

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE DE BEJAIA

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département : GENIE ELECTRIQUE

Mémoire de fin de Cycle

Pour l'obtention du diplôme de Master 2 en électrotechnique

Option : commande des systèmes électriques

THEME

**Adaptation d'une double boucle de régulation
d'air comprimé (charge/décharge) sur un tank
stérile (APV)**

Réalisé par :

Mr: GHOUL Djamil

Encadré par :

Mr. N.TAIB

Mr. A.GHOUL (encadreur à l'industrie)

Promotion : 2013/2014

Remerciements

Ce travail est le fruit et l'aboutissement de ma formation à l'université de Bejaia.

Il a été réalisé avec le soutien de plusieurs personnes que je tiens à remercier :

Mon encadreur Mr TAIB Nabil qui par ses conseils précieux, ses remarques pertinentes, a su me transmettre son expérience à travers ses orientations.

Mes plus vifs remerciements vont également à tous les employés de Tchir-Lait/Candia. A leur tête mon promoteur Mr GHOUL Amine, et Mr Tajeddine BERKATI, pour leur accueil chaleureux et les facilités accordées lors de mon stage pratique.

Je tiens à remercier pareillement mes amis pour leurs soutiens et leur aide pour la réalisation de ce mémoire.

Merci

Dédicace

Je dédie ce présent mémoire à toutes les personnes qui m'ont soutenu

A mes chers parents

A mes frères

*A mes ami(e)s et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la
réalisation de ce travail.*



Sommaire

Introduction général	1
PREAMBULE : Présentation du complexe TCHIN LAIT CANDIA.	
1. Historique.....	3
2. Situation juridique et géographique :	3
3. Mission de l'entreprise :.....	3
4. Choix du lait UHT.....	4
5. La laiterie TCHIN-LAIT	4
6. Structure de l'entreprise TCHIN LAIT	5
CHAPITRE I : Description de l'unité de production du lait longue conservation.	
I.1. Introduction.....	7
I.2. Historique du traitement UHT	7
I.3. Considérations relatives à la conception du procédé	7
I.4. Exigences légales.....	8
I.5. Production du lait de longue Conservation	9
I.5.1. Stérilisation en récipients	9
I.5.2. Traitement à Ultra Haute Température (UHT)	9
I.6. Procédés UHT.....	9
I.7. Installations UHT	10
I.8. Différents systèmes UHT.....	10
I.8.1. Systèmes directs :	10
I.8.2. Systèmes indirects :.....	10
I.9. Installation de traitement UHT indirect à échangeurs de chaleur à plaques.....	11
I.10. Installation de traitement UHT indirect à échangeurs de chaleur tubulaires.....	12
I.11. Principes de transfert thermique	13
I.11.1. Chauffage direct.....	14
I.11.2. Chauffage indirect.....	14
I.12. Echangeurs de chaleur à plaques	15
I.13. Echangeurs de chaleur tubulaires	16
I.14. Dégazage sur la ligne de traitement du lait.....	16
I.15. Homogénéisateur dans la ligne de traitement	17
I.16. Chambrage	19
I.17. Refroidissement	20

Sommaire

I.18. Conclusion	20
CHAPITRE II : Systèmes automatisés et régulation industrielle.	
II.1. Introduction	21
II.2. Commande automatique	21
II.3. Système automatisé	21
II.4. Automate Programmable Industrielle (API)	22
II.5. Objectif de l'automatisation	24
II.6. Régulation d'un procédé.....	24
II.7. Procédé	24
II.8. Asservissement et régulation	25
II.8.1. Asservissement	25
II.8.2. Régulation.....	25
II.9. Chaîne de régulation.....	25
II.9.1. Chaîne ouverte de régulation	26
II.9.2. Chaîne fermée de régulation.....	26
II.10. Qualités attendues d'une régulation	27
II.10.1. Stabilité.....	27
II.10.2. Précision	27
II.10.3. Rapidité.....	28
II.11. Types de régulateurs.....	29
II.12. Régulateurs PID.....	29
II.13. Approche temporelle du régulateur PID.....	31
II.13.1. Représentation temporelle	31
II.13.1.1. Représentation pour un régulateur proportionnel (P):	31
II.13.1.2. Représentation pour un régulateur proportionnel intégral (PI):.....	32
II.13.1.3. Représentation pour un régulateur PID.....	33
II.13.2. Réglage des coefficients des régulateurs PID.....	34
II.13.2.1. Réglage par la méthode empirique	34
II.13.2.2. Réglage par la méthode de Ziegler-Nichols.....	36
II.14. Avantages et inconvénients des deux méthodes présentées	36
II.14.1 Avantages :	36
II.14.2 Inconvénients.....	36
II.15. Conclusion.....	36

Sommaire

CHAPITRE III : Tank pour le stockage aseptique et problématique.

III.1. Introduction	38
III.2. Tank stérile pour le stockage aseptique	38
III.3. Avantages du stockage aseptique	39
III.4. Principe de fonctionnement d'un tank stérile	39
III.5. Exigences générales sur l'air stérile	40
III.6. Cycle du processus	41
III.7. GRAFCET	41
III.8. Description du processus de stérilisation	41
III.8.1. Stérilisation à la vapeur	41
III.8.2. Refroidissement	42
III.8.3. Production	42
III.8.4. Nettoyage	43
III.9. Matériel de régulation du procédé	47
III.9.1. transmetteur de pression	48
III.9.2. Vanne de régulation pneumatique	48
III.10. Fonctionnement du dispositif de régulation	49
III.11. Inconvénients trouvés avec la simple boucle de régulation du procédé	50
III.12. Conclusion	50

CHAPITRE IV : Solution apportée à la problématique.

IV.1. Introduction	51
IV.2. Solution apportée à la problématique	51
IV.3. Armoire de commande	52
IV.4. Tableau de commande	53
IV.4.1. Principe de base	53
IV.4.1.1. Valeurs de l'automate	54
IV.4.1.2. Valeurs du transmetteur	54
IV.4.2. Niveaux du code d'accès au tableau de commande	54
IV.4.3. Touches sur le tableau de commande	55
IV.4.4. Touches de navigation	55
IV.4.5. Menu de sélections PID	56
IV.4.6. Menu PID	57
IV.4.7. Menu paramètres PID	58

Sommaire

IV.5 Conclusion	59
Références bibliographiques	61
ANNEXES.....	64

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau.III.1. récapitulatif des valeurs du PID propre à la simple boucle de régulation du procédé schématisé sur la figure III.3, existante au sein de l'industrie TCHIN LAIT « CANDIA » sur le menu paramètres PID du tableau de commande.	50
--	----

Chapitre IV

Tableau.IV.1. tableau représentatif des niveaux du code d'accès au tableau de commande.	55
Tableau.IV.2. représentation des touches sur le tableau de commande.	55
Tableau.IV.3. représentation des différentes touches de navigation sur le tableau de commande	56

Liste des figures

CHAPITRE I

Fig.I.1. Système UHT indirect à chauffage dans un échangeur de chaleur à plaques.....	12
Fig.I.2. Système UHT indirect à échangeurs de chaleur tubulaires.....	13
Fig.I.3. Graphe de transfert thermique indirect dans un échangeur de chaleur.	15
Fig.I.4. Principes d'écoulement et d'échange thermique dans un échangeur de chaleur à plaques.	16
Fig.I.5. Echangeur de chaleur tubulaire assemblée en un ensemble compact.	16
Fig.I.6. Circulation du lait et de l'air dans le dégazeur sous vide à condenseur incorporé.	17
Fig.I.7. L'homogénéisateur.....	18
Fig.I.8. Unité de traitement du lait avec dégazeur et homogénéisateur.....	19
Fig.I.9. Chambreur à tube en zig-zag.	20

CHAPITRE II

Fig.II.1. Structure d'un système automatisé.....	22
Fig.II.2. a) Automate compact (Allen-bradley) b) Automate modulaire (Modicon)	24
Fig.II.3. Schéma simplifié d'un procédé	25
Fig.II.4. Schéma simplifié d'une chaîne de régulation.....	26
Fig.II.5. a) Évolution de deux systèmes régulés instables : inacceptable.....	28
Fig.II.6. Courbe démonstratif de mesure du dépassement maximale d'un système régulé stable avec amortissement.	28
Fig.II.7. Courbe démonstratif de mesure du temps de réponse a 5% d'un système régulé stable avec amortissement.	29
Fig.II.8. Principe d'action d'un régulateur de type PID dans une chaîne de régulation.....	30
Fig.II.9. Réponses indicielles typiques avec un régulateur proportionnel.....	32
Fig.II.10. Réponses indicielles avec régulateur PI.	32
Fig.II.11. Réponse indicielle avec régulateur PI courbe 1, avec régulateur PID courbes (2, 3,4).	34
Fig.II.12. Étapes du réglage manuel d'un régulateur PID : 1) réglage de P,2) réglage PI, 3) réglage PID.....	35
Fig.II.13. graphe représentatif du protocole de la méthode expérimentale de Ziegler-Nichols...36	

CHAPITRE III

Fig.III.1. schéma simplifié d'un tank stérile pour le stockage.	39
Fig.III.2.: grafct de fonctionnement du tank stérile APV comprenant les quatre cycles respectifs de processus : stérilisation, refroidissement, production et NEP.	46
Fig.III.3. Boucle de régulation d'air comprimé du TS APV, comprenant un transmetteur de pression, un régulateur et deux vannes de régulation à commande pneumatique.....	47

Liste des figures

Fig.III.4. Transmetteur de pression.	48
Fig.III.5. Vanne de régulation pneumatique.....	49

CHAPITRE IV

Fig.IV.1. Schéma de la double Boucle de régulation d'air comprimé à adapter sur le TS APV..	52
Fig.IV.2. Armoire de commande sur le tank stérile APV.....	52
Fig.IV.3. Menu de sélection PID sur le tableau de commande.	56
Fig.IV.4. Menu PID sur le tableau de commande.	57
Fig.IV.5. Menu de paramètres PID sur le tableau de commande.	58

Liste des abréviations

LTLT: Low Temperature Long Time (basse température longue durée).

HTST: High Temperature Short Time (haute température courte durée).

UHT : Ultra Haute Température.

API : Automate Programmable Industriel.

TS : Tank Stérile.

PID : Proportionnel Intégral Dérivé.

NIA : Nettoyage Intermédiaire Aseptique.

NEP : Nettoyage En Place.

PHE : échangeur de chaleur a plaque.

THE : échangeur de chaleur tubulaire.

$y(t)$: signale de sortie.

$yc(t)$: signale de consigne.

PO : Partie Opérative.

PC : Partie Commande.

PR : Partie Relation.

SCC : Système de Contrôle Commande.

PLC : Programmable Logic Controller.

TOR : Tout Ou Rien.

CPU : Central Processor Unit.

D : Dépassement maximal.

T_m : Temps de monté.

T_r : Temps de réponse.

$U(t)$: signale de commande.

$\mathcal{E}(t)$: signale d'erreur.

K : gain d'action proportionnel.

T_i : temps d'action intégrale.

T_d : temps d'action dérivé.

$R(p)$: fonction de transfert en continue.

$R(z)$: fonction de transfert en discret.

BP : Bouton Poussoir.

Introduction générale

Avant l'apparition du traitement thermique, le lait était une source d'infection, car il constitue un milieu de croissance parfait pour les micro-organismes. Le lait répandait parfois des maladies comme la tuberculose et le typhus. A la fin du 19^e siècle, le traitement thermique du lait était devenu si courant que la plupart des laiteries utilisaient ce procédé pour toute application. Le premier type de traitement thermique était un procédé discontinu consistant à chauffer le lait à 63°C en cuves ouvertes et à le maintenir à cette température pendant 30 minutes. Cette méthode est appelée "Holder Process" ou méthode LTLT (Basse température, longue durée). [1]

Aujourd'hui, le traitement thermique du lait s'effectue presque toujours selon un procédé continu comme, la pasteurisation HTST ou le traitement UHT.

L'arrivée de l'automatique dans l'industrie a permis de faire un grand pas en avant, où l'automatisation des chaînes de production facilite pour l'homme les tâches pénibles et répétitives, rajouter à ça un niveau de sécurité élevé qui a permis de réaliser des exploits inégalés auparavant. Il existe sur le marché de nombreux systèmes extrêmement souples que l'on pourrait probablement adapter à n'importe quelle installation de production. Ce que l'on attend surtout de ces systèmes, c'est de pouvoir évoluer selon les besoins. Il doit être possible de créer, pas à pas, un système de n'importe quelle taille, en ajoutant de nouveaux modules de commande issus du même système. Et ça grâce aux Automates Programmables Industriels qui offrent une meilleure adaptabilité aux systèmes de commande, tel que les régulateurs PID qui sont aujourd'hui de plus en plus intégrés dans les API et les plus utilisés dans les industries agroalimentaires.

Remarquant des pertes en énergies considérables et un bruit sonore néfaste aux employés travaillant à proximité. La problématique qui nous a été posée au sein de l'unité de production de l'industrie TCHIN LAIT CANDIA, est d'éliminer ces contraintes causées par la boucle de régulation par PID, qui commande deux vannes régulatrices pour la (charge/décharge) en air comprimé du tank de stockage aseptique (TS) APV.

Notre but est de comprendre le fonctionnement du processus de production et étudier le rôle du TS APV, afin de cerner la commande de la boucle de régulation d'air comprimé et pouvoir adapter notre apport bénéfique à l'industrie.

A cet effet, le présent mémoire est réparti en quatre chapitres décrivant les volets principaux suivants :

- Un préambule présentant le complexe TCHIN LAIT CANDIA.

Introduction générale

- Le premier chapitre englobera la description de production du lait longue conservation ou nous avons étudié chaque élément contribuant à cette production.
- Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude d'automatisation de la laiterie et en particulier les régulateurs PID servant à la commande de la boucle de régulation.
- Le troisième chapitre traitera la partie pratique de notre projet le fonctionnement plus le rôle du TS APV, ou l'on comprendra le procédé de régulation d'air comprimé associé à ce dernier.
- Le quatrième et dernier chapitre sera consacré à la solution apportée et aux étapes à suivre pour son adaptation.

Enfin, on termine par une conclusion générale et quelques perspectives.

1. Historique

La marque CANDIA est présente en Algérie depuis plusieurs années grâce à ses exportations de lait liquide, stoppées en 1998, suite à une hausse importante des taxes douanières.

Le lait en poudre CANDIA et surtout ses campagnes publicitaires, appréciés par la population algérienne, ont largement contribué à la notoriété de la marque sur le territoire algérien durant les années 1990.

Plusieurs industriels algériens se sont spontanément adressés à Candia afin de se lancer sur le marché du lait. Le projet de l'entreprise TCHIN LAIT, a retenu l'attention de « CANDIA » qui l'a choisi. On est en 1999 et une franchise CANDIA est née en Algérie.

2. Situation juridique et géographique :

Tchin-Tchin est une société privé de droit Algérien, constitué en SARL (Société à Responsabilité Limité) elle était, à l'origine, une entreprise familiale, spécialisée dans les boissons gazeuses depuis 1952.

Elle a, de ce fait, capitalisé une longue expérience dans le conditionnement des produits sous forme liquide. L'arrivée des grandes firmes multinationales sur le marché des boissons gazeuses et la multiplication du nombre de limonadiers locaux l'a contraint à réviser sa stratégie ; d'où l'idée d'une reconversion vers le lait UHT, qui a donné naissance à Tchin-Lait.

3. Mission de l'entreprise :

La mission principale de l'entreprise TCHIN LAIT « CANDIA est de satisfaire les besoins du marché du lait UHT. L'activité principale de l'entreprise est la production du lait UHT qui est: un mélange d'eau adouci à une dureté inférieur à 15 degrés et de la poudre de lait de qualité telle que prédéfinie par l'entreprise mère CANDIA, s'il faut le rappeler le leader européen du lait. Candia veut d'avantage pénétrer dans les mélanges en modulant la composition de ses produits en fonction des apports nutritionnels que nécessite telle morphologie et telle déficience chez le consommateur ; le choix entre le lait constitué entier, le lait partiellement écrémé, le lait au chocolat et le lait additionné a du jus de fruits.

4. Choix du lait UHT

Le lait constitue l'un des produits de base de notre alimentation. Il apparaît comme un produit indispensable à la santé, source de vie et de croissance, possédant des vertus nutritionnelles spécifiques et très bénéfiques, en particulier sa teneur en calcium.

Le lait représente l'un des plus importants marchés de l'univers alimentaire. L'Algérie est l'un des plus grands importateurs mondiaux de lait ; elle représente un marché de plus de 3 milliards de litres/an, soit 100 litres/habitant/an.

Le choix du procédé UHT (lait traité à Ultra Haute Température, permettant une conservation longue durée hors chaîne de froid) résulte du fait que le lait existant en Algérie est un lait frais pasteurisé, il requiert la continuité et la non rupture de la chaîne de froid, depuis son conditionnement jusqu'à sa consommation finale, en passant par son stockage et son transport. Or, la température peut atteindre les 40°C en été dans les régions Nord de l'Algérie et plus dans les régions du sud. La mise en place et le respect de la chaîne de froid nécessitent une organisation tenant compte de la courte durée de conservation du lait et une flotte dotée de camions réfrigérés, ce qui n'est pas habituellement le cas :

- le lait pasteurisé est parfois vendu au consommateur à une température deux à six fois supérieure à la température exigée par la législation (+6°C).
- la chaîne de froid est quasi inexistante chez le détaillant et souvent défaillante chez le distributeur et le producteur.

5. La laiterie TCHIN-LAIT

TCHIN LAIT est une laiterie moderne, construite sur une superficie totale de 6.000m², comprenant :

- Un atelier de production : reconstitution du lait, traitement thermique et conditionnement.
- Un laboratoire : pour analyses micro biologiques et physico-chimiques du lait.
- Les utilités : Chaudières, station de traitement des eaux, compresseurs, groupes électrogènes, onduleurs, station de froid.
- Administration Générale (Direction générale et administration, Direction marketing et vente, Direction qualité, Direction achats et approvisionnements, Direction finances et comptabilité).

- Dépôt de stockage des produits finis, pouvant contenir près de 3 millions de litres. Ce dépôt sert aussi de plateforme d'expédition, pour la livraison des distributeurs, à travers tout le territoire national.

La gamme de produits TCHIN LAIT est constituée actuellement de :

- **Lait longue conservation** : Conditionné en emballage Tetra Pak ou Combibloc 1litre.
 - Lait stérilisé UHT (Ultra haute Température), partiellement écrémé, à dominante Bleue. Existe aussi en conditionnement 50cl.
 - Lait stérilisé UHT (Ultra haute Température), ENTIER, à dominante Rouge.
 - Lait stérilisé UHT Silhouette, écrémé (sans matière grasse), à dominante verte, enrichi en vitamine D.
 - Lait stérilisé UHT Viva, partiellement écrémé, enrichi en vitamines B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12, E, D.
- **Laits boissons**:
 - Lait stérilisé UHT au chocolat, dénommé « Candy Choco », en emballage 1l et 20cl.
 - Lait additionné de jus de fruits (Orange-Ananas et Pêche-Abricot), dénommé « Lait & Jus » et « Candy Jus », en emballage 20cl, avec paille.
- **Poudre Instantanée** : lait entier en poudre, enrichi en vitamine A et D. Contenance : étui de 500g.
- **Boissons aux fruits** : Conditionné en emballage Tetra Pak 20cl avec paille et en emballage Combibloc 1L
 - Boisson à l'Orange.
 - Cocktail de fruits.
 - Citronnade (Boisson au Citron) : disponible au format 1 litre seulement.

Les capacités de conditionnement actuelles sont comme suit :

- Format 1l : 740.000 litres/jour.
- Format 20cl : 96.000 litres/jour (480.000 emballages 20cl).

6. Structure de l'entreprise TCHIN LAIT

L'entreprise est dotée d'une structure fonctionnelle composée de sept (07) fonctions principales.4

- **Direction administration générale** : Cette direction elle s'occupe de la gestion administrative de l'entreprise ainsi que de la gestion du personnel.

- **Direction Production/Technique (PROTECH) :** Elle est divisée en deux services :

- **Service production :** Ce service s'occupe du :

Process (réception, reconstitution et traitement thermique du produit),

Packaging (conditionnement des produits finis, suremballage (fardelage et palettisation).

- **Service technique :** Qui a pour fonctions l'entretien mécanique, électrique et électronique des machines de traitement et conditionnement du lait, la gestion des stocks pièces de rechange ainsi, l'entretien des utilités (chaudières, compresseurs, bacs à eau glacée, chambres froides, station de traitement des eaux).

- **Direction QUALILAB :** Elle est divisée en deux services :

- **Laboratoire :** Elle se consacre au contrôle de la qualité du produit, à toutes les étapes de la production (de la matière première au produit fini). Il existe deux (02) laboratoires :

- Physico-chimie : Contrôle des paramètres physico-chimiques du produit (taux de matière grasse, acidité, PH,...etc.).

- Microbiologie : Contrôles de stérilité du produit.

- **Management de la qualité :** Mise en place et suivi du système de management de la qualité.

- **Direction commerciale :** Cette direction assure les fonctions :

- **D'approvisionnement :** Achat matières premières pour les besoins de fonctionnement (services achats locaux et service achats étrangers).

- **Gestion des stocks :** Matières premières.

- **Direction marketing et ventes :** Se subdivise en service marketing, force de vente et centres de distribution.

- **Direction finance et comptabilité :** Elle est consacré à la comptabilité générale, comptabilité analytique et service budget (finances).

I.1. Introduction

Dans une laiterie, le lait cru ou reconstitué (en poudre) passe par plusieurs phases de traitement, dans différents types de matériels, avant d'atteindre le consommateur sous forme de produit fini raffiné. La production s'effectue habituellement en continu, dans un procédé fermé dont les principaux éléments sont raccordés par un système de tuyauteries. Le type de traitement appliqué et la conception du procédé dépendent du produit fini, ce présent chapitre nous éclairera sur tout ce qui a été dit dans cette introduction.

I.2. Historique du traitement UHT [2]

Le traitement UHT (ultra haute température) avait été mis au point en Suisse en 1961 et avait cependant bouleversé le mode de conditionnement et de distribution du lait mais son intérêt économique se manifeste quand cette technique fut associée au conditionnement en carton développé par la société suédoise Tetrapak.

En 1962, la première chaîne de traitement UHT avec conditionnement aseptique en carton démarrait en Suisse .le procédé fut adopté dans les autres pays au cours des années 60.

En termes de conservation, il présentait des avantages décisifs sur la pasteurisation et, sur le plan organoleptique, se traduisait par un net progrès par rapport au lait stérilisé.

Le traitement UHT permet aujourd'hui de conserver trois mois le lait à température ambiante alors que le lait pasteurisé, qui doit être entreposé au froid, ne se conserve que quelque jour. Par rapport au lait stérilisé, l'avancée est qualitative car le goût de cuit est sensiblement atténué. Mais ce sont les laiteries et les distributeurs qui sont les principaux bénéficiaires du procédé car ils ne sont plus contraints d'assurer un transport frigorifique et un stockage au froid, d'où des gains conséquents.

En fait, la méthode UHT, dénomination réglementée par un décret de 1977 imposant un conditionnement aseptique, n'est autre qu'une stérilisation ultracourte du lait en flux continu.

I.3. Considérations relatives à la conception du procédé [1]

De nombreux aspects doivent être pris en compte lors de la conception d'une ligne de traitement. Ils peuvent être variables et extrêmement complexes, ce qui exige des personnes chargées de l'étude préliminaire, un travail considérable. L'étude technique du projet nécessite toujours un compromis entre les différentes exigences suivantes:

- Exigences relatives au produit - matière première, traitement de celle-ci et qualité du produit fini.
- Exigences relatives au procédé - capacité de l'unité, choix des éléments et compatibilité de ceux-ci, niveau de régulation du procédé, disponibilité des fluides de chauffage et de refroidissement, nettoyage du matériel de traitement etc.
- Exigences économiques - coût total de production, aux standards de qualité requis, aussi bas que possible.
- Exigences légales - législation stipulant les paramètres de traitement, ainsi que le choix des composants et solutions du système.

I.4. Exigences légales [1]

Dans la plupart des pays où l'on transforme le lait en différents produits, la législation formule certaines exigences, destinées à protéger les consommateurs contre l'infection par des micro-organismes pathogènes. La formulation et les recommandations peuvent différer, mais on trouvera regroupées ci-dessous les exigences légales les plus fréquentes :

- **Traitement thermique**

Le lait doit subir un traitement thermique détruisant tous les micro-organismes pathogènes. Ce traitement doit assurer une température et un temps de chambrage minimum de 72°C pendant 15 secondes.

- **Enregistrement**

La température de chauffage doit être enregistrée automatiquement et le relevé conservé pendant un laps de temps stipulé.

- **Clarification avant traitement thermique**

Le lait contenant des substances solides du type particules de poussière, leucocytes (globules blancs) et cellules somatiques (du tissu mammaire), doit être clarifié. La pasteurisation risque d'être moins efficace si des bactéries sont nichées dans des grumeaux et particules du lait, aussi faut-il effectuer une clarification en amont du chauffage. Le lait peut être clarifié dans un filtre ou, plus efficacement, dans un clarificateur centrifuge.

- **Prévention de la recontamination**

Les échangeurs de chaleur sont calculés de manière à maintenir une pression plus élevée dans l'écoulement de lait pasteurisé que dans le lait non pasteurisé et les fluides de service. En cas de fuite dans l'échangeur de chaleur, c'est le lait pasteurisé qui doit s'écouler dans le lait non

pasteurisé ou le fluide de refroidissement et non le contraire. Une pompe de surpression est souvent nécessaire pour assurer cette protection et elle est même exigée par la législation de certains pays. En cas de baisse de température dans le produit pasteurisé, due à une pénurie momentanée de fluide de chauffage, l'installation devra être équipée d'une vanne de dérivation, ramenant le lait insuffisamment chauffé dans le bac de lancement.

I.5. Production du lait de longue Conservation

Deux méthodes sont utilisées pour la production de lait de longue conservation.

I.5.1. Stérilisation en récipients

Consistant à chauffer le produit et l'emballage (récipient) à environ 116°C pendant environ 20 minutes. Stockage à la température ambiante.

I.5.2. Traitement à Ultra Haute Température (UHT)

Dans une installation UHT moderne, le lait circule dans un système fermé ou il est préchauffé, traité à température élevée, homogénéisé, refroidi et conditionné de manière aseptique. Les produits liquides à faible acidité (pH compris entre 4,5 et 6,5 pour le lait) sont habituellement traités à 135 - 150°C pendant 4 à 15 secondes, par chauffage indirect, injection de vapeur directe ou infusion. Est l'industrie TCHIN LAIT « CANDIA » utilise un traitement UHT à 140 °C pendant une période de 4 secondes

Le traitement UHT est un procédé rapide et influe beaucoup moins sur le goût du lait. [3]

I.6. Procédés UHT

Le traitement UHT est une technique permettant la conservation des produits alimentaires liquides en les exposant à un chauffage bref et intensif. Il détruit les micro-organismes présents dans le produit.

Ceci ne vaut que si le produit demeure dans des conditions aseptiques, aussi faut-il éviter toute réinfection en conditionnant le produit dans des matériaux d'emballage pré-stérilisés, dans des conditions aseptiques, après son traitement thermique.

Tout stockage intermédiaire entre le traitement et le conditionnement doit être effectué dans des conditions aseptiques. C'est pourquoi l'on appelle également le traitement UHT traitement aseptique. [4]

I.7. Installations UHT

Les installations UHT sont entièrement automatisées et connaissent quatre modes de fonctionnement : pré-stérilisation de l'installation, production, NIA (Nettoyage Intermédiaire Aseptique) et NEP (Nettoyage En Place).

La sécurité devra constituer une préoccupation majeure, lors de la conception d'une installation UHT.

Tout risque de fourniture d'un produit non stérilisé à la machine de remplissage aseptique devra être éliminé. Des verrouillages des programmes de commande devront assurer la protection contre les erreurs de l'opérateur et les manipulations non autorisées du procédé. Ainsi, par exemple, il devra être impossible de lancer la production si l'installation n'est pas pré-stérilisée correctement.

Toutes les suites d'opérations liées à la mise en marche, au fonctionnement et au nettoyage de l'installation sont lancées depuis un tableau de commande contenant tout l'équipement nécessaire à la commande, au contrôle et à l'enregistrement du procédé. [1]

I.8. Différents systèmes UHT

Il existe deux principaux types de systèmes UHT sur le marché.

I.8.1. Systèmes directs :

Le produit entre en contact direct avec le fluide de chauffage, que suit un refroidissement instantané dans un récipient sous vide et enfin un nouveau refroidissement indirect à la température de conditionnement. Les systèmes directs se divisent en deux [4] :

- Systèmes à injection de vapeur (injection de vapeur dans le produit)
- Systèmes à infusion dans la vapeur (introduction du produit dans un récipient rempli de vapeur)

I.8.2. Systèmes indirects :

La chaleur est transmise du fluide de chauffage au produit à travers une paroi (plaque ou tube) [4].

Les systèmes indirects peuvent être basés sur :

- Des échangeurs de chaleur à plaques
- Des échangeurs de chaleur tubulaires

- Des échangeurs de chaleur à surface raclée

Il est en outre possible de combiner les échangeurs de chaleur dans les systèmes indirects, en fonction des exigences du produit et du procédé.

Le système UHT dont dispose le tank stérile APV est un système indirecte avec échangeur de chaleur tubulaire est des échangeurs de chaleur a plaque sont aussi utilisés dans d'autres compartiments de l'industrie.

I.9. Installation de traitement UHT indirect à échangeurs de chaleur à plaques

La capacité des installations UHT du type à chauffage indirect peut atteindre 30 000 l/h. schéma de principe standard sur la figure I.1.

Le produit à environ 4°C est pompé de la cuve de stockage dans le bac tampon (1) de l'installation UHT et, de là, dans la section de chauffage par récupération de l'échangeur à plaques (3), par la pompe d'alimentation (2). Le produit y est chauffé à environ 75°C par le lait ayant subi le traitement UHT, qui est refroidi simultanément. Le produit réchauffé est ensuite homogénéisé (4) à une pression de 18 à 25 MPa (180 à 250 bars). Le produit préchauffé homogénéisé poursuit son chemin jusqu'à la section de chauffage de l'échangeur de chaleur à plaques, où il est chauffé à 140°C. Le fluide de chauffage utilisé est de l'eau chaude en circuit fermé, dont la température est régulée par injection de vapeur (5) dans l'eau. Après chauffage, le produit passe dans le chambreur (6), dimensionné de manière à assurer un séjour de 4 secondes environ.

Enfin, le produit subit un refroidissement par récupération, en deux temps : d'abord par le circuit d'eau chaude, puis par le produit froid en entrée. En sortie du, le produit gagne directement le conditionnement aseptique.

En cas de chute de température en cours de production, le produit est dérivé dans une cuve de rejet et l'installation est rincée à l'eau. L'installation devra être nettoyée et stérilisée avant d'être remise en marche. [1]

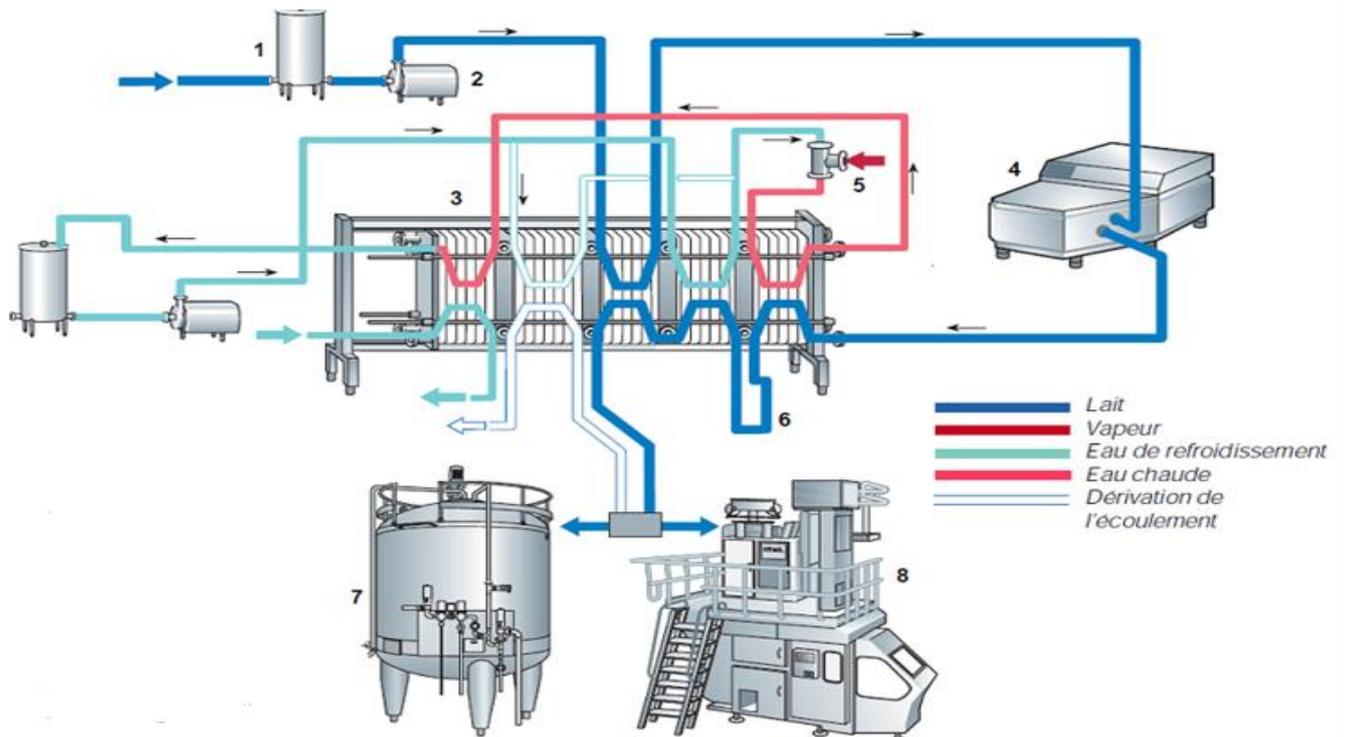


Fig.I.1. Système UHT indirect à chauffage dans un échangeur de chaleur à plaques. [1]

- 1 Bac tampon
- 2 Pompe d'alimentation
- 3 Echangeur de chaleur à plaques
- 4 Homogénéisateur
- 5 Injecteur de vapeur
- 6 Chambreur
- 7 Cuve aseptique
- 8 Remplissage aseptique

I.10. Installation de traitement UHT indirect à échangeurs de chaleur tubulaires

On utilise un système tubulaire pour le traitement UHT de produits de viscosité faible ou moyenne, susceptibles ou non de contenir des particules ou des fibres. Le terme viscosité moyenne est un concept vague, la viscosité d'un produit pouvant varier en fonction de la matière première, des additifs et du traitement mécanique.

Les systèmes tubulaires sont en outre fréquemment utilisés lorsque des temps de traitement prolongés s'imposent, pour les produits laitiers courants du commerce.

Le principe de traitement, illustré sur la figure I.2, n'est pas très différent de celui de l'installation UHT à échangeur de chaleur à plaques.

L'échangeur de chaleur tubulaire comporte un certain nombre de tubes réunis en modules, qui peuvent être raccordés en série et/ou en parallèle, de manière à constituer un système complet optimisé. [1]

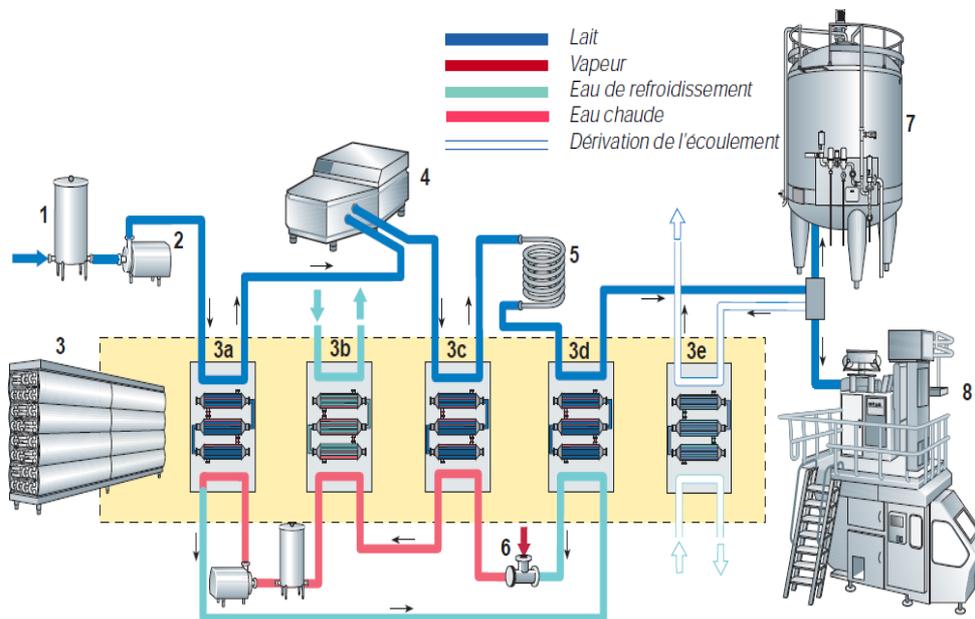


Fig.I.2. Système UHT indirect à échangeurs de chaleur tubulaires. [1]

- 1 Bac tampon
- 2 Pompe d'alimentation
- 3 Echangeur de chaleur tubulaire
- 3a Section de préchauffage
- 3b Section de refroidissement moyenne
- 3c Section de chauffage
- 3d Section de refroidissement par récupération
- 3e Section de pré refroidissement
- 4 Homogénéisateur non aseptique
- 5 Chambreur
- 6 Injecteur de vapeur
- 7 Cuve aseptique
- 8 Conditionnement aseptique

I.11. Principes de transfert thermique

Tout le transfert thermique en laiterie s'effectue sous forme de convection et de conduction. On utilise deux principes : le chauffage direct et indirect.

