

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



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

## **PROJET DE FIN D'ETUDES**

En vue de l'obtention du diplôme

*D'INGENIEUR D'ETAT EN AUTOMATIQUE*

# *Thème*

**Régulation PID de la température du four H331  
et identification de ses paramètres**

Proposé par :  
**BELHAMEL**

Présenté par :  
**M<sup>r</sup> HADADI AMAR**

Dirigé par :  
**Mr.BEN SIDHOUM**

**M<sup>r</sup> TOUATI SAID**

Soutenu le : /09/2011.

*Promotion 2011*

# REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu le dieu tout puissant qui nous a donné le courage d'accomplir ce travail.

Au terme de ce modeste travail nous tenons à remercier :

Nos familles pour leurs soutiens durant toutes ces années d'étude.

Notre promoteur Mr BEN SIDHOUM qui n'a ménagé aucun effort pour nous apporter ses précieuses aides et orientations.

Mr MAIDI pour son aide et orientation.

Les travailleurs de SONATRACH a HASSI R'MEL pour leurs contribution au bon déroulement de notre stage.

Les membres du jury pour avoir accepter de juger ce travail.

A tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.





# Dédicaces :

♣ *Je dédie ce modeste travail à :*

- \* *La mémoire de mon père que dieu ait son âme en son vaste paradis*
- \* *Ma très chère maman*
- \* *Mes frères : Hamza, Ali, Hamid et sa femme Chahrazed*
- \* *Mes sœurs : Nadia, Fatiha, Fazia, Razika*
- \* *Mes beaux frères : Amar et Hamid*
- \* *Mes neveux et nièces : Zaki, Ikram et Imane*
- \* *Ma très douce Nawal*
- \* *Mes très chers amis : Omar, Rachid (2), Nabil (2), Mouloud...etc.*
- \* *Toute ma famille*

AMAR

# Dédicaces :

♣ *Je dédie ce modeste travail à :*

- \* *La mémoire de mon père Amar, mon oncle Chabane, ainsi que mon cousin Achour que dieu ait leurs âmes en son vaste paradis*
- \* *Ma très chère maman*
- \* *Mes frères Ahmed, Mohammed particulièrement Rabah et sa femme et leurs petits : Dihia, Yasmine, et Amar*
- \* *Mes sœurs et mes trois beaux frères*
- \* *Tous mes neveux et mes nièces*
- \* *Ma chère femme Karima*
- \* *Mes amis(es) : Amar, Rachid(5), Hmitouche, Slimane, l'ancien, Farid, Nabil, Sofiane, Said, Wahid, L'mouloud, Hocine, Moh tct, Sabha, et Safia*
- \* *Tous ce dont le nom n'est pas mentionné.*

OMAR

# SOMMAIRE

<i>Introduction générale</i> .....	1
<b>CHAPITRE I : PRESENTATION DU CHAMP HASSI R'MEL</b>	
<i>1.Situation géographique</i> .....	2
<i>2.Historique du champ de Hassi R'Mel</i> : .....	2
<i>3. Développement du champ de Hassi R'Mel</i> :.....	5
<i>4. Les installations de Hassi R'mel</i> : .....	5
<i>4.1.Le rôle de station de compression</i> :.....	6
<i>5.Organisation de la direction régionale de HR</i> .....	6
<i>5.1. Direction régionale</i> :.....	6
<i>5.2. Missions et taches des structures</i> : .....	7
<i>6. Les unités communes (la phase B)</i> : .....	10
<i>6.1. Introduction</i> .....	10
<i>6.2. Description des différentes sections du module commun</i> .....	10
<i>6.2.1. Déshydratation et recompression des gaz moyen pression (MP)</i> .....	10
<i>6.2.2. Boucle de propane</i> .....	11
<i>6.2.3. Système des utilités</i> .....	12
<i>6.3. Unité de production de propane et de butane</i> : .....	14
<i>7. Conclusion</i> .....	15
 <b>CHAPITRE II : DESCRIPTION DU FOUR ET IDENTIFICATION DE SES PARAMETRES</b>	
<i>1.Introduction</i> : .....	16
<i>2.Généralités sur les fours</i> .....	16
<i>2.1.Les différents types de fours</i> : .....	17
<i>2.1.1Les fours cylindriques verticaux</i> :.....	17
<i>2.1.2.Les fours dits (boîtes) à tubes verticaux</i> :.....	18
<i>2.1.3.Les fours dits (cabines) à tubes horizontaux</i> :.....	18
<i>2.1.4.Les fours à chauffage par murs radiants</i> :.....	18
<i>2.1.5.Les fours à double chauffe</i> : .....	18
<i>3.Description de l'unité PK 330 (régénération du glycol)</i> : .....	23

<b>3.1.Préparation du démarrage du four H331:</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2.Identification des paramètres du four H331 :</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.1. Méthode de Strejc</b> .....	<b>27</b>
<b>4.Conclusion</b> .....	<b>29</b>

**CHAPITRE III : régulation et application au four H331**

<b>1.Introduction</b> .....	<b>30</b>
<b>2.Les actions du correcteur :</b> .....	<b>30</b>
<b>2.1.Correcteur à action proportionnelle:</b> .....	<b>30</b>
<b>2.1.1.Fonction de transfert</b> .....	<b>30</b>
<b>2.1.2.Effets de l'action P :</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.Correcteur proportionnel intégral :</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.1.Fonction de transfert</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2.2.... Effet de l'action intégrale</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.Action dérivée :</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.1.Fonction de transfert :</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.2.Effet de l'action dérivée :</b> .....	<b>32</b>
<b>2.4.Correcteur proportionnel intégral dérivé :</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>2.4.1.Fonction de transfert :</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>2.4.2.Réglage des paramètres du correcteur PID :</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>3.Réglage pratique par la méthode de Ziegler-Nichols :</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>3.1.Méthode des moments :</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>3.2.Calcul des paramètres du modèle</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>
<b>3.3.Calcul des paramètres du correcteur.</b> .....	<b>40</b>
<b>3.4.Résultats de simulation</b> .....	<b>40</b>
<b>4.Conclusion</b> .....	<i>Erreur ! Signet non défini.</i>



## Introduction générale

---

- La plupart des boucles de régulation dans l'industrie sont à base de correcteurs proportionnel intégral dérivé (PID)
- Dans la station de traitement de gaz au champ de Hassi R'Mel, et plus exactement à l'unité phase B (module commun des modules M1 et M0, le four H331 joue un rôle très important pour avoir une bonne qualité de production. Par conséquent sa régulation est plus qu'indispensable.
- L'objectif de notre travail consiste synthétiser un correcteur PID pour la régulation de la température du four H331.
- Notre mémoire est structuré comme suit :
  - Introduction générale
  - Présentation du champ gazier de Hassi R'Mel
  - Description du four H331 et identification de ses paramètres
  - Régulation et application au four H331
  - Conclusion générale

## 1. Situation géographique :

Hassi R'Mel est situé à 550km au sud d'Alger à une altitude de 760 m, le paysage est constitué d'un vaste plateau rocailleux. Le climat est caractérisé par une humidité moyenne. Elle est de 19% en été et 34% en hiver ; les amplitudes sont importantes, elles varient de -5°C en hiver à 45°C en été. La figure 1.1 représente la situation géographique de Hassi R'Mel

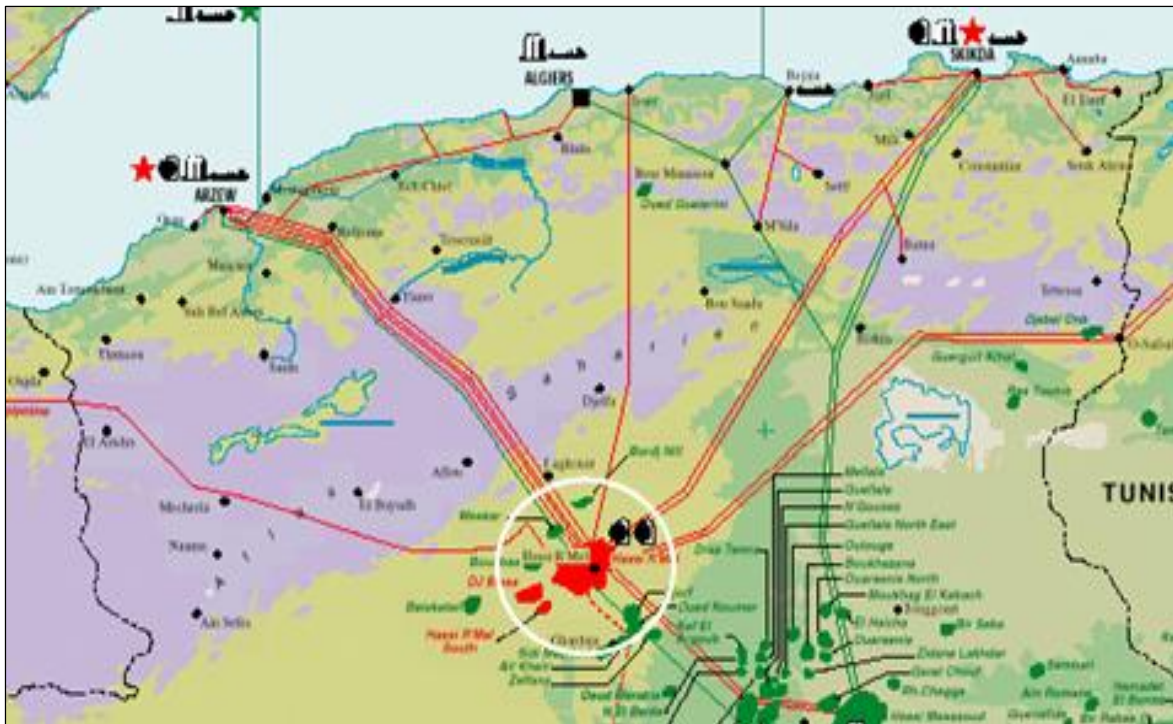


Fig.1.1 Situation Géographique de Hassi R'Mel

## 2. Historique du champ de Hassi R'Mel :

La première fois qu'une compagnie s'intéresse à la région date de 1951, le forage du premier puits d'exploitation a eu lieu en 1952 à quelques Kilomètres de Berriane dans le champ de Hassi R'Mel. Le premier puits hr1, a été foré en 1956 sous le sommet de l'anticlinal que constitue le gisement de Hassi R'mel. Ce puits a mis en évidence la présence de gaz riche en condensât à une pression de 310kg ATM et de 90°C. La profondeur atteinte est de 2332 m.

La figure 1.2 représente le champ gazier de Hassi R'Mel.

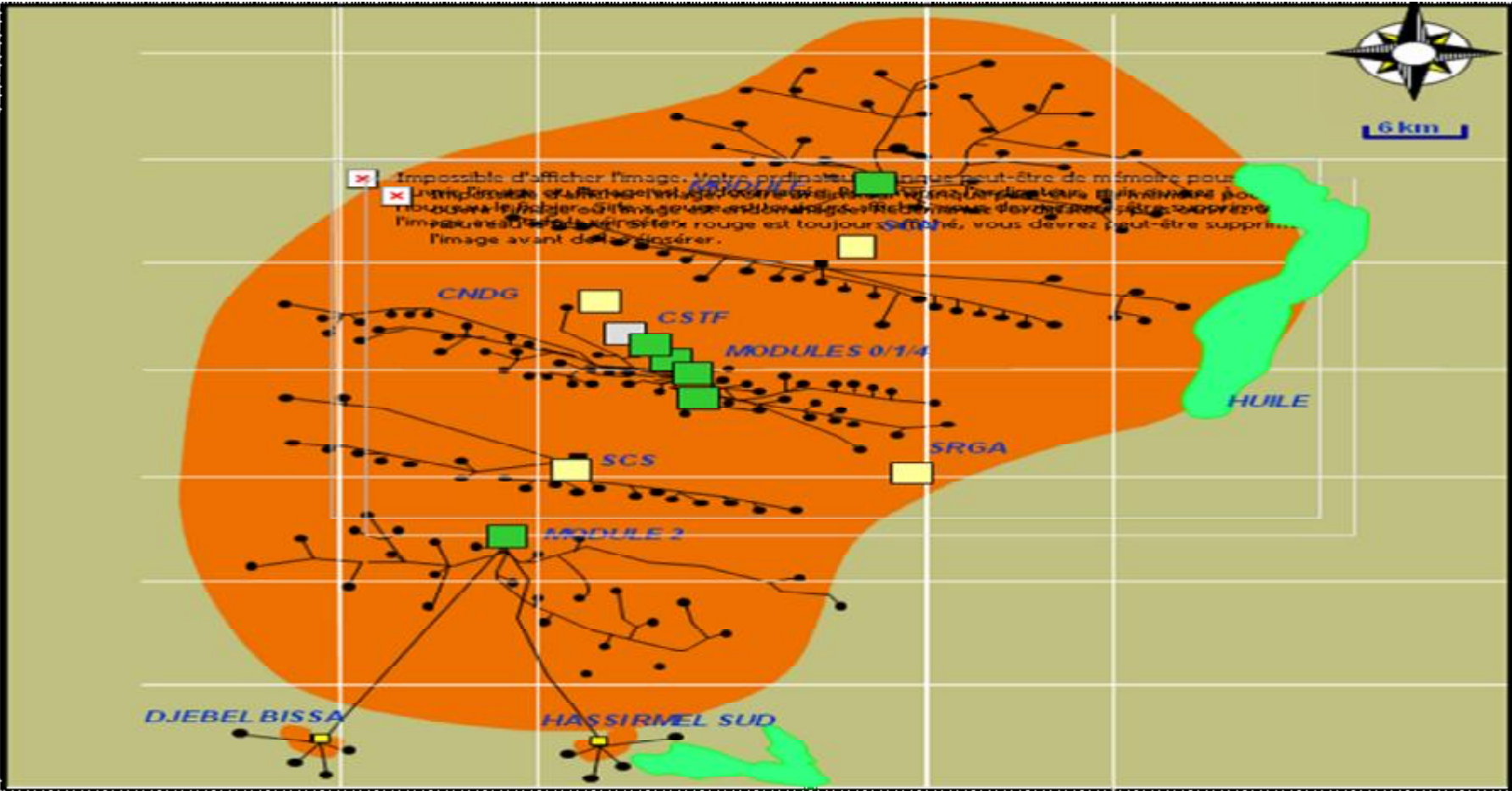


Fig1.2 champs gazier de Hassi R'Mel

De 1957 à 1960, huit(8) puits ont été foré (hr2, hr3.....hr9). Ils ont mis à jour l'existence de trois réservoirs.

**a- réservoir a** : s'étend sur tout le champ de Hassi R Mel, sur une épaisseur variant sur l'ensemble du champ de 15 à 30 m. Ses caractéristiques sont :

- porosité : 15%
- perméabilité :  $270.10^{-3}$  darcys
- teneur en eau : 24%

**b- réservoir b** : il est limité à la zone centrale et la zone nord du champ.

Ses caractéristiques sont :

- porosité : 15%
- perméabilité :  $250.10^{-3}$  darcys
- teneur en eau : 28%

Cette couche présente 13% des réservoirs en place.

**c- réservoir c** : il s'étend sur la majeure partie du champ sauf la zone sud, c'est le plus épais des trois niveaux et le plus important.

Ses caractéristiques sont :

- porosité : 8 %
- perméabilité :  $800.10^{-3}$  darcys
- teneur en eau : 13%

Le champ de Hassi R'Mel est une vaste étendue de 3500 km<sup>2</sup> (70 Km de long sur 50 Km de largeur).

Les réserves trouvées en place sont évaluées à plus de  $2800 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

### 3. Développement du champ de Hassi R'Mel :

Le développement de Hassi R'Mel s'est trouvé étroitement lié au développement de l'industrie du gaz dans le monde et les importantes réserves recelées pour lancer une politique d'industrie gazière de grande envergure pour le pays.

**1<sup>er</sup> étape :** 1961 : réalisation d'une petite unité de traitement de gaz de 1,3 milliard de m<sup>3</sup>/an. Cette réalisation a coïncidé avec la construction de la première usine de liquéfaction de gaz en 1964. Cette capacité est portée à 4 milliards de m<sup>3</sup> /an.

**2<sup>ième</sup> étape :** la capacité de traitement du champ de Hassi R'Mel atteint, après les nationalisations des hydrocarbures en 1971, 14 milliards de m<sup>3</sup>/an.

**3<sup>ième</sup> étape :** 1975-1980 : cette période a permis de concrétiser un plan de développement qui concerne l'ensemble du champ de Hassi R'Mel dans la mesure de répondre aux besoins du pays à moyen et à long terme ainsi qu'aux besoins de nos partenaires. Ce plan a permis également de doter Hassi R'Mel d'un modèle d'exploitation en mesure d'optimiser la récupération de différents produits.

La capacité de traitement a été portée à 94 milliards de m<sup>3</sup>/an :

- la réalisation de quatre complexes de traitement de 20 milliards m<sup>3</sup>/an de capacité unitaire.
- le forage de 150 puits producteurs.
- le forage également de 52 puits injecteurs.
- la réalisation d'un réseau de collecte et de dessertes de 1000 Km haute pression (à l'enterre)
- la réalisation de station de réinjection de gaz d'une capacité unitaire de 30 milliards m<sup>3</sup>/an et d'une puissance unitaire 600 000 CV.

### 4. Les installations de Hassi R'mel :

Les importantes installations de Hassi R'mel révèlent leur rôle dans la mise en valeur de nos richesses énergétiques. La région de Hassi R'mel est un champ de gaz à condensât avec une activité secondaire qui consiste à produire du pétrole. Le champ est divisé en trois zones de production :

**a) zone centrale :** cette zone se compose :

- ∅ Des usines de traitement du gaz tel que le module 0, module1, les communs et le module4.
- ∅ D'un centre de stockage et de transfert de GPL et de condensât (CSTF).
- ∅ D'une station de récupération des gaz associés (SRGA) qui récupère les gaz des centres de traitement d'huile et les expédie comme gaz brut vers le module 4.

**b) zone nord :** elle contient une usine de traitement de gaz (module3) et une station de compression nord

**c) zone sud :** on trouve dans cette zone les unités de traitement de gaz qui sont le module2, Hassi R'Mel sud, DJEBEL BAISSA et une station de compression sud.

#### ***4.1. Le rôle de station de compression :***

Une partie du gaz de vente produit est récupérée par la station de compression ou elle sera comprimée et réinjectée dans le gisement par le biais des puits injecteurs. La réinjection est effectuée pour minimiser la condensation des hydrocarbures liquides dans le réservoir et maximiser leur récupération par maintien de pression dans le gisement.

Le gaz produit est acheminé vers le centre national de distribution du gaz (CNDG) ou il sera expédié à travers des canalisations aux différents centres de consommation nationaux et à l'étranger.

## **5. Organisation de la direction régionale de HR**

### **5.1. Direction régionale :**

Le développement et l'exploitation des hydrocarbures sont l'objectif principal visé par la direction régionale. Afin de répondre à son plan de charge convenablement ; elle s'est dotée de l'organisation présente par la figure [1.3].

### **5.2. Missions et taches des structures :**

- secrétariat régional
- assistant au directeur régional

**a) Division approvisionnement :**

Elle a pour but l'approvisionnement, le développement, l'organisation et la mise en disposition des matériels, équipements, outillage de construction et des gros engins.

**b) Direction Technique :**

Elle a comme mission la planification, le développement, l'organisation et la mise en œuvre d'une capacité de construction pétrolière répondant aux besoins de développement du champ de HR.

**c) Direction Engineering et production :**

La planification, le développement, l'organisation et la mise en œuvre des services techniques opérationnels et d'intervention sur toutes les installations des puits et le centre de traitement d'huile (CTH).

**d) Direction Exploitation :**

Sa tâche principale est la réalisation des programmes de production, de traitement et d'injection des hydrocarbures établis par la région.

**e) Direction maintenance :**

La planification, le développement, l'organisation et la mise en œuvre des réserves de maintenance pétrolière liées aux besoins actuels et futurs de la région dans différentes activités : mécanique ; électromécanique ; électricité ; instrumentation...

**f) Direction logistique :**

Elle a pour objectif la réalisation des travaux non pétrolières et du génie civil ; l'entretien de tous les locaux et logement ; électricité bâtiments, plomberie et menuiserie...

**g) Division sécurité :**

Le contrôle, l'organisation et le maintien d'un haut niveau de sécurité sont les principales tâches de la division sécurité.

**h) Division information :**

Elle a pour objectif la gestion, le développement et la maintenance de l'outil informatique dans toute la région.

**i) Division intendance :**

La prestation du service de restauration, d'hébergement et la gestion des patrimoines.

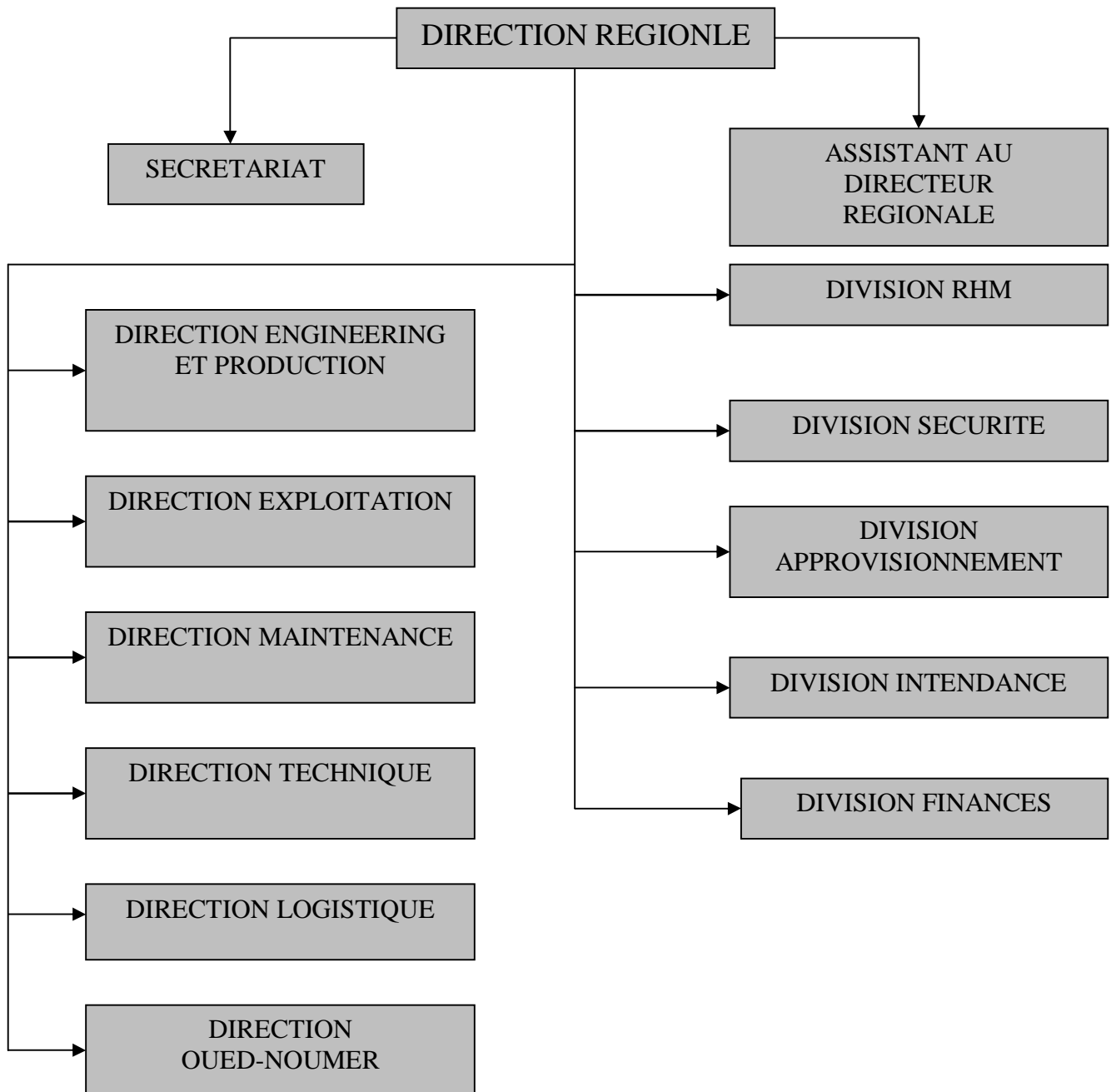
**j) Division finance :**

La prestation du service de trésorerie, de comptabilité générale, de comptabilité de gestion et de contentieux.

**k) Division ressources humaines :**

L'organisation et le control des activités de la région en matière de recrutement, formation, gestion du personnel, prestation sociale, activités culturelles et administration générale.





**Fig. 1.3 ORGANISATION DE LA DIRECTION REGIONALE DE HASSI R'MEL**

## 6. Les unités communes (la phase B) :

### 6.1 Introduction

Cette installation a été construite dans le cadre de la phase B des module M1 et M0, son rôle est de maintenir des modules en exploitation grâce à un circuit de réfrigération au propane pour une meilleur récupération du **GPL** et du condensat. Quant au gaz à moyenne pression, il sera déshydraté et récomprimé pour le réinjecter dans les pipes d'expédition.

La mise en marche de la phase B a permis d'améliorer production avec une récupération des produits torchés auparavant grâce à la boucle de propane qui donne une bonne une réfrigération, le condensât est stabilisé et le GPL est récupéré pour la production du propane et du butane.

Les  $C_2$  sont déshydratés et comprimés pour être réinjectés dans les pipes d'expédition.

L'unité de la phase B est alimentée par trois lignes, deux provenant du module M0 et l'autre du module M1.

### 6.2 Description des différentes sections du module commun

#### 6.2.1 Déshydratation et recompression des gaz moyen pression (MP)

Cette section comprend deux colonnes de déshydratation T330 et T340 de gaz MP provenant de la tête des déethaniseurs de M0 et M1. Ces vapeurs de tête ( $C_2$ ) sont acheminées aux installations communes à 18 Kg/cm<sup>2</sup> en vue d'une recompression et réinjection à 75 Kg/cm<sup>2</sup> dans le pipeline de gaz de vente.

Le séchage s'effectue dans ces contacteurs à l'aide du tri éthylène de glycol qui est injecté à contre courant avec le gaz dont la composition est donnée en pourcentage molaire dans le tableau de la figure 1.4 :

N <sub>2</sub>	C <sub>6+</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
1.758	0.237	0.361	71.194	23.277	1.984	0.173	0.366	0.308	0.342

**Fig.1.4 Tableau de composition du gaz MP**

Cette section comprend par ailleurs trois unités de régénération de glycol PK 330, PK340 et PK 350 pour régénérer ce produit de 96 % à 99.5% en poids.

Après déshydratation, les vapeurs de tête sont collectées dans un séparateur d'aspiration des compresseurs V308 d'où une quantité de fuel gaz est prélevée.

Le système de recompression comprend deux turbocompresseurs CGT/C 302 A/B, reliés à un circuit de procédé commun où chaque machine est en mesure de prendre la totalité des vapeurs de tête des deux modules à 18 Kg/cm<sup>2</sup>, la 2<sup>ème</sup> machine est en attente.

Les vapeurs de tête recomprimées sont réinjectées à 75 kg/cm<sup>2</sup> dans les conduites respectives de gaz de vente de M0 et M1, après refroidissement par une batterie de 4 aéroréfrigérants E304/1-4.

### 6.2.2 Boucle de propane

La boucle de propane est un système mis en place pour assurer l'alimentation en propane réfrigérant nécessaire pour la réfrigération de tête des déethaniseurs de M0 et M1 ainsi que pour le traitement du gaz brut de ces modules ; leur permettant par là une meilleure récupération de GPL et de condensât.

Comme sa dénomination l'indique, ce système fonctionne en boucle fermée, il est alimenté à partir des ballons de stockages V306 A/B par l'intermédiaire de deux pompes d'appoint P303 A/B.

Il est constitué de :

- 03 turbocompresseurs avec un circuit de procédé commun ; une ou deux machines sont en service selon le cas de fonctionnement (100 ou 130 bars). La troisième machine est en attente.
- Un accumulateur principal V302 pour l'alimentation des chillers de M0 et M1 en propane liquide HP après recompression des retours de vapeurs de propane par les machines et recondensées par un système de batteries de 48 aéroréfrigérants à 50°C et 20 kg/cm<sup>2</sup>.
- Un accumulateur V304 pour l'alimentation des chillers de M0 et M1 en propane liquide MP (7,5 kg/cm<sup>2</sup>) et la réception des retours de vapeurs de propane HP.
- Un accumulateur V303 à l'entrée de la 1<sup>ère</sup> aspiration des machines destinées à la réception des retours de vapeurs de propane BP à 1,05 kg/cm<sup>2</sup>.
- Un accumulateur V305 à l'entrée de la 2<sup>ème</sup> aspiration des machines afin d'éliminer d'éventuels entraînement d'hydrocarbures liquides.

### 6.2.3 Système des utilités

Afin de produire un composé désiré, certains services essentiels doivent être fournis et sans lesquels l'unité ne peut fonctionner :

#### A. Fuel gaz

L'arrivée du fuel gaz de l'unité peut être assurée par deux sources différentes : l'une à haute pression (HP) vers V309, l'autre à moyenne pression (MP) vers V310.

Le fuel gaz HP est prélevé de la pipe de gaz de vente de M0 et M1 à une pression de 75 kg/cm<sup>2</sup> et une température de 40°C. Sa composition en pourcentage molaire est donnée par le tableau de la figure 1.5 :

N <sub>2</sub>	C <sub>6+</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
6.151	0.071	0.202	6.830	2.043	0.311	0.458	0.09	0.096

**Fig.1.5 Tableau de compositions du fuel gaz en pourcentage molaire**

Le fuel gaz HP est utilisé pour le démarrage des turbines de lancement des turbocompresseurs et /ou comme source de combustible.

Le fuel gaz MP est prélevé du gaz de tête des déethaniseurs après son séchage à la sortie du V308 (P =17.5 kg/cm<sup>2</sup>, T=35°C).

Le fuel gaz basse pression (BP) arrive au V311 à partir du V310, P=6 kg/cm<sup>2</sup>, T=25°C. Il est utilisé pour la combustion dans des rebouilleurs de Tri Ethylène de Glycol (TEG) et de propane et pour le balayage du réseau torche.

#### B. L'énergie électrique

L'énergie électrique de l'unité est fournie par SONELGAZ via les modules M0 et M1 à travers trois lignes (5,5 kV ,50 Hz) ; 2 lignes du M0 et une de secours du M1. Cette énergie est transformée en 380V, 220V et 110V pour diverses utilisations.

#### C. Gaz inerte

L'unité régénération de gaz inerte PK-320 et le système de séchage sont installés dans les installations communes pour fournir une capacité égale à 270 Nm<sup>3</sup> /h de gaz inerte qui sera utilisé pour purger les équipements. Cette unité fournit du gaz inerte par oxydation de CO<sub>2</sub>.

Il y a une nouvelle unité installée au niveau de la phase « B ». la génération s'effectue par adsorption dans une colonne à tamis moléculaire, l'air est introduit dans la colonne d'adsorption, le tamis moléculaire empêche le passage des molécules d'O<sub>2</sub>, il est perméable aux molécules d'azote N<sub>2</sub>. La teneur admissible (max) d'O<sub>2</sub> dans le gaz inerte est de 2

#### **D. Air instrument et air service :**

L'air instrument est produit par deux compresseurs alternatifs, la capacité d'alimentation est de 1200 Nm<sup>3</sup>/h à une pression de service de 7 kg/cm<sup>2</sup> et une température T= 55°C. Les différents accumulateurs d'air instrument à travers l'usine permettent une autonomie d'alimentation de 30 mn en cas de panne de courant. L'air instrument est séché à travers un tamis de silicagel au niveau des sécheurs D301 A/B, son point de rosé est de - 18°C à 7 Kg/cm<sup>2</sup>. De l'air service est prélevé avant séchage pour les différents besoins de l'usine.

Le système air instrument et service est banalisé avec les M0 et M1.

#### **E. réseau torche**

Une torche commune Z301 est prévue pour les gaz, le drainage des hydrocarbures liquides à circuit fermé ainsi que les GPL dénommés produits froids provenant des installations communes, de M0 et M1 (drainage des chillers). La torche est munie de trois ballons de flash V312 (produits froids), V316 et V317 pour les autres drainages gaz ou liquides.

Chacun des ballons est muni de deux pompes pour les produits qui ne s'évaporent pas. Ceux du V312 sont dirigés vers la fosse de brûlage, tandis que ceux des V316 et V317 peuvent être récupérés dans le V230 du M1.

#### **F. L'eau**

L'eau brute provient du puit et ou du château d'eau et stockée dans le bac S302 ; à un débit de 240 m<sup>3</sup>/J et une pression de 2 kg/cm<sup>2</sup>.

A partir de S302, l'eau passe à travers un filtre à sable F302 pour être stocké dans le bac d'eau filtrée S303 puis elle subit un traitement par échange d'ions à travers l'adoucisseur K301 avec une dureté totale < 10 ppm. Elle est stockée dans le S304 nécessaire aux appoints pour le refroidissement des pompes et des compresseurs alternatifs ainsi que pour le M1 et M0. Sa capacité est de 4 m<sup>3</sup>/h.

L'eau potable est produite par traitement de l'eau filtrée dans l'unité de chloration k302, elle est stockée dans le réservoir d'eau potable S318 d'où elle sera répartie sur les installations communes, le module 0 et le module1

### **G. Purification et stockage d'huile**

Un bac d'huile S306 d'une capacité de 50 m<sup>3</sup> est installé avec 2 pompes P308 A/B pour l'appoint des caisses des turbomachines. 2 autres pompes P309 A/B pour la vidange de ces caisses ; l'huile vidangée est stockée au niveau de deux ballons S308 A/B avant d'être purifiée par 3 purificateurs CZ301 A/B/C. Cette huile est stockée ensuite au niveau du S307 pour être réutilisée.

### **6.3 Unité de production de propane et de butane :**

Le GPL provient du module 0 à une pression de 22,2 kg/cm<sup>2</sup> et une température de 21.1°C, il est pompé par la P305 A/B à un flux de 13.4 m<sup>3</sup>/h, puis préchauffé dans l'échangeur E301 jusqu'à une température de 59,8°C, il sera à ce niveau injecté au 19<sup>ème</sup> plateau de la colonne de distillation (dépropaniseur).

Les composés les plus volatils ; éthane et propane, sont récupérés en tête de colonne sous forme vapeur, puis ils passent à travers un aéroréfrigérant E302A/B où aura lieu la condensation de propane tandis que l'excédent d'éthane qui ne peut être condensé est envoyé vers torche. Le propane liquide est collecté dans un ballon de reflux V 301, ou une majeure partie est utilisée comme reflux de tête de la colonne, l'autre partie passe par une unité de séchage PK360 en vue d'être déshydraté jusqu'à un taux de H<sub>2</sub>O inférieur à 1ppm

Cette unité comprend deux sécheurs de propane D361A/B, Des réchauffeurs de gaz de régénération E361, des pots de purge du gaz de régénération V361, de refroidisseurs du gaz E302 A/B. les sécheurs de propane sont cylindriques et pourvus respectivement d'un tamis moléculaire à l'intérieur. Le propane passant à travers les colonnes est déshydraté par adsorption. La durée de déshydratation utile de chaque sécheur est de 24 heures, suite à cela il sera régénéré ; le tamis moléculaire contenant de l'eau adsorbé est chauffé par gaz et débarrassé de son eau, qui sort de la colonne (phase de chauffage). Le sécheur est ensuite refroidi et sera en attente pour l'adsorption suivante.

Les différentes phases de service d'un sécheur sont : pressurisation (3minutes), remplissage (10 minutes), adsorption (24 heure), drainage (20 minutes), chauffage (6h30minutes), refroidissement (1h30 min) puis position attente.

Après séchage, le propane circule à travers un filtre F301 puis stocké dans les ballons V306 A/B pour être utilisé comme appoint pour la boucle de propane. Le propane non stocké est envoyé vers NAFTAL ou à défaut vers le CSTF.

Une pompe P302 A/B fait circuler le butane liquide à travers le rebouilleur H301 pour maintenir la température de fond de colonne à 104°C.

Le butane récupéré au fond de colonne sort à un débit de 7,29 m<sup>3</sup>/h et à une température de 102,4°C et entre dans l'échangeur E301 côté calandre pour préchauffer le GPL avant d'être envoyé vers NAFTAL ou à défaut vers le CSTF.

**7. Conclusion :** dans ce chapitre nous avons présenté le champ gazier ou nous avons effectué notre projet de fin d'étude et toutes ses unités. Dans ce qui suit nous allons faire une description du four H331 puis on va identifier ses paramètres.

## Chapitre II : description du four et identification de ses paramètres

### 1. Introduction :

La présence d'eau dans le gaz naturel peut provoquer des problèmes durant le cycle de traitement et son transport par pipelines. Parmi ces problèmes, la formation d'hydrates, qui sont l'origine des problèmes mécaniques des machines tournantes, mais aussi augmentent les pertes de charges et la capacité de transport du gaz. La formation d'hydrates peut aussi causer des problèmes aux équipements et pipes.

Pour éviter ces problèmes, plusieurs méthodes sont utilisées dans l'industrie pétrochimique :

- La compression suivie d'un refroidissement.
- Refroidissement en dessous de point de rosé lors de la transmission du gaz.
- Utilisation d'adsorbants.
- Utilisation d'absorbants (le glycol).

### 2. Généralités sur les fours.

Les fours constituent un équipement clef pour l'industrie de raffinage et de la pétrochimie et doivent, grâce à leur conception, répondre aux exigences nombreuses émises par les utilisateurs comportant essentiellement une charge thermique déterminée, un rendement thermique minimum, un bon facteur de marche et une flexibilité d'opération satisfaisante avec le souci de respecter les impératifs de sécurité. Ces appareils élaborés doivent être conçus également en fonction de l'accroissement progressif de taille et d'une supervision confiée de plus en plus à l'instrumentation automatique qui caractérise l'évolution technique de cette industrie de masse.

Les engineerings et la fabrication de matériels consacrent par ailleurs, une part importante de leurs activités à l'étude et à la réalisation des fours destinés au traitement des hydrocarbures et des dérivés du pétrole. Qu'il s'agisse des tubes, des réfractaires, des brûleurs ou des charpentes métalliques, les choix à opérer sont nécessairement liés par la recherche de la satisfaction à un juste coût des demandes de l'industrie cliente.



Il apparaissait donc tout à fait opportun que soient confrontées les préoccupations des utilisateurs avec celle des techniciens des bureaux d'études et des entreprises de fabrication de manière à établir un ensemble de normes qui puisse servir de guide reconnu par tous.

La place occupée par les fours, dans l'industrie pétrolière et pétrochimique est importante. En effet :

Ø La part d'investissement de ce matériel au sein d'une unité de production peut atteindre 20% du prix de revient de l'unité

Ø Les services imposés aux fours sont capitaux pour la bonne marche d'une unité. Ils doivent absorber toutes les variations de fonctionnement processus (débit massique, débit calorifique) avec des combustibles aux caractéristiques variables.

Or, la moindre défaillance peut compromettre et voir même stopper la marche de l'unité avec toutes les conséquences que nous savons.

D'où, l'importance des problèmes posés pour la conception, la construction, la conduite des fours.

Considérant que la réalisation et le fonctionnement de ceux-ci font appel à un grand nombre de disciplines et pose de sérieux problèmes technologiques ; sachant également que l'évolution des techniques, les conditions d'exploitation et de la politique des prix conduisent vers une optimisation entre les investissements, la qualité du matériel et la sécurité de marche, l'idée nous est venue de nous pencher en profondeur sur les problèmes ainsi évoqués.

## **2.1. Les différents types de fours :**

Il existe de nombreuses dispositions des tubes, dans la zone de radiation et de convection, et d'une zone par rapport à l'autre. Il en résulte de nombreux types de fours. On peut, toutefois, distinguer les différentes catégories suivantes :

### **2.1.1. Les fours cylindriques verticaux :**

La zone de radiation se présente sous la forme d'un cylindre à axe vertical. Les brûleurs sont placés sur le sol. La surface d'échange couvre les parois verticales et présentent donc une symétrie circulaire par rapport au groupe de chauffage.

### **2.1.2. Les fours dits (boîtes) à tubes verticaux :(voir la Fig.2.3)**

Pour ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède. Les brûleurs sont situés sur la sole, la surface d'échange couvre les parois verticales latérales.

Parfois la chambre de combustion est divisée en plusieurs cellules, par des rangées de tubes parallèles à une des faces des parois latérales.

### **2.1.3. Les fours dits (cabines) à tubes horizontaux (voir la Fig.2.2)**

Dans ces fours, la forme générale de la zone de radiation est celle d'un parallélépipède, dont la plus grande longueur est horizontale. Les tubes sont placés horizontalement le long des parois latérales les plus longues. Les brûleurs sont situés sur la sole, ou sur la partie inférieure des murs latéraux les plus longs, ou encore sur les murs d'extrémités ne recevant pas les tubes.

### **2.1.4. Les fours à chauffage par murs radiants :**

La surface d'échange est placée dans le plan médian de la chambre de combustion. Les brûleurs sont répartis sur les parois latérales longitudinales.

### **2.1.5. Les fours à double chauffe :**

Dans ces derniers, le plan des tubes constituant la surface d'échange, est le plan médian des rangs brûleurs.

Pour tous les types de fours cités ci-dessus, à l'exception des cas où les brûleurs sont en voûte, la zone de convection peut être située au dessus du four. La zone de convection peut également être placée du côté de la zone de radiation. Dans ce dernier cas des carneaux de fumées très chaudes assurent la liaison entre les deux zones.

Les tubes constituant la surface d'échange de la zone de radiation sont placés devant le garnissage réfractaire isolant de l'enveloppe. Un espace égal à environ un diamètre de tube est maintenu entre les tubes et cette paroi réfractaire. La chauffe du tube, bien qu'inégalement répartie, se fait sur toute la périphérie.

L'enveloppe du four n'est pas parfaitement étanche, notamment suite au vieillissement et au nombreux passage de tubes. Pour des raisons de sécurité (four placé dans une atmosphère confinée) ou pour sauvegarde du matériel, l'intérieur du four est maintenu en dépression par rapport à l'air extérieur.

Cette dépression est, le plus souvent, obtenue par le tirage de la cheminée, ou quelquefois, par un ventilateur de tirage. Ces organes sont placés directement au-dessus de la zone de convection, ou au sol à côté du four.

L'air de combustion est introduit dans les brûleurs, soit par la dépression régnant dans la chambre de combustion (brûleur à tirage naturel), soit à l'aide d'un ventilateur (tirage soufflé ou forcé.).

Pour assurer la combustion complète du combustible, un excès d'air, par rapport à la valeur stœchiométrique, doit être ajouté. Cet excès d'air dépend du brûleur, de la température de l'air de combustion et principalement du combustible.

Les valeurs d'excès d'air les plus couramment admises sont, en pour-cent de l'air stœchiométrique :

<b>1 Combustible</b>	<b>Air froid (20°C)</b>	<b>Air chaud (300°C)</b>
<b>Fuel oil</b>	<b>20-25</b>	<b>5-15</b>
<b>Gaz</b>	<b>10-15</b>	<b>5-10</b>

**Fig.2.1: valeurs d'excès d'air en pour-cent de l'air stœchiométrique**

Le choix d'un type de four dépend principalement des facteurs suivants :

- Nature de produit chauffé et condition de service (débit, température, pression).
- Drainabilité des faisceaux tubulaires.
- Présence ou non de catalyseur dans les tubes.
- Combustible.
- Encombrement

- Facilité de construction ou de transport.
- Coût pour une application donnée

La part d'investissement de ce matériel au sein d'une unité de production peut atteindre **20%** du prix de revient de l'unité.

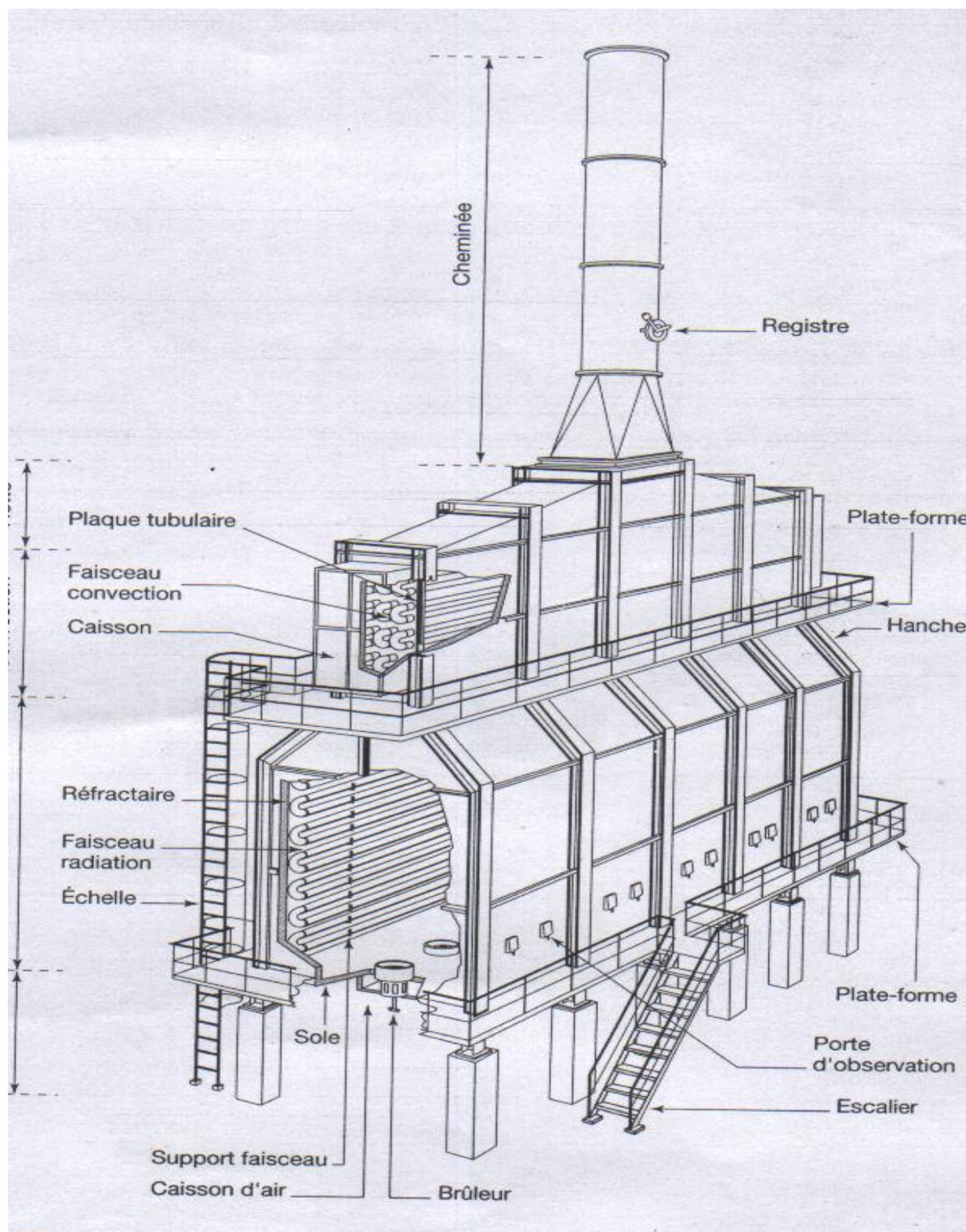


Fig.2.2 : Vue d'un four horizontal (cabines).



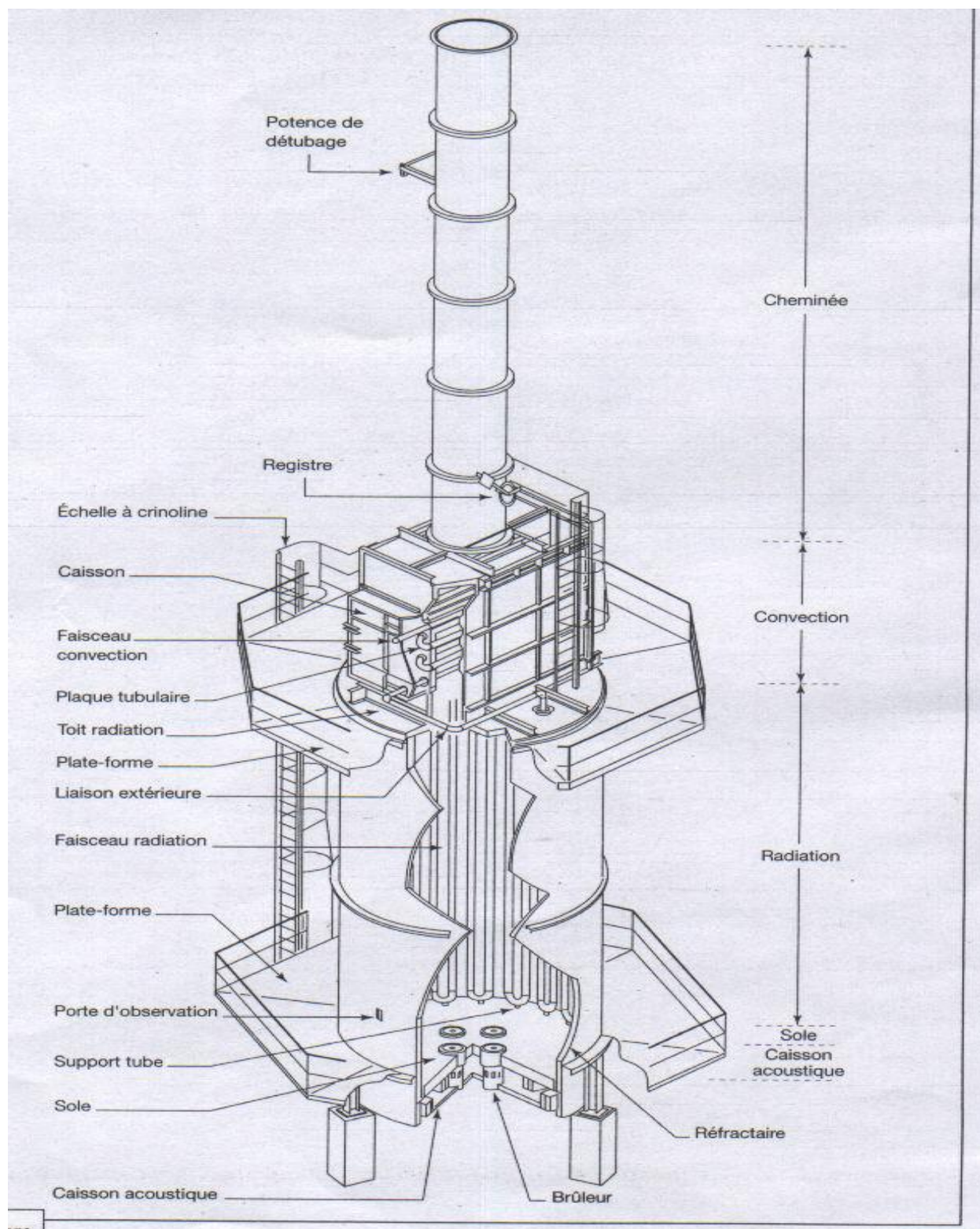


Fig.2.3: Vue d'un four verticale (boites)

### 3. Description de l'unité PK 330 (régénération du glycol) :

Le TEG hydraté revient de l'unité de déshydratation des gaz de têtes de dééthaniseur ou il est saturé en eau, il rentre dans la colonne de préchauffage T331 à la température avoisinant les 18°C et sort à 35°C puis rentre dans le ballon flash cela d'une part pour libérer les  $c_5$  (et plus) s'ils existent ; d'autre part pour constituer un niveau au sein de ce ballon de TEG et récupérer les  $c_5$  (et plus) liquides si possible qu'on ne peut admettre dans le rebouilleur.

Le TEG hydraté passe à travers le filtre à particules F331 puis une partie traverse un filtre à charbon pour retenir les hydrocarbures ; ensuite il passe par les échangeurs E331 A/B et sort à une température de 167.2°C ; et se dirige au point bas du T331 côté garnissage, puis rentre dans le four H331 pour continuer à se chauffer à une température  $T=200^\circ\text{C}$ . Cela dans le but d'éliminer le maximum d'eau, et ramener la concentration du TEG régénéré à 99.8% puis le faire sortir du côté calandre des échangeurs (E331 A/B) pour qu'il libère sa chaleur au profit du TEG hydraté, le récupérer dans un réservoir tampon, puis il sera injecté par une pompe P331 dans le T330 (contacteur de glycol). Une fois encore il s'hydrate en contact de l'humidité contenue dans le gaz dont la teneur en eau avoisine 350 ppm. La figure 2.4 représente le schéma général de l'unité PK330.

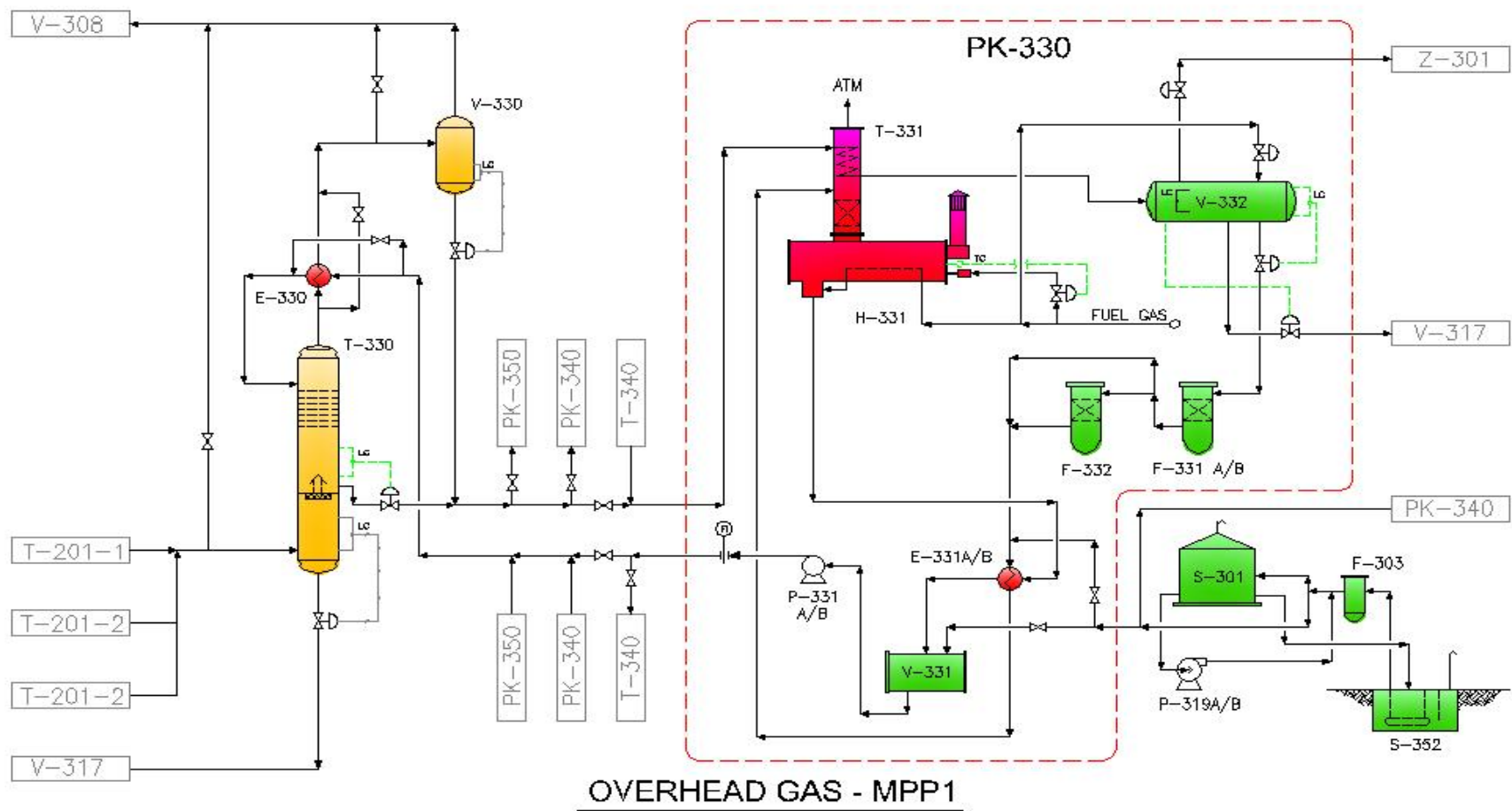


Fig2.4 Schéma du procédé de régénération du glycol

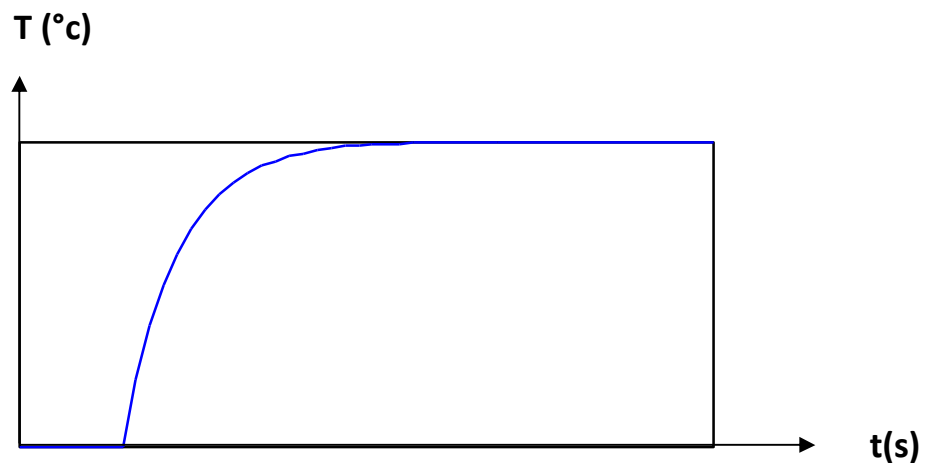


### 3.1. Préparation du démarrage du four H331:

- Ü -Vérification des instruments et des équipements.
- Ü Vérifier l'alimentation électrique et l'air instrument.
- Ü Assurer que le fuel gaz est la pression de service.
- Ü commencer à remplir le ballon tampon V332 au environ de 95%.
- Ü Démarrer la P331 pour une circulation à froid.
- Ü continuer à faire des appoints de TEG jusqu'à avoir 85% au H331.
- Ü Une fois le niveau apparaît dans le ballon flash V331, vérifier les régulateurs de niveau.
- Ü Fermer la vanne du by-pass du F331 A/B pour orienter le TEG vers les filtres.
- Ü Ouvrir la vanne d'évent et évacuer l'air et les gaz se trouvant éventuellement dans les filtres et la fermer dès que le TEG commence à déborder.
- Ü Recommencer l'opération pour F332.
- Ü Ouvrir la vanne du fuel gaz en mettant le sélecteur sur mode-marche, à ce moment la lampe témoin s'éteint après 3 secondes environ, la vanne de mise à l'arrêt s'ouvre de sorte que l'allumage devient possible.
- Ü Une fois la lampe du bruleur est allumée, pousser le bouton d'allumage du bruleur pilote, l'électrovanne du pilote s'ouvre et en même temps la tige d'allumage lance des étincelles et allume le bruleur pilote. Si la flamme est détecté, la lampe tension "Bruleur flamme" s'allume et la lampe "Bruleur prêt" s'éteint. Si la flamme n'est pas détectée au bout de 6 secondes, le prochain allumage est empêché pendant 3 minutes environ.
- Ü Ouvrir la vanne HV3600 manuellement et alimenter le bruleur principal avec du fuel gaz (combustible).

- Ü Après allumage, atteindre la température de 100°C en respectant la montée de la température de 30°C/heure.
- Ü introduire un débit de gaz à traiter au minimum dans le T330.
- Ü Une fois la température du H331 atteint 204°C introduire le stripping gaz.
- Ü Augmenter le débit du gaz à traiter au maximum.
- Ü Après stabilisation de l'unité s'assurer que les paramètres d'exploitation sont en forme, s'assurer aussi avoir une bonne flamme.
- Ü Mettre le TIC 3600 en mode AUTO en informant la salle de contrôle.
- Ü Faire une inspection visuelle pour détecter d'éventuelles fuites ou anomalies.

Grace à un enregistreur, les variations de la température, niveau du fuel gaz, débit du fuel gaz et la pression dans le four sont relevés dans un graphe. La figure 2.5 représente la variation de la température du four en fonction du temps.



**Fig.2.5 variation de la température en fonction du temps**

On voit bien que le système possède un modèle à trois paramètres et sa fonction de transfert s'écrit comme suit :

$$G(s) = \frac{K}{(1+Ts)^n} e^{-Ls} \quad \text{[II.1]}$$

**3.2. Identification des paramètres du four H331 :** pour pouvoir connaître les paramètres du four on a opté pour la méthode de Strejc :

### 3.2.1 Méthode de Strejc :

La méthode de Strejc est une méthode d'identification classique bien adaptée pour les modèles d'ordre  $n$ .

Ce modèle ne peut convenir que pour une réponse ayant l'allure de la figure 2.6 :

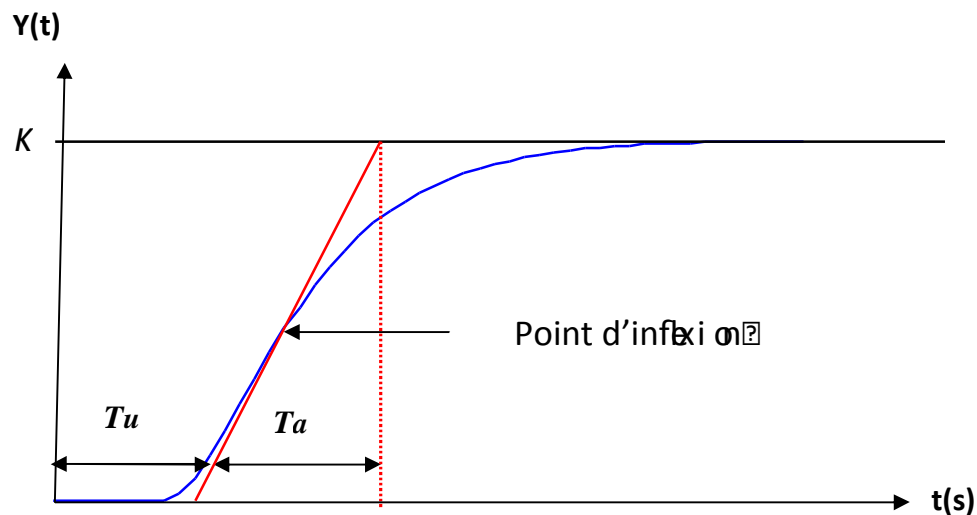


Fig.2.6 Méthode de Strejc.

Le principe de la méthode est de :

1. Tracer la tangente au point d'inflexion, cette tangente permet de définir deux grandeurs à savoir  $Tu$ , et  $Ta$ .
2. On calcule le rapport

$$\gamma = \frac{Tu}{Ta} \quad \text{II.2}$$

3. A partir de la table (Tableau 2.1), on cherche la valeur la plus proche (immédiatement inférieure) au rapport calculé précédemment, le résultat obtenu permet d'identifier l'ordre du système ( $n$ ).

La constante de temps  $T$  se calcule comme suit :

$$T = \frac{T}{Ta} \quad \bullet \quad Ta_{\text{mesurée}} \quad \text{II.3}$$

Table

Le retard  $L$  est donné par :

$$L = Tu_{\text{mesurée}} - \frac{T}{Ta} \quad \bullet \quad Ta_{\text{mesurée}} \quad \text{II.4}$$

Table

Le tableau de la figure 2.7 représente la table des coefficients de la méthode de Strejc :

$T_u / T_a$	Ordre du modèle ( $n$ )	$T / T_a$
0	1	1
0.125	2	0.37
0.220	3	0.27
0.320	4	0.22
0.410	5	0.20
0.490	6	0.18
0.570	7	0.19
0.640	8	0.15
0.71	9	0.14

Fig2.7. Table des coefficients de la méthode de Strejc

En utilisant cette méthode on a trouvé les valeurs suivantes :

$$T_u = 1080 \text{ s} \quad \text{II.5}$$

$$T_a = 2520 \text{ s} \quad \text{II.6}$$

Donc

$$\frac{T_u}{T_a} = 0.42 \quad \text{II.7}$$

Et à partir de la table et les équations on a trouvé les résultats suivants :

- $n=5$ .
- $K=200$ .
- $T=520 \text{ s}$ .
- $L=21.6 \text{ s}$ .

Donc la fonction de transfert s'écrit comme suit :

$$G(s) = \frac{200}{(1+520s)^5} e^{-21.6s} \quad \text{II.8}$$

## Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté une description du four étudié au niveau de l'unité phase B au champ gazier de Hassi R'Mel. L'objectif est de concevoir un correcteur PID pour la régulation de la température. Pour cela on a identifié le modèle du four par la méthode de Strejc dans ce chapitre. La synthèse du correcteur PID fera l'objectif du chapitre suivant.

## 1 Introduction

La régulation des procédés industriels regroupe l'ensemble des moyens matériels et techniques mis en œuvre dans le but de maintenir une grandeur physique à régler (débit, pression, température, niveau...etc.) à une valeur désirée (consigne), malgré les perturbations ou changements de consigne. Donc elle provoque une action correctrice sur la grandeur physique du procédé appelée grandeur réglante et fournir à l'opérateur des informations (fonctionnement, alarmes (visuelles ou sonores)). Pour améliorer les caractéristiques de précision, rapidité et stabilité de notre système on introduit dans la boucle de régulation le correcteur proportionnel intégral dérivé PID.

Dans ce chapitre nous allons étudier les différents effets des actions du correcteur PID et la méthode de synthèse Ziegler-Nichols pour la détermination des paramètres de ce correcteur.

## 2 Les actions du correcteur :

Dans de nombreuses applications industrielles on peut tolérer des variations par rapport à une consigne fixée. Le réglage se fait par le correcteur : Il réduit ou élimine l'écart (Mesure - Consigne) ; la souplesse de la régulation désirée est réalisée par trois (3) types d'action :

- Action **proportionnelle** (P).
- Action **intégrale** (I).
- Action **dérivée** (D).

Le régulateur le plus complet regroupe les trois actions (proportionnelle, intégrale et dérivée).

### 2.1 Correcteur à action proportionnelle:

#### 2.1.1 Fonction de transfert

$$k_p$$
**III.1**

Avec :

$K_p$  : gain statique.

### 2.1.2 Effets de l'action P

Une augmentation de P entraîne :

- Une amélioration de la rapidité du système.
- Une diminution de l'erreur statique, donc amélioration de la précision.
- Une diminution de la marge de phase.

Une augmentation excessive de  $k_p$  risque de déstabiliser le système.

## 2.2 Correcteur proportionnel intégral :

### 2.2.1 Fonction de transfert

$$\frac{K_p}{T_i s} (1 + T_i s) \quad \text{III.2}$$

Avec :

$T_i$  : constante d'intégration.

### 2.2.2 Effet de l'action intégrale :

Ce correcteur permet d'annuler l'erreur en régime permanent à un échelon de consigne. Mais il réduit la marge de phase de  $\frac{\pi}{2}$

## 2.3 Action dérivée :

### 2.3.1 Fonction de transfert :

$$T_d \cdot s \quad \text{III.3}$$

Avec :

$T_d$  : constante de l'action dérivée.

Ce type de correcteur est purement théorique; système non causal. Pour que cette action soit réalisable on utilise le modèle de dérivée filtrée dont la fonction de transfert est :

$$\frac{T_d s}{1 + \frac{T_d}{N} s} \quad \text{III.4}$$

Avec :

N: coefficient correspondant au gain du modèle dérivée filtrée.

### 2.3.2 Effet de l'action dérivée

Elle accélère la réponse du système et améliore sa stabilité tout en permettant un amortissement rapide des oscillations dues à l'apparition d'une perturbation ou à une variation subite de la consigne. Cette action est utilisée pour le réglage des variables lentes.

## 2.4 Correcteur proportionnel intégral dérivé :

### 2.4.1 Fonction de transfert

$$1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d}{N} s} \quad \text{III.5}$$

L'action intégrale permet d'augmenter la classe du système et l'action dérivée permet d'améliorer la stabilité.

### 2.4.2 Réglage des paramètres du correcteur PID

Pour satisfaire les exigences imposées par un cahier de charge, on doit calculer les paramètres de ce PID. Le calcul des paramètres consiste à trouver les constantes  $k_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  du correcteur PID. Ces paramètres permettent d'assurer le comportement ou bien les performances désirées en boucle fermée, telles que : le dépassement maximal, temps de réponse, temps de montée...etc. Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de ces paramètres ; pour notre étude nous allons nous intéresser à la méthode de Ziegler-Nichols.

## 3 Réglage pratique par la méthode de Ziegler-Nichols :

Cette méthode, établie vers 1942, est la plus connue des méthodes pratiques de réglage des boucles de régulation. Elle s'applique aussi bien à un procédé autorégulant qu'à un procédé intégrateur, à condition néanmoins qu'il soit possible de le mettre en pompage



(oscillations juste entretenues). Pour obtenir la limite de pompage, on place un correcteur proportionnel dans la boucle fermée et on augmente doucement le gain de ce correcteur jusqu'à obtenir des oscillations auto-entretenues (phénomène de pompage). On note le gain critique ( $K_{cr}$ ) qui a amené le système en limite de stabilité et la période ( $T_{cr}$ ) des oscillations obtenues.

Les réglages par Ziegler et Nichols, en fonction de la structure de régulateur utilisé, sont donnés dans le tableau de la figure 3.1 :

Paramètres Correcteur	Kp	Ti	Td
<b>P</b>	$0.5 K_{cr}$		
<b>PI</b>	$K_{cr}/2.2$	$T_{cr}/1.2$	
<b>PID</b>	$0.6 K_{cr}$	$0.5 T_{cr}$	$0.125 T_{cr}$

Fig.3.1. Réglages par Ziegler et Nichols.

Ces réglages conduisent à un réglage assez dur, c'est-à-dire à une réponse indicielle d'asservissement où le premier dépassement  $D_1$  est d'environ 30% à 40%.

Ces valeurs peuvent ne pas convenir au cahier des charges, le premier dépassement  $D_1$  pouvant être trop important ; il faut alors modifier ces réglages.

S'agissant de notre procédé, notre modèle est d'ordre 5 ; alors avant de procéder au calcul des paramètres de ce PID on doit d'abord ramener l'ordre du système à 1, et ce par la méthode des moments.

**3.1 Méthode des moments :**



$\delta(t)$  : impulsion de DIRAC.

$$Y(s) = G(s). U(s) \quad \text{III.6}$$

$$Y(s) = G(s). 1 \quad \text{III.7}$$

$$y(t) = g(t) \quad \text{III.8}$$

Soit  $h(t)$  la réponse impulsionnelle de  $G(s)$ .

$$G(s) = \int_0^{\infty} h(t)e^{-st} dt. \quad \text{III.9}$$

En dérivant  $G(s)$  par rapport à  $s$  :

$$G^n(s) = (-1)^n \int_0^{\infty} t^n h(t)e^{-st} dt \quad \text{III.10}$$

$$G(s) = \int_0^{\infty} h(t)e^{-st} dt \quad \text{III.11}$$

$$G'(s) = \int_0^{\infty} h(t)(-t)e^{-st} dt \quad \text{III.12}$$

$$G'(s) = (-1)^1 \int_0^{\infty} t. h(t)e^{-st} dt \quad \text{III.13}$$

$$\mathbf{G^2(s) = (-1)^1 \int_0^\infty t \cdot h(t) \cdot (-t) \cdot e^{-st} dt \quad III.14}$$

$$\mathbf{G^2(s) = (-1)^2 \int_0^\infty t^2 \cdot h(t) e^{-st} dt \quad III.15}$$

Par conséquent, les valeurs de la fonction de transfert et ses dérivées pour  $s=0$  peuvent être calculée par l'intégration de la réponse impulsionnelle.

#### ▼ Modèle à trois paramètres :

$$\mathbf{G(s) = \frac{k}{1+Ts} e^{-Ls} \quad III.16}$$

$h(t)$  est donnée.

### 3.2 Calcul des paramètres du modèle

- Calcul de  $k$  :

$$\mathbf{K = G(o) = \int_0^\infty h(t) dt \quad III.17}$$

- Calcul de T et L :
- Calcul du temps de résidence moyen  $T_{rm}$

$$\ln(G(s)) = \ln(K) + \ln(e^{-Ls}) - \ln(1 + Ts) \quad \text{III.18}$$

$$\ln(G(s)) = \ln(K) - Ls - \ln(1 + Ts) \quad \text{III.19}$$

$$[\ln(G(s))]' = \frac{G'(s)}{G(s)} = -L - \frac{T}{1+Ts} \quad \text{III.20}$$

Pour  $s=0$

$$\frac{G'(0)}{G(0)} = -L - \frac{T}{1+T \cdot 0} = -(L + T) \quad \text{III.21}$$

$$T_{rm} = L + T = -\frac{G'(0)}{G(0)} \quad \text{III.22}$$

$$T_{rm} = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot h(t) dt}{k} \quad \text{III.23}$$

$$[\ln(G(s))]' = \frac{G''(s).G(s) - G'(s).G'(s)}{G(s)^2} \quad \text{III.24}$$

$$\frac{G''(s)}{G(s)} - \left[\frac{G'(s)}{G(s)}\right]^2 = \frac{T^2}{(1+Ts)^2} \quad \text{III.25}$$

Pour  $s=0$

$$\frac{G''(0)}{G(0)} - \left[\frac{G'(0)}{G(0)}\right]^2 = T^2 \quad \text{III.26}$$

$$\frac{G''(0)}{G(0)} - T_{rm}^2 = T^2 \quad \text{III.27}$$

$$T = \sqrt{\frac{G''(0)}{G(0)} - T_{rm}^2} \quad \text{III.28}$$

$$T = \sqrt{\frac{(-1)^2 \int_0^\infty t^2 . h(t) dt}{k} - T_{rm}^2} \quad \text{III.29}$$

$$T_{rm} = L + T \rightarrow L = T_{rm} - T \quad \text{III.30}$$

$$L = \frac{\int_0^\infty t . h(t) dt}{k} - \sqrt{\frac{(-1)^2 \int_0^\infty t^2 . h(t) dt}{k} - T_{rm}^2} \quad \text{III.31}$$

En utilisant le langage de programmation 'MATLAB.5.3' on a obtenu les résultats suivants : (voir l'annexe)

**Tau=23.6011 s.**

**W\_cr=0.0696 rad/s.**

**K\_cr=0.0082.**

Après avoir réduit le modèle du four, on considère l'étape de validation du modèle. Pour cela on représente la réponse indicielle des deux modèles, c'est-à-dire le modèle réel et celui réduit. La figure3.2 donne les résultats obtenus par simulation. On constate que le comportement du modèle réduit est proche de celui d'ordre 5.

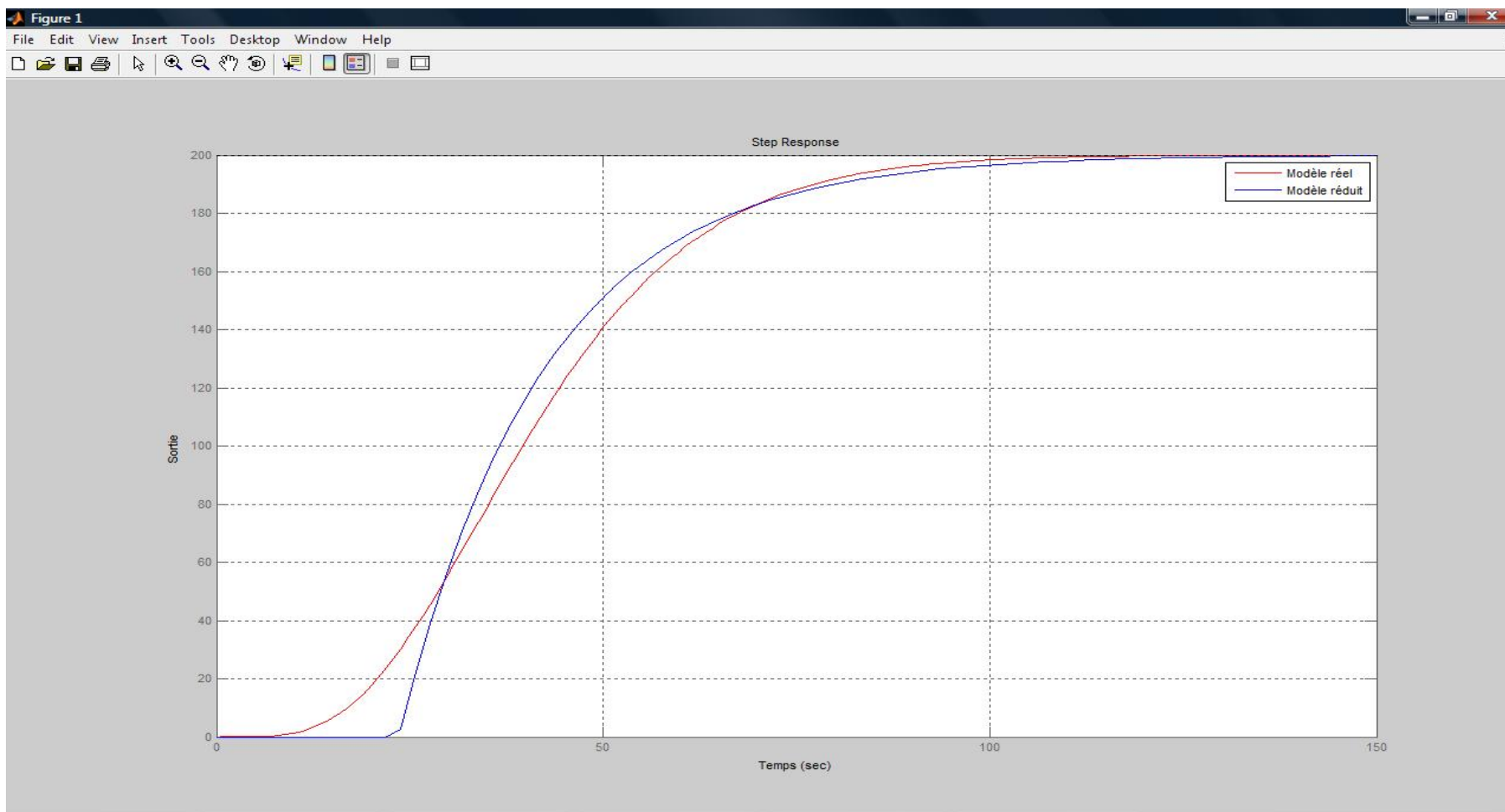


Fig.3.2. allures du modèle réel et du modèle réduit

### 3.3 Calcul des paramètres du correcteur.

Pour tenir compte des erreurs de modélisation (écart entre le modèle réel et celui réduit), on propose d'ajuster les paramètres du correcteur obtenus.

$$K_p = 0,6 \cdot K_{cr} = 0,6 \cdot 0,0082 = 0,00492 \quad \text{III.32}$$

$$K_p = 0,00492$$

$$T_i = 0,5 \cdot \text{Tau} = 0,5 \cdot 23,60 = 11,80s \quad \text{III.33}$$

$$T_i = 11,80$$

$$T_d = 0,125 \cdot \text{Tau} = 0,125 \cdot 23,60 = 2,95s \quad \text{III.34}$$

$$T_d = 2,95s$$

### 3.4 Résultats de simulation

Pour évaluer les performances du correcteur PID, on considère les deux tests de poursuite et de régulation. Les tests effectués sont réalisés sous Simulink. Le schéma de simulation est donné par la figure 3.3. Le bloc g représente le modèle non réduit du four (modèle d'ordre 5).

La figure 3.4 représente la réponse indicielle de notre système sans perturbation

La figure 3.5 donne les résultats obtenus dans le cas d'un changement de consigne d'un échelon unité effectué à l'instant  $t=0s$  suivi d'une perturbation qui affecte le système à l'instant  $t = 400s$ . D'après les résultats obtenus, on constate que le correcteur PID assure des bonnes performances.



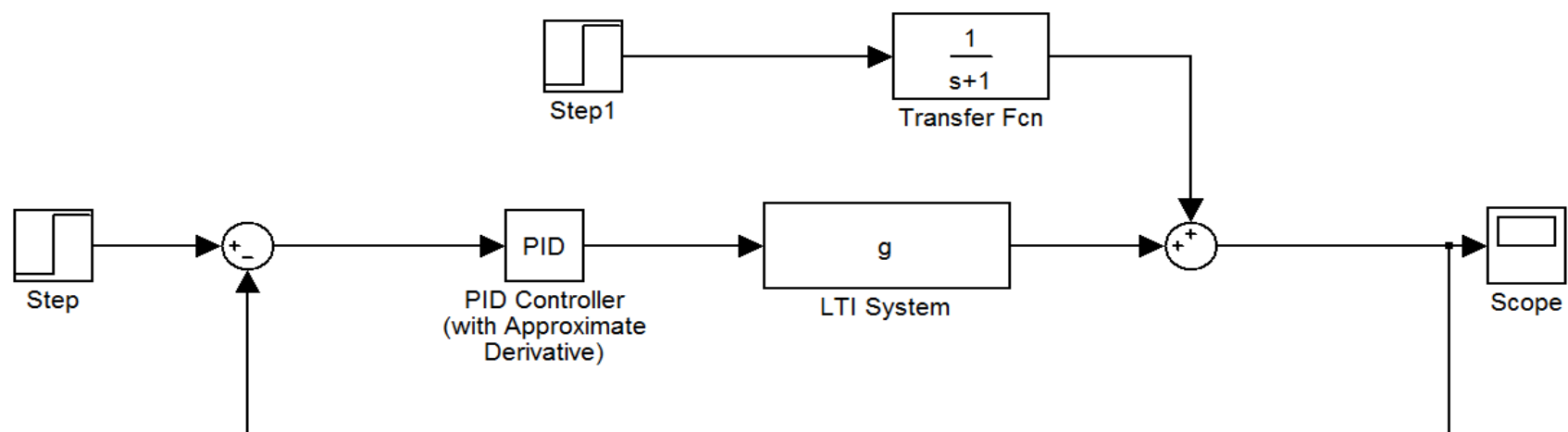


Fig3.3. Schéma de simulation des tests de poursuite et de régulation

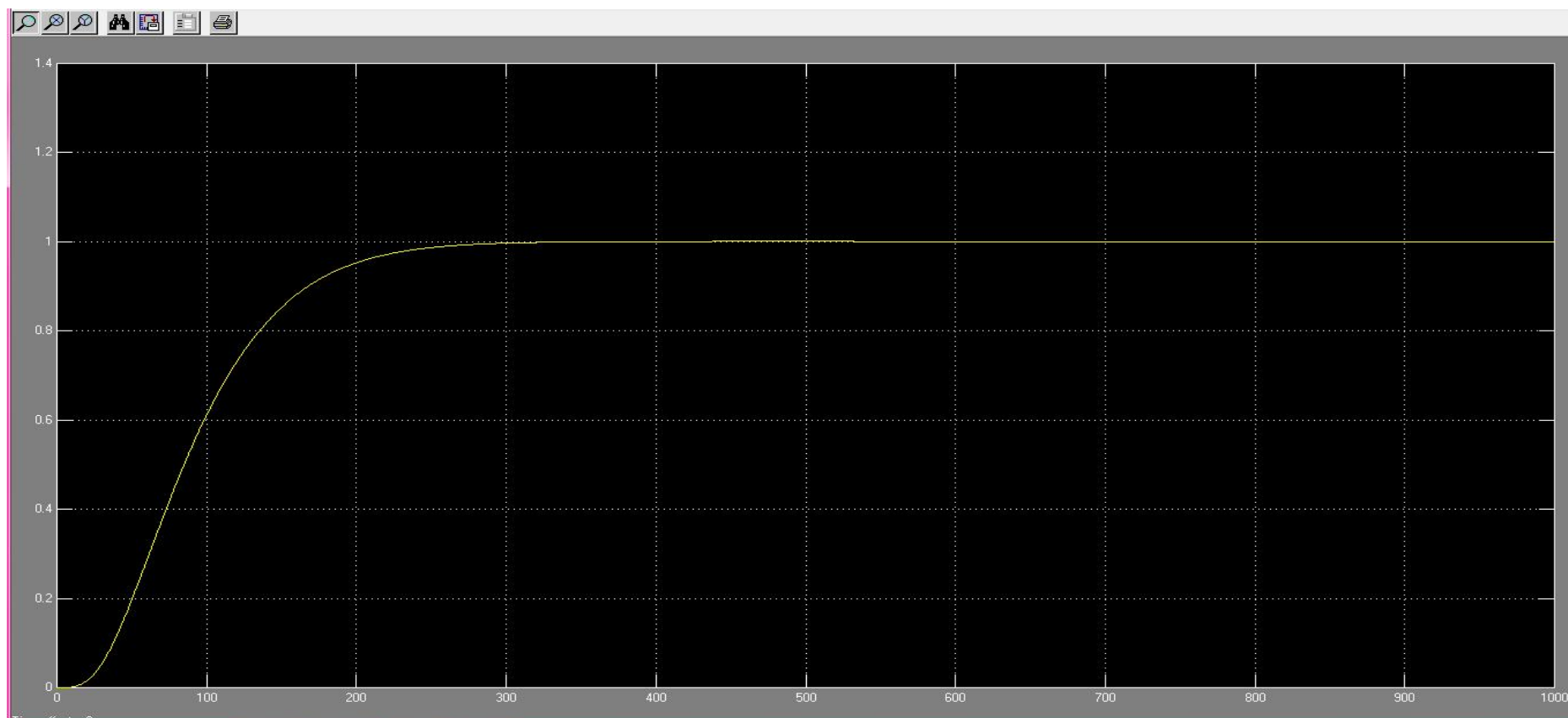
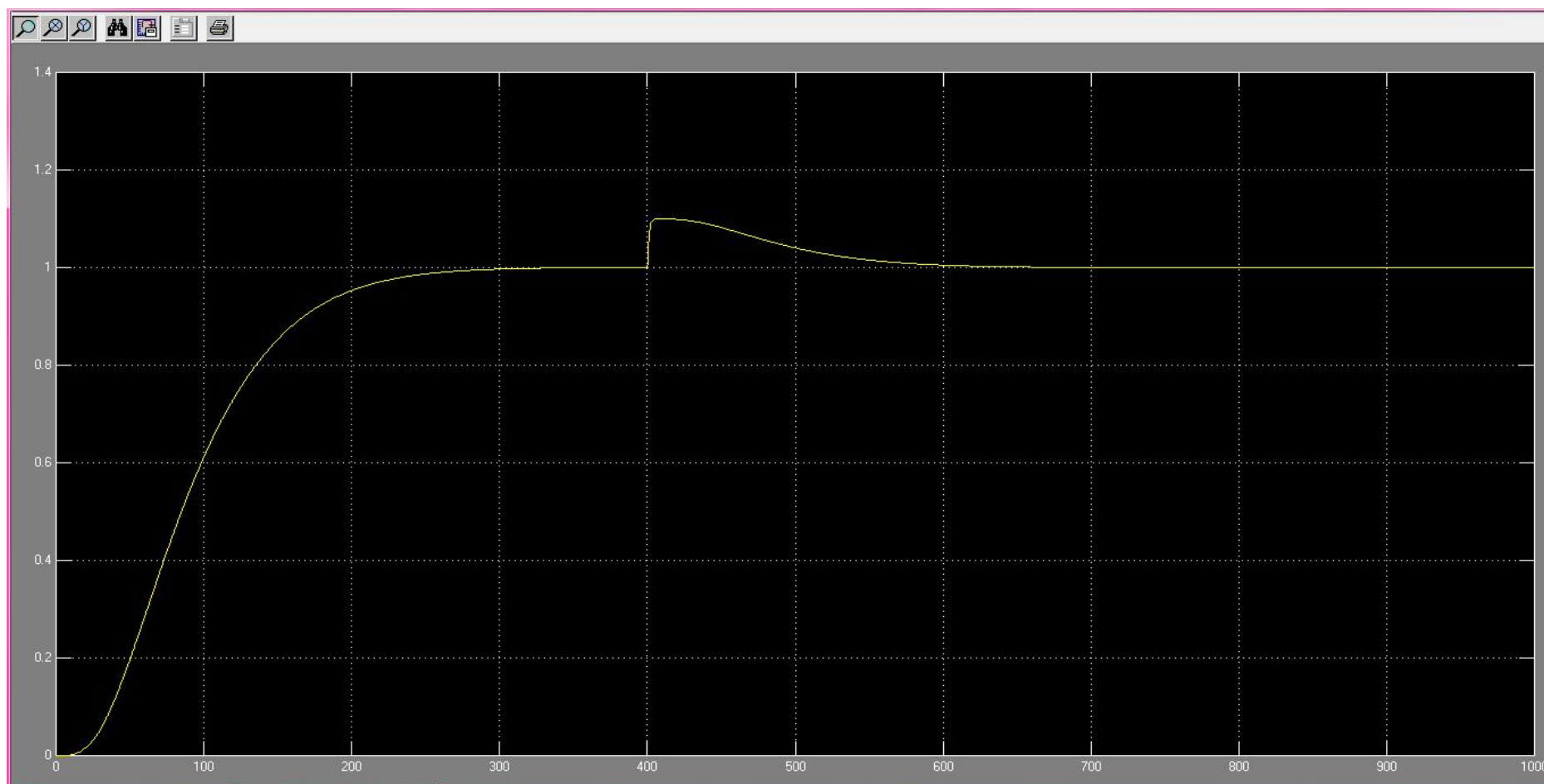


Fig.3.4 La réponse indicielle du système sans perturbation



**Fig3.5. La réponse indicielle du système avec perturbation à l'instant  $t=400s$**

## **4 Conclusion**

Dans ce chapitre, on a synthétisé un correcteur PID en utilisant la méthode de Ziegler-Nichols pour la régulation de la température du four. Pour la synthèse, un modèle réduit, obtenu par la méthode des moments, a été considéré. Les performances du correcteur ont été évaluées par simulation en réalisant le test de poursuite et de régulation (rejet de perturbation).

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

- Le travail réalisé dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la commande du four industriel. L'objectif consiste à concevoir un régulateur en utilisant la méthode de Ziegler-Nichols pour le four H331 du module commun des module M1etM0 de la station de traitement de gaz à Hassi R'Mel.
- Ainsi après avoir présenté le complexe, on a procédé à l'identification du four par la méthode de Strejc .Puis pour le calcul des paramètres du correcteur on a opté pour la méthode de Ziegler-Nichols. On a réduit le modèle identifié par la méthode des moments. Par la suite, pour prendre en considération les incertitudes du modèle (écart modèle réel-modèle réduit) un ajustement des paramètres a été opéré.
- Les tests de simulation réalisés ont montrés l'efficacité de la méthode de Ziegler-Nichols.

## ANNEXE

```
D = [8.40 1];
```

```
For I=1:4
```

```
    D = conv (D, [8.40 1]);
```

```
End
```

```
g = tf (200, D, 'td', 0.36)
```

```
dt = 0.001;
```

```
[h, t] = impulse (g, [0:dt:150]);
```

```
K = dt*trapz(h)
```

```
Tm = dt*trapz (t.*h)/K
```

```
T = sqrt(dt*trapz(t.^2.*h)/K-tm^2)
```

```
Tau = tm-T
```

```
Gr = tf (K, [T 1], 'td', tau);
```

Figure (1)

```
Step (g, 'r', gr, 'b')
```

```
Legend ('Modèle réel', 'Modèle réduit')
```

```
Xlabel ('Temps')
```

```
Ylabel ('Sortie')
```

```
grid
```

```
Syms w_cr
```

$$w_{cr} = \text{solve} ('-\text{atan} (199.98*w_{cr})-23.6*w_{cr} + 22/7 = 0')$$

$$k_{cr} = \text{sqrt} (1+ (T*w_{cr}) ^2)/K$$

Transfer function:

$$\text{Exp} (-0.36*s) * \frac{200}{4.182e004 s^5 + 2.489e004 s^4 + 5927 s^3 + 705.6 s^2 + 42 s + 1}$$

K =

199.9805

Tm =

42.3485

T =

18.7474

Tau =

23.6011

W\_cr =

.69649696652219543542716433417166e-1

K\_cr =

.82242101155422890748287680548710e-2

# *Bibliographie*

(1): Patrick Prouvost <Control et Régulation> Edition Nathan-9, rue ? ?  
Méchain, 75014 PARIS -1997 ; ISBN : 2.09.177487.1

(2) : Pierre Bourne <Modélisation et identification des processus ? ? ? ?  
(tome 1)> Edition Technip 27 rue GENOUX 7537 PARIS, ?  
CEDEX 15, 1992.

(3) : Documentation interne Sonatrach. (Hassi R M I). ?