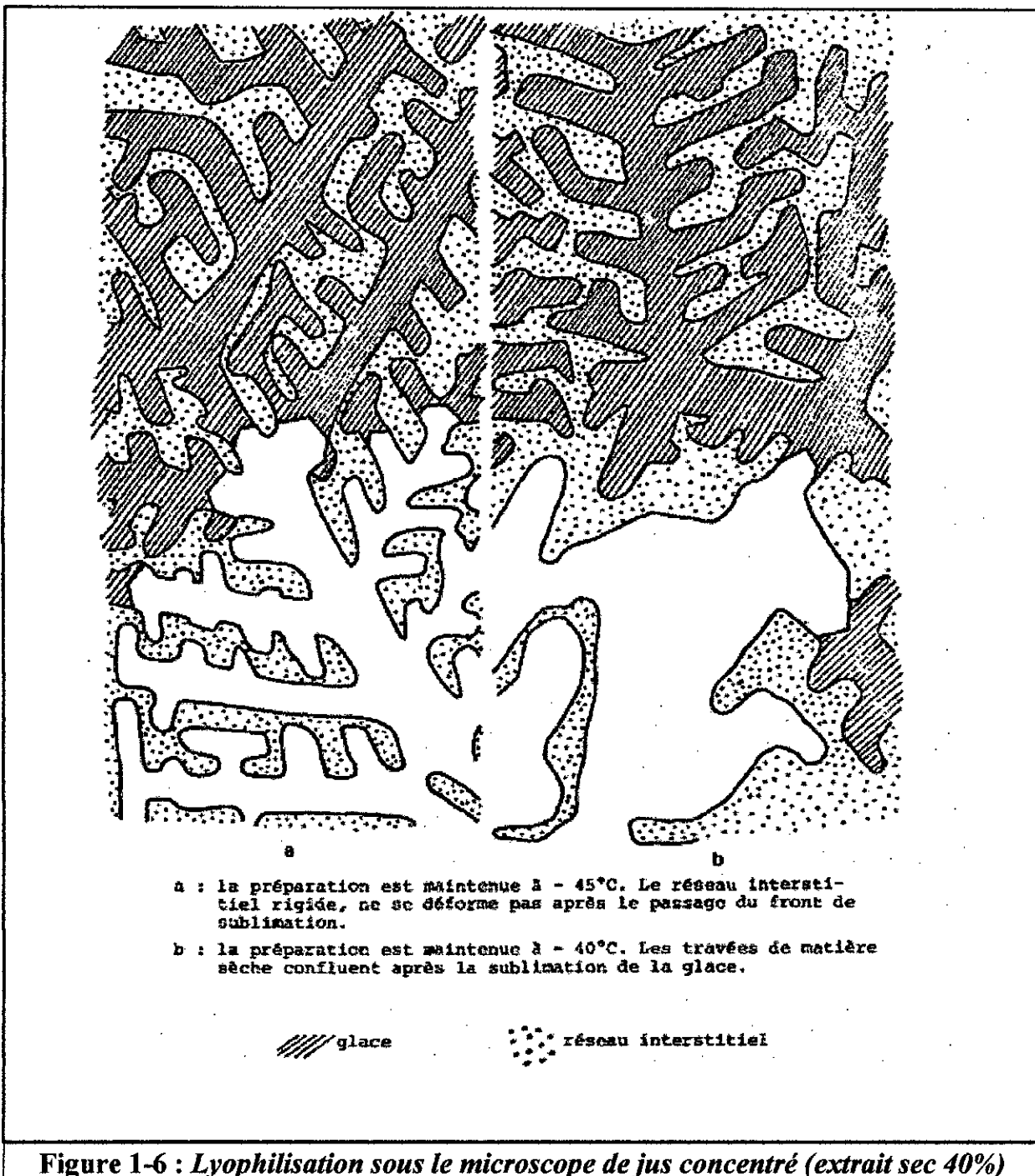
Les réactions de brunissement non enzymatique et la dénaturation thermique des protéines paraissent avoir des énergies d'activation élevées par rapport à la désorption (de l'ordre de 10 k cal /mole), c'est-à-dire que si la température s'élève, la vitesse de ces réactions est accrue dans des proportions plus importantes que la vitesse de désorption. Aussi, lorsque les altérations ci-dessus sont à craindre, il semble que la température de la couche sèche doit être maintenue à un niveau assez bas.

❖ Affaissement de texture

La texture poreuse est le caractère le plus spécifique des produits lyophilisés et il est en général de la première importance que les conditions opératoires la préservent. Or, elle peut être altérée lorsque la dessiccation est, conduite à des températures trop élevées.

En lyophilisant, Sous le microscope certains produits, on peut observer :

- 1- lorsque la dessiccation est conduite à une basse température, le processus normal, le réseau interstitiel restant en place après le passage du front de sublimation (Figure I-6).
- 2- lorsque la dessiccation est conduite à une température supérieure à un certain seuil (T_c - température d'affaissement), le réseau interstitiel se déforme après le passage du front, les travées de matière sèche confluent.



Les conséquences de cet affaissement sont très importantes :

- ◆ la couche de matière sèche devenant plus compacte, une dessiccation poussée est difficilement réalisable ;
- ◆ les espaces capillaires peuvent être totalement obstrués. La vapeur d'eau ne pouvant plus s'échapper que par diffusion au travers d'une matière sèche compacte, la sublimation est très ralentie. Si l'apport de chaleur est maintenu, l'élévation de température de la couche congelée peut amener sa fusion ;

- ◆ les possibilités de réhydratation sont altérées, par suite de l'état plus compact de la matière sèche, et de la texture grossière du produit lyophilisé.

Cet affaissement est dû à ce que le réseau interstitiel devient trop fluide aux températures supérieures à T_c et se déforme sous l'effet des forces superficielles dès qu'il n'est plus maintenu disperser par les cristaux de glace.

On peut dire alors que l'affaissement de structure est lié à la présence d'une certaine proportion d'eau non congelée. La déformation du réseau interstitiel et la compaction de la matière sèche sont amplifiées par le fait que la déshydratation par évaporation prend des proportions importantes.

❖ humidité résiduelle

A mesure que la désorption s'effectue, l'eau restant dans le produit appartient à des catégories de plus en plus solidement liées à la substance sèche, ce qui s'exprime sur les isothermes de désorption par le fait que l'humidité relative d'équilibre devient de plus en plus faible quand la teneur en eau diminue et qu'elles tendent ensemble vers 0. Il est donc évident qu'un système biologique ne peut pas être desséché totalement, il lui restera toujours en fin de lyophilisation une certaine humidité résiduelle.

Rappelons de plus que l'isotherme de désorption représente des états d'équilibre. L'humidité résiduelle d'un échantillon ne dépendra pas seulement de sa température et de la pression de vapeur dans l'appareillage, mais aussi des conditions qui influent sur la vitesse d'extraction de la vapeur d'eau du produit (texture poreuse - pression des autres gaz) et du temps pendant lequel on laisse se poursuivre la désorption.

Pourtant, et c'est un des caractères les plus importants de la technique, la lyophilisation permet d'atteindre avec les produits biologiques des humidités résiduelles très basses, par rapport à la plupart des techniques de dessiccation. Ceci est une conséquence de la texture poreuse créée par la sublimation, qui permet une extraction efficace de l'eau jusque dans les zones profondes du produit.

Lyophiliser un produit s'effectue en plusieurs trois étapes. La première étape consiste à congeler le produit. La congélation doit être effectuée de sorte à obtenir un produit congelé contenant un petit nombre de gros cristaux de glace, car cette structure facilite la sublimation de la glace.

L'obtention d'un produit contenant un petit nombre de cristaux de grande taille est accomplir en refroidissant le produit de manière rapide jusqu'à la nucléation (apparition de cristaux de glace), puis on ralentit le refroidissement afin de permettre aux cristaux de prendre du volume. A la fin de la congélation il reste une faible proportion d'eau non congelé, qu'on appelle eau liée.

Après la congélation le produit subit une deuxième étape de sublimation. La sublimation consiste à faire passer l'eau de l'état solide (glace) à l'état de vapeur sans passer par l'état liquide. Cela est obtenu en baissant la température et la pression en du produit en dessous du point triple puis augmentation de la température.

La troisième étape « la désorption » se produit lorsque le gradient de température entre la zone sèche et l'extérieur de l'échantillon est suffisamment élevé. Ainsi la proportion restante d'eau qui reste est enlevée du produit.

1.3 TECHNIQUES INDUSTRIELLES ET EN EN DEVELOPPEMENT [10]

Plusieurs technologies peuvent être mises en oeuvre pour réaliser une lyophilisation. La sublimation peut être conduite soit par abaissement de la pression totale (lyophilisation sous vide), soit par abaissement de la pression de vapeur d'eau au voisinage direct du produit (lyophilisation avec adsorbants à pression atmosphérique).

Le mode de récupération de la vapeur d'eau extraite est alors différent selon les cas. Il existe également plusieurs techniques industrielles proposées pour assurer l'apport de chaleur nécessaire à la déshydratation.

1.3.1 Lyophilisation sous vide

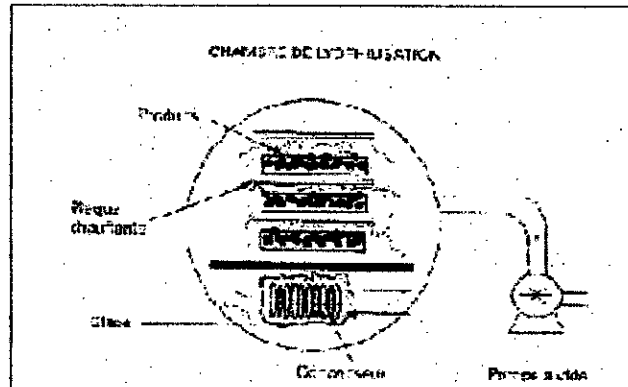


Figure 1-7-1 : équipement de lyophilisation avec chauffage par rayonnement

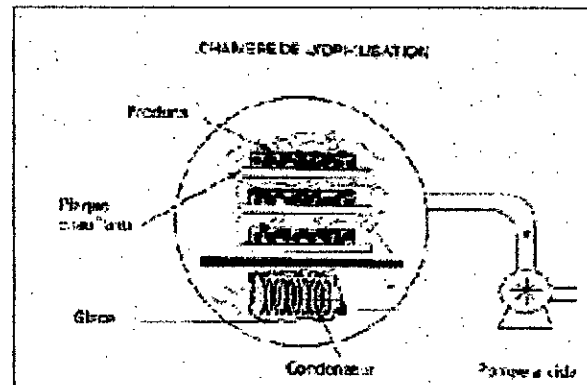


Figure 1-7-2 : équipement de lyophilisation avec chauffage par conduction

Figure 1-7 : Équipement de lyophilisation sous vide

La machine de lyophilisation comprend classiquement trois éléments : une source chauffante, un piège de récupération de la vapeur d'eau et une pompe à vide. D'une manière générale, le produit à lyophiliser est disposé dans des plateaux. Les plateaux sont introduits dans la chambre de lyophilisation sur des rails superposés.

Deux méthodes sont couramment utilisées pour assurer les échanges de chaleur :

1- le refroidissement (congélation) et le chauffage (déshydratation) se font par contact avec des plaques sur lesquelles sont déposés les plateaux. Au sein de chaque plaque support circule un fluide caloporteur qui est successivement refroidi (congélation) puis chauffé (déshydratation) (Figure 1-7-2).

2- le refroidissement se fait par convection forcée d'air froid et le chauffage est assuré par rayonnement à partir de plaques chauffantes intercalées entre les plateaux. L'air froid est produit par passage au contact des pièges froids, grâce à des ventilateurs (Figure 1-7-1).

Une fois terminée l'étape de congélation, à l'extérieur ou à l'intérieur de l'enceinte de lyophilisation, la pompe à vide est mise en route pour extraire les gaz incondensables. La pompe à vide permet l'abaissement de la pression totale dans la chambre de lyophilisation puis son maintien, pendant toute la déshydratation, à des valeurs compatibles avec les conditions de sublimation. Pendant la phase de sublimation, il y a apport de chaleur au produit (par conduction ou rayonnement), en évitant la fusion (température au-dessous du point triple), voire en cherchant à se situer également au-dessous de la température de transition vitreuse du produit.

En raison de la pression de travail très basse, les volumes de vapeur à manipuler sont exorbitants : 1 g de vapeur d'eau occupe à 0 °C sous pression atmosphérique 1,2 L ; alors que sous 14 Pa, cette même masse à la même température occupe un volume de 10 000 L. La récupération de la vapeur d'eau se fait usuellement sur un point froid (piège à -45 °C par exemple) qui assure l'abaissement de la pression de vapeur d'eau (condenseur barométrique). Il est également indispensable de régénérer régulièrement le condenseur (élimination du givre).

Le condenseur peut être placé dans la chambre de lyophilisation (configuration piège interne), ou séparé de celle-ci par une tubulure de jonction, généralement munie d'une vanne d'isolement (configuration piège externe). Dans tous les cas, le piège froid est placé entre le produit et la pompe à vide.

En configuration piège interne, les échanges de chaleur entre plateaux chauffants et condenseur sont réduits par un cloisonnement de l'enceinte. Le dégivrage n'est possible qu'après arrêt du cycle de lyophilisation. L'augmentation de capacité de piège interne peut être obtenue en remplaçant la source de froid mécanique par une injection directe d'azote liquide. L'utilisation en alternance de deux pièges froids en configuration externe autorise la régénération par dégivrage au cours d'un cycle de lyophilisation.

En fin d'opération, l'introduction de gaz (air ou azote) dans l'enceinte permet de casser le vide. Le produit lyophilisé doit être retiré et conditionné dans une ambiance à faible humidité relative, afin d'éviter sa réhydratation.

Le vide poussé est le résultat en pratique d'une installation étanche (joints), d'une capacité suffisante de piégeage des vapeurs (surface et température de condenseur) couplée à une bonne élimination des gaz inertes (taille de la pompe à vide). Le fonctionnement des installations industrielles est avant tout de type discontinu.

Une autre contrainte réside dans la nécessité de fournir de l'énergie thermique au milieu à lyophiliser, mécanisme limitant, tout particulièrement pendant la dessiccation primaire. Pour une charge donnée de produit, la quantité de chaleur la plus importante doit être apportée pendant la sublimation de la majeure partie de l'eau, alors qu'au cours de la dessiccation secondaire la désorption concerne une faible quantité d'eau résiduelle.

Les transferts entre la source de chaleur et le produit se font, au sein d'un gaz à basse pression, par rayonnement à basse température, convection et/ou conduction sur une plaque chauffante (contact imparfait). Ils sont donc peu efficaces et se traduisent par des cinétiques lentes. À titre d'exemple, à une température de plaque de 60 °C et sous une pression totale de 100 Pa, il faut environ 20 heures pour enlever plus de 98 % de l'eau totale contenue dans une couche de 3 cm, de champignons .

Divers travaux de recherche ont notamment porté sur la réduction des temps de lyophilisation par l'amélioration des transferts de chaleur (gaz vecteur, rayonnement infrarouge, micro-ondes) mais ils n'ont pas débouché sur des développements industriels.

1.3.2 Lyophilisations avec adsorbants

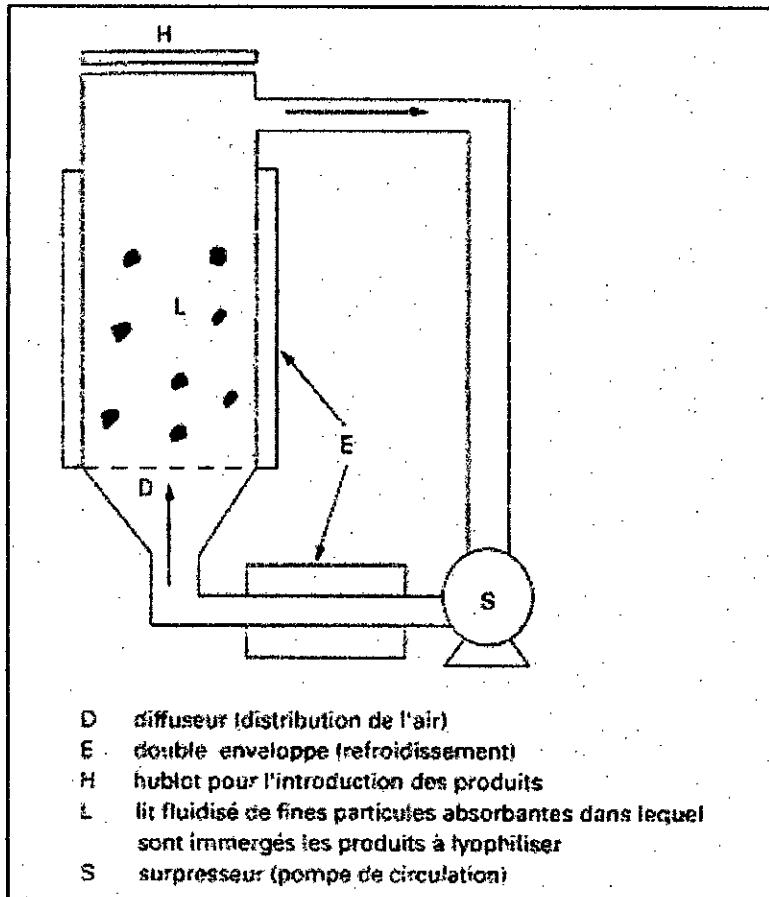


Figure 1-8 : équipement de lyophilisation avec adsorbants à pression atmosphérique

La vapeur d'eau peut être piégée par adsorption ou absorption sur différents matériaux (P_2O_5 , $CaCl_2$, zéolithes, tamis moléculaire, amidon...). La réaction d'adsorption étant exothermique, l'adsorbant joue le double rôle de piège à eau (abaissement de la pression partielle d'eau) et de source de chaleur. Dans tous les cas, la régénération de l'adsorbant (zéolithes) est consommatrice d'énergie (chaleur d'adsorption de $3\ 770\text{ kJ.kg}^{-1}$ d'eau) et nécessite un chauffage à haute température (supérieure à $200\text{ }^\circ\text{C}$).

- Sous vide

Le condenseur, en configuration externe, est remplacé par plusieurs colonnes d'adsorbants (zéolithes), c'est le principe de la zéodratation. La source de frigories (machine frigorifique ou fluide cryogénique) n'est plus nécessaire. Il est également possible de récupérer la chaleur libérée par l'adsorption, sur un fluide intermédiaire caloporteur. Ce dernier servira à chauffer le produit en cours de lyophilisation (chauffage par conduction). Cette technique permet de réduire les coûts de fonctionnement par rapport à la lyophilisation sous vide classique.

- A pression atmosphérique

L'immersion directe des produits congelés dans un lit fluidisé d'adsorbants, maintenu à basse température, est une solution pour réaliser la sublimation à pression atmosphérique.

Les avantages de ce procédé sont nombreux. Ce principe autorise un traitement en continu, et l'élimination de la pompe à vide et des sources thermiques réduit le coût d'investissement. Les échanges de chaleur entre un lit fluidisé de particules et un objet ou une paroi d'échange sont bons (coefficient de transfert de chaleur par convection de l'ordre de $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) comparés à ceux obtenus entre un produit en lit fixe et de l'air circulant à la même vitesse (par heure, de l'ordre de $25 \text{ à } 50 \text{ W} \cdot \text{M}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$). Le renouvellement permanent de l'adsorbant à la périphérie du produit assure également le maintien d'une pression partielle de vapeur d'eau faible et uniforme. La variation d'enthalpie accompagnant la sublimation de l'eau est voisine de celle de l'adsorption (amidon : $3\ 200 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ d'eau absorbée), mais de signe contraire. La lyophilisation peut donc avoir lieu sous pression atmosphérique, sans apport d'énergie. En pratique, la fluidisation sera assurée par un courant de gaz inerte froid et sec.

Par comparaison avec la lyophilisation sous vide, si les transferts de chaleur sont améliorés, le temps de lyophilisation n'est pas fortement réduit car, à pression atmosphérique, les transferts de matière sont peu performants. Une autre limite de la lyophilisation sous pression atmosphérique avec adsorbant réside dans la séparation du matériau fluidisé et du produit lyophilisé. La mise en oeuvre d'un adsorbant approprié (de nature alimentaire) est également un critère important. La lyophilisation à pression atmosphérique, avec un point froid mais en présence

d'un seul courant de gaz inerte, a été proposée mais, dans ce cas, les échanges de chaleur sont médiocres.

1.4 COUT ENERGETIQUE DE LA LYOPHILISATION [12]

Le principe même de la lyophilisation suggère un coût énergétique élevé compte tenu des changements d'état successifs de l'eau qui, de liquide devient solide, puis vapeur. En réalité, les changements d'état n'expliquent que pour moins de 30% la consommation globale d'énergie qui est considérable. Le calcul d'un bilan énergétique détaillé d'une lyophilisation se déroulant dans les conditions suivantes :

Température de sublimation :-20°C.

Température du piège à glace :-40°C.

En négligeant les pertes mineures, on aboutit, pour une tonne d'eau éliminée, au bilan suivant :

Congélation	74KWh
Sublimation	788KWh
Condensation de la vapeur sur le piège à glace	436KWh
Total	1 298KWh

Ce bilan, obtenu par le calcul, est évidemment très optimiste. Il ne tient compte ni de l'énergie nécessaire pour le dégivrage du piège à glace (ajouter 93 KWh), ni de la consommation électrique de la pompe à vide (le seul refroidissement de la pompe à vide dégage 110 KWh/tonne, mais encore loin du compte. Le calcul précédant suppose que le rendement thermique de sublimation est de 100% et surtout, néglige la phase de désorption qui élimine l'eau liée et qui est de loin la plus coûteuse en énergie. Une fiche technique Atlas 1Ray 75D fait état d'une consommation globale de 4700 à 4800 KWh par tonne d'eau éliminée.

Ce chiffre n'a évidemment qu'une valeur indicative dans la mesure où les produits traités sont de natures très différentes.

1.5 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA LYOPHILISATION [17]

***Avantage**

La lyophilisation comporte de nombreux avantages par rapport aux autres procédés de séchage ou de conservation.

1. La lyophilisation permet de conserver une grande partie des qualités des aliments étant donné que ceux-ci demeurent à une température sous le point de congélation durant la sublimation.

L'utilisation de la lyophilisation est particulièrement importante dans le cas des bactéries lactiques puisqu'elles sont très sensibles à la chaleur.

2. Les aliments lyophilisés en général ne nécessitent pas de réfrigération pour se conserver. Les coûts d'entreposage et de transport sont ainsi réduits de façon appréciable.
3. La lyophilisation entraîne une diminution importante du poids ce qui facilite grandement le transport des aliments lyophilisés. Par exemple, plusieurs aliments contiennent jusqu'à 90% d'eau. Ils seront donc 10 fois plus légers après lyophilisation.
4. La plupart des aliments lyophilisés se réhydratent très rapidement grâce à leur texture poreuse. En effet, la lyophilisation n'entraîne pas de diminution de volume appréciable. L'eau peut donc reprendre sa place facilement dans la structure moléculaire de l'aliment.

*** Inconvénient**

1. Le coût est élevé.
2. Le produit obtenu est fragile (résistance mécanique faible).
3. Il est sensible à l'oxydation.
4. Il y a une perte de couleur.

CONCLUSION

Cette étude de la lyophilisation permet de comprendre les mécanismes qui régissent ce phénomène, et les contraintes à satisfaire pour que l'opération se déroule dans de bonnes conditions, afin d'obtenir un produit sec de bonne qualité (conservation des couleurs, de l'arôme, etc...).

La compréhension du processus de lyophilisation, nous permettra de comprendre le fonctionnement de la machine qui réalise la lyophilisation. On pourra ainsi faire construire une commande efficace et adapté.

Chapitre

2

**Description de la machine de
lyophilisation et du cycle à implémenter**

INTRODUCTION

Dans le chapitre précédent, il a été étudié le processus de lyophilisation dans tous ses aspects. Il est à présent nécessaire de présenter la machine qui permet la réalisation de ce processus et qui se compose :

- 1- d'une chambre de lyophilisation ;
- 2- d'un groupe de réfrigération ;
- 3- d'un groupe de chauffage ;
- 4- d'un système de circulation ;
- 5- d'un système de vide.

Nous ferons, ensuite, une brève présentation des capteurs disponibles sur la machine, et enfin, une description du cycle de fonctionnement de celle-ci.

2.2 LA MACHINE DE LYOPHILISATION [12] [10]

Le cœur de la machine de lyophilisation est une chambre dans laquelle est introduit le produit à traiter. Cette chambre est reliée à un piège à vapeur qui permet la capture des vapeurs d'eau extraites du produit au cours du cycle de lyophilisation.

Autour de la chambre, se trouve une source de froid « le groupe de réfrigération », une source de chaleur « groupe de chauffage », un système de circulation du fluide de transfert de la chaleur et un système de vide poussé qui permet de faire le vide dans la chambre et le piège à vapeur au cours de la dessiccation.

La figure suivante représente le dispositif général de la machine à lyophiliser :

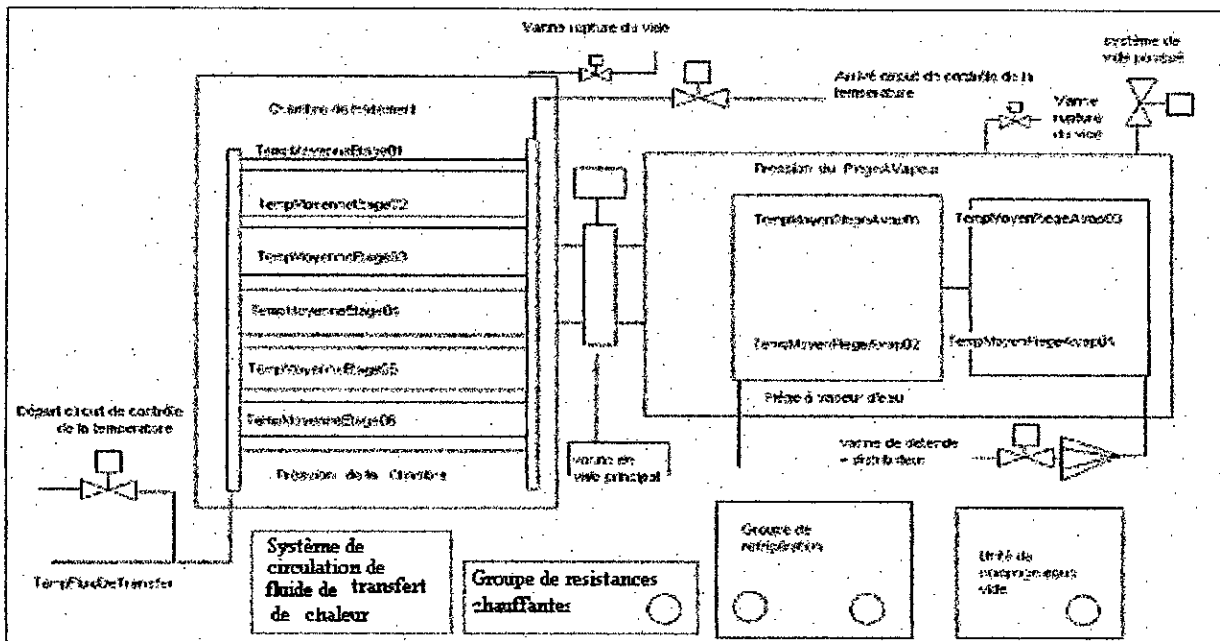


Figure 2-1: Dispositif général

2.1.1 La Chambre

Le produit est chargé sur les étagères de la chambre (la chambre est de forme rectangulaire) dans des plateaux métalliques. Le refroidissement et le chauffage du produit se font par circulation d'un fluide de transfert de chaleur parcourant les étagères. Ainsi, le transfert de chaleur au produit se fait par conduction entre les étagères et les plateaux (les plateaux sont en contact direct avec les étagères).

La chambre est reliée au piège à vapeur par une tubulure. Cette dernière peut être fermée par une vanne appelée « vanne principale » afin de permettre l'isolation de la chambre du piège à vapeur.

2.1.2 Le Piège à Vapeur

Le piège à vapeur est placé à l'extérieur de la chambre pour être plus efficace. Il est constitué de quatre plaques en acier formant les évaporateurs. Ces évaporations permettent l'élimination de la vapeur d'eau extraite du produit par solidification (passage de l'eau de l'état gazeux à l'état solide).

Au cours du refroidissement du produit, le piège à vapeur est isolé de la chambre (vanne de liquide principal fermé). A l'approche de la fin du refroidissement du produit, le piège à vapeur est à son tour refroidie pour éliminer les vapeurs présentes dans son enceinte.

Le piège à vapeur se situe entre la chambre et la pompe à vide pour permettre l'élimination des vapeurs d'eau selon le processus suivant : Les vapeurs générées par l'extraction de l'eau du produit passent dans le piège à vapeur (par le biais de la vanne principale) qui élimine une partie de la vapeur capturée par les évaporateurs, le reste étant rejeté par la pompe à vide.

2.1.3 Unite de Pompage sous vide

La mise sous vide de l'enceinte de lyophilisation et du piège à vapeur est assurée par une pompe à vide de grande capacité. L'unité de pompage sous vide a une capacité qui peut aller jusqu'à 1800m³/h . L'unité de pompage sous vide entre en jeu à la fin de la phase de refroidissement du produit.

La pompe à vide permet d'initier le vide dans la chambre et le piège à vapeur, puis de maintenir ce vide durant toute la phase de dessiccation primaire et secondaire.

La pompe à vide est reliée au piège par l'intermédiaire d'une vanne (vanne de vide du piège vapeur). Quant à la mise sous vide de la chambre, elle se fait à travers le piège à vapeur.

2.1.4 Le Système de Circulation du Fluide de Transfert de Chaleur

Le système de circulation fonctionne durant tout le cycle de lyophilisation. Il a pour seul rôle de faire circuler le fluide de transfert de chaleur, pour de refroidir le produit durant la phase de congélations puis chauffer le produit à lyophiliser pendant la phase de dessiccation.

Le système de circulation permet durant la phase de congélation d'assurer le passage du fluide de transfert de chaleur du groupe de réfrigération à la chambre.

Le fluide de transfert circule du groupe de chauffage à la chambre au cours de la phrase de dessiccation.

En plus de la pompe de circulation, le système contient deux vannes :

- 1- la première vanne est située à l'entrée de la chambre ;
- 2- la deuxième se trouve à la sortie de la chambre.

2.1.5 Le groupe de réfrigération

La figure suivante représente le groupe de refroidissement :

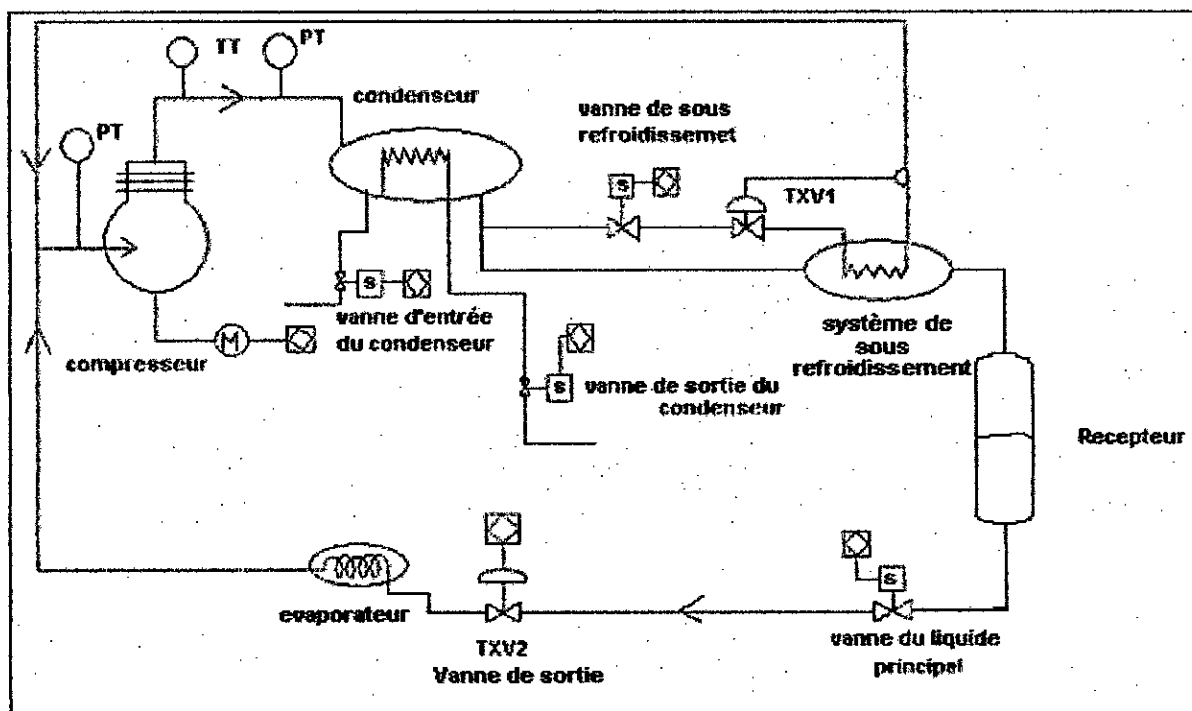


Figure 2-2 : groupe de refroidissement

2.1.5.1 Composant du groupe de réfrigération

a. Le fluide réfrigérant et le fluide de transfert de chaleur

Le fluide de transfert de chaleur est la substance utilisée pour refroidir puis chauffer le produit à lyophiliser en circulant à travers les étranges de la chambre.

Il faut distinguer le fluide réfrigérant du fluide de transfert de chaleur, qui est un fluide intermédiaire dont le rôle est de refroidir le fluide de transfert de chaleur. Le fluide réfrigérant est également utilisé pour refroidir le piège à vapeur.

b. Compresseur [1]

Les vapeurs du fluide réfrigérant, au fur et à mesure de leur formation dans le vaporisateur, arrivent dans le compresseur dont le rôle est d'augmenter la pression du fluide (au-dessus de la pression de saturation*) pour permettre au condenseur de remplir sa fonction, l'élévation de la pression entraînant une élévation de la température du fluide.

Le compresseur est entraîné par un moteur, les surfaces en frottement du compresseur sont lubrifiées par une huile de lubrification (l'huile de lubrification utilisée supporte les fortes pressions). Les vapeurs, du fluide réfrigérant aspiré, entre dans le compresseur à travers un clapet d'aspiration et ressortent comprimées à travers un autre clapet.

* Pression de saturation : c'est la pression au-dessus de laquelle le fluide n'existe qu'à l'état de vapeur.

c. Condenseur [1][9]

Il consiste en un serpentin de fluide réfrigérant placé dans une calandre cylindrique de fluide intermédiaire (généralement de l'eau). L'échange de chaleur entre ces deux fluides entraîne la condensation du fluide réfrigérant (passe de l'état de vapeur à l'état liquide). La condensation entraîne le refroidissement du fluide réfrigérant.

Le condenseur dispose de deux vannes :

- 1- une vanne située à l'entrée du condenseur,
- 2- l'autre vanne à sa sortie.

Ces vannes, quand elles sont ouvertes, permettent l'arrivée du fluide intermédiaire dans l'enceinte du condenseur.

d. L'évaporateur

L'évaporateur est la partie la plus importante de l'installation frigorifique, c'est là que se produit le refroidissement. Il consiste en une tuyauterie plongée dans l'eau, la saumure, l'air ou toute autre substance que l'on désire refroidir. A l'intérieur de la tuyauterie se trouve le fluide réfrigérant.

La température du fluide réfrigérant en évaporation correspond à la pression qui règne dans l'évaporateur ; il faut préciser à ce titre que cette température est inférieure à celle de la substance à refroidir ; celle-ci cédant sa chaleur au fluide réfrigérant en évaporation.

e. Le système de sous refroidissement

Une petite portion du fluide réfrigérant est extraite du condenseur et détendue à travers une vanne (vanne de sous refroidissement), ainsi sa température baisse. Cette portion du fluide passe dans le serpentin du système de sous refroidissement.

L'autre partie du fluide réfrigérant (la majeure partie du fluide) arrive dans le réservoir du système de sous refroidissement. Un échange de chaleur se produit entre le fluide dans le serpentin et celui du réservoir, la température de ce dernier diminue. Quand le fluide réfrigérant contenu dans le serpentin revient dans le compresseur.

f. Le récepteur

C'est un réservoir qui permet d'emmagasiner une quantité de fluide réfrigérant. Son rôle est d'alimenter le groupe de refroidissement en réfrigérant au démarrage, avant qu'une quantité suffisante de vapeur ne se forme dans l'évaporateur pour permettre le fonctionnement du groupe.

g. Les vannes

En plus des vannes du condenseur et de la vanne de sous refroidissement, le groupe contient deux autres vannes :

- la vanne de liquide principale permet la circulation du fluide réfrigérant dans le group de réfrigération,
- la vanne de sortie ; cette vanne joue un rôle très important dans le groupe de refroidissement. Elle joue le rôle de détendeur en réglant le débit du fluide réfrigérant dans le circuit : la quantité de fluide réfrigérant admise dans l'évaporateur en un temps donné doit être égale à la quantité qui peut être vaporisée et qui correspond à la chaleur absorbée. Ainsi, cette vanne assure le maintien dans l'évaporateur et dans le condenseur les pressions et les températures nécessaires à l'installation. Cette vanne est commandée par un PID.

2.1.5.2 Fonctionnement du groupe de refroidissement

A la sortie de l'évaporateur le fluide réfrigérant, sous forme de vapeur, est aspiré par le compresseur pour augmenter sa pression et donc sa température. Les vannes d'entrée et sortie du condenseur sont ouvertes au préalable pour permettre le remplissage du fluide intermédiaire.

Le fluide réfrigérant arrive dans le condenseur après sa sortie du compresseur, et échange ainsi de la chaleur avec le fluide intermédiaire, ce qui provoque sont refroidissement et son passage à l'état liquide.

A la sortie du condenseur et lorsque la vanne de sous refroidissement est ouverte, une partie du fluide réfrigérant passe dans le serpentin du système de sous refroidissement, après s'être détendue et donc refroidie à travers la vanne de sous refroidissement. Cette portion du fluide réfrigérant échange de la chaleur avec la partie restante du fluide qui se retrouve refroidie.

C'est ainsi que, le fluide réfrigérant passe de la vanne du liquide principale à la vanne de sortie dont le processus est réglé par le régulateur PID. Le fluide réfrigérant détendu par la vanne de sortie arrive alors dans l'évaporateur qui contient le fluide de transfert de chaleur. A ce moment précis un échange de chaleur s'effectue entre ces deux fluides, entraînant systématiquement le refroidissement du fluide de transfert de chaleur et l'évaporation du fluide réfrigérant.

Le groupe de refroidissement du piège à vapeur fonctionne de la même manière que le groupe de refroidissement de la chambre. La différence entre ces deux groupes réside dans le fonctionnement de l'évaporateur. En effet, le groupe de réfrigération du piège à vapeur contient quatre évaporateurs placés directement dans le piège, échangeant ainsi de la chaleur avec l'air qui s'y trouve. C'est d'ailleurs, ces mêmes évaporateurs qui capturent la vapeur d'eau, extraite du produit à lyophiliser, sur leurs surfaces.

2.1.6 Groupe de Chauffage

Il est constitué essentiellement de résistances chauffantes, qui chauffent le fluide de transfert de chaleur. Ces résistances sont placées dans un réservoir qui est traversé par le liquide de transfert de chaleur. Un échange de chaleur se produit entre le fluide et les résistances, le fluide de transfert de chaleur se trouve ainsi chauffé.

Le groupe de chauffage comporte aussi deux vannes. La première vanne permet le passage du fluide caloporteur dans le groupe de chauffage (Vanne de chauffage en ligne). Quant à l'autre vanne, elle permet de contourner le groupe de chauffage lors du refroidissement (vanne de contour chauffage).

2.2 LES CAPTEURS [2]

Au cours du cycle de lyophilisation, il est nécessaire de pouvoir suivre l'évolution de la température du produit, la pression de la chambre et du piège à vapeur. Un problème non détecté et par conséquent non réparé, pourrait entraîner dans certain cas la détérioration du composant et l'arrêt du cycle de lyophilisation. L'arrêt du cycle conduit à la perte du produit à lyophiliser.

Afin de pouvoir suivre l'évolution du produit et de la machine au cours de la lyophilisation, un certain nombre de capteur sont placés dans les différents modules de la machine. Ceux sont essentiellement des capteurs de pression, température et de débit.

2.2.1 Capteurs de température

La connaissance de la température du produit est un moyen de contrôle précieux et un élément indispensable dans l'interprétation des phénomènes observés au cours du cycle de lyophilisation.

La température est évaluée au moyen de deux types de capteurs disponibles au niveau de la machine :

a. Thermocouple

Les thermocouples sont utilisés pour mesurer la température de la chambre et du piège à vapeur.

C'est un circuit électrique constitué par deux conducteurs de nature différente qui sont reliés entre eux par deux jonctions (soudure). Lorsque les deux jonctions sont à des températures différentes, le thermocouple est le siège d'une force électromotrice. Cette force est nulle lorsque les deux conducteurs sont de même nature ou lorsque les deux jonctions sont à la même température.

Le principe de la mesure d'une température consiste à maintenir une des jonctions à une température constante et connue, et à utiliser l'autre jonction comme sonde de température. La tension délivrée par le thermocouple donne une valeur qui est en fonction de la température.

b. Capteur à résistance

Il permet de mesurer la température du fluide de transfert de chaleur. Il fonctionne de la manière suivante :

La détermination d'une température à l'aide d'un thermomètre à résistance peut être effectuée directement en mesurant la résistance à l'aide d'un pont de Wheatstone . La valeur de la résistance est alors convertie en tension.

2.2.2 Capteurs de pression

Deux types de capteurs de pression sont utilisés pour la mesure de la pression :

a. Jauge de déformation

On utilise ce type de capteur pour mesurer la pression du fluide réfrigérant à l'entrée et à la sortie du compresseur du groupe de réfrigération. Ce capteur fonctionne de la manière suivante :

Le corps d'épreuve est un tube à section circulaire ou aplatie, à paroi mince en métal ou en quartz, enroulé en spirale ou en hélice. L'intérieur du tube est relié à l'enceinte dans laquelle on mesure la pression tandis que l'extérieur du tube est soit à l'air libre, soit plongé dans un milieu fermé dont la pression est constante. La différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du tube produit une déformation de celui-ci. L'une des extrémités de la spirale étant maintenue fixe, sa déformation élastique entraîne le déplacement de l'autre extrémité, qui est couplée à un capteur de déplacement.

b. Capteur capacitif

Il permet de mesurer la pression dans la chambre de lyophilisation et le piège à vapeur.

Une membrane métallique M, circulaire, plane, est précontrainte radialement de façon à minimiser son hystérésis mécanique. Elle fait face dans chacun des deux milieux (milieu de mesure et milieu de référence) à des armatures fixes A1 et A2 symétriques par rapport à M. Sa déformation sous l'effet de la pression différentielle existant entre les deux milieux, se traduit par un déplacement d de son centre. Ce déplacement est proportionnel à la différence de pression, ce qui provoque un décroissement la capacité C1 entre A1 et M et en contre partie un accroissement de la capacité C2 entre A2 et M. C1 et C2 constituent un condensateur que l'on excite à l'aide d'un transformateur. Le signal de sortie est directement prélevé sur la membrane.

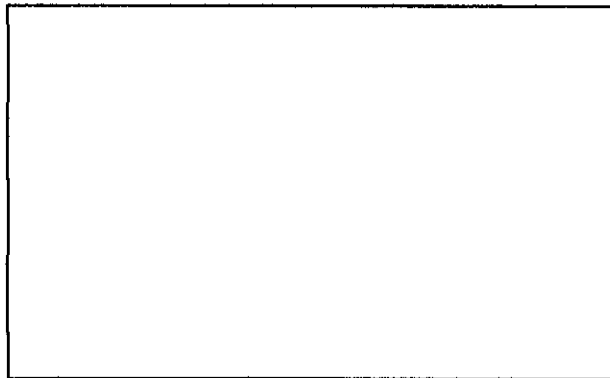


Figure 2-3 : Capteur capacitif

2.3 DESCRIPTION DU CYCLE DE LYOPHILISATION

La lyophilisation est une opération essentiellement cyclique. Les phases d'un cycle de lyophilisation sont :

- 1- Le refroidissement du produit puis du piège à vapeur ;
- 2- La mise sous vide de la chambre de lyophilisation et du piège à vapeur ;
- 3- Le chauffage du produit ;
- 4- Le cassage du vide.

Un cycle de lyophilisation se déroule de la manière suivante :

Un opérateur a pour tâche de charger les plateaux contenant le produit à lyophiliser dans la chambre de lyophilisation.

Dès que la porte de la chambre est fermée, le cycle de lyophilisation est lancé. Les vannes de circulation de la chambre sont ensuite ouvertes, et l'ordre est lancé pour démarrer la pompe de circulation, ceci permettra la circulation du fluide de transfert de chaleur. Lorsque les deux vannes du condenseur sont ouvertes, le démarrage du compresseur est lancé ainsi que l'ouverture des deux vannes celle de sous refroidissement celle du liquide principal. Quant à la vanne de sortie, son ouverture est commandée par un régulateur, car le refroidissement dépend de son niveau d'ouverture.

Quant la température du produit atteint la température de congélation totale, le refroidissement du piège à vapeur est déclenché. La mise en marche du groupe de réfrigération du piège à vapeur s'effectue de la même manière que pour le réfrigérateur de la chambre.

Le piège à vapeur refroidi à la température désirée (consigne de température du piège atteinte), le vide est initié dans le piège à vapeur et dans la chambre de lyophilisation. Cela s'effectue de la manière suivante : la vanne principale du vide est ouverte et la pompe à vide est déclenchée. Quelques minutes après le démarrage de la pompe à vide, la vanne de vide du piège est ouverte (cette vanne l'ouverture s'effectue après un certain temps pour éviter la surcharge de la pompe à vide au démarrage.).

Quant le vide est complètement initié, l'étape de la dessiccation primaire débute. Cette opération s'effectue comme suit : la vanne de chauffage en ligne et la vanne de contour du chauffage sont ouvertes et les résistances chauffantes sont mises en marche.

Quant le profil de chauffage primaire est atteint (consigne de la dessiccation primaire est atteinte), l'étape de la dessiccation secondaire débute à son tour. Cette étape est effectuée en chauffant le produit à une température désirée durant une certaine période

(la consigne de température et la durée sont déterminées expérimentalement en faisant des tests sur le produit à lyophiliser).

A la fin de la dessiccation secondaire, le vide est cassé dans la chambre et dans le piège à vapeur, en ouvrant les vannes de rupture du vide de la chambre et du piège.

Remarque :

Toutes les consignes de pression et de températures sont déterminées expérimentalement en effectuant des tests sur le produit à lyophiliser.

CONCLUSION

La description du cycle de lyophilisation et des organes constituant la machine de lyophilisation nous a permis de comprendre le fonctionnement de cette dernière. Une bonne compréhension de la machine nous facilitera l'élaboration d'une commande.

Il est à présent nécessaire de se familiariser avec l'outil de la commande c'est-à-dire l'automate programmable, cela sera abordé dans le chapitre suivant.

Chapitre

3

**Présentation matérielle des
automates programmables**

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous allons étudier l'architecture matérielle des automates programmables. Mais du fait que chaque fabricant a sa propre conception, on peut difficilement donner une architecture précise qui serait valable pour tous les types d'automates.

Pour cela, nous nous sommes intéressés en particulier aux **automates GE Fanuc série 90-30**. Ce choix s'est opéré en vue de l'utilisation d'un automate de cette famille pour l'élaboration de la commande de la machine à Lyophiliser.

3.1 DEFINITION D'UN AUTOMATE PROGRAMMABLE

Les automates programmables sont des microordinateurs simplifiés, conçus pour traiter par le biais de programmes des problèmes de logique séquentielle, pour remplacer notamment les commandes d'automatismes en logique câblée réalisées avec des circuits logiques ou des relais. Ces équipements offrent beaucoup moins de possibilités que les processeurs classiques. Ils peuvent cependant être utilisés facilement par un personnel peu qualifié en informatique et ce grâce à des langages de programmation orientés application, de type langage à relais, équations booléenne ou GRAF CET.

Le déroulement des programmes d'automates est en principe de type synchrone, ce qui élimine toute sorte de complications et d'aléas liés à la multiprogrammation. Les automates programmables sont en général conçus dès l'origine pour fonctionner en milieu industriel. Ils sont dotés de toutes les protections contre l'environnement ainsi que des interfaces adaptées aux capteurs et aux actionneurs les plus courants.

La plupart des automates programmables sont conçus pour le remplacement des armoires à relais, ils n'ont à traiter que des variables booléennes et leur unité centrale est très simplifiée.

Enfin, pour des applications plus évoluées, il existe désormais des automates programmables à hautes performances dont les possibilités se rapprochant de celles qu'offrent les microordinateurs [3].

3.2 ORGANISATION ET ARCHITECTURE GENERALES D'UN API [4]

Un automate programmable est un système construit autour d'un microprocesseur. Les éléments principaux que l'on rencontre habituellement dans un API sont l'alimentation, le CPU, la mémoire et les modules d'entrées/ sorties, comme indiqué dans le schéma ci-après [1]:

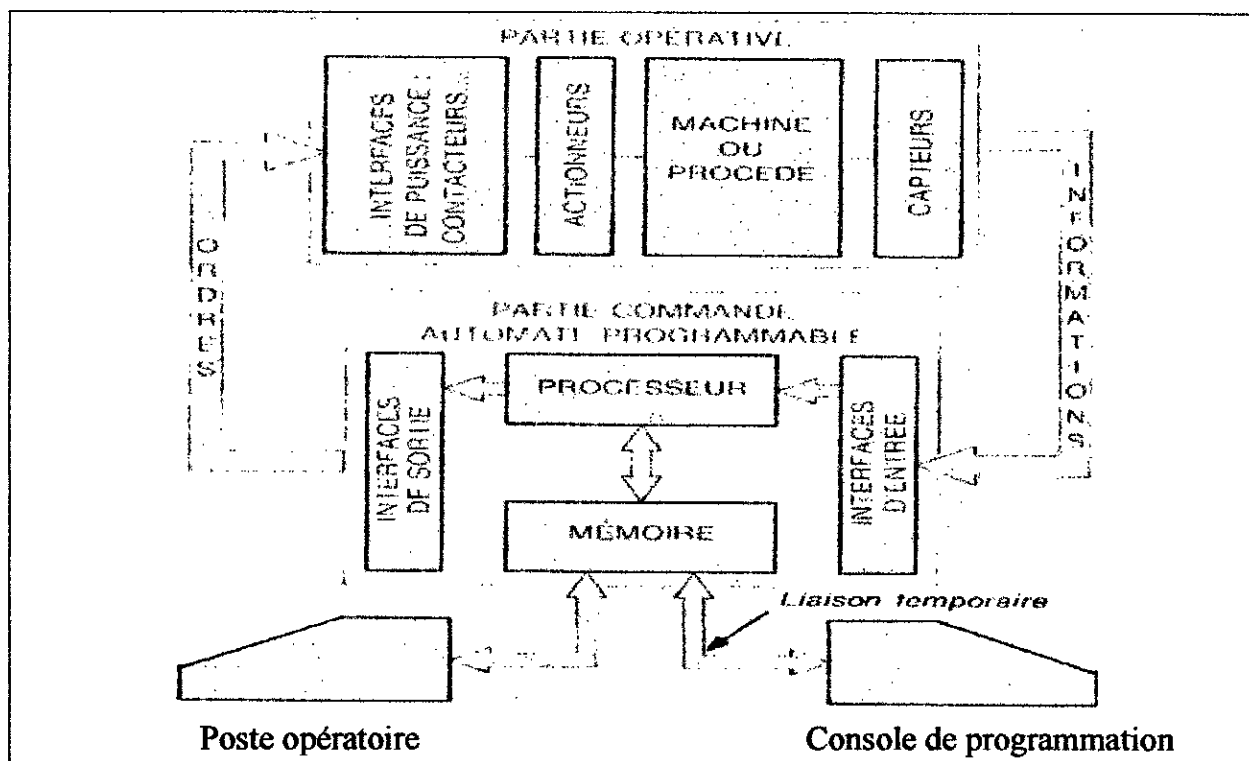


Figure 3-1 : Structure générale d'un automate programmable

3.2.1 L'alimentation

L'alimentation fournit une tension stable pour le fonctionnement du CPU, des modules d'entrées/ sorties et de la mémoire. Cette alimentation ne fournit normalement pas de tension pour les signaux entrants et sortants des modules d'entrées / sorties. Il y a lieu de relever d'éventuelles exceptions : lignes de données sérielles, modules analogiques et modules intelligents.

3.2.2 Le CPU

C'est la partie dite intelligente de l'automate. Il est géré par le programme système appelé FIRWARE. Le module CPU supporte des éléments internes tels que des indicateurs, des temporisateurs, des compteurs et des registres de données. Les différents éléments sont accessibles au programme système par l'intermédiaire d'un bus interne.

Un compteur de programme pointe les instructions successives à effectuer au fur et à mesure du déroulement du programme. Le CPU a différents modes de fonctionnement : **RUN** ou **STOP** programmation. Pour la programmation et autres manipulations, une console de programmation doit être branchée au CPU.

3.2.3 La mémoire

La mémoire contient en premier lieu le programme utilisateur. Ce programme introduit par l'utilisateur décrit toutes les fonctions que l'automate est en mesure de réaliser. Selon les applications, la mémoire peut aussi contenir des textes et des données.

3.2.4 Les modules d'entrées/ sorties

Les modules d'entrées/soties permettent les échanges d'informations vers l'environnement extérieur de l'automate. Ils adaptent les signaux entrants et sortants en tension et courants, comme ils filtrent les perturbations et protègent la partie interne de l'automate notamment des influences extérieures.

Les signaux ainsi adaptés et filtrés sont accessibles au programme système par l'intermédiaire d'un bus externe au CPU.

Un automate structuré dispose de tous les éléments nécessaires pour réaliser les fonctions qu'on attend de lui. Il est évident que les modules d'entrées/ sorties auront été connectés aux différents éléments périphériques.

3.3 DESCRIPTION DES AUTOMATES GE FANUC SERIE 90-30 [5]

Les API séries 90-30 font partie de la gamme des Automates Programmables Industriels (API) d'avant-garde série 90 de GE Fanuc. Faciles à installer et à configurer, ils offrent des fonctions de programmation évoluées tout en étant compatibles avec les autres API de la série 90.

Cinq Unités Centrales (UC) sont disponibles avec les API Séries 90-30 :

- le Modèle 311 (5emplacements) ;
- le modèle 313 (5 et 10 emplacements) ;
- les modèles 331, 340 et 341 (5et 10 emplacements chacun), dont les différences se situent au niveau de la vitesse, de la capacité en E/S, de la taille mémoire utilisateur et du nombre de registres de données.

Grâce à l'utilisation des technologies modernes, les API séries 90-30 fournissent une plate-forme efficace et économique aux applications de petite et moyenne importance.

Les principaux objectifs des API série 90-30 sont :

- de fournir une intégration système aisée ;
- de fournir des API petits et conviviaux ;
- de réduire les coûts tout en offrant les technologies les plus modernes et en améliorant les caractéristiques de convivialité des API ;
- de permettre une installation et une configuration aisées.

3.3.1 Description des modèles d'API série 90-30

Les API séries 90-30 avec UC modèle 311 sont disponibles avec platine à 5 emplacements. Chaque platine nécessite un module d'alimentation ; celui-ci étant installé dans l'emplacement le plus à gauche de la platine. Cette alimentation a une puissance nominale de trente (30) watts. Tous les emplacements sont disponibles pour les E/S modèle 30(modules logiques, analogiques, ou optionnels).

Les API série 90-30, avec UC modèle 313, sont disponibles avec platine à cinq (05) ou dix (10) emplacements. Il y a lieu de noter qu'ils sont identiques au modèle 311 excepté le fait que leur vitesse de scrutation est supérieure (0.6 millisecondes pour 1K en logique (contacts booléens) comparée aux 18 millisecondes du modèle 311) et qu'ils proposent un plus grand nombre de registres disponibles pour l'utilisateur (1024 contre 512).

Les API série 90-30 avec UC modèle 331, 340 ou 341 sont disponibles avec platine à 5 ou 10 emplacements. Le modèle 331 ou 341, configuré au maximum de sa capacité, peut comporter jusqu'à 5 platines (une platine d'UC et quatre platines d'extension). Le système d'extension peut être soit :

- un système d'extension locale dont la dernière platine d'extension se trouve au maximum à 15 mètres de l'UC ;
- un système d'extension déporté dont la dernière platine est située à une distance maximale de 213 mètres de l'UC. La première platine (platine d'UC) devant contenir un module d'UC.

Le tableau ci-dessous présente les capacités maximales de chaque modèle d'UC pour API série 90-30.

Tableau 3-1 : capacités des UC

Modèle d'UC	Vitesse (MHz)	Processeur	Points d'entrée	Points de sortie	Mémoire des registres	Mémoire maximale des programmes utilisateur
311	10	80188	160/320*	160/320*	512 mots	6 Ko
313	10	80188	160/320*	160/320*	1024 mots	6 Ko
331	10	80188	512	512	2 Kmots	16 Ko
340	20	80C188XL	512	512	9999 mots	32 Ko
341	20	80C188XL	512	512	9999 mots	80 Ko

* La capacité totale de points d'entrée et de sortie (E + S) dépend du nombre de points des modules installés dans les platines : 160 E/S au maximum pour les modules 16 points et 320 E/S au maximum pour les modules 32 points.

La figure suivante présente des API modèles 311 et 313 (avec UC intégrée) avec des modules installés. Notez que les modèles 311 et 313 ont la même présentation. (Le modèle 311 est disponible uniquement en version 5 emplacements).

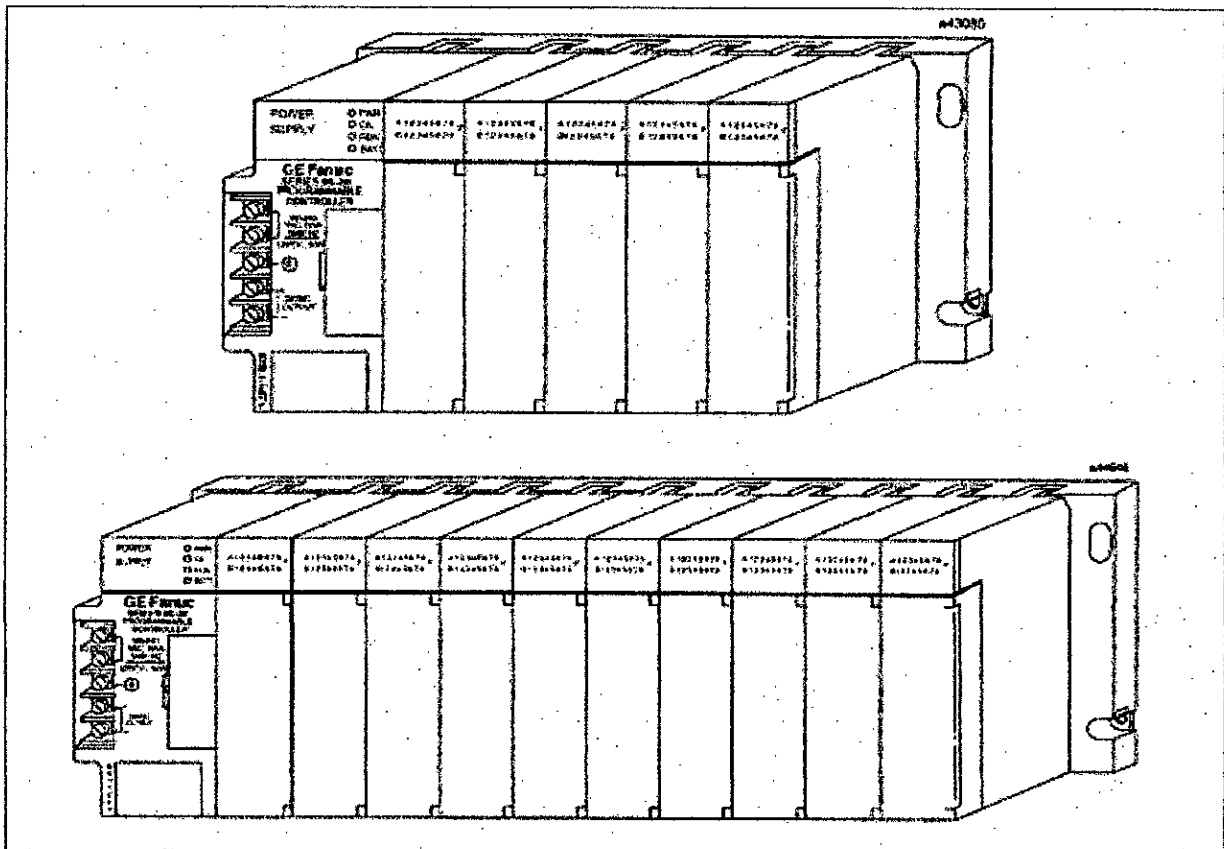


Figure 3-2 : API série90-30 modèles 311 et 313

La figure suivante présentent les platines d'UC des API modèles 331,340 et 341(car ces trois modèles ont la même présentation) à 5 et 10 emplacements avec des modules installés (UC installée dans l'emplacement 1).

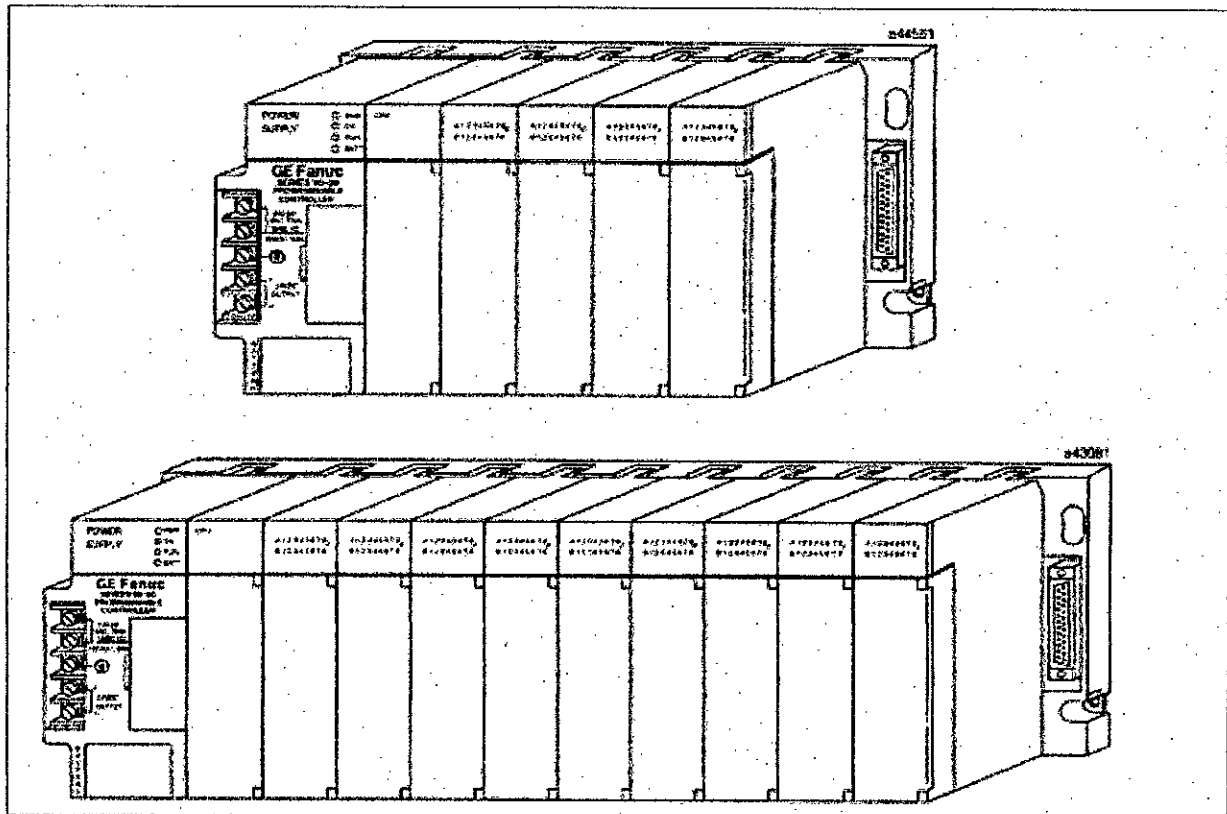


Figure 3-3 : API série 90-30 modèle 331, 340 ou 341

3.3.2 Platines

Les modules matériels des API série 90-30 sont conditionnés en platines. Les platines dont la configuration comprend une alimentation et des modules sont appelées BAC. Les paragraphes suivants décrivent les platines disponibles.

Platines de modèles 311 et 313 :

Les platines des API série 90-30 modèles 311 et 313 sont disponibles avec 5 emplacements (IC693CPU311 pour le modèle 311 et IC693CPU313 pour le modèle 313) et 10 emplacements (IC693CPU323 pour le modèle 313). Chacune de ces platines contient l'UC appropriée, celle-ci étant située sur le même circuit imprimé que le fond de bac. L'alimentation de l'API est montée sur la partie gauche de la platine. Cette organisation permet de disposer de 5 ou 10 emplacements pour les modules E/S ou autres.

La seule différence physique entre les modèles 311 et 313 tient au type de support utilisé pour l'EPROM.

L'illustration suivante présente une platine modèle 313 à 10 emplacements.

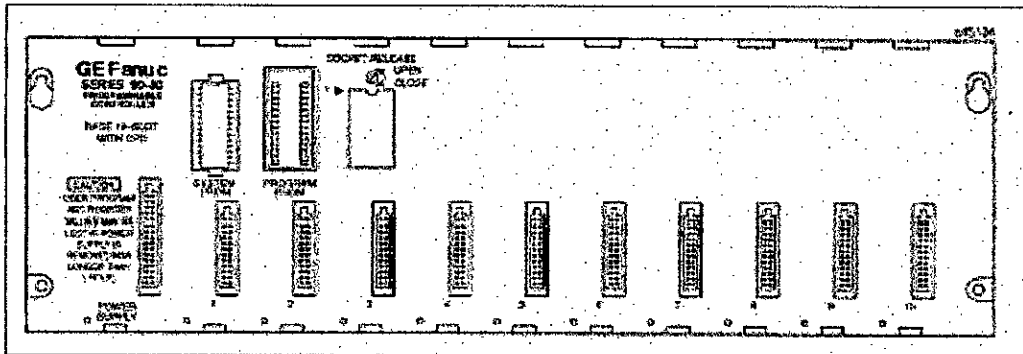


Figure 3-4 : Platine des API série 90-30 modèle 313 à 10 emplacements

Platines d'UC des modèles 331, 340, 341

Les platines d'UC des API série 90-30, modèles 331- 340- 341, sont disponibles en deux versions :

- cinq (05) emplacements (IC693CHS397) ;
- dix (10) emplacements (IC693CHS391).

Cela permet de disposer de 5 ou 10 emplacements pour les modules et d'un emplacement pour l'alimentation, celle-ci devant être installée dans l'emplacement le plus à gauche de la platine.

La platine d'UC modèle 331/340/341 doit toujours contenir le module d'UC à installer au niveau de l'emplacement 1, situé à côté de l'alimentation, les quatre ou neuf emplacements restant sont disponibles pour les modules d'E/S analogiques ou logiques, les modules optionnels et enfin les modules optionnels spécialisés.

Un connecteur femelle de 25 broches est situé à l'extrémité droite de la platine ; il permet le raccordement à une platine d'extension. En cas de besoin d'une capacité système supérieure à celle offerte par la platine d'UC, un câble d'extension d'E/S peut

être utilisé pour créer un système d'extension. La chaîne ainsi constituée peut comporter jusqu'à 4 platines d'extension.

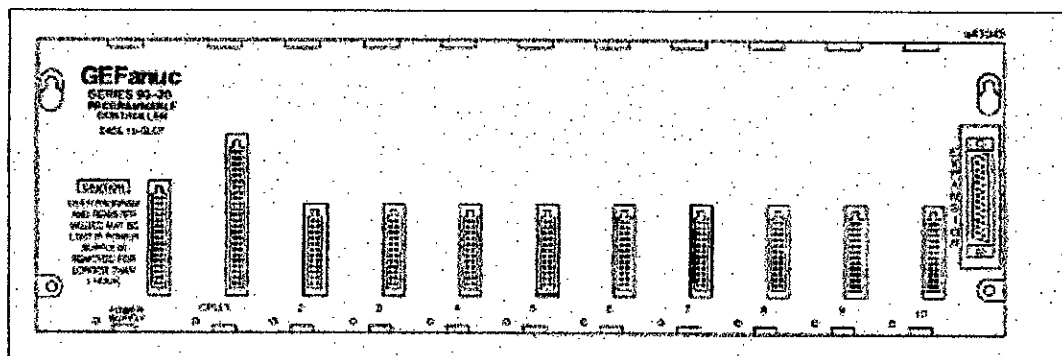


Figure 3-5 : Platine d'UC des API série 90-30 modèle 331/340/341 à 10 emplacement

Platine d'extension pour modèles 331- 340 et 341

Les platines d'extension des API série 90-30- modèle 331/340/341 sont disponibles en deux versions : 5 et 10 emplacements. Les platines d'extension disposent de 5 ou 10 emplacements pour des modules d'entrée/ sortie, et d'un emplacement pour l'alimentation.

Physiquement, ces platines sont identiques à la platine d'UC, à ceci près qu'elles comportent un commutateur de sélection de numéro de bac (absent sur les platines d'UC). De plus le fond de bac est différent, ce qui interdit l'implantation de modules optionnels spécialisés tels que le module PCM.

Les modules d'E/S logiques et les modules optionnels (GBC, GCM, GCM+, HSC, APM30, I/O Link, processeur d'E/S) peuvent résider dans tous les emplacements des platines d'extension, la dernière platine d'extension devant être située à une distance maximale de 15 mètres de la platine d'UC.

Dans un système d'extension local, la longueur totale de câblage utilisé pour le raccordement des platines d'extension ne doit pas dépasser 15m et toutes les platines d'extension doivent être reliées à une terre commune.

Toutes les platines d'extension possèdent un connecteur femelle 25 broches. Celui-ci est monté à l'extrémité droite de chaque platine et permet la connexion à une autre platine dans un système d'extension.

Platines déportées pour modèles 331, 340 et 341

Les platines déportées augmentent la capacité d'extensions des API modèles 331-340 et 341. Elles sont disponibles en deux versions : 5 emplacements et 10 emplacements. Il y a lieu de noter que les platines déportées offrent les mêmes fonctionnalités que les platines d'extension à la seule différence qu'elles peuvent être utilisées à des distances allant jusqu'à 213 mètres.

Il est important d'indiquer que les platines déportées sont de la même taille, utilisent la même alimentation et supportent les mêmes modules d'E/S ou optionnels que les platines d'extension. Le terme « REMOTE » (déporté) placé sur le couvercle en plastique des platines permet de les identifier facilement. Ce terme est également visible sur la carte de fond de bac à travers le couvercle situé au dessus du connecteur de l'emplacement 1.

3.3.3 L'alimentation

L'alimentation des API série 90-30 est disponible en deux versions, nécessitant chacune une source différente :

- IC693PWR321, entrée 120/240 VCA ou 125 VCC, 30W de puissance totale,
- IC693PWR322, entrée 24/48 VCC, 30W de puissance totale.

Dans toutes les platines, l'alimentation doit être située dans l'emplacement le plus à gauche et elle est reliée au fond de bac par le connecteur du fond de bac auquel elle est fixée.

L'alimentation, entrée 120/240 VCA ou 125 VCC

L'alimentation d'entrée CA/CC du système des API série 90-30 est une alimentation 30 Watts à large gamme pouvant fonctionner à partir d'une source de tension allant de 100 à 240 V en courant alternatif et de 100 à 150V en courant continu.

Cette alimentation fournit une sortie de +5Vcc, une sortie d'alimentation à relais de +24Vcc permettant d'alimenter les modules de sortie à relais modèle 30, et une sortie 24Vcc isolée. La tension 24Vcc isolée est utilisée par certains modules eux-mêmes et peut l'être pour alimenter certains modules d'entrée.

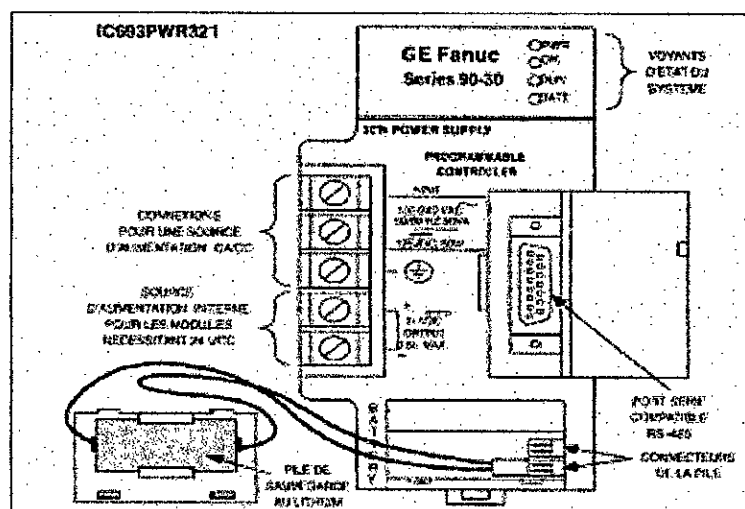


Figure 3-6 : Alimentation d'entée CA/CC des API série 90-30

L'alimentation, entrée 24/48Vcc

L'alimentation d'entrée continue du système des API série 90-30 (IC693PWR325) est une alimentation de 30Watts, à large gamme, conçue pour des entrée nominales de 24 ou 48 VCC, néanmoins, elle supporte une tension d'entrée comprise entre 18 et 56VCC.

Bien qu'elle soit capable de maintenir toutes les sorties du système avec des tensions d'entrée pouvant descendre jusqu'à 18VCC, l'alimentation ne peut fonctionner normalement au démarrage avec des tensions d'entrée inférieures à 21VCC.

Il faut dire que ce type d'alimentation fournit une sortie de +5VCC, une sortie d'alimentation à relais de +24VCC permettant d'alimenter les modules de sortie à relais modèle 30, et une sortie 24VCC isolée. La tension 24VCC isolée peut être utilisée pour alimenter certains modules d'entrée.

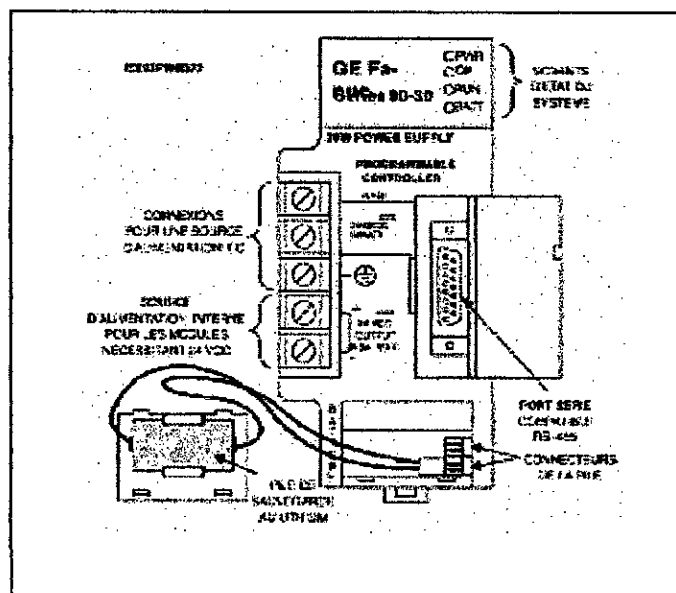


Figure 3-7 : Alimentation d'entrée CC des API série 90-30

3.3.4 UC des API série 90-30

Les cinq unités centrales (UC) disponibles pour les API série 90-30 diffèrent en vitesse, en capacité d'E/S, en taille de mémoire utilisateur et en apparence. Les UC modèles 311 et 313 sont intégrées dans le circuit imprimé qui sert également de fond de bac, monté dans la platine. Les UC modèles 331- 340 et 341 sont des modules séparés, selon les caractéristiques d'un mono emplacement, qui doivent être installés dans l'emplacement 1 de la platine d'UC.

Toutes ces UC (CPU) utilisent un microprocesseur 80 188 (modèle 311/313/ 331) ou 80C188XL (modèle 340/341) comme principal élément de traitement. Elles comportent également de la mémoire montée sur une carte et un processeur dédié (UC modèles 331, 340 et 341 uniquement) aux les opérations sur les booléens.

Le microprocesseur 80188 ou 80C188XL contrôle le cycle, les opérations principales et exécute toutes les fonctions non booléennes. Dans les modèles 331, 340 et 341, les fonctions booléennes sont gérées par un coprocesseur de séquençement des instructions avec une protection par pile pour la sauvegarde de la mémoire RAM.

La mémoire de l'UC est constituée de mémoire EPROM ou RAM. Le logiciel système et le programme d'application utilisateur, quant ils sont implantés dans une RAM, sont protégés par une pile de sauvegarde. Lors de l'installation d'une UC (nouvelle ou en remplacement d'une ancienne), il y a lieu de s'assurer que la pile est bien branchée pour permettre la protection de la mémoire RAM.

Les modules d'UC modèles 331-340 et 341 peuvent directement recevoir une pile, ce qui permet de les déplacer ou de les stocker avec un programme d'application en mémoire. Cette pile ne peut être utilisée lorsque le module d'UC est installé dans la platine et que la pile de sauvegarde est branchée dans l'alimentation. Pour déplacer l'UC modèle 331 (intégrée au fond de bac) tout en préservant le contenu de la mémoire RAM, il faut au préalable avoir installé l'alimentation et branché la pile.

PROM utilisateur

Généralement, les programmes d'application sont développés dans la mémoire RAM de l'UC et exécuter à partir de la mémoire RAM. Afin d'obtenir un meilleur niveau d'intégrité pour le programme ou un fonctionnement sans pile de l'API, il est possible d'installer une EEPROM ou EPROM supplémentaire dans le support disponible sur la platine.

3.3.5 La mémoire utilisateur pour l'API série 90-30

La mémoire utilisateur de l'API série 90-30 est du type RAM CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor, Random Access Memory). La RAM CMOS est une mémoire rapide et à faible consommation qui peut être aisément consultée (lecture) ou modifiée (écriture). Toutefois, la mémoire RAM CMOS est volatile ; autrement dit, son contenu est effacé en cas de coupure d'alimentation. Pour cela, une pile de sauvegarde longue durée au Lithium permet de conserver son contenu même sans alimentation générale.

Du fait de la faible consommation des composants RAM CMOS, la pile au Lithium permet de conserver le contenu de la mémoire sans autre alimentation pendant environ six mois pour les modèles 331/340/341 et au moins deux ans pour les modèles 311/313. La durée de vie en stockage d'une pile au lithium neuve est habituellement de huit (08) à dix ans.

Références utilisateur

Les données utilisées dans les programmes de l'API sont désignées par leurs adresses dans le système. Une référence indique la façon dont les données sont stockées dans l'API. En outre, elle spécifie à la fois un type de mémoire et une adresse précise dans ce type de mémoire. Par exemple :

- % I0001 spécifie l'adresse 1 dans la mémoire d'entrée,
- % R00256 spécifie l'adresse 256 dans la mémoire des registres.

Le symbole % utilisé permet de distinguer les adresses machines des références symboliques.

Type de référence utilisateur

Le préfixe d'une référence utilisateur indique l'endroit où sont stockées les données dans l'API. Dans les API série 90-30, les références sont des données de type logique ou registre.

Tableau 3-2 : Taille et portée des références utilisateur

Classe d'implantation	Modèles 311/313		Modèles 331/340/341	
	Portée de la référence	Taille	Portée de la référence	Taille
Mémoire programme utilisateur	Non disponible	6 Koctets	Non disponible	16 Koctets (331) 32 Koctets (340) 80 Koctets (341)
Entrées logiques	%I001 - %I0120*	320 bits	%I001 - %I0512	512 bits
Sorties logiques	%Q001 - %Q0320*	320 bits	%Q001 - %Q0512	512 bits
Variables globales logiques	%G001 - %G1280	1280 bits	%G001 - %G1280	1280 bits
Bobines internes	%M001 - %M1024	1024 bits	%M001 - %M1024	1024 bits
Bobines temporaires	%T001 - %T0256	256 bits	%T001 - %T0256	256 bits
Références des états de système	%S001 - %S0032 %SA001 - %SA032 %SB001 - %SB032 %SC001 - %SC032	32 bits 32 bits 32 bits 32 bits	%S001 - %S0032 %SA001 - %SA032 %SB001 - %SB032 %SC001 - %SC032	32 bits 32 bits 32 bits 32 bits
Références registre système	%R001 - %R0512 (311) %R001 - %R1024 (313)	512 mots 1024 mots	%R001 - %R2048 %R001 - %R9999	2 Kmots (331) 9999 mots (340/341)
Entrées analogiques	%AI001 - %AI0512	64 mots	%AI001 - %AI0128 %AI001 - %AI1024	128 mots (331) 1024 mots (340/341)
Sorties analogiques	%AQ01 - %AQ032	32 mots	%AQ01 - %AQ064 %AQ001 - %AQ256	64 mots (331) 256 mots (340/341)
Registres système**	%SR01 - %SR016	16 mots	%SR01 - %SR016	16 mots

* 160 E/S physiques au maximum avec des modules 16 points installés ; 120 au maximum avec des modules 32 points.

** Pour la visualisation de la table de références uniquement. Ne peut être utilisée dans un programme en logique utilisateur.

Références utilisateurs registres

Les données de type registre sont adressées en tant que mots de 16 bits. Les classes d'implantation suivantes sont des références de type registre :

- **% AI : entrée analogique** : Ce préfixe est suivi par l'adresse réelle de la référence. Par exemple le symbole %AI0016 indique que la référence débute à l'adresse spécifiée et occupe 16 bits consécutifs dans la mémoire %AI ;
- **%AQ : sortie analogique** : Ce préfixe est suivi par l'adresse réelle de la référence, par exemple le symbole %AQ0056 indique que la référence débute à l'adresse spécifiée et occupe 16 bits consécutif dans la mémoire %AQ ;
- **%R** : ce préfixe est utilisé pour affecter des références du registre qui stockeront des données de programmes de type « mot », telles que des résultats de calculs. La mémoire des registres peut contenir jusqu'à 512 mots pour le modèle 311 ou alors 1024 mots pour le modèle 313 ou 2048 mots pour le modèle 331 et enfin 9999 mots pour les modèles 340 et 341.

Référence utilisateur logique

Les références logiques sont adressées en tant que bits de données individuels. Les classes d'implantation suivantes sont des références de type logique :

- **%I : entrée logique** : Ce préfixe est suivi par l'adresse de la référence dans la table de l'état des entrées : à titre indicatif par exemple % I0012. aussi, es références %I sont situées dans la table de l'état des entrées qui contient les états des entrées reçues du matériel lors de la dernière scrutation d'entrées,
- **%Q : sortie logique** : Ce préfixe est suivi par l'adresse de la référence dans la table de l'état des sorties comme par exemple % Q0012. les références % Q sont situées dans la table de l'état des sorties, qui contient les états des dernières sorties effectuées par le programme d'application et les états de ces références sont maintenus même en cas de coupure d'alimentation,
- **%M** : ce préfixe est utilisé pour désigner les bits internes. Elles permettent de conserver des résultats de logique booléenne et de les réutiliser dans le programme. Les références %M sont maintenues même en cas de coupure d'alimentation,
- **%T** : le préfixe %T est utilisé pour désigner des bits internes qui ne sont pas maintenus en cas de coupure d'alimentation. Les bits temporaires fonctionnent comme les références %M décrites ci-dessous. Cependant, ils peuvent servir de contacts conditionnels pour la logique de commande aussi souvent que nécessaire dans le programme utilisateur,
- **%G** : Le préfixe %G utilisé pour représenter les données globales partagées par plusieurs données utilisant les modules de communication Genius (GCM) pour communiquer sur un réseau Genius,
- **%S** : le préfixe %S désigne la mémoire système. Les références %S sont rémanentes. La mémoire %S attribuée aux références des défauts comporte quatre sessions : %S - %SA - %SB et %SC. L'API utilise cette mémoire pour stocker les références de contact ayant une signification particulière, telles que :

Référence	Symbole	Description
%SA0002	ov_swp	dépassement de temps de cycle constant.
%SA0009	cfg_mm	erreur de configuration système.
%SB0011	bad_pwd	échec d'accès par mot de passe

3.3.6 Système d'E/S des API 90-30

Le système d'E/S des API série 90-30 fournit l'interface entre l'API et les équipements d'E/S de l'utilisateur. Le système d'E/S supporte les entrées/sorties des API série 90-30. En plus des modules d'E/S, le système supporte les données globales du réseau Genius et des modules PCM. Les modules de communication (GCM) permettent à un API série 90-30 de communiquer sur un réseau Genius.

Le système d'E/S du type bac des API série 90-30 est désigné sous le nom d'E/S modèle 30. Ses modules s'enfichent directement dans les platines des API. Par ailleurs, les modules d'E/S modèle 30 peuvent être installés dans tous les emplacements disponibles de la platine d'UC (modèles 311- 313- 331- 340 et 341), ou dans tous les emplacements des platines d'extension ou déportées (modèle 311- 340 ou 341 uniquement).

Les API série 90-30 avec UC modèle 311/313/331/340/341 supportent jusqu'à 49 modules d'E/S. Les platines à 5 emplacements des API Série 90-30 modèles 311 et 313 supportent 5 modules d'E/S et les platines à 10 emplacements (modèle 313) 10 modules d'E/S. Il est également possible d'inclure des modules d'E/S d'autres sociétés que GE Fanuc dans un système d'API série 90-30.

Les modules d'E/S sont maintenus dans leurs emplacements par des loquets moulés qui s'emboîtent sur les bords inférieurs et supérieurs de la platine lorsque le module est entièrement inséré dans l'emplacement, ce qui évite qu'il ne se désengage ou se déboîte accidentellement.

Types de modules d'E/S modèle 30

Cinq types de modules d'E/S modèle 30 sont disponibles : entrées logiques, sorties logiques, entrées analogiques, sorties analogiques, et modules **optionnels** utilisés avec tous les modèles d'API:

- certains modules optionnels sont spécifiquement adaptés au modèle 331-340 ou 341 ;
- les modules d'entrée logique possèdent huit ou seize points ;
- les modules de sortie logique possèdent de cinq à seize points, suivant le type ;
- les modules analogiques sont fournis avec diverses configurations d'entrées et de sorties, y compris un module mixte d'entrées/sorties.

Parmi les modules optionnels, on trouve :

- un compteur rapide, un module de communication Genius (GCM) ;
- un module de communication étendue (GCM+) ;
- un module I/O Link Interface;
- des modules de commande d'axe (APM30) (pour un et deux axes) ;
- un module processeur d'E/S et un contrôleur de bus Genius.

Les modules optionnels spécialisés sont :

- les modules coprocesseurs programmables (PCM),
- le module de communication (CMM),
- le module coprocesseur d'affichage alphanumérique (ADC),
- le module State Logic Processor.

L'état de chaque point d'E/S des modules logiques est indiqué par un voyant de signalisation vert monté sur la partie haute du module et visible à travers une lentille en plastique transparent. Il existe au total deux rangées horizontales de huit voyants chacune. Chaque voyant est identifié par une lettre et un chiffre éclairé lorsque le voyant correspondant est allumé. Ces lettres et chiffres identifient clairement chaque voyant, facilitant ainsi la surveillance et le dépannage. Les voyants de la rangée supérieure sont libellés A1 à A8 et ceux de la rangée inférieure B1 à B8.

De plus, un voyant comportant la lettre F sur sa lentille sert d'indicateur de fusible fondu pour les modules de sortie (remarque : bien que présent sur tous les modules d'E/S logiques, le libellé F n'a de sens que pour les modules de sortie).

Chaque module possède une étiquette à glisser entre les surfaces internes et externes de la porte pivotante. La face de l'étiquette dirigée vers l'intérieur du module (lorsque la porte pivotante est fermée) présente des informations sur le schéma de câblage de ce type de module ; la face externe permet de noter des informations d'identification de circuit. La couleur du bord extérieur gauche de l'étiquette répond à un certain codage, ce qui permet de distinguer rapidement les modules haute tension (rouge), basse tension (bleu) et bas niveau (gris).

Les borniers universels

Les modules d'E/S modèle 30 pouvant admettre jusqu'à 16 points, disposent en standard d'un bornier débrochable pour permettre le raccordement au procédé des équipements d'entrées/sorties fournis par l'utilisateur. Cette caractéristique facilite le pré câblage des équipements d'entrées/ sorties et permet le remplacement des modules sans perturber le câblage du procédé existant.

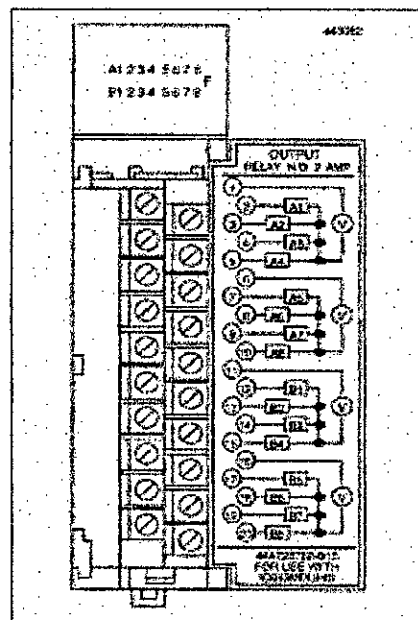


Figure 3-8 : Exemple de module d'E/S modèle 30

3.3.7. Modules optionnels pour les API série 90-30

En plus des modules d'E/S logiques et analogiques, divers modules optionnels sont disponibles pour le système d'API série 90-30. Parmi les modules optionnels utilisables avec les modèles 311- 313- 331- 340 et 341, on trouve :

- un module de communication (GCM) ;
- un module de communication étendue (GCM+) ;
- un contrôleur de bus Genius (GBC) ;
- un compteur rapide (HSC) ;
- deux modules de commande d'axe (APM30) (pour 1 et 2 axes) ;
- un module I/O Link Interface;
- un module processeur d'E/S.

D'autres modules optionnels spécialisés ne sont disponibles que pour le système modèle 331-340 ou 341 :

- les modules coprocesseur programmable (PCM) ;
- le module de communication (CMM) ;
- le module coprocesseur d'affichage alphanumérique (ADC) ;
- le module State Logic Processor (SLP).

Les module de communication Genius (GCM)

Le module de communication Genius (GCM) (IC693CMM301) pour les API série 90-30 permet le partage des données globales sur un réseau Genius entre un API série 90-30 et d'autres API GE Fanuc.

Le réseau Genius est un réseau à jeton, insensible aux bruits et optimisé pour fournir un transfert à haute vitesse et en temps réel de données de contrôle. Il permet de faire communiquer jusqu'à huit API série 90-30 ou autres API GE Fanuc sur un seul bus série à haute vitesse Genius , utilisant un câble blindé à paire torsadée standard.

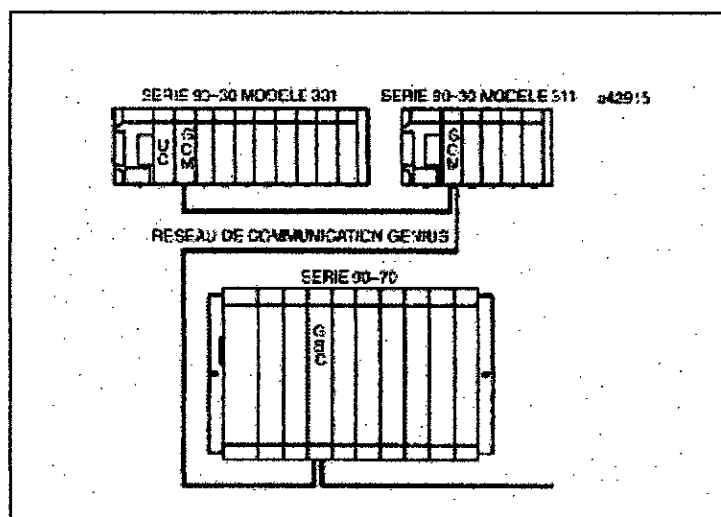


Figure 3-9 : Exemple de réseau de communication Genius

Le module de communication étendue Genius (GCM+)

Le module de communication étendue Genius (GCM+) (IC639CMM302) est un module intelligent qui transmet automatiquement des données globales entre un API série 90-30 et jusqu'à 31 abonnés connectés à un réseau Genius. Le module GCM+ peut être situé dans n'importe quelle platine d'UC ou déportée d'un API série 90-30.

Il est possible d'installer plusieurs modules GCM+ dans un API série 90-30, chaque module GCM+ disposant de son propre bus Genius et pouvant prendre en charge jusqu'à 31 équipements supplémentaires sur le bus. Ceci permet, par exemple, à un API série 90-30 avec trois modules GCM+ d'échanger des données globales de façon automatique avec un nombre total de 93 abonnés Genius.

Le compteur rapide

Le compteur rapide (IC693APU300) des API série 90-30 est un module mono emplacement employé lorsque les applications utilisent des fréquences d'entrée avec des impulsions dépassant la capacité d'entrée de l'API ou nécessitant un pourcentage trop important de la capacité de traitement de l'API. Le compteur rapide fournit un traitement autonome de signaux impulsionnels d'une fréquence maximale de 80 KHz. Il est possible de l'installer dans n'importe quelle platine série 90-30.

Avec le traitement autonome, le module compteur rapide est capable de détecter les entrées, de compter et de répondre par des sorties sans avoir besoin de communiquer avec l'UC. Il peut être configuré pour travailler en compteur et/ou décompteur, compter la différence entre deux valeurs, et enfin fournir 1,2 ou 4 compteurs de complexités diverses.

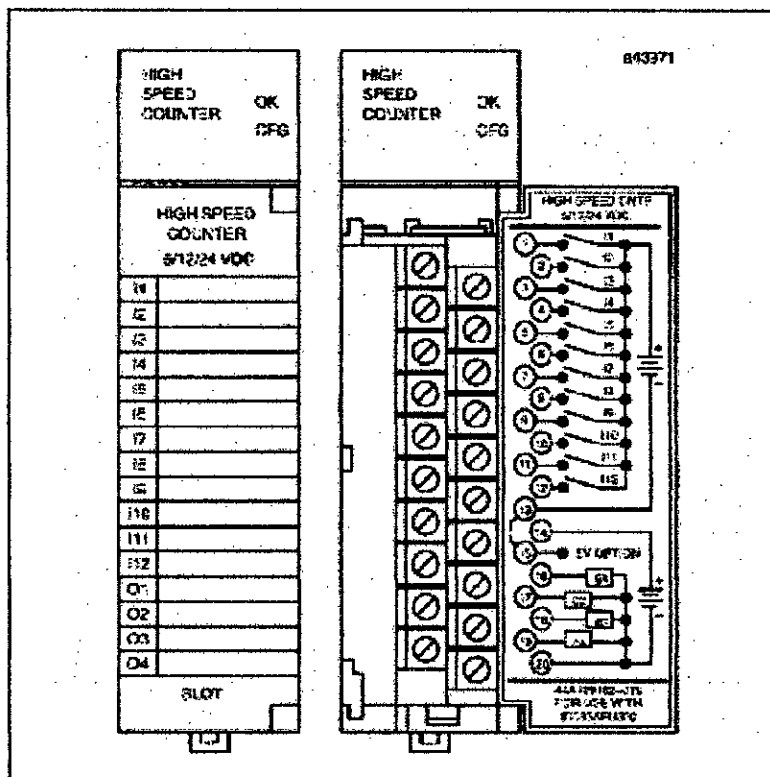


Figure 3-10 : Compteur rapide (HSC)

Le module de commande d'axe (APM30)

Le module de commande d'axe (IC693APU301) est un module optionnel de contrôle de mouvement intelligent et entièrement programmable pour les API série 90-30. Il peut être installé dans n'importe quelle platine série 90-30.

Disponible en deux versions : un axe (IC693APU301) et deux axes (IC693APU302), le module APM30 permet à l'utilisateur d'un API de combiner, à la fois, un contrôle de haute performance et les fonctions logiques de l'API en un seul système intégré.

L'API série 90-30 et l'APM 30 fonctionnent ensemble comme un système de contrôle de mouvement intégré. L'APM 30 contrôle les mouvements de l'axe et gère

toutes les communications directes vers le circuit de commande et la machine tandis que l'API transfère les données de façon automatique entre les tables de l'API et l'APM30. L'API offre également un moyen de connecter des interfaces opérateurs qui peuvent surveiller et contrôler le fonctionnement du système.

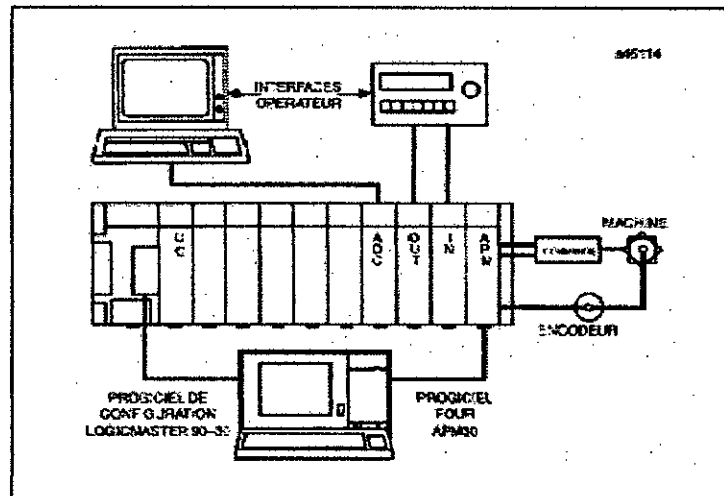


Figure 3-11 : Exemple de servomécanisme APM30

Le module processeur d'E/S

Le module processeur d'E/S (IOP) (IC693APU305) permet un traitement autonome des signaux pulsionnels rapides pour les applications de commande industrielles telles que :

- la conduite de procédé à réponse rapide ;
- La mesure de vitesse ;
- La manutention, l'étiquetage et le conditionnement.

Le traitement autonome signifie la capacité du module à lire les entrées, à traiter les informations des entrées de comptage et enfin à contrôler les sorties sans avoir besoin de communiquer avec l'UC.

Pendant chaque cycle de l'UC, le processeur d'E/S communique avec l'UC via : 32 entrées logiques (%I), 15 mots d'entrées analogiques (%AI), 32 sorties logiques (%Q) et 6 mots de sorties analogiques (%AQ). Le programme de l'UC.

Le module I/O Link Interface

Le module I/O Link Interface (IC693BEM320) assure l'interface entre un API série 90-30 et le module I/O Link d'un CNC (Comuter Numerical Control) GE Fanuc ou un module I/O Link d'API série 90-70.

Ce module est configuré comme équipement esclave uniquement et permet à l'API série 90-30 d'envoyer 32 ou 64 points d'E/S au module I/O LinK. Le module I/O Link Interface peut être installé dans toutes les platines d'API série 90-30.

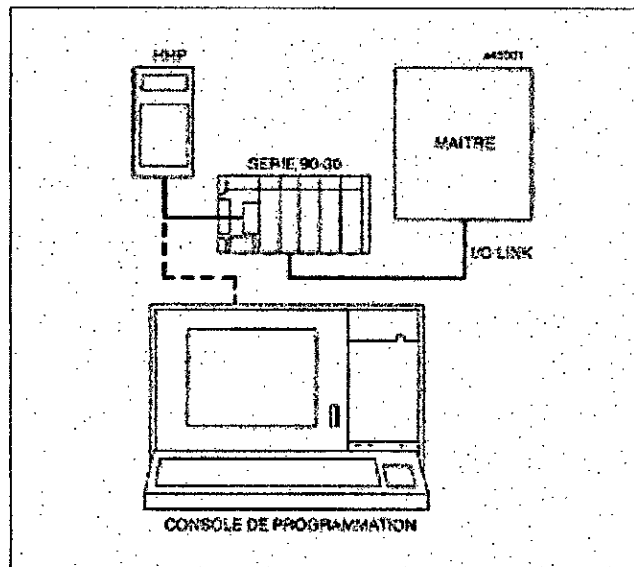


Figure 3-12 : Exemple d'API série 90-30 dans une configuration I/O Link Fanuc

Le contrôleur de bus GENIUS

Le contrôleur de bus Genius série 90-30 (IC693BEM331) assure l'interface entre un bus série d'E/S Genius et l'API série 90-30. Il peut recevoir et transmettre jusqu'à 128 octets de données de contrôle pour les équipements (31 Maximum) présents sur un bus Genius.

Un bus Genius offre une certaine souplesse dans la mesure où il peut être utilisé dans plusieurs configurations :

- Un bus Genius peut assurer le contrôle des E/S tout en disposant des commandes de communication du programme ;
- Un bus peut être utilisé uniquement pour le contrôle des E/S, avec plusieurs équipements et sans aucune communication supplémentaire ;
- Un bus peut être dédié aux communications avec l'UC, avec plusieurs UC et sans aucun équipement d'E/S ;
- De plus, des systèmes plus complexes peuvent être développés, avec des UC doubles et une ou plusieurs UC supplémentaires pour surveiller les données.

Le module coprocesseur programmable

Le module coprocesseur programmable (PCM) est un module optionnel spécialisé qui améliore le fonctionnement global des API série 90-30 (modèle 331-340 ou 341 uniquement) en fournissant à l'UC un coprocesseur de haute performance.

Le principal élément de traitement du PCM est un microprocesseur 80188. Le PCM comporte également de la mémoire sur la carte, une interface vers le bus système, les ports série, et un chien de garde. Le processeur 80188 gère tout le traitement et tout le contrôle des opérations sur la carte. Le logiciel système du PCM relance périodiquement un chien de garde dans le PCM. Dans le cas où le chien de garde arrive à expiration, le PCM interrompt son fonctionnement et le voyant BORD OK de la carte s'éteint.

Le module PCM peut être installé dans n'importe quel emplacement de la platine d'UC, à l'exception de l'emplacement 1, qui doit contenir le module d'UC. Une pile au Lithium de sauvegarde de la mémoire RAM est installée sur un support de montage fixé sur la face interne du plastron du PCM.

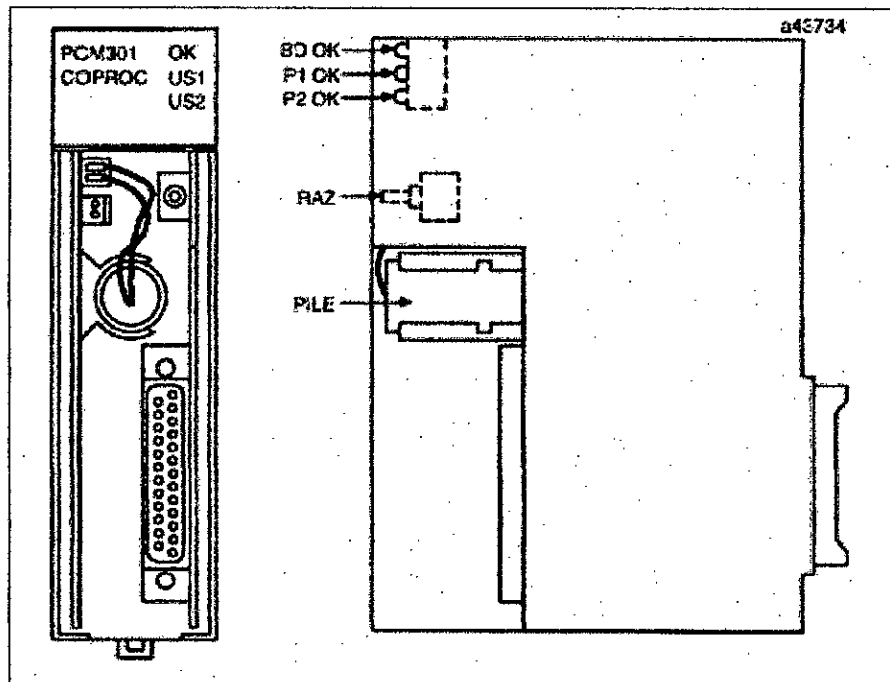


Figure 3-13 : Module coprocesseur programmable (PCM)

Le module de communication (CMM)

Ce module optionnel spécialisé (IC693CMM311) est un module de communication dédié. Il supporte les protocoles de communication CCM GE FANUC, RTU (modbus) et SNP. Ce module (CMM) possède deux ports séries pour la communication et peut être programmé à partir d'un compatible PC ou de la mini console de programmation (HHP). Ce module est utilisé uniquement avec les modèles 331, 340 et 341.

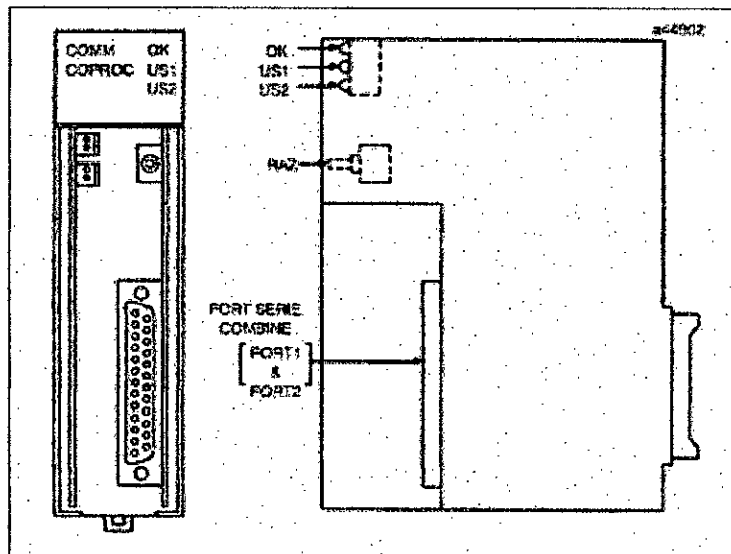


Figure 3-14 : Module de communication (CMM)

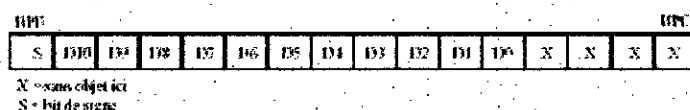
3.4 DESCRIPTION DE L'API UTILISE POUR LA COMMANDE DE LA MACHINE DE LYOPHILISATION

Nous disposons d'un API série 90-30 constituée des éléments suivants :

- Une platine modèle 313 à 10 emplacements (IC693CPU323) (voir page 6) ;
- Une alimentation de 120/240Vca (IC693PWR321) (voir page 9) ;
- Un module d'entrée logique 24VCC -16 points (IC693MDL645) : Le module d'entrée logique positive/ négative 24VCC fournit 16 points d'entrée en un seul groupe avec une borne d'entrée d'alimentation commune. Ce module possède des caractéristiques de logique à la fois positive et négative. Ses caractéristiques d'entrée sont compatibles avec la plupart des capteurs, tels que les boutons-poussoirs, les interrupteurs de fin de course et les détecteurs de proximité électrique. La présence de courant dans un point d'entrée se traduit par un 1 logique dans la table de l'état des entrées (%I) [6],

- **Un module de sortie à relais- 2A- 16 points (IC693MDL940)** : Le module de sortie à relais 2A fournit 16 circuits à relais normalement ouverts pour le contrôle des charges de sortie. La capacité de commutation de sortie de chaque sortie est de 2A. Les points de sortie sont réunis en quatre groupes de quatre points, avec une borne de sortie d'alimentation commune pour chaque groupe. Les sorties a relais peuvent contrôler la plupart des équipements de charge, tels que les démarreurs de moteurs, les charges inductives et les indicateurs. L'alimentation des circuits à relais internes est fournie par le bus +24 VCC du fond de bac. L'alimentation CA ou CC des équipements du procédé doit être fournie par l'utilisateur. Ce module ne comporte pas de fusible. [6],
- **Un module d'Entrée de tension analogique- 4 VOIES (IC693ALG220)** : Le module d'entrée de tension analogique 4 voies, fournit quatre voies d'entrée, chacune étant capable de convertir un signal d'entrée analogique en signal numérique utilisable en fonction des besoins. Le module d'entrée de tension analogique peut convertir des entrées dans la plage de -10 à +10 volts.

La vitesse de conversion de chacune des quatre voies est d'une milliseconde, ce qui fournit une vitesse de mise à jour de quatre millisecondes pour n'importe quelle voie. La résolution du signal converti est de 12 bits binaires. Les données utilisateurs dans les registres %AI sont au format complément à 2 sur 16 bits. Le placement des 12 bits par le convertisseur A/N dans le mot de données %AI est indiqué ci-dessous : [6]



- **Module analogique mixte- 4entrées/ 2sorties (IC693ALG442)** :Le module analogique mixte courant/tension fournit jusqu'à 4 voies de courant ou de tension d'entrée référencées et deux voies de sortie non référencées avec des sorties de boucle de courant ou des sorties de tension. Chaque voie peut être configurée indépendamment des autres pour la plage de courant ou de tension nécessaire à l'application. La configuration du module est entièrement logicielle, excepté la sélection du mode d'entrée du courant qui nécessite le positionnement d'un cavalier. Toutes les plages peuvent être configurées avec la fonction de configuration du logiciel de programmation.

Chaque voie de sortie peut convertir 15 ou 16 bits (suivant la plage sélectionnée) de données binaires (numériques) en sortie analogique utilisable. Les données utilisateurs contenus dans les registres %AI et %AQ sont au format complément à 2 sur 16 bits [6].

3.5 UTILISER UN PC AU LIEU D'UN API ?

❖ Les points faibles du PC

Le PC présente un ensemble de points faible :

- Les technologies du PC évoluent très rapidement elle deviennent obsolète en 18mois alors qu'une installations est en place pour 10 ou 20ans,
- Les systèmes d'exploitation des PC sont non robustes. Ils entraînent souvent un redémarrage du PC à la suite d'une exception,
- Le PC est sujet aux virus qui peuvent rendre les programmes de contrôle inopérants,
- La non- tenue aux contraintes de l'environnement industriel (vibrations, chocs, températures, corrosion, rayonnement, etc.) conduit à un accroissement des prix du PC pour obtenir une meilleur résistance à l'environnement.

❖ Les points forts des API

Par ailleurs, les API présentent un grand nombre de point fort :

- Matériel robuste et fiable même dans des conditions extrême (vibrations, chocs, températures,...) ;
- La large gamme des modules d'E/S permet la communication avec des périphériques industriels variés ;
- Les API peuvent être équipés d'un multi ou biprocesseur et d'un système d'exploitation temps réel (multitâche et traitement sur événement) pour garantir des performances en temps réel ;
- Les API offrent le choix du mode de marche (manuel, semi-automatique, automatique), l'arrêt, remise en cycle ;
- Le programme de contrôle est sauvegardé en permanence dans l'API et la mémoire peut être contrôlée constamment ;

- Une ligne des programmes de contrôle peut être modifiée en cours d'exécution évitant ainsi la perturbation de l'exploitation de l'outil de production ;
- Les modules de l'API peuvent être débrosés / embrosés sous tension ce qui évite la mise hors tension de l'API et par conséquent l'arrêt du système de contrôle ;
- L'API n'est pas sensible aux perturbations et variations de la source électrique ;
- L'état de chacune des entrées/ sorties est lisible instantanément par des LEDS ;
- traitement en temps réel.

On voit ainsi qu'il est très difficile de remplacer l'API par un PC. Néanmoins, l'association API- PC fait que les forces de l'un annulent les faiblesses de l'autre.

L'API assure le contrôle de la partie opérative (ensemble d'outillages et d'actionneurs agissant sur le processus automatisé) [4].

Le PC supporte le dialogue homme/ machine et/ ou le stockage de données et/ ou le traitement d'informations permettant par exemple le suivi de la production et la gestion de la qualité.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons examiné l'étude matérielle des automates programmables et particulièrement les automates programmables GE Fanuc série90-30. Cette étude montre la richesse matérielle des automates programmables, notamment grâce à sa structure modulaire qui permet d'adapter la constitution matérielle au besoin de l'application.

Afin de construire une application autour d'un automate programmable, il est nécessaire d'explorer la capacité du logiciel de programmation de l'automate.

Chapitre

4

**Programmation des automates
GE FANUC série 90-30**

INTRODUCTION

Les automates programmables doivent pouvoir être utilisés facilement par du personnel habitué aux techniques classiques d'automatisation et peu au courant de l'informatique. Ceci a conduit les constructeurs d'automates programmables à concevoir des langages d'application spécialement adaptés à la réalisation d'automatismes. Aux États-Unis, les utilisateurs sont passés directement des automatismes à relais aux automates programmables. Ceci a amené les constructeurs américains à prévoir pour leurs automates un langage à relais qui permet de programmer les applications d'une façon qui se rapproche beaucoup du dessin d'un automatisme à relais. Ce langage fera l'objet du présent chapitre. Il sera traité singulièrement pour les API GE FANUC série 90-30.

4.1 DESCRIPTION D'UN CYCLE API [7]

Le programme utilisateur des API Série 90-30 est exécuté de manière répétitive jusqu'à ce qu'il rencontre une instruction provenant de la console de programmation ou d'un autre équipement. La séquence d'opérations nécessaire pour exécuter une fois un programme est appelée "cycle". En plus de l'exécution du programme utilisateur, le cycle comprend l'acquisition de données des modules d'entrée, la transmission de données aux modules de sortie, l'exécution de tâches internes, les communications avec la console de programmation et d'autres échanges de données.

Les API Série 90-30 fonctionnent normalement en mode **CYCLE DE PROGRAMME NORMAL**. D'autres modes d'exploitation incluent le mode **STOP AVEC E/S INVALIDÉES**, le mode **STOP AVEC E/S VALIDÉES**, et le mode **CYCLE CONSTANT**. Chacun de ces modes est commandé par des événements externes et la configuration de l'application. Au début de chaque cycle, l'API décide de son mode d'exploitation.

4.1.1 Cycle de programme normal

Le mode **CYCLE DE PROGRAMME NORMAL** fonctionne généralement dans toutes les conditions. Le processeur exécute un programme d'application, rafraîchit les E/S et exécute les échanges de données et d'autres tâches. Cela se produit

selon un cycle répétitif appelé "cycle du processeur". La séquence d'exécution du Cycle de programme normal comporte sept parties :

1. La gestion interne de début du cycle ;
2. L'acquisition des entrées (lecture des données) ;
3. La résolution des équations du programme d'application ;
4. La restitution des sorties (rafraîchissement des sorties) ;
5. Communication avec la console de programmation ;
6. Communication avec les modules intelligents et les coprocesseurs ;
7. Les diagnostics.

Toutes ces étapes, à l'exception du service demandé par la console de programmation, s'exécutent à chaque cycle. Le service demandé par la console de programmation se produit uniquement en cas de détection d'un défaut de carte ou si la console de programmation émet une demande de service. La séquence de Cycle de programme normal est présentée dans la figure suivante :

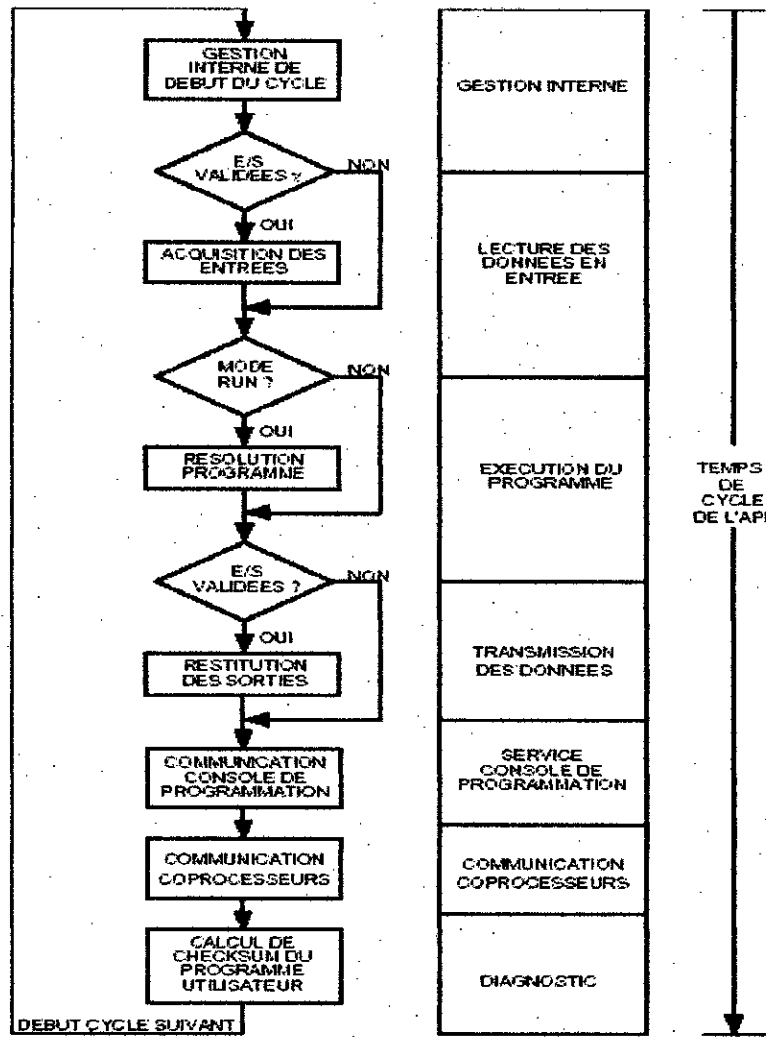


Figure 4-1 : Cycle API

4.1.2 Variantes du cycle de programme

En plus de l'exécution du cycle de programme normal, certaines variantes peuvent être rencontrées ou forcées. Ces variantes, peuvent être affichées et/ ou modifiées depuis le menu d'état et de commande de l'API, dans le logiciel de programmation.

Mode Temps de cycle constant

Dans le cycle de programme normal, chaque cycle est exécuté aussi rapidement que possible avec une durée variant à chaque cycle. Un autre mode est le mode **TEMPS DE CYCLE CONSTANT**, où chaque cycle a la même durée. Utilisez un cycle constant lorsque des points d'E/S ou des valeurs de registre doivent être

interrogées à une fréquence constante, notamment dans des algorithmes de contrôle. Pour cela, définissez le cycle constant configuré, qui sera ensuite utilisé comme mode de cycle par défaut et appliqué chaque fois que l'API passera du mode STOP au mode RUN. Il est possible de choisir une valeur comprise entre 5 et 200 millisecondes pour le temporisateur de cycle constant (par défaut : 100 millisecondes).

En raison des variations de temps pour chaque partie du cycle d'API, le temps de cycle constant doit être réglé à une valeur d'au moins 10 millisecondes supérieure au temps de cycle en mode de **CYCLE STANDARD**, afin d'éviter l'apparition intempestive de défauts pour cause de dépassement de cycle.

L'une des raisons de l'utilisation du mode **Temps de cycle constant** serait, par exemple, de garantir que les E/S soient rafraîchies à intervalles réguliers. Une autre raison serait de garantir qu'un certain temps s'écoule entre la restitution des sorties et l'acquisition des entrées du cycle suivant, pour permettre aux entrées de se stabiliser après avoir reçu les données de sortie du programme.

Si le temporisateur de cycle constant expire avant la fin du cycle, l'ensemble du cycle est exécuté, fenêtres comprises. Toutefois, un défaut de dépassement de cycle est enregistré au début du cycle suivant.

4.2 ORGANISATION DU PROGRAMME ET DONNEES/ REFERENCES UTILISATEUR

[7]

Le programme utilisateur contient les instructions exécutées lors de sa mise en route. Le nombre maximum de segments autorisé par bloc logique (programme ou sous-programme) est de 3000. L'API exécute le programme de façon cyclique.

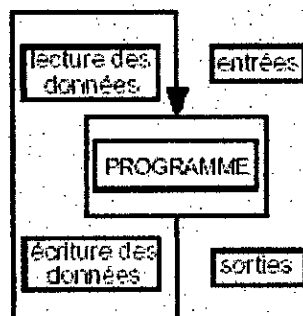


Figure 4-2 : cycle programme

Tous les programmes commencent par une table de déclaration de variables. Cette table liste les symboles et les descriptions des références ayant été attribuées dans le programme utilisateur.

L'éditeur de déclaration de blocs liste les blocs de sous-programme déclarés dans le programme principal.

4.2.1 Blocs de sous-programme

Un programme peut "appeler" les blocs de sous-programme lors de son exécution. Un sous-programme doit au préalable être déclaré dans l'éditeur de déclaration de blocs pour qu'une Instruction CALL puisse être utilisée pour ce sous-programme. Chaque bloc logique du programme peut contenir jusqu'à 64 déclarations de blocs de sous-programme et jusqu'à 64 instructions CALL. La taille maximale d'un bloc de sous-programme est de 16 Ko ou de 3000 segments, mais le programme principal et l'ensemble des sous-programmes ne doivent pas excéder les limites de la taille logique pour le modèle de l'API.

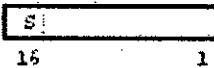

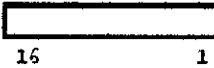
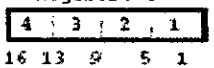
L'utilisation de sous-programmes est optionnelle. La division d'un programme en plusieurs sous-programmes plus petits peut simplifier la programmation et réduire le volume total du programme.

Non seulement les blocs de sous-programme peuvent être appelés par le programme, mais ils peuvent être également appelés par d'autres blocs de sous-programme. Un bloc de sous-programme peut aussi s'appeler lui-même.

L'API n'autorise que huit appels imbriqués avant de consigner un défaut "Application Stack Overflow" et de passer en mode **Arrêt/ Défaut**. L'imbrication des niveaux d'appel compte le programme principal comme niveau 1.

4.2.2 Types de données

Si la référence associée à une bobine de transition positive subit une transition de « 0 » à « 1 ». La bobine passe à « 1 » durant un cycle, puis retombe à « 0 ». Les types de données dans un programme sont les suivants :

Type	Nom	Description	Format des données
INT	Entier signé	Les entiers signés utilisent des emplacements mémoire de 16 bits, et sont représentés en complément à deux. La plage valide des données de type INT est de -32 768 à +32 767.	<p>Registre 1</p>  <p>(emplacement à 16 bits)</p>
DINT	Entier signé en double précision	Les entiers signés en double précision sont stockés dans des emplacements mémoire de 32 bits (en fait, dans 2 emplacements mémoire de 16 bits) et sont représentés en complément à deux. (le bit 32 est le bit de signe). La plage valide des données de type DINT est de -2 147 483 648 à +2 147 483 867.	<p>Registre 2 Registre 1</p>  <p>(Valeur en complément à deux)</p>
BIT	Bit	Les données de type BIT sont les plus petites unités de mémoire. Elles ont deux états : 1 ou 0. Une chaîne de bits peut avoir une longueur N.	
BYTE	Octet	Les données de type OCTET ont une valeur de 8 bits. La plage valide est comprise entre 0 et 255 (0 à FF au format hexadécimal).	
WORD		Les données de type MOT utilisent 16 bits consécutifs d'emplacement mémoire ; mais, au lieu de représenter un nombre, dans l'emplacement mémoire, les bits sont indépendants les uns des autres. Chaque bit représente son propre état binaire (1 ou 0), et les bits ne sont pas considérés ensemble pour représenter un nombre entier. La plage valide des valeurs de mot est de 0 à FFFF.	<p>Registre 1</p>  <p>(emplacement à 16 bits)</p>
BCD-4	Décimal codé binaire à 4 chiffres	Les nombres DCB à 4 chiffres utilisent des emplacements mémoire à 16 bits. Chaque chiffre DCB utilise 4 bits et peut représenter des nombres entre 0 et 9. Ce codage DCB des 16 bits a une plage de valeurs valides de 0 à 9999.	<p>Registre 1</p>  <p>(4 chiffres BCD)</p>

S = bit de signe (0 = positif, 1 = négatif).

Tableau 4-1 : Type de donnée des programme API

4.2.3 Structure des blocs fonctionnels

Chaque segment de logique est constitué d'une ou plusieurs instructions de programmation. Elles peuvent être de type diagramme en échelle ou de fonctions plus complexes.

Format des instructions à diagramme en échelle

Ces instructions assurent un déroulement et un contrôle de base du programme. Cela inclut, par exemple, un contact de relais normalement ouvert et une bobine inversée. Chaque bobine et contact de relais comporte une entrée et une sortie.

Ensemble, ils fournissent un flux validant à travers la bobine ou le contact. Leur association en grand nombre permet de résoudre les équations logiques du programme.

Chaque bobine ou contact de relais doit posséder une référence, entrée lorsque le relais est sélectionné. Pour un contact, la référence correspond à un emplacement dans la mémoire, déterminant un niveau logique 1 ou 0 selon que le flux validant entre ou non dans le contact. Dans l'exemple suivant, si la référence %I0122 est à "1", le flux validant passera par ce contact de relais (sélection du relais).

%I0122
-||-

Pour une bobine, la référence correspond à un emplacement mémoire contrôlé par le flux validant entrant dans la bobine. Dans cet exemple, si le flux validant entre par le côté gauche de la bobine, la référence %Q0004 est mise à "1".

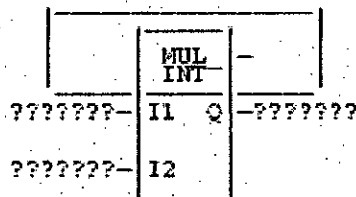
%Q0004
-()-

Format des blocs fonctionnels de programme

Certaines instructions sont très simples. D'autres sont plus complexes. Les informations qui seront utilisées par l'instruction peuvent être entrées à plusieurs endroits.

Le bloc fonctionnel présenté ci-dessous est une multiplication (MUL). Les parties qui le composent sont communes à de nombreuses instructions de programme.

La partie supérieure du bloc fonctionnel indique le nom de l'instruction. Il peut également indiquer un type de données. Dans le cas présent, il s'agit d'un nombre entier signé.

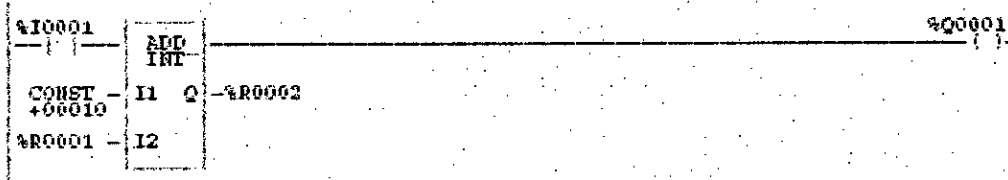


Non du bloc fonctionnel (MUL)
et type de données (INT). INT (entier signé)
représente le type et la taille des données
sur lesquelles portera l'instruction.

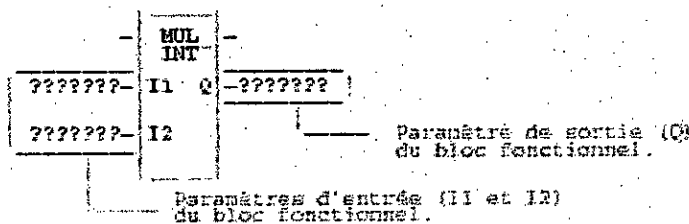
4.2.4 Paramètres des blocs fonctionnels

Chaque ligne entrant par la gauche d'un bloc fonctionnel représente une entrée dans cette instruction. Les deux formes d'entrée d'un bloc fonctionnel sont les constantes et les références. Une constante est une valeur explicite. Une référence est l'adresse d'une valeur.

Dans l'exemple suivant, le paramètre d'entrée I1 est entré dans le bloc fonctionnel ADD comme constante, et le paramètre d'entrée I2 comme référence.



Lorsqu'un point d'interrogation se trouve à gauche d'un bloc fonctionnel, on doit entrer la donnée proprement dite, l'adresse de la référence où se trouve cette donnée, ou encore une variable représentant cette adresse de référence. Lorsque des points d'interrogation se trouvent à droite d'un bloc fonctionnel, on entre généralement l'adresse de référence de la donnée définie par le bloc fonctionnel ou une variable représentant cette adresse de référence.



La plupart des blocs fonctionnels ne modifient pas les données d'entrée, mais placent le résultat de l'opération dans une référence de sortie.

Les instructions de temporisation, de comptage, BITSEQ et ID exigent une adresse pour l'emplacement de trois mots (registres) qui stockent la valeur actuelle, la valeur présélectionnée, et un mot de contrôle de l'instruction.

4.3 JEU D'INSTRUCTION DES API SERIE 90-30 [7]

La programmation consiste à créer un programme d'application pour Automate programmable industriel (API). La configuration consiste à attribuer des adresses logiques,

ainsi que d'autres caractéristiques, aux modules physiques du système. Elle peut être effectuée avant ou après la programmation.

Nous allons décrire les instructions de programmation pouvant être utilisées pour créer les programmes à diagramme en échelle pour les API Série 90-30.

4.3.1 Instructions par diagramme en échelle

Utilisation des Contacts

Un contact est utilisé pour contrôler l'état d'une référence. Le fait que le contact laisse passer le flux validant ou non dépend de l'état de la référence contrôlée et du type de contact. Une référence est activée si son état est à "1", et désactivée s'il est à "0".

- ◆ **Contact normalement ouvert** —| |— : Un contact N.O. se comporte comme un interrupteur laissant passer le flux validant si la référence associée est à "1".
- ◆ **Contact normalement fermé** —|/|— : Un contact N.F. se comporte comme un interrupteur laissant passer le flux validant si la référence associée est à "0".

Utilisation des bobines

Les bobines sont utilisées pour contrôler les références logiques. La logique conditionnelle doit être utilisée pour commander une bobine par contrôle de flux. Les bobines provoquent directement une action.

Le type de bobine utilisé dépend du type d'exécution que l'on attend du programme. L'état des bobines rémanentes est sauvegardé à la réinitialisation de l'alimentation ou lorsque l'API passe du mode STOP ou au mode RUN. L'état des bobines non rémanentes est mis à zéro à la réinitialisation de l'alimentation ou lorsque l'API passe du mode STOP ou mode RUN.

- ◆ **Bobine** —()— : Une bobine met une référence logique à "1" pendant qu'elle reçoit le flux validant. Elle est non rémanente ; par conséquent, elle ne peut pas être utilisée avec les références d'état système (%SA, %SB, %SC ou %G).

- ◆ **Bobine inversée** —(I)— : Une bobine inversée met une référence logique à "1" lorsqu'elle ne reçoit pas de flux validant. Elle n'est pas rémanente ; par conséquent, elle ne peut être utilisée avec les références d'état système (%SA, %SB, %SC ou %G).
- ◆ **Bobine de transition Positive**—(↑)— : Si la référence associée à une bobine de transition positive subit une transition de « 0 » à « 1 ». La bobine passe a « 1 » durant un cycle, puis retombe a « 0 ».
- ◆ **Bobine de transition négative** —(↓)— : Si la référence associée à une bobine de transition positive subit une transition de « 0 » à « 1 ». La bobine passe a « 1 » durant un cycle, puis retombe a « 0 ».
- ◆ **Bobine de mise à "1"** —(S) — : Les bobines de mise à "1" et de remise à "0" sont des bobines non rémanentes pouvant être utilisées pour conserver (verrouiller) l'état d'une référence soit à "1" soit à "0".
Lorsqu'une bobine de mise à "1" reçoit le flux validant, sa référence reste à "1" (Que la bobine elle-même reçoive le flux validant ou non) jusqu'à ce la référence soit remise à "0" par une autre bobine.
- ◆ **Bobine de remise à "0"** —(R)— : La bobine de remise à "0" met une référence logique à "0" si la bobine reçoit le flux validant. La référence reste à "0" jusqu'à ce qu'elle soit mise à "1" par une autre bobine. La dernière bobine de mise à "1" ou de remise à "0" traitée dans une paire a la priorité.

4.3.2 Instructions de temporisation et de comptage

Cette section explique comment utiliser les temporisateurs et chiens de garde, les compteurs et décompteurs. Les données associées à ces instructions sont rémanentes en cas de coupure d'alimentation.

Abréviation	Fonction
ONDIR	Temporisateur suspensif rémanent
TMR	Temporisateur suspensif simple
Q/DT	Temporisateur à l'ouverture
UPCTR	Compteur
DNCTR	Décompteur

Tableau 4-2 : Instruction de temporisation et de comptage

Chaque temporisateur ou compteur utilise 3 mots (registres) de mémoire %R pour stocker les informations suivantes :

Mot 1 : valeur courante (CV).

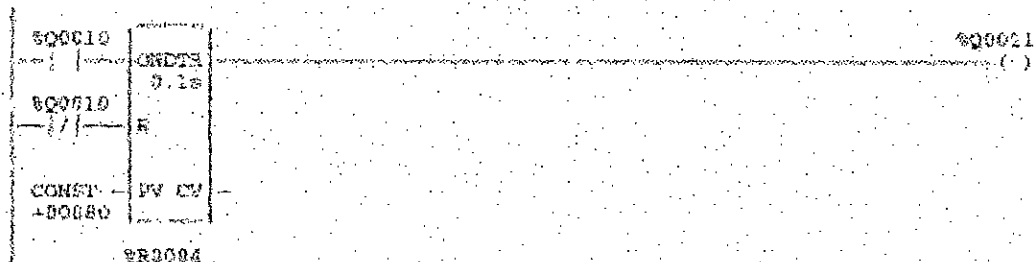
Mot 2 : valeur prêt sélectionnée (PV).

Mot3 : mot de contrôle.

❖ ONDTR :

Un temporisateur rémanent suspensif (ONDTR) s'incrémente pendant qu'il reçoit le flux validant et conserve sa valeur lorsque le flux cesse. Le temps peut être compté en dixièmes ou centièmes de secondes. La plage est comprise entre 0 et +32767 unités de temps. L'état de ce temporisateur est rémanent en cas de coupure d'alimentation ; aucune initialisation automatique ne se produit à la mise sous tension.

Dans l'exemple suivant, un temporisateur suspensif rémanent est utilisé pour créer un signal (%Q0011) s'activant 8 secondes après la mise à "1" de %Q0010, et se désactivant lorsque %Q0010 est mis à "0".

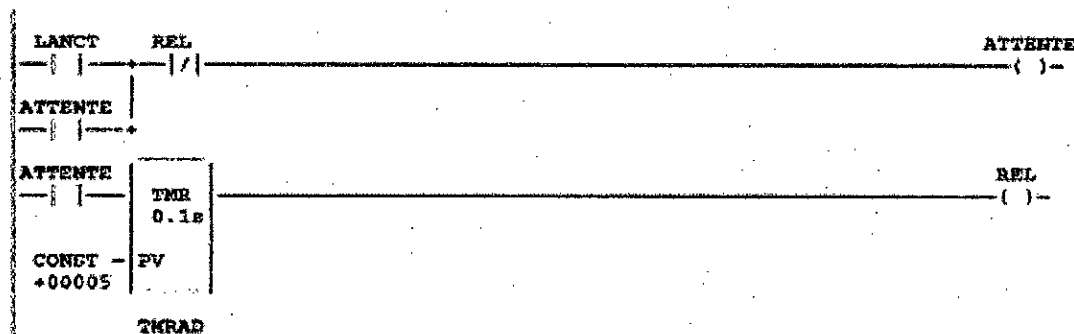
❖ TMR :

L'instruction temporisateur suspensif rémanent simplifié (TMR) s'incrémente pendant qu'il reçoit le flux validant et se réinitialise lorsque le flux cesse. Le temps peut être compté en dixièmes ou centièmes de seconde. La plage est comprise entre 0 et +32767 unités de temps. L'état de ce temporisateur est rémanent en cas de coupure d'alimentation ; aucune initialisation automatique ne se produit à la mise sous tension.

Dans l'exemple suivant, un temporisateur suspensif TMRAD est utilisé pour contrôler le temps pendant lequel cette bobine ATTENTE (maintien) est activée.

Lorsque le contact (momentané) N.O. LANCT est à "1", la bobine ATTENTE est activée. Le contact de la bobine ATTENTE maintient activée la bobine ATTENTE (lorsque le contact LANCT est réouvert), et démarre également le temporisateur TMRAD. Lorsque TMRAD atteint sa valeur présélectionnée d'une demi-seconde, la bobine REL (réouverture) est activée, interrompant la condition de verrouillage à "1" de la bobine ATTENTE. Le contact ATTENTE interrompt le flux validant vers TMRAD,

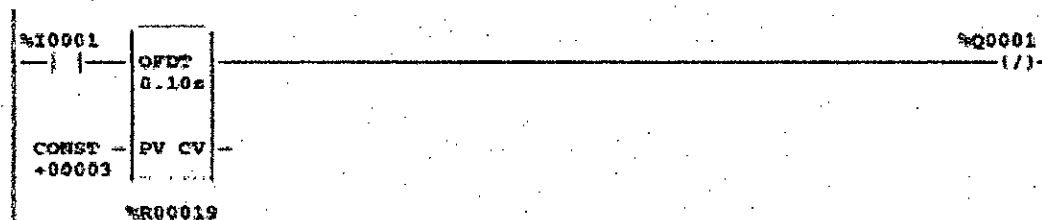
Réinitialisant sa valeur courante et désactivant la bobine REL. Le circuit est ensuite prêt pour une autre activation momentanée du contact LANCT.



