

N° Ordre ...../Faculté/UMBB/2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Présenté par :

BOUDJEMIA Kosseila

BENAGDI Mohamed

Filière : Hydrocarbures

Option : Commande Automatique

Thème

---

**Etude comparative entre une conduite de boucle cascade automatisée  
et celle par calcul des paramètres d'ajustement**

---

Devant le jury :

Encadré par :

BOUMEDINE M<sup>ed</sup> Saïd

UMBB Président

UMBB Encadreur

UMBB Examineur

UMBB Examineur

Année Universitaire : 2015/2016

# *Remerciements*

*Au terme de ce travail, nous voulons exprimer notre profonde gratitude envers tous ceux en qui par leur présence, leur soutien, leur disponibilité et leurs conseils, nous avons eu le courage d'accomplir ce travail.*

*Tous nos infinis remerciements à notre promoteur **Mr : Boumedine Moh Said** pour son aide, ses conseils et ses remarques qui nous ont permis de présenter notre travail dans sa meilleure forme.*

*Nos remerciements s'étendent également à tous les ouvriers de la région de Hassi R'mel rencontrés lors des recherches effectuées et qui ont accepté de répondre à nos questions avec gentillesse et qui nous ont éclairé le chemin de la recherche et leur collaboration avec nous dans l'accomplissement de ce modeste travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail, trouvant ici l'expression de notre profonde gratitude et profonds respects.*

*Merci à tous et à toutes.*

***Boudjemia et Benagdi***

## *Dédicaces*

*A la femme la plus courageuse, sensible, généreuse, à celle qui a sue me donner amour et joie de vivre, à celle qui a toujours montrée affection et compréhension à mon égard, ma mère que j'aime.*

*A l'homme de courage et de force, à celui qui a toujours été présent, qui m'a appris les vraies valeurs de la vie à celui qui m'a soutenu en toutes circonstances, mon père que j'aime.*

*A ceux qui m'ont aidé et m'ont donné joie et bonheur :*

*A mes très chers frères.*

*A mes très chères sœurs.*

*A ma chère grand-mère.*

*A mes chères tantes et leurs maries*

*A mes cousines et mes cousins.*

*Mon binôme et cher ami Moumouh et toute sa famille.*

*Aux familles BOUDJEMIA ET BENAGDI*

*A mes amis les plus fidèles en particulier, Khali Mouh, Achour, AISSA, Nacim, Hocine, Zouhir, Adel, Cherif, Massi, Yassine, Khaled, Youva.*

*A la mémoire de notre collègue Nassima BENOVARAB.*

*A ceux que j'ai eu la chance de connaître, dans les meilleurs et pires moments de ma vie.*

*A tous ceux que j'aime, à tous ceux qui m'aiment, je dédie ce modeste travail.*

*Kosseila*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma mère,*

*Tu m'as toujours donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.  
Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance  
que je te porte.*

*En témoignage, je t'offre ce modeste travail afin de te remercier pour tes  
sacrifices et pour l'affection dont tu m'as toujours entourée.*

*A mon père,*

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de  
mon estime et de mon respect.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer ma reconnaissance et ma gratitude pour  
tous les soutiens et les sacrifices dont t'as fait preuve à mon égard.*

*A mes très chers frères Koceïla et Massiouane.*

*A ma chère grand-mère.*

*A mes chères tantes.*

*A toute ma famille.*

*A ceux qui m'ont aidé et m'ont donné joie et bonheur :*

*Mon binôme et cher ami Kousseïla et toute sa famille.*

*A tous mes camarades les plus fidèles en particulier :*

*Zohir, Adel, Aïssa, Hocine, Yassine, khalî Mouh, Micipsa, Cherif, Azedine.*

*A ma camarade la plus intime Melîlia.*

*A la mémoire de notre collègue Nassima BENOUARAB.*

*A tous ceux que j'aime, à tous ceux qui m'aiment, je dédie ce modeste travail.*

*Moumouh*

## SOMMAIRE

Introduction générale .....	1
PREAMBULE : Description du champ de Hassi R'Mel .....	3
<b>Chapitre I : Description des procédés</b>	
I.1 Description générale de l'usine MPP IV .....	12
I.2 Sections de séparation a haute pression .....	12
I.3 Section de fractionnement.....	14
1.4. Les utilités .....	15
<b>Chapitre II : Description des éléments du système étudié</b>	
II.1 Introduction .....	19
II.2 Capteurs-Transmetteurs .....	19
II.2.1 Transmetteur Rosemount 1151 DP<<ALPHALINE>>.....	19
II.2.2 Transmetteur de débit .....	21
II.2.3 Transmetteur de niveau.....	23
II.2.4 Convertisseur I/P .....	27
II.3 Mesure de niveau .....	28
II.3.1 Le plongeur .....	29
II.3.2 capteur de pression .....	30
II.4 Les régulateurs .....	31
II.4.1 Rôle d'un régulateur.....	31
II.4.2 principaux modes de fonctionnement d'un régulateur.....	34
II.4.3 passage automatique / manuel – consigne suiveuse .....	34
II.4.4 Actions d'un régulateur .....	34
II.4.5 Les régulateurs de la boucle étudiée implémentés sur site. ....	37
II.5 L'organe d'exécution .....	39
II.5.1 Composition d'une vanne .....	39
II.5.2 Rôle de la vanne automatique.....	43
II.5.3 Principe d'une vanne automatique .....	43
II.5.4 Fonctionnement d'une vanne automatique .....	43
II.5.5 Caractéristiques des vannes de régulation .....	44
II.6 Principe de la régulation automatique en cascade .....	49
II.6.1 Propriétés principales d'un système automatique en cascade.....	51

II.6.2 Boucle étudiée .....	52
II.7 Conclusion.....	54
<b>Chapitre III : Identification et modélisation des éléments du système étudié</b>	
III.1. Introduction .....	56
III.2 Description des éléments de la boucle de régulation en cascade .....	56
III.3 Etude de la boucle interne de débit avec le régulateur réel .....	57
III.3.1 identification de la boucle interne .....	58
III.3.2 Constatation .....	59
III.4 Etude de la boucle externe de niveau avec le régulateur réel .....	59
III.4.1 Identification de la boucle externe .....	60
III.4.2 Constatation .....	61
III.5 Etude de la boucle interne de débit avec régulateur calculé .....	62
III.5.1 Identification de l'objet auxiliaire en boucle ouverte .....	63
III.5.2 Constatation .....	64
III.5.3 Synthèse des paramètres du Régulateur FIC 127.....	64
III.5.4 Constatation.....	66
III.6 Etude de la boucle externe de Niveau avec régulateur calculé .....	66
III.6.1 Identification de l'objet principal de la boucle externe .....	67
III.6.2 Constatation .....	69
III.6.3 Synthèse des paramètres du Régulateur LIC 123 .....	69
III.6.4 Constatation.....	70
III.7 Etude comparative entre le régulateur réel et le régulateur calculé .....	71
III.7.1 Boucle interne de débit .....	71
III.7.2 Constatation .....	71
III.7.3 Boucle externe de niveau .....	72
III.7.4 Constatation .....	72
III.8 Conclusion .....	73
Conclusion générale.....	75
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Bibliographie	

# Liste des figures

## PREAMBULE DESCRIPTION DU CHAMPS DE HASSI R'MEL (HRM)

<b>Figure.1</b> Carte géographique du champ de HRM.....	4
<b>Figure.2</b> Schéma de gisement HRM.....	5
<b>Figure.3</b> La hiérarchie de la direction de HRM .....	9

## Chapitre I : Description du procédé

<b>Figure I.1</b> Schéma synoptique de l'usine de traitement de gaz (MPP IV) .....	13
--	----

## Chapitre II Description des chaînes de mesures et de régulation

<b>Figure II.1</b> Schéma illustrant une cellule de mesure différentielle .....	20
<b>Figure II.2</b> Schéma d'un transmetteur de débit.....	22
<b>Figure II.3</b> Illustration du réglage de Zéro de la gamme de sortie du transmetteur.....	25
<b>Figure II.4</b> Illustration de l'interrupteur pour le décalage .....	25
<b>Figure II.5</b> Illustration des procédures recommandées pour le réglage de Zéro et de l'étendu de mesure .....	26
<b>Figure II.6</b> Mesure de niveau.....	29
<b>Figure II.7</b> Schéma de fonctionnement du plongeur.....	29
<b>Figure II.8</b> Principe de fonctionnement du capteur de pression .....	30
<b>Figure II.9</b> Sonde plongeante.....	30
<b>Figure II.10</b> Schéma d'une boucle de réglage .....	31
<b>Figure II.11</b> Eléments constitutifs d'une boucle de régulation.....	32
<b>Figure II.12</b> Illustration d'un régulateur pneumatique .....	33
<b>Figure II.13</b> Explication du fonctionnement de l'action proportionnelle.....	35
<b>Figure II.14</b> Illustration de la bande proportionnelle .....	35
<b>Figure II.15</b> Explication du fonctionnement de l'action intégrale .....	36
<b>Figure II.16</b> Illustration du temps intégral.....	36
<b>Figure II.17</b> Schéma d'un régulateur pneumatique de niveau à action proportionnelle et intégrale .....	37
<b>Figure II.18</b> Schéma d'un régulateur pneumatique de débit à action proportionnelle et intégrale .....	38
<b>Figure II.19</b> Schéma de fonctionnement d'un servomoteur .....	40
<b>Figure II.20</b> Positionneur et convertisseur.....	40

<b>Figure II.21</b> Fonctionnement du positionneur pneumatique .....	<b>41</b>
<b>Figure II.22</b> Schéma illustrant les caractéristiques du positionneur réel .....	<b>42</b>
<b>Figure II.23</b> Action d'une vanne NO .....	<b>44</b>
<b>Figure II.24</b> Action d'une vanne NF .....	<b>44</b>
<b>Figure II.25</b> Caractéristique du débit linéaire .....	<b>44</b>
<b>Figure II.26</b> Caractéristiques du débit égal en pourcentage EQP .....	<b>45</b>
<b>Figure II.27</b> Caractéristiques du débit tout ou rien .....	<b>45</b>
<b>Figure II.28</b> Schéma illustrant les caractéristiques de la vanne automatique à simple siège...46	<b>46</b>
<b>Figure II.29</b> Illustration d'une vanne réelle installée sur la conduite de gaz.....47	<b>47</b>
<b>Figure II.30</b> Illustration d'une vue de vanne automatique à simple siège.....48	<b>48</b>
<b>Figure II.31 a)</b> Décomposition du système global en deux sous-systèmes.....50	<b>50</b>
<b>b)</b> Régulation en cascade .....	<b>50</b>
<b>Figure II.32</b> Section du dé-éthaniseur .....	<b>53</b>
<b>Figure II.33</b> Traitement du signal de la boucle de régulation en cascade étudiée .....	<b>54</b>

### **Chapitre III Identification et modélisation des éléments du système étudié**

<b>Figure III.1</b> Illustration de la boucle cascade du Niveau / Débit du dé-éthaniseur .....	<b>56</b>
<b>Figure III.2</b> Réponse indicielle expérimentale de la boucle interne réelle.....57	<b>57</b>
<b>Figure III.3</b> Réponse indicielle de la boucle interne réelle .....	<b>59</b>
<b>Figure III.4</b> Réponse indicielle expérimentale de la boucle externe réelle .....	<b>60</b>
<b>Figure III.5</b> Réponse indicielle de la boucle externe avec régulateur réel .....	<b>61</b>
<b>Figure III.6</b> Réponse indicielle expérimentale de l'objet auxiliaire en boucle ouverte .....	<b>62</b>
<b>Figure III.7</b> La réponse indicielle de l'objet auxiliaire sans correction .....	<b>64</b>
<b>Figure III.8</b> Réponse indicielle de la boucle interne de débit avec correction .....	<b>66</b>
<b>Figure III.9</b> Réponse indicielle expérimentale de l'objet principal en boucle ouverte.....67	<b>67</b>
<b>Figure III.10</b> Réponse indicielle de la boucle interne de débit sans correction.....69	<b>69</b>
<b>Figure III.11</b> Réponse indicielle de la boucle externe de niveau avec correction .....	<b>70</b>
<b>Figure III.12</b> Réponse indicielle de la boucle interne avec correction réelle et calculée .....	<b>71</b>
<b>Figure III.13</b> Réponse indicielle de la boucle externe avec correction réelle et calculée .....	<b>72</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau III.1</b> : Illustration des mesures prises avant et après la variation. ....	<b>62</b>
<b>Tableau.III.2</b> : Paramètres du régulateur PID obtenus par la méthode de réglabilité.....	<b>65</b>
<b>Tableau.III.3</b> : Illustrant les mesures prises avant et après la variation. ....	<b>66</b>
<b>Tableau.III.4</b> : Comparaison des différents résultats obtenus pour la boucle interne .....	<b>71</b>
<b>Tableau.III.5</b> : Comparaison des résultats obtenus pour la boucle externe .....	<b>72</b>

# INTRODUCTION GENERALE

## Introduction générale :

L'automatisation joue un rôle très important dans le développement de l'industrie du pétrole et du gaz. Les procédés modernes de traitement du pétrole se caractérisent par de grands débits, des vitesses élevées des fluides, de valeurs déterminées des paramètres dont les écarts sont admissibles dans de très faibles limites. Il est actuellement impossible d'exploiter une unité technologique ou une usine sans utiliser les moyens d'automatisation.

Les techniques de régulation exigent des connaissances des lois physiques, de toutes les techniques de détection, de télémessure de la télécommande, et cela pour pouvoir faire ramener un problème complexe aux variables nombreuses à un ou plusieurs systèmes pour lesquels la technique est dominée pour pouvoir faire le choix et minimiser le nombre d'éléments des chaînes de régulation automatique.

Grace à l'application des techniques d'automatisation, il est possible de commander des appareils complexes tels que : les réacteurs électriques, fours, les turbines à gaz, les pompes et les compresseurs, les dé-éthaniseur. Les performances de ces appareils dépendent en grande partie de la qualité des systèmes destinés à commander leurs paramètres technologiques.

Les appareils de mesure permettent de connaître certains points d'une fabrication. Ils donnent la possibilité d'agir sur le procédé de fabrication de manière à obtenir la qualité et la quantité des produits finis conformément à certaine spécification dans des meilleures conditions de sécurité et de rendement et avec un prix de revient minimum. Pour cela les appareils donnent une information permettant d'effectuer des contrôles. En partant de ces contrôles on agira sur le procédé pour obtenir la qualité et les quantités escomptées.

Le monde de l'industrie est devenu très complexe, l'enjeu aujourd'hui est autour de la rentabilité, en contribuant au développement de la société et en assurant des progrès technologiques satisfaisants, ce qui est le cas de la société SONATRACH où on a eu l'occasion de le constater sur site dans le champ de Hassi R'mel et précisément au module 4 à la section de fractionnement.

## ➤ Problématique :

Cependant, la commande existante englobant les deux régulateurs de la chaîne cascade ne satisfait pas les performances convenables à la bonne conduite et l'amélioration des paramètres suivants :

- ✓ Temps de réponse trop lent ;
- ✓ Un dépassement de 12%.

Le but de ce travail sera la détermination des modèles mathématique des différents éléments constituant la chaîne destinée à maintenir la température à la tête du dé-éthaniseur et l'évolution des performances de cette dernière.

## ➤ Solution :

Vu que les paramètres ne satisfont pas les conditions exigées (rapidité, précision), ceci dit que nous sommes amenés à proposer une étude alternative pour compenser la faiblesse et les écarts de performance de la commande existante.

Contrainte :

Nous n'avons pas trouvés de contraintes dans la réalisation de l'essai indicielle des deux boucles.

## ➤ Impact de l'étude :

Cette étude doit répondre aux techniques de contrôle et de réglage automatique, satisfaire la bonne conduite des éléments constituant la chaîne de régulation qui consiste dans le maintiens de la température au sommet du dé-éthaniseur.

La stabilité et la convergence du système étudié sont des états stationnaires correspondant à des points de fonctionnements bien déterminés « Approche multimode », c'est pour quoi la moindre variation des conditions d'évolution du système engendrera un changement du point de fonctionnement.

Le développement de cette étude repose sur la réalisation des chapitres suivants :

- ✓ Chapitre I : Description du procédé.
- ✓ Chapitre II : Description des chaînes de mesure et de régulation.
- ✓ Chapitre III : Identification et modélisation des éléments du système étudié.

*PREAMBULE*

**PREAMBULE**

**DESCRIPTION DU CHAMPS DE HASSI R'MEL (HRM)**

❖ **Situation géographique :**

Hassi R'mel, porte du désert, se trouve à 550Km au sud d'Alger entre Laghouat et Ghardaïa, c'est une région qui possède une source de gaz naturel très importante avec un volume de 3000 milliards de mètres cube standard contenus dans une structure d'environ 80Km de long et 60Km de large. (voir figure.1).

Il est compris entre 2 °55 et 3° 50 de longitude et 3°50 de latitude Nord. Cette région relativement plate du Sahara a une altitude moyenne d'environ 750 m.

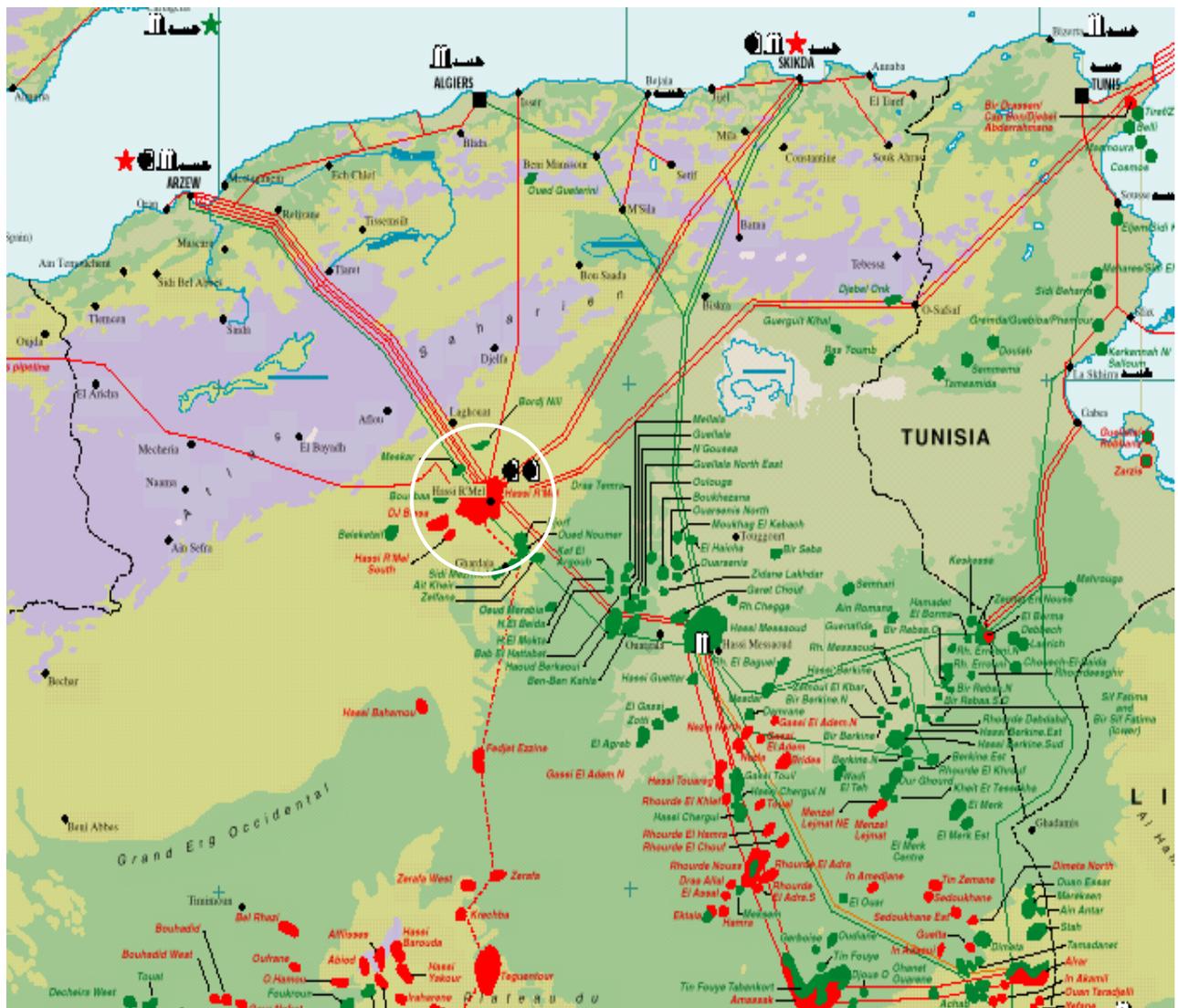
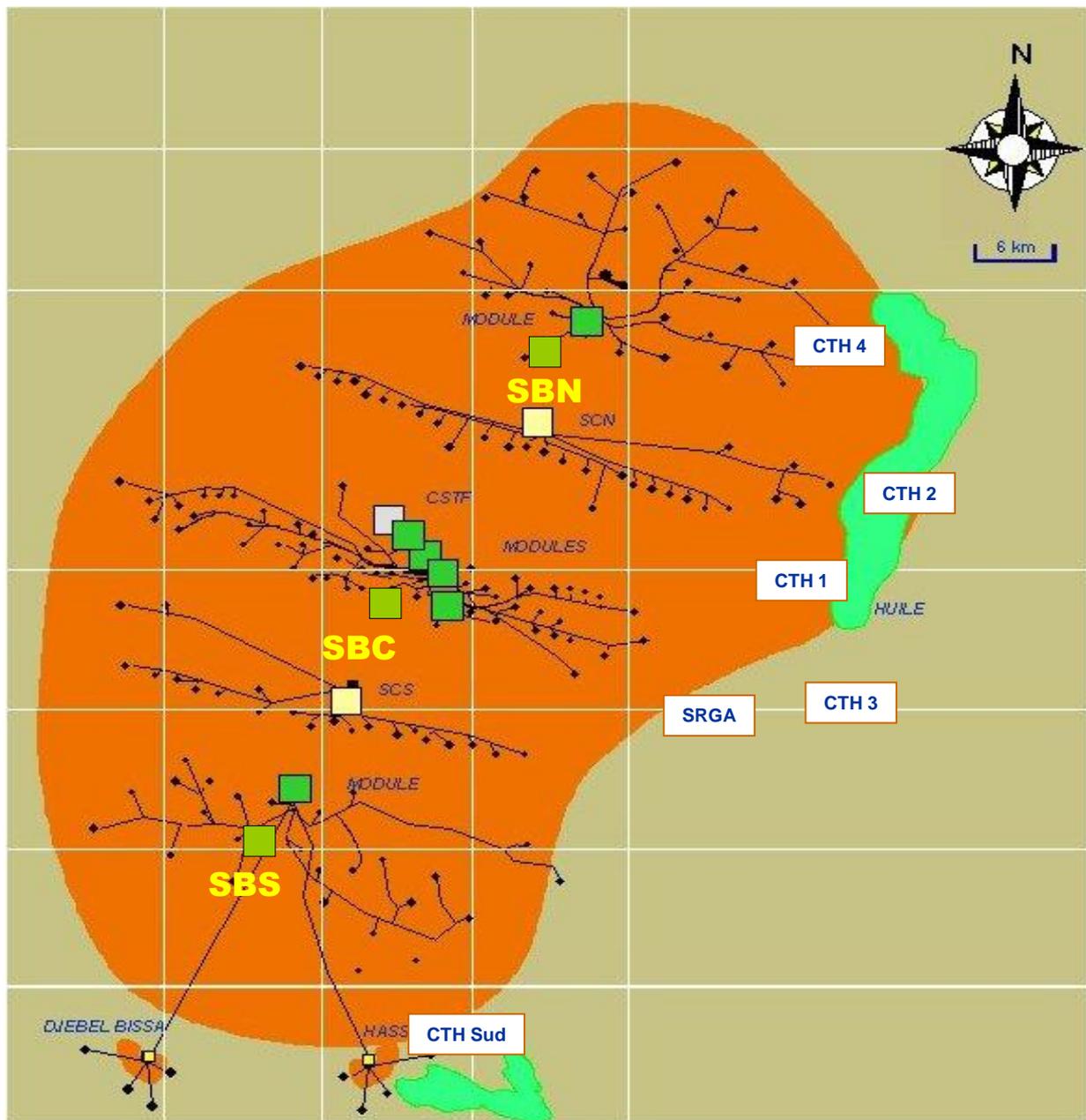


Figure.1 Carte géographique du champ de HRM



**Figure.2 Schéma de gisement HRM.**

<b>CTH</b>	Centre de Traitement d’Huile
<b>CSTF</b>	Centre de Stockage et de Transfert Facility
<b>SCN</b>	Station de Compression Nord
<b>SCS</b>	Station de Compression Sud
<b>SBN</b>	Station Boosting Nord
<b>SBC</b>	Station Boosting Centre
<b>SBS</b>	Station Boosting Sud
<b>SRGA</b>	Station de Récupération des Gazs Associés

## PREAMBULE

---

### ❖ Historique :

La première usine de traitement du gaz a été mise en service en 1961.

De 1971 à 1974, la capacité de traitement du module 0 a été portée à  $4 \times 10^9$  Nm<sup>3</sup> /an grâce à la mise en service de nouvelles installations.

A partir de 1975 la société SONATRACH a mis en œuvre un programme gigantesque de développement du gisement de Hassi R'mel. Il s'agit d'un schéma d'exploitation comportant trois zones de production (Nord, Sud, Centre) avec deux zones de réinjections (Nord et sud). L'objectif de ce programme de développement est l'augmentation de la capacité de traitement à  $94 \times 10^9$  Nm<sup>3</sup> de gaz, ce qui a nécessité la mise en service de :

- 04 usines de traitement de gaz dont la capacité nominale unitaire est de  $20 \times 10^9$  Nm<sup>3</sup>/an (module 1-2-3-4).

- 02 stations de réinjection de gaz dont la capacité nominale unitaire est de  $30 \times 10^9$  Nm<sup>3</sup>/an de gaz sec (station Nord et station sud).

- 01 centre de stockage et de transfert de condensât et de GPL (CSTF), composé de trois bacs de 3500 m<sup>3</sup> et quatre bacs de 4500 m<sup>3</sup> de condensât et 12 sphères de 6050 m<sup>3</sup> pour le GPL, (figure I.2).

Le gisement de Hassi R'mel contient du condensât et comporte un anneau d'huile, ce qui a conduit à l'installation de 5 centres de traitement d'huile (CTH1 - CTH2 -CTH3 -CTH4 - CTH sud) donnant une production de 2500 T/J. Le premier CTH a été installé en 1981.

### I-3. Organisation des structures de la direction régionale de Hassi R'mel :

Pour assurer l'exploitation de ces installations, la direction régionale de Hassi R'mel division production s'est dotée de structure de ressources humaines et matérielles à la mesure de l'importance du gisement et des investissements engagés pour la réalisation des installations, Les tâches diversifiées sont affectées au personnel qualifié dont disposent les différentes structures qui sont organisées en départements et services (voir figure.3) :

### ❖ Direction engineering et production:

Elle s'occupe de tout ce qui est en relation avec les puits de gaz :

## PREAMBULE

---

- Gestion de la production.
- Entretien des équipements des puits " workover ", " wirline " et instruments de surface.

### ❖ **Direction exploitation :**

Elle s'occupe de la gestion et de l'exploitation continue 24h/24h des unités, des modules de traitement et de réinjection de gaz, des quantités et des qualités des différents hydrocarbures.

### ❖ **Direction maintenance :**

Elle s'occupe de la maintenance préventive et curative de toutes les installations et des unités de production et de réinjection de gaz. Toutes les opérations de maintenance y compris les révisions et les rénovations sont assurées par cette structure.

### ❖ **Direction logistique :**

Elle assure un support logistique aux autres structures en matières de transports, manutention, maintenance du parc roulant et l'entretien de base de vie (eau, gaz, ...etc.).

### ❖ **Direction technique :**

Elle s'occupe du suivi de la concrétisation des nouvelles réalisations et de lutte contre la corrosion des installations à l'échelle de la direction régionale.

### ❖ **Division Sécurité :**

Elle prend en charge la sécurité du personnel, des puits de gaz, des installations de traitement et de réinjection et des bases de vie.

### ❖ **Division Intendance :**

Elle s'occupe de l'intendance du personnel, assure la restauration et l'hébergement du personnel relevant de toutes les structures et résidents dans les bases de vie.

### ❖ **Division Ressources humaines RHM :**

Elle s'occupe de la gestion administrative de tout le personnel de la Direction régionale en matière de carrières, de pointage, de recrutement, du social et de la couverture médicale.

### ❖ **Division Finance et Comptabilité :**

Sa mission essentielle consiste à assurer la comptabilité des dépenses et recettes de la direction régionale selon le plan général et analytique. Elle assure notamment la consolidation des budgets de la direction régionale.

### ❖ **Division Informatique :**

Elle a pour mission essentielle le soutien et l'offre de services d'informations aux régions de Hassi R'Mel :

- M.M.S : Maintenance Management System.
- RAPIER/CAMMS : Computer Asset. Management System.
- RESHUM (Ressources humaines) : Suite à une étude globale de toutes les activités de la division RHM et à l'expérience acquise par l'exploitation des applications informatiques SGP (Système de Gestion du Personnel), le système RESHUM a été conçu et développé de manière à répondre efficacement et sans restriction à tous les besoins des responsables et gestionnaires RHM. Parmi ses fonctionnalités : la gestion du personnel et la gestion du social.

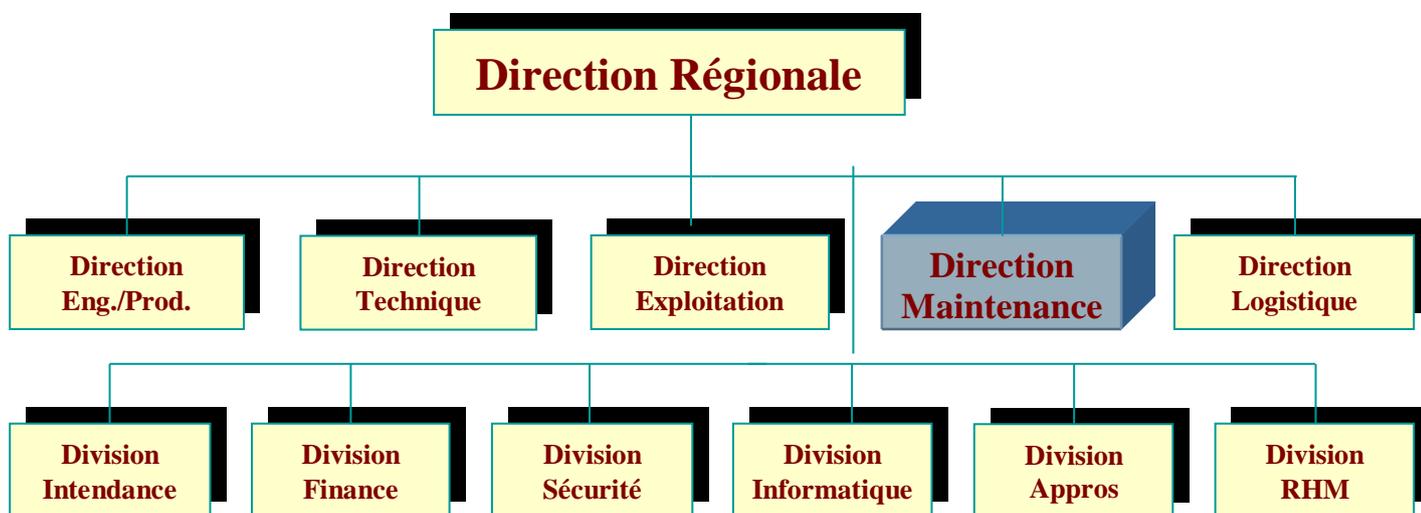
La division informatique se compose de trois services :

- Service Système d'Exploitation : ce service s'occupe de l'installation, la gestion et la maintenance des systèmes d'exploitation (UNIX, WINDOWS NT serveur, NOVELL NETTWAR).
- Service Développement : Développement des systèmes d'information.
- Service Maintenance : Maintenance des systèmes informatiques.

### ❖ **Division Approvisionnement :**

Elle assure les approvisionnements et le suivi des demandes de réapprovisionnement en leur assurant un traitement rapide et efficace.

**LA DIRECTION REGIONALE DE HRM**



**Figure.3 La hiérarchie de la direction de HRM.**

❖ **Répartition des installations de Hassi R'mel :**

Pour une exploitation rationnelle du gisement de gaz, les unités de traitement de la région de Hassi R'mel sont réparties en trois secteurs étalés sur toute la superficie:

➤ **Secteur Nord, regroupant :**

- ✓ Module 3 : unité de traitement de gaz
- ✓ SCN : Station de Compression Nord

➤ **Secteur Centre, regroupant :**

- ✓ Module 0
- ✓ Module 1
- ✓ Module 4
- ✓ CSTF : Centre de Stockage, de Transfert et de Facilité.

➤ **Secteur Sud, regroupant :**

- ✓ Module 2
- ✓ CTG Djebel Bissa

## PREAMBULE

---

- ✓ CTG HR Sud
- ✓ SCS : Station de Compression Sud.

La capacité de production totale par jour avoisine :

- 280 millions de m<sup>3</sup> de gaz de vente.
- 10 millions de tonne de GPL.
- 30 millions de tonne de condensât.

➤ **Spécifications du gaz de vente :**

N <sub>2</sub> :	5,88 %
CO <sub>2</sub> :	0,22 %
CH <sub>4</sub> :	83,35 %
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> :	7,53 %
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> :	2,02 %
IC <sub>4</sub> H <sub>10</sub> :	0,32%
N C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> :	0,47 %
I C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> :	0,11 %
N C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> :	0,10 %
PCS:	9348 Kilocalorie par m <sup>3</sup>
Poids moléculaire:	18,88 g
Densité:	0,65

# CHAPITRE I

## DESCRIPTION DU PROCÉDÉ



## I.2 Description générale de l'usine MPP IV

L'usine MPP IV (module 4) est un ensemble d'installation qui permet de récupérer les hydrocarbures lourds « GPL et condensât » des gaz bruts recueillis à partir de nombreux puits, et de fabriquer des gaz traités « gaz de vente ou de réinjection »

Le MPPIV se compose de trois trains identiques A, B et C ; chaque train assure une fabrication journalière de  $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jour}$ .

les hydrocarbures liquides récupérés sont fractionnés en GPL et condensât, ces deux produits s'écoulent vers les installations centrales de stockage et de transfert (CSTF).

Ce process de traitement du gaz brut (Figure I.1), est constitué de différentes sections énumérées ci-dessous :

## I.3 Sections de séparation a haute pression

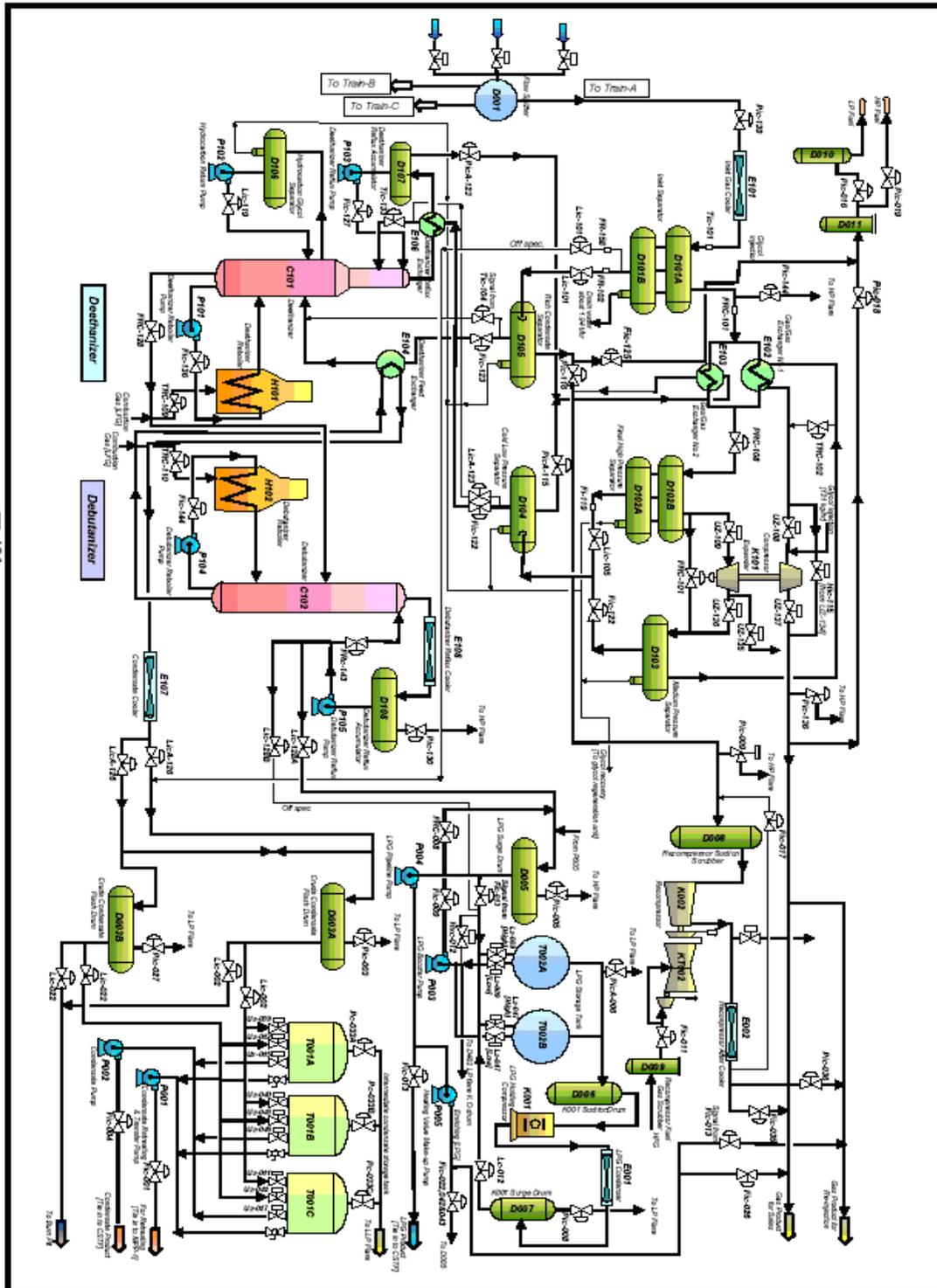
Arrivé au manifold d'entrée du module à 116 bar et  $60^\circ\text{C}$ , ce gaz sera reparti au niveau du diffuseur D 001 sur les trois trains assurant un traitement analogue. Le gaz brut de chaque train est refroidi dans des batteries d'aérorefrigérants (EF101) à  $40^\circ\text{C}$ .

Le gaz se dirige ensuite vers le premier séparateur le D101 où les hydrocarbures et l'eau sont séparés. Le gaz passe à travers des échangeurs de chaleurs gaz/gaz les E102/E103 où il se refroidit jusqu'à  $-6^\circ\text{C}$ .

Il passe ensuite à travers une vanne Joule Thomson (PRC108) où il subit une détente isenthalpique jusqu'à 100 bar et une température de  $-16^\circ\text{C}$ .

Avant d'arriver au séparateur D102, pour éviter la formation d'hydrates qui risquent de boucher les échangeurs, une injection de glycol est effectuée au niveau des échangeurs. Le gaz venant du D102 se détend isentropiquement dans le turbo-expander K101 jusqu'à 64 bar et  $-37^\circ\text{C}$ ., puis une injection du mono-éthylène glycol est faite à l'entrée de la turbine, le gaz passe ensuite par le séparateur de moyenne pression D103 où les hydrocarbures liquides sont séparés du gaz et le gaz froid de D103 va alors refroidir le gaz brut à l'entrée des échangeurs E102, et finalement il sera

comprimé par le turbo expander à 72 bar pour être expédié dans la ligne de production de gaz sec.



Les hydrocarbures liquides condensés du D101 se dirigent vers le séparateur de condensât riche D105 à une pression de 32 bar et à une température de 23°C où ils subissent un flash.

Les condensats séparés dans D105 alimentent le fond du déethaniseur C101 au niveau de 21<sup>ème</sup> plateau. Les condensats de D102 et D103 se rejoignent et passent dans le séparateur D104.

Les hydrocarbures liquides du D104 alimentent la partie supérieure de C101 au niveau du 5<sup>ème</sup> plateau. Les gaz à moyenne pression de D104 et l'accumulateur de reflux du déethaniseur D107 se mélangent et passent leurs frigories au gaz brut dans l'échangeur gaz/gaz (coté calandre). Ces gaz et ceux de D105 sont comprimés au niveau du compresseur K002 à 74 bar et rejoignent la ligne de gaz sec.

#### **I.4 Section de fractionnement**

Les hydrocarbures liquides récupérés dans la section de séparation à haute pression, se séparent entre GPL et condensât dans le débutaniseur C102 constitué de 32 plateaux à clapet.

Le déethaniseur C101 est composé de 28 plateaux à clapet, (12 parties supérieures, et 16 parties inférieures, et un plateau accumulateur).

Les liquides du D104 à pression de 35 bar et à une température de -40°C sont préchauffés dans l'échangeur de reflux E106 jusqu'à -25°C, et alimentent le 5<sup>ème</sup> plateau du C101. Quant à ceux provenant de D105, ils sont préchauffés dans l'échangeur d'alimentation E104 jusqu'à 130°C, et alimentent le 21<sup>ème</sup> plateau de déethaniseur.

Le gaz sortant en tête du C101 est partiellement condensé dans l'échangeur E106.

Le glycol injecté à l'entrée de cet échangeur est récupéré dans le D107.

Une autre injection de glycol est faite dans la ligne de reflux du C101. Les liquides de D107 sont injectés vers le premier plateau de C101 à l'aide de la pompe P103 comme reflux froid.

Le liquide descendant des plateaux supérieurs (Hydrocarbures / glycol) est accumulé dans le plateau accumulateur et par gravité, il passe dans le séparateur (hydrocarbures / glycol) D106.

Dans la partie inférieure du C101, une partie des hydrocarbures est envoyée vers le rebouilleur H101 à l'aide d'une pompe P101 où on chauffe jusqu'à 190°C ensuite elle revient à la partie inférieure de C101.

L'autre partie alimente directement le débutaniseur C102 dans le 21<sup>ème</sup> plateau où il y a récupération de GPL à la tête du C102 à une température de 64°C puis refroidie dans l'aéroréfrigérant E108, jusqu'à 50°C, et passe par le ballon de reflux D108, une partie alimente la tête du C102 comme reflux à l'aide de la pompe P105.

L'autre partie est envoyée vers la section de stockage ou de transfert selon la qualité de la charge (on-spec, off-spec).

Une partie du liquide de fond de C102 se dirige vers le rebouilleur H102 à l'aide de la pompe P104 pour être chauffé jusqu'à 205°C.

L'autre partie du fond de C102 est soutirée (le condensât) à une température de 180°C, refroidie dans l'échangeur E104 jusqu'à 85°C puis dans l'aéroréfrigérant E107 jusqu'à 35°C puis envoyée vers la section de dégazage où elle est ensuite expédiée.

### 1.5. Les utilités

Pour faire fonctionner et assurer l'alimentation permanente de l'unité, l'utilisation des utilités est indispensable. Elle se compose de :

- Unité de traitement de l'air.
- Unité de traitement des eaux.
- Unité de production de gaz inerte.
- Unité de glycol.
- Unité de gaz combustible.

- Unité de production d'électricité.

➤ Unité de traitement de l'air :

L'air utilisé par l'usine se répartit en deux catégories :

Air service : est utilisé pour les différents services dans le module, tel que nettoyage des filtres et les tubes des échangeurs.

Air instrument : est utilisé pour les instruments de régulation

➤ Unité de traitement des eaux :

Les eaux utilisées dans le module sont classées comme suit:

- Eau de service.
- Eau d'incendie.
- Eau de refroidissement.
- Eau potable.

➤ Unité de production du gaz inerte :

Le gaz inerte ( $N_2$ ) est utilisé dans l'usine pour :

- Purger les installations pour éliminer l'air qui se trouve dans les appareils.
- Pour éliminer le gaz inflammable contenu dans les appareils à l'entretien d'arrêt.

➤ Unité de glycol :

Cette section a pour fonction du :

- La préparation et stockage du glycol.
- L'injection de glycol.
- La régénération du glycol.

Le glycol injecté dans les trains a pour but :

- D'éliminer l'eau contenue dans les hydrocarbures liquides.
- D'éviter la formation des hydrates.

➤ Unité gaz combustible :

Le gaz combustible est l'un des plus importantes utilités des modules, il est utilisé pour le fonctionnement des turbines à gaz, fours et chaudières...

➤ Unité électricité :

Le module est alimenté en électricité par SONEGAS. La tension du courant délivrée est réduite à 5.5 kV à l'aide d'un transformateur.

# *CHAPITRE II*

**DESCRIPTION DES CHAINES**

**DE MESURES**

**ET DE REGULATION**

### II.1 Introduction

La connaissance parfaite est une étape importante pour la régulation de ce dernier. Dans ce chapitre, une description détaillée des différents instruments de la boucle et leurs caractéristiques qui nous permettent d'assurer le bon fonctionnement de la chaîne de mesure et de régulation.

### II.2 Capteurs-Transmetteurs :

C'est l'un des instruments principaux de la boucle. Il permet de mesurer les grandeurs physiques (niveau, débit, pression et température) et de les transmettre en un signal électrique (4-20 mA) proportionnel à la grandeur mesurée vers la salle de contrôle.

#### II.2.1 Transmetteur Rosemount 1151 DP<<ALPHALINE>> :

Le transmetteur pour les deux variables niveau et débit est le même transmetteur de pression différentiel Rosemount Model 1151 DP.

Les transmetteurs de pression ALPHALINE model 1151 ont un élément sensible à capacité variable, la cellule de mesure CELL comme le montre la figure II.1.

La différence de capacité entre le diaphragme sensible et les plaques de condensateur est convertie électroniquement en un signal deux fils 4-20 mA ou 10.50 mA

La théorie en est la suivante :

$$P=k\frac{c1.c2}{c1+c2}$$

Ou

P est la pression du procédé.

K est une constante

C1 est la capacité entre le côté haute pression et l'élément sensible.

C2 est la capacité entre le côté basse pression et l'élément sensible.

#### ➤ Caractéristiques fonctionnelles du transmetteur Rosemount 1151 DP

- ✓ **Service** : liquide, gaz ou vapeur.
- ✓ **Gamme** : 0-12.45 à 0-74.7 m bar
- ✓ **Courant de sortie** : 4-20 mA (continu), ou 10-50mA (continu).
- ✓ **Alimentation** : Alimentation extérieur nécessaire : 4-20mA continu : jusqu'à 45v continu, le transmetteur fonctionne sous 12v continu, sans charge.
- ✓ - 10-50mA continu : jusqu'à 85v continu, le transmetteur fonctionne sous 30v continu, sans charge.

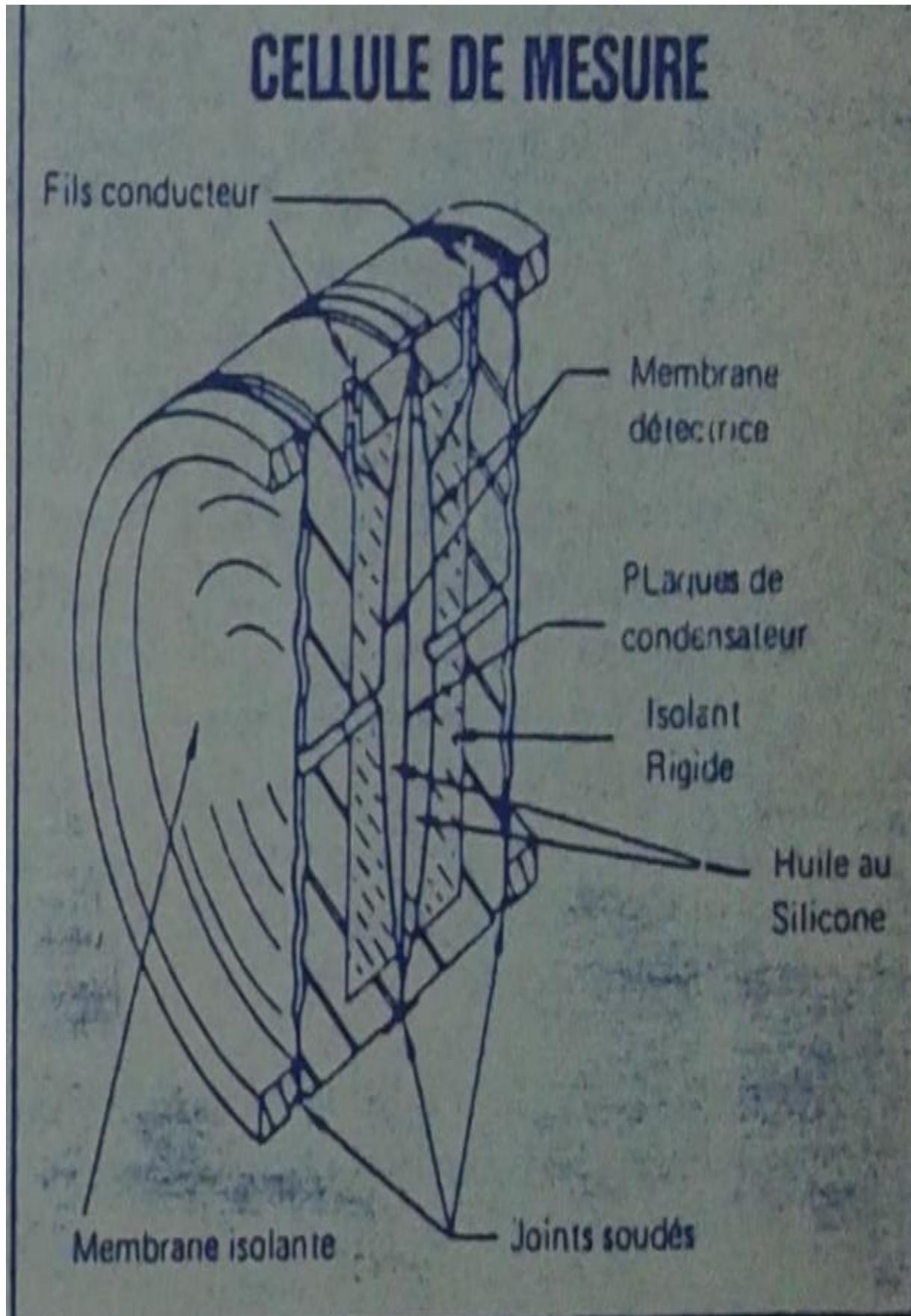


Figure II.1 Schéma illustrant une cellule de mesure différentielle

✓ **Indication :**

- Indicateur en option avec échelle de 44mm.
- Les précisions de l'indicateur est de (+/-) 2%.

### II.2.2 Transmetteur de débit :

La mesure de débit se fait de la même méthode que la mesure de niveau, c'est par la détermination d'une différence de pression amont et aval de l'orifice de contraction.

L'orifice est utilisé comme organe déprimogène.

La différence de pression recueillie entre l'amont et l'aval est appliquée au transmetteur.

Le débit alors est calculé selon la formule de Bernoulli  $Q = K\sqrt{\Delta P}$ .

La conversion et la transmission du signal sont assurées par le transmetteur de pression différentiel de la même manière que pour la mesure du niveau (figure II.2)

➤ **Constituants de transmetteur de débit :**

1-couvercle du boitier.

2-joints de couvercle.

3-boitier du circuit.

4-vis de réglage.

5-joints pour vis de réglage.

6-circlips.

7-14-vis.

9-12-collonettes.

11-carte de calibration.

13-carte de sortie.

15-ecrou déblochage.

16-carte électronique.

18-19-bouchons de purge.

20-22-boulons et joints pour adaptateur.

21-adaptateur.

24-cellule.

25-bride de process.

26-boulons pour brides.

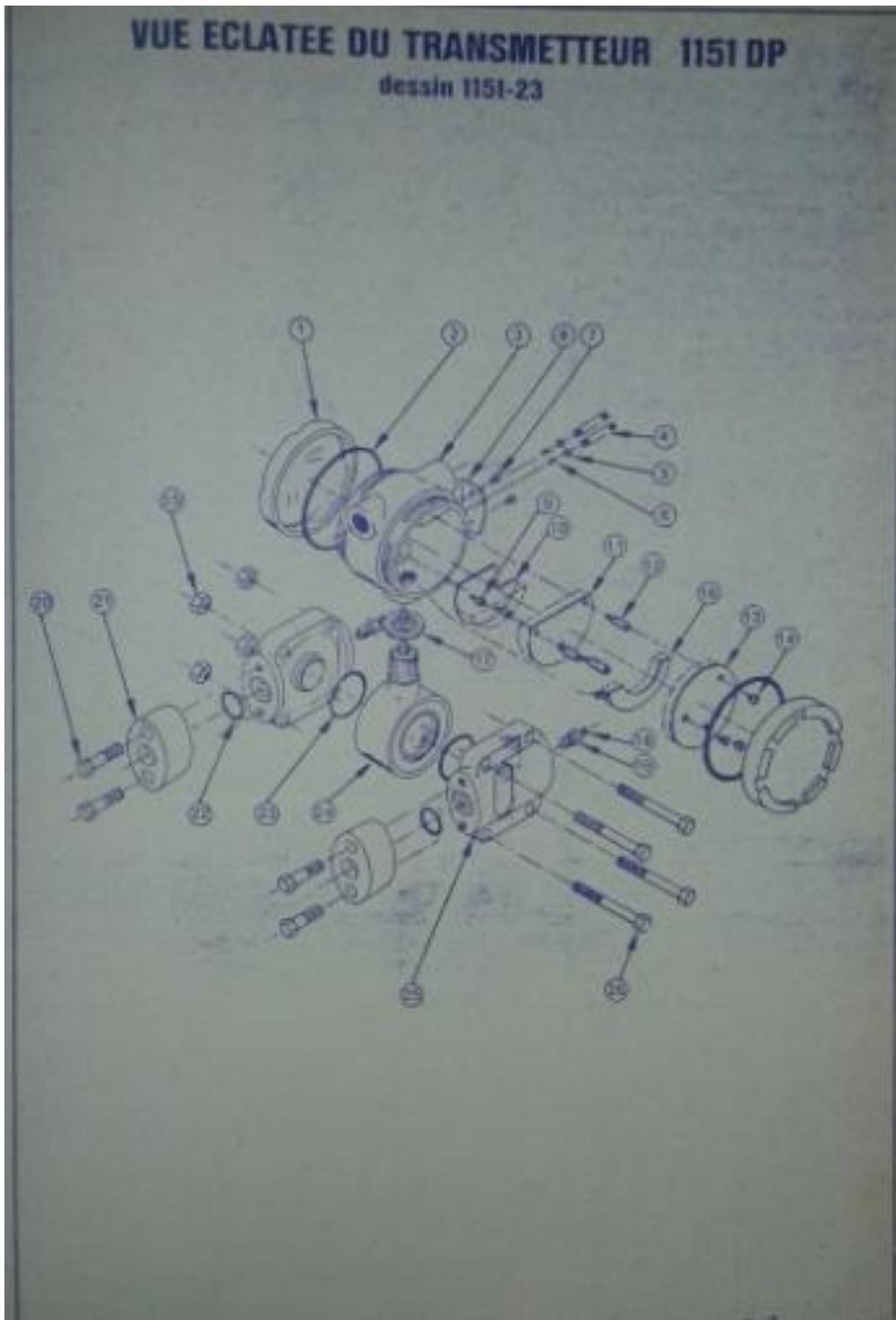


Figure II.2 Schéma d'un transmetteur de débit

### II.2.3 Transmetteur de niveau :

Le niveau est la hauteur entre la surface libre du liquide contenu dans une capacité et un point pris comme référence.

Les transmetteurs de pression différentielle sont utilisés pour déterminer un niveau.

Dans une capacité fermée la pression existante au-dessus du liquide affectera la pression mesurée à la base, la pression à la base est égale à la hauteur du liquide multipliée par sa densité plus la pression interne de la capacité.

Pour mesurer le niveau réel du liquide il faut soustraire la pression interne de la capacité. Ceci peut s'effectuer en raccordant une prise de pression du haut de la capacité sur le côté basse pression du transmetteur de pression différentielle et en raccordant la prise du fond de la capacité sur le côté haute pression.

Une mince membrane flexible sépare le capteur de pression du fluide à mesurer, le capillaire et l'élément sensible du transmetteur sont remplis par un liquide approprié (silicon), lorsque la pression du procédé est appliquée la membrane du séparateur se déforme et transmet la sollicitation reçue au capillaire du transmetteur à travers le circuit de liaison rempli de liquide.

La pression transmise déplace la membrane détectrice placée dans la cellule et crée une capacité différentielle entre la membrane et la plaque du condensateur qui est convertie en signal électrique (4-20 mA) vers l'organe de commande.

La pression différentielle ainsi obtenue est proportionnelle à la hauteur du liquide multiplié par sa densité.

#### ➤ L'étalonnage du transmetteur (niveau-débit) :

L'étalonnage est le moyen le plus efficace pour contrôler l'état de la fiabilité de l'instrument. Il fait du plan de maintenance préventive et curative. Il permet l'ajustement de trois paramètres (le zéro, l'échelle et linéarité).

Pour assurer un étalonnage parfait certaines conditions doivent être satisfaites :

- Connaître la plage sur laquelle l'instrument doit être étalonné.
- Assurer les mêmes conditions de fonctionnement de l'instrument en cas où ce dernier nécessite un étalonnage dans l'atelier.
- Disponibilité de l'appareillage pour effectuer une telle opération sur site ou dans l'atelier.
- Assurer les conditions de sécurité sur le lieu d'intervention.

- **Réglage du zéro**

Sur le modèle 1151 le zéro peut être réglé pour obtenir un décalage positif de 500% ou un décalage négatif de 600% comme le montre la figure II.3

Si l'on veut obtenir un grand décalage positif ou négatif, il est nécessaire de déplacer un interrupteur situé sur l'amplificateur du même côté que les composants.

Cet interrupteur montré sur la figure II.4 a trois positions.

1-la position du milieu permet un décalage normal positif ou négatif. Si l'on désire effectuer un grand décalage négatif ou positif, il est nécessaire de pousser cet interrupteur sur la position <élevate zéros> ou <supress zéro>.

On peut étalonner le transmetteur de façon à avoir une étendue de mesure située de part et d'autre du zéro mais cela entrainer une légère modification de la linéarité.

- **Procédure recommandée pour le réglage du zéro et l'étendue de mesure**

Les vis de réglage du zéro et de l'étendue de mesure sont accessibles de l'extérieur ; elles sont situées derrière la place signalétique sur le côté du boitier électronique comme le montre la figure II.5 .Le signal de sortie augmente si l'on tourne les vis de réglage dans le sens des aiguilles d'une montre.

La vis de réglage du zéro et l'interrupteur de décalage du zéro ont un effet négligeable sur l'étendue de mesure, alors que le réglage de l'étendue de mesure affecte le zéro. Cet effet est minimisé quand il n'y a pas de décalage positif ou négatif, lorsque le réglage de la gamme change approximativement le minimum et le maximum du signal du même pourcentage.

Il est donc recommandée d'étalonner le transmetteur à l'étendu de mesure désiré et de terminer l'étalonnage en réglant la vis zéro (ainsi que l'interrupteur si nécessaire) pour obtenir le décalage négatif ou positif désiré.

- **Ajustement de l'échelle**

L'erreur de l'échelle est déduite comme suit :

On règle le zéro et on fait augmenter l'échelle à 25%, 50%, 75%, 100% de la valeur nominal. Si à chaque fois l'écart entre la vraie valeur et la mesure croit dans le même sens, alors il s'agit d'une erreur d'échelle.

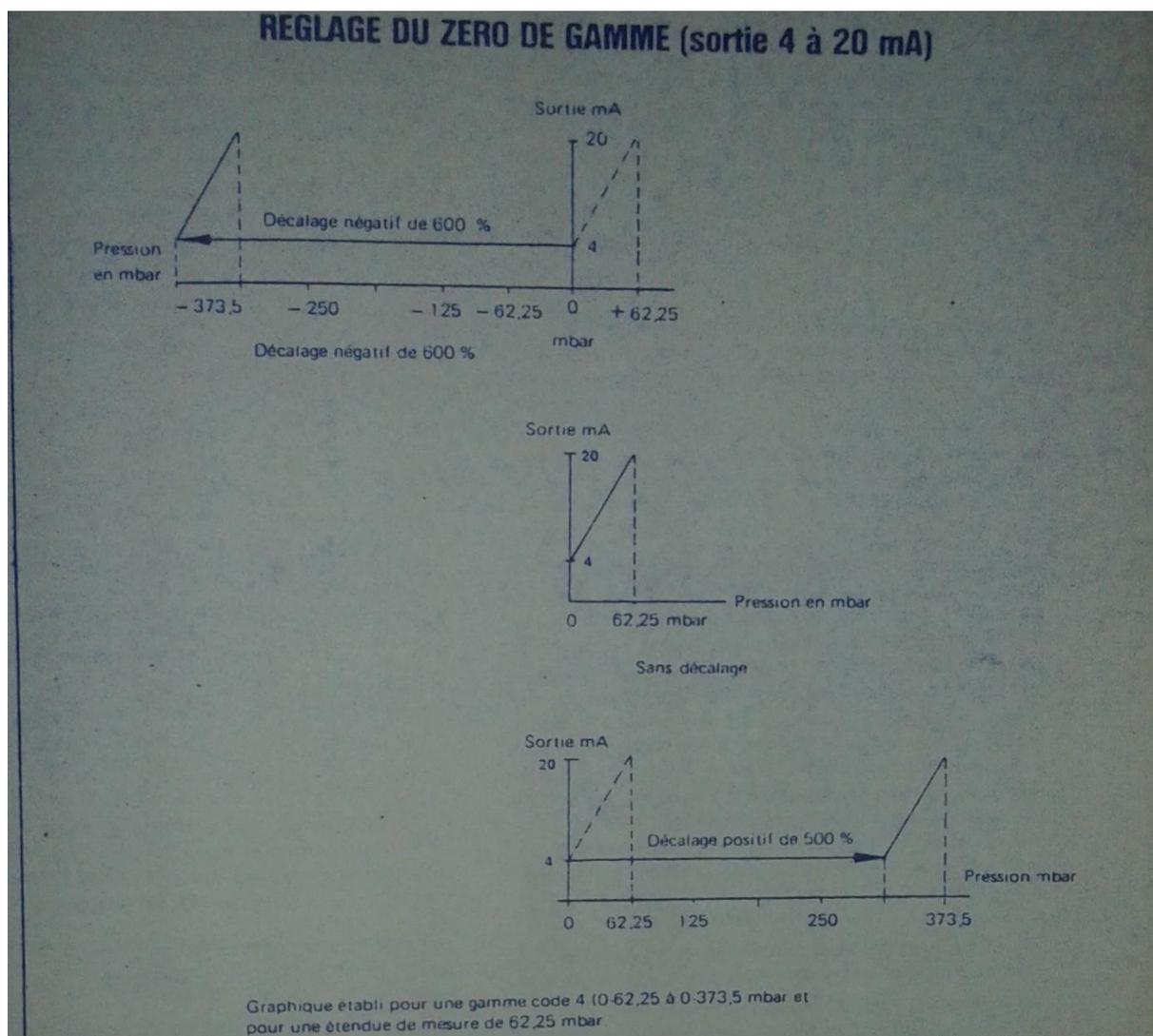


Figure II.3 illustration du réglage de Zéro de la gamme de sortie du transmetteur

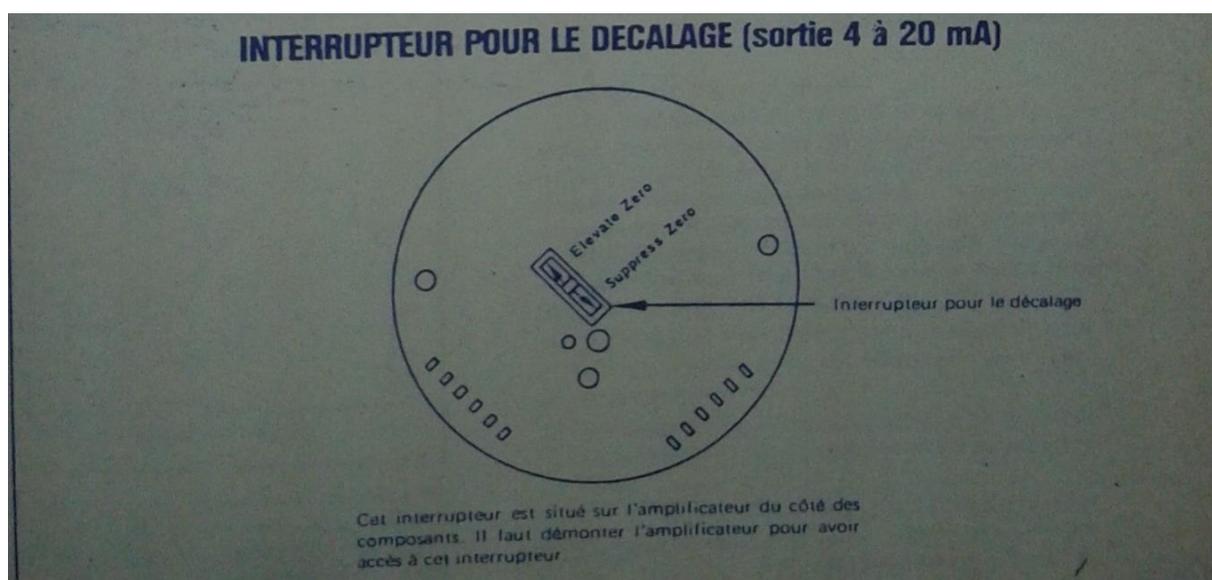


Figure II.4 illustration de l'interrupteur pour le décalage

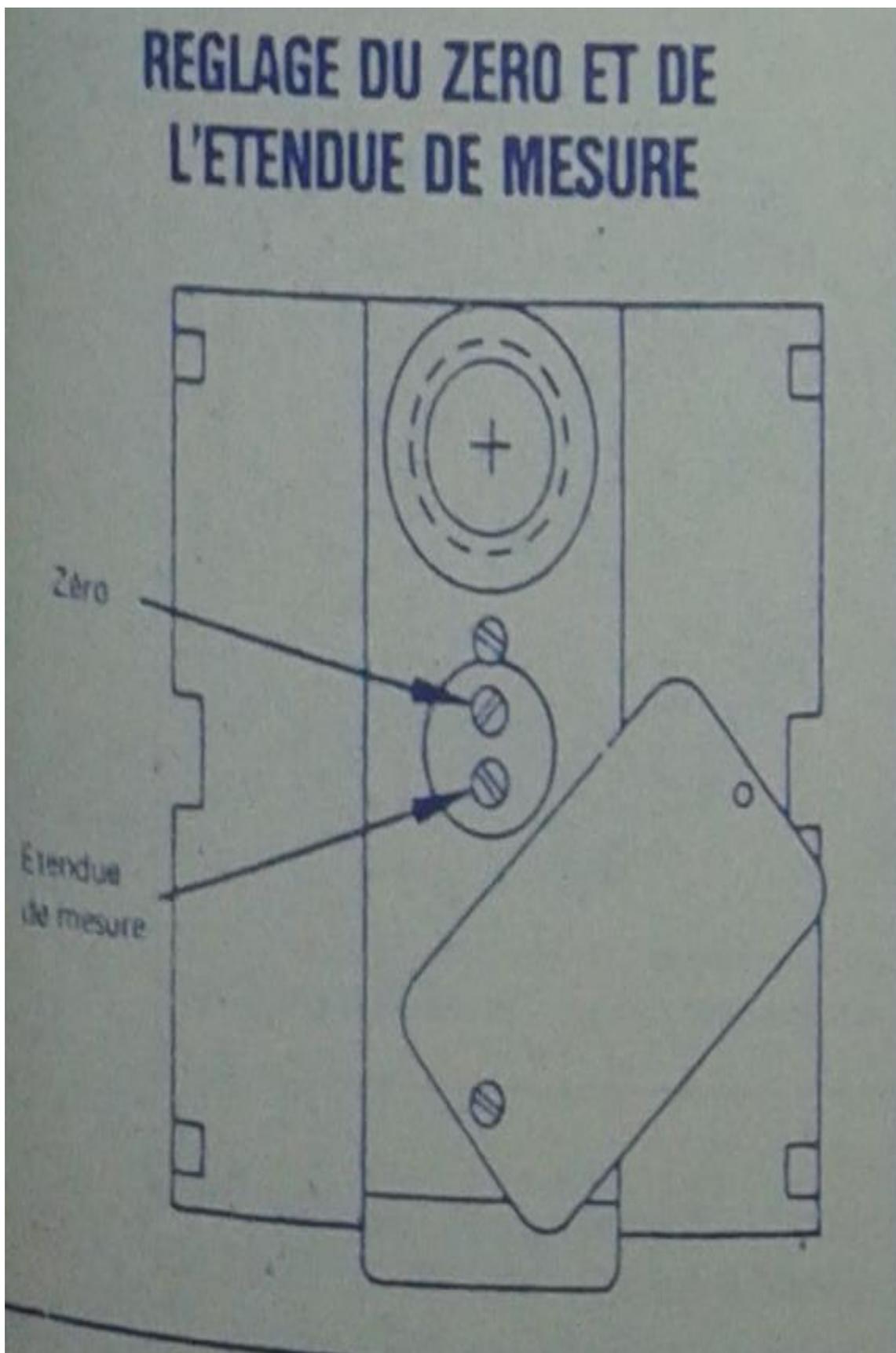


Figure II.5 illustration des procédures recommandées pour le réglage de Zéro et de l'étendu de mesure

Son ajustement se fait en injectant 100% de l'échelle et on règle l'indication de l'instrument, ensuite on refait le réglage du zéro.

- **Réglage de linéarité**

Si on remarque un décalage pour les valeurs intermédiaires de 25%,50% ou 75%, on agit sur l'amplificateur situé sur la carte électronique du transmetteur pour ajuster au maximum la linéarité.

### **II.2.4 Convertisseur I/P :**

Le convertisseur I (courant)/P (pression) reçoit un signal d'entrée électrique pour le transformer sous forme d'un signal de sortie pneumatique, ce dernier est utilisé pour actionner des appareils pneumatiques.

#### ➤ **Principe de fonctionnement**

Une entrée de courant continu CC en mA est convertie à une sortie pneumatique PSI (bar) de la façon suivante :

Une bobine placée dans un champ magnétique permettant d'exercer une poussée tangentielle proportionnelle au courant d'entrée, par l'intermédiaire de flexible de la bobine fait varier l'intervalle entre le clapet et la buse ceci entraîne une modification de la pression de sortie de relais qui est également la pression amenée à un soufflet de contre réaction qui exerce une force sur un flexible de contre réaction faisant varier la buse et établissent un rapport d'écartement entre le clapet et la buse.

#### ➤ **L'étalonnage des convertisseurs I/P :**

La procédure nécessite :

- une boîte à résistance variable.
- un multimètre de précision.
- un manomètre étalon précis.

#### ➤ **Réglage de zéro :**

Le multimètre étant sur position ampèremètre on applique à l'entrée du convertisseur 0% de l'échelle (4 Ma), et on ajuste la vis de réglage de zéro de telle sorte à obtenir un signal de 0.2 bars sur le manomètre étalon.

### ➤ Réglage de l'échelle

Le réglage de l'échelle est obtenu en appliquant cette fois ci a l'entrée du convertisseur un signal de 20 mA. Le manomètre de sortie doit indiquer l'information en plein échelle (1 bar) si non on doit agir sur la vis de réglage portée.

### ➤ Réglage de linéarité

On réajuste le réglage de zéro jusqu'à l'obtention de 0% et 100%, on passe ensuite à l'étalonnage du convertisseur pour les valeurs intermédiaires.

### II.3 Mesure de niveau

La mesure d'un niveau consiste à repérer la surface de séparation entre un corps (solide ou liquide) et l'air, ou gaz ou un liquide et sa propre vapeur par rapport à un point de référence. Le point de référence peut être le fond même d'un réservoir surtout lorsqu'on cherche à tirer de cette mesure la connaissance du volume ou du poids de matière emmagasinée. Si le niveau doit être maintenu constant, on peut reporter le point de référence assez près du niveau désiré, ce qui permet d'améliorer la sensibilité de la mesure.

Les principes physiques utilisés pour les mesures de niveaux sont très variés, les plus courants sont :

- ✓ Le principe d'Archimède pour les flotteurs et les plongeurs.
- ✓ Le principe de l'hydrostatique pour les mesures par cellule à pression différentielle.

Il existe deux possibilités pour mesurer un niveau : (voir figure II.6)

- ✓ Dans le premier cas, on mesure le plein, c'est-à-dire la hauteur au dessous de la surface du liquide. Souvent le fond du réservoir sert de butée inférieure. Une plaque de touche sur laquelle vient de reposer l'extrémité de la jauge peut également être utilisée comme référence, si on souhaite une meilleure précision
- ✓ Dans le second cas, on mesure le creux, c'est-à-dire la hauteur au dessus de la surface du liquide. Ici la face d'une bride d'une tubulure verticale le surmontant le toit du bac peut servir de butée haute

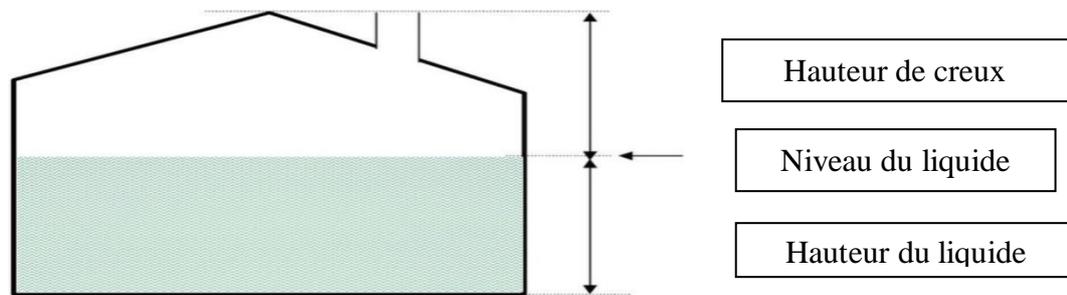


Figure II.6 mesure de niveau

### II.3.1 Le plongeur

C'est un cylindre immergé dont la hauteur est au moins égale à la hauteur maximale du liquide dans le réservoir. Le plongeur est suspendu à un capteur dynamométrique qui se trouve soumis à une force  $F$  (poids apparent), qui est fonction de la hauteur  $h$  du liquide, le schéma illustrant le plongeur est montré dans la figure II.7

$$F = P - r \times g \times h \times S$$

$r \times g \times h \times S$  : poussée d'Archimède s'exerçant sur le volume immergé du plongeur

$S$  : aire de la section du plongeur

$P$  : poids du plongeur

- Domaine d'utilisation : Comme les dispositifs à flotteur, les dispositifs à plongeur utilise le principe d'Archimède. Le plongeur subit de la part du liquide, une force qui est dépendante du niveau d'immersion. Le plongeur de forme cylindrique est peu sensible aux oscillations de niveaux autour d'un point d'équilibre. Il convient aux liquides très visqueux
- Etendu de mesure : 30 cm à 6 mètres maximum
- Précision : de l'ordre de 0,5 %
- Gamme de température -150 à 450 °C
- Pression max (bar) : 40 bars

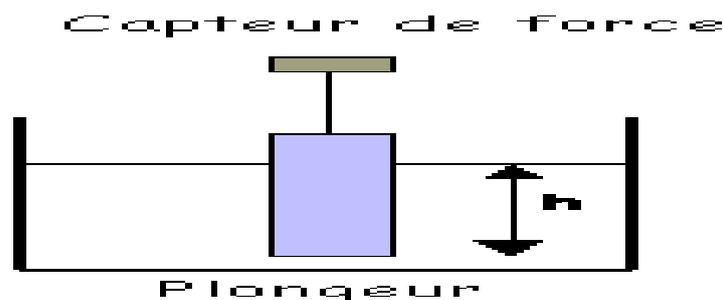
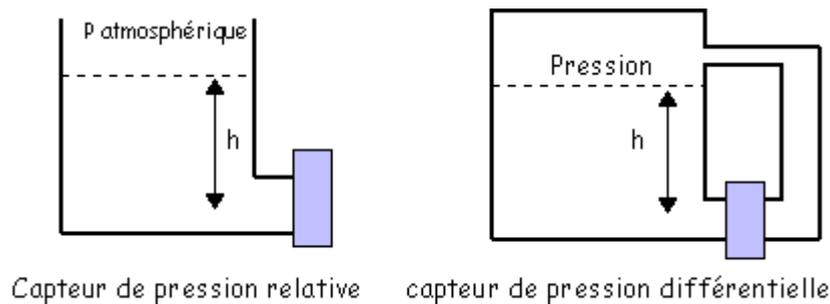


Figure II.7 Schéma de fonctionnement du plongeur

## II.3.2 capteur de pression

Il mesure :

- la pression relative au fond du réservoir quand celui-ci est ouvert à l'air libre, cette pression est l'image du niveau  $h$  du liquide  $P = \rho \cdot g \cdot h$
- la pression différentielle quand le réservoir est fermé et sous pression (figure II.8)

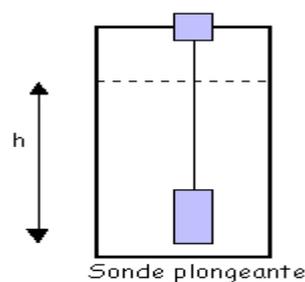


**Figure II.8 principe de fonctionnement du capteur de pression**

- domaine d'utilisation : cette technique est utilisable à la quasi totalité des liquides : toutes viscosités, neutres ou corrosifs, chargés ou non, inflammables ou non. Toutefois l'indication délivrée est directement proportionnelle à la densité du fluide. Toute variation de densité fausse la mesure. Utilisation dans une large gamme de la température ambiante  $-20$  à  $+ 80$  °C et de liquide ( $< 120$  °C) ainsi que de pression hydrostatique ( $< 25$  bars)
- gamme de mesure : depuis 0 à 25 mbar et jusqu'à 25 bars
- précision : 0,5 à 1 % de l'étendue de mesure selon la technologie employée

La fixation s'effectue souvent par une bride à la partie inférieure du réservoir, éventuellement à la partie supérieure si le réservoir est sous pression dans le cas de mesure différentielle.

Dans le cas des puits, on utilise des capteurs montés sur sondes plongeantes fixées au niveau de la paroi supérieure.(figure II.9)



**Figure II.9 sonde plongeante**

Pour le principe, une membrane élastique se déforme sous l'effet de la pression. Il y a transformation de cette déformation en grandeur électrique. On peut mesurer une pression différentielle avec la pression atmosphérique grâce à une cellule reliée à l'air libre par un tube rigide. Différentes technologies sont utilisées parmi lesquelles les capteurs piézo – résistifs qui sont les plus utilisés dans les eaux usées, les capteurs piézo – électriques, les jauges de contraintes.

### II.4 Les régulateurs

#### II.4.1 Rôle d'un régulateur:

Le régulateur est l'organe central de la boucle de régulation. C'est un appareil dont la fonction essentielle est de comparer la mesure de la grandeur à réguler (le signal venant du transmetteur) à la consigne imposé ; s'il existe une différence entre elles (ou écart), il modifie le signal de commande qui est envoyé à la vanne automatique (ou à un autre organe de réglage) en fonction des actions dont il est prévu. Cette modification de signal de commande de la vanne automatique doit permettre de ramener la grandeur régulée à une valeur proche que possible de la consigne. Ceci est montré dans la figure II.10.

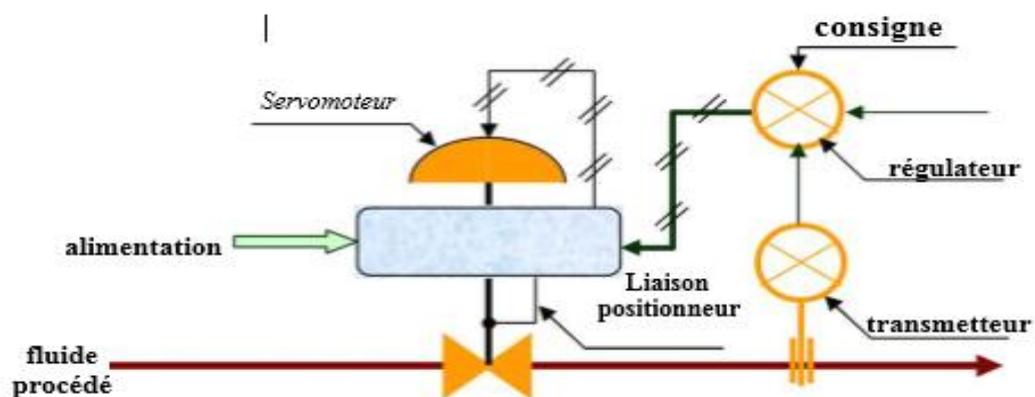


Figure II.10 Schéma d'une boucle de réglage

Mais il est rare que ce soit la seule fonction requise par cet appareil. Il doit également :

- Assurer l'affichage de certaines grandeurs, comme la consigne, la mesure, le signal de sortie vers l'organe de réglage.

- Permettre d'autres configurations de réglage, comme à la commande manuelle directe de la vanne de l'opérateur, ou l'imposition de la consigne par un autre régulateur ou par une sortie de calculateur.

Le régulateur peut parfois être situé localement dans l'unité. Mais en fait, il est presque toujours en salle de contrôle, à la portée de l'opérateur qui peut ainsi surveiller les indications fournies et imposer les valeurs des consignes.

Quel que soit le type de régulateur choisi : pneumatique, électrique ou numérique, le régulateur est constitué de plusieurs organes dont le rôle est d'assurer chacune des fonctions nécessaires à son bon fonctionnement, à savoir :

Recevoir le signal : consigne et l'afficher ;

Recevoir le signale : mesure du transmetteur et l'afficher ;

Déterminer l'écart mesure – consigne ;

Elaborer un signal de commande en fonction de cet écart et l'afficher,

Envoyer ce signal vers l'organe de réglage (voir figure II.11).

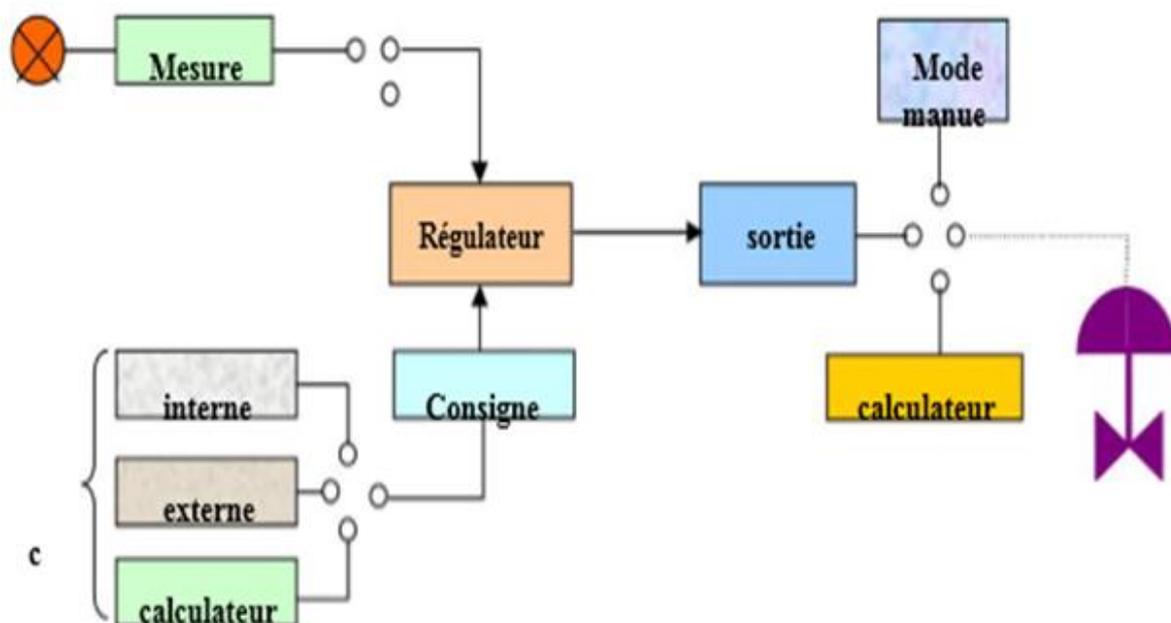


Figure 2.11 Eléments constitutifs d'une boucle de régulation

### ➤ Fonctionnement d'un régulateur :

La description d'un régulateur pneumatique permet de comprendre le principe de fonctionnement de chacun de ces organes comme le montre la figure II.12.

#### ✓ CONSIGNE

La valeur de la consigne est imposée grâce à un bouton de réglage situé sur la face du régulateur qui permet un embiellage de déplacer un index indiquant la valeur de la

consigne choisie (en pourcentage de l'étendue de l'échelle) ; il modifie simultanément le signal de sortie d'un ensemble buse palette qui, après amplification par un relais, constitue le signal de consigne interne qui est transmis : D'une part à un soufflet de contre réaction d'autre part au système utilisateur qui compare ce signal avec le signal de mesure.

### ✓ MESURE

La réception de la mesure est assurée par un soufflet qui reçoit le signal pneumatique venant du transmetteur. Cette pression d'air modulé peut varier de 0,2 à 1 bar suivant la valeur de la mesure effectuée par le capteur. Un système d'embellage analogue au précédent permet d'afficher la valeur du signal (en % de l'étendue d'échelle).

### ✓ ECART : MESURE – CONSIGNE

La comparaison mesure – consigne (ou détection de l'écart) réalisée par mise en position des soufflets recevant respectivement :

La pression de mesure venant du transmetteur

La pression correspondant à la valeur de la consigne interne

La différence entre les deux se traduit par le déplacement du levier autour du pivot, donc de la palette, qui lui est solidaire, devant la buse fixe. Comme précédemment, un relais amplifie le signal de sortie correspondant pour aller commander le servomoteur de la vanne de réglage.

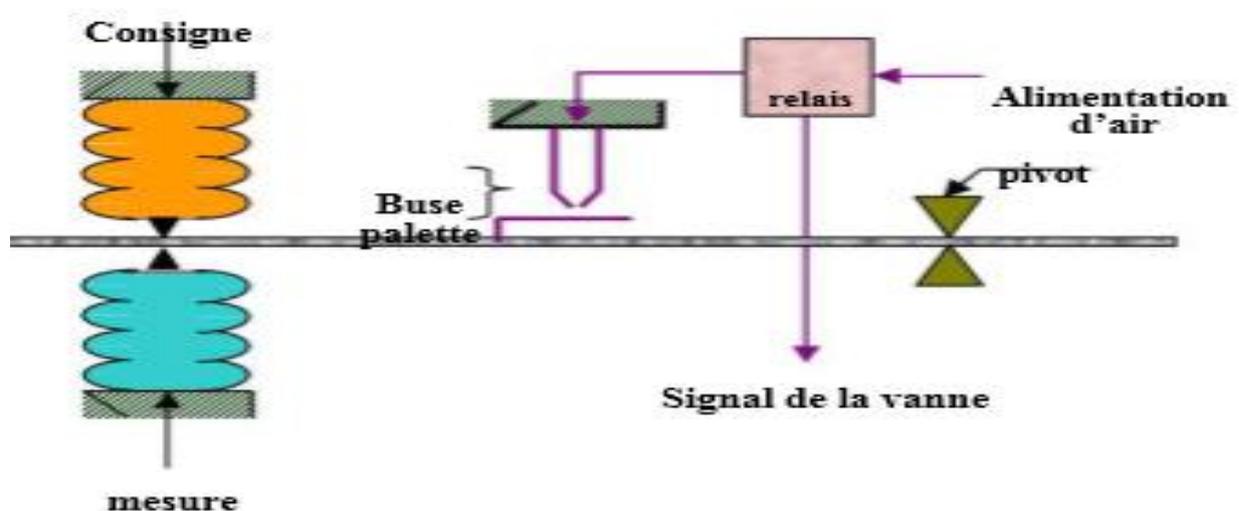


Figure II.12 illustration d'un régulateur pneumatique

### II.4.2 Principaux modes de fonctionnement d'un régulateur :

#### ✓ Mode manuel :

Le signal de sortie est affiché par l'opérateur et modifié par lui. L'écart mesure – consigne n'a plus d'influence.

#### ✓ Mode automatique : auto ou consigne interne

C'est le régulateur qui élabore le signal de sortie en fonction :

De la valeur de l'écart mesure – consigne.

Des actions proportionnelle, intégrale et dérivée.

La seule action possible de l'opérateur sur ce régulateur est de modifier la consigne ou de changer de mode.

### II.4.3 Passage Automatique / Manuel – consigne suiveuse

Le régulateur étant en automatique et la boucle de régulation en fonctionnement normal, le signal de mesure et le signal de commande varient de façon continue en 0 et 100%.

Le passage en mode manuel du régulateur permet d'afficher un signal de commande fixe donné qui maintient la vanne en position et la mesure fluctue en conséquence.

A ce moment :

-Si le régulateur a été configuré en consigne suiveuse, la consigne Varie en suivant exactement la mesure ; le passage en automatique du régulateur ne provoque alors aucun coup sur la vanne automatique.

-Dans le cas contraire, le passage en automatique sans équilibrage (perturbe) plus au moins fortement le procédé.

#### ✓ Mode cascade : ou consigne externe

C'est un autre régulateur qui impose la consigne de ce régulateur. La seule action possible sur ce dernier est de changer son mode de fonctionnement.

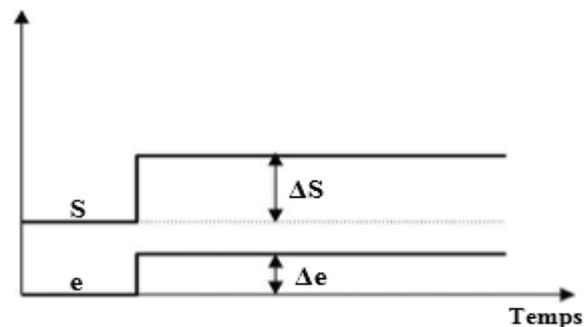
### II.4.4 Actions d'un régulateur

#### ✓ Action proportionnelle

Avec une action proportionnelle pure, la variation du signal de sortie  $\Delta S$  est proportionnelle à la variation de l'écart  $\Delta e$ , On a donc :

$$\Delta S = K_p \times \Delta e.$$

L'effet de l'action proportionnelle P dans le cas d'un écart entre mesure et consigne qui passe de la valeur 0 à la valeur  $\Delta e$ , puis reste constant, est illustré par le schéma ci-dessous. (Figure II.13)



**Figure II.13 Explication du fonctionnement de l'action proportionnelle**

Ainsi, un écart  $\Delta e$  de 10% se traduit par une variation  $\Delta S$  du signal de sortie de :

10 % si le gain est 1

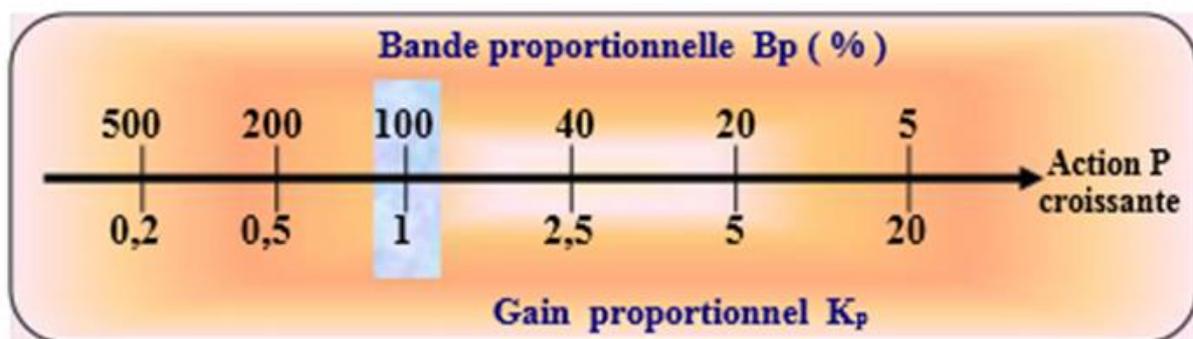
20 % si le gain est 2

5 % si le gain est 0,5

Le plus souvent, l'action est repérée non pas en gain, mais en proportionnelle BP (%) qui est l'inverse du gain multiplié par 100.

$$BP\% = \frac{1}{k_p} \times 100$$

La correspondance gain – BP est donc la suivante (figure II.14):



**Figure II.14 illustration de la bande proportionnelle**

### ✓ Action intégrale:

L'action intégrale se combine à l'action proportionnelle pour déterminer le signal de commande.

En boucle ouverte, si une variation de la mesure amène une variation de l'écart  $\Delta e$ , la réponse du régulateur PI est la suivante. (Figure II.15)

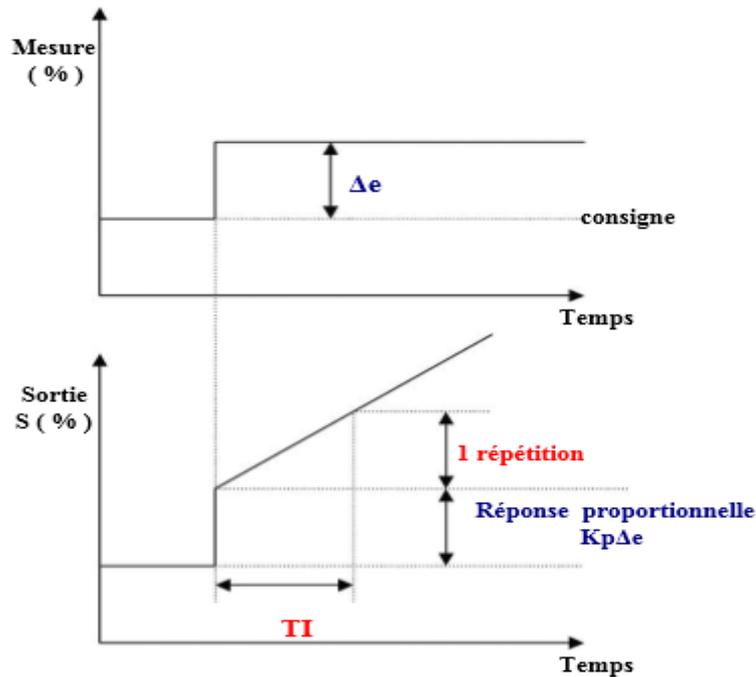


Figure II.15 Explication du fonctionnement de l'action intégrale

Initialement : écart  $e = 0$

Sortie  $S = \text{constante } S_0$

A l'application de l'écart  $e$ , lié à un échelon sur la mesure, l'action P fait varier la sortie d'une valeur  $K_p \times \Delta e$  d'autant plus forte que le gain  $K_p$  est important.

Au même moment, l'action intégrale commence à faire varier la sortie à une vitesse qui dépend de son réglage. Ce réglage peut être quantifié de 2 façons :

-Par le temps intégral  $T_I$  nécessaire, pour répéter 1 fois l'action P. Il s'exprime en minutes par répétition (mn / rep). Ou le nombre de répétition de l'action P par mn, qui est l'inverse de  $T_i$ , encore appelé gain intégral  $G_I$  (figure II.16).

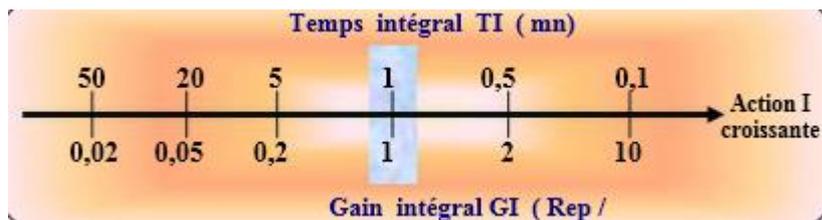


Figure II.16 illustration du temps intégral

✓ Action dérivée :

Dans un régulateur PID, l'action dérivée se combine avec l'action proportionnelle pour déterminer, en plus de l'action intégrale le signal de commande. La mise en évidence des caractéristiques de l'action D nécessite l'étude de la réponse d'un régulateur PD en boucle ouverte

II.4.5 Les régulateurs de la boucle étudiée implémentés sur site.

➤ Régulateur principal LIC 123 (maitre) :

On utilise dans la chaine principale un régulateur PI pneumatique (LIC 123) dont le rôle est de comparer l'écart entre la mesure provenant du transmetteur de niveau LT123 et la consigne provenant de l'opérateur, et en fonction de cet écart un signal de commande est transmis vers le régulateur de débit (FIC 127) qui de son tour va actionner la vanne automatique. (Figure II.17).

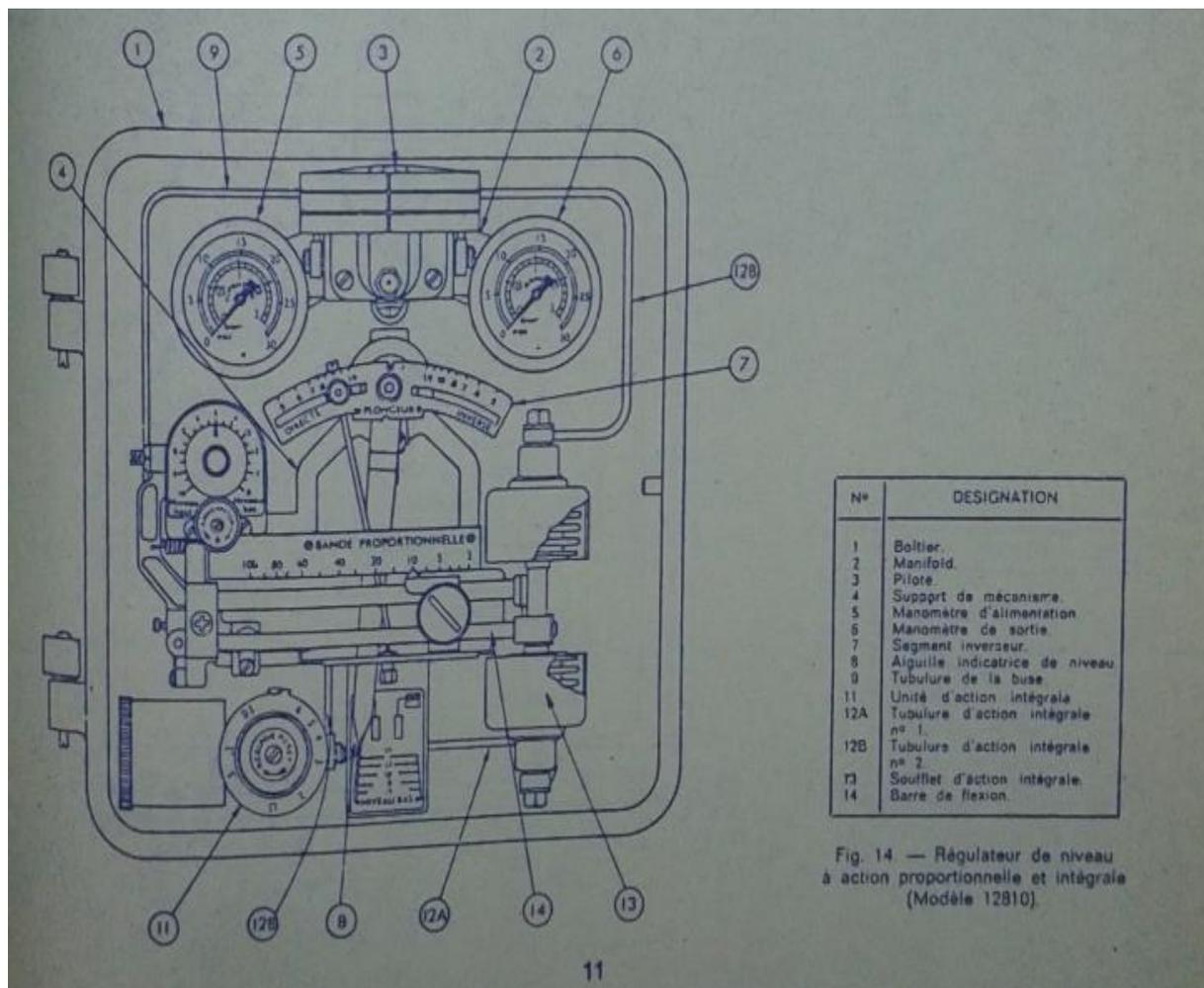


Figure II.17 Schéma d'un régulateur pneumatique de niveau à action proportionnelle et intégrale

➤ Régulateur auxiliaire FIC 127 (esclave) :

On utilise dans la chaîne auxiliaire un régulateur **PI** pneumatique (**FIC 127**) dont le rôle est de comparer l'écart entre la mesure provenant du transmetteur de débit **FT127** et la consigne provenant du régulateur principal **LIC 123**, et en fonction de cet écart un signal de commande est transmis vers le mécanisme d'exécution (**FV 127**), afin de stabiliser le circuit de réglage. (voir figure II.18).

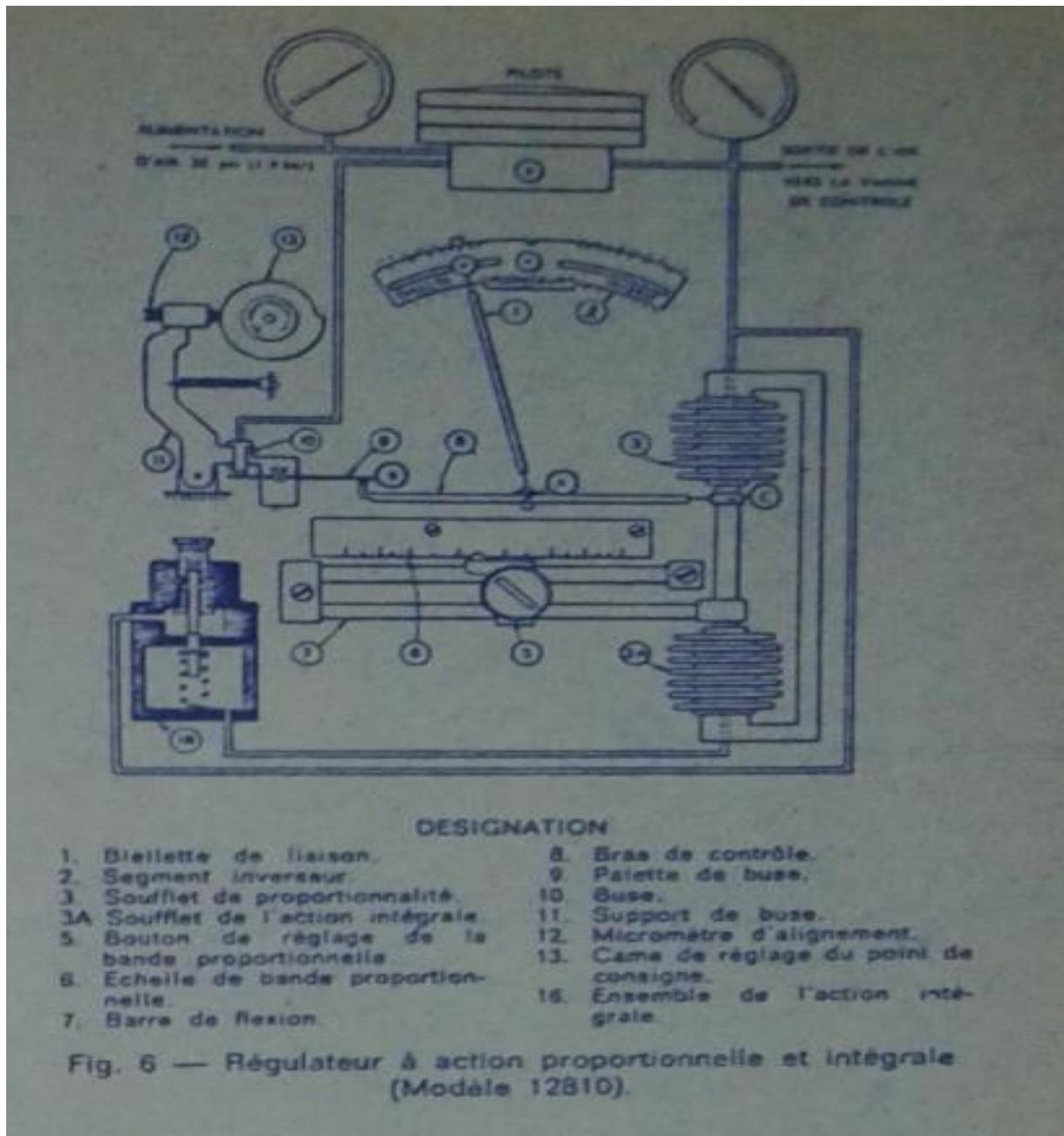


Figure II.18 Schéma d'un régulateur pneumatique de débit à action proportionnelle et intégrale

### II.5 L'organe d'exécution :

Une vanne est un dispositif qui sert à arrêter ou modifier le débit d'un fluide, liquide, gazeux, pulvérulent ou multiphasique, en milieu libre (canal) ou en milieu fermé (canalisation). Pour choisir une vanne de régulation, il faut d'abord définir les caractéristiques du procès : température, pression, pression différentielle, nature du fluide (figure II.28), et la vanne implémentée sur site est illustrée dans la figure ( II.29).

#### II.5.1 Composition d'une vanne

Une vanne de régulation comporte trois éléments principaux (figure II.30)

- **Corps de vanne** : C'est le premier élément à considérer, puisque c'est lui qui est en contact avec le process et qu'il reçoit et subit toutes ses influences et qu'il assure le réglage du débit.
- **Le servomoteur** : l'organe actionnant la tige de la vanne ou l'actionneur qui assure la conversion du signal de commande en mouvement de la vanne. L'effort développé par le servomoteur a deux buts :
  - lutter contre la pression agissant sur le clapet.
  - assurer l'étanchéité de la vanne.

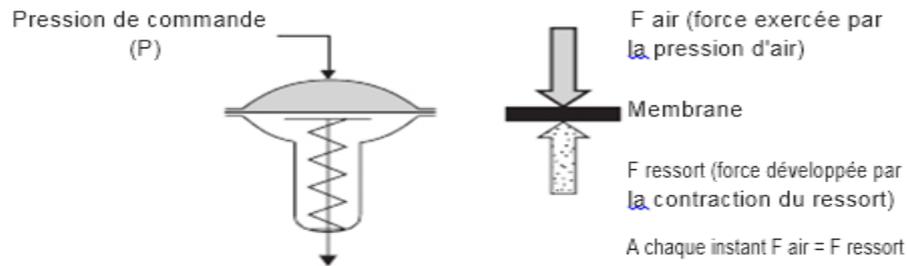
Dans la grande majorité des applications, on utilise un servomoteur pneumatique simple effet : de l'air est envoyé, par une seule entrée, sur le ressort de manière à maintenir l'équilibre souhaité.

Le servomoteur est constitué d'une membrane souple, qui en se déformant sous l'action de la pression d'air, agit sur le plateau support pour écraser le ressort. La membrane du servomoteur est donc soumise à deux forces antagonistes.

- d'un côté la force due à la pression venant du régulateur. Cette force  $F_{air}$  est proportionnelle à la pression d'air régnant dans le servomoteur
- de l'autre côté la force due à la compression du ressort. Cette force  $F_{ressort}$  est d'autant plus importante que le ressort est comprimé.

Pour chaque valeur de la pression, il existe une position du ressort qui équilibre la force correspondante due à la pression (figure 2.19).

$F_{ressort} = k \cdot \Delta l$ et $F_{air} = P \cdot S$
---



**Figure II.19 Schéma de fonctionnement d'un servomoteur**

➤ **Le positionneur** : Le troisième élément principal d'une vanne est le positionneur dont la fonction de base est de garantir la position correcte du clapet par rapport au siège pour un signal de commande donné. Parmi les positionneurs analogiques, on distingue les positionneurs pneumatiques, alimentés par l'air et les positionneurs électropneumatiques alimentés par un signal électrique, le plus souvent en 4-20 mA et qui joue le rôle d'un positionneur convertisseur. Dans le cas d'un convertisseur électro pneumatique, (figure II.20) celui-ci reçoit un signal 4-20 mA et renvoie une pression de 3 à 15 PSI (pour la vanne FV127).

Dans notre boucle de régulation en cascade, le type d'actionneur est une vanne automatique.

Il est utilisé pour asservir la position de la vanne au signal de command, et il va servir à maintenir l'ouverture exigée par le régulateur quelque soit les perturbations de dépression ou suppression du fluide.

✓ Signal de commande :

- Pneumatique : 3-15 Psi (0.2-1 bar)
- Electrique : 4-20 mA



**Figure II.20 Positionneur et convertisseur**

Le positionneur est alimenté en Air instrument (1.4bar) reçoit le signal de commande, en cas d'utilisation d'un positionneur électropneumatique, il y a un signal électrique qui vient du régulateur. Ce signal électrique est converti en un signal pneumatique par le convertisseur I/P et envoyé vers le positionneur pneumatique (figure II.21).

Les éléments constituant le positionneur réel sont montrés dans la figure II.22.

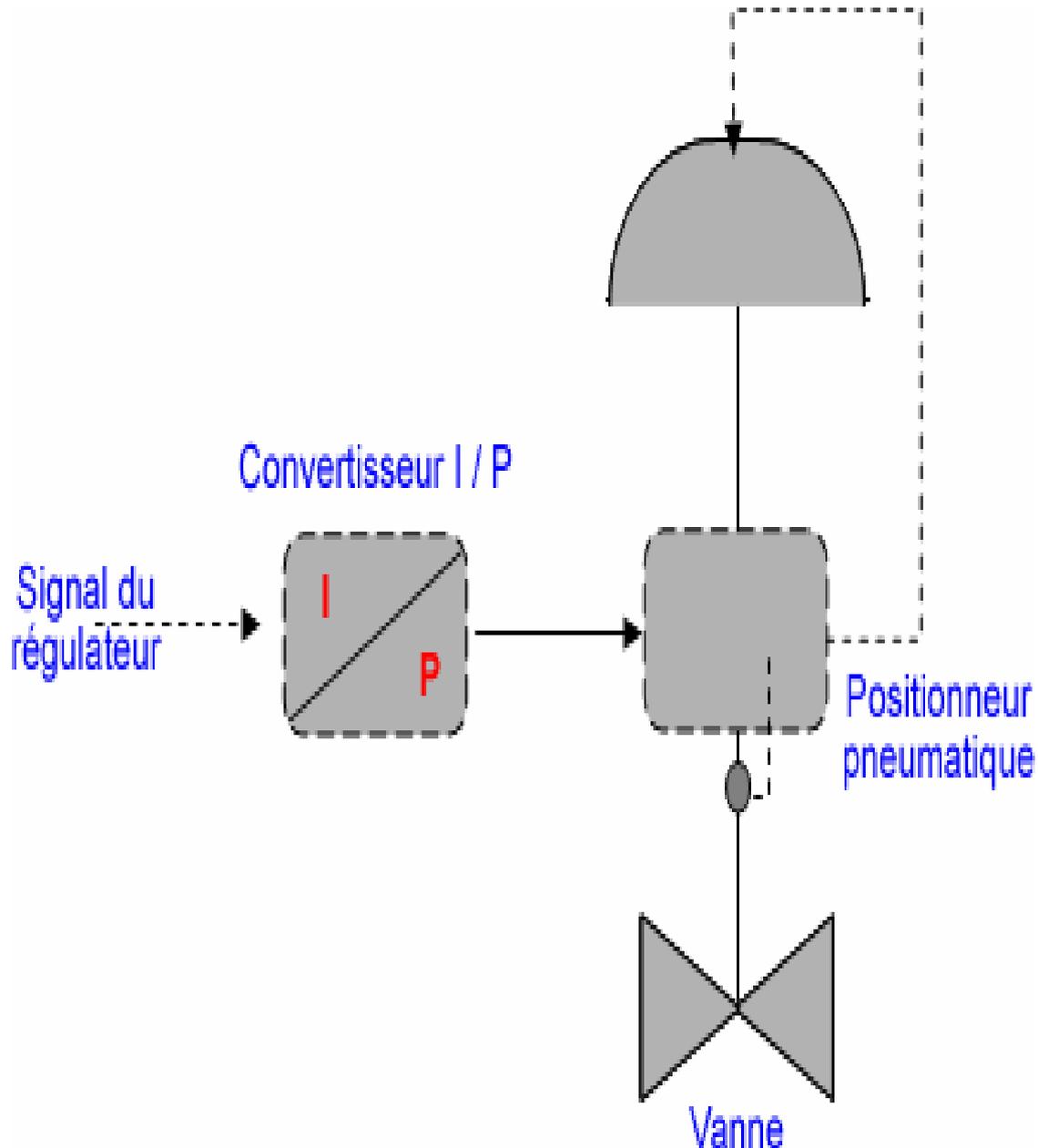


Figure II.21 Fonctionnement du positionneur pneumatique

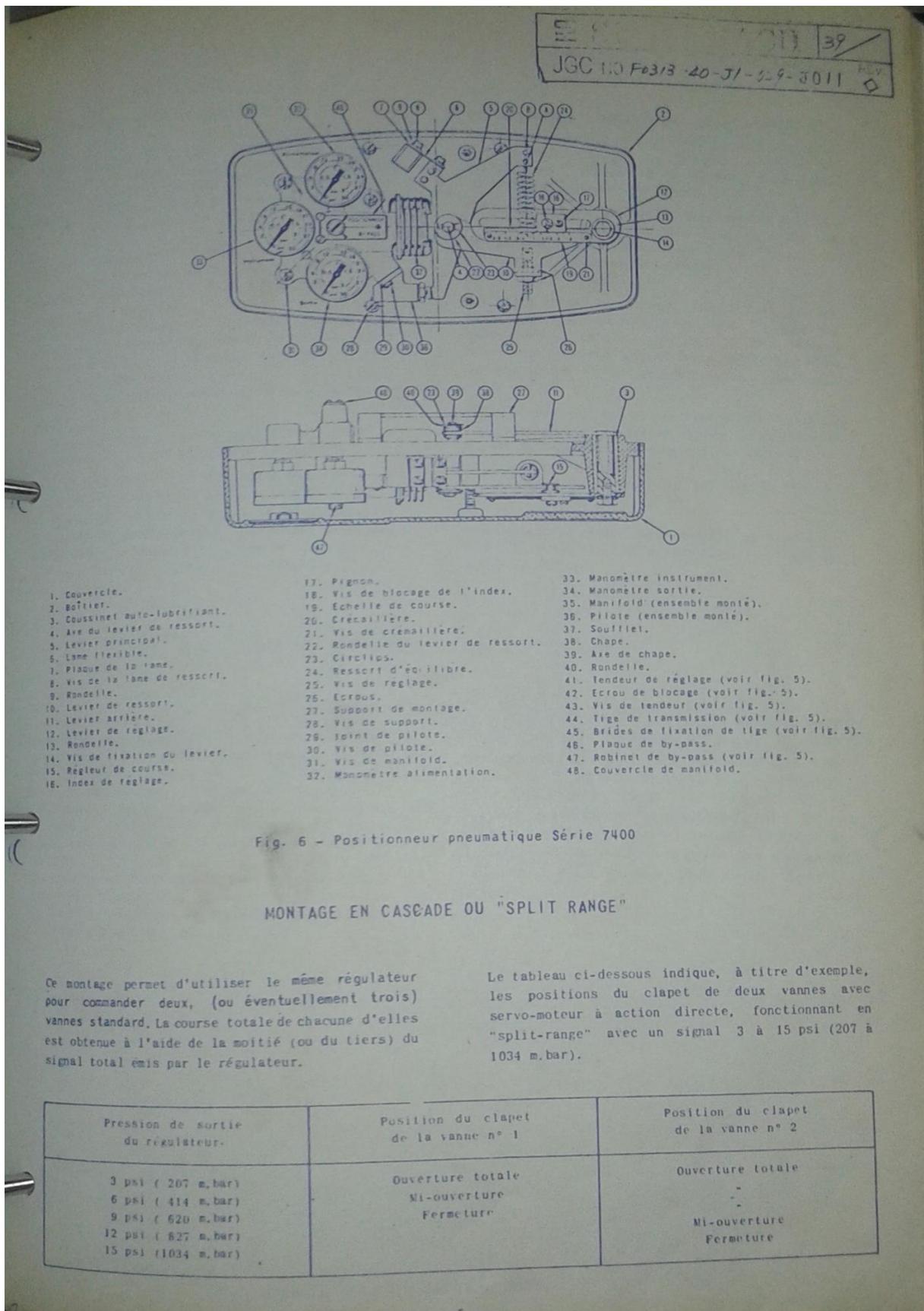


Figure II.22 Schéma illustrant les caractéristiques du positionneur réel

### II.5.2 Rôle de la vanne automatique :

- Dans une boucle de régulation, l'organe final de réglage est le plus souvent une vanne qui par action sur le débit d'un fluide (gaz ou liquide) permet de réguler la grandeur mesurée (pression, débit, niveau, température, etc.)
- Cette vanne dans le mouvement est commandée par le signal venant du régulateur est dite automatique.
- Les vannes automatiques peuvent se décomposer en deux grandes familles, suivant le type des déplacements utilisés. Ces déplacements sont :
  - Longitudinaux pour les vannes automatiques classiques.
  - Circulations pour les vannes automatiques types CAMFLEX de Masoneilan ou MAXFLOW de Schlumberger.
- Les vannes automatiques, utilisées dans l'industrie chimique et pétrolière, sont le plus souvent à commande pneumatique.

### II.5.3 Principe d'une vanne automatique :

La vanne automatique ou vanne de régulation est une vanne commandée par :

Un actionneur (servomoteur) dont les variations continues de position entraînent une modification de la taille de l'orifice de passage du fluide, permettant donc de modifier la pression ou le débit d'un fluide, ou son niveau dans un réservoir dans une régulation industrielle de processus.

#### ✓ Grandeur réglée :

La grandeur réglée est le paramètre que l'on désire maintenir à une valeur de consigne. Les grandeurs réglées sont : des pressions ; des niveaux et des températures.

### II.5.4 Fonctionnement d'une vanne automatique :

Lorsqu'on envoie de l'air comprimé dans la tête de la vanne, la membrane a tendance à descendre en entraînant la tige guide de clapet ; ce dernier ouvre l'orifice de passage. Le ressort se comprime sous la poussée de la membrane (voir figure II.23).

Lorsqu'on coupe l'air comprimé, le ressort se détend et reprend sa position initiale. La membrane libérée de sa pression d'air reprend sa forme en entraînant la tige guide du clapet. Ce dernier reposant sur son siège, la vanne est fermée (voir figure II.24).

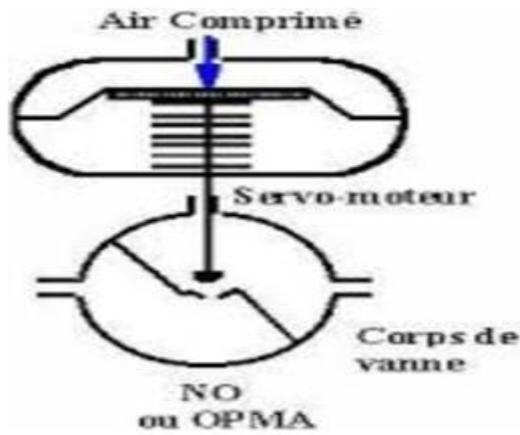


Figure 2.23 Action d'une vanne NO

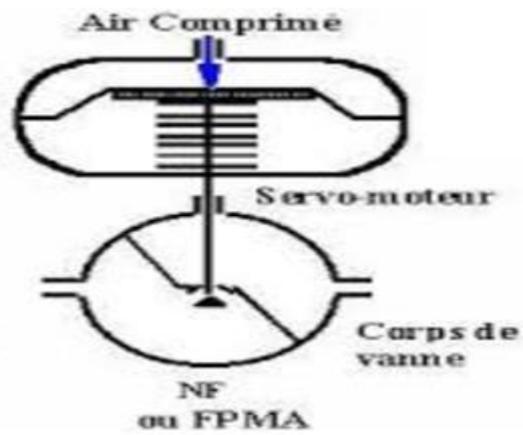


Figure 2.24 Action d'une vanne NF

➤ **Types d'action :**

On l'appelle à action directe quand elle ouvre par manque d'air sur le servomoteur(NO). La vanne à action inverse est la vanne qui ferme par manque d'air(NF). La sécurité de l'installation détermine le choix de l'une ou de l'autre de ces actions.

**II.5.5 Caractéristiques des vannes de régulation**

C'est la loi entre le débit  $Q$  et le signal de commande de la vanne  $Y$ , la pression différentielle  $P$  aux bornes de la vanne étant maintenue constante. On distingue essentiellement trois types de caractéristiques intrinsèques de débit :

- ✓ linéaire
- ✓ égal pourcentage
- ✓ tout ou rien

➤ **Débit linéaire :**

Le débit évolue linéairement en fonction du signal. La caractéristique est une droite (figure II.25)

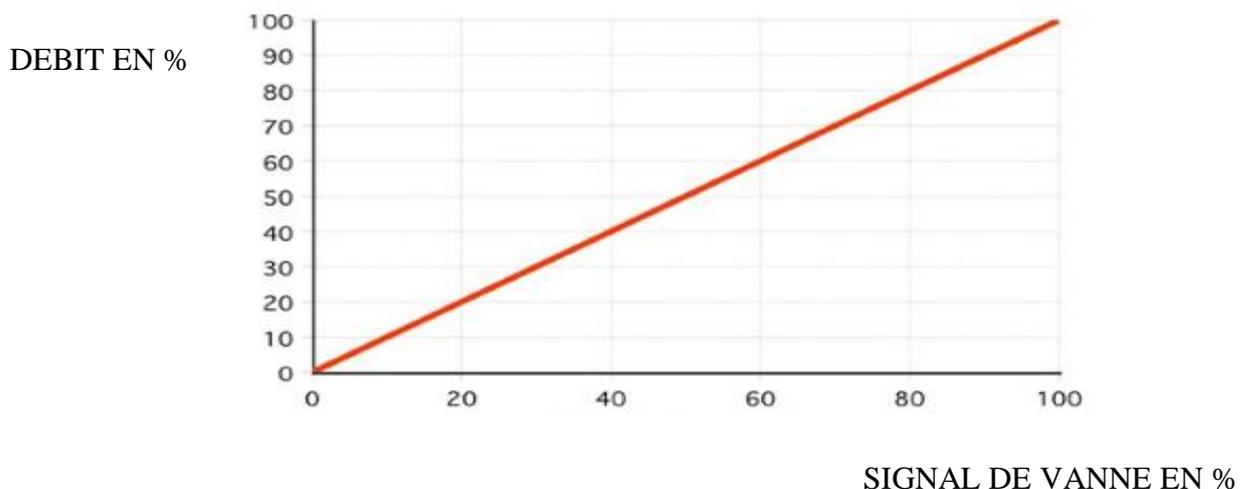


Figure 2.25 Caractéristique du débit linéaire

➤ **Débit égal en pourcentage EQP :**

La caractéristique est une exponentielle. Des accroissements égaux du signal vanne provoquent des accroissements égaux de débit relatif (figure II.26)

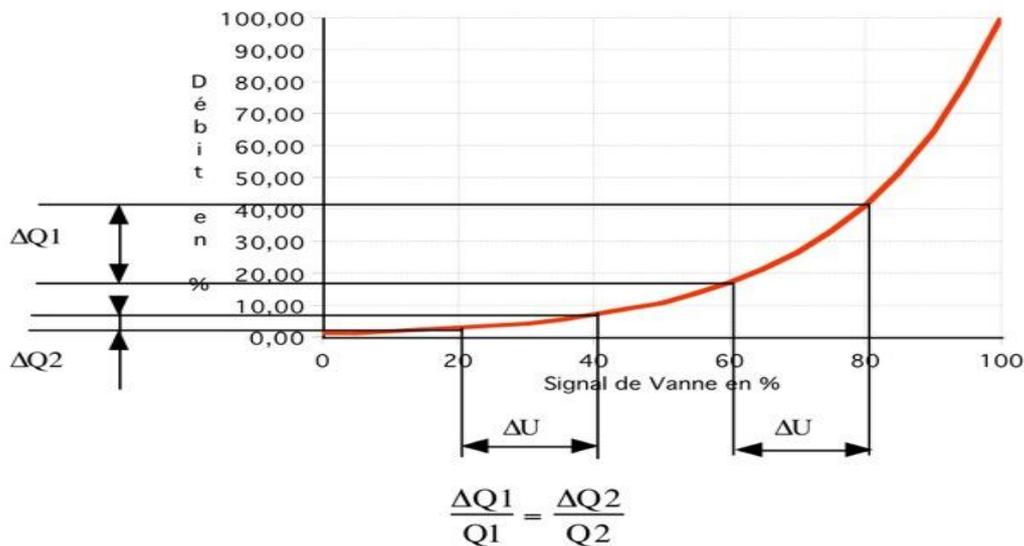


Figure 2.26 Caractéristiques du débit égal en pourcentage EQP

➤ **Débit tout ou rien :**

Cette caractéristique présente une augmentation rapide du débit en début de course pour atteindre alors environ 80% du débit maximum (figure II.27)

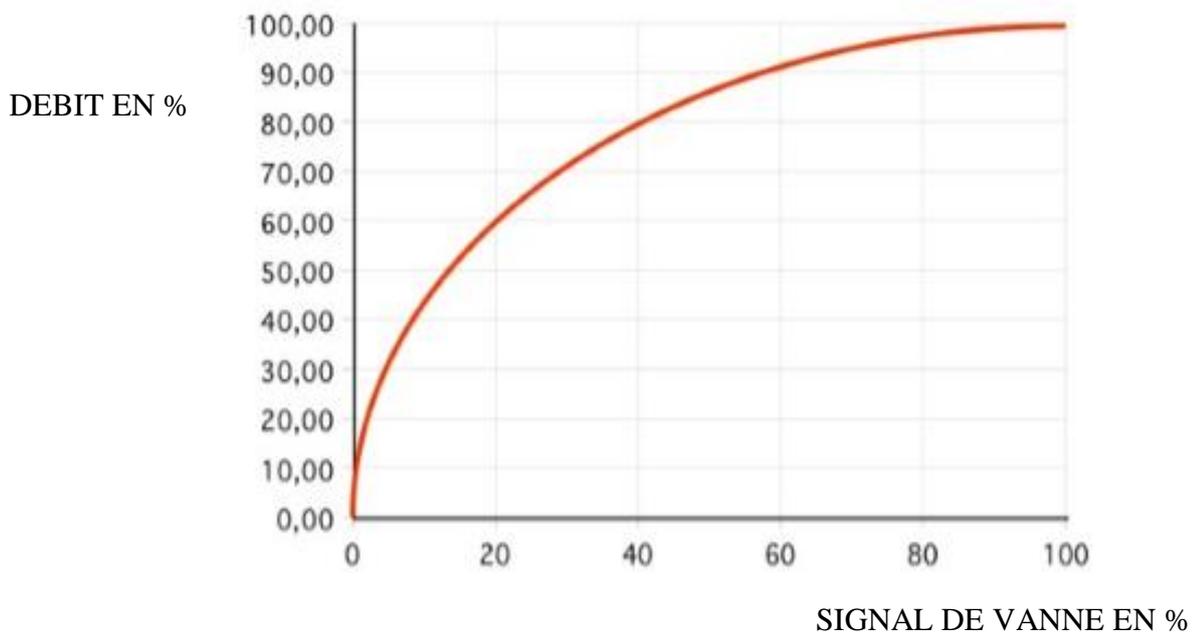


Figure II.27 Caractéristiques du débit tout ou rien

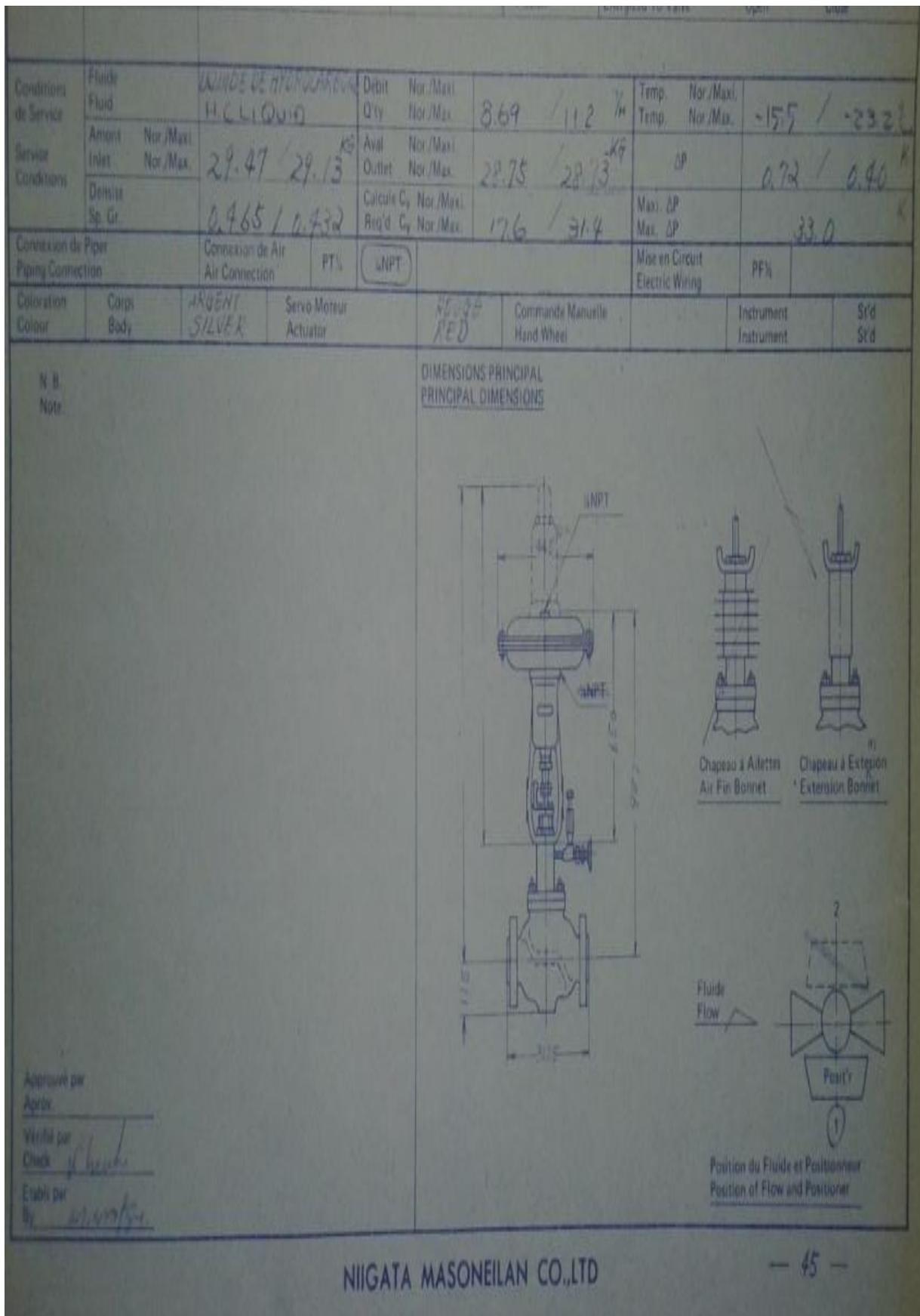


Figure II.28 Schéma illustrant les caractéristiques de la vanne automatique à simple siège



**Figure II.29** Illustration d'une vanne réelle installée sur la conduite de gaz

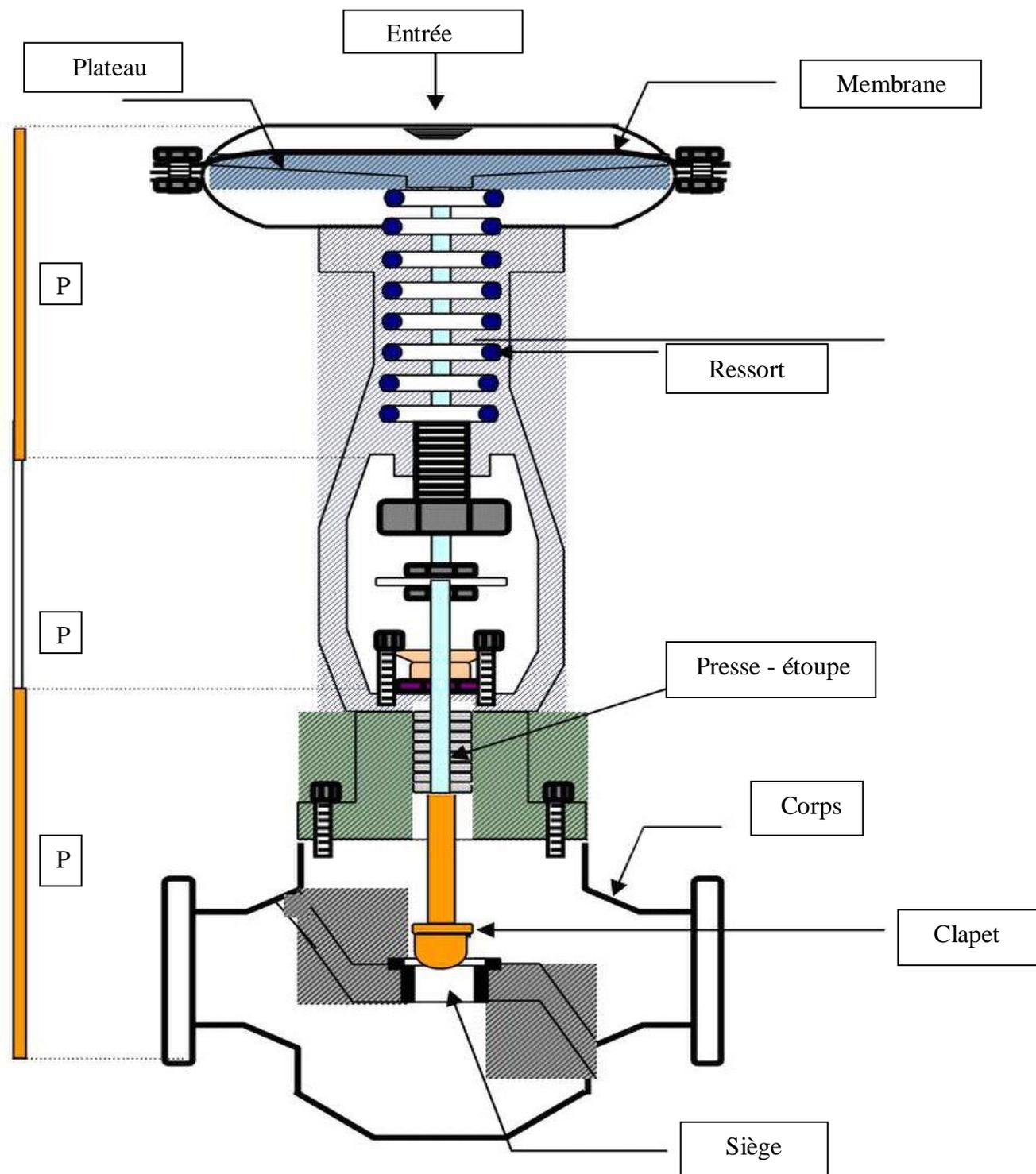


Figure II.30 Illustration d'une vue de vanne automatique à simple siège

### II.6 Principe de la régulation automatique en cascade :

Pour les systèmes complexes, l'emploi d'une seule chaîne de régulation ne permet pas d'obtenir une meilleure qualité de régulation définie par le cahier des charges à cause de l'existence d'une grande inertie et l'importance des perturbations et ce, malgré l'utilisation des régulateurs à action PID.

Si le système global peut être subdivisé en sous système avec des constantes de temps importantes et différentes, et la possibilité de mesurer les grandeurs intermédiaires entre les parties, on peut combiner deux ou plusieurs boucles de régulation. Le réglage de la grandeur à régler dans ces systèmes à grande inertie impose l'utilisation des grandeurs intermédiaires (ou grandeurs d'états) afin de compenser la variation des perturbations importantes influentes du sous système à régler (avec faible inertie). Dans de tels cas, la stabilisation des grandeurs intermédiaires est susceptible d'améliorer la qualité de la boucle principale.

En générale le système de régulation automatique en cascade est composé de plusieurs boucles, chacune d'entre elles règle sa grandeur technologique (intermédiaire ou principale).

Toutefois, l'emploi des systèmes des régulations automatiques en cascade est efficace uniquement lorsque la constante de temps dans la boucle de régulation de la grandeur principale est plus grande que celle de la grandeur intermédiaire.

Dans l'automatisation des procédés technologiques, le plus souvent, On utilise des systèmes de régulation automatique en cascade, en particulier dans l'industrie chimique, à deux boucles: principale et secondaire (auxiliaire) comme dans le cas de notre étude.

Pour un système à régler global qui peut être décomposé en deux systèmes, le SRA est schématisé par la figure II.31 :

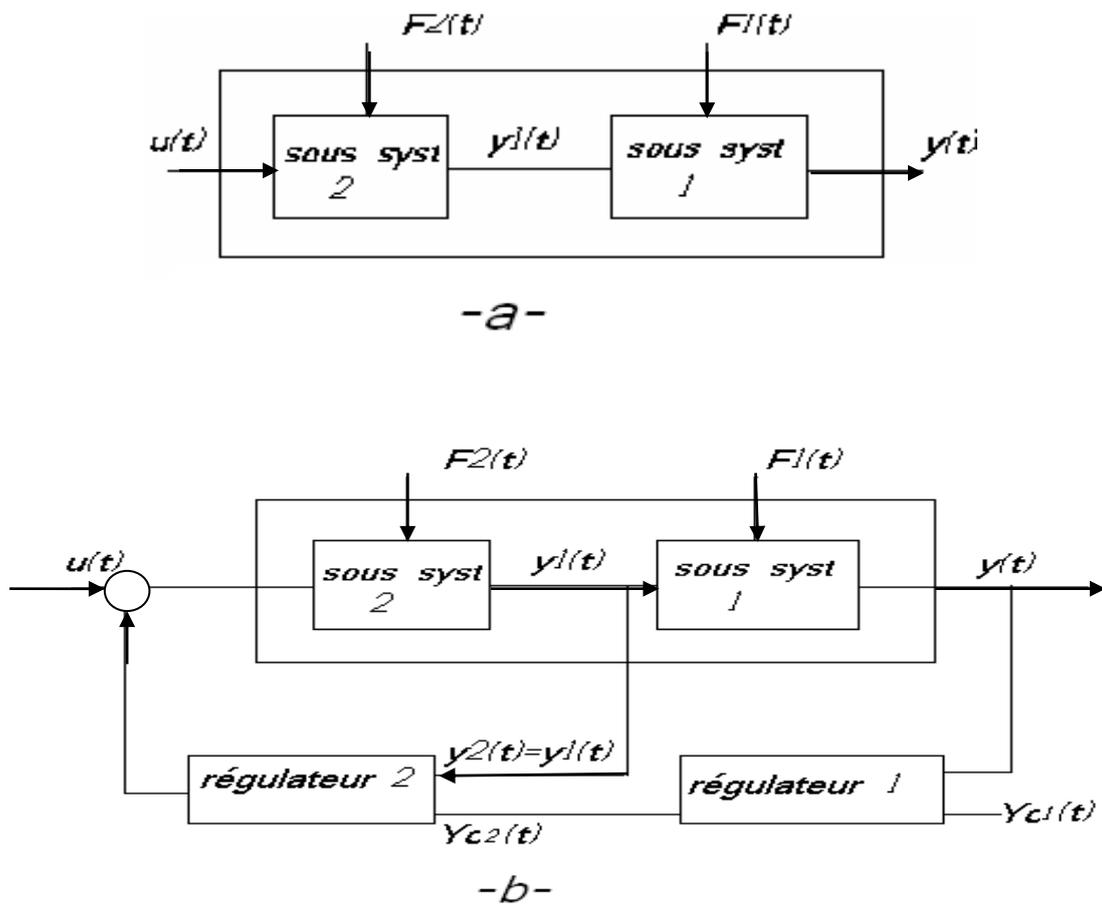


Figure II.31  
 a) Décomposition du système global en deux sous systèmes.  
 b) Régulation en cascade.

Dans le cas du système de régulation en cascade, les grandeurs technologiques principales  $Y(t)$  et intermédiaires  $Y_i(t)$  agissent sur la grandeur de commande  $U(t)$  afin de réduire l'action de la perturbation principale  $F_2(t)$  la plus forte et la plus rapide, et tout aussi la perturbation la moins importante  $F_1(t)$ .

Le SRA en cascade comporte au minimum deux boucles:

- Auxiliaire (secondaire) de stabilisation, dite boucle interne.
- Une boucle principale de correction, dite boucle externe.

A l'entrée du régulateur  $R_1$  sont appliquées les grandeurs à réglées principales et la valeur de la consigne  $Y_{c1}(t)$ , par contre à l'entrée du  $R_2$  sont appliquées la grandeur intermédiaire  $Y_i(t)$  et la grandeur de sortie du régulateur principal.

La grandeur de sortie  $Y_{c2}(t)$  du régulateur  $R_1$  est dirigée vers le régulateur  $R_2$  pour lui servir de valeur de consigne.

La boucle auxiliaire est destinée pour la stabilisation de la grandeur secondaire  $Y_i$ . Par contre la boucle principale est chargée de corriger la grandeur à régler principale  $Y(t)$  à la sortie du système. Les systèmes de régulation automatique en cascade sont employés fréquemment pour le réglage de la température dans les systèmes thermiques ayant un grand retard de transmission du signal de commande (fours tubulaires, échangeur de chaleur ...etc). Et particulièrement dans les processus suivants:

- lorsque l'emploi d'une seule boucle de régulation conduit à un temps de réponse très lent ;
- Quand le processus est soumis temporairement à une importante action perturbatrice ;
- les variations de processus sont modifiées en fonction des variations de la charge ;
- le processus est soumis à l'action de fortes perturbations qui arrivent sur l'élément final ;

### II.6.1 Propriétés principales d'un système automatique en cascade:

Le système automatique en cascade possède les propriétés suivantes :

*Propriété 1:* Ce type de réglage diminue le temps de réponse car les chaînes réduisent les constantes de temps.

*Propriété 2:* Dans ce système, l'influence des grandeurs de perturbation est composée ou réduite par les boucles internes sans provoquer de grandes variations sur la grandeur principale de sortie, si une perturbation est appliquée à l'intérieur de la boucle auxiliaire du système (de la boucle en cascade), elle est prise en charge par ces boucle

*Propriété 3 :* Possibilité de combiner plusieurs boucles. L'emploi de ces combinaisons en cascade est limité uniquement par le risque dû aux boucles internes.

*Propriété 4:* La décomposition du système à commander en sous systèmes permet de réduire l'ordre des systèmes

*Propriété 5:* Au niveau de la synthèse des régulateurs, On commence par la chaîne auxiliaire la plus proche du système à commander principale. Ensuite, On passe successivement aux autres chaînes superposées.

### II.6.2 Boucle étudiée :

#### ➤ Régulation en cascade dans un dé-éthaniseur :

Elle est destinée à régler la température dans la tête de la colonne à l'aide du reflux latéral issu du ballon **D107** (figure II.32).

#### ➤ Explication du procédé :

Le dé-éthaniseur est conçu pour extraire l'éthane et le méthane en tête de la colonne, à partir des hydrocarbures liquides provenant de la zone de séparation de gaz.

Au fond de la colonne, on obtient un mélange de condensat et de GPL, qui est séparé dans le dé-éthaniseur.

Le reflux latéral de la tête du dé-éthaniseur **C101** est obtenu dans l'échangeur **E106** utilisant un mélange des gaz liquides froids comme réfrigérants.

#### ➤ Explication de la boucle :

Après avoir reçu le signal de mesure du niveau par le transmetteur **LT 123** , le régulateur **LIC 123** (maitre) sur lequel on a introduit la consigne, détecte l'écart et envoie un signal vers le régulateur **FIC 127** (esclave) comme étant une consigne puis le régulateur **FIC 127** compare et détecte l'écart entre la consigne (signal de sortie du régulateur **LIC 123**) et la mesure qui est émise par le transmetteur de débit **FT 127**, ensuite actionne la vanne et fait varier le débit de reflux latéral dans la tête du dé-éthaniseur.

Dans notre étude, on va agir manuellement à partir de la salle de contrôle pour actionner la vanne soit dans le sens d'ouverture ou de la fermeture.

Cette boucle à un rôle très important dans la séparation des composants C1, C2 et aussi par conséquent elle influe directement sur la qualité des produits obtenus dans le Ballon **D 107**.

#### ➤ Traitement du signal de la boucle **FIC127 / LIC123** :

Après la conversion du signal analogique en numérique dans le point « 5 » (FBM-A10102) le signal convertie en numérique traverse le bloc d'entrée AIN (41LT123) et sa sortie est une consigne pour le bloc PID de débit (41FICA127) et ce même bloc reçoit une mesure du AIN 41FT127.

Le point « 1 » (FBM-A10122) envoie le signal au bloc AIN (41FT127) et la sortie du même bloc sert de mesure pour 41FICA127 qui est un bloc PID qui délivre une sortie selon la consigne et la mesure qui va au bloc AOUT(41FY127) aboutie en FBM(A10122) point 5 son rôle est de convertir le signal numérique en un signal analogique qui traverse la barrière zener (B11,B9,B7), ceci est montré dans la figure II.33.

- AIN (bloc d'entrée).
- AOUT (bloc de sortie).
- **Operator work station** : c'est pour les alarmes de niveau haut et bas.
- FC : action directe.

➤ **Les différentes alarmes de la boucle :**

La boucle LICA123 possède des différentes alarmes qui assurent un bon fonctionnement et le bon déroulement de la boucle sans présences de risques sur le process.

- 1) - Alarme de bas niveau LAL : Elle est signalée au seuil de 15% de niveau maximal.
- 2) - Alarme de haut niveau LAH : Elle est signalée au seuil de 85% de niveau maximal.
- 3) - Alarme de très haut niveau LAHH : Elle se déclenche à la valeur de 90% de niveau maximal.

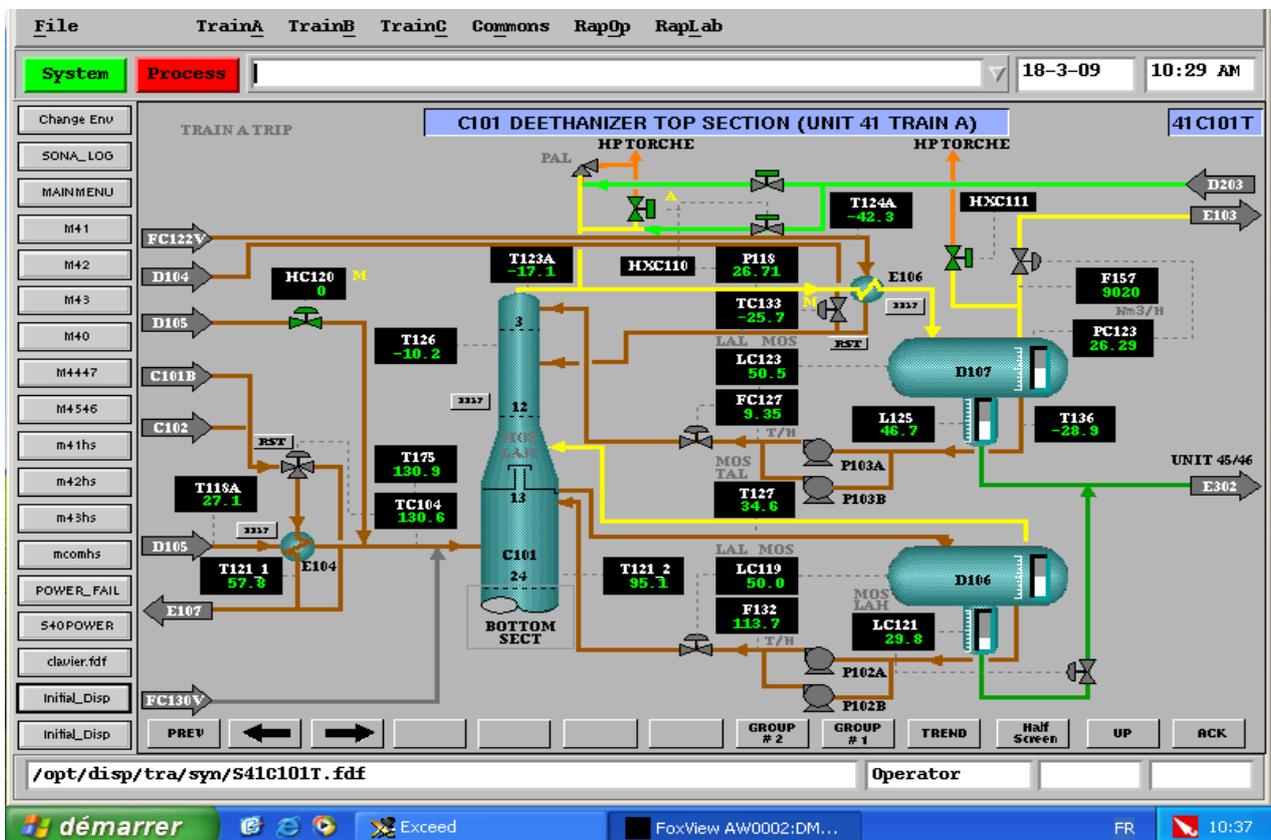


Figure II.32 Section du dé-éthaniseur

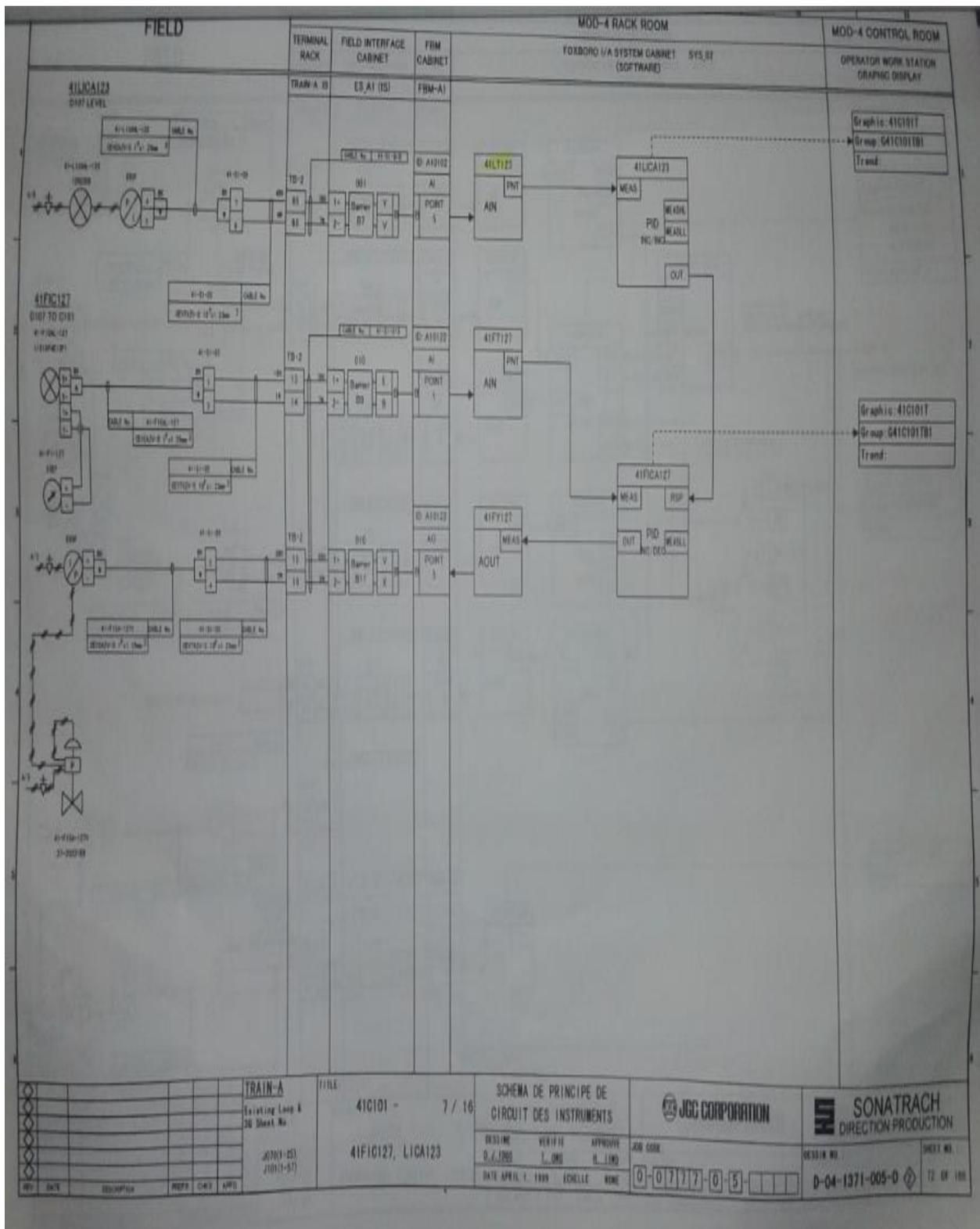


Figure II.33 Traitement du signal de la boucle de régulation en cascade étudiée

**II.7 Conclusion:**

Dans l’optique des tâches qui nous ont été assignées, nous nous sommes intéressés plus particulièrement au dé-éthaniseur C101 et la boucle de régulation en cascade qui a comme objectif de stabiliser la température à la tête du dé-éthaniseur.

**CHAPITRE III**

**IDENTIFICATION**

**ET MODELISATION**

**DES ELEMENTS DU**

**SYSTEME ETUDIE**

## III.1.Introduction

Pour effectuer l'analyse et la synthèse d'un système dynamique, il est nécessaire de connaître les relations entre ses grandeurs d'entrée et de sortie.

L'ensemble de ces relations constitue le modèle mathématique du système.