I.11.1. Chauffage direct

Chauffage direct signifie que le fluide de chauffage est mélangé au produit. On utilise cette technique :

- pour chauffer l'eau. De la vapeur est injectée directement dans l'eau et transfère sa chaleur à cette dernière, à la fois par convection et conduction.
- pour chauffer des produits comme le caillé, dans la fabrication de certains types de fromage (en mélangeant de l'eau chaude au caillé), et pour stériliser le lait par la méthode directe (injection de vapeur ou infusion de lait dans la vapeur).

La méthode directe d'échange thermique est efficace pour un chauffage rapide. Elle implique, cependant, le mélange du produit au fluide de chauffage et ceci exige certaines opérations lors du traitement ultérieur.

Elle implique également des exigences strictes de qualité du fluide de chauffage. La législation de certains pays interdit le chauffage direct, au motif qu'il introduit dans le produit une substance étrangère. [4]

I.11.2. Chauffage indirect

L'échange thermique indirect est donc la méthode la plus fréquemment utilisée en laiterie. Dans cette méthode, une cloison est disposée entre le produit et le fluide de chauffage ou de refroidissement. La chaleur est alors transférée du fluide au produit à travers la cloison, comme illustré sur la figure I.3.

Supposons que le fluide de chauffage est constitué par de l'eau chaude, circulant d'un des côtés de la cloison, et que du lait froid circule de l'autre côté. La cloison est donc chauffée du côté fluide de chauffage et refroidie du côté produit. Dans un échangeur de chaleur à plaques, la plaque constitue la cloison. [4] Il existe une couche limite des deux côtés de la cloison. La vitesse des liquides est ralentie par le frottement, jusqu'à être pratiquement nulle au niveau de la couche limite en contact avec la cloison. La couche immédiatement à l'extérieur de la couche limite n'est ralentie que par le liquide de la couche limite et sa vitesse est donc faible.

La vitesse augmente progressivement et atteint son niveau le plus élevé au centre du conduit.

De même, la température de l'eau chaude est la plus élevée au milieu du conduit. Plus l'eau est proche de la cloison et plus elle est refroidie par le lait froid présent de l'autre côté. La chaleur est transférée à la couche limite par convection et conduction. Le transfert à travers la paroi, de la couche limite à celle située de l'autre côté, s'effectue presque entièrement par conduction, alors

que le transfert ultérieur au lait dans la partie centrale du conduit s'effectue à la fois par conduction et convection.

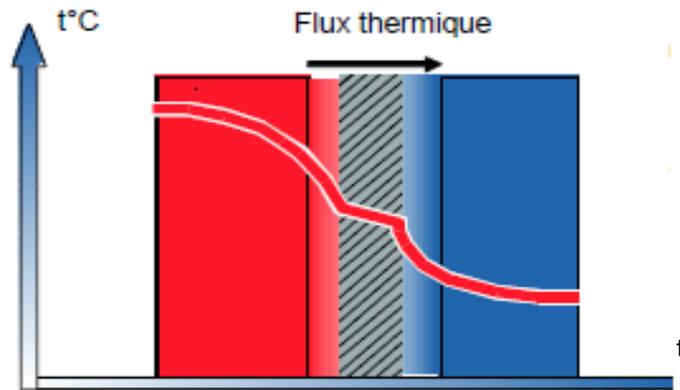


Fig.I.3. Graphe de transfert thermique indirect dans un échangeur de chaleur. [1]

I.12. Echangeurs de chaleur à plaques [5]

La plus grande partie du traitement thermique des produits laitiers s'effectue dans des échangeurs de chaleur à plaques. L'échangeur de chaleur à plaques (Souvent appelé PHE en abrégé) est constitué d'un ensemble de plaques en acier inoxydable, fixé sur un bâti.

Le bâti peut contenir plusieurs ensembles de plaques distincts ou sections voire la figure I.4 qui montre Principes d'écoulement et d'échange thermique dans un échangeur de chaleur à plaques. Dans lesquels s'effectuent les différentes phases du traitement : préchauffage, chauffage final et refroidissement.

Le fluide de chauffage est de l'eau chaude et le fluide de refroidissement de l'eau froide, de l'eau glacée ou du glycol propylique, suivant la température du produit en sortie requise.

Les plaques sont cannelées selon un dessin destiné à assurer une transmission de chaleur optimale.

L'ensemble de plaques est comprimé dans le bâti. Des points d'appui sur les cannelures écartent les plaques les unes des autres, formant de minces canaux entre elles.

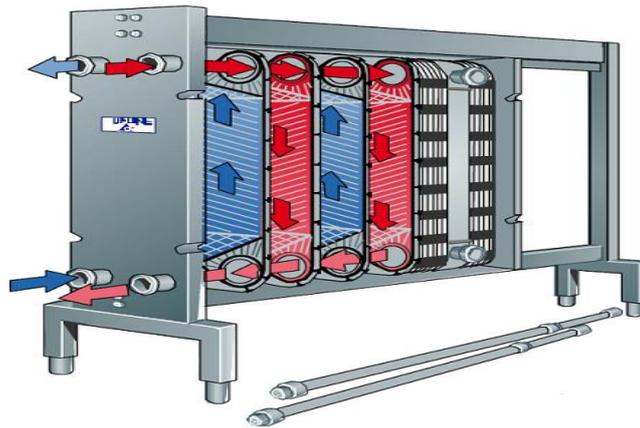


Fig.I.4. Principes d'écoulement et d'échange thermique dans un échangeur de chaleur à plaques.[1]

I.13. Echangeurs de chaleur tubulaires [5]

Les échangeurs de chaleur tubulaires (THE) s'utilisent dans certains cas pour la pasteurisation et le traitement UHT des produits laitiers. A la différence des échangeurs de chaleur à plaques, l'échangeur de chaleur tubulaire, illustré sur la figure I.5, ne présente aucun point de contact dans les conduits de produit et peut donc traiter des produits contenant des particules, jusqu'à une certaine taille. La taille maximale des particules dépend du diamètre du tube.

L'échangeur de chaleur tubulaire peut également fonctionner plus longtemps entre deux nettoyages que l'échangeur de chaleur à plaques, lors du traitement UHT.

Du point de vue du transfert thermique, l'échangeur de chaleur tubulaire est moins efficace qu'un échangeur de chaleur à plaques. Les échangeurs de chaleur tubulaires sont disponibles en deux types fondamentalement différents : monocanal ou multicanaux et monotube ou multitube.

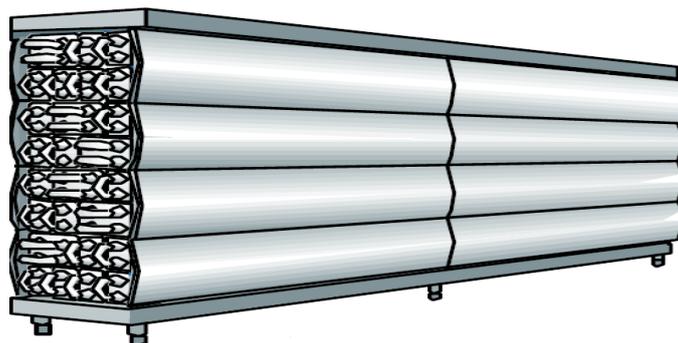


Fig.I.5. Echangeur de chaleur tubulaire assemblée en un ensemble compact. [1]

I.14. Dégazage sur la ligne de traitement du lait [1]

L'air est présent dans le lait sous trois états :

1. Dispersion
2. Solution
3. Liaison chimique

Pour éliminer l'air et les gaz le lait est amené au pasteurisateur et chauffé à 68°C. Il gagne ensuite le dégazeur. Pour optimiser l'efficacité, le lait entre tangentiellement dans la chambre à vide par un orifice de grandes dimensions, ce qui entraîne la formation d'un mince film de lait sur la paroi. La dilatation du lait vaporisée à l'entrée accélère l'écoulement du lait vers le bas de la paroi comme illustré dans la figure I.6.

La vitesse diminue pendant la descente vers l'orifice de sortie, disposé lui aussi tangentiellement. Les débits d'entrée et de sortie sont donc identiques.

Le lait dégazé, désormais à une température de 60°C, est séparé, standardisé et homogénéisé avant de revenir au pasteurisateur pour y subir son traitement thermique définitif.

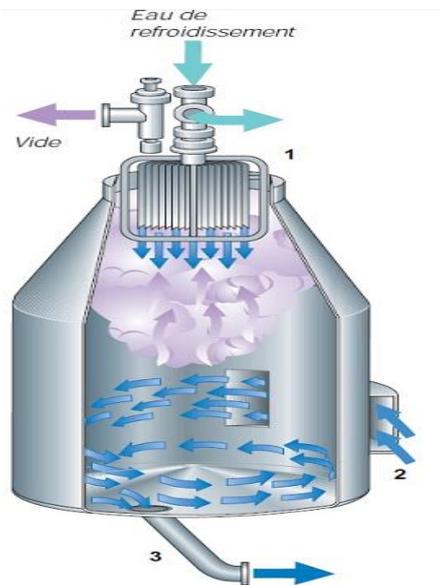


Fig.I.6. Circulation du lait et de l'air dans le dégazeur sous vide à condenseur incorporé. [1]

- 1 Condenseur incorporé
- 2 Entrée tangentielle du lait
- 3 Sortie du lait avec système de régulation du niveau

I.15. Homogénéisateur dans la ligne de traitement [1]

En général, l'homogénéisateur illustré sur la figure I.7 est placé en phase montante, c'est à dire avant la section de chauffage final d'un échangeur de chaleur voire la figure I.8.

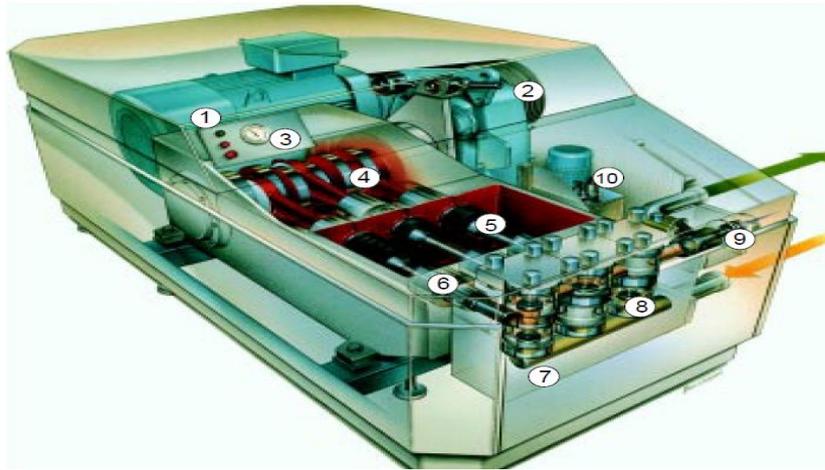


Fig.I.7. L'homogénéisateur. [1]

- 1 Moteur d'entraînement principal
- 2 Transmission par courroie trapézoïdale
- 3 Indicateur de pression
- 4 Carter
- 5 Piston
- 6 Cartouche de garnitures de piston
- 7 Bloc-pompe monobloc en acier inoxydable
- 8 Clapets
- 9 Tête d'homogénéisation
- 10 Système de réglage de pression hydraulique

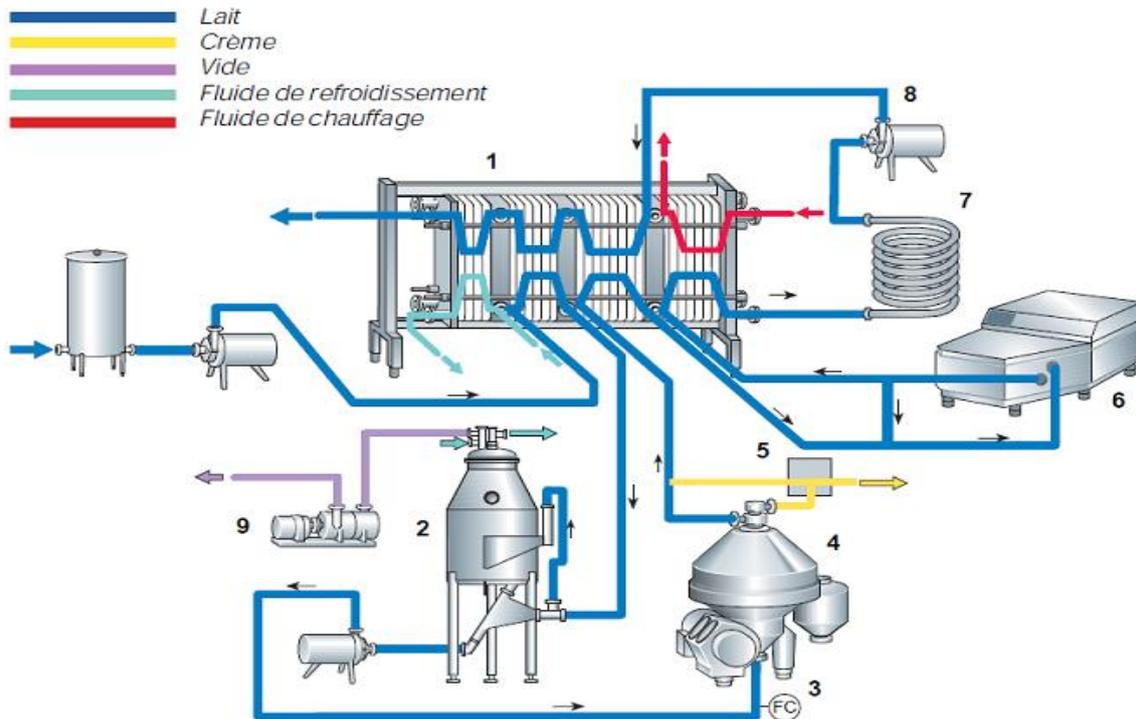


Fig.I.8. Unité de traitement du lait avec dégazeur et homogénéisateur. [1]

- 1 Pasteurisateur
- 2 Dégazeur
- 3 Régulateur de débit
- 4 Séparateur
- 5 Unité de standardisation
- 6 Homogénéisateur
- 7 Chambreur
- 8 Pompe de surpression
- 9 Pompe à vide

I.16. Chambrage [1]

Un traitement thermique correct exige le maintien du lait à la température de pasteurisation pendant une durée spécifiée. Ceci s'effectue dans un chambreur extérieur.

Un chambreur est habituellement constitué d'un tube hélicoïdal ou en zig-zag sur la figure I.9 en voie un chambreur à tube en zig-zig. Ils sont souvent recouverts d'une enveloppe métallique évitant aux opérateurs de se brûler s'ils touchent le chambreur.

La longueur du tube et le débit sont calculés de manière à ce que le temps dans le chambreur soit égal au temps de chambrage requis.

Une régulation précise du débit est primordiale car le chambreur est dimensionné pour un temps de chambrage spécifié à un débit donné. Le temps de chambrage varie en proportion inverse du débit dans le chambreur.

On utilisait autrefois des sections de chambrage intégrées à l'échangeur de chaleur à plaques, mais on emploie aujourd'hui presque exclusivement des chambreurs extérieurs.



Fig.I.9. Chambreur à tube en zig-zag. [1]

I.17. Refroidissement

En sortie de la section de chambrage, le lait est ramené aux sections de récupération, pour refroidissement.

Le lait stérilisé sortant est alors réfrigéré à l'aide d'eau froide, d'eau glacée, d'une solution de glycol ou d'un autre fluide frigorigène, suivant la température désirée qui est de 25°C.

Après refroidissement le produit passe à la phase de stockage aseptique dans des tanks stériles, on trouvera dans le chapitre III toutes les informations nécessaires sur ce dernier (principe de fonctionnement, avantage ... etc.).

I.18. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de voir les principales phases de traitement du lait depuis son arrivée jusqu'au stockage aseptique, ou on a présenté le type de traitement utilisé au sein de la laiterie TCHIN LAIT « CANDIA », ainsi que les types et les principes de fonctionnement nécessaires à ce dernier qui est un traitement UHT.

Dans le chapitre suivant, on détaillera le contrôle automatique et la commande des procédés qui sont nécessaires à la production.

II.1. Introduction

Dans un procédé industriel, chaque boucle de régulation a pour objectif de maintenir une grandeur physique dite (grandeur réglée) égale à une valeur souhaitée dite (Consigne), quelles que soient les variations des grandeurs perturbatrices, à l'aide d'un actionneur agissant sur une grandeur réglante. C'est un dispositif : matériel ou logiciel nommé (régulateur) qui détermine le signal de commande de l'actionneur. Un régulateur ou correcteur PID pour (Proportionnel Intégral Dérivé) est le plus utilisé dans l'industrie il effectue une régulation en boucle fermée d'une grandeur physique d'un système industriel ou procédé En fonction des performances souhaitées, imposées par le cahier des charges du procédé.

II.2. Commande automatique

Elle consiste à remplacer l'intervention humaine par celle d'un dispositif approprié qui devra, à partir des informations qu'il reçoit et selon des règles qui le régissent, piloter le processus en vue d'amener la sortie 'y' à suivre une trajectoire imposée (consigne) 'y_c'.

L'automatisation a un grand intérêt quand il s'agit de piloter avec précision et en toute sécurité des systèmes rapides et complexes.

Les objets que l'automatique permet de concevoir pour procéder à l'automatisation d'un système (automates et régulateurs) s'appellent les automatismes ou les organes de contrôle-commande d'un système piloté.