❖ EFDT :

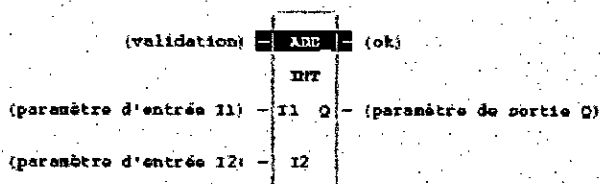
Le temporisateur à l'ouverture (OFDT) augmente lorsque le flux validant est désactivé et est remis à zéro quand il est activé. Le temps peut être compté en dixièmes ou centièmes de seconde. La plage est comprise entre 0 et +32767 unités de temps. L'état de ce temporisateur est rémanent en cas de coupure d'alimentation ; aucune initialisation automatique ne se produit à la mise sous tension.

Dans l'exemple suivant, un temporisateur OFDT est utilisé pour désactiver une sortie (%Q0001) chaque fois qu'une entrée (%I0001) est activée. La sortie est à nouveau activée 0,3 seconde après la désactivation de l'entrée.



❖ URCTR :

Dans l'exemple suivant, chaque entrée de temps %I0012 passe de "0" à "1", le compteur PRT_CNT est incrémenté de 1 ; la bobine interne %M0001 est activée tous



Si l'opération provoque un dépassement, la sortie de référence prend sa valeur la plus élevée possible pour ce type de données.

La sortie ok est activée lorsque l'instruction est exécutée sans dépassement, sauf si une opération invalide se produit.

MOD (INT, DINT)

L'instruction Modulo (MOD) est utilisée pour diviser une valeur par une autre du même type, pour obtenir le reste. Le signe du résultat est toujours celui du paramètre d'entrée I1.

Lorsque l'instruction reçoit le flux validant, elle divise le paramètre d'entrée I1 par le paramètre d'entrée I2. Ces paramètres doivent être du même type de données. La sortie Q est calculée en utilisant la formule :

$$Q = I1 - ((I1 \text{ DIV } I2) * I2)$$

Où DIV donne un nombre entier. Q est du même type de données que les paramètres d'entrée I1 et I2.

OK est toujours à "1" lorsque l'instruction reçoit le flux validant, sauf s'il y a une tentative de division par zéro. Dans ce cas, elle est mise à "0".

SQRT (INT, DINT)

L'instruction SQRT est utilisée pour trouver la racine carrée d'une valeur. Lorsque l'instruction reçoit le flux validant, la sortie Q a pour valeur la partie entière de la racine carrée de l'entrée IN. La sortie Q doit être du même type que IN.

4.3.4 Instruction de comparaisons

Les instructions de comparaison sont utilisées pour comparer deux nombres. Si les paramètres d'entrée I1 et I2 correspondent à la comparaison spécifiée, la sortie Q reçoit le flux validant et est mise à « 1 » ; sinon, elle est mise à « 0 ».

Les instructions de comparaison disponible sur les API série 90-30 sont les suivantes :

Abréviation	Fonction	Description
EQ	Egal à	Teste si deux nombres sont égaux.
NE	Différent de	Teste si deux nombres sont différents.
GT	Supérieur à	Teste si un nombre est supérieur à un autre.
GE	Supérieur ou égal à	Teste si un nombre est supérieur ou égal à un autre.
LT	Inférieur à	Teste si un nombre est inférieur à un autre.
LE	Inférieur ou égal à	Teste si un nombre est inférieur ou égal à un autre.

Tableau 4-3 : Les instructions de comparaisons

4.3.5 Les opérations logiques

Les opérations logiques exécutent des opérations de comparaison logiques et de transfert sur des chaînes binaires. Les opérations AND, OR, XOR et NOT fonctionnent sur un seul mot. Les autres opérations logiques peuvent fonctionner sur plusieurs mots, avec une longueur de chaîne maximale de 256 mots. Toutes les opérations logiques exigent des données de type WORD (mot).

Même si les données doivent être spécifiées en incréments de 16 bits, ces instructions opèrent sur les données comme si elles étaient une chaîne binaire continue, le bit 1 du premier mot étant le bit de poids faible (BPF), et le dernier bit du dernier mot le bit de poids fort (BPF). Par exemple, si vous avez spécifié trois mots de données commençant à la référence %R0100, l'instruction opérerait sur une chaîne de 48 bits contigus.

%R0100	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	← bit 1 (LSB)
%R0101	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	
%R0102	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	
	↑																
	(MSB)																

Les opérations logiques disponibles dans les API séries 90-30 sont résumés dans le tableau suivant :

Abréviation	Fonction	Description
AND	Et logique	Si un bit dans la chaîne binaire I1 et le bit correspondant dans la chaîne binaire I2 sont tous deux à 1, place un 1 dans la position correspondante dans la chaîne de sortie Q.
OR	Ou logique	Si un bit dans la chaîne binaire I1 et le bit correspondant dans la chaîne binaire I2 sont tous deux à 0, place un 0 dans la position correspondante dans la chaîne de sortie Q.
XOR	Ou exclusif logique	Si un bit dans la chaîne binaire I1 et le bit correspondant dans la chaîne I2 sont différents, place un 1 dans la position correspondante dans la chaîne binaire de sortie.
NOT	Inversion logique	Met chaque bit dans la chaîne binaire de sortie Q à l'état opposé du bit correspondant dans la chaîne binaire I1.
SHL	Décalage à gauche	Décale vers la gauche tous les bits d'un mot ou d'une chaîne de mots, d'un nombre spécifié de positions.
SHR	Décalage à droite	Décale vers la droite tous les bits d'un mot ou d'une chaîne de mots, d'un nombre spécifié de positions.
ROL	Rotation à gauche	Permute à gauche tous les bits d'une chaîne, d'un nombre spécifié de positions.
ROR	Rotation à droite	Permute à droite tous les bits d'une chaîne, d'un nombre spécifié de positions.
BTST	Tester un bit	Teste un bit d'une chaîne binaire pour déterminer s'il est actuellement à 1 ou 0.
BSET	Mise à "1"	Met à "1" un bit d'une chaîne binaire.
BCLR	Mise à "0"	Met à "0" un bit d'une chaîne binaire.
BPOS	Position binaire	Recherche, dans une chaîne binaire, un bit mis à "1".

Tableau 4-4 : les opérations logiques

4.3.6 Instruction de transfert de données

Ces instructions offrent des fonctions de base permettant de transférer des données. Ces fonctions sont décrites dans le tableau suivant :

Abréviation	Fonction	Description
MOVE	Transfert	Copie les données sous forme binaire. La longueur max. autorisée est de 256 mots, à l'exception de MOVE_BIT de 256 bits. Les données peuvent être transférées dans un type de données différent sans conversion préalable.
BLKMOV	Transfert de bloc	Copie un bloc de sept constantes dans un emplacement mémoire spécifié. Les constantes sont entrées comme éléments de l'instruction.
BLKCLR	Mise à "0" de bloc	Remplace le contenu d'un bloc de données par des zéros. Cette instruction peut être utilisée pour mettre à "0" une zone de mémoire de bits (%I, %Q, %M, %G ou %T) ou de mots (%R, %A ou %AQ). La longueur max. autorisée est de 256 mots.
SHFR	Registre de décalage	Décale un ou plusieurs mots de données dans un tableau. La longueur max. autorisée est 256 mots.
BITSEQ	Séquenceur binaire	Exécute une séquence de décalage binaire dans un tableau binaire. La longueur max. autorisée est de 256 mots.
COMMREQ	Demande de communication	Permet au programme de communiquer avec un coprocesseur, tel qu'un module de communication Genius ou un module coprocesseur programmable.

Tableau 4-5 : Instructions de transfert de données

4.3.7 Instructions sur tableau

Les instructions sur tableau sont utilisées pour effectuer des opérations sur un ensemble de bits. La longueur maximale autorisée pour ces instructions est de 32 767 octets ou mots, ou bien 262 136 bits (les bits n'étant disponibles qu'avec l'instruction ARRAY_MOVE).

Ces instructions opèrent sur des données de type INT, DINT, BIT (disponible uniquement pour ARRAY_MOVE.), BYTE et WORD.

Abréviation	Fonction	Description
ARRAY_MOVE	Transfert de tableau	Copie un nombre spécifié d'éléments de données d'un tableau source vers un tableau de destination.
SRCH_EQ	Cherche équivalent	Cherche, dans un tableau, toutes les valeurs égales à une valeur spécifiée.
SRCH_NE	Cherche non équivalent	Cherche, dans un tableau, toutes les valeurs différentes d'une valeur spécifiée.
SRCH_GT	Cherche supérieur à	Cherche, dans un tableau, toutes les valeurs supérieures à une valeur spécifiée.
SRCH_GE	Cherche supérieur ou égal à	Cherche, dans un tableau, toutes les valeurs supérieures ou égales à une valeur spécifiée.
SRCH_LT	Cherche inférieur à	Cherche, dans un tableau, toutes les valeurs inférieures à une valeur spécifiée.
SRCH_LE	Cherche inférieur ou égal à	Cherche, dans un tableau, toutes les valeurs inférieures ou égales à une valeur spécifiée.

Tableau 4-6 : Instructions sur tableau

4.3.8 Instruction de conversion

Les instructions de conversion sont utilisées pour convertir un type de nombre en un autre. Plusieurs instructions de programmation, notamment les instructions arithmétiques, doivent utiliser des données du même type. Les instructions de conversion sont les suivantes :

Abréviation	Fonction	Description
BCD4	Conversion en DCB à 4 chiffres	Convertit un nombre entier signé en DCB à 4 chiffres.
INT	Conversion en entier signé	Convertit un nombre DCB à 4 chiffres en nombre entier signé.
DINT	Conversion en entier signé à double précision	Convertit des données REAL en entier signé à double précision.
WORD	Conversion en WORD	Convertit le format REAL au format WORD.
TRUN	Tronquage	Arrondit le nombre réel vers zéro.

Tableau 4-7 : Instructions de conversion

4.3.9 Les instructions de commande

Cette section décrit les instructions de commande pouvant être utilisées pour limiter l'exécution du programme et modifier la façon dont l'UC exécute le programme d'application.

Fonction	Description
CALL	Commande à l'exécution du programme d'aller à un bloc de sous-programme spécifié.
DOIO	Rafraîchissement immédiat d'un champ d'entrée ou de sortie pendant un cycle. Les rafraîchissements partiels des modules d'E/S ne sont pas exécutés. Optionnellement, une copie des E/S scrutées peut être placée dans la mémoire interne plutôt que dans les mémoires des E/S.
END	Offre une fin temporaire de la logique. Le programme est exécuté depuis le premier segment jusqu'au dernier ou jusqu'à l'instruction END, si elle est présente. Cette instruction est utile pour la mise au point, mais n'est pas autorisée dans la programmation SFC.
MCR et MCRN	Programme un relais de contrôle maître. Une instruction MCR force l'exécution de toutes les lignes entre MCR et son instruction ENDMCR (fin de MCR) consécutive, sans flux validant. d'instruction MCR : une forme non imbriquée (MCR) et une forme imbriquée (MCRN).
ENDMCR et ENDMCRN	Indique que la logique suivante doit être exécutée avec le flux validant normal. une forme non imbriquée (ENDMCR) et une forme imbriquée (ENDMCRN).
JUMP et JUMPN	Commande à l'exécution du programme de sauter à une position déterminée (indiquée par une ETIQUETTE (LABEL)). deux formes d'instruction JUMP : une forme non imbriquée (JUMP) et une forme imbriquée (JUMPN).
LABEL et LABELN	Spécifie la position destinataire d'une instruction JUMP. Il y a deux forme d'instruction LABEL : une forme non imbriquée (LABEL) et une forme imbriquée (LABELN).
COMMENT	Place un commentaire dans le programme. Une fois l'instruction programmée, le type peut être tapé en effectuant un "zoom" dans l'instruction.
SVCREQ	Demande l'un des services spéciaux d'API suivants : <ul style="list-style-type: none"> • Modifier/Lire l'état de la tâche et le nombre de mots que doit vérifier le total de contrôle. • Modifier/Lire l'horloge interne. • Mettre l'API hors fonction. • Vider les Tables des défauts. • Lire la dernière entrée de Table des défauts enregistrée. • Lire le compteur de temps de fonctionnement. • Lire l'état de forçage des E/S. • Lire Checksum maître • Interroger les E/S • Lire le compteur de mise hors tension

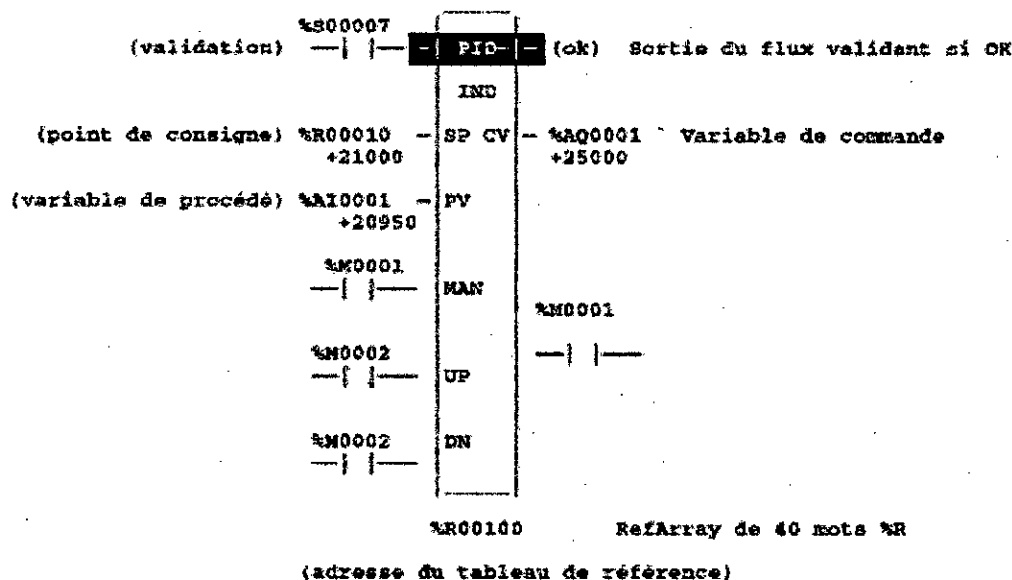
Tableau 4-8 : Les instructions de commande

4.4 LE REGULATEUR PID

L'instruction de commande PID (Proportional plus Integral plus Derivative, proportionnel + intégral + dérivé) est l'algorithme général le plus fréquemment utilisé pour les commandes en boucle fermée. Le bloc fonctionnel PID Série 90 compare un retour de variable de procédé avec le bit de consigne du procédé désiré et met à jour une sortie de variable de commande sur la base de l'erreur.

Le bloc utilise des gains en boucle PID ainsi que d'autres paramètres stockés dans un tableau de 40 mots de 16 bits pour résoudre l'algorithme PID dans l'intervalle de temps

Souhaité. Tous les paramètres sont des mots d'entier de 16 bits afin d'assurer la compatibilité avec les variables de procédé analogiques de 16 bits. Cela permet de stocker les variables de procédé d'entrée dans l'emplacement mémoire %AI et les variables de commande de sortie dans l'emplacement %AQ. L'exemple ci-dessous inclut des entrées typiques.



Paramètres du PID

Paramètre	Description
validation	L'instruction PID est exécutée lorsqu'elle est validée par l'intermédiaire d'un contact.
SP	SP est le point de consigne du procédé ou de la boucle de commande. Il est défini à l'aide des compteurs PV tandis que PID ajuste la sortie CV afin que PV concorde avec SP (erreur zéro).
PV	Variable de procédé entrée à partir du procédé qui est commandé, souvent une entrée %AI.
MAN	Lorsqu'il est mis à "1" (via un contact), le bloc PID est en mode MANUAL . Si le bloc PID est mis manuellement à "0", il est en mode automatique.
UP	Lorsqu'il est activé avec MAN, il augmente CV à raison d'un CV par solution.*
DN	Lorsqu'il est activé avec MAN, il diminue CV à raison d'un CV par solution.*
RefArray Address	Adresse est l'emplacement des informations du bloc de commande PID (paramètres internes et paramètres utilisateur). Il utilise 40 mots %R qui ne peuvent pas être partagés.
ok	La sortie ok est activée quand l'instruction est exécutée sans erreur. En présence d'une ou plusieurs erreurs, elle est mise à "0".
CV	CV est la sortie de la variable de commande vers le procédé, souvent une sortie analogique %AQ.

*Incrémenté (paramètre UP) ou décrémenté (paramètre DN) d'une unité (1) par accès de l'instruction PID.

Tableau 4-9 : les paramètres du PID

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons abordé la programmation des automates GE FANUC série 90-30. De cette étude, on constate qu'effectivement la programmation des automates en langage à relais est très aisée, grâce à des instructions et des fonctions variées et simples à utiliser.

Après avoir étudié l'architecture et la programmation des automates programmables GE FANUC série 90-30, nous pouvons à présent implémenter la commande de la machine de lyophilisation.

Chapitre

5

**Implémentation de la commande sur
automate programmable et logiciel de
supervision**

INTRODUCTION

Après l'approche théorique du procédé de lyophilisation et du fonctionnement de l'automate, nous nous proposons d'aborder dans ce chapitre l'implémentation de la commande et la simulation de la machine de lyophilisation sur l'automate programmable ainsi que l'élaboration d'une interface en machine.

Il faut préciser que le programme implémenté sur l'API a été élaboré sur le logiciel Versa Pro et l'interface homme machine sur le logiciel InTOUCH.

5.1 IMPLEMENTATION SUR L'API

Le contrôle de la machine de lyophilisation par l'automate programmable, consiste à envoyer des commandes aux différents organes qui la composent. Ces commandes peuvent être des ordres d'ouverture ou de fermeture des vannes. Elles peuvent être également des commandes de démarrage ou d'arrêt des compresseurs, des pompes ou des résistances chauffantes.

L'ensemble des organes de la machine à commander et leur état durant les différentes étapes de son fonctionnement sont représentés dans le tableau suivant :

ORGANES DE LA MACHINE	ETAPE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pompe De Circulation	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de Circulation à l'entrée de la Chambre	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de Circulation à la sortie de la Chambre	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Compresseur du refroidissement de la Chambre	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Compresseur du refroidissement du piège a vapeur	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Vanne d'entrée du condenseur réfrigération de la chambre	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Vanne d'entrée du condenseur réfrigération du piège	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de sortie du condenseur réfrigération de la chambre	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de sortie du condenseur réfrigération du piège	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de liquide principale réfrigération de la chambre	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de liquide principale réfrigération du piège	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Vanne de sous refroidissement de la chambre	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
Vanne de sous refroidissement du piège à vapeur	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Pompe à vide	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
Vanne de vide principal	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Vanne de vide du piège	0	0	0	0	0	0	0	0	0/1	1	1	0
Vanne contourne chauffage	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Vanne chauffage en ligne	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Résistances Chauffantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Vanne rupture de vide du piège	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Vanne rupture du vide de la chambre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tableau 5-1 : état des organes de la machine

La machine de lyophilisation peut fonctionner en trois modes : manuel, pas à pas ou automatique.

5.1.1 Traitement du mode automatique

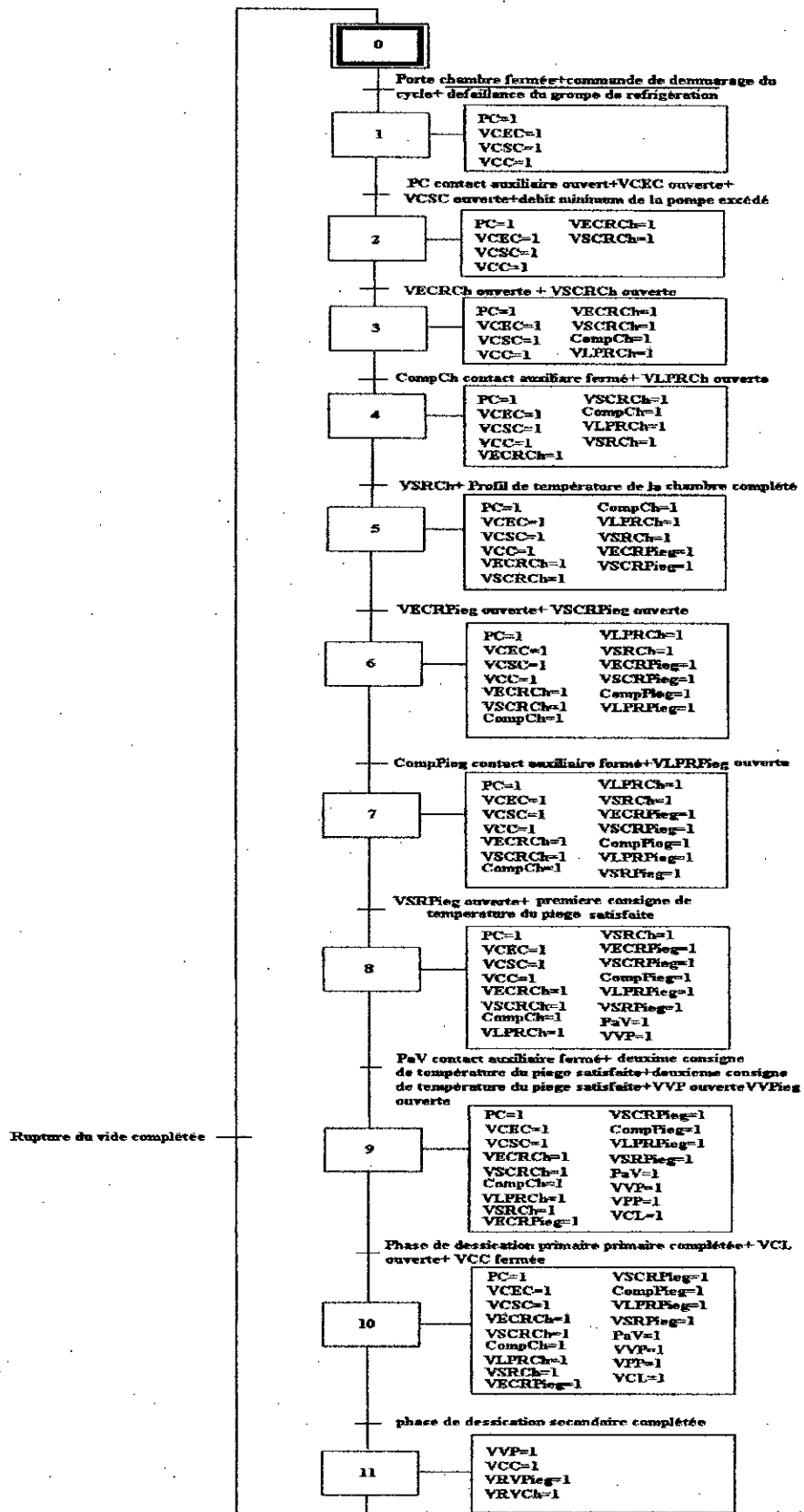
En mode automatique, c'est un séquenceur qui gère et envoie les instructions. Le tableau suivant représente les éléments de la machine à commander ainsi que leurs abréviations :

COMPOSANT	ABREVIATION
Pompe de circulation	PC
Vanne de circulation de l'entrée de la chambre	VCEC
Vanne de circulation de la sortie de la chambre	VCSC
Compresseur de la chambre	CompCh
Compresseur du piège à vapeur	CompPieg
Vanne d'entrée du condenseur de la réfrigération de la chambre	VECRCh
Vanne d'entrée du condenseur de la réfrigération du piège à vapeur	VECRPieg
Vanne de sortie du condenseur de la réfrigération de la chambre	VSCRCh
Vanne de sortie du condenseur de la réfrigération du piège à vapeur	VSCRPieg
Vanne de liquide principal de la réfrigération de la chambre	VLPRCh
Vanne de liquide principal de la réfrigération du piège	VLPRPieg
Vanne de sous refroidissement de la chambre	VSRCh
Vanne de sous refroidissement du piège à vapeur	VSRPieg
Pompe à vide	PaV
Vanne de vide principal	VVP
Vanne de vide du piège	VVPieg
Vanne contourne chauffage	VCC

Vanne chauffage en ligne	VCL
Vanne rupture de vide du piège	VRVPieg
Vanne rupture du vide de la chambre	VRVCh

Tableau 5-2 : abréviation des noms des organes de la machine

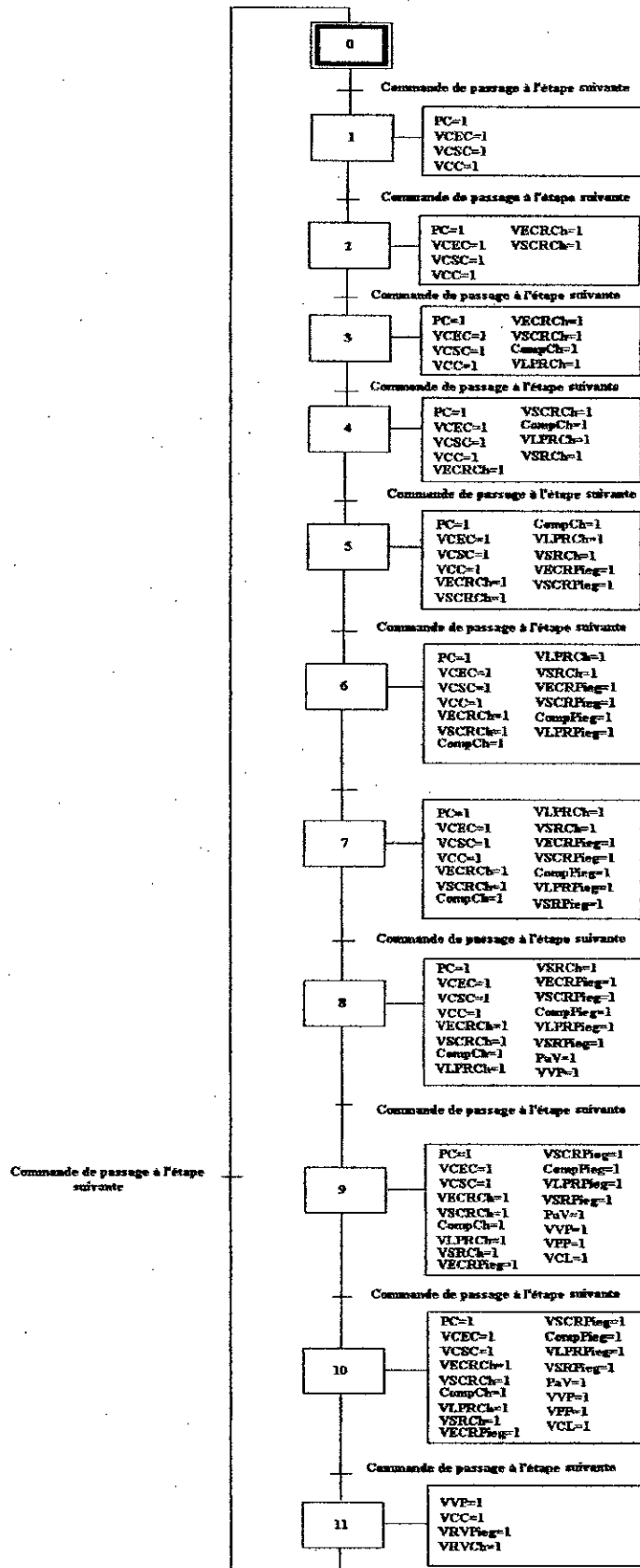
Le GRAFCET suivant représente le fonctionnement du séquenceur en mode automatique :



5.1.2 Traitement du mode pas à pas

En mode pas à pas, les commandes sont envoyées par l'automate programmable. Par contre, le passage d'une étape à une autre du séquenceur est prit en charge par un opérateur. Ainsi, l'automate exécute les opérations relatives à l'étape dans la quelle il se trouve, puis il attend le signal d'un opérateur pour passer à l'étape suivante.

Le Grafcet suivant représente le fonctionnement du séquenceur en mode pas à pas :



5.1.3 Traitement du mode manuel

En mode manuel le séquenceur est désactivé, toutes les commandes de la machine de lyophilisation sont prises en charge par l'opérateur et envoyées à la machine par l'automate programmable.

Ce mode de fonctionnement a été traité mais n'a pas pu être implémenter sur l'automate programmable, faute d'espace mémoire disponible dans ce dernier.

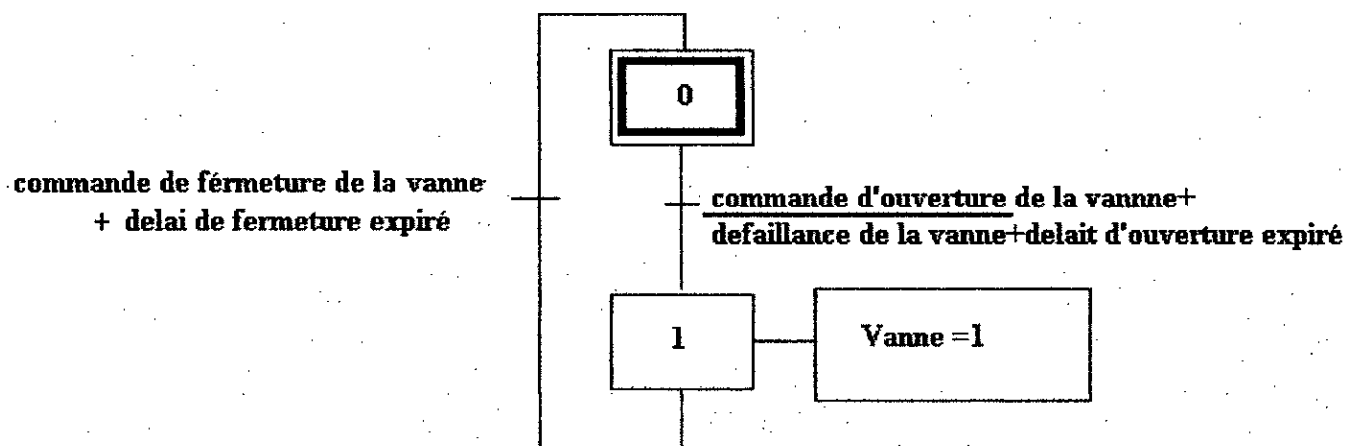
5.1.4 Simulation du fonctionnement des éléments de la machine

Afin de pouvoir tester la commande de la machine, il était nécessaire de simuler le fonctionnement de cette dernière.

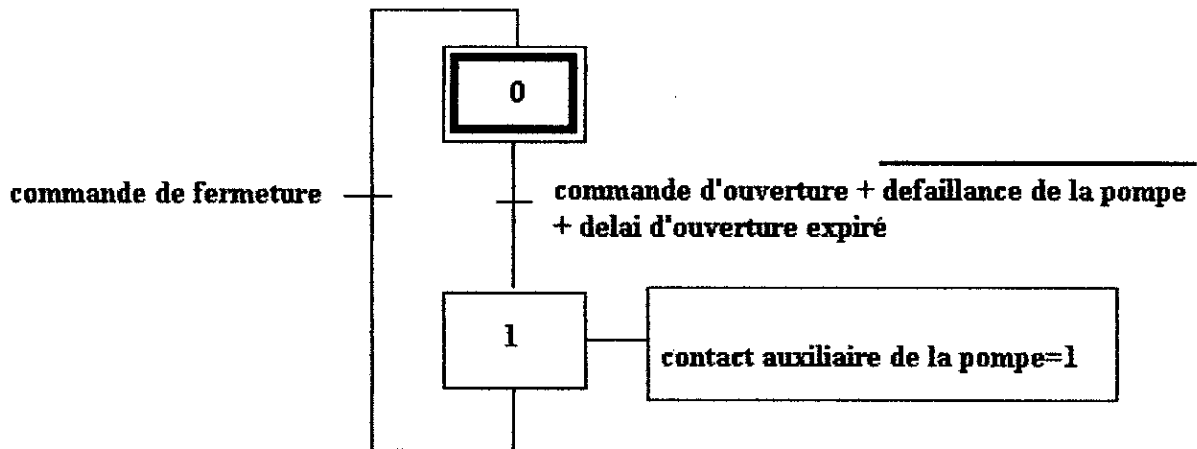
Quand on envoi une commande à la machine, on s'attend à recevoir un signal pour indiquer que la commande à été exécuté. Par exemple, si on envoi une commande de démarrage à une pompe, lorsque la pompe démarre un contact auxiliaire se ferme nous indiquant le démarrage de la pompe.

La simulation du fonctionnement de la machine consiste à générer la réponse des éléments de la machine aux commandes envoyées.

- Le Grafcet suivant explique la simulation d'ouverture et de fermeture des vannes :



- Le Grefcet suivent indique la simulation de démarrage et d'arrêt des pompes, des compresseurs ou des résistances chauffantes.



5.1.5 Simulation des défaillances de la machine

Un certain nombre de défaillance ont été prise en compte au cour du fonctionnement de la machine.

Dans Le tableau suivant nous présentons ces défaillances :

DEFAILLANCE	LIMITE*
Pression d'aspiration des compresseurs (chambre / piège) trop basse.	31446 Pa
Pression de décharge des compresseurs (chambre / piège) trop haute.	1000000 Pa
Température de décharge des compresseurs (chambre / piège) trop élevée.	90 °C
Pression d'huile des compresseurs trop Basse.	305 Pa

Tableau 5-3 : les limites des défaillances de la machine

*la limite indique le seuil au-dessus (ou au-dessous, cela dépend du type de défaillance) du quel il y a une défaillance.

Afin de pouvoir simuler ce type de défaillance, nous fixons les limites dans l'API et nous faisons varier la valeur de la pression (ou de la température) dans la IHM. On simule ainsi la lecture d'une pression ou une température par un capteur.

En plus des défaillances précédentes, il y a :

- défaillance de vanne : elle se produit lorsqu'on envoie une commande d'ouverture à une vanne mais qu'elle ne se ferme pas ;
- défaillance du débit de la pompe : elle se produit lorsque le débit de la pompe descend au-dessous d'un certain seuil.

5.1.6 La régulation de température

Le contrôle de la température du produit et du piège à vapeur est très important au cours du cycle de lyophilisation. Pour cela des régulateurs PID ont été élaborés pour la maîtrise de la température du produit. Ces PID sont au nombre de trois :

- un régulateur de la température du produit au cours de la congélation. Il est activé lorsque le compresseur du groupe de refroidissement de la chambre est mis en marche.
- un régulateur de la température du produit au cours de la dessiccation. Il est activé lors de la mise en marche des résistances chauffantes.
- un régulateur de la température du piège à vapeur. Il est activé lorsque le compresseur de groupe de refroidissement de la chambre est mis en marche.

5.1.6.1 détermination des paramètres des régulateurs

Les boîtes de dialogue suivantes indiquent les paramètres des régulateurs cités précédemment :

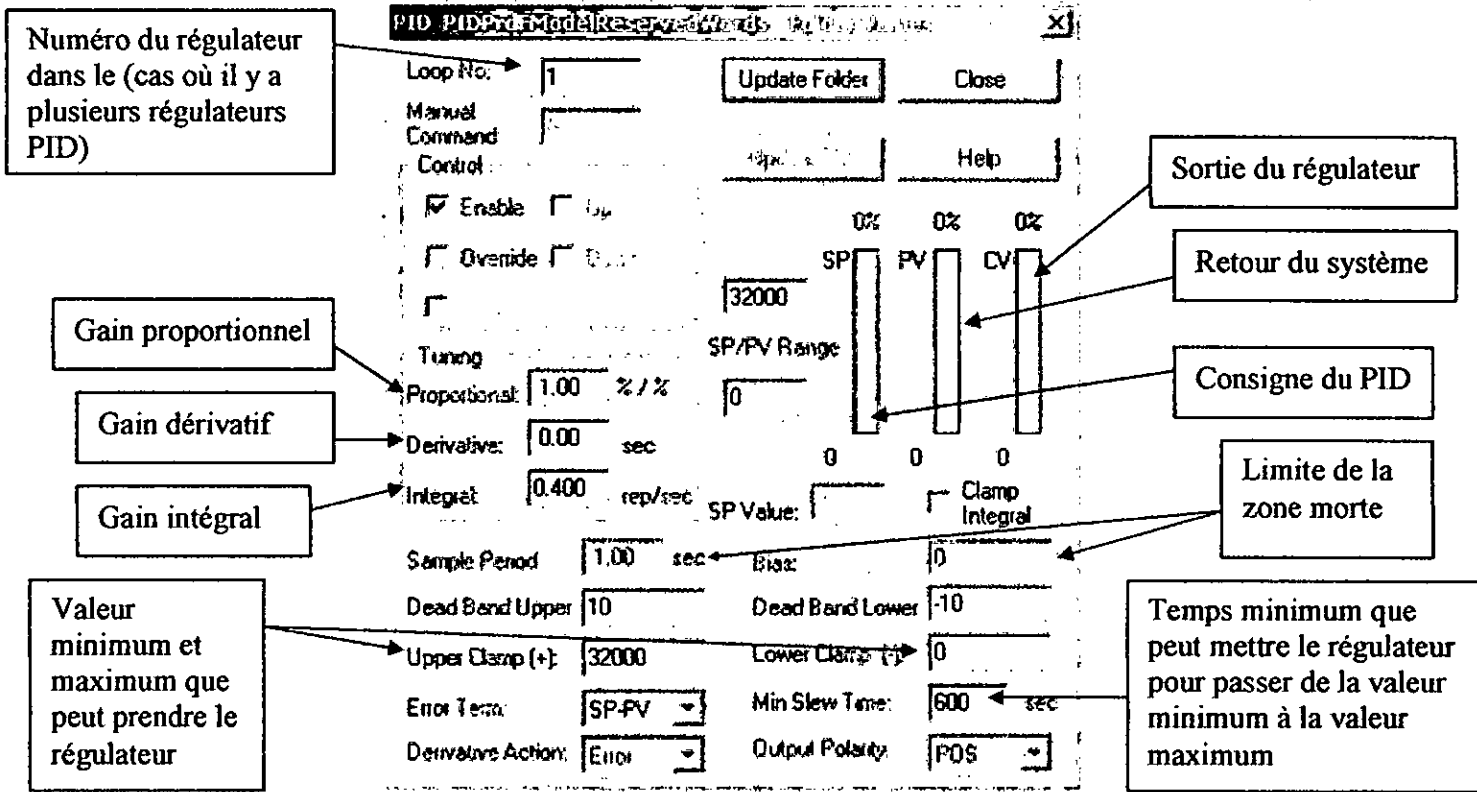


Figure 5-1 : Paramètres du PID

Étant donné que nous ne disposons pas d'une machine de lyophilisation les mêmes paramètres du PID ont été utilisés pour les trois régulateurs. Chaque valeur du « Loop No » correspond à un PID.

5.2 INTERFACE HOMME-MACHINE (IHM)

L'interface homme machine permet de contrôler à tout moment le fonctionnement de contrôler le fonctionnement du système

La IHM nous permet de :

- démarrer le cycle de lyophilisation ;
- sélectionner le mode de fonctionnement de la machine ;
- visualiser l'état de la machine au cours du cycle ;
- visualiser et envoyer des consignes des PID ;
- générer les défaillances.

Nous présentons dans ce qui suit les différents écrans relatifs à l'interface homme-machine.

Bienvenu au programme de simulation du lyophilisateur



Figure 5-2 : Ecran d'ouverture

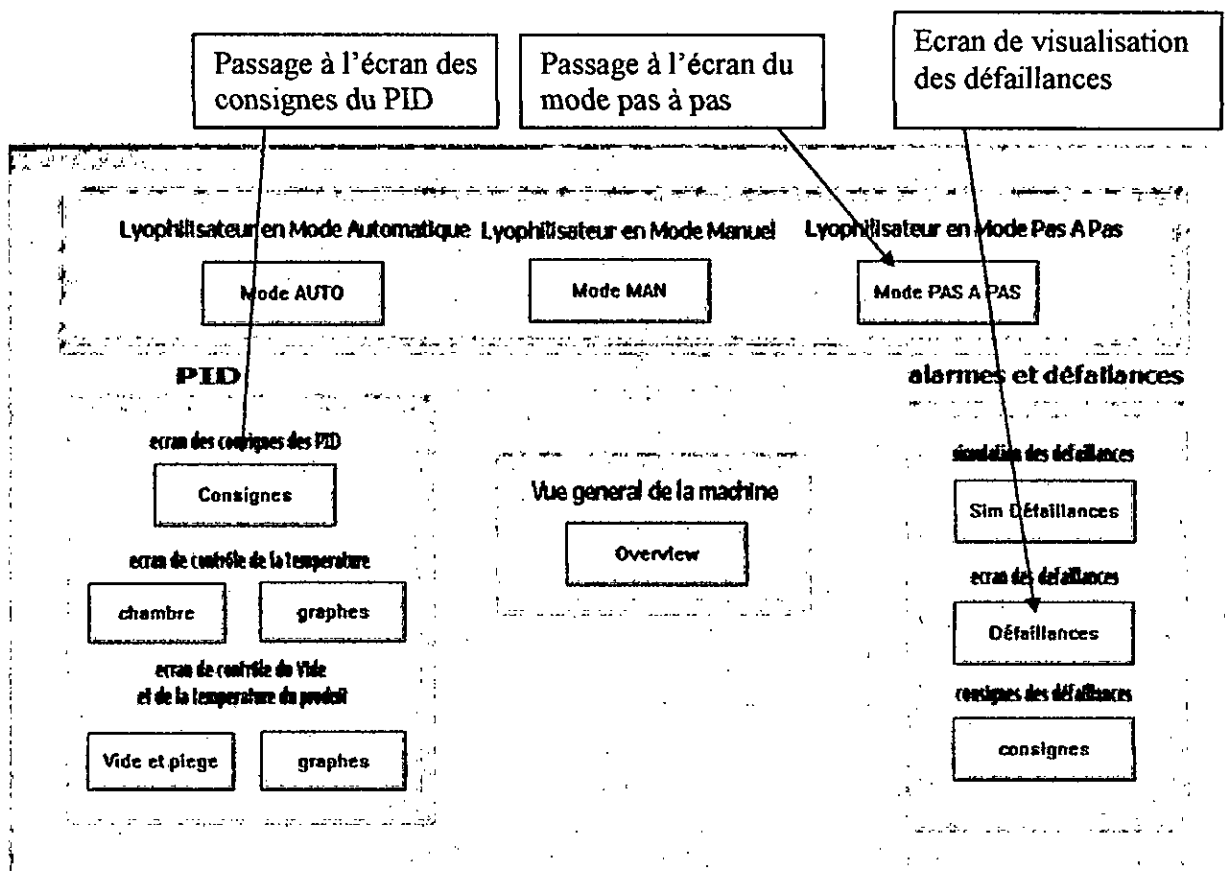


Figure 5-3 : Ecran de navigation

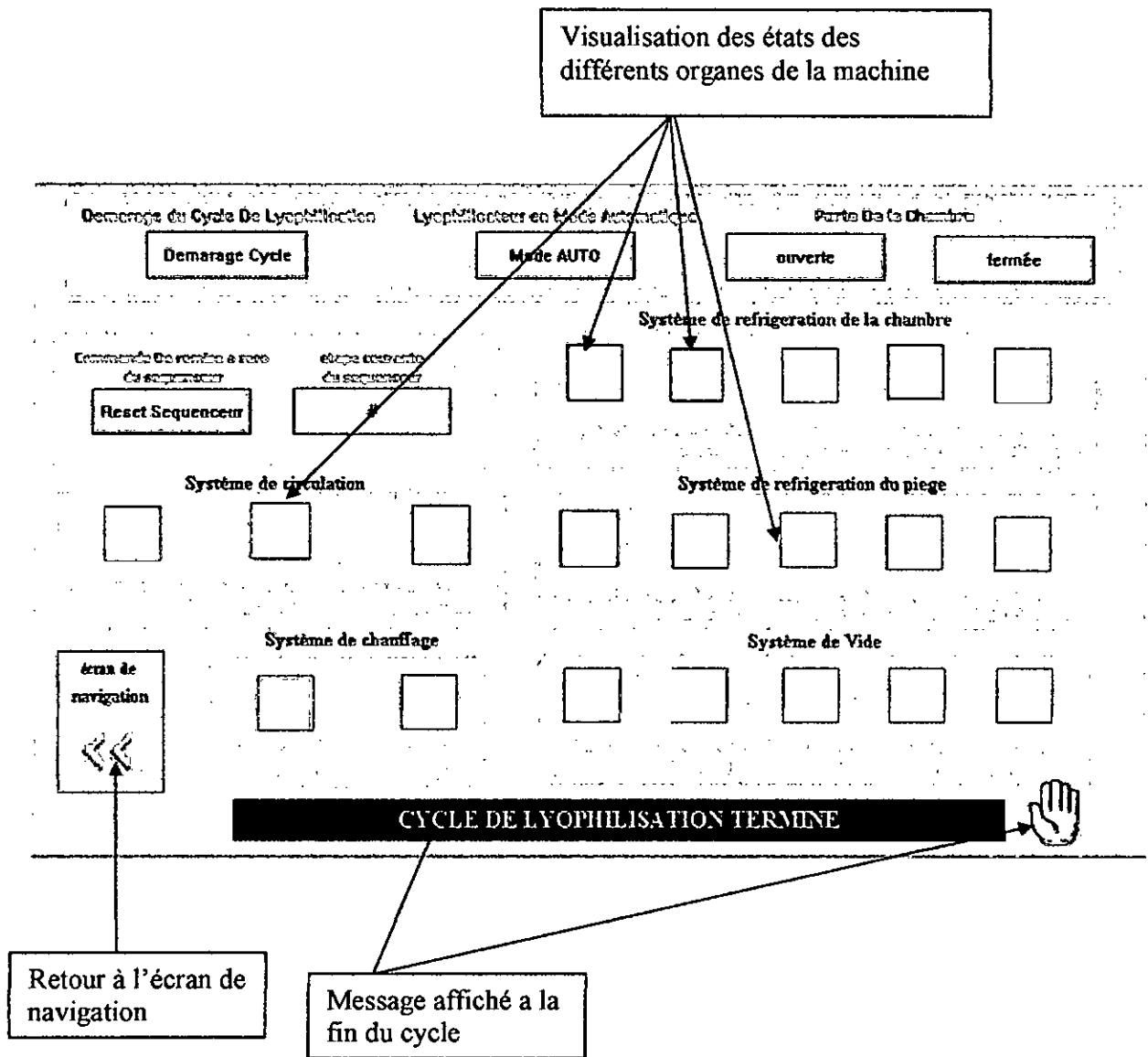


Figure 5-4 : Ecran du mode automatique

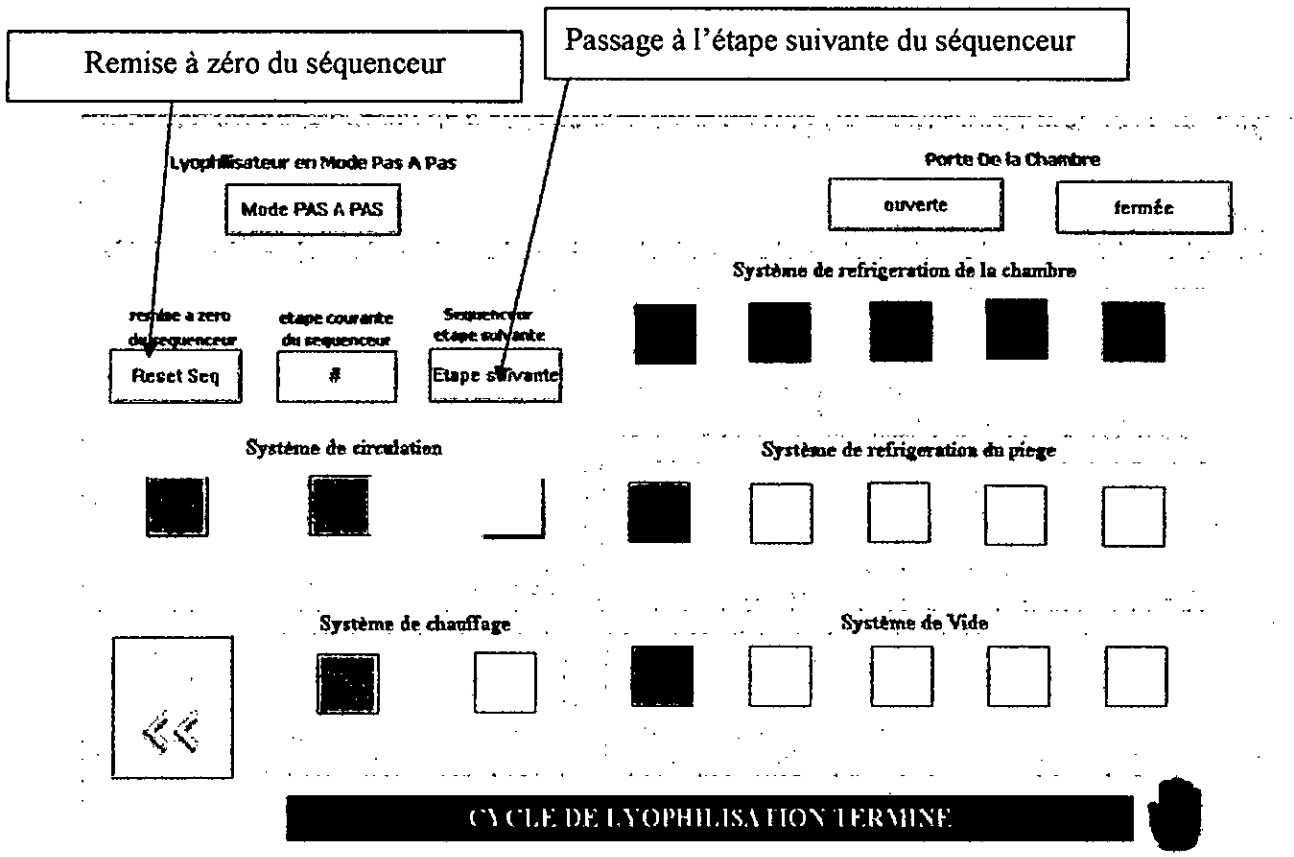


Figure 5-5 : Ecran du mode pas à pas

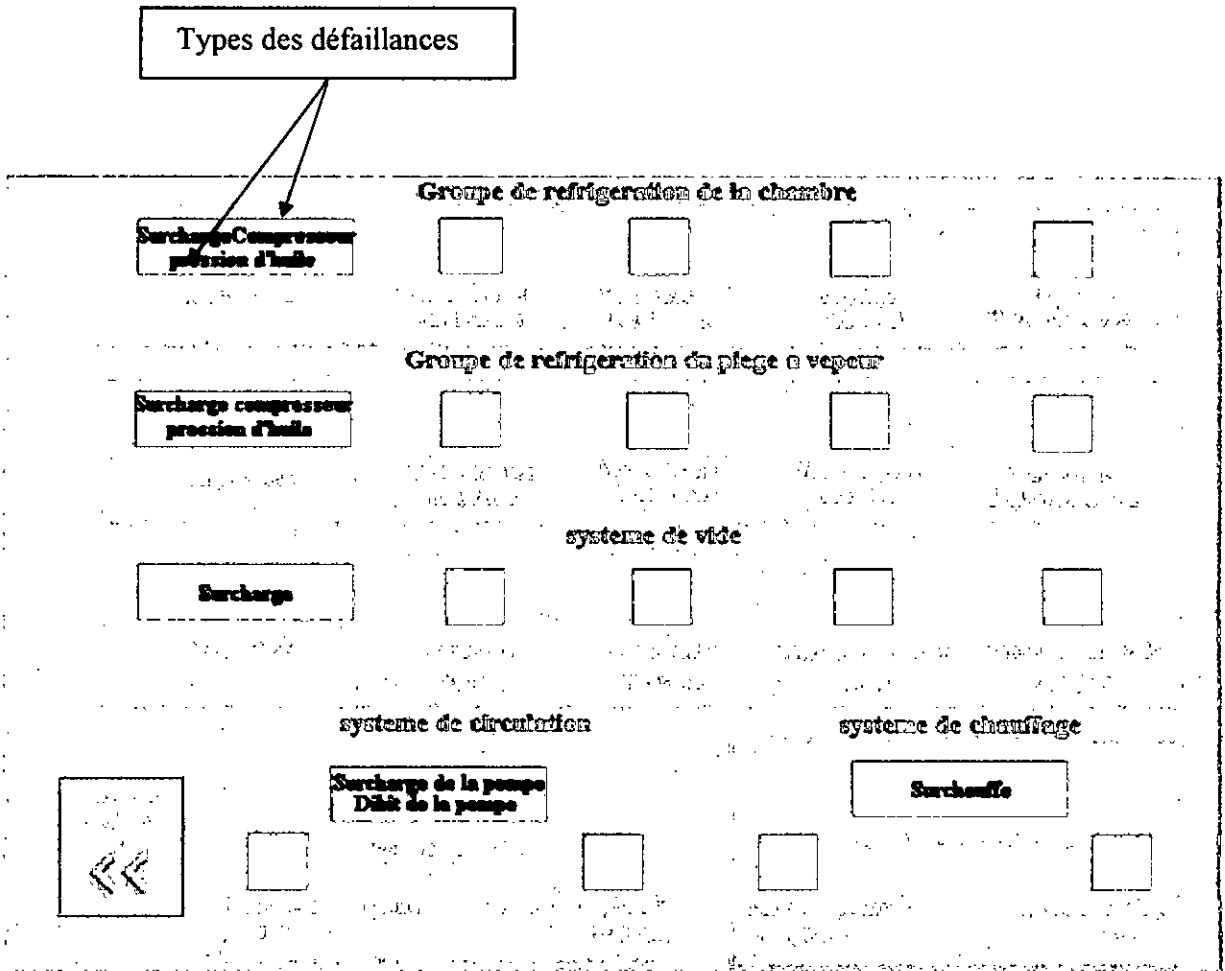


Figure 5-6 : Ecran de visualisation des défaillances

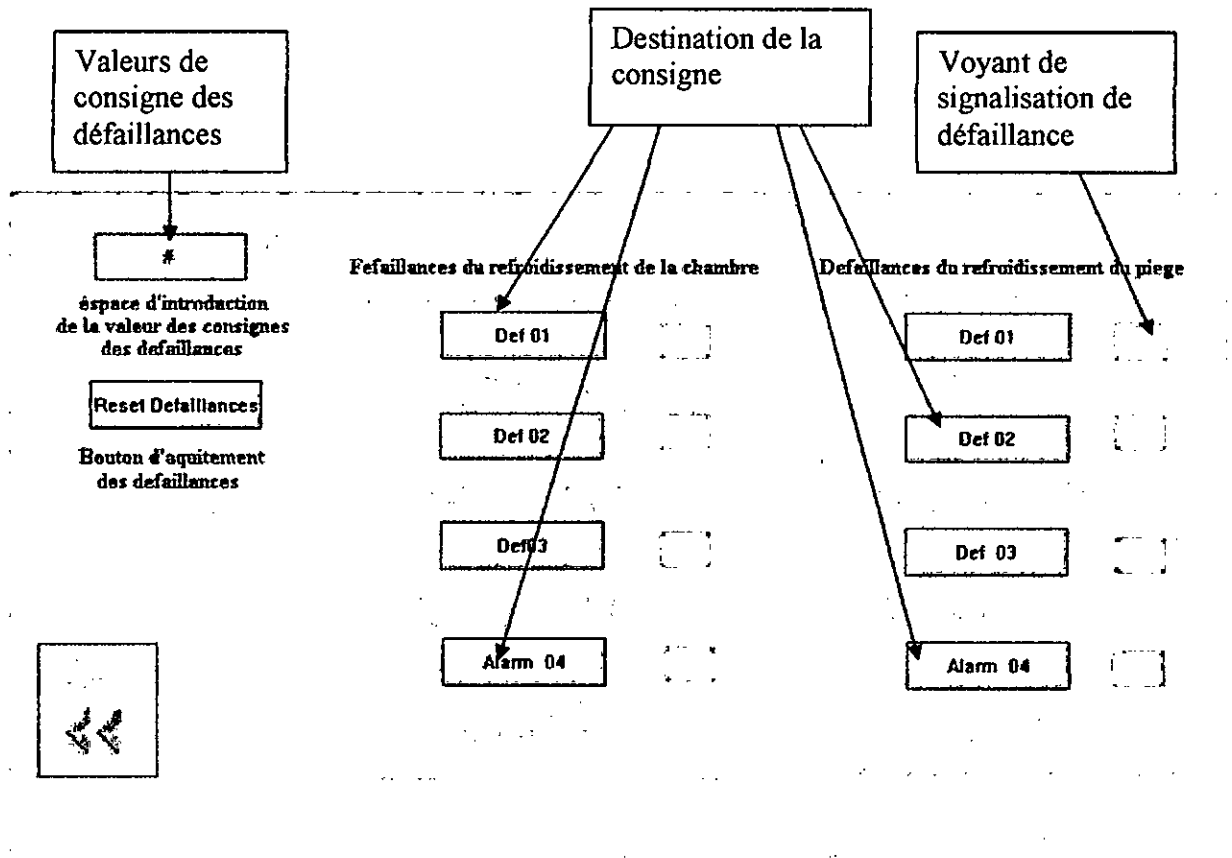


Figure 5-7 :Ecran de simulation des défaillances des compresseurs

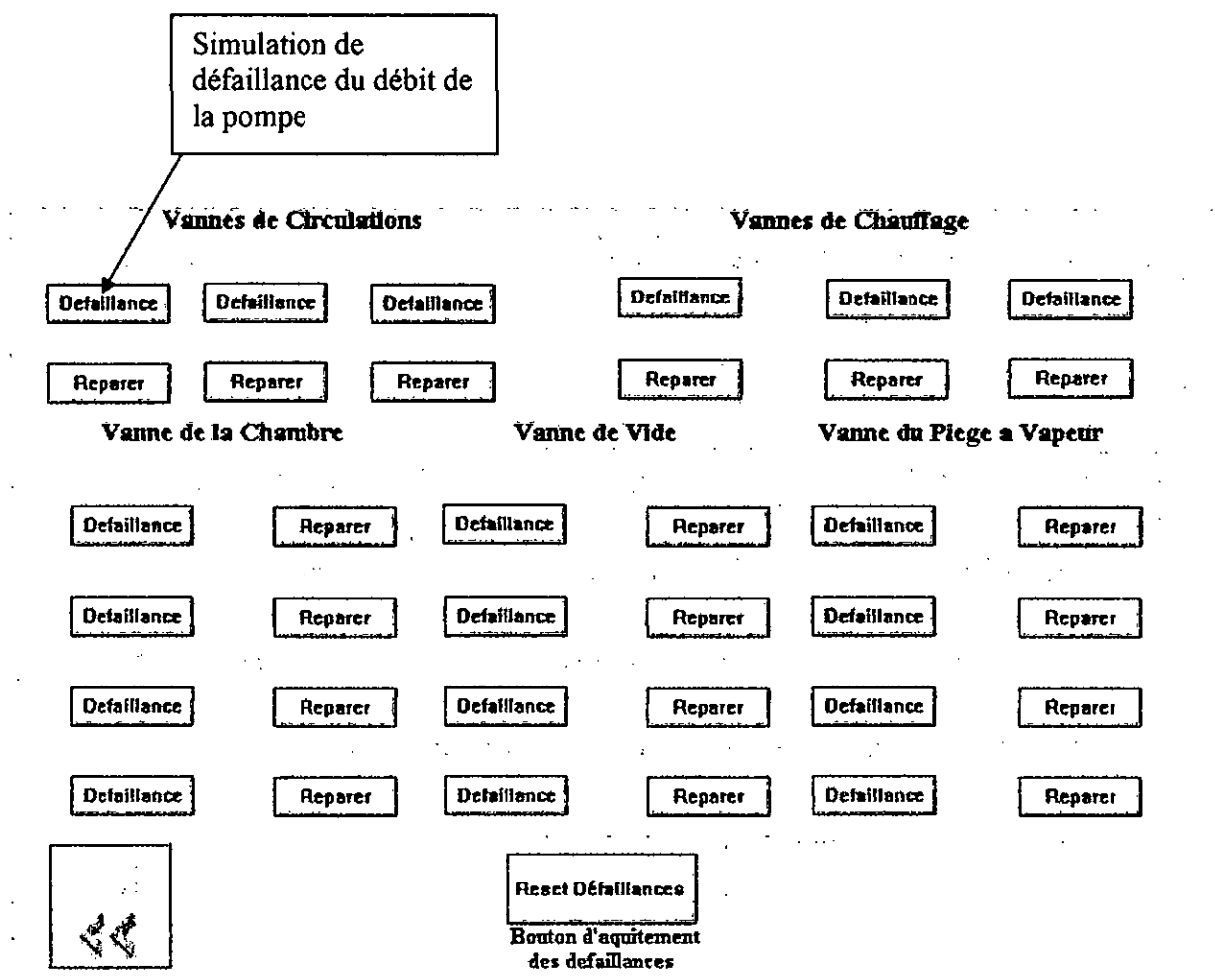


Figure 5-8 :2eme écran de simulation de défaillances

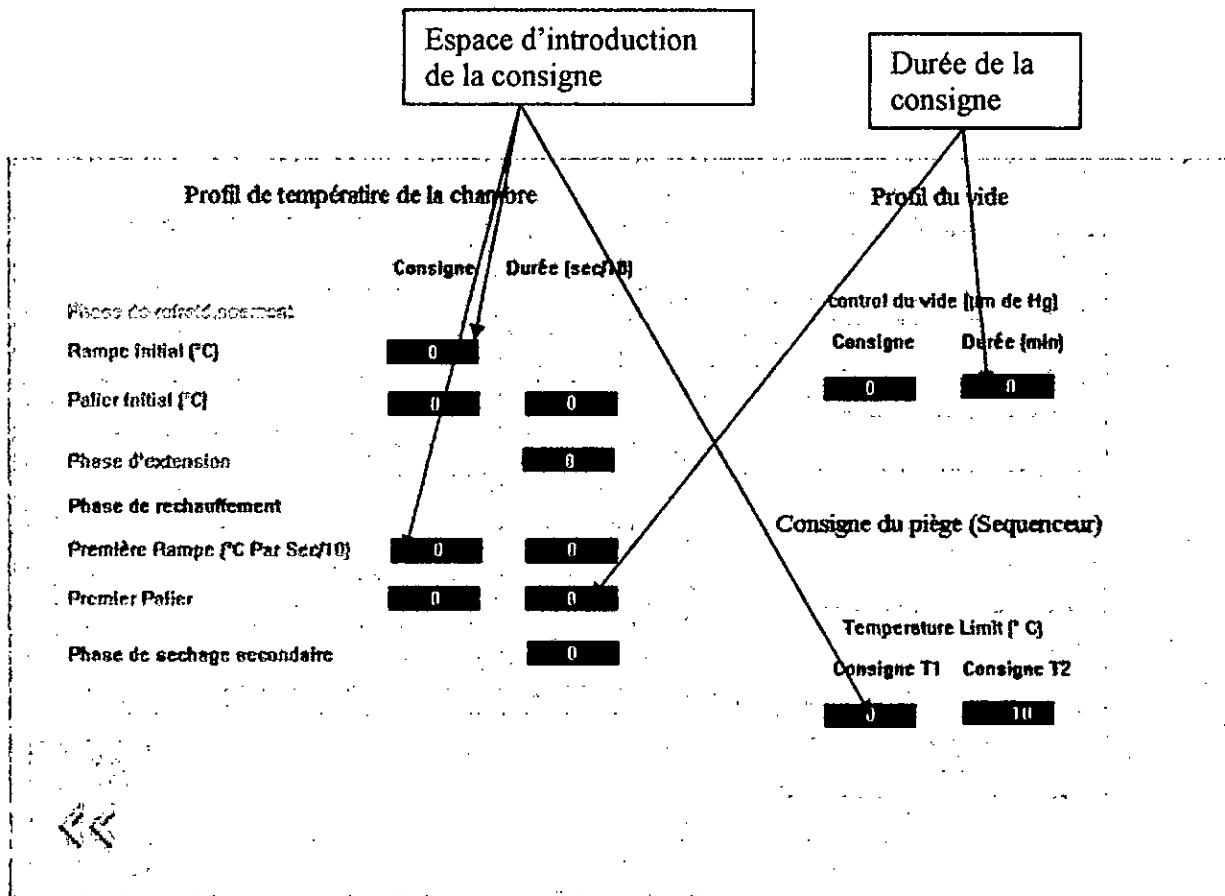


Figure 5-9 : Ecran des consignes du PID

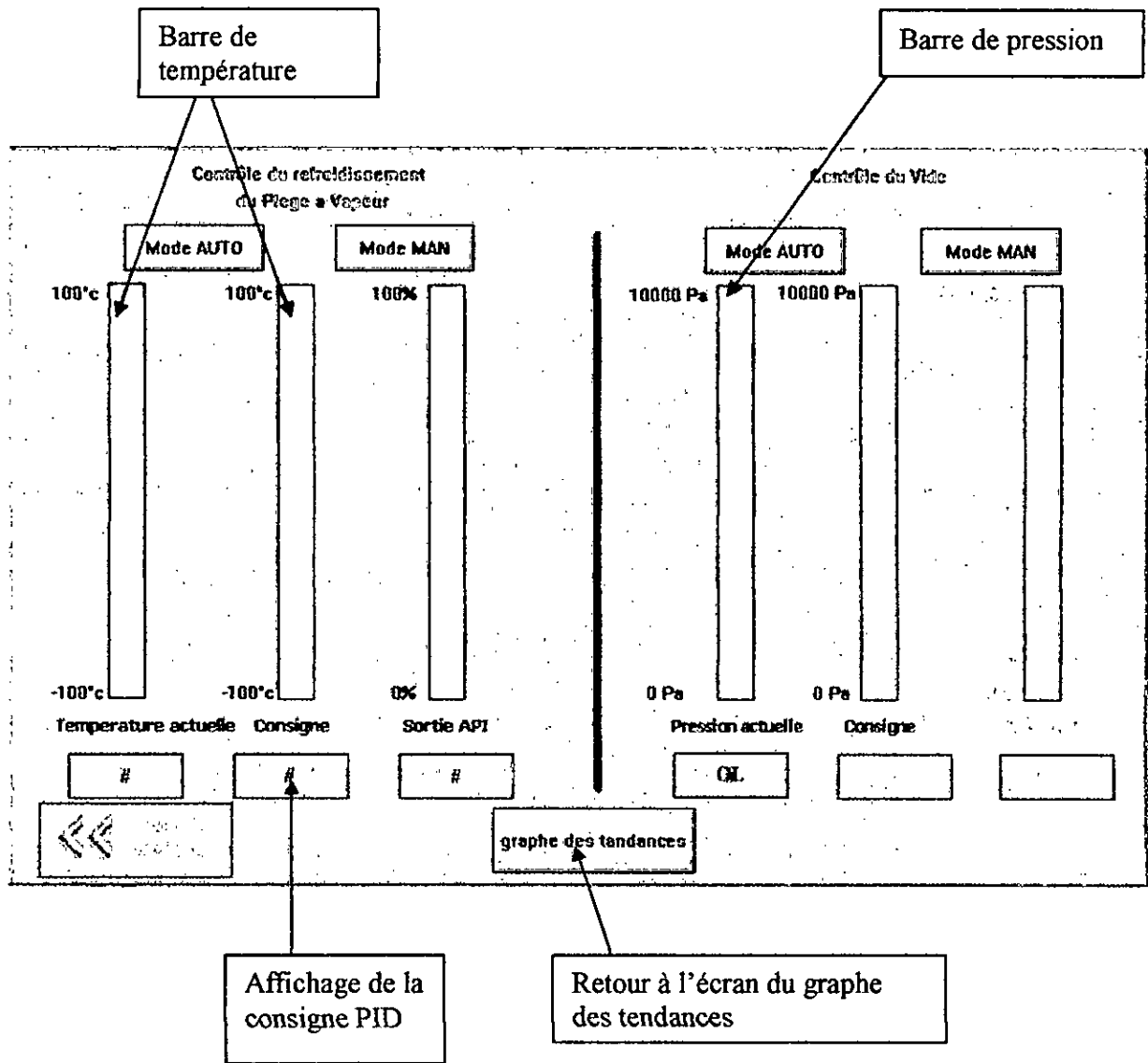


Figure 5-10 : Ecran de contrôle de la température du piège et du vide

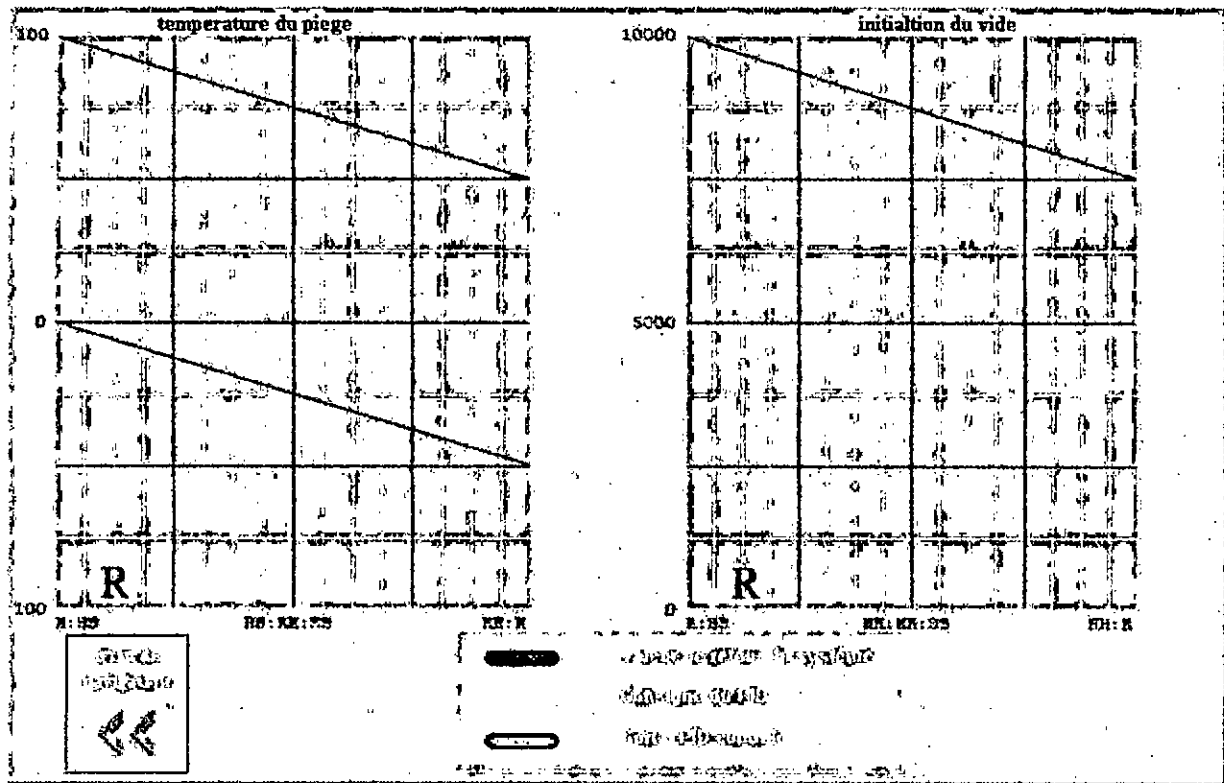


Figure 5-11 : Ecran des graphes des tendances

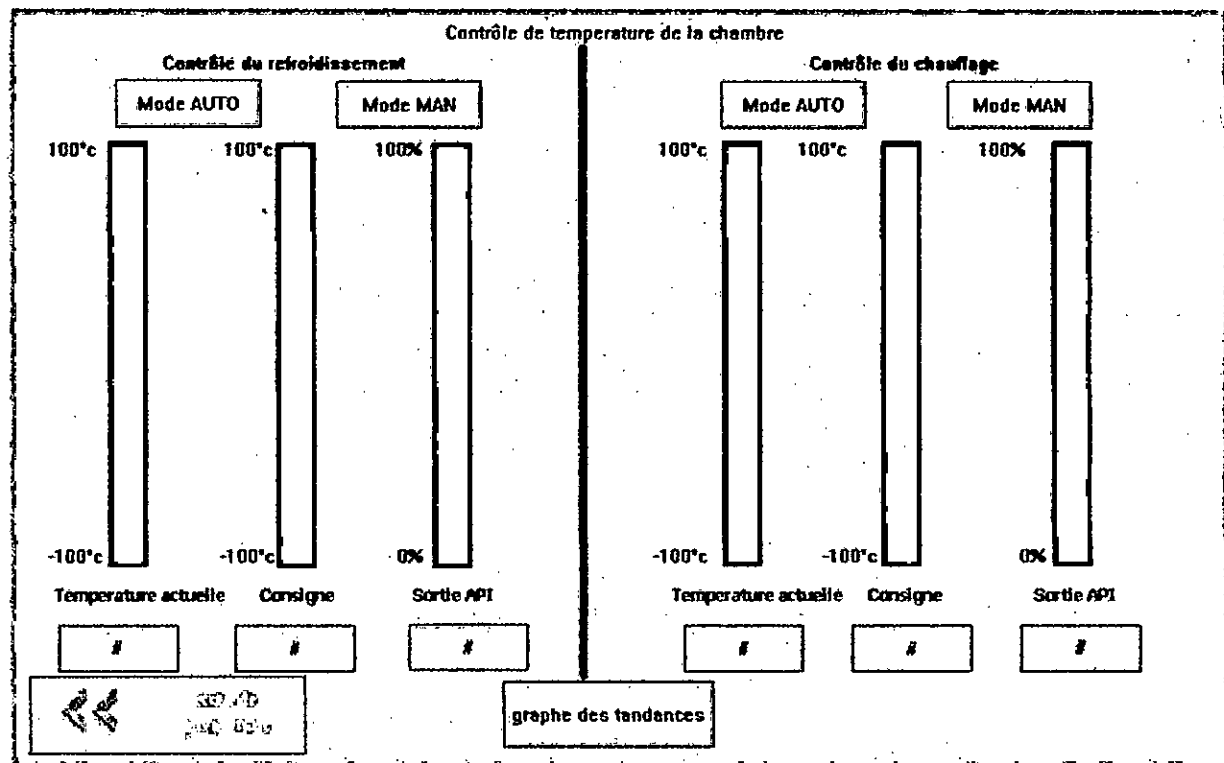


Figure 5-12 : Ecran de contrôle de la température du produit

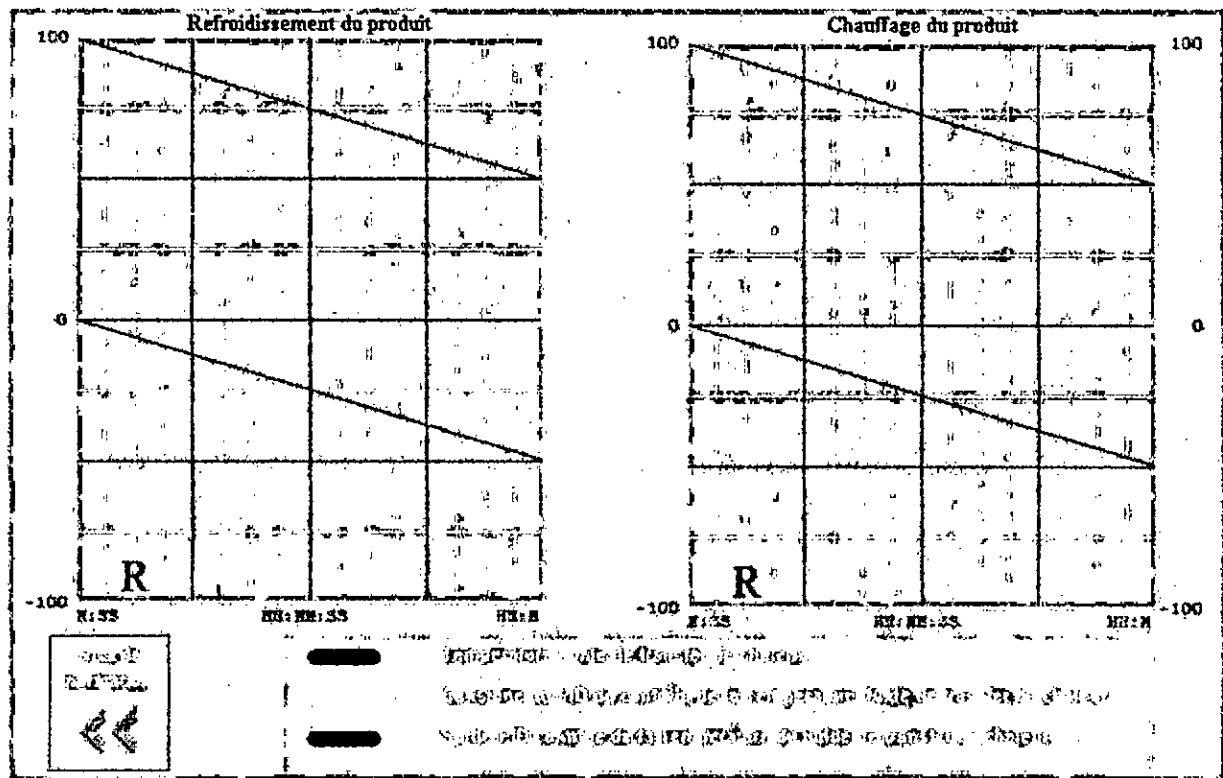


Figure 5-13 : graphes des tendances du produit

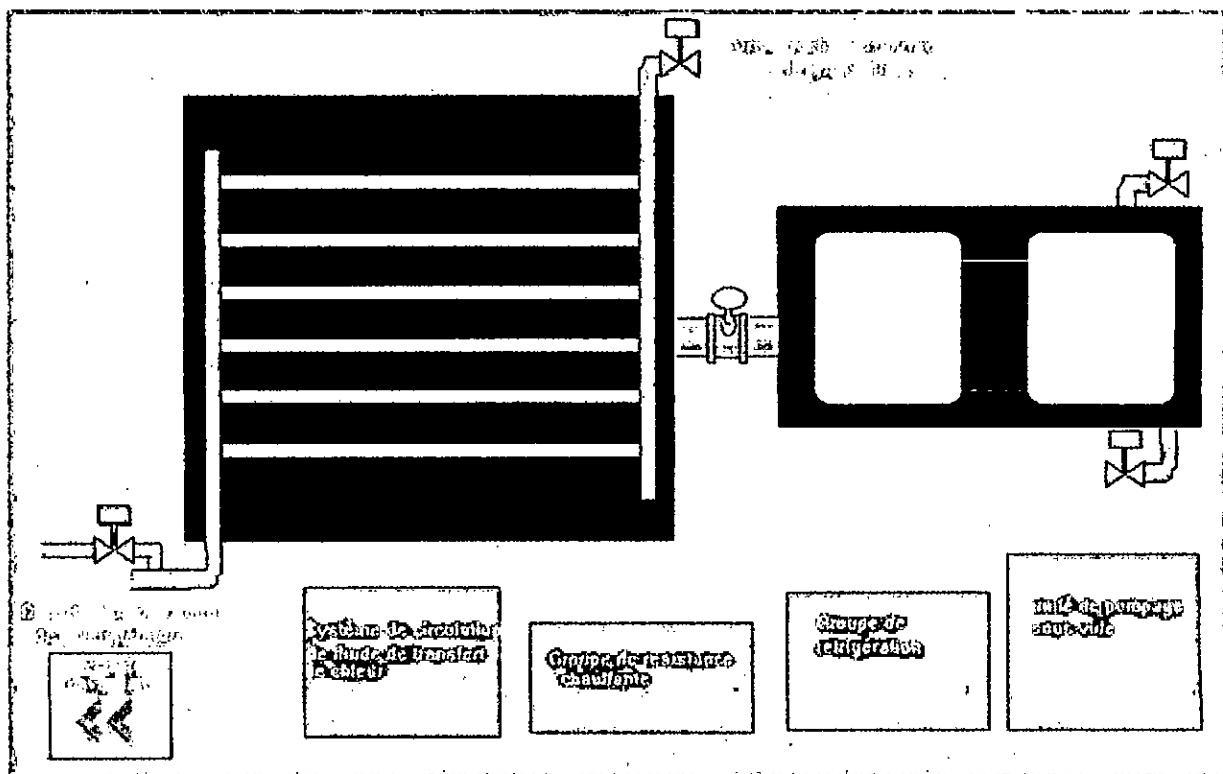


Figure 5-14: Vue générale de la machine

En cliquant sur un des blocs de l'écran de vue générale sa boîte de dialogue apparaît, par exemple en appuyant sur l'une des étagères sa température apparaît :

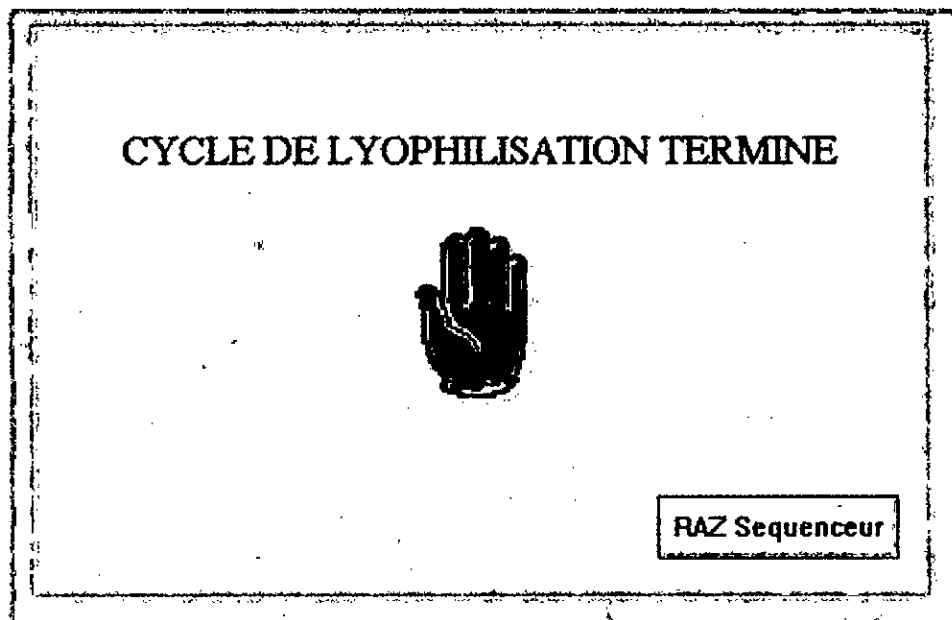
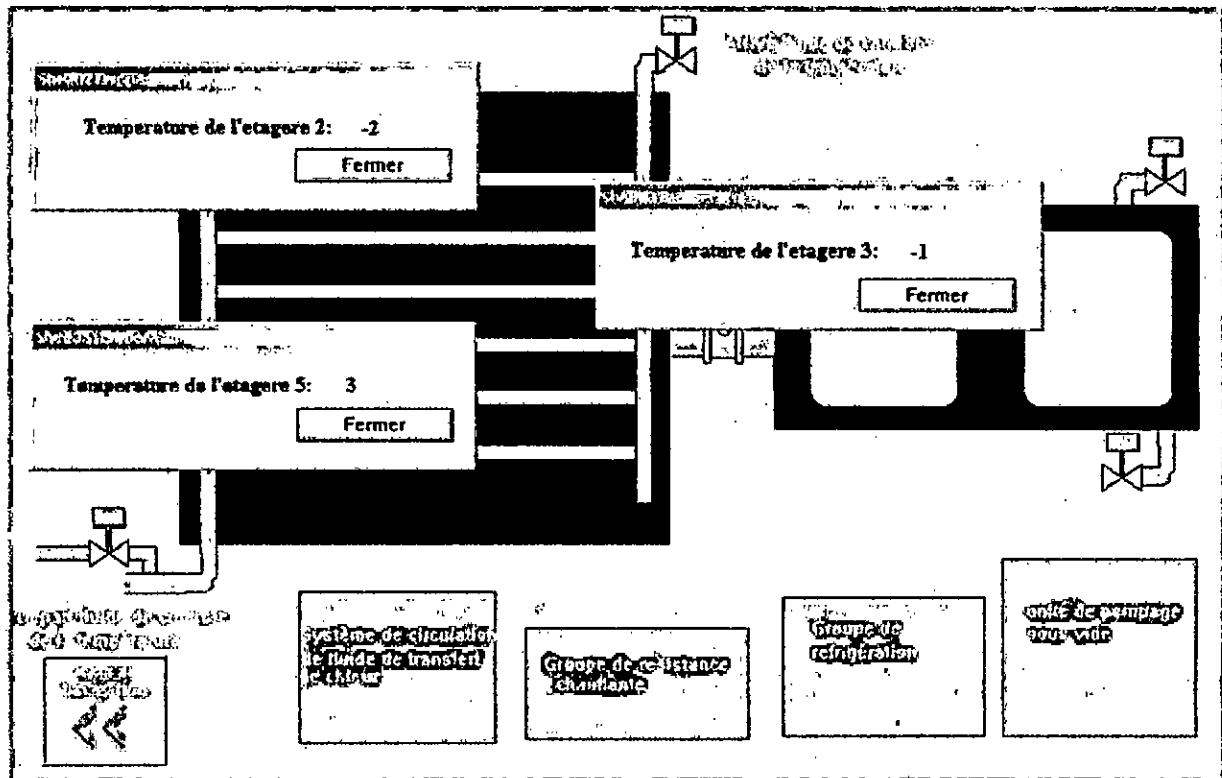


Figure 5-15 :Ecran de fin de cycle

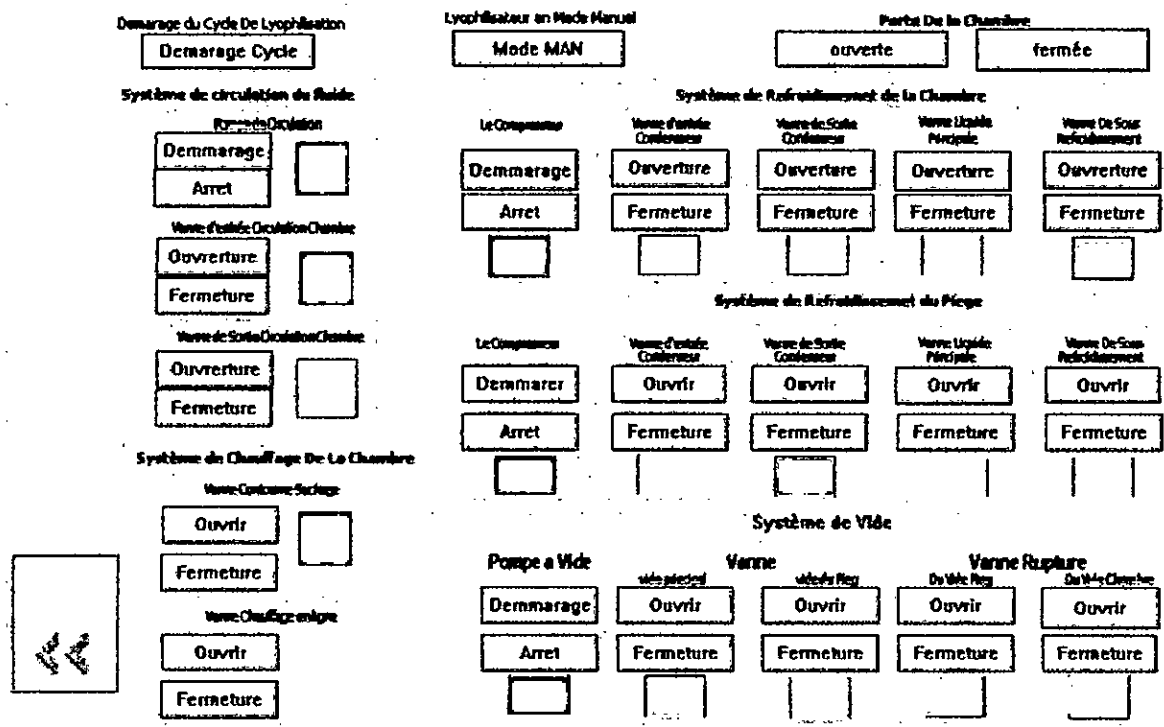


Figure 5-16 : Ecran du mode manuel

Cet écran est désactivé car le mode manuel n'a pas pu être implémenté sur l'automate faute de mémoire dans ce dernier.

L'état des organes de la machine est déterminé suivant le code des couleurs présentés dans le tableau qui suit :

Couleur	Signification
	Ouvert
	En transition
	Fermé
	(orange clignotant sur du noir) en défaillance

En ce qui concerne les écrans de défaillances :

- la couleur rouge indique une défaillance ;
- la couleur bleue indique un acquittement.

5.3 RESULTAT DE SIMULATION

Le programme élaborer sur le logiciel VersaPro a été chargé sur l'automate programmable pour être testé. L'interface homme machine réaliser nous à permit de visualiser le déroulement de » la simulation du cycle de lyophilisation de la machine.

Nous présentant dans ce qui suit le résultat de la simulation d'un cycle de lyophilisation en mode pas à pas.

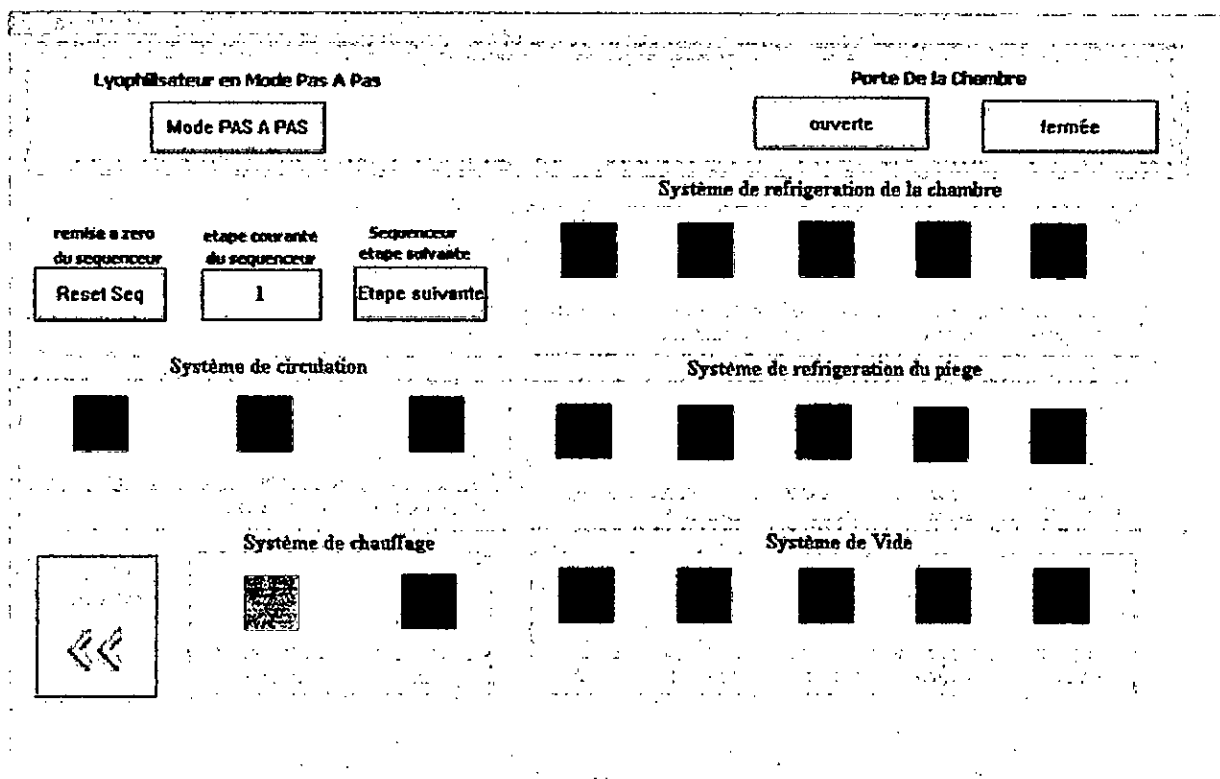


Figure 5-17 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 1 du séquenceur

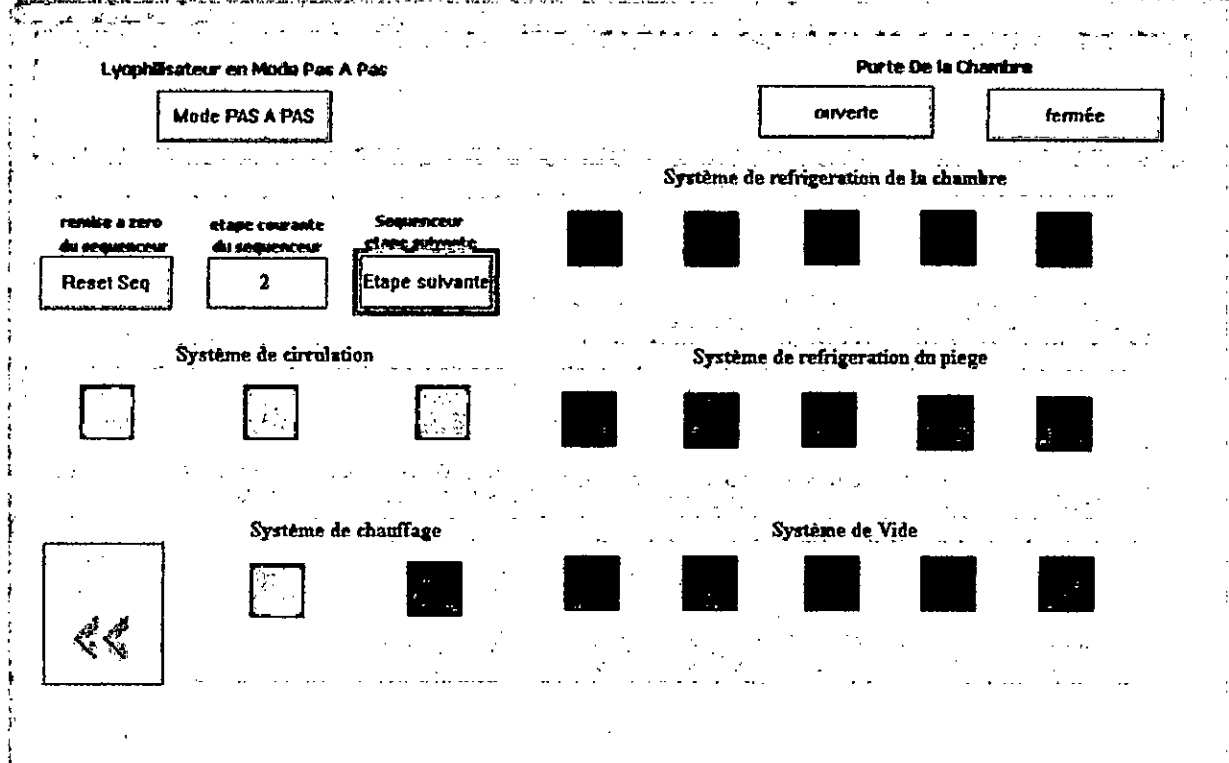


Figure 5-18 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 2 du séquenceur

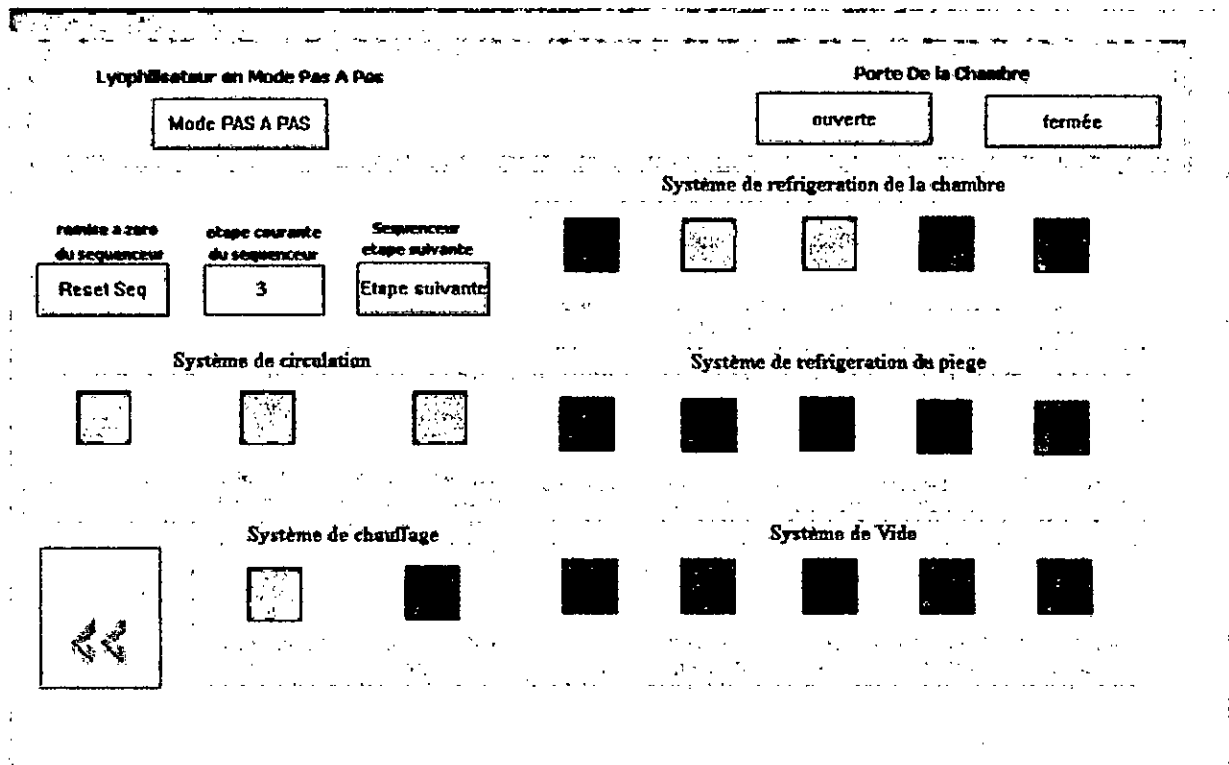


Figure 5-19 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 3 du séquenceur

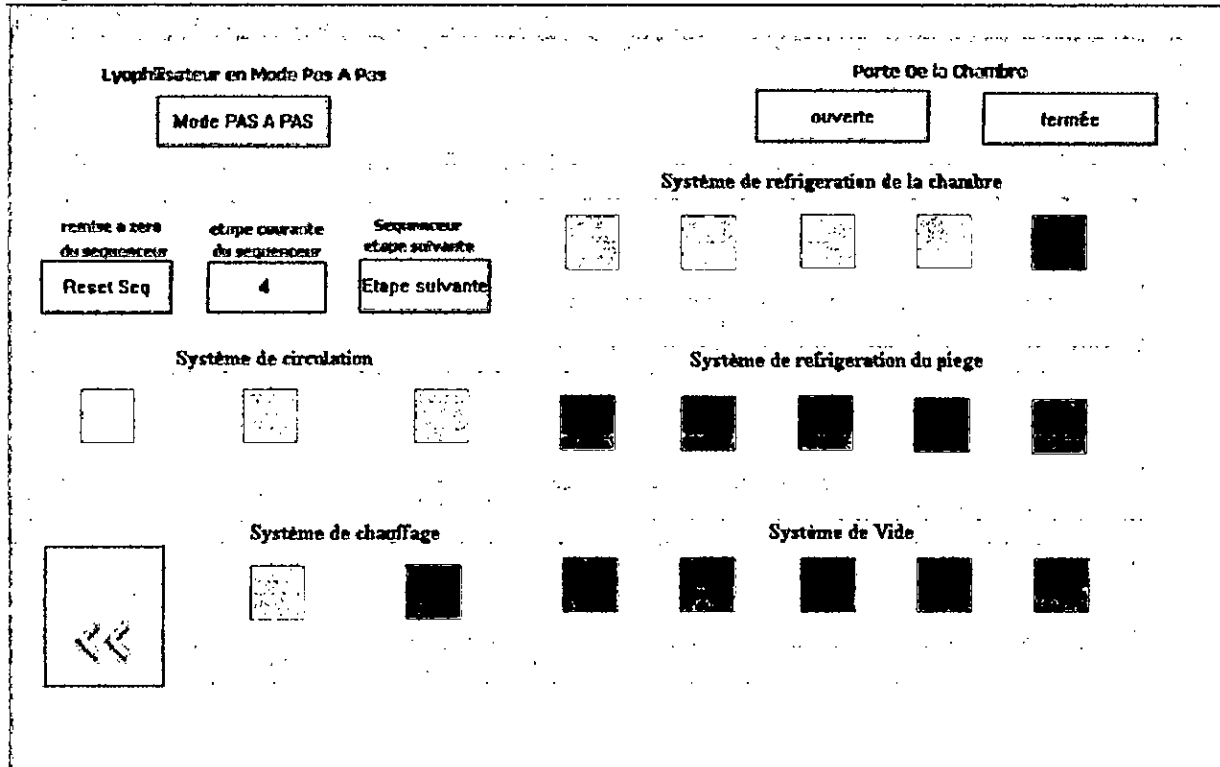


Figure 5-20 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 4 du séquenceur

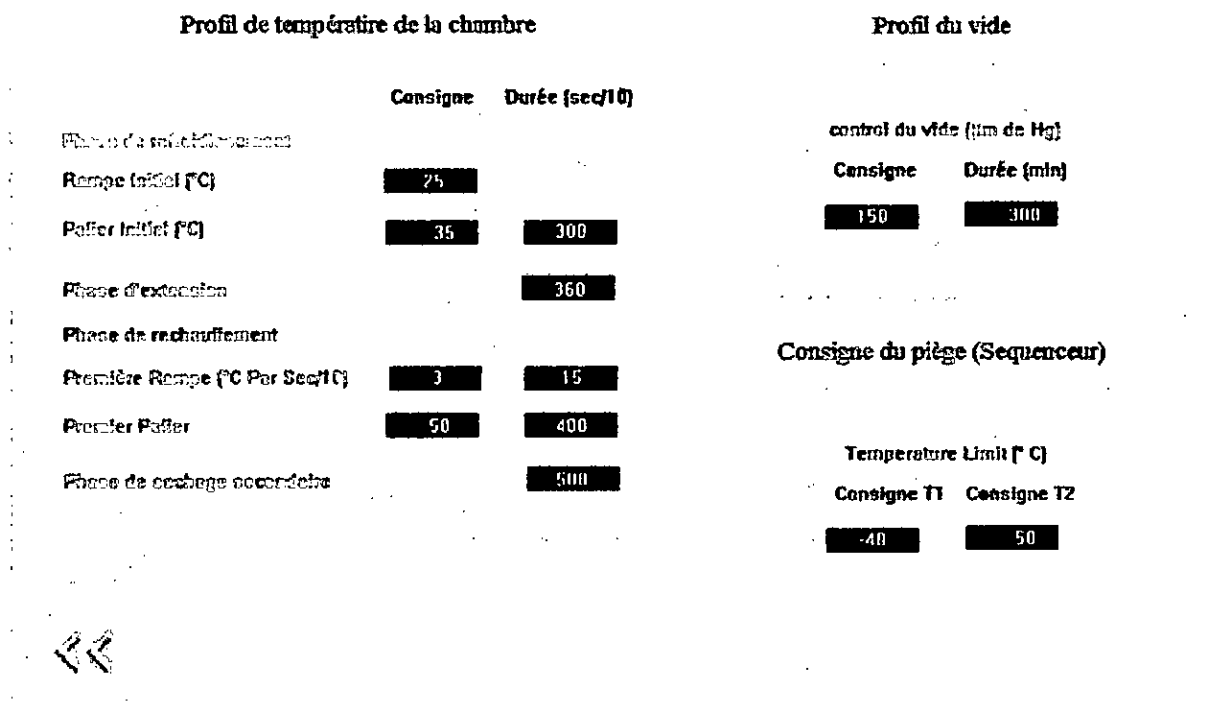


Figure 5-21 : Ecran des consignes

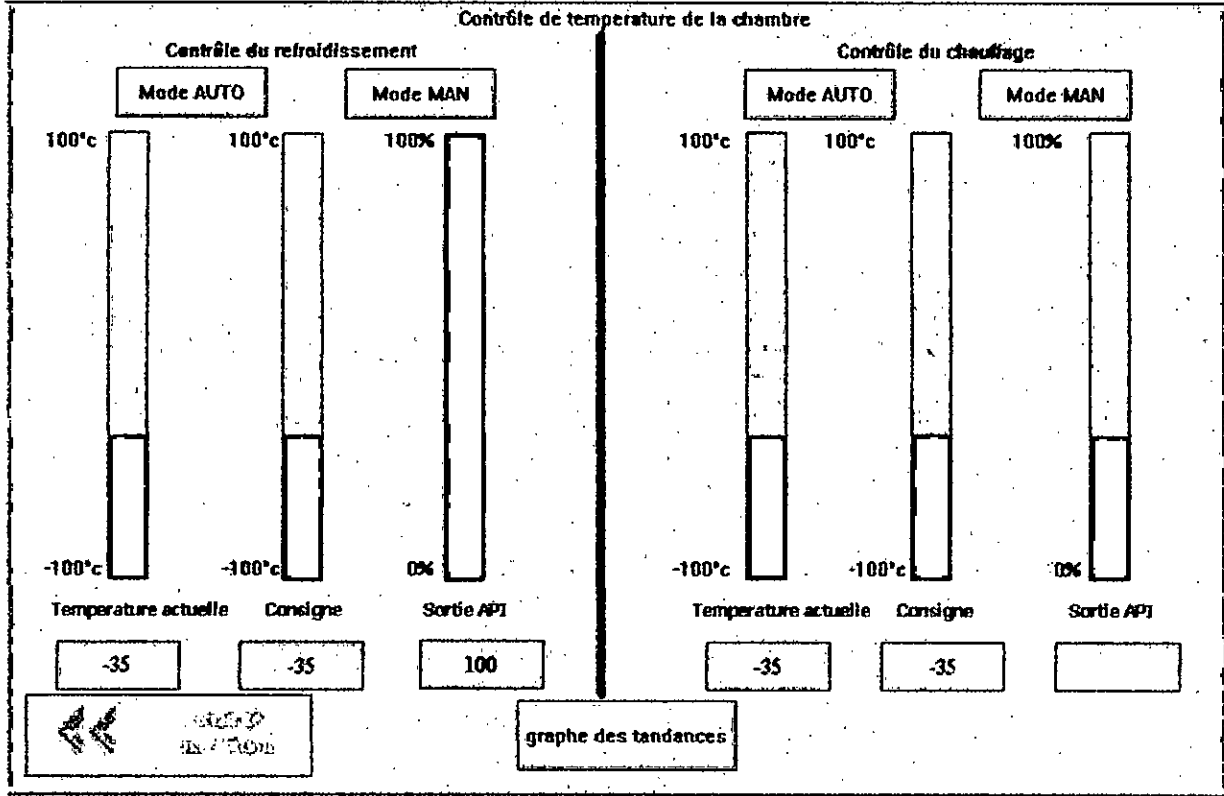


Figure 5-22 : Ecran de contrôle de la température de la chambre

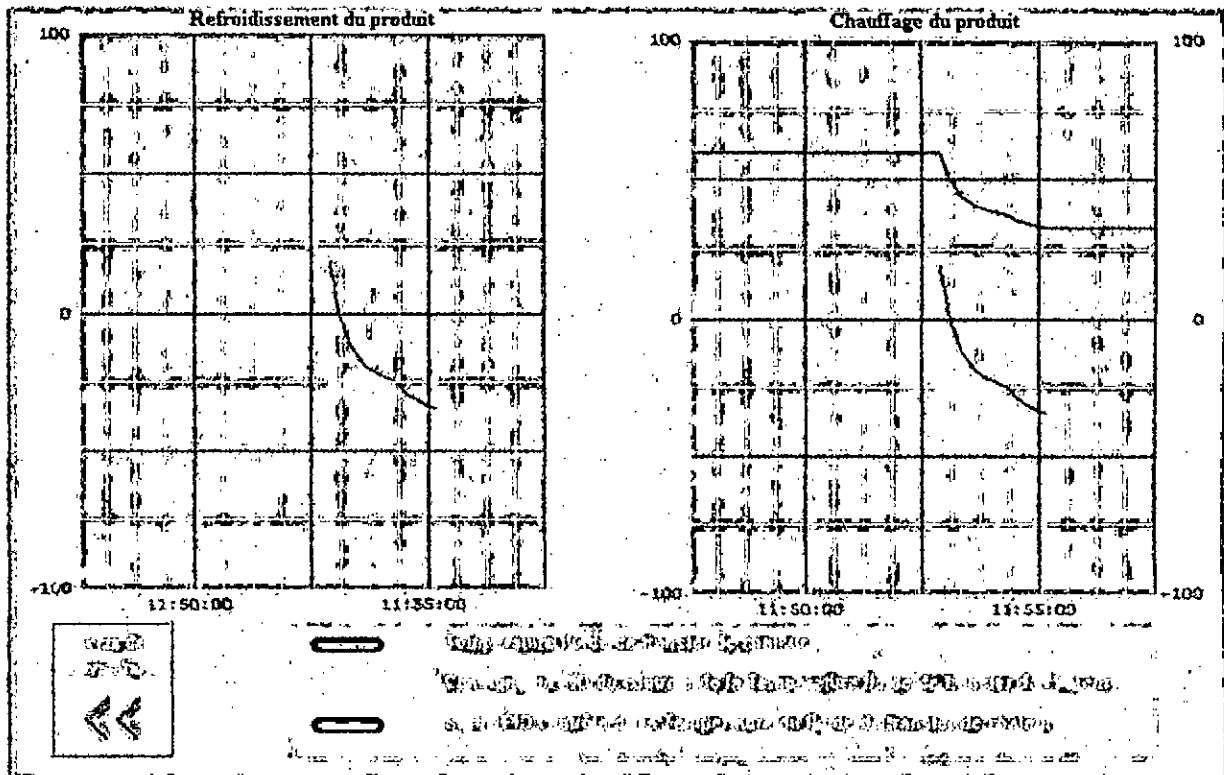


Figure 5-23 : Ecran des graphes des tendances

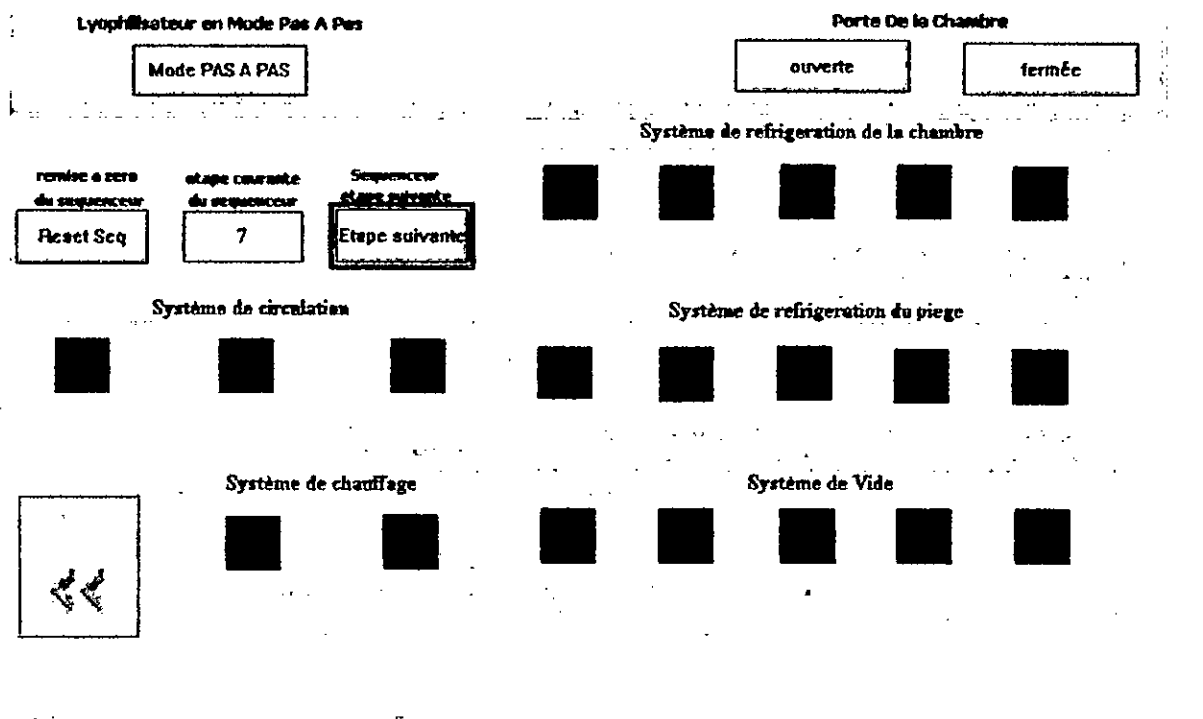


Figure 5-24 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 7 du séquenceur

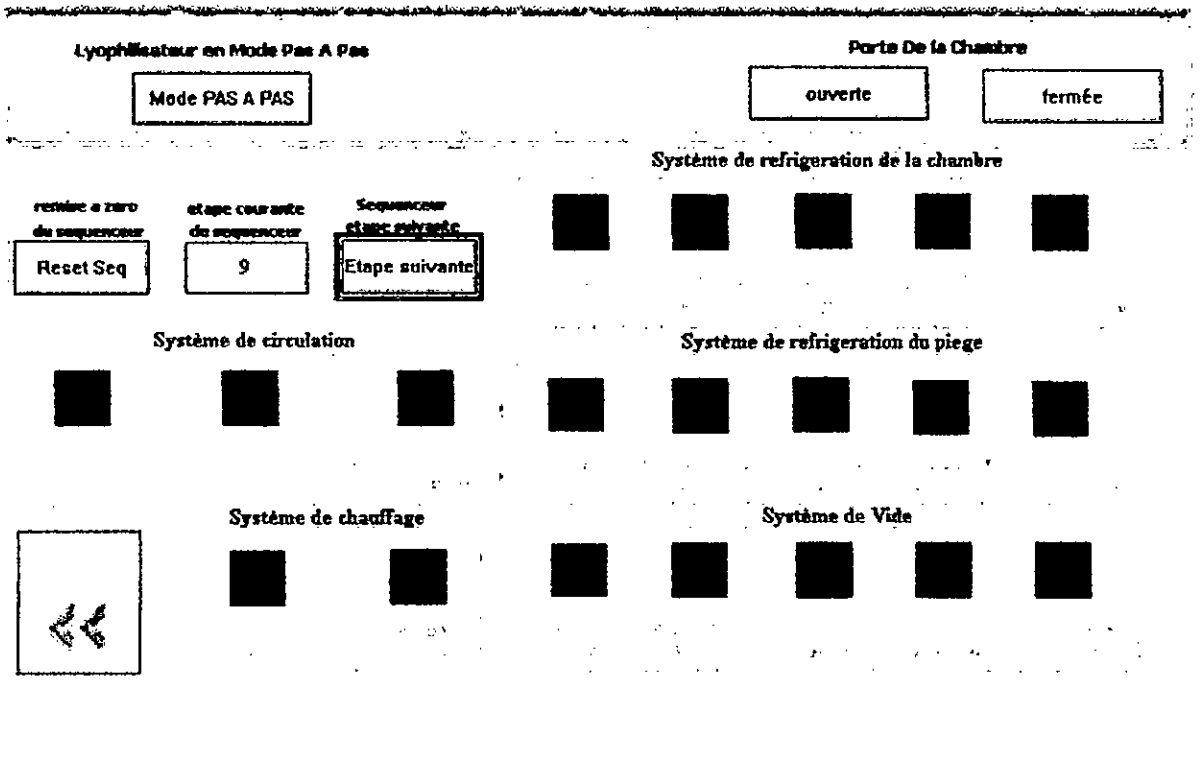


Figure 5-25 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 9 du séquenceur

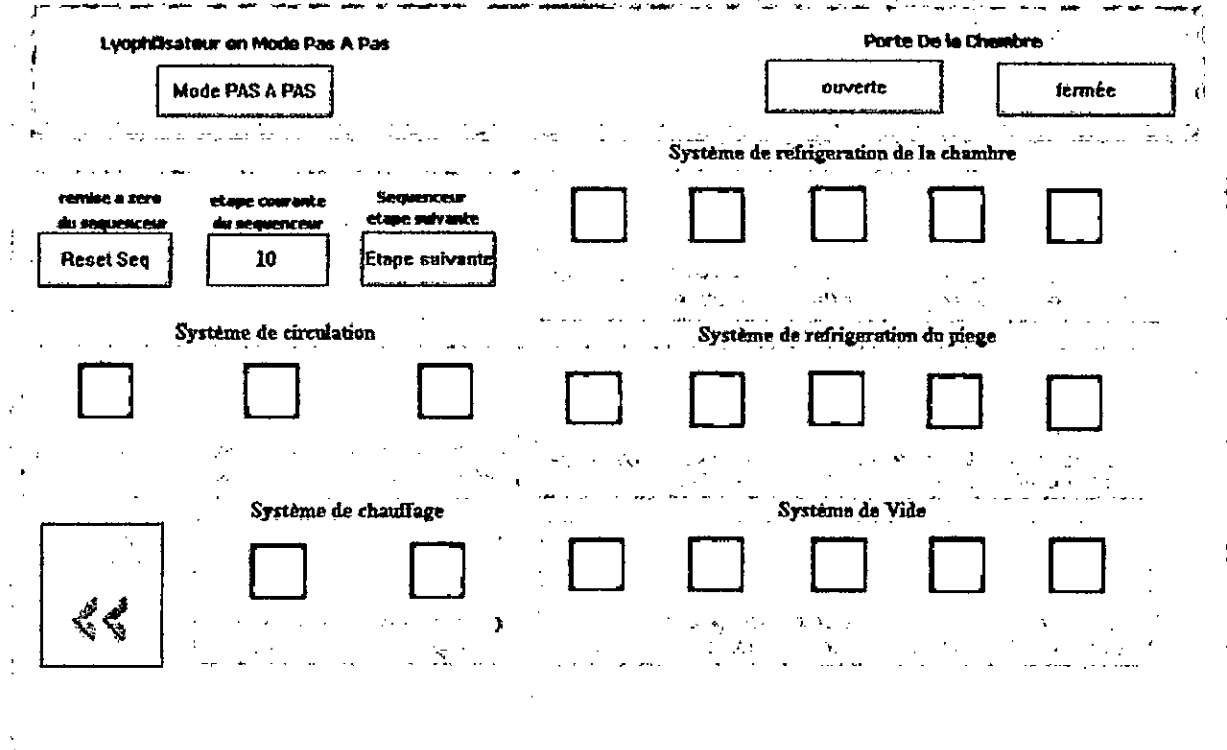


Figure 5-26 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 10 du séquenceur

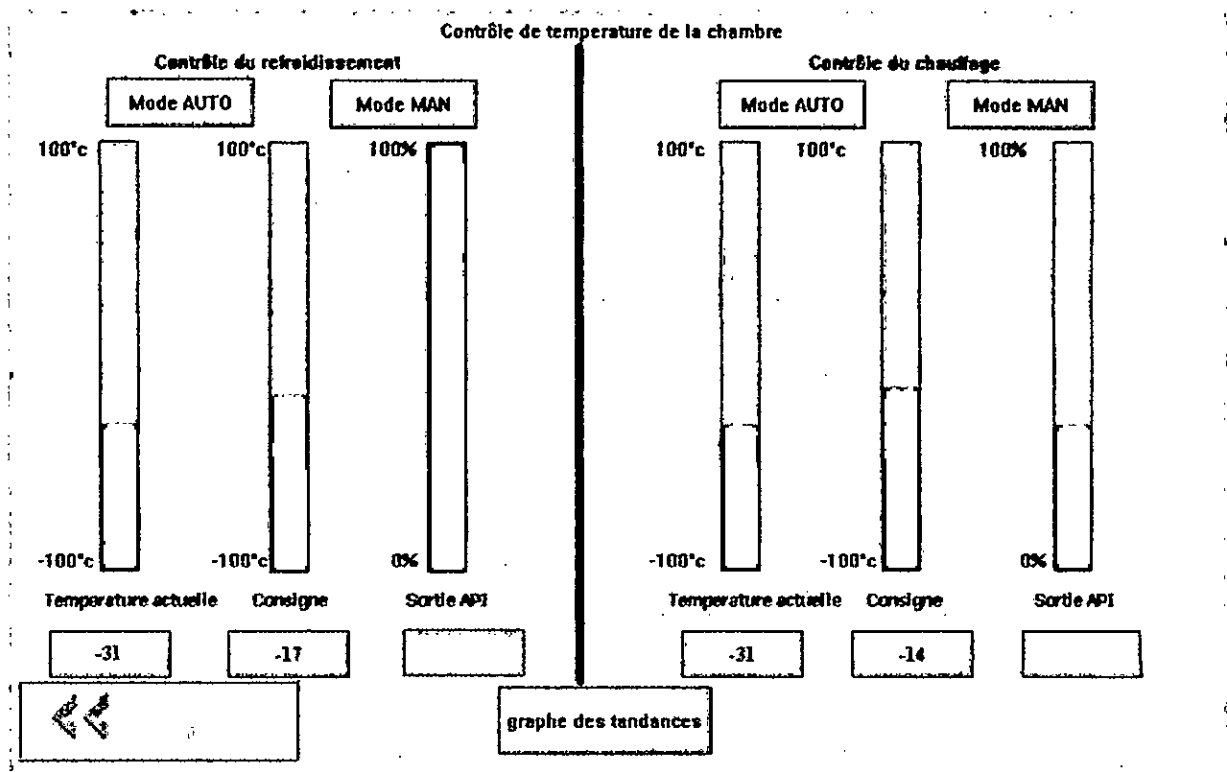


Figure 5-27 : Ecran de contrôle de la température du piège à vapeur et du vide

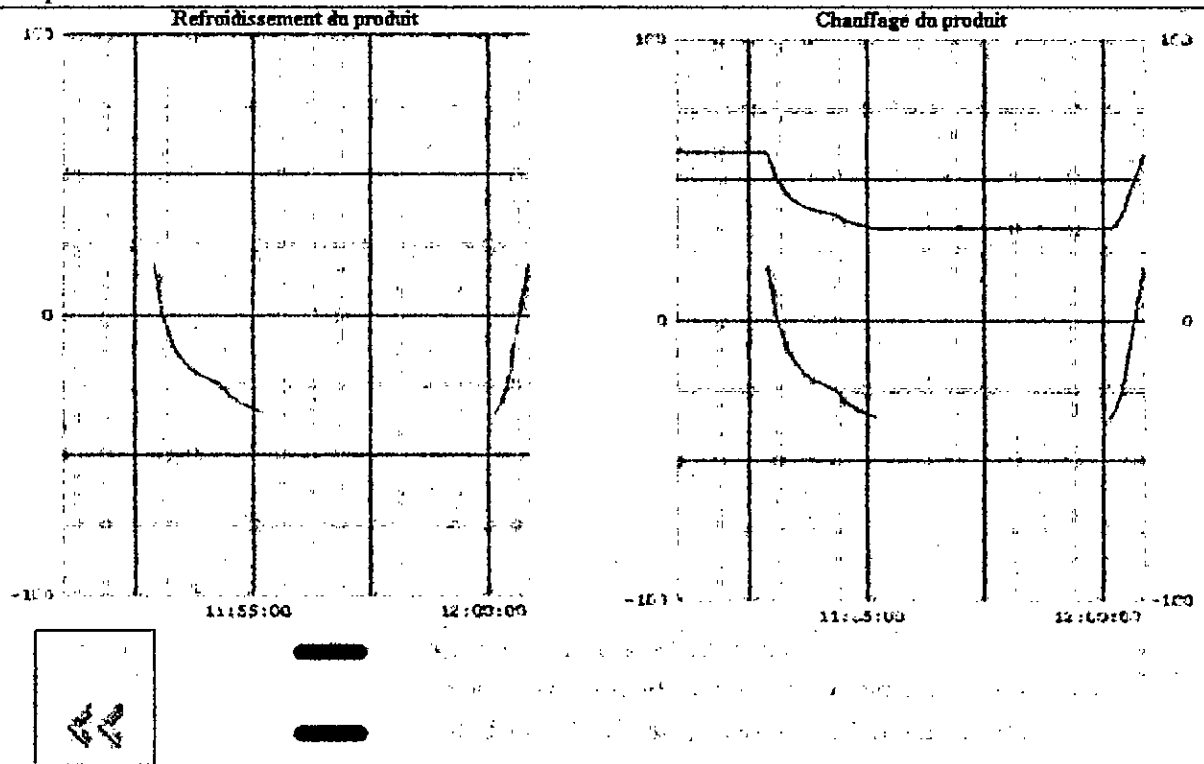


Figure 5-28 : Ecran des graphes des tendances du vide et de la température du piège

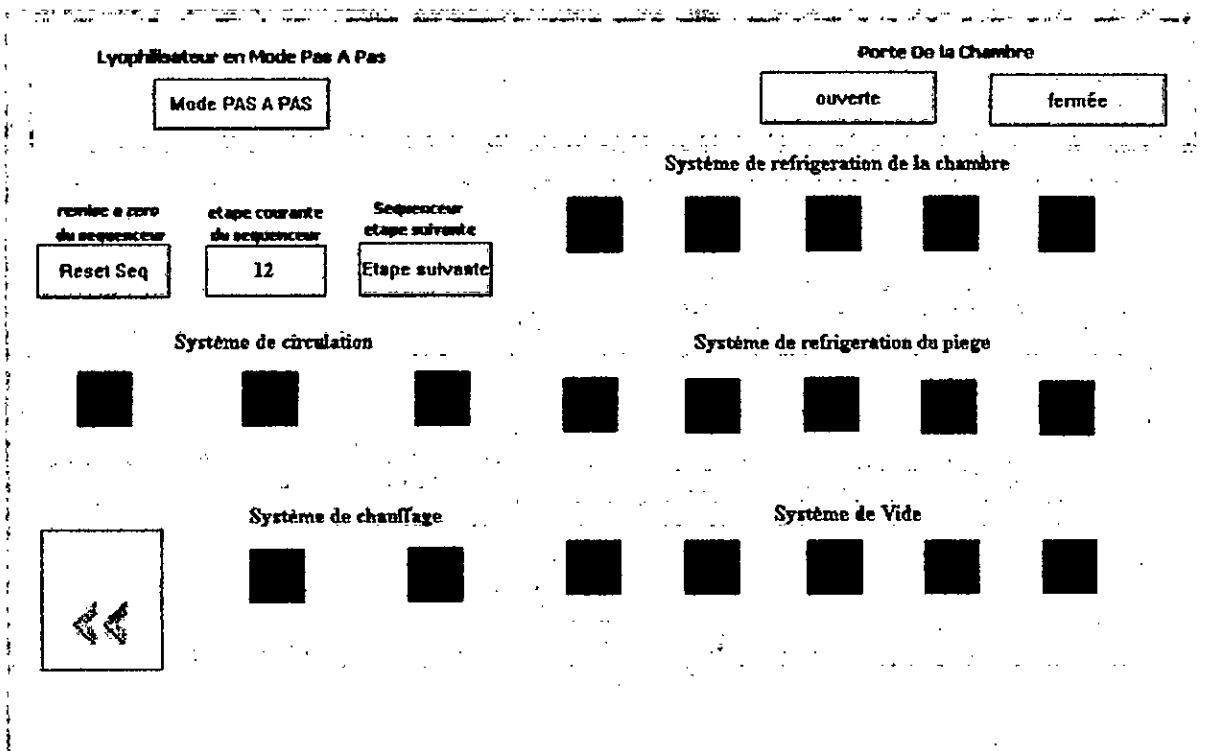


Figure 5-29 : Ecran du mode pas à pas à l'étape 12 du séquenceur

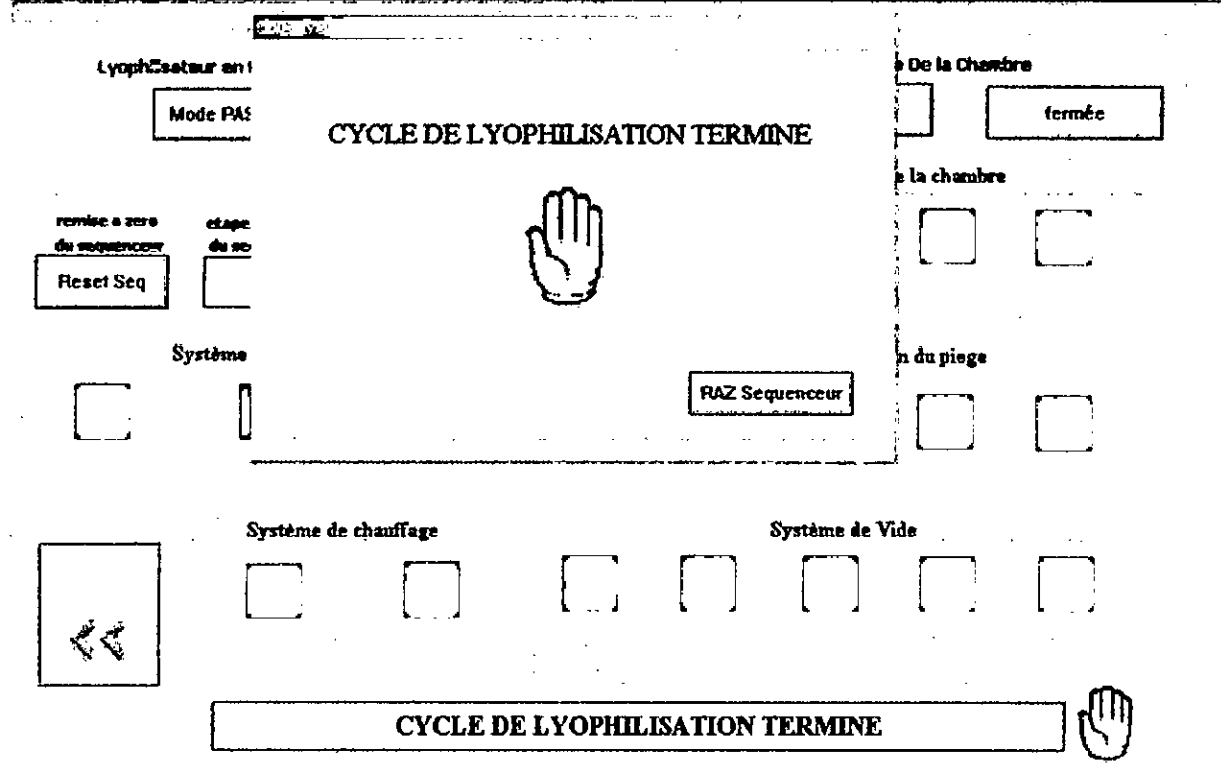


Figure 5-30 : Ecran de signalisation de fin de cycle

CONCLUSION

La commande de la machine de lyophilisation a pu être implémenter sur l'automate programmable, et grâce à l'interface homme machine nous avons pu vérifier l'efficacité de la commande et simuler le fonctionnement de la machine de lyophilisation.

Il faut noter que certains aspects de la commande, comme le mode manuel, ou les alarmes n'ont pas pu être implémenté à cause du manque de mémoire dans l'API.

Conclusion générale

L'objectif principal de ce travail est d'implémenter une commande d'une machine de lyophilisation sur automate programmable et d'élaborer une interface Homme/ Machine.

Autour de ce sujet, nous avons axé notre travail autour de cinq (05) points essentiels :

- Le premier consistait à étudier le processus de lyophilisation afin de comprendre ces principes et de cibler ces exigences.
- Le second portait sur la description du cycle et de la machine de lyophilisation.
- Le troisième point consistait à décrire des automates programmables (GE FANUC série 90-30).
- Le quatrième point portait sur la manière de programmer des automates programmables GE FANUC série 90-30.
- Quant au dernier point, il s'agissait de l'implémentation de la commande sur l'automate programmable et l'élaboration de l'interface Homme Machine.

Ainsi, nous avons pu réussir à implémenter la commande sur l'automate programmable et à simuler le fonctionnement de la machine. L'interface Homme/ Machine, nous a permis de visualiser l'état de la machine au cours des différentes étapes de fonctionnement, à envoyer des consignes et enfin à simuler des défaillances.

Toutefois, nous nous sommes heurtés au cours de ce travail à des problèmes d'insuffisance de la mémoire de l'automate programmable et des restrictions en ce qui concerne le logiciel utilisé pour l'élaboration de l'interface Homme/ Machine.

Pour cela, nous proposons comme perspective à notre travail, l'implémentation de la commande sur un automate programmable de plus haute gamme et l'utilisation d'un logiciel d'élaboration de l'interface Homme/ Machine plus exhaustif. Cela nous permettrait assurément de perfectionner notre commande et de traiter certains de ses aspects qui n'ont pas pu être pris en compte au cours de notre travail, notamment le traitement du mode manuel.

Bibliographie

- [1] M.E.ANDERSON, « Le froid : Questions et Réponses », Edition EYROLES, 1982.
- [2] G.ASCH, « Les Capteurs en Instrumentation Industrielle », DUNOD, 1983.
- [3] André BIANCIOTTO, Pierre BOYE, « L'informatique en Automatisation Industrielle Tome 1 », DELAGRAVE, 1985.
- [4] Daniel BOUTEILLE, « Les Automates Programmables » 2^{ième} édition, CAPADUES Editions, 1997.
- [5] Ge.FANUC, « Série 9OTM-30 Automate Programmable-Manuel d'installation », GFK-0356G-FR, 1995.
- [6] Ge.FANUC, « Module d'entrée sortie pour 90-30 », GFK-0898D-F, 1996.
- [7] Ge. FANUC, « Logiciel de Programmation des API90-30/90-20/Micro-Manuel Référentiel »
- [8] P.LE MOINE, « Refroidissement des eaux de Refroidissement », Technique de L'ingénieur, B- 2580, 1986.
- [9] W.LEVY, « Commandes par Surfaces », Technique de l'Ingénieur, B-1540, 1990.
- [10] M.MARIN, F.RENE, « Lyophilisation », Technique de L'ingénieur, F300240, 2000.
- [11] Henri NUSSBAUMER, « Automates Programmables Commandés et Réglage Capteurs », Presse Polytechnique Romande, LAUSANNE, 1985.
- [12] D.SIMATOS , G.BLOND, Ph.DAUVOIS, F.SAUVAGEOT, « La lyophilisation : Principe et application », Edition EYROLES, 1974.
- [13] André SIMON, « Automate Programmable Industriel, Niveau 1 », Edition L'ELAN, 1991.
- [14] VERSAPRO , « VersaPro2.0 PLC Programming Software tutorial, Octobre 2002.

[15] Wonderware Factory suite « InTouch_user's guid », Decembre 1997, GFK-0407J, 1997.

Sites Web

[16] Toutes Les Inventions ont une Histoire, EUREKA WEB,
www.eurekaweb.free.fr/Vh2-Lyophilisation.htm.

[17] Lyophilisation, texcte publié par l'entreprise Canadienne de Lyophilisation, « lyo-san », www.Lyo-san.ca/lyophilisation.htm.

ملخص

يحدّد هذا العمل كيفية وضع نظام تحكم خاص بجهاز التجفيف عن طريق التجميد في رجل آلي قابل للبرمجة. كما أن الدراسة النظرية لمسار عملية التجفيف عن طريق التجميد و كذا الجهاز الخاص بهذه العملية، اللازمة لتحديد مبادئ التحكم. و بعدها، قمنا بدراسة الرجل الآلي و كيفية برمجة. أما بالنسبة للمرحلة الأخيرة، فهي زرع جهاز التحكم في الرجل الآلي القابل للبرمجة من طراز GE FANUC سلسلة 90-30 و برنامج المراقبة. و قد تمّ إعداد برنامج للرجل الآلي من خلال برنامج الرجل الآلي من خلال برنامج Versa Pro أما المراقبة فنتمّ من خلال برنامج INTOUCH.

الكلمة الرئيسية : التجفيف عن طريق التجميد و جهاز التجفيف عن طريق التجميد و الرجل الآلي القابل للبرمجة و الإشراف.

Résumé

Ce travail décrit l'implémentation de la commande d'une machine de lyophilisation sur un automate programmable. L'étude théorique du processus de lyophilisation et de la machine de lyophilisation est nécessaire pour concevoir les principes de la commande. Ensuite, on s'est familiarisé avec l'automate et sa programmation. La dernière étape étant l'implémentation de la commande sur l'automate programmable GE FANUC série 90-30 et le logiciel de supervision. Tell que, le programme de l'automate a été élaboré avec le logiciel VersaPro et la supervision avec le logiciel INTOUCH.

Mot clef : lyophilisation, machine de lyophilisation, automate programmable, supervision

summary

This work describes the implementation of the order of a lyophilisation on a programmable automaton. The theoretical survey of the process of lyophilisation and the machine of lyophilisation is necessary to conceive principles of the order.

Then we familiarized with the automaton and its programming. The last stage is the implementation of the order on the programmable automaton GE FANUC, set 90-30 and the software of supervision. The program of the automaton has been elaborated with the software VersaPro and the supervision with the software INTOUCH.

Keyword : lyophilisation, machine of lyophilisation, programmable automaton, supervision.