L'efficacité de ce modèle repose sur une analogie entre le comportement des objets physiques et celui des objets mathématiques.

Dans le cadre de l'automatique, modéliser un système consiste à établir un ensemble de relation mathématique qui permet de décrire, avec une précision suffisante les interactions internes, et entre ce système et son environnement extérieur.

Lorsque les relations suscitées sont issues des équations de la physique, le modèle obtenu est dit modèle de connaissance. Si ces relations découlent de l'observation disponible sur le système, on aboutit ainsi au modèle de représentation obtenu par l'identification.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'identification des modèles dynamiques paramétriques, qui sont les plus appropriés pour la conception et l'ajustement des systèmes numériques et de régulation.

Ce chapitre est consacré à l'analyse et la synthèse de l'étude de la boucle cascade (Niveau et Débit) dans le dé-éthaniseur. L'approche proposée dans le cadre de cette réalisation de commande est une étude comparative entre celle installée actuellement sur le site et celle qu'on projette dans le cadre de cette étude.

## III.2 Description des éléments de la boucle de régulation en cascade

La boucle de régulation en cascade (Niveau- débit) est constituée de deux chaînes : principale et auxiliaire (Fig.III.1). Cette dernière est représentée par le schéma bloc de la figure suivante :

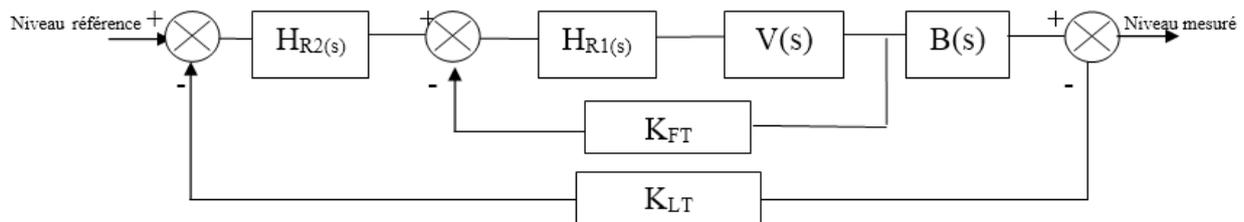


Fig.III.1 : Illustration de la boucle cascade de Niveau / Débit du dé-éthaniseur.

Avec :

$H_{R2}$  : Fonction de transfert du régulateur maitre (**LIC 123**) ;

$H_{R1}$  : Fonction de transfert du régulateur esclave (**FIC 127**) ;

$V(s)$ : Fonction de Transfert liée au débit du reflux (**la vanne FV 127**) ;

$B(s)$  : Fonction de transfert liant le débit du reflux et le niveau du **Ballon D107** ;

$K_{FT}$  : fonction de transfert du transmetteur de débit (**FT 127**) ;

$K_{LT}$  : fonction de transfert du transmetteur de niveau (**LT 123**) ;

### III.3 Etude de la boucle interne de débit avec le régulateur réel

Pour l'étude de la boucle interne de débit, on a mis le régulateur externe **LIC123** en mode manuel et le régulateur interne **FIC127** en mode automatique, puis on a fixé la valeur de la consigne à  $C=10$  T/h. On a appliqué un échelon d'amplitude  $A=8\%$  ce qui correspond à une variation de débit de 2.6T/h à 10T/h. La réponse expérimentale de la boucle interne réelle est donnée par la Fig.III.2 :



Fig. III.2 : Réponse indicielle expérimentale de la boucle interne réelle.

## III.3.1 identification de la boucle interne

### ❖ Pour un système du second ordre :

L'identification de ce type de réponse est basée sur les caractéristiques du système obtenues à partir de la réponse indicielle du système réel :

#### ✓ Les caractéristiques du système sont :

- **Le temps du 1<sup>er</sup> dépassement  $t_p$  :**

C'est le temps nécessaire pour que la réponse atteigne le premier pic, il est donné par :

$$T_p = \frac{\pi}{\omega r}$$

- **Le dépassement maximum  $D_m$  :**

- $D_m$  est la valeur max du 1<sup>er</sup> pic de la réponse transitoire, il est défini à partir de la réponse de l'essai indiciel,
- $D_m$  est atteint lorsque le temps du 1<sup>er</sup> dépassement  $t=t_p$ , il est donné par

$$D_m = e^{-\frac{\xi \pi}{\sqrt{1-\xi^2}}}$$

Selon les résultats de la courbe de la réponse indicielle du système réel :

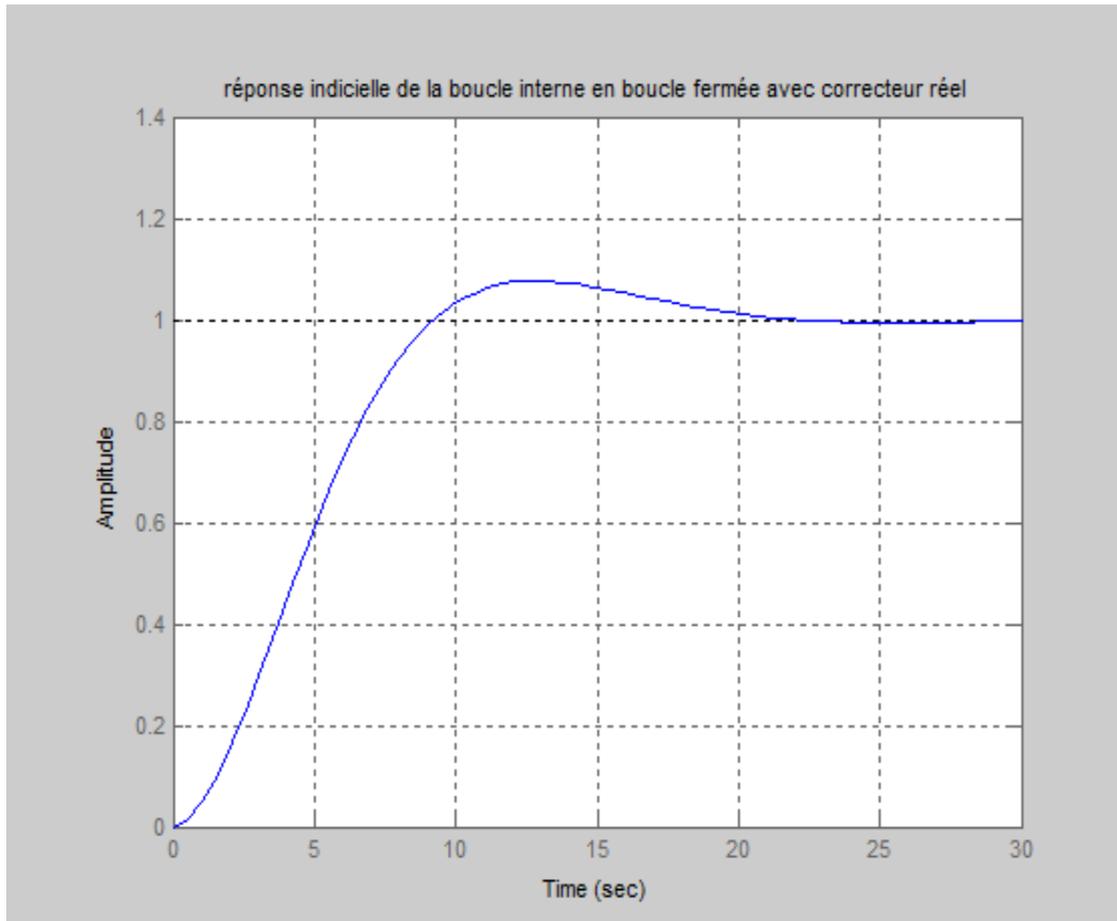
On a  $t_p=12s$  et  $D_m = 12.14 \%$

Après calcul on trouve  $\xi=0.62$   $\omega r=0.26$   $\omega_n = 0.33$

Ce qui nous laisse déduire que la fonction de transfert de la boucle auxiliaire qui est donnée par :

$$G(s) = \frac{0.1}{s^2 + 0.4s + 0.1}$$

La réponse indicielle de la boucle auxiliaire en boucle fermée est donnée par la Fig.III.3 :



**Fig.III.3 : Réponse indicielle de la boucle interne réelle.**

### III.3.2 Constatation :

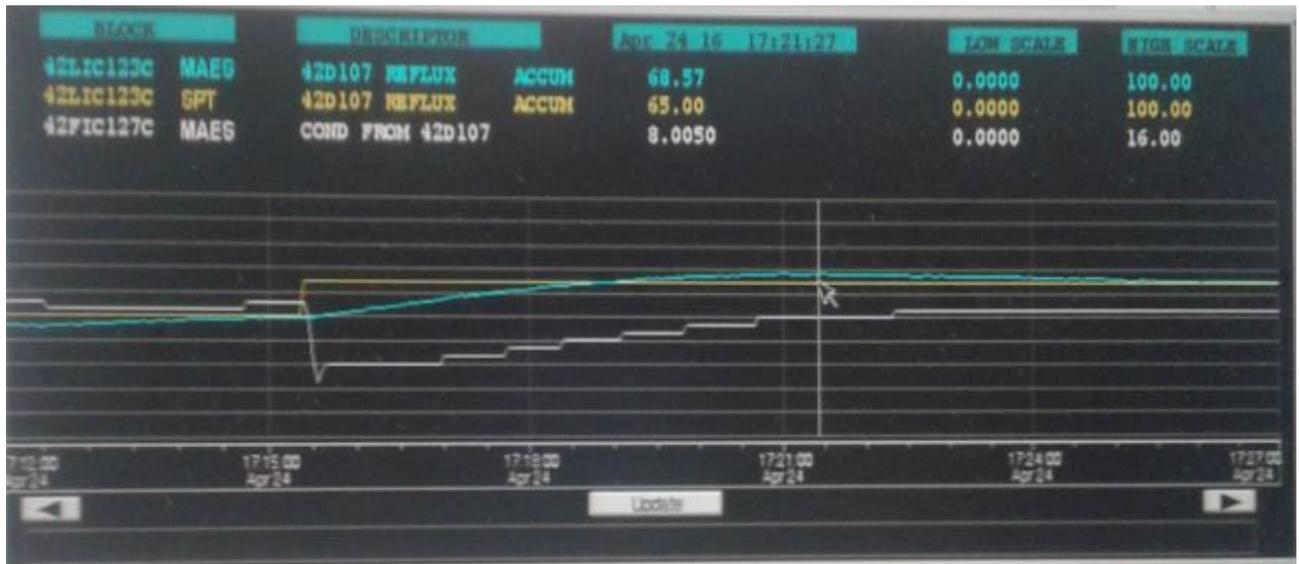
On remarque que la réponse à la variation de débit de charge est caractérisée par un temps de montée qui égale à 6.13 s et un dépassement de 12 %, toutefois le régulateur installé n'a pu annuler l'erreur qu'après un temps de 18 s.

### III.4 Etude de la boucle externe de niveau avec le régulateur réel :

Pour l'étude de la boucle externe de niveau, on a mis les deux régulateurs **LIC123** et **FIC127** en mode automatique, puis on a fait une variation sur le débit afin d'obtenir la courbe de variation de niveau.

- Niveau initial : 50 %
- Débit initial : 8.8 T/h.
- Ouverture de la vanne : 65%.
- On a excité avec un échelon d'amplitude de 15% (nouvelle consigne du régulateur **LIC123**).

La réponse de la boucle externe en boucle fermée (avec régulateur réel) est donnée par la figure III.4 :



**Fig. III.4 : Réponse indicielle expérimentale de la boucle externe réelle.**

### III.4.1 Identification de la boucle externe :

D'après la réponse expérimentale, on peut constater que notre réponse est du premier ordre.

Avec l'aide des fonctions « curseur » et « zoom » de ces systèmes, ils nous ont facilité l'exploitation de notre courbe ce qui a permis de prélever les paramètres suivants :

Le gain statique K :

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{68.57}{65} = 1.05 \sim 1$$

$$\tau = 6 \text{ s}$$

A partir de 63% de la réponse finale, on a prélevé la valeur de la constante du temps qui égale à

$$T = 66 \text{ s}$$

Ce qui nous laisse déduire que la fonction de transfert de la boucle principale est donnée par :

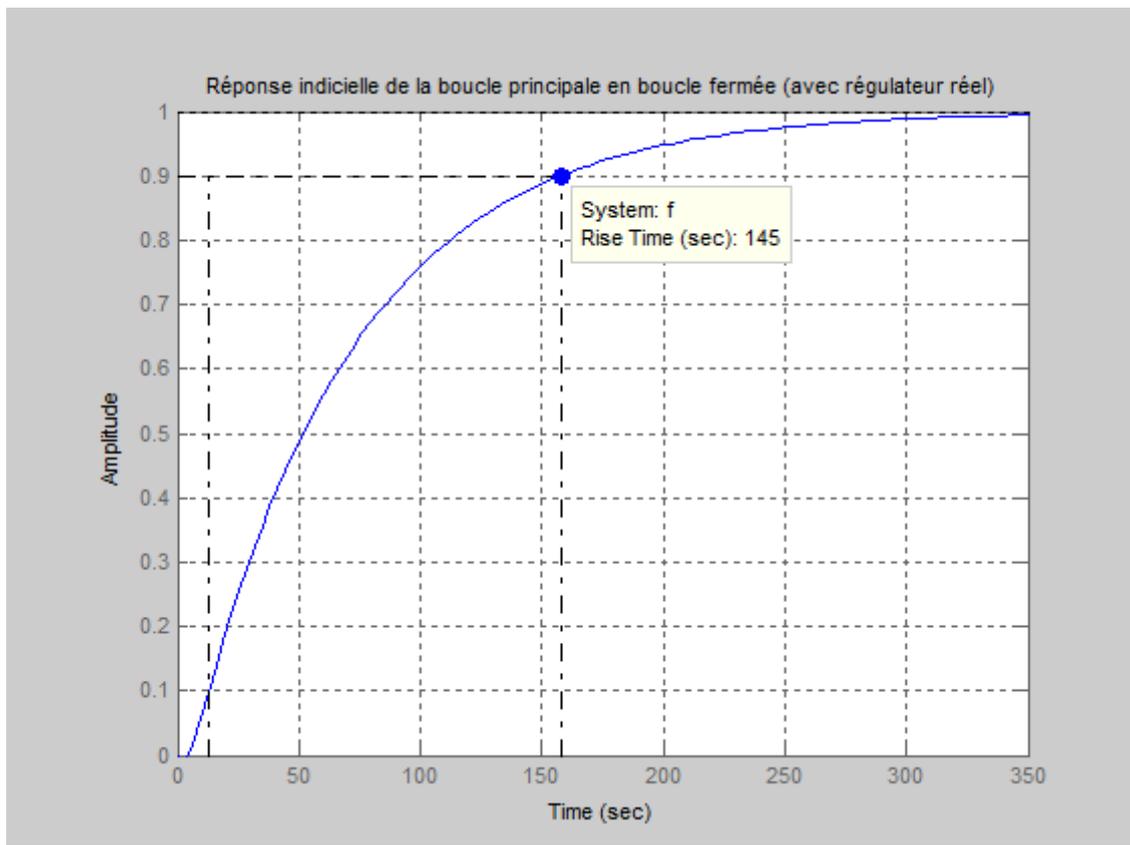
$$L(s) = \frac{e^{-6s}}{1 + 66s}$$

Pour le retard on utilise l'approximation suivante de PADE :  $e^{-\tau s} = \frac{1-\tau/2s}{1+\tau/2s}$

Ce qui nous donne :

$$L(s) = \frac{1-3s}{198s^2+69s+1}$$

La réponse indicielle de la boucle principale en boucle fermée est donnée par la figure III.5 :



**Fig.III.5 : Réponse indicielle de la boucle externe réelle.**

### III.4.2 Constatation :

D'après la réponse expérimentale, On remarque que le système est stable car le régulateur réel a pu éliminer l'erreur statique dans 4 minutes, il en résulte une réponse indicielle avec un temps de montée  $T_m=145$  s et un temps de réponse  $T_r=26.3$ s et une erreur statique nulle.

**III.5 Etude de la boucle interne de débit avec régulateur calculé**

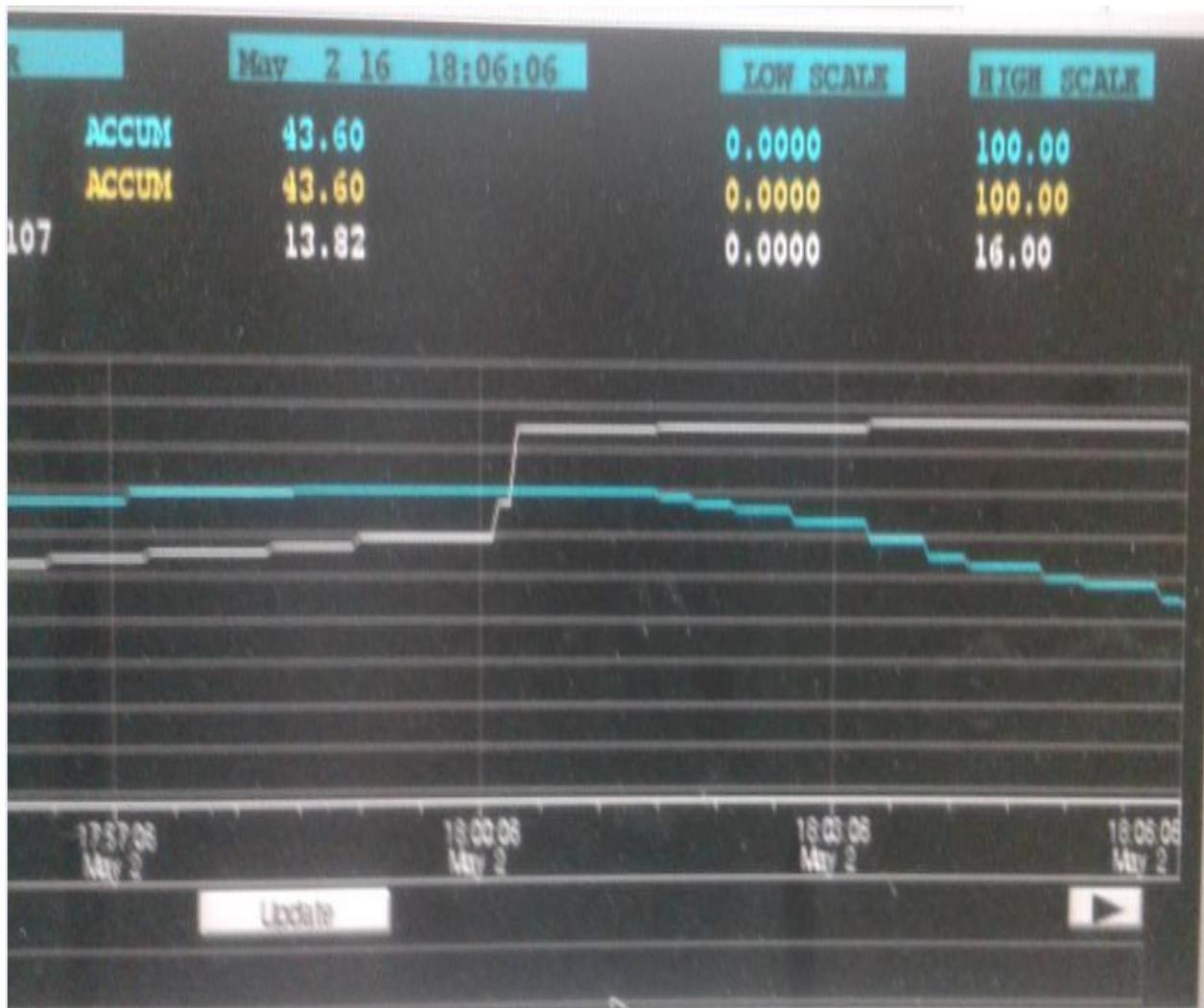
Pour l'étude de la boucle interne de débit, on a désactivé les deux régulateurs LIC 123 et le FIC 127 (mode manuel), on a fixé la valeur de la consigne à 9.4T/h puis on a appliqué un échelon d'amplitude A=20% ce qui correspond à une variation de débit de 4.5T/h.

Les différentes mesures prises sont montrés dans le tableau 3.1

Avant la variation	Après la variation
- Débit initial 9.4T/h.	- Débit final 13.89T/h.
- Niveau initial 70%.	- Ouverture de la vanne 80%.
- Ouverture de la vanne 60%.	

**Tableau III.1 : Illustration des mesures prises avant et après la variation.**

La réponse de la chaine auxiliaire en boucle ouverte est donnée par la figure III.6 :



**Fig. III.6 : Réponse indicielle expérimentale de l'objet auxiliaire en boucle ouverte.**

**III.5.1 Identification de l'objet auxiliaire de la boucle interne en boucle ouverte**

➤ **Identification de la fonction transfert de la vanne**

D'après la réponse expérimentale, on a constaté que le modèle qui correspond au sous-système de la boucle interne est du premier ordre avec :

- $T=10s$  prélevée à partir de 63% de la valeur de la réponse en régime permanent.
- $K = \frac{\Delta y}{\Delta U} = \frac{13.89 - 9.4}{20} = \frac{4.5}{20} = 0.22$
- $\tau = 0 s$

Ce qui nous laisse déduire la fonction de transfert de la vanne :

$$V(s) = \frac{0.22}{1+10s}$$

➤ **Identification de la fonction de transfert du capteur-transmetteur de débit**

Le gain du transmetteur de débit **FT127** est calculé comme étant le rapport de la variation du signal de sortie qui est la différence de pression sur la variation du signal d'entrée qui est le débit.

$$K_{FT} = \frac{\Delta P}{\Delta Q}$$

$\Delta P : 0 \longrightarrow 0.1 \text{ bar}$  et  $\Delta Q : 110 \longrightarrow 250 \text{ m}^3/\text{H}$ .

$$K_{FT} = \frac{\frac{0.1-0}{0.1}}{\frac{250-110}{250}} = 1.78$$

➤ **Calcul de la fonction de transfert de l'objet auxiliaire**

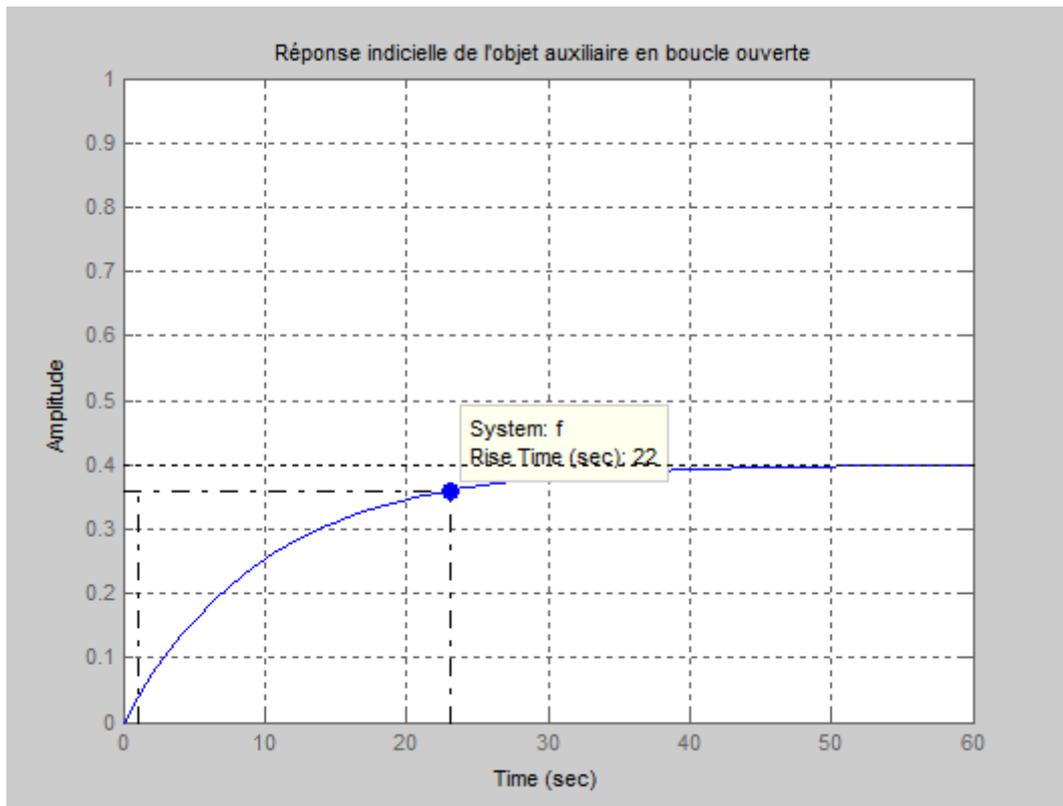
$H(s) = V(s) * K_{FT}$

$H(s) = \frac{0.22}{1+10s} * 1.78$

D'où

$$H_1(s) = \frac{0.4}{1+10s}$$

La réponse du modèle identifié sans correction est donnée par la Fig.III.7 :



**Fig.III.7 : la réponse indicielle de l'objet auxiliaire sans correction.**

### III.5.2 Constatation :

On remarque que la réponse indicielle du système auxiliaire est caractérisée par une erreur statique de 60% et par un temps de montée  $T_m= 22$  s et par un temps de réponse  $T_r=30$  s, donc le réglage s'avère nécessaire.

### III.5.3 Synthèse des paramètres du Régulateur FIC 127 :

#### ➤ Méthode de réglabilité pour la synthèse d'un SRA :

Les méthodes Ziegler-Nichols peuvent conduire à des réponses en boucle fermée très Oscillants, ce qui est particulièrement gênant lors des changements de consigne. La présente méthode dite de réglabilité constitue une version adoucie des réglages précédents. Elle est basée sur la réponse indicielle du système en boucle ouverte. Les paramètres du régulateur sont déterminés en fonction du « coefficient de réglabilité » défini par le rapport  $L/T$ . Il s'agit du même rapport qui intervient dans la méthode de Ziegler-Nichols. Il traduit l'importance du retard  $L$  par rapport à la constante du temps  $T$ .

le tableau suivant fournit les relations pour calculer les coefficients du régulateur et pour déterminer son type.

- ✓ On trace le mieux possible la tangente au point d'inflexion de la réponse indicielle.
- ✓ On mesure les deux temps L et T.
- ✓ On calcul ensuite le rapport L/T.

A partir du tableau.III.2 : de réglabilité, on trouve le type et les paramètres du régulateur,

$r = L/T$	$K_p$	$T_i$	$T_d$
0 à 0.1	$5/G_0$	T	0
0.1 à 0.2	$0.5/(G_0*r)$	T	0
0.2 à 0.5	$0.5(1+0.5*r)/ G_0*r$	$T (1+0.5*r)$	$0.5*T*r/(1+0.5*r)$
Au-delà	PID non recommandé		

**Tableau.III.2 : Paramètres du régulateur PID obtenus par la méthode de réglabilité.**

D'après la méthode de réglabilité on a :

$$r = \frac{L}{T} = 0$$

$$K_p = 12.5$$

$$T_i = 10$$

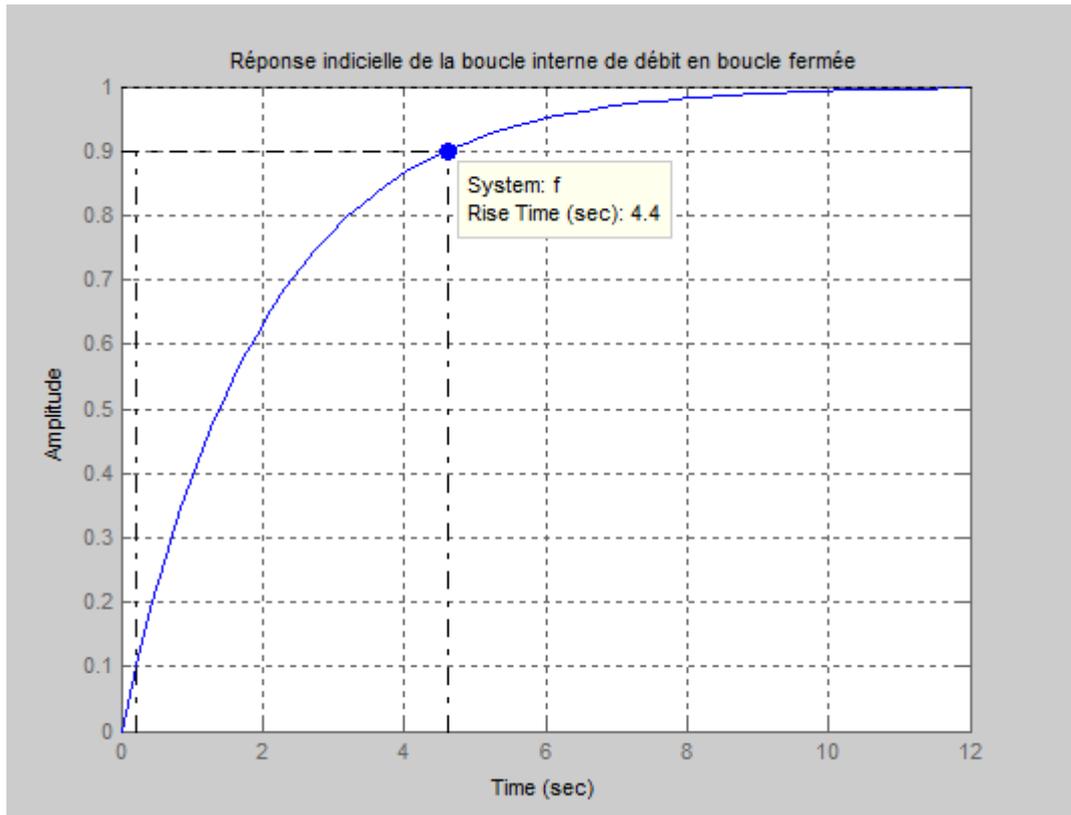
Donc :

$$H_{R1}(s) = \frac{12.5*(1+10s)}{10s}$$

➤ Calcul de la fonction de transfert en boucle fermée :

$$H(s) = \frac{\frac{0.4}{1+10s} * \frac{12.5(1+10s)}{10s}}{1 + \frac{0.4}{1+10s} * \frac{12.5(1+10s)}{10s}} = \frac{1}{1+2s}$$

La réponse indicielle de la boucle interne de débit en boucle fermée est donnée par la fig.III.8 :



**Fig.III.8 : réponse indicielle de la boucle interne de débit avec correction.**

### III.5.4 Constatation :

On remarque que le régulateur calculé par la méthode de réglabilité a amélioré les performances du système, il en résulte une réponse indicielle avec un temps de montée  $T_m=4.4$  s et un temps de réponse  $T_r=6$ s et une erreur statique nulle.

### III.6 Etude de la boucle externe de Niveau avec régulateur calculé:

Pour l'étude de la boucle externe, on a désactivé les deux régulateurs FIC 127 et LIC 123 (position manuelle), et on fait agir sur la vanne avec une fermeture de 20% pour obtenir une variation de débit de 3.68T/h ce qui amène notre système à (tableau 3.3).

Avant la variation	Après la variation
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit initial 8.15T/h</li> <li>- Niveau initial 49.75 %</li> <li>- Ouverture de la vanne 54%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Débit final 4.47 T/h.</li> <li>- Ouverture de la vanne 34%</li> </ul>

**Tableau.III.3 : Illustrant les mesures prises avant et après la variation.**

La réponse de la boucle externe en boucle ouverte est donnée par la Fig.III.9 :



Fig. III.9 : Réponse indicielle expérimentale de l'objet principal en boucle ouverte.

### III.6.1 Identification de l'objet principal de la boucle externe :

#### ➤ Détermination de la fonction de transfert du Ballon D107 :

- Après avoir tracé la tangente de la réponse indicielle, cette tangente coupe l'axe du temps jusqu'à  $t_0$  qui est le temps de retard.
- Ensuite, on trace la parallèle de cette tangente passant par l'origine et on choisit deux points pour déterminer le gain  $K$ .
- D'après la réponse expérimentale, on peut déduire que le modèle qui correspond au sous-système de la boucle externe est de type intégrateur, donc on va identifier le Ballon **D107** selon la forme suivante :

Avec

- $K$  : le gain.
- $\tau$  : le temps de retard.

$$B(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{s}$$

D'après la réponse réelle, on peut trouver :

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U \cdot \Delta t} = \frac{Y1 - Y2}{\Delta U \cdot (t2 - t1)} = \frac{77.37 - 71.5}{3.68 \cdot 114} = 0.01$$

Et

$$K = 0.01$$

$$\tau = 0.8s$$

D'où :

$$H_2(s) = \frac{0.01e^{-0.8s}}{s}$$

➤ **Détermination de la fonction de transfert du Transmetteur de niveau LT 123 :**

- Le niveau est la hauteur entre la surface libre du liquide contenu dans une capacité et un point pris comme référence.
- La fonction de transfert du transmetteur est un coefficient de rapport entre le signal d'entrée et celui de sortie, d'où :

$$K_{LT} = \frac{N_{max} - N_{min}}{I_{max} - I_{min}} = \frac{100 - 0}{20 - 4} = 6.25.$$

Ce qui nous laisse déduire la fonction de transfert de l'objet principale en boucle ouverte

$$H_2(s) = H(s) * B(s) * K_{LT}$$

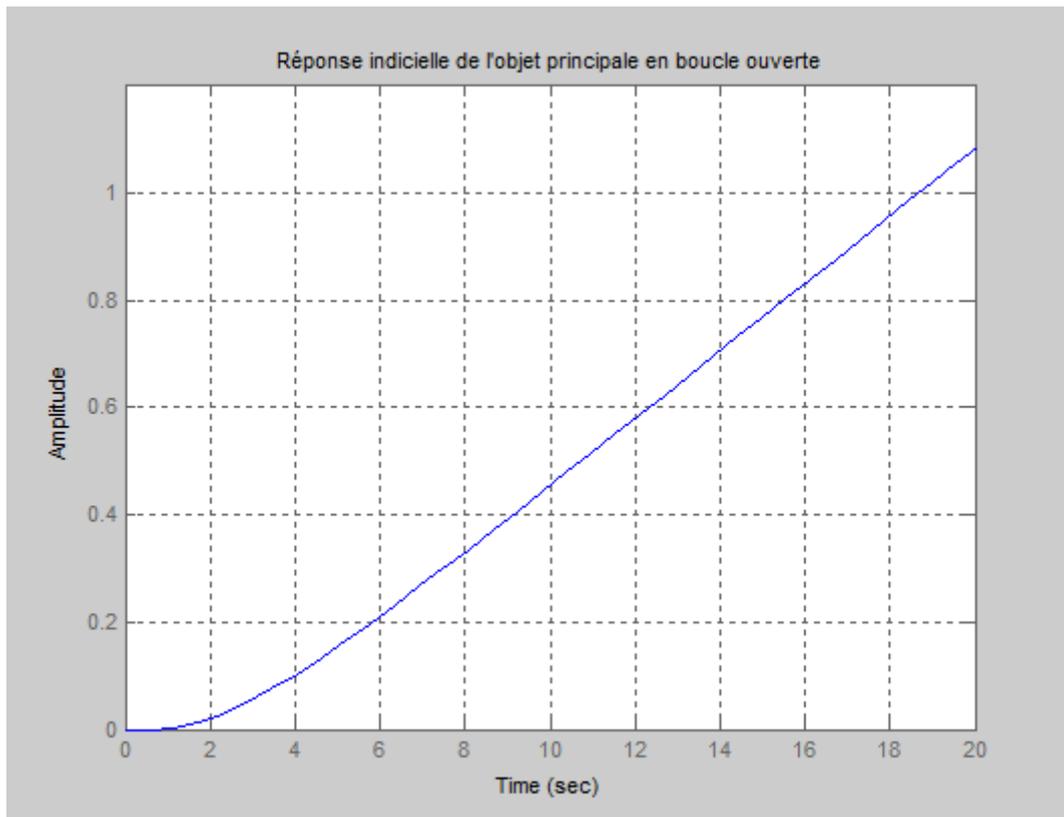
$$H_2(s) = \frac{1}{1+2s} * \frac{0.01e^{-0.8s}}{s} * 6.25 = \frac{0.032e^{-0.8s}}{s^2 + 0.5*s}$$

Pour le retard on utilise l'approximation suivante de PADE :  $e^{-\tau s} = \frac{1 - \tau/2}{1 + \tau/2}$

Ce qui nous donne :

$$H_2(s) = \frac{0.063 - 0.025*s}{0.8*s^3 + 2.4*s^2 + s}$$

La réponse du modèle identifié sans correction est donnée par la Fig.III.10 :



**Fig.III.10 : Réponse indicielle de la boucle interne de débit sans correction.**

### III.6.2 Constatation :

Il en ressort que la réponse indicielle obtenue est de type intégrateur et qui rend notre système instable, ce qui exige une correction.

### III.6.3 Synthèse des paramètres du Régulateur LIC 123 :

Selon les calculs et les conclusions précédentes, le régulateur qui va stabiliser le système est un régulateur à action proportionnelle dont la fonction de transfert est la suivante :

Avec  $K_p$  : le gain du régulateur.

$$H_{R2} = K_p$$

#### ➤ Détermination du gain du régulateur $K_p$ :

Après ajustement de la réponse indicielle de la boucle principale et l'ajout d'une constante  $K_p$ , on a déduit par simulation et variation du coefficient  $K_p$  et puis la réponse indicielle se stabilise pour une valeur de  $K_p = 1.8$  et la réponse offre de meilleures performances et satisfaisantes .

➤ Calcul de la fonction de transfert de l'objet principal en boucle fermée :

$$G(s) = \frac{\frac{0.063 - 0.025*s}{0.8*s^3 + 2.4*s^2 + s} * 1.8}{1 + \frac{0.063 - 0.025*s}{0.8*s^3 + 2.4*s^2 + s} * 1.8} = \frac{0.11 - 0.045*s}{0.8*s^3 + 2.4*s^2 + 0.96*s + 0.11}$$

$$G(s) = \frac{0.11 - 0.045*s}{0.8*s^3 + 2.4*s^2 + 0.96*s + 0.11}$$

La réponse indicielle en boucle fermée est donnée par la fig.III.11 :

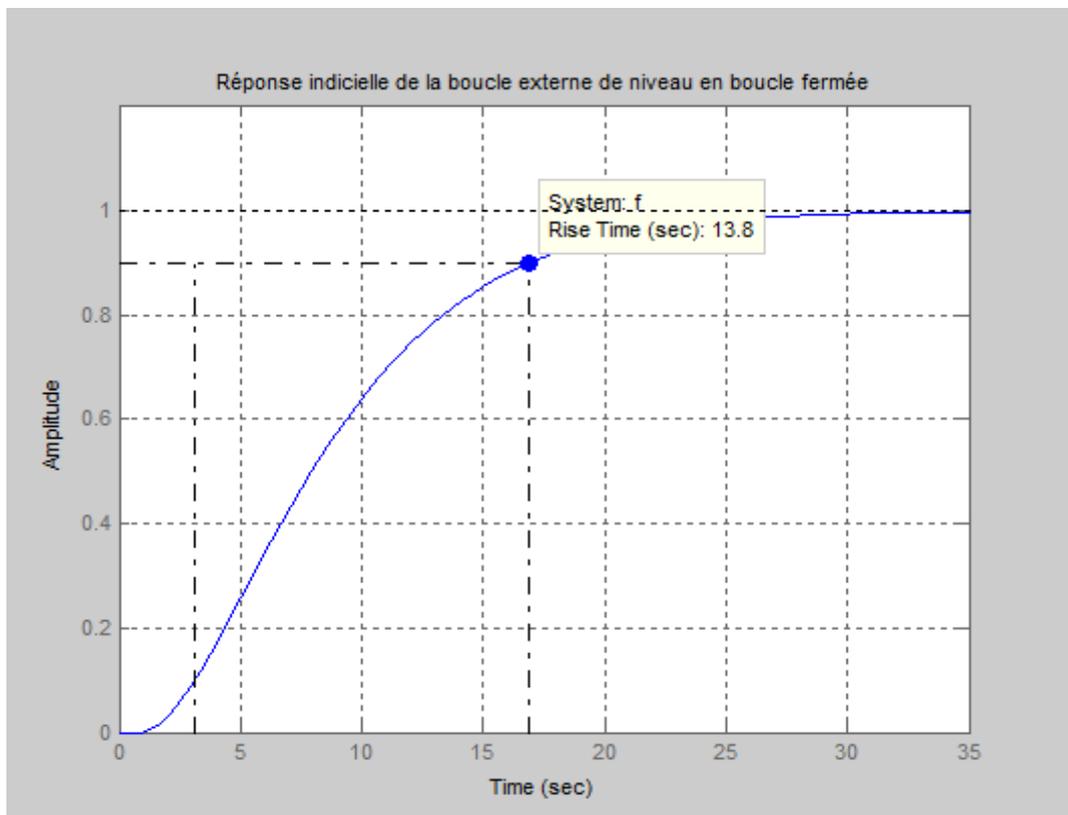


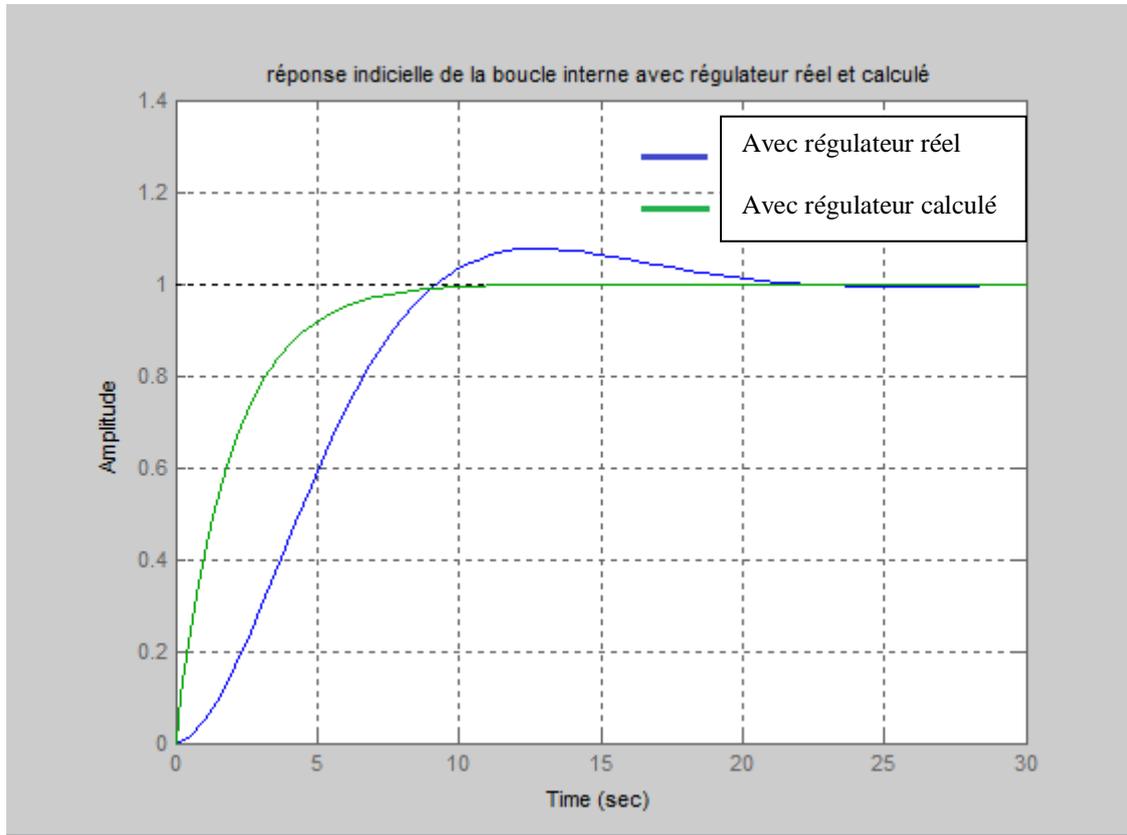
Fig.III.11 : Réponse indicielle de la boucle externe de niveau avec correction.

### III.6.4 Constatation :

On remarque qu'après la correction avec le régulateur proportionnelle dont le gain est  $K_p=1.8$ , le automatisé système a de bonnes performances avec un temps de montée  $T_m=13.8$  s et un temps de réponse  $T_r=19$ s et l'élimination complète de l'erreur statique.

**III.7 Etude comparative entre le régulateur réel et le régulateur calculé :**

**III.7.1 Boucle interne de débit :** les résultats de simulation les montrent, la Fig.III.12 :



**Fig.III.12 : Réponse indicielle de la boucle interne avec correction réelle et calculée.**

	Avec régulateur réel	Avec régulateur calculé	Constat
Erreur statique	0	0	0
Temps de montée	6.13 s	4.4 s	Gain de 2 s en $t_m$
Dépassement	12 %	0	Elimination complète du dépassement

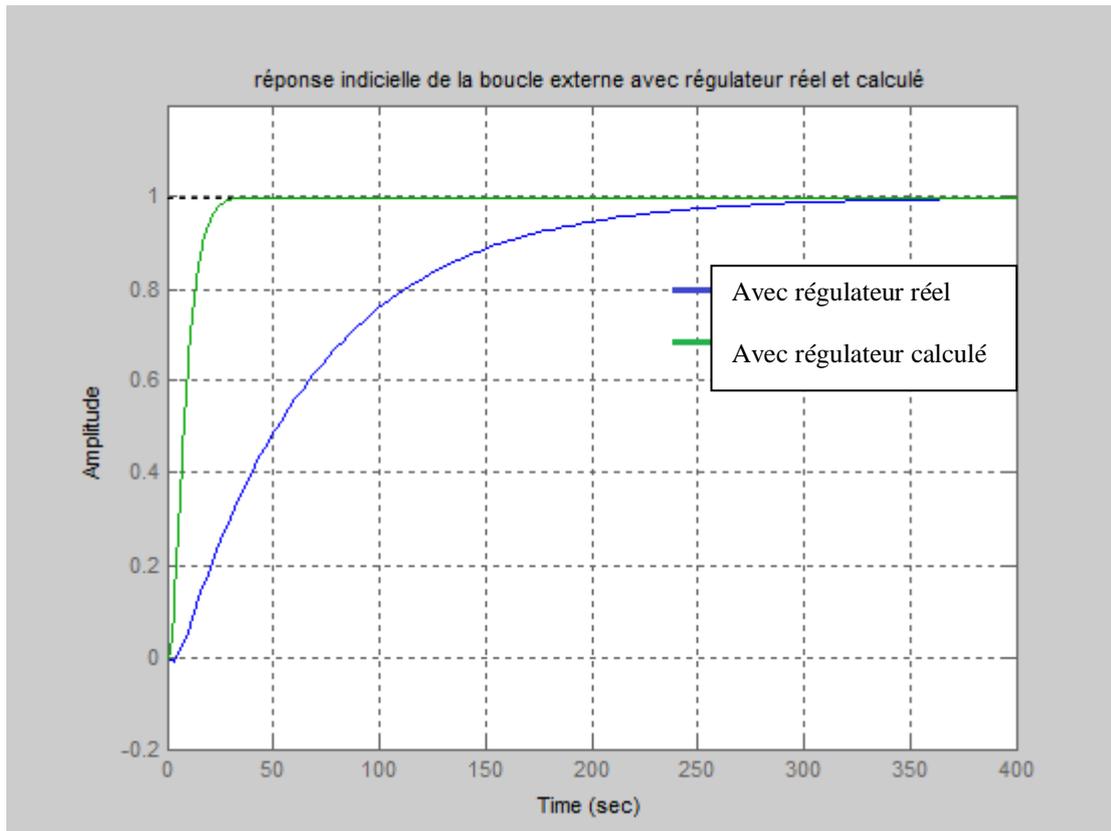
**Tableau.III.4 : Comparaison des différents résultats obtenus pour la boucle interne.**

**III.7.2 Constatation :** le tableau.III.4résume les différents résultats obtenus :

Donc le régulateur calculé obtenu par la méthode de réglabilité a amélioré la rapidité du système de commande.

**III.7.3 Boucle externe de niveau :**

Les résultats de simulation sont illustrés, la Fig.III.13 :



**Fig.III.13 : Réponse indicielle de la boucle externe avec correction réelle et calculée.**

**III.7.4 Constatation :**

Le tableau.III.5 résume les différents résultats obtenus :

	Avec régulateur réel	Avec régulateur calculé	Constat
Erreur statique	0	0	0
Temps de montée	145 s	13.8 s	Gain de 131 s en temps de montée
Temps de réponse	26 s	19 s	Gain de 7 s en temps de réponse

**Tableau.III.5 : Comparaison des résultats obtenus pour la boucle externe**

Le régulateur calculé obtenu par la méthode de réglabilité a amélioré la rapidité et la stabilité de la boucle.

### III.8 Conclusion

Dans ce chapitre, on s'est intéressé à l'étude de la régulation de la boucle cascade Niveau / Débit du dé-éthaniseur. L'objectif est de maintenir constante la température au sommet du dé-éthaniseur.

Dans ce sens, une étude a été réalisée pour compenser la faiblesse et les écarts des performances de la commande existante.

Les résultats obtenus montrent clairement la supériorité de l'approche par calcul des paramètres d'ajustement qui permettent de rendre les réponses plus rapides et plus précises.

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

Le présent travail élaboré lors de notre stage de mise en situation professionnelle à Hassi R'mel nous a permis de nous introduire à la vie professionnelle à travers la Prise en charge de certains problèmes techniques posés au niveau du dé-éthaniseur.

Au terme de ce travail, on s'est intéressé au système de régulation automatique dont la conduite est en cascade (Niveau/débit) afin d'assurer le maintiens de la température au sommet du dé-éthaniseur dans le module 4 du champ Hassi R'mel.

Pour répondre aux exigences de la qualité des produits obtenus dans le ballon D107, il est nécessaire d'utiliser un système de commande robuste permettant de maintenir constants les paramètres (Niveau, débit) afin de maintenir constante la température au sommet du dé-éthaniseur C 101.

Pour cela une étude comparative entre la commande existante et celle par calcul des paramètres d'ajustement a été réalisée.

D'abord, on était amené à appréhender le système en étudiant ce dernier élément par élément c'est-à-dire :

- ✓ Etablir l'identification des éléments constituant la chaîne auxiliaire et principale de la boucle cascade existante en utilisant les réponses indicielles en boucle fermée pour chaque boucle.
- ✓ Etablir l'identification des éléments constituant la chaîne auxiliaire et principale de la conduite cascade en boucle ouverte à l'aide de la réponse indicielle, et la détermination des paramètres d'ajustements par la méthode de réglabilité.

Suite à un mauvais fonctionnement de la commande existante, on peut conclure que les méthodes proposées par calcul des paramètres d'ajustement est plus performantes avec une amélioration de temps de réponse et la précision statique.

# Bibliographie

- [1] Ioan Doré Landau, « Identification et commande des systèmes». Edition Hermès, Paris, 1993.
- [2] Pierre Borne, « Analyse et régulation des processus industriels». Edition, 1993.
- [3] Fichier de représentation du champ de Hassi R'mel.
- [4] Manuel opératoire (manuel de production) SONATRACH/HRM.
- [5] « Manuel opératoire du dé-éthaniseur Hassi R'mel ».
- [6] UFR. Instrumentation et Electrical Engineering IAP. Boumerdes « Tuning des boucles de régulation ».
- [7] Mimoun Zelmat « automatisation des procédés industriels Tome 1 ».
- [8] Aide-mémoire d'élève automaticien, FHC, université de Boumerdes.
- [9] Patrick Prouvost « Automatique Contrôle et Régulation ».
- [10] Site web :  
<http://fr.scribd.com/> « Cours de régulation ».