II.3. Système automatisé

L'automatisation d'une production consiste à transformer l'ensemble des tâches de commande et de surveillance, réalisées par des opérateurs humains, dans un ensemble d'objets techniques appelés partie commande. Cette dernière mémorise le savoir-faire des opérateurs, pour obtenir l'ensemble des actions à effectuer sur la matière d'œuvre, afin d'élaborer le produit final.

Les systèmes automatisés, utilisés dans le secteur industriel, possèdent une structure de base identique. Ils sont constitués de plusieurs parties plus ou moins complexes reliées entre elles qui sont [6] :

– la partie opérative (PO) : C'est la partie visible du système. Elle comporte les éléments du procédé, c'est à dire : Des pré-actionneurs (distributeurs, contacteurs), Des actionneurs (vérins, moteurs, vannes), Des capteurs ...etc.

– la partie commande (PC) ou système de contrôle/commande (SCC) : Ce secteur de l'automatisme gère selon une suite logique le déroulement ordonné des opérations à réaliser. Il reçoit des informations en provenance des capteurs de la Partie Opérative, et les restitue vers cette même Partie Opérative en direction des pré-actionneurs et actionneurs.

– la partie relation (PR) de plus en plus intégrée dans la partie commande : Sa complexité dépend de l'importance du système. Elle regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé, c'est à dire marche/arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique,...etc.

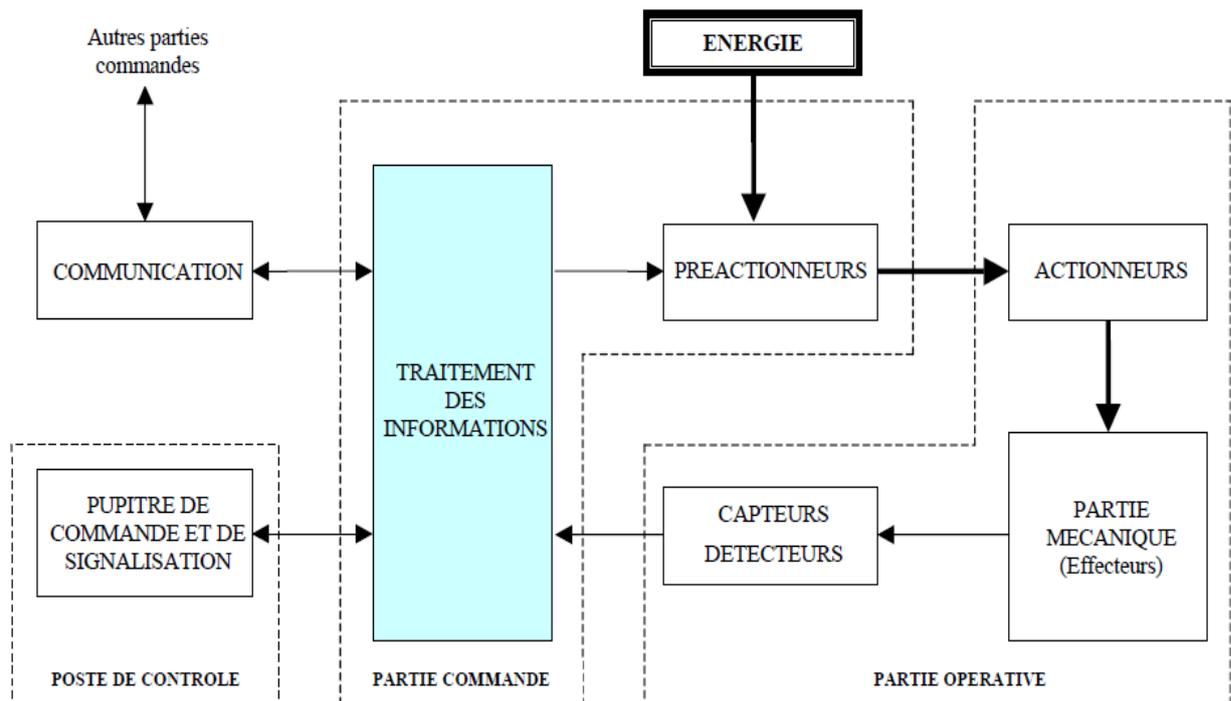


Fig.II.1. Structure d'un système automatisé. [6]

II.4. Automate Programmable Industrielle (API)

Un (API) Automate Programmable Industriel (ou Programmable Logic Controller PLC) est une machine électronique spécialisée dans la conduite et la surveillance en temps réel de processus industriels et tertiaires.

Il exécute une suite d'instructions introduites dans ses mémoires sous forme de programme, et s'apparente par conséquent aux machines de traitement d'information.

Trois caractéristiques fondamentales le distinguent des outils informatiques tels que les ordinateurs utilisés dans les entreprises et les tertiaires :

- Il peut être directement connecté aux capteurs et pré-actionneurs grâce à ses entrées/sortie industrielles ;
- Il est conçu pour fonctionner dans des ambiances industrielles sévères (température vibrations, microcoupures de la tension d'alimentation, parasites, etc.) ;
- Enfin, sa programmation à partir des langages spécialement développés pour le traitement des fonctions d'automatismes facilitent son exploitation et sa mise en œuvre.

Les informations qu'il traite peuvent être de type [7] :

- Tout ou rien (T.O.R.) : l'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1). C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir.
- Analogique : l'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température ...).
- Numérique : l'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire.

- Les automates compacts permettent de commander des sorties en T.O.R et gèrent parfois des fonctions de comptage et de traitement analogique.
- Les automates modulaires permettent de réaliser de nombreuses autres fonctions grâce à des modules intelligents que l'on dispose sur un ou plusieurs racks. Ces modules ont l'avantage de ne pas surcharger le travail de la CPU car ils disposent bien souvent de leur propre processeur.

La figure II.2 nous montre ces deux types d'automates.

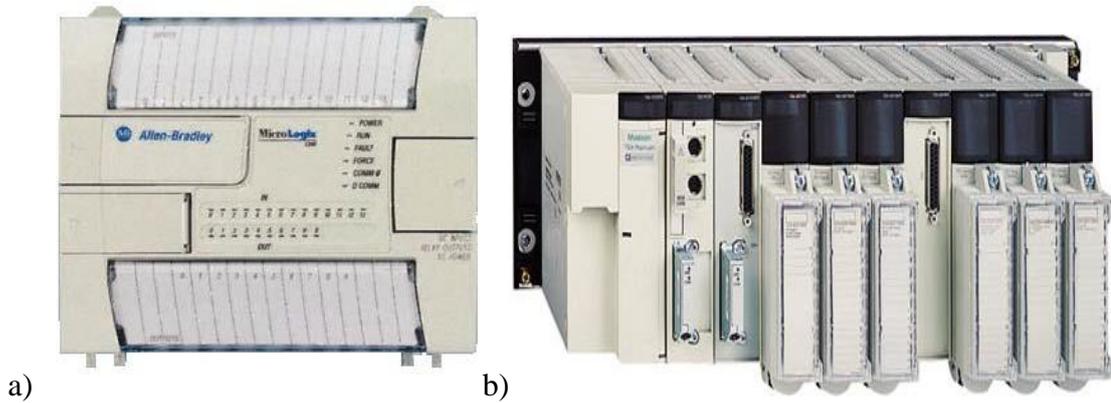


Fig.II.2. a) Automate compact (Allen-bradley) b) Automate modulaire (Modicon). [7]

II.5. Objectif de l'automatisation

Hors les objectifs à caractères financiers on trouve :

- Éliminer les tâches répétitives.
- Simplifier le travail de l'humain.
- Augmenter la sécurité.
- Accroître la productivité.
- Économiser les matières premières et l'énergie.
- S'adapter à des contextes particuliers.
- Maintenir la qualité.

II.6. Régulation d'un procédé [8]

L'objectif d'une régulation ou d'un asservissement est d'assurer le fonctionnement d'un procédé selon des critères prédéfinis par un cahier des charges. Les aspects de sécurité du personnel et des installations sont à prendre en compte comme ceux concernant l'énergie et le respect de l'environnement. Le cahier des charges définit des critères qualitatifs à imposer qui sont traduits le plus souvent par des critères quantitatifs, comme par exemple, de stabilité, de précision et de rapidité. On détaillera ses critères ci-dessous.

II.7. Procédé [8]

Le procédé est un terme général qui désigne un ensemble d'appareils destiné à obtenir un produit déterminé. L'évolution du procédé dépend d'une ou plusieurs grandeurs incidentes. Le procédé est caractérisé à l'aide d'une ou plusieurs grandeurs physiques mesurables à maîtriser

qui vont permettre de contrôler l'objectif fixé, la figure II.4 nous illustre un schéma simplifié d'un procédé.



Fig.II.3. Schéma simplifié d'un procédé. [8]

II.8. Asservissement et régulation [8]

Lorsqu'il y a un retour d'information de la grandeur observée sur le régulateur, on parle d'un asservissement du système ou d'une régulation du système. Bien que les outils et méthodes soient communs aux régulations et aux asservissements il est préférable de définir ces termes

II.8.1. Asservissement

La consigne, traduisant l'objectif désiré du procédé, n'est pas constante et les grandeurs perturbatrices n'existent pas ou sont très peu influentes sur la grandeur à maîtriser.

II.8.2. Régulation

La consigne, traduisant l'objectif désiré du procédé, est constante et les grandeurs perturbatrices influencent fortement sur la grandeur à maîtriser.

En résumé :

- Régulation : minimiser rapidement les perturbations.
- Asservissement: s'adapter rapidement aux nouvelles consignes. Ceci s'appelle aussi (poursuite).

II.9. Chaîne de régulation [8]

Afin d'obtenir le fonctionnement désiré, la régulation doit agir en continu sur le procédé. Pour cela il faut observer la grandeur à maîtriser (observation), comparer cette grandeur à celle désirée et déterminer l'action à entreprendre (réflexion) puis agir sur une ou plusieurs incidentes du procédé (action). On obtient alors une chaîne de régulation qui est représenté dans la figure II.4.

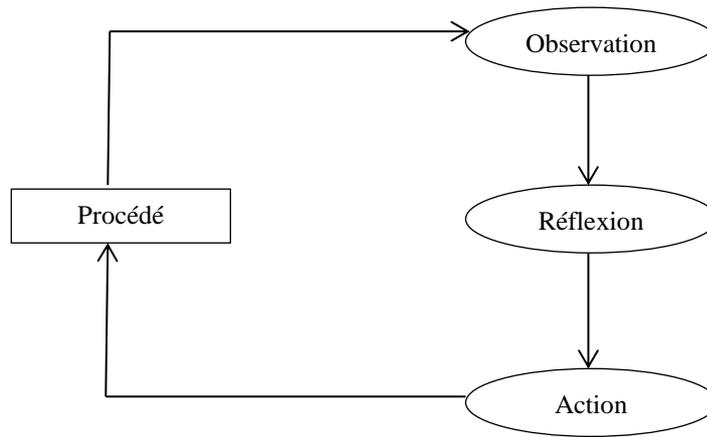


Fig.II.4. Schéma simplifié d'une chaîne de régulation. [8]

II.9.1. Chaîne ouverte de régulation

L'observation n'est pas celle de la grandeur à maîtriser mais celle d'une grandeur incidente. La réflexion est l'étape où la commande prend en compte une relation préétablie entre la grandeur observée et la grandeur incidente sur laquelle on agit. L'action modifie alors la grandeur à maîtriser. Cette chaîne de régulation est dite ouverte car l'action ne modifie pas la grandeur observée.

L'inconvénient majeur est que l'objectif fixé n'est généralement pas atteint complètement. En effet la relation liant la grandeur observée et la grandeur incidente réglante ne prend pas en compte les autres grandeurs incidentes perturbant la grandeur à maîtriser.

II.9.2. Chaîne fermée de régulation

L'observation se porte sur la grandeur à maîtriser. L'étape de réflexion détermine l'écart entre la grandeur observée et la grandeur à maîtriser. En fonction de cet écart et des règles d'évolution fixées, on en déduit l'action à entreprendre. L'action modifie la grandeur incidente réglante et donc la grandeur à maîtriser. Cette chaîne est dite fermée car l'action modifie la grandeur observée.

L'avantage d'une chaîne fermée est qu'une variation de la grandeur observée entraîne une variation de l'action : l'objectif fixé peut être alors atteint.

II.10. Qualités attendus d'une régulation [8]

Le cahier des charges simplifié de tout système bouclé s'énonce en trois points : stabilité, précision et rapidité de réponse.

II.10.1. Stabilité

La qualité essentielle pour un système régulé, et donc exigée à tout prix, est la stabilité. En effet un système instable se caractérise soit par des oscillations d'amplitude plus en plus grande de la grandeur observée, soit par une croissance irréversible négative ou positive de la grandeur observée. Dans les deux cas, l'objectif de la régulation n'est bien entendu pas atteint, mais surtout il y a risque de détérioration physique du procédé et donc d'insécurité

Dans une approche simplifiée, un système est considéré comme stable si, pour une variation d'amplitude finie de la consigne ou d'une perturbation, la mesure de la grandeur à maîtriser se stabilise à une valeur finie. Plus le régime transitoire d'un système soumis à une telle variation est amorti plus il est stable. Le degré de stabilité est alors caractérisé par l'amortissement de ce régime transitoire. Les deux schémas de la figure II.5 traduisent assez bien l'énoncé de ce paragraphe sur la stabilité.

II.10.2. Précision

Il est naturel d'évaluer la précision d'un système régulé en comparant l'objectif atteint par rapport à celui exigé. La précision d'un système régulé se mesure donc à l'écart entre la consigne demandée et la mesure en régime permanent ; on parle alors de précision statique. Plus l'écart statique est petit, plus le système est précis, l'évaluation de la précision statique s'effectue en réalisant une variation rapide de consigne en amplitude et en mesurant la variation d'amplitude finalement obtenue de la mesure.

La précision statique est une qualité importante à respecter pour des systèmes régulés. Cependant il ne faut pas oublier qu'un écart trop important en régime transitoire peut s'avérer néfaste au produit ou à l'installation. Dans l'industrie alimentaire, une température montée trop haut détruira les qualités gustatives du produit une pression instantanée trop élevée peut détruire un réservoir sous pression.

La précision dynamique est donc à prendre en compte lors des réglages des régulateurs. Elle s'évaluera généralement par le dépassement maximal D que peut prendre la mesure par rapport à la consigne. Comme nous le montre la figure II.6 suivante.

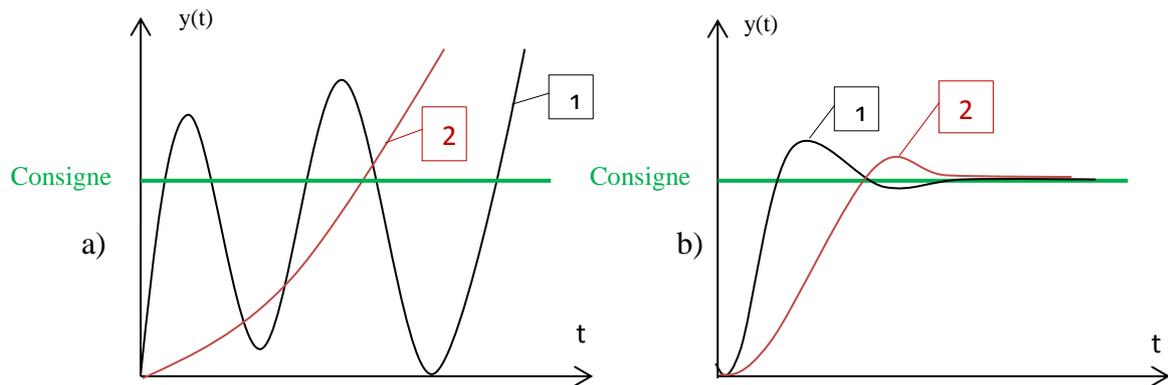


Fig.II.5. a) Évolution de deux systèmes régulés instables : inacceptable.

b) Systèmes régulés stables avec amortissement : acceptable. La courbe 2 est plus amortie que la courbe 1 : le système 2 est plus stable que le système 1. [8]

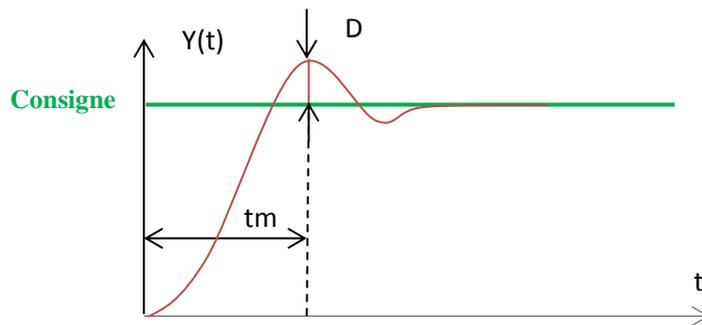


Fig.II.6. Courbe démonstratif de mesure du dépassement maximale d'un système régulé stable avec amortissement. [8]

II.10.3. Rapidité

La rapidité d'un système régulé s'évalue par le temps que met la mesure à entrer dans une zone à $\pm 5\%$ de sa variation finale (soit entre 95 % et 105 %). Ce temps s'appelle le temps de réponse à 5 % la figure II.8 nous le traduit bien .Le système régulé est d'autant plus rapide que le temps de réponse à 5 % est court.

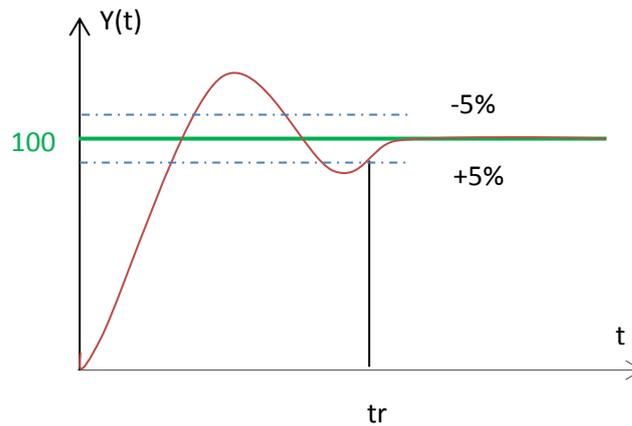


Fig.II.7. Courbe démonstratif de mesure du temps de réponse a 5% d'un système régulé stable avec amortissement. [8]

II.11. Types de régulateurs [9]

On peut classer les régulateurs de plusieurs façons :

Par la nature des signaux : électriques (numérique ou analogique), pneumatiques, mécanique

Par la nature de la grandeur réglante :

- les régulateurs continus ou analogiques dont le signal de sortie est continu,
- les régulateurs discontinus ou discrets dont le signal de sortie est un signal digital codé en binaire pour les régulateurs numériques,
- les régulateurs non linéaires: dont le signal de sortie est un signal binaire ou ternaire (c'est-à- dire à 2 ou 3 niveaux).

II.12. Régulateurs PID

Une catégorie de régulateurs des plus utilisée est celle des régulateurs dit PID. C'est un système d'auto régulation (boucle fermée), qui cherche à réduire l'erreur entre la consigne et la mesure. [10]

Ce type de régulateur est inséré dans la chaîne directe de l'asservissement, en série avec le processus, comme indiqué dans la figure.II.8.

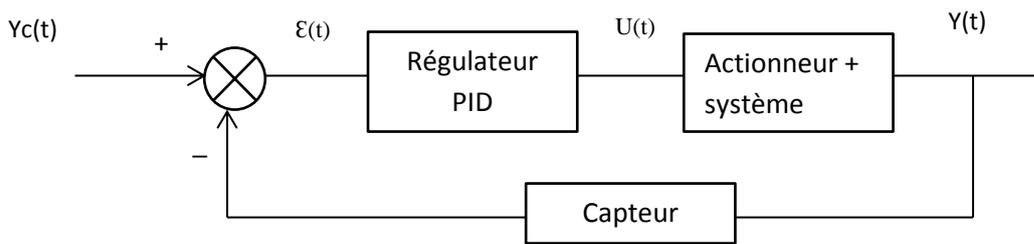


Fig.II.8. Principe d'action d'un régulateur de type PID dans une chaîne de régulation. [9]

Dans une chaîne industrielle, le signal $u(t)$ grandeur réglante, ainsi que le signal d'entrée $\varepsilon(t)$, sont des signaux électrique dont la plage de variation est normalisée : tension : 0-10 V, Courant : 0-20mA ou 4-20 mA. Ce type de régulateur élabore à partir du signal d'erreur $\varepsilon(t)$ une commande $u(t)$ combinaison des trois actions proportionnelle, intégrale et dérivée de la forme :

$$u(t) = A\varepsilon(t) + B \int_0^t \varepsilon(\theta)d\theta + C \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (1)$$

Il est donc conçu dans le domaine temporel comme la somme de trois actions, réglables par l'intermédiaire de trois paramètres : A, B, C . Sa structure "somme" permet une réalisation mettant en parallèle trois étages : proportionnel +intégral+ dérivé, Cette structure simple et facilement réglable est un des atouts principaux de ce type de régulateur [9].

Les trois paramètres A, B, C vu dans l'équation (1) sont en général normalisés et remplacés par trois paramètres ' canoniques ' K, T_i et T_d conduisant à une commande en continue de la forme :

$$u(t) = K \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(\theta)d\theta + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

Pour avoir une équivalence en numérique, on choisit une période d'échantillonnage « T_e » suffisamment petite, on pose « n » instant d'échantillonnage et l'équation différentielle (2) devient une équation aux différences tel que :

$$u[n] = K u[n - 1] \left[\varepsilon[n] + \frac{T_e}{T_i} \varepsilon[n] + \frac{T_d}{T_e} (\varepsilon[n] - \varepsilon[n - 1]) \right] \quad (3)$$

- Le coefficient K est dit gain d'action proportionnelle ;

- T_i est une constante de temps, exprimée en secondes, dite temps d'action intégrale;
- T_d est une constante de temps, exprimée en secondes, dite temps d'action dérivée.

Tout en sachant que les trois actions du régulateur agissent comme suite :

- L'action proportionnelle permet d'augmenter la rapidité et la précision dynamique.
- L'action intégrale annule l'erreur statique vis-à-vis de l'entrée et de la perturbation.
- L'action dérivée tend à stabiliser le système.

D'après l'équation (2), le régulateur PID continu possède une fonction de transfert de la forme :

$$R(p) = K \left[1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right] \quad (4)$$

II.13. Approche temporelle du régulateur PID [9]

Dans cette section, les régulateurs de types PID sont étudiés uniquement du point de vue temporel. On commence par donner les réponses temporelles typiques du système régulé, en fonction du réglage du régulateur. Ensuite on détaillera deux méthodes de réglage expérimental.

II.13.1. Représentation temporelle

II.13.1.1. Représentation pour un régulateur proportionnel (P):

La figure II.9 donne les réponses indicielles typiques pour un système régulé non intégrateur en boucle ouverte, pour quatre valeurs du gain telles que $K_0 < K_1 < K_2 < K_3$. Il est à noter que plus la valeur du gain augmente, plus le dépassement est important et plus le système est rapide. On retrouve ici le dilemme assez classique de rapidité/stabilité.

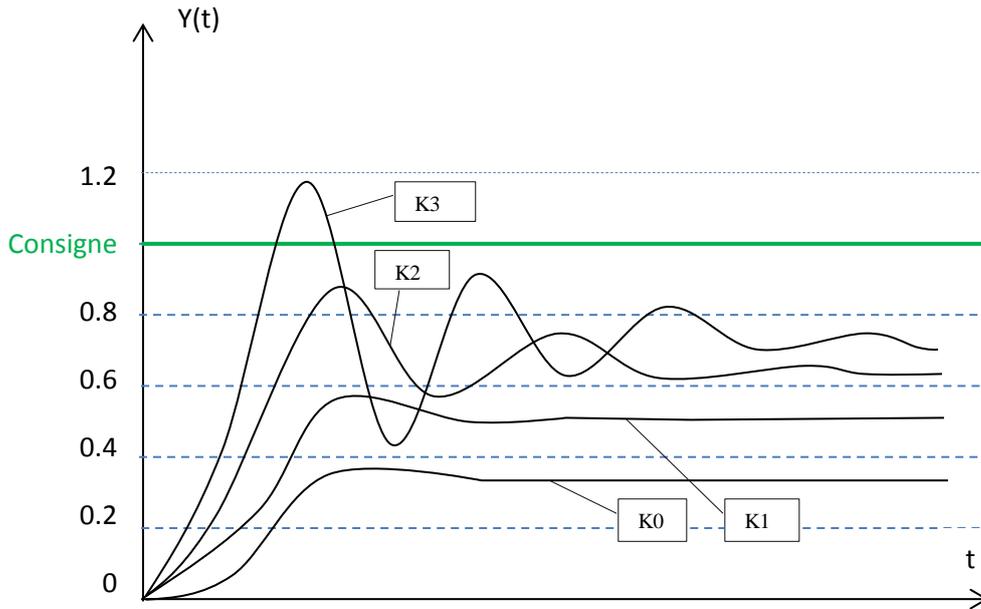


Fig.II.9. Réponses indicielles typiques avec un régulateur proportionnel. [9]

II.13.1.2. Représentation pour un régulateur proportionnel intégral (PI):

La figure II.10 donne les réponses typiques pour un système régulé par un correcteur PI. toutes ces réponses indicielles ont été obtenues avec le même gain K_1 d'action proportionnelle, et avec trois valeurs de la constante d'action intégrale $T_{i1} > T_{i2} > T_{i3}$.

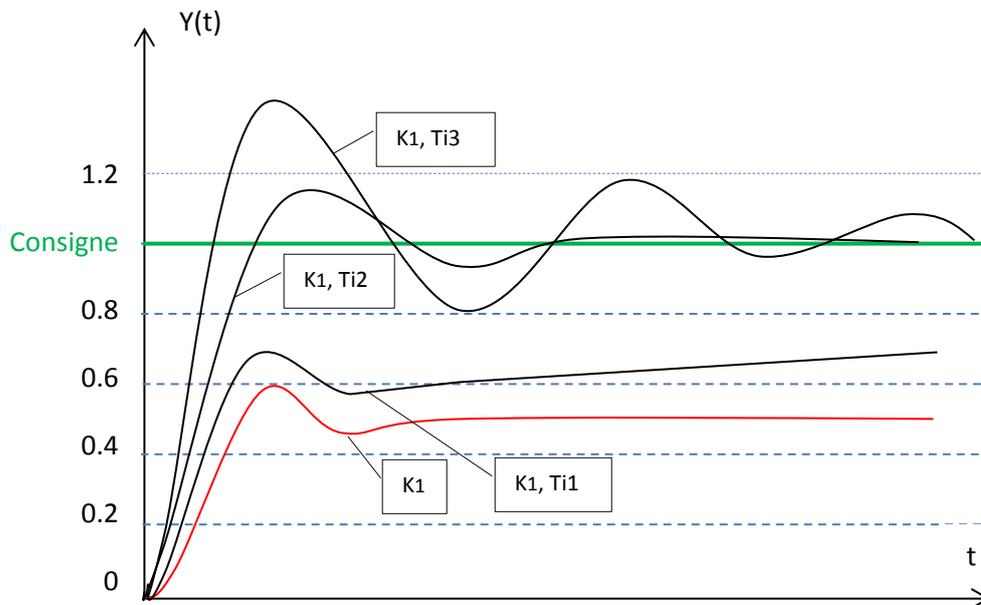


Fig.II.10. Réponses indicielles avec régulateur PI. [9]

Ces réponses sont comparées à celle obtenue avec le régulateur P de gain K_1 figure II.19. Il ressort de ces réponses :

Le cas $[K_1, T_{i1}]$ représenté est le cas typique du système dont l'action intégrale est trop faible (temps d'action intégrale T_{i1} trop grand). Le système répond dans un premier temps à une action proportionnelle, puis bien plus tard l'action intégrale entraîne l'annulation de l'erreur statique.

Lorsque T_i est choisi correctement $T_i = T_{i2}$, le temps du premier maximum t_m est de l'ordre de T_i . On peut donc en déduire : $t_d \approx T_i$.

On diminuant T_i , on déstabilise le système régulé, ce qui se traduit par une augmentation du dépassement, comme dans le cas de la figure II.10 pour $T_i = T_{i3}$.

La relation $t_d \approx T_i$ est également très importante lors de la recherche des paramètres du régulateur, car elle permet connaissant l'ordre de grandeur du temps de réponse souhaité, de dégrossir le problème de réglage en fixant les valeurs autour desquelles la constante de temps d'action intégrale doit être choisie.

II.13.1.3. Représentation pour un régulateur PID

Les réponses indicielles proposées dans la figure II.11, ont été obtenues avec trois régulateurs PID différents et sont comparées à celle obtenue avec un régulateur PI servant de référence en matière de stabilité et de rapidité. Il ressort de ces allures que :

L'action dérivée permet d'améliorer la stabilité du système pour une rapidité fixée. En effet, la réponse obtenue avec le jeu de paramètres $[K_1, T_{i1}, T_{d1}]$ est plus stable que celle obtenue avec le régulateur PI, pour une même rapidité et un même jeu de paramètres $[K_1, T_{i1}]$. Toutefois il est intéressant de noter que trop d'action dérivée peut être nocif comme illustre par la réponse obtenue avec le jeu de paramètres $[K_1, T_{i1}, T_{d3}]$, pour lequel le temps d'action dérivée T_{d3} est trop grand. D'autre part, l'action dérivée permet également de diminuer le temps de réponse du système en conservant la même stabilité, c'est le cas pour le jeu de paramètres $[K_2, T_{i2}, T_{d2}]$. Grâce à l'action dérivée, il est donc possible soit d'augmenter la rapidité du système pour un degré de stabilité donné, soit d'augmenter le degré de stabilité du système pour une rapidité fixée.

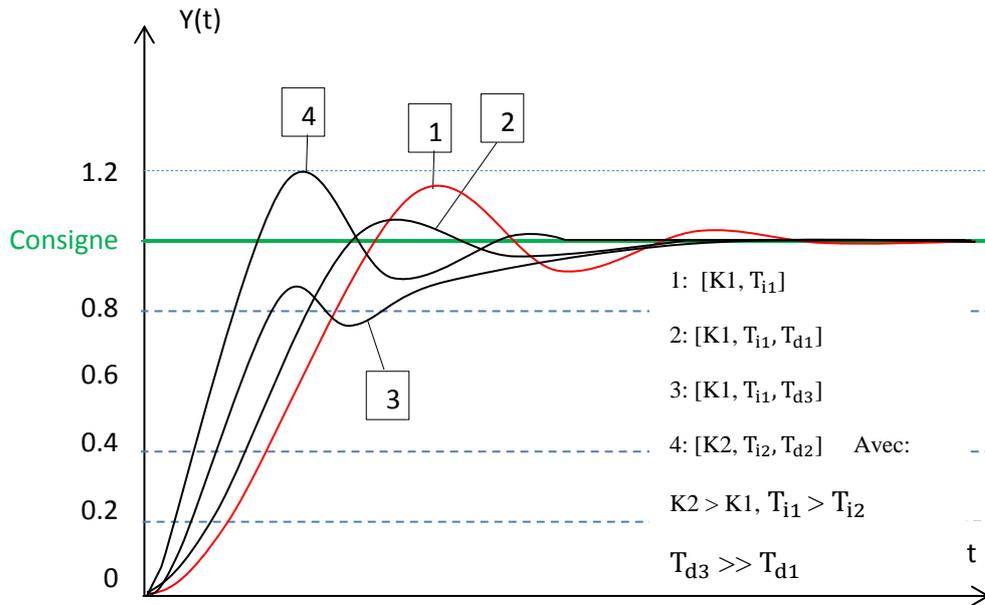


Fig.II.11. Réponse indicielle avec régulateur PI courbe 1, avec régulateur PID courbes (2, 3,4).
[9]

II.13.2. Réglage des coefficients des régulateurs PID

Le réglage des coefficients peut se faire selon deux approches :

- modélisation
- expérimentation

On se qui concerne le réglage par modélisation en dépend des contraintes suivantes :

- difficulté de modélisation
- connaissance des caractéristiques du système
- possibilité de mettre le système "offline"

Cette section présente deux méthodes de réglage expérimentale des paramètres des régulateurs PID, se basant sur la réponse temporelle du système régulé.

II.13.2.1. Réglage par la méthode empirique [9]

A partir des réponses indicielles des figures II.9, II.10 et II.11 il est possible de donner une méthode de réglage manuel d'un régulateur PID.

Cette méthode comporte trois étapes successives la figure II.12 nous illustre les résultats de chaque étape de réglage. La procédure à suivre est la suivante :

On commence par annuler les actions intégrale et dérivée : $T_i = \infty$ et $T_d = 0$ de manière à se ramener à un régulateur proportionnel simple. Cette phase préalable est très couramment utilisée

dans la plupart des méthodes de réglage, où pour éviter tout problème d'instabilité de l'installation, on commence par retirer l'action intégrale.

Première étape : on règle K , en partant de valeurs faibles et en l'augmentant progressivement de façon à obtenir une réponse indicielle présentant environ 10 à 20 % de dépassement (par rapport à la valeur finale et non pas la consigne).

Deuxième étape : pour la valeur de K déterminée à l'étape précédente, on règle T_i en diminuant progressivement sa valeur jusqu'à obtenir un dépassement du même ordre ou légèrement supérieur (cette fois par rapport à la consigne).

Troisième étape : pour les valeurs ce (K, T_i) déterminées précédemment, on règle T_d en partant de valeurs faibles et en l'augmentant progressivement de façon à diminuer le dépassement jusqu'à la valeur que l'on s'est imposée. Les allures des réponses temporelles du système à l'issue de chaque étape de réglage sont illustrées dans la figure ci-dessous.

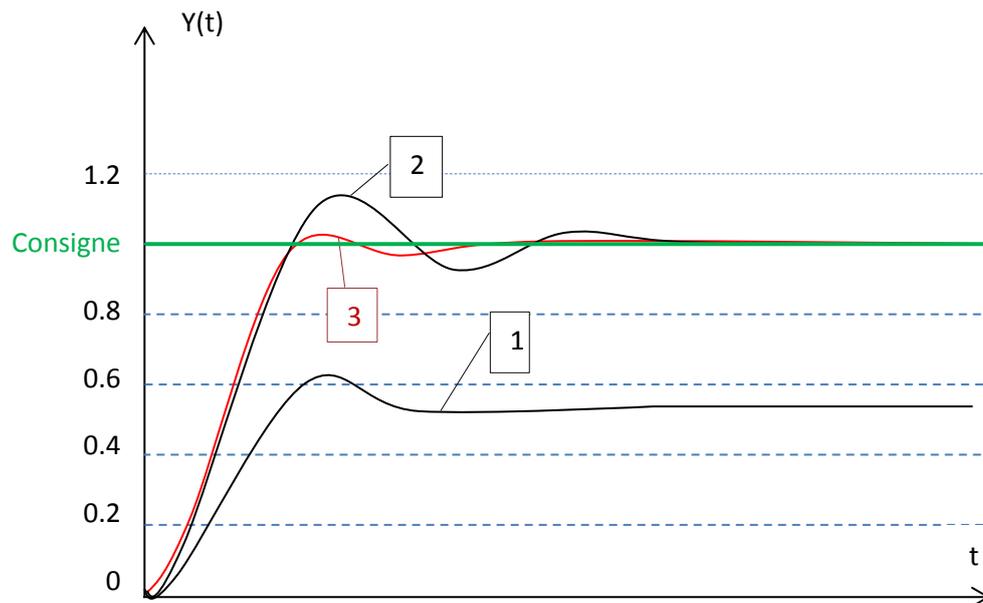


Fig.II.12. Etapes du réglage manuel d'un régulateur PID : 1) réglage de P, 2) réglage PI, 3) réglage PID. [9]

II.13.2.2. Réglage par la méthode de Ziegler-Nichols [10]

Protocole : Mettre $T_i = \infty$ et T_d à 0, faire varier K_p jusqu'à obtenir des oscillations périodiques non amorties et non amplifiées comme le montre la figure II.13 suivante :

On note $K_u = K_p$, P_u la période d'oscillations Alors on met $K_p = K_u/1.7$, $T_i = P_u/2$, $T_d = P_u/8$

Ces valeurs ont été obtenues par expérimentation par Ziegler et Nichols, elles correspondent à un système dans lequel les oscillations sont divisées par 1/4 à chaque pseudo-période.

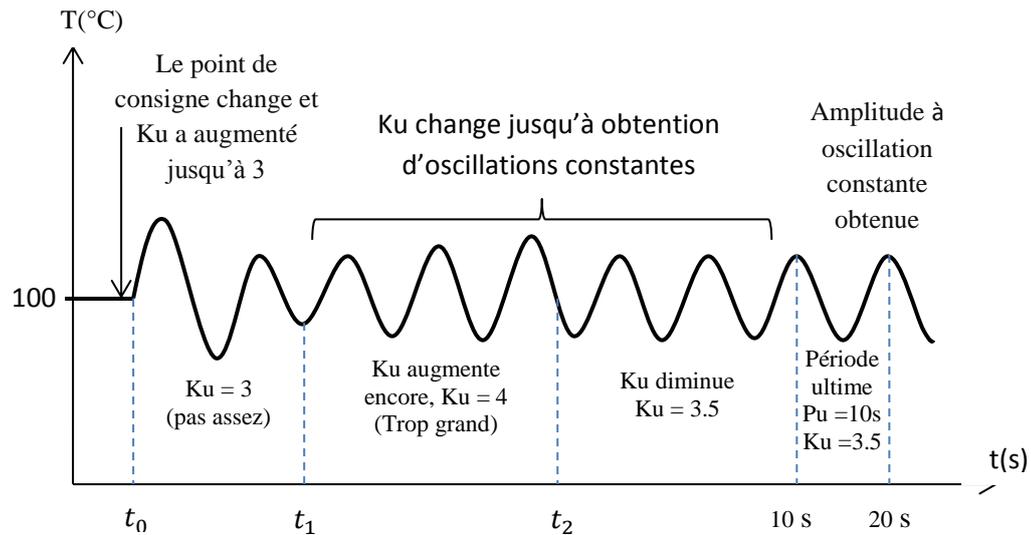


Fig.II.13. graphe représentatif du protocole de la méthode expérimentale de Ziegler-Nichols.

[11]

II.14. Avantages et inconvénients des deux méthodes présentées

II.14.1 Avantages :

- Facile à mettre en œuvre (physiquement et au point de vue calcul)
- Testé sur le système en production, correspondent à la réalité, peuvent être faites à la volée si les caractéristiques du système sont modifiées (usure, changement de l'environnement).

II.14.2 Inconvénients

- Le système peut devenir instable ou passer dans des états dangereux.
- Peut prendre beaucoup de temps si le système réagit très lentement.

II.15. Conclusion

Au cours de ce chapitre, on a vu que l'intervention humaine est limitée pour assurer régularité et précision des tâches pénibles et répétitives sur des systèmes rapides et complexes parfois dans

des milieux hostiles. Pour cela on fait appel à la commande automatique qui se base sur des automatismes ou organes de contrôle-commande.

Notre projet consiste à adapter une double boucle de régulation, pour cela on doit agir sur les réglages des paramètres d'un régulateur PID, qui est dans notre cas intégré dans l'API. Les méthodes expérimentales présentées permettent d'avoir de bonnes estimations pour un système raisonnablement simple (régulable par un PID).

Cependant il faut continuer à faire varier les coefficients jusqu'à obtenir une réponse satisfaisant le cahier des charges.

III.1. Introduction

Au cours de ce troisième chapitre, on comprendra ce qu'est un tank stérile de stockage aseptique avec ses différents avantages et son principe de fonctionnement et son cycle de processus. On verra le rôle de l'air comprimé dans ce dernier et les exigences générales qui le régissent. Ainsi on détaillera le fonctionnement du dispositif de régulation et les constituants du procédé afin de cerner les inconvénients trouvés avec ce dispositif.

III.2. Tank stérile pour le stockage aseptique

Le tank de stockage stérile (aseptique), est une cuve sous pression verticale avec des gainages doubles en acier inoxydable pour une gamme de pressions de 0 - 350 kPa (0-3,5 bars) avec une pression de service de 0 - 300 kPa (0-3,0 bars). Utilisée pour entreposer un produit pendant un court laps de temps, avant qu'il ne poursuive sa route sur la chaîne. On l'utilise pour les stocks tampons, afin de compenser les variations du débit. Après traitement thermique et refroidissement, le lait est envoyé vers cette cuve, puis de là il est poussé avec de l'air stérile jusqu'à la conditionneuse (remplisseuse).

Si le remplissage est interrompu, le lait traité est stocké dans la cuve jusqu'à ce que l'opération puisse reprendre. De même, le lait provenant de cette cuve peut être utilisé pendant une interruption momentanée du traitement. L'enveloppe intérieure de la cuve aseptique d'entreposage de 20 000 litres de capacité est en acier inoxydable (voir figure III.1). La cuve est isolée pour garder constante la température du produit. Dans ce cas, l'enveloppe extérieure est également en acier inoxydable, avec une couche de laine minérale entre les deux enveloppes. Elle comporte un agitateur et peut être équipée de différents éléments et systèmes de nettoyage et de régulation du niveau et de la température.

Le tank aseptique pour le stockage est placé entre le traitement aseptique et la ligne de conditionnement. Ses avantages sont multiples comme décrits dans le sous-titre ci-dessous. [1]

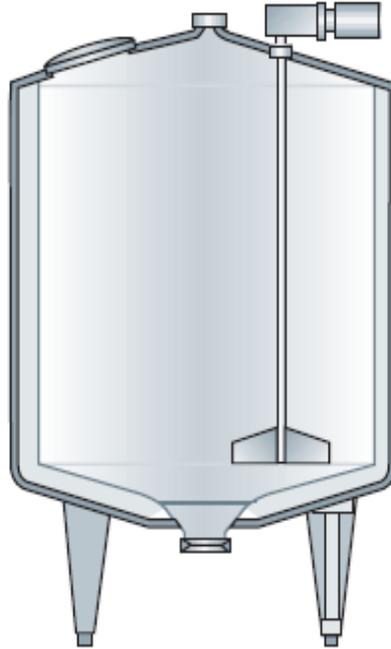


Fig.III.1. schéma simplifié d'un tank stérile pour le stockage. [1]

III.3. Avantages du stockage aseptique

- une qualité du produit supérieure (pas de recirculation et donc pas d'augmentation de la charge thermique subie par le produit en cas d'arrêt de la conditionneuse).
- une utilisation efficace de la ligne de production (les opérations de pasteurisation peuvent continuer même à l'arrêt de la conditionneuse)
- une grande flexibilité de la production (permutation facile entre les équipements de pasteurisation et les lignes de conditionnement).
- une consommation en énergie et des pertes de produits réduites
- une préservation de l'environnement stérile garantie
- une adaptation du pasteurisateur à la capacité de conditionnement en fonction des différentes cadences et formats.

III.4. Principe de fonctionnement d'un tank stérile [12]

Le réservoir du tank est stérilisé à la vapeur à une température minimum de 125°C pendant 30 minutes. Il est ensuite refroidi par circulation d'eau à travers la gaine de refroidissement. Au cours du refroidissement, l'air stérile est envoyé dans le réservoir pour éviter la création de vide.

Au cours de la production, l'air stérile (dont on trouvera les exigences générales le concernant dans le titre qui suit) remplit l'espace du réservoir situé au-dessus du niveau du produit. La

pression est automatiquement contrôlée pour maintenir la pression d'alimentation nécessaire à la remplisseuse en fonctionnement.

La machine est équipée d'un agitateur. L'agitateur est recommandé pour les produits qui peuvent se séparer dans le réservoir pendant le stockage, comme le lait chocolaté et les jus avec des fibres, mais également pour uniformiser la température du produit.

Un module d'ensemble de vannes avec armoire de commande contrôle le débit de produit, l'air stérile, les liquides de nettoyage et la vapeur.

Au cours de la production, une barrière de vapeur (110°C) est appliquée pour éviter une réinfection.

Le réservoir peut être nettoyé-en-place (NEP) soit par une unité NEP en option, soit par un système NEP central.

Etant donné que le fonctionnement du réservoir comprend à la fois la stérilisation à haute température suivie du refroidissement, le réservoir est conçue comme étant complètement anti-implosion.

Le réservoir est fabriqué selon la Directive Européenne des Equipements sous pression (PED), mais peut être fabriqué pour être conforme à d'autres codes sur demande.

Un/deux des trois/quatre pieds en acier inoxydable sont équipés d'une cellule de pesage qui mesure le contenu du réservoir et indique la lecture sur un affichage numérique du tableau.

Le fonctionnement du réservoir est entièrement automatisé et des verrouillages de production sont intégrés pour des raisons de sécurité.

L'opérateur n'a qu'à lancé les phases de processus: stérilisation, production et NEP du réservoir. Le réservoir est utilisé à partir de son propre automate programmable qui est placé dans l'armoire de commande.

III.5. Exigences générales sur l'air stérile [13]

L'air stérile doit être séché et nettoyé sans traces d'huile.

- Utiliser un compresseur sans lubrification d'huile dans le vérin afin d'obtenir de l'air sans huile.
- Pour produire de l'air sec, le compresseur peut être équipé d'un post compresseur et/ou d'un sécheur d'air.
- Les saletés sous la forme de particules solides jusqu'à une taille de 10 microns (0,01 mm) doivent être enlevées par exemple au moyen de filtres ou de vannes réductrices équipées de filtres.

- Positionner les filtres de sorte qu'ils puissent être vus et facilement vérifiés. Les filtres doivent être vérifiés quotidiennement et leurs cartouches et éléments renouvelés à chaque fois que cela est nécessaire.
- Le conduit d'alimentation d'air doit comprendre une vanne d'arrêt principale.

NB : Le non-respect de ces critères peut mettre en danger l'installation.

III.6. Cycle du processus

Le cycle de processus est divisé en phases suivantes:

- Stérilisation
- Refroidissement
- Production
- Nettoyage-En-Place (NEP)

Pour décrire le fonctionnement de ces différentes phases en se référera au GRAFCET spécifique au Tank stérile APV de la figure III.2.

III.7. GRAFCET

Le GRAFCET, langage de spécification, est utilisé par certains constructeurs d'automate (Schneider, Siemens...). Parfois associé à un langage de programmation, il permet une programmation aisée des systèmes séquentiels tout en facilitant la mise au point des programmes ainsi que le dépannage des systèmes. C'est un langage clair, strict mais sans ambiguïté, permettant par exemple au réalisateur de montrer au donneur d'ordre comment il a compris le cahier des charges. Langage universel, indépendant (dans un premier temps) de la réalisation pratique (peut se "câbler" par séquenceurs, être programmé sur automate voire sur ordinateur). [14]

III.8. Description du processus de stérilisation

III.8.1. Stérilisation à la vapeur

Etapes de (0 à 11) du GRAFCET figure III.2.

Le réservoir et le système de conduits qui seront en contact avec le produit doivent être stérilisés avant usage. Cette opération est effectuée en utilisant de la vapeur à une température de 140°C. Une séquence de stérilisation complète est composée des phases suivantes [12]:

- a) Vidange des conduits d'alimentation de vapeur 1,0 bar.
- b) Vidange des conduits d'alimentation de vapeur 2,7 bars.

- c) La vapeur pénètre en haut et chasse le mélange air/vapeur à travers la remplisseuse jusqu'à ce qu'une certaine température de consigne soit atteinte.
- d) Le réservoir est chauffé avec de la vapeur jusqu'à ce que tous les TSL atteignent 125°C.
- e) Stérilisation pendant 30 minutes aux températures supérieures à 125°C (si la température tombe en dessous de 125° C, la stérilisation se remet en marche).
- f) Stérilisation terminée. Les barrières de vapeur sont activées pour éviter l'infection des équipements stérilisés.

III.8.2. Refroidissement [12]

Etapes de (12 à 15) du GRAFCET figure III.2. Avant production, le tank doit être refroidi à la température de production.

- a) Alimenter en eau de refroidissement la gaine de refroidissement. Alimenter en air stérile pour contrôler la pression du réservoir.
- b) Le système d'air stérile contrôle la pression du réservoir pendant le refroidissement. Un jeu de vannes est accéléré pour réduire la contrainte sur les filtres. Pour éviter du vide, l'alimentation en eau sera interrompue si la pression tombe en dessous de 0,5 bar. La limite critique est de 0,2 bar.
- c) Vidanger le condensat du réservoir.

III.8.3. Production

Etapes de (12 à 15) du GRAFCET figure III.2.

Pour simplifier cette description, le tank APV reçoit du produit du stérilisateur et le transmet à la remplisseuse. Une séquence de production complète est composée des phases suivantes [12]:

- a) Réservoir prêt pour le remplissage.
- b) Remplissage au niveau bas.
- c) Remplissage au-dessus du niveau bas.
- d) Remplissage du circuit vers la remplisseuse.
- e) Réservoir prêt pour le soutirage (c'est-à-dire production) Pendant cette étape le produit s'écoule directement du TS vers la remplisseuse. Un niveau élevé dans le réservoir déclenchera un message pour le stérilisateur lui indiquant d'arrêter la production.
- f) Arrêt de remplissage du stérilisateur.
- g) Vidage du réservoir vers la remplisseuse.
- h) Détection de niveau vide dans le réservoir.

- i) Souffle d'air des conduits pour la remplisseuse. Un niveau vide (c'est-à-dire que le réservoir et les conduits de la remplisseuse sont vides, indiqués par un transmetteur dans le conduit) déclenchera un message pour la remplisseuse lui indiquant d'arrêter la production.

III.8.4. Nettoyage

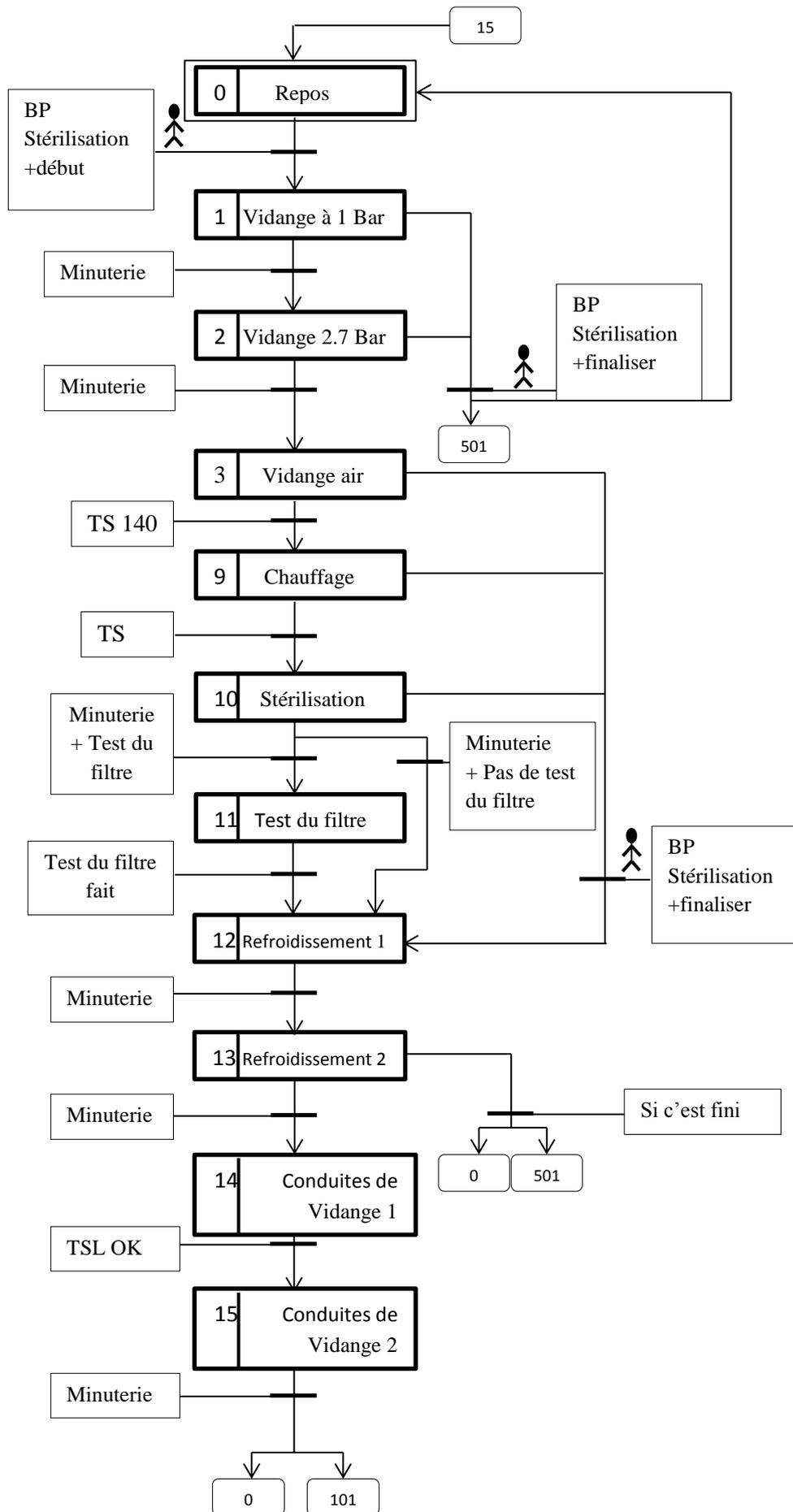
Le nettoyage est réalisé en utilisant une station de nettoyage extérieur.

L'équipement doit être nettoyé avec de la soude caustique après production. Pour éviter des dépôts sur les surfaces en acier inoxydable, il est recommandé de nettoyer une fois par semaine avec une solution acide.

Pendant le nettoyage, le réservoir est pressurisé avec de l'air sanitaire à environ 1,5 bar pour maintenir le débit de liquide du réservoir vers le poste de nettoyage extérieur. L'unité de contrôle de processus APV commande la séquence de nettoyage et demande de l'eau/une solution de nettoyage au poste de nettoyage extérieur [12].

Une séquence de nettoyage complète durera environ 1 heure et est composée des phases principales suivantes:

- a) Pressurisation du réservoir.
- b) Vidange du réservoir et des conduits.
- c) Rinçage à l'eau.
- d) Vidange du réservoir et des conduits.
- e) Circulation du détergent.
- f) Vidange du réservoir.
- g) Rinçage à l'eau.
- h) Dépressurisation/vidange du réservoir et des conduits.



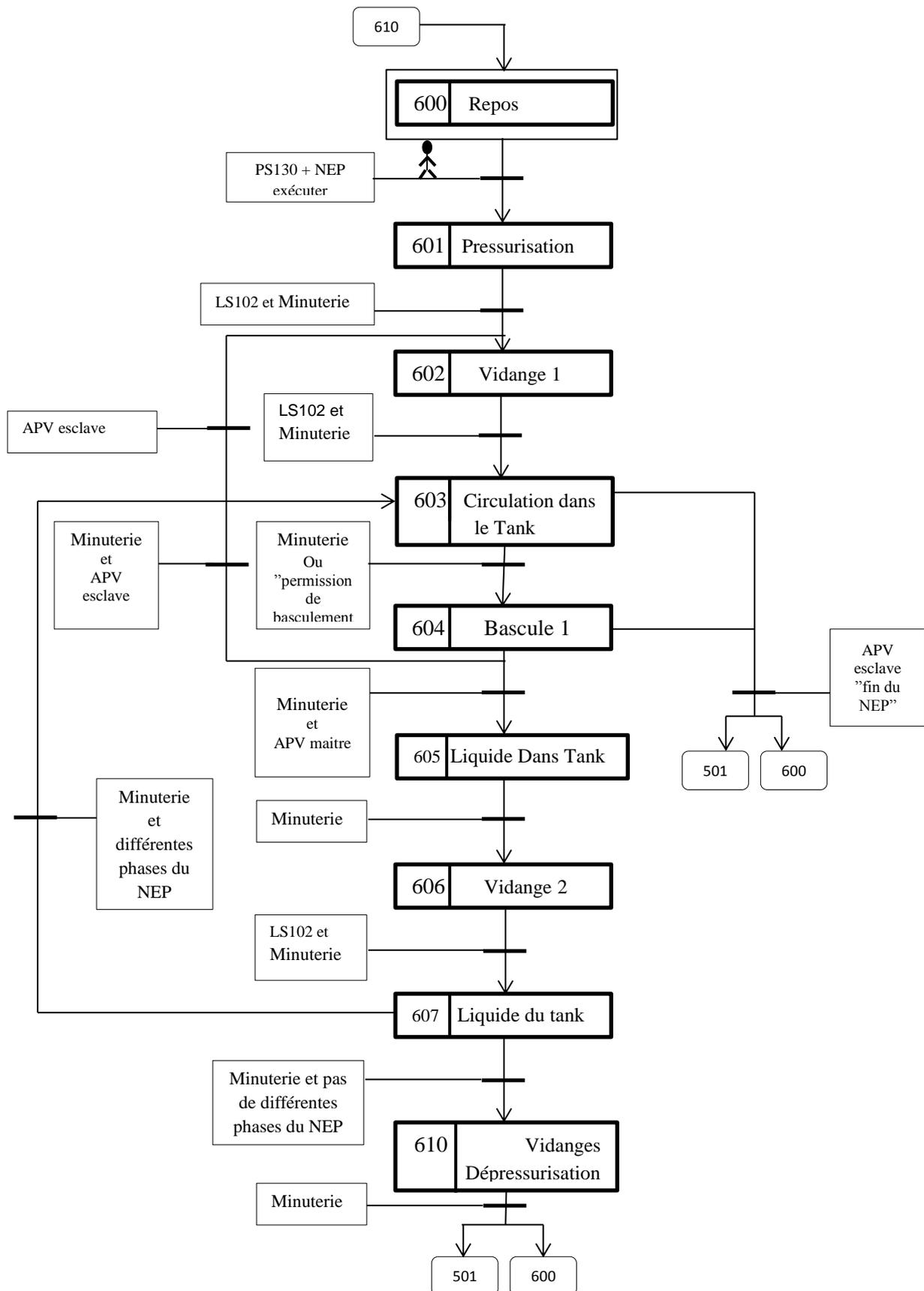


Fig.III.2.: grafcet de fonctionnement du tank stérile APV comprenant les quatre cycles respectifs de processus : stérilisation, refroidissement, production et NEP.

III.9. Matériel de régulation du procédé

Pour assurer un fonctionnement sans problème et obtenir la qualité de produit désirée, il est impératif de maintenir à des niveaux prédéterminés des grandeurs comme les niveaux de liquide, débits, températures, pressions. Le matériel permettant de contrôler et de régler ces paramètres comprend différents types de transmetteurs, régulateurs et matériels de commande. [1]. La figure III.3 représente la boucle de régulation d'air comprimé existante sur le tank stérile APV au sein de l'industrie TCHIN LAIT « CANDIA ».

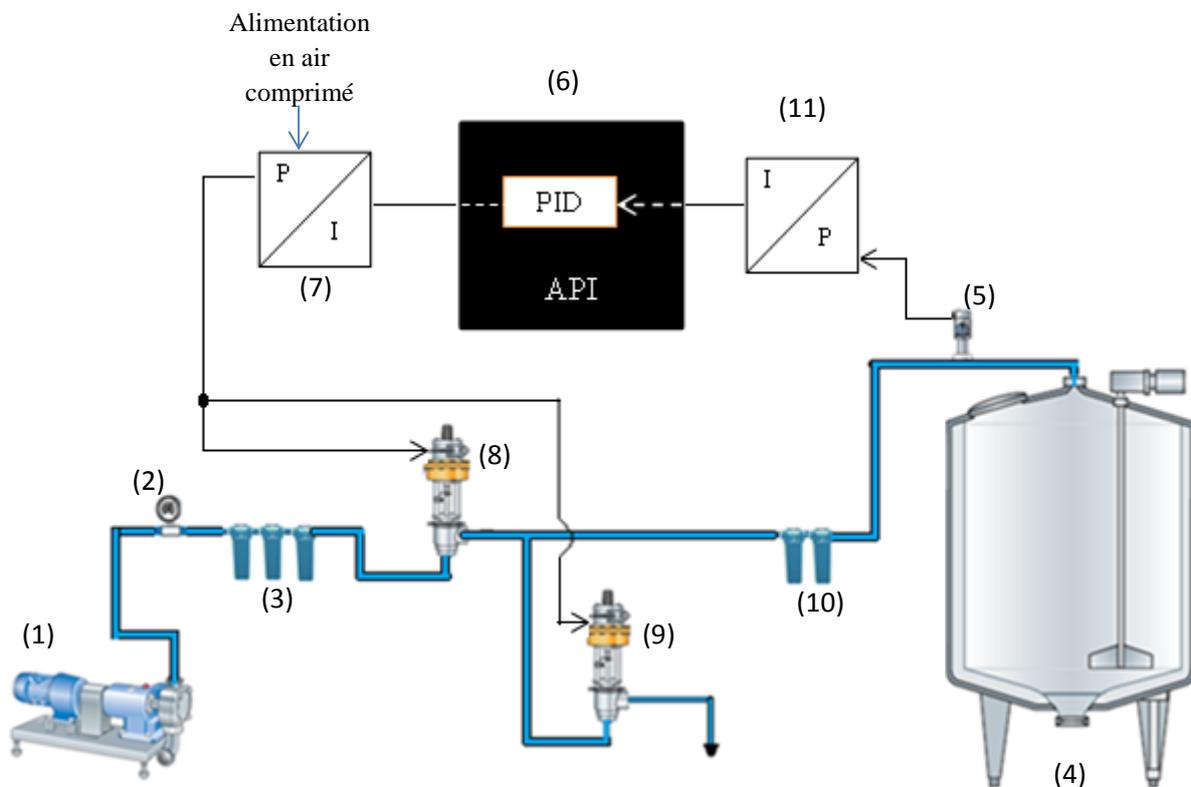


Fig.III.3. Boucle de régulation d'air comprimé du TS APV, comprenant un transmetteur de pression, un régulateur et deux vannes de régulation à commande pneumatique.

- 1) Compresseur. 2) manomètre. 3) filtres déshuileurs. 4) TS APV. 5) Transmetteur de pression. 6) API avec régulateur PID intégré. 7) convertisseur intensité pression. 8) vanne d'alimentation. 9) vanne de décharge. 10) filtres stérilisateurs. (11) convertisseur pression intensité

III.9.1. transmetteur de pression

Le transmetteur est un élément de détection mesurant la grandeur réelle. Sa conception et son fonctionnement varient en fonction des exigences. Le transmetteur convertit la valeur mesurée à l'entrée de la cuve en un signal électrique d'intensité correspondante. Ce signal est transmis à un régulateur, qui est ainsi informé de la valeur instantanée de la grandeur. Cette valeur est également appelée valeur mesurée. Dans le transmetteur de pression de la figure III.4, la pression du produit sur la membrane est transmise au capteur, par l'intermédiaire d'un tube capillaire. Le capteur transmet un signal électrique directement proportionnel à la pression du produit.

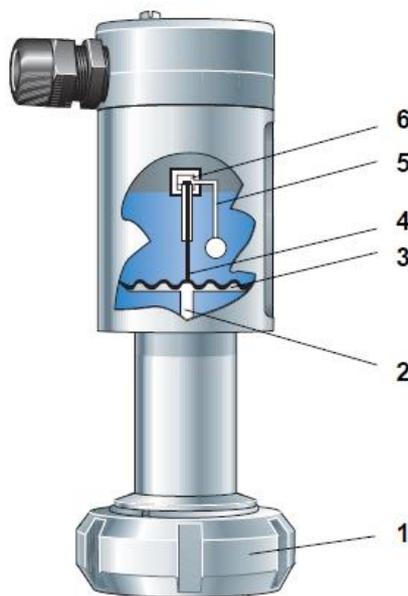


Fig.III.4. Transmetteur de pression. [1]

- 1 Ecrou
- 2 Pression du procédé
- 3 Membrane
- 4 Tube capillaire
- 5 Pression de référence
- 6 Capteur.

III.9.2. Vanne de régulation pneumatique

Une vanne de régulation pneumatique comme sur la figure III.5, comprend essentiellement un corps, équipé d'un siège destiné au clapet, lui-même fixé à l'extrémité inférieure de la tige fixé à

un ressort. La vanne est modulée de la position fermée à la position ouverte en injectant de l'air (technique) comprimé avec une pression suffisante pour vaincre la raideur du ressort

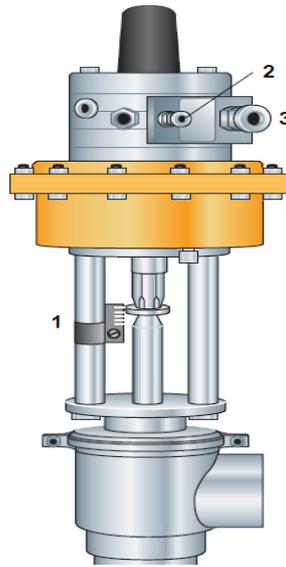


Fig.III.5. Vanne de régulation pneumatique. [1]

- 1 Indicateur de position visuel
- 2 Raccordement du signal électrique
- 3 Raccordement de l'air comprimé.

III.10. Fonctionnement du dispositif de régulation

Le dispositif de régulation représenté sur la figure III.3 est constitué par une source d'air comprimé qui nous délivre une pression supérieure à celle du fonctionnement de la cuve aseptique qui passe dans un premier temps par une série de filtres afin d'éliminer les traces d'huile et les grosses particules avant d'atteindre les deux vannes de régulation pneumatiques, pour arriver à contrôler cet air et l'adapter au fonctionnement de la cuve. Un transmetteur (figure III.4) placé à l'entrée de cette dernière mesure la pression, la convertie en signal électrique qui est transmis à l'API dans lequel est intégré un régulateur PID qui compare ce signal à une consigne donnée puis génère un signal de commande. À la sortie de ce dernier de l'API un convertisseur (Intensité/Pression) le convertit proportionnellement en pression qui entre directement dans les deux vannes afin de laisser passer uniquement la quantité d'air comprimé nécessaire (c'est-à-dire : atteindre la consigne) au fonctionnement de la cuve avant d'entrer dans cette dernière, l'air comprimé entre dans une deuxième série de filtres où il est cette fois-ci stérilisé.

En cas de baisse de pression du produit, le transmetteur réduit le signal envoyé au régulateur. La valeur mesurée ne coïncidant plus avec la valeur préréglée, le régulateur réagit en augmentant le signal transmis aux vannes. Lorsque la pression dans la canalisation est revenue à la valeur préréglée, le positionneur maintient à nouveau le piston de la vanne à l'état d'équilibre.

Les valeurs du contrôleur PID de la boucle de régulation schématisée sur la figure III.3 du TS APV sont récupérées du tableau de commande suivant les étapes décrites dans le chapitre suivant, voir tableau III.4:

P	I	D
40	20	0

Tableau.III.1. récapitulatif des valeurs du PID propre à la simple boucle de régulation du procédé schématisé sur la figure III.3, existante au sein de l'industrie TCHIN LAIT « CANDIA ».sure le menu paramètres PID du tableau de commande.

III.11. Inconvénients trouvés avec la simple boucle de régulation du procédé

- Une consommation en énergie plus importante, vu qu'une partie de l'air comprimé destiné à l'alimentation du TS est rejetée par la vanne de décharge qui implique des pertes économiques plus élevées pour l'industrie.
- Un bruit supérieur à 80 dB, engendré par le fonctionnement de la vanne de décharge qui travaille constamment vu qu'elle dépend de la vanne d'alimentation en air comprimé du TS.

III.12. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de voir le fonctionnement et l'importance du TS pour le stockage aseptique, puis comprendre le rôle de l'air (stérile) comprimé et le matériel de régulation de son procédé, enfin on a présenté les inconvénients considérables trouvés avec cette boucle de régulation.

Dans le prochain chapitre on trouvera la solution apportée à cette régulation.

IV.1. Introduction

En ce quatrième et dernier chapitre, on élaborera la solution apportée à la problématique suscitée au chapitre précédant en éliminant les inconvénients auxquels la laiterie TCHIN LAIT « CANDIA » fait face, en décrivant les étapes à suivre pour adapter la solution apportée.

IV.2. Solution apportée à la problématique

Etant donné que dans la simple boucle de régulation, les deux vannes régulatrices sont gérées par un seul régulateur PID implique que les vannes sont dépendantes l'une de l'autre (c'est-à-dire : quand le signal de commande ordonne à l'une d'ouvrir, automatiquement l'autre commence à fermer car l'une est normalement fermée et l'autre normalement ouverte).

Par contre avec une double boucle de régulation comme présentée sur la figure IV.1 ci-dessous, avec ce système : deux régulateurs PID intégrés dans l'API gèrent indépendamment les deux vannes (c'est-à-dire : un programme commande la vanne d'alimentation du TS en air comprimé et l'autre commande la vanne de décharge selon les besoins des différents cycles de processus du TS), pour ce faire les étapes de fonctionnement de chaque vanne sont identiques à celles décrites dans le chapitre précédent dans le titre (III.10). Fonctionnement du dispositif de régulation).

Avec cette double boucle de régulation, la vanne de décharge fonctionne uniquement quand le programme la demande, ceci implique : des pertes en énergie éliminées et un bruit très réduit en terme de temps.

Pour pouvoir élaborer notre travail est adapter notre boucle de régulation en se référant à l'armoire de commande intégrée dans le réservoir de stockage aseptique ou l'on suivra les étapes décrites ci-dessous.

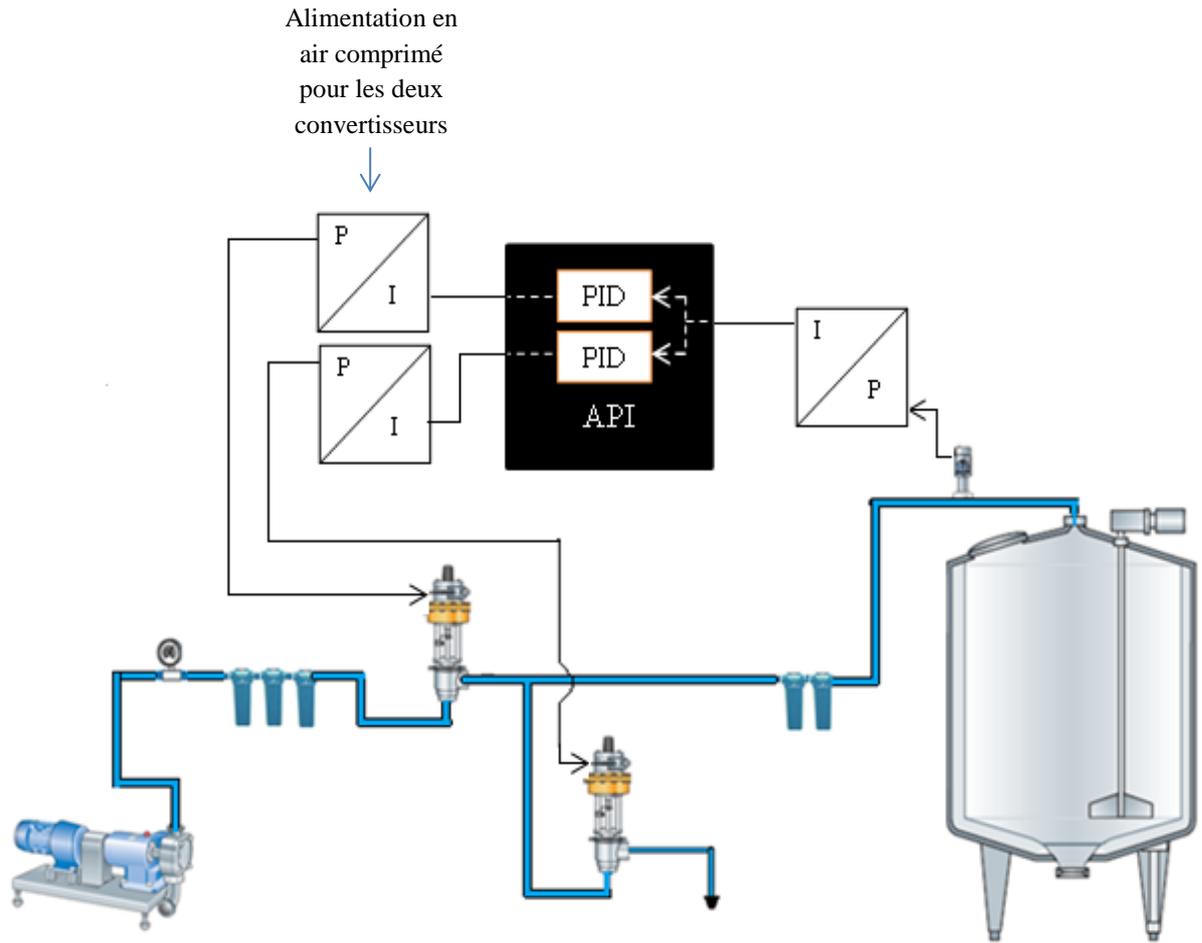


Fig.IV.1. Schéma de la double Boucle de régulation d'air comprimé à adapter sur le TS APV.

IV.3. Armoire de commande [12]

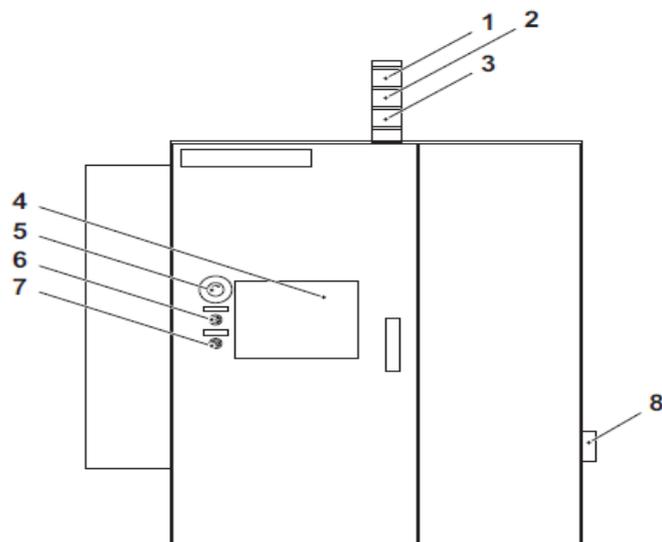


Fig.IV.2. Armoire de commande sur le tank stérile APV.

- 1) Voyant rouge, indication de danger
 - voyant clignotant ou fixe. Le réservoir peut être pressurisé.
- 2) Voyant jaune, Indication de défaut
 - clignotant, alarme non acquittée
 - allumé en fixe; alarme acquittée
- 3) PROD/VIDE, voyant vert
 - allumé en fixe; fonction en cours
 - clignotant, intervention opérateur nécessaire ou fonction arrêtée (nettoyage)
- 4) Tableau de commande (écran tactile)
- 5) Bouton d'Arrêt d'urgence
- 6) Touche de réinitialisation de l'arrêt d'urgence
- 7) Sélecteur local/à distance
- 8) Interrupteur principal

IV.4. Tableau de commande [12]

Il contient tout l'équipement nécessaire pour:

- indication de l'état du réservoir (par ex.: pression, niveaux)
- supervision des paramètres de réservoir comme les températures et les pressions
- commande des vannes L'automatisation du réservoir est basée sur le système de l'automate contrôlant le processus. Ce contrôleur présente:
 - des temporisateurs
 - des détecteurs de température et de pression
 - des circuits de contrôle
 - interface d'opérateur

IV.4.1. Principe de base

Le réservoir APV est commandé par un automate programmable de type invensys. L'automate contient plusieurs séquences qui commandent l'exécution des programmes nécessaires pour assurer les différents cycles du processus

Le nombre nécessaire des contrôleurs (régulateurs) est également intégré dans l'automate pour commander les sous-traitements analogiques, comme les commandes de niveau, de pression et/ou de température.

Une Interface homme-machine (IHM) est utilisée comme lien entre l'automate, le tank APV et les opérateurs. Au moyen de l'IHM, l'opérateur peut entrer les commandes nécessaires, entrer différents paramètres de traitement et système et obtenir des informations concernant l'état du système. Il est possible de retrouver des informations concernant la phase en cours du système et la séquence active. Les alarmes sont indiquées sur cette unité si des conditions anormales se produisent. On trouvera sur l'IHM les valeurs suivantes :

IV.4.1.1. Valeurs de l'automate

Les paramètres de contrôle LC, PC, TC, FC et les limites de température TSL, PS, PSH, LS peuvent être visualisés ou modifiés en touchant l'indicateur de processus sur l'affichage:

LC = Contrôleur de niveau

PC = Régulateur de pression

TC = Contrôleur de température

FC = Contrôleur de débit

TSL = Contacteur de température

PS, PSH = Pressostat

LS = Contact de niveau

IV.4.1.2. Valeurs du transmetteur

Les valeurs du transmetteur ne peuvent être visualisées que pour:

LT = Transmetteur de niveau

TT = Transmetteur de température

PT = Transmetteur de pression

IV.4.2. Niveaux du code d'accès au tableau de commande [12]

Les niveaux d'accès au tableau de commande sont divisés en deux groupes:

- Les opérateurs ont accès au niveau 1, voir le tableau ci-dessous:
- Les contrôleurs ont accès au niveau 1 et 2, voir le tableau ci-dessous:

Etat du code d'accès:	Permet:
1 = Opérateur	<ul style="list-style-type: none"> - Visualiser et choisir parmi tous les écrans - Visualiser et voir toutes les valeurs - Alarmes, tendances - Séquences de mise en marche et d'arrêt - Sélection Produit/Capacité - Enlever les alarmes d'historique
2 = Contrôleur	<p>Toutes les possibilités comme pour l'opérateur et également de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Changer les paramètres - Faire fonctionner les contrôleurs en mode manuel - Forçage E/S - Modifier les points de consigne pour PID et protections - Définir mémoire NEP

Tableau.IV.1. tableau représentatif des niveaux du code d'accès au tableau de commande. [12]

IV.4.3. Touches sur le tableau de commande

Les touches sont carrées avec effet tridimensionnel.

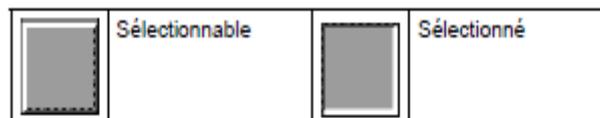


Tableau.IV.2. représentation des touches sur le tableau de commande. [12]

IV.4.4. Touches de navigation

Les touches de Navigation appellent toujours un écran différent. Le tableau IV.3 représente l'essentielle des touches existant sur l'armoire de commande.

	Passer au Menu de vue d'ensemble		Passer au menu d'Exploitation		Passer au Menu valeur de processus
	Détection pression Alarmes		Détection pression Tendances	LOGGER	Uniquement valable pour personnel TP
	Passer au Menu d'assistance technique		Quitter/Revenir à l'écran précédent		

Tableau.IV.3. représentation des différentes touches de navigation sur le tableau de commande.

[12]



On appuyant sur la touche  (passer au menu de valeur du processus), en aura accès aux différents capteurs, dans notre cas sa sera le capteur de pression ‘ PT ’ des vannes régulatrices, après sa en accédera au menu de sélections PID contrôlant cette boucle de régulation et on suivra les étapes décrites dans les figures afin de pouvoir adapter notre double boucle de régulation schématisée sur la figure III.10.

IV.4.5. Menu de sélections PID

- 1) Sélectionner le contrôleur à visualiser. (Indication jaune =contrôleur en mode manuel).

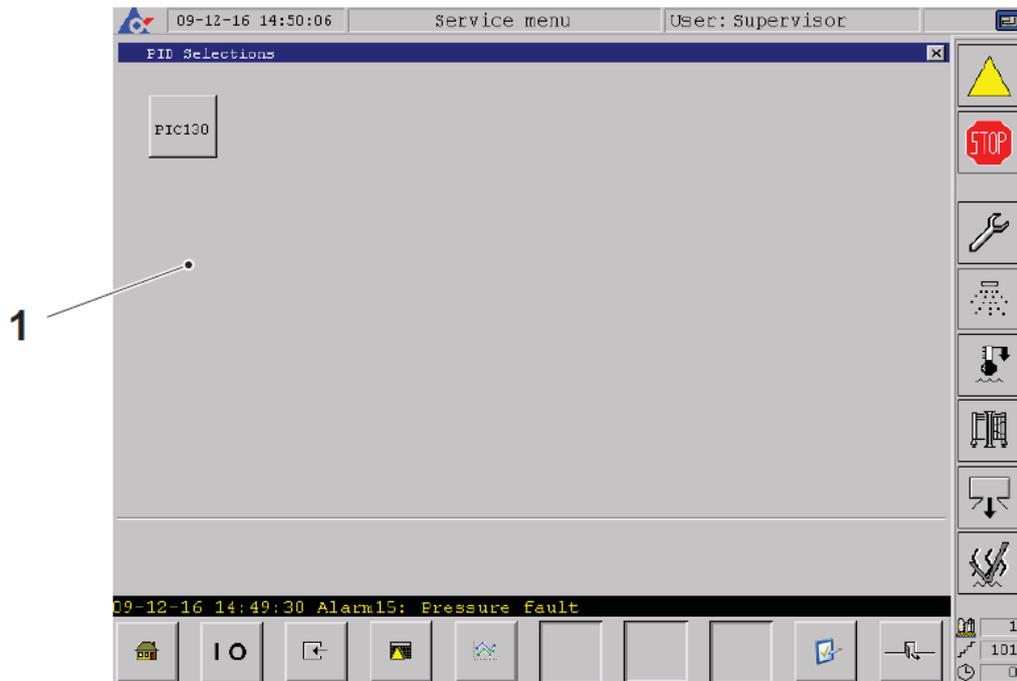


Fig.IV.3. Menu de sélection PID sur le tableau de commande.

IV.4.6. Menu PID

Sur ce tableau en voie bien l'écran (courbe de tendances) ou l'on simulera le réglage des deux régulateurs PID par les méthodes expérimentales proposé au chapitre II.

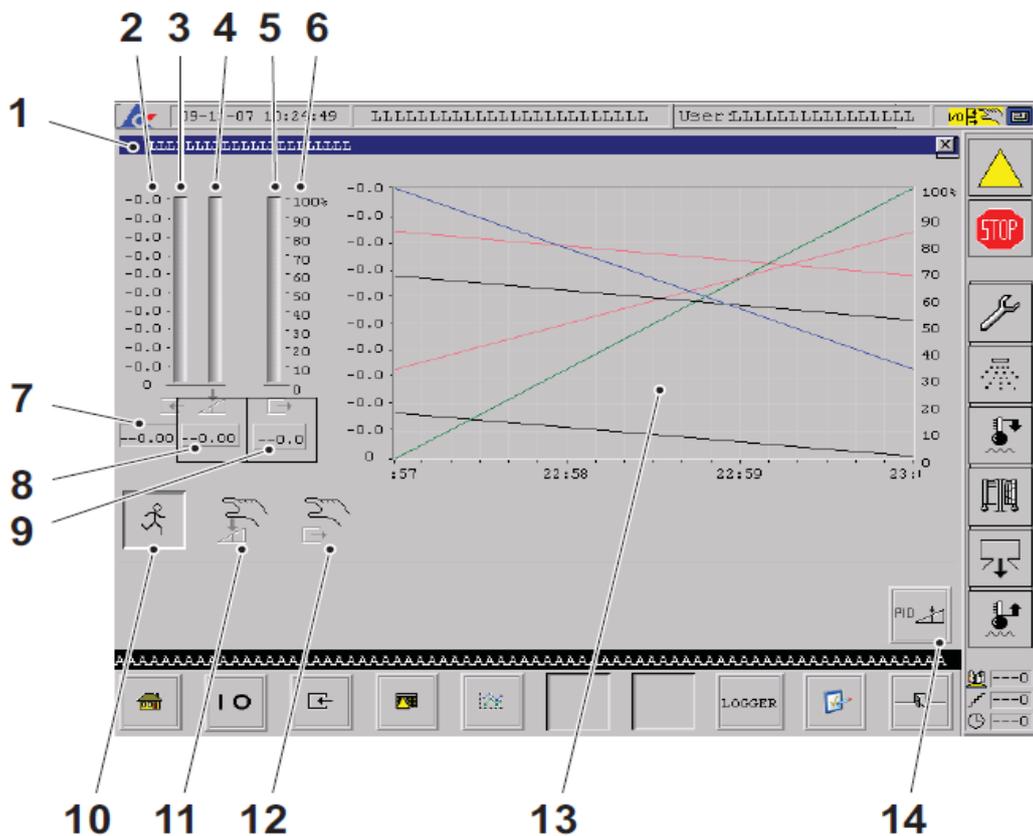


Fig.IV.4. Menu PID sur le tableau de commande.

- 1) Texte du contrôleur
- 2) Echelle pour valeur procédé (PV) et point de consigne (SP)
- 3) Valeur de processus - diagramme à barres
- 4) Point de consigne - graphe de barres
- 5) Sortie - diagramme à barres
- 6) Echelle pour sortie
- 7) Variable procédé - valeur numérique
- 8) Point de consigne - valeur numérique
- 9) Sortie - valeur numérique
- 10) Le contrôleur fonctionne
- 11) Régler la valeur de consigne en mode manuel
- 12) Régler le contrôleur en mode manuel

13) Courbe de tendances

14) Passer au Menu de paramètres PID

IV.4.7. Menu paramètres PID

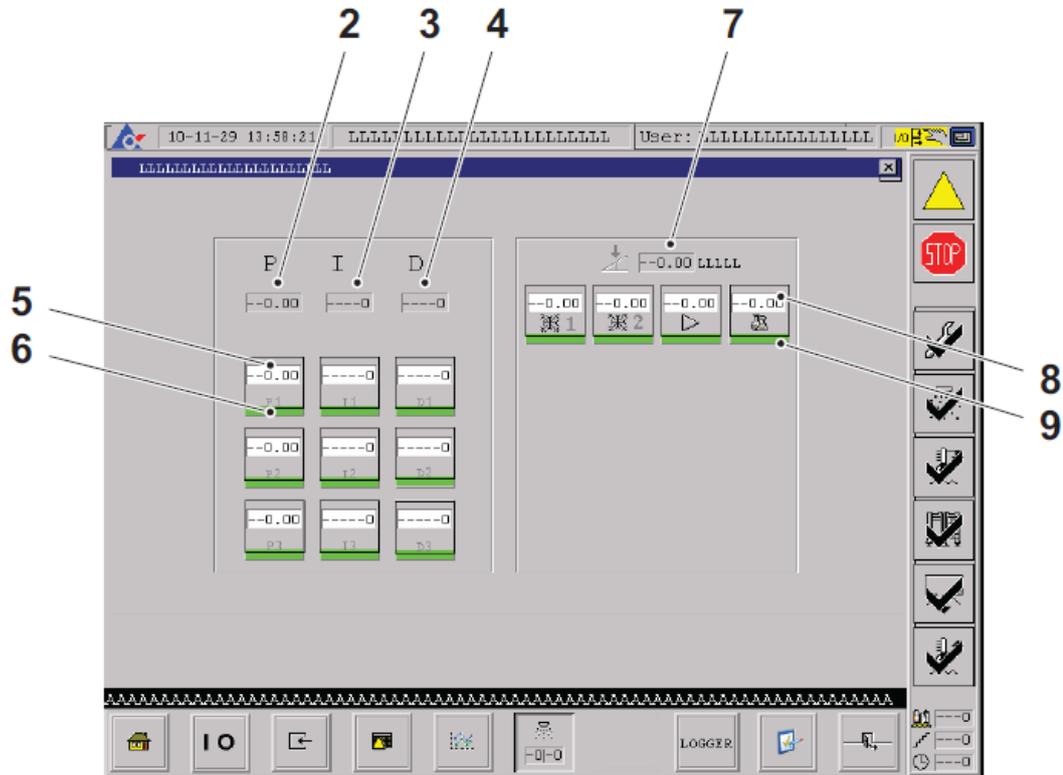


Fig.IV.5. Menu de paramètres PID sur le tableau de commande.

1) Texte du contrôleur

2) Valeur P (gain) au niveau du contrôleur sélectionné

3) Valeur I (temps d'intégration) au niveau du contrôleur sélectionné

4) Valeur D (temps de dérivation) au niveau du contrôleur sélectionné

5) PID

6) La ligne en dessous de chaque valeur de paramètre est grise mais pour le contrôleur sélectionné les lignes en dehors des trois paramètres sont vertes.

7) Exécution point de consigne (SP)

8) Valeur de consigne

9) La ligne en dessous de chaque valeur de paramètre est grise, mais pour le paramètre sélectionné la ligne est verte.

IV.5 Conclusion

Durant ce dernier chapitre, on a compris le fonctionnement et les effets bénéfiques de la solution apportée (double boucle de régulation) à notre problématique, en ciblant les étapes nécessaires à entreprendre afin de réaliser ces modifications sur le dispositif de régulation existant déjà.

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudié en détail la ligne de production du lait longue conservation traité par la technique UHT. Notre objectif global a consisté à comprendre le système de commande contrôlant l'alimentation en air comprimé du réservoir de stockage aseptique.

Afin de pouvoir répondre aux attentes et solutionner la problématique qui nous a été posée par l'industrie TCHIN LAIT CANDIA, on s'est référé aux nouvelles technologies existantes sur le marché de l'industrie grâce auxquelles on a pu élaborer un bien meilleur système de commande se basant sur une double boucle de régulation par PID, ou on a traité des méthodes de réglage expérimentales des régulateur PID afin de satisfaire les exigences du cahier des charge, réduisant les pertes en énergie liées automatiquement aux pertes économiques et améliorant la sécurité du personnel en réduisant considérablement le bruit causé par la vanne de décharge d'air comprimé.

Concernant l'adaptation de notre projet au sein de l'industrie TCHIN LAIT CANDIA, on doit attendre l'accord du chargé de production et avoir la présence de personnes chargées à apporter des modifications au process.

La période de stage que j'ai effectuée à TCHIN LAIT CANDIA m'a permis de côtoyer le monde du travail, d'enrichir mes connaissances et de gagner une certaine polyvalence en touchant à plusieurs domaines.

Perspectives :

- Mise en œuvre de la double boucle de régulation d'air comprimé sur le TS APV, le plus tôt possible.
- Translater la même réflexion sur d'éventuelles boucles de régulation servant à réguler d'autres procédés tel que (le degré de température, le débit des fluides...etc.)

Références bibliographiques

[1] Dairy Handbook (alfa laval).

[2] Présenté par Tetra Pak, <http://www.lelaitsanslimite.ca/salle-de-presse/category/news-releases.html>

[3] J.MOTTAR, influence de la durée de conservation sous réfrigération du lait cru sur la conservabilité du lait UHT, centre de recherches agronomiques de l'état grand(Belgique), 1984.

[4] Y.GANDON, A.PETIT et M.F.DECHY, laboratoire départemental des services vétérinaires du Val-de-Marne, 1974.

[5] H.W. MAC ADDAMS, la transmission de chaleur, édition: DUNOD, PARIS.

[6] L. BERGOUGNOUX, A.P.I Automates Programmables Industriels POLYTECH' Marseille Département de mécanique Energétique, 2004/2005.

[7] A. GONZAGA, Les Automates Programmables Industriels, 2000

[8] P. Prouvost, Automatique Contrôle et Régulation.

[9] Emmanuel Godoy et coll, Régulation industrielle, édition : DUNOD, 2007.

[10] M.CAMUS, E.DEGUINE et D.ROSS, Régulation par PID, 2010.

[11] The Michigan Open Control and Process Textbook:
<http://controls.engin.umich.edu/index.php/PIDTuningClassical>

[12] Tetra Pak, DRAWING SPECIFICATION, Manuel de l'opérateur du tank stérile (OM : operator manuel), 2011.

[13] Tetra Pak, DRAWING SPECIFICATION, Manuel technique du tank stérile (TeM : Technical Manuel), 2011.

[14] J.C.BOSSY, P.BRAND et P.FAUGERE, C.MERLAUD, Le grafctet sa pratique et ses applications, édition CASTEILLA, 1985.

Références bibliographiques.

Documents remis par l'entreprise d'accueil :

- Dairy Handbook (alfa laval).
- Manuel technique du tank stérile (TeM : Technical Manuel).
- Manuel de l'opérateur du tank stérile (OM : operator manuel).

