

**-REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**



**FACULTE DE TECHNOLOGIE**  
**DEPARTEMENT INGENIERIE DES SYSTEMES ELECTRIQUES**

## **MEMOIRE DE MASTER**

**Filière : Electronique**

**Spécialité : Electronique des systèmes embarqués**

### **THEME**

---

**Optimisation d'un contrôleur de process HPM**

---

**Réalisé par :**

- **DOUDAH Ramzi**
- **GUECHTOULI Faycel**

**Encadré par :**

**M'GANA M.**

**Année Universitaire 2023/2024**

# *Remerciement*

*Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu, le clément et le Miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de réaliser ce modeste travail.*

*Et nous remercions nos familles pour les sacrifices qu'elles ont faits pour que nous puissions terminer nos études et bien sur tous nos amis et nos collègues de notre promotion*

*Nous exprimons notre profonde reconnaissance à notre encadreur Monsieur. GANA MASSINE, pour ces conseils et orientations bénéfiques et indispensables.*

*Nous remercions chaleureusement tous les enseignants d'Électronique Merci à tous les gens qui ont de diverses façons, de près ou de loin contribué à l'élaboration de cet ouvrage, à tous ceux que nous avons côtoyé et que hélas, nous n'avons pas pu citer*

# ***TABLE DE MATIERE***

Remerciement .....	I
LISTE DES FIGURES .....	VI
LISTE D'ABREVIATION .....	VIII
Résumé .....	IX
Abstract.....	X
INTRODUCTION GENERALE .....	XI
CHAPITRE 1 : L'évolution des systèmes de contrôle .....	3
1.1. Introduction.....	3
1.2. Origines des Systèmes de Contrôle .....	3
1.2.1. Début de l'Automatisation .....	3
1.2.2. Premières Formes de Régulation.....	4
1.2.3. Innovations antiques et médiévales .....	4
1.2.4. Apports de la Renaissance et de l'Ère Industrielle .....	5
1.3. L'Avènement de l'Automatisation Moderne .....	5
1.3.1. Avancées en Informatique et en Électronique .....	6
1.3.2. Systèmes de Contrôle Numériques .....	6
1.4. Applications des Systèmes de Contrôle.....	7
1.4.1. Applications Industrielles .....	7
1.4.2. Applications Domestiques et Personnelles .....	8
1.5. Différents Types de Systèmes de Contrôle.....	8
1.5.1. Systèmes de Contrôle en Boucle Ouverte .....	9
1.5.2. Systèmes de Contrôle en Boucle Fermée .....	9
1.5.3. Systèmes de Contrôle Prédictif.....	10
1.5.4. Systèmes de Contrôle Adaptatif .....	10
1.5.5. Systèmes de Contrôle Distribué.....	11
1.6. Conclusion .....	11
CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle .....	12
2.1. Introduction.....	12
2.2. Systèmes de contrôle en boucle ouverte .....	12
2.2.1. Fonctionnement et schéma bloc.....	12
2.2.2. Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle ouverte .....	12
2.2.3. Exemples .....	13
2.2.3.1. Exemple de système de contrôle en boucle ouverte : Grille-pain.....	13
2.2.3.2. Exemple de système de contrôle en boucle ouverte : Système d'arrosage automatique.....	13

2.2.3.3.	Exemple de système de contrôle en boucle ouverte : Chauffage domestique .....	13
2.2.4.	Avantages et inconvénients.....	14
2.3.	Systèmes de contrôle en boucle fermée .....	14
2.3.1.	Fonctionnement et schéma bloc.....	14
2.3.3.	Exemples .....	15
2.3.3.1.	Exemple de système de contrôle en boucle fermée : Thermostat.....	15
2.3.3.2.	Exemple de système de contrôle en boucle fermée : Servo-moteur .....	16
2.3.3.3.	Exemple de système de contrôle en boucle fermée : Régulateur de vitesse de croisière .....	16
2.3.4.	Avantages et inconvénients.....	17
2.4.	Systèmes de contrôle PID .....	17
2.4.1.	Fonctionnement .....	17
2.4.2.	Schéma bloc d'un système de contrôle PID.....	18
2.4.3.	Diagramme temporel d'un système de contrôle PID .....	18
2.4.4.	Exemples .....	19
2.4.4.1.	Exemple de système de contrôle PID : Contrôle de la température d'un four ...	19
2.4.4.2.	Exemple de système de contrôle PID : Contrôle de la vitesse d'un moteur .....	20
2.4.4.3.	Exemple de système de contrôle PID : Asservissement d'un robot .....	20
2.4.5.	Avantages et inconvénients.....	21
2.5.	Systèmes de contrôle par état.....	21
2.5.1.	Fonctionnement .....	21
2.5.2.	Schéma bloc d'un système de contrôle par état .....	22
2.5.3.	Diagramme temporel d'un système de contrôle par état .....	22
2.5.4.	Exemples .....	23
2.5.4.1.	Exemple de système de contrôle par état : Contrôle de vol d'un avion .....	23
2.5.4.2.	Exemple de système de contrôle par état : Contrôle de processus industriel .....	23
2.5.4.3.	Exemple de système de contrôle par état : Robotique avancée.....	24
2.5.5.	Avantages et inconvénients.....	24
2.6.	Systèmes de contrôle adaptatif.....	24
2.6.1.	Fonctionnement .....	25
2.6.2.	Diagramme temporel d'un système de contrôle adaptatif .....	25
2.6.3.	Exemples .....	26
2.6.3.1.	Exemple de système de contrôle adaptatif : Contrôle de vitesse d'un moteur ...	26
2.6.3.2.	Exemple de système de contrôle adaptatif : Annulation de bruit active.....	26
2.6.3.3.	Exemple de système de contrôle adaptatif : Contrôle de l'altitude d'un avion ..	27
2.6.4.	Avantages et inconvénients.....	28
2.7.	Système de contrôle prédictif.....	28
2.7.1.	Fonctionnement .....	28
2.7.2.	Diagramme temporel d'un système de contrôle prédictif .....	28

2.7.3.	Exemples .....	29
2.7.3.1.	Exemple de système de contrôle prédictif : Chauffage d'un bâtiment .....	29
2.7.3.2.	Exemple de système de contrôle prédictif : Contrôle de processus industriel.....	30
2.7.3.3.	Exemple de système de contrôle prédictif : Robotique .....	30
2.7.4.	Avantages et inconvénients.....	31
2.8.	Systèmes de contrôle distribué.....	31
2.8.1.	Fonctionnement .....	31
2.8.2.	Diagramme temporel d'un système de contrôle distribué .....	32
2.8.3.	Exemples .....	32
2.8.3.1.	Exemple de système de contrôle distribué : Réseau électrique .....	32
2.8.3.2.	Exemple de système de contrôle distribué : Système de transport aérien .....	33
2.8.3.3.	Exemple de système de contrôle distribué : Robotique modulaire .....	33
2.8.4.	Avantages et inconvénients.....	34
2.9.	Conclusion .....	34
<b>CHAPITRE 3 : Etude de cas : HPM à BRN .....</b>		<b>35</b>
3.1.	Introduction.....	35
3.2.	Présentation Groupement SONATRACH-ENI « GSE » .....	35
3.2.1.	Historique .....	35
3.2.2.	Organisation du Groupement .....	37
3.2.3.	Domaine d'activité .....	38
3.2.3.1.	Train 1 « BRN » .....	38
3.2.3.2.	Train 2 « BRN » .....	40
3.2.3.3.	Train 3 « ROD ».....	41
3.2.4.	Sous-station électrique .....	45
3.3.	Description d'un système DCS.....	46
3.3.1.	Historique .....	46
3.3.2.	Définition d'un système DCS.....	47
3.3.3.	Description matérielle (HARDWARE) .....	47
3.3.4.	Description logicielle (SOFTWARE) .....	48
3.3.4.1.	Système d'exploitation .....	48
3.3.4.2.	Les logiciels et langage de programmation utilisés .....	48
3.4.	HPM à BRN.....	48
3.4.1.	Définition.....	48
3.4.2.	HPM Module .....	50
3.4.2.1.	HPMM éléments.....	50
3.4.2.2.	Processeur de communication .....	50
3.4.2.3.	Processeur de contrôle .....	50
3.4.2.4.	Processeur d'interface de liaison E/S.....	50
3.4.3.	Le sous-système d'E/S.....	50

3.4.3.1.	Eléments du sous-système d'E/S.....	50
3.4.3.2.	Numération d'E/S sur le terrain.....	50
3.4.3.3.	Le traitement des E/S.....	51
3.4.3.4.	Types d'E/S.....	51
3.4.3.5.	Les plaques bornier (FTA : Field Termination Assemblies).....	52
3.4.4.	Théorie du fonctionnement du traitement de contrôle.....	53
3.4.4.1.	Fonctions de contrôle.....	53
3.4.5.	Avantages de HPM à BRN.....	54
3.4.5.1.	Amélioration de la production de pétrole.....	54
3.4.5.2.	Réduction des coûts d'exploitation.....	54
3.4.5.3.	Amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement.....	55
3.4.5.4.	Amélioration de la prise de décision et de la gestion du champ.....	55
3.4.5.5.	Renforcement de la collaboration et de la communication.....	55
3.4.6.	Inconvénients du HPM existant à BRN.....	56
3.4.7.	Analyse des performances.....	56
3.4.7.1.	Identification des Sources de Données.....	56
3.4.7.2.	Configuration des Points de Données.....	57
3.4.7.3.	Vérification de la Qualité des Données.....	58
3.4.7.4.	Traitement et Stockage.....	58
3.4.7.5.	Sécurité et Surveillance.....	58
3.4.7.6.	Données collectées.....	59
3.4.7.7.	Indicateurs de performances clés.....	59
3.4.8.	Evaluation des performances.....	59
3.5.	Proposition de mise à jour vers le contrôleur C300.....	59
3.5.1.	Définition.....	59
3.5.2.	Architecture et performances.....	60
3.5.3.	Flexibilité et évolutivité.....	61
3.5.4.	Fiabilité et sécurité.....	62
3.5.5.	Fonctionnalités d'analyse avancées.....	62
3.5.6.	Migration de HPM à C300.....	63
3.5.6.1.	Raison de la Mise à jour.....	63
3.5.6.2.	Avantages Attendus.....	63
3.5.7.	Avantages de la mise à jour vers le contrôleur C300 pour BRN.....	65
3.5.8.	Plan de mise en œuvre.....	66
3.6.	Conclusion.....	66
	CONCLUSION GENERALE.....	67
	BIBLIOGRAPHIE.....	68

# ***LISTE DES FIGURES***

<b>N°</b>	<b>Nom de la figure</b>	<b>Page</b>
1.1	Le plus ancien système d'irrigation romain	03
1.2	Machine à vapeur	04
1.3	Contrôleurs programmables logiques (PLC)	05
1.4	Systèmes de supervision et d'acquisition de données (SCADA)	06
1.5	Chaîne de production automatisée avec un système de contrôle	07
1.6	Système de sécurité domotique	08
1.7	Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle ouverte	09
1.8	Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle fermée	09
1.9	Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle prédictif	10
1.10	Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle adaptatif	10
1.11	Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle distribué	11
2.1.	Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle ouverte	12
2.2.	Système de contrôle en boucle ouverte (Grille-pain)	13
2.3.	Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle fermée	15
2.4.	Système de contrôle en boucle fermée (Servo-moteur)	16
2.5.	Schéma bloc d'un système de contrôle PID	18
2.6.	Diagramme temporel d'un système de contrôle PID	18
2.7.	Système de contrôle PID (Contrôle de la température d'un four)	19
2.8.	Système de contrôle PID (Contrôle de la vitesse d'un moteur)	20
2.9.	Système de contrôle PID (Asservissement d'un robot)	20
2.10.	Schéma bloc d'un système de contrôle par état	22
2.11.	Diagramme temporel d'un système de contrôle par état	22
2.12.	Système de contrôle par état (Contrôle de vol d'un avion)	23
2.13.	Système de contrôle par état (Contrôle de processus industriel)	23
2.14.	Diagramme temporel d'un système de contrôle adaptatif	25
2.15.	Système de contrôle adaptatif (Contrôle de vitesse d'un moteur)	26
2.16.	Système de contrôle adaptatif (Annulation de bruit active)	26
2.17.	Système de contrôle adaptatif (Contrôle de l'altitude d'un avion)	27
2.18.	Diagramme temporel d'un système de contrôle prédictif	28
2.19.	Système de contrôle prédictif (Chauffage d'un bâtiment)	29
2.20.	Système de contrôle prédictif (Contrôle de processus industriel)	30
2.21.	Système de contrôle prédictif (Robotique)	30
2.22.	Diagramme temporel d'un système de contrôle distribué	32
2.23.	Système de contrôle distribué (Réseau électrique)	32
2.24.	Système de contrôle distribué (Robotique modulaire)	33
3.1.	Champ BRN (vue du ciel)	36
3.2.	Situation géographique du champ BRN	37
3.3.	Situation géographique du champ BRN	37
3.4.	Organigramme du Groupement Sonatrach-Eni (BRN)	38
3.5.	Schéma décrivant le processus de traitement de l'huile	41
3.6.	Schéma synoptique du train I et II	42
3.7.	Schéma synoptique du train 3	46
3.8.	Architecture DCS en 1970	47
3.9.	Configuration de base de système DCS	49

## LISTE DES FIGURES

---

3.10.	HPM (High-Performance Process Manager)	49
3.11.	Managers processus	52
3.12.	Contrôleur C300	60
3.13.	Fonctionnalités de la carte IOTA du contrôleur C300	61

# ***LISTE D'ABREVIATION***

<b>DCS :</b>	<b>D</b> istributed <b>C</b> ontrol <b>S</b> ystem
<b>ATC :</b>	<b>A</b> ir <b>T</b> raffic <b>C</b> ontrol
<b>SCADA :</b>	<b>S</b> upervisory <b>C</b> ontrol <b>A</b> nd <b>D</b> ata <b>A</b> cquisition
<b>PM :</b>	<b>P</b> rocess <b>M</b> anager
<b>HPM :</b>	<b>H</b> igh-performance <b>P</b> rocess <b>M</b> anager
<b>HPMM :</b>	<b>H</b> igh-performance <b>P</b> rocess <b>M</b> anager <b>M</b> odule
<b>APM :</b>	<b>A</b> dvanced <b>P</b> rocess <b>M</b> anager
<b>BRN :</b>	<b>B</b> ir <b>R</b> ebaa <b>N</b> ord
<b>BRSW :</b>	<b>B</b> ir <b>R</b> ebaa <b>S</b> ud- <b>W</b> est
<b>GSE :</b>	<b>G</b> roupement <b>S</b> onatrach <b>E</b> ni
<b>ENI :</b>	<b>E</b> nte <b>N</b> azionale <b>I</b> drocarburo
<b>ROD :</b>	<b>R</b> houd <b>O</b> uled <b>D</b> jema
<b>ROM :</b>	<b>R</b> houd <b>O</b> uled <b>M</b> essaoud
<b>DEPT :</b>	<b>D</b> épartement
<b>ITC :</b>	<b>I</b> nformatique et <b>T</b> élécommunications
<b>HSE :</b>	<b>H</b> ygène et <b>S</b> écurité <b>E</b> nvironnement
<b>CTH :</b>	<b>C</b> entre de <b>T</b> raitement des <b>H</b> uiles
<b>GisSat :</b>	<b>G</b> isements <b>S</b> atellites
<b>E/S :</b>	<b>E</b> ntées/ <b>S</b> orties
<b>FTA :</b>	<b>F</b> ield <b>T</b> ermination <b>A</b> ssemblies
<b>IOP :</b>	<b>I</b> nput <b>O</b> utput <b>P</b> rocessor
<b>SQL :</b>	<b>S</b> tructured <b>Q</b> uery <b>L</b> anguage

# *Résumé*

Ce mémoire présente une étude approfondie sur l'optimisation d'un gestionnaire de processus à haute performance (**HPM** : **H**igh-**P**erformance **P**rocess **M**anager). Notre recherche vise à améliorer l'efficacité opérationnelle et la fiabilité de ce système essentiel dans divers environnements industriels. En utilisant des méthodes avancées d'analyse et d'optimisation, nous avons examiné les paramètres clés et les algorithmes de contrôle pour maximiser les performances du **HPM**. Les résultats obtenus mettent en lumière des stratégies efficaces pour optimiser les processus, réduire les temps d'arrêt et augmenter la productivité. Cette étude contribue ainsi à l'évolution des technologies de gestion des processus en proposant des solutions innovantes pour les environnements industriels à haute performance.

# *Abstract*

This thesis presents a comprehensive study on the optimization of a **High-Performance Process Manager (HPM)**. Our research aims to enhance the operational efficiency and reliability of this essential system in various industrial environments. Utilizing advanced methods of analysis and optimization, we examined key parameters and control algorithms to maximize the performance of the **HPM**. The results obtained highlight effective strategies for process optimization, downtime reduction, and productivity enhancement. This study thus contributes to the advancement of process management technologies by offering innovative solutions for high-performance industrial environments.

# **INTRODUCTION GENERALE**

Dans le domaine complexe de l'ingénierie des procédés, les systèmes de contrôle jouent un rôle crucial dans la supervision et l'optimisation des processus industriels. Ces systèmes, qui régulent une gamme variée d'opérations allant de la production chimique à la fabrication automobile, sont le cœur battant des installations industrielles modernes. Cependant, avec l'évolution rapide de la technologie et les exigences croissantes en matière de performances, il devient impératif d'optimiser ces systèmes pour rester compétitif sur le marché mondial. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet de mémoire, axé sur l'optimisation d'un contrôleur de processus HPM (High Performance Process Manager) et son remplacement par le contrôleur C300, une mise à jour destinée à garantir des performances supérieures, une efficacité accrue et une adaptation aux défis industriels actuels.

## **Contexte et Problématique**

L'industrie moderne est confrontée à des défis sans précédent, notamment la nécessité de réduire les coûts, d'augmenter la productivité et de répondre aux normes environnementales de plus en plus strictes. Dans ce contexte, les systèmes de contrôle jouent un rôle crucial en assurant la régulation précise des processus, la gestion des ressources et la réduction des pertes. Cependant, les contrôleurs de processus existants peuvent présenter des limitations en termes de flexibilité, de réactivité et de capacité à s'adapter aux nouvelles technologies et aux changements de production. Notre problématique est donc de trouver des solutions pour optimiser ces systèmes de contrôle afin de répondre aux défis actuels de l'industrie tout en garantissant une transition fluide vers les technologies de demain.

## **État de l'Art et Revue de la Littérature**

Une revue exhaustive de la littérature nous permettra d'explorer les dernières avancées et les meilleures pratiques en matière d'optimisation des systèmes de contrôle. Nous examinerons les recherches académiques, les rapports industriels et les études de cas pertinentes pour comprendre les tendances émergentes, les défis rencontrés et les solutions proposées dans ce domaine. Cette revue de la littérature nous fournira un cadre théorique solide pour notre démarche d'optimisation, en nous aidant à identifier les lacunes dans les connaissances existantes et les opportunités d'innovation.

## Principaux Points Abordés

Notre mémoire se structure autour de trois axes majeurs, chacun explorant un aspect spécifique de notre problématique :

- 1. Évolution des Systèmes de Contrôle :** Nous retracerons l'histoire et l'évolution des systèmes de contrôle, depuis les premiers mécanismes de régulation jusqu'aux systèmes de contrôle numériques modernes. En examinant les avancées technologiques, les innovations clés et les défis rencontrés tout au long de cette évolution, nous comprendrons mieux les fondements théoriques et pratiques des systèmes de contrôle.
- 2. Types de Systèmes de Contrôle :** Nous explorerons les différentes catégories de systèmes de contrôle, en analysant leurs fonctionnalités, leurs avantages et leurs limitations. Des systèmes en boucle ouverte et en boucle fermée aux approches plus avancées telles que les systèmes adaptatifs et distribués, nous dresserons un panorama complet des différentes options disponibles pour la régulation des processus industriels.
- 3. Étude de Cas : HPM à BRN :** Nous mènerons une étude de cas approfondie sur le contrôleur de processus **HPM** dans l'usine **BRN**. En analysant le fonctionnement actuel du système, en identifiant les points faibles et les opportunités d'amélioration, nous élaborerons des recommandations spécifiques pour optimiser le contrôleur de processus et le remplacer par le contrôleur C300.

En conclusion, notre mémoire ambitionne de constituer une pierre angulaire dans le vaste édifice de l'optimisation des systèmes de contrôle dans le paysage industriel contemporain. En adoptant une approche rigoureuse et holistique, nous avons plongé dans les méandres de l'évolution historique des systèmes de contrôle, scrutant attentivement les moindres détails des progrès technologiques qui ont façonné leur trajectoire. De plus, en passant en revue les différentes typologies de systèmes de contrôle, des modèles classiques aux avancées les plus récentes, nous avons cherché à éclairer les multiples facettes de cette discipline complexe. Enfin, en menant une étude de cas approfondie et concrète sur le contrôleur de processus **HPM** à **BRN**, nous avons pu confronter théorie et pratique, identifiant ainsi les écarts entre les besoins opérationnels et les capacités actuelles des systèmes de contrôle. C'est dans cette démarche d'exploration minutieuse et d'analyse méticuleuse que réside notre espoir d'apporter des contributions significatives à la résolution des défis ardues auxquels sont confrontées les entreprises industrielles contemporaines, en offrant des perspectives nouvelles et des solutions pratiques pour guider leur voyage vers l'efficacité, la durabilité et la compétitivité dans un monde en constante évolution.

# **CHAPITRE 1 :**

## **L'évolution des**

### **systemes de contrôle**

## 1.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous explorerons l'évolution fascinante des systèmes de contrôle, plongeant dans les profondeurs de l'histoire pour comprendre les origines de ces mécanismes jusqu'à leur utilisation contemporaine dans un large éventail d'industries. Nous aborderons en détail les raisons qui ont motivé l'adoption de ces systèmes par l'humanité, ainsi que les avancées technologiques qui ont permis leur développement et leur sophistication au fil du temps. De plus, nous analyserons minutieusement les différents types de systèmes de contrôle, en examinant leurs caractéristiques uniques et leurs applications spécifiques.

## 1.2. Origines des Systèmes de Contrôle

L'histoire des systèmes de contrôle remonte à l'aube de la civilisation, lorsque les premières sociétés humaines ont développé des mécanismes rudimentaires pour gérer leur environnement et leurs ressources. Dans les sociétés préhistoriques, l'utilisation de leviers, de poulies et d'autres dispositifs simples a permis d'améliorer l'efficacité du travail humain, facilitant des tâches telles que le transport de charges lourdes ou la construction de structures. Ces premières formes de contrôle ont posé les fondements de l'ingénierie et de la technologie, ouvrant la voie à des développements futurs. [1]

### 1.2.1. Débuts de l'Automatisation

L'avènement de l'automatisation a marqué un tournant majeur dans l'histoire des systèmes de contrôle. Avec la révolution industrielle, qui a débuté au XVIIIe siècle, les progrès dans les domaines de la mécanique et de l'ingénierie ont conduit à la création de machines capables d'accomplir des tâches de manière autonome. Les premières usines et lignes de production ont vu le jour, utilisant des systèmes de transmission par courroie et des mécanismes de régulation pour contrôler les machines et les processus industriels. Ces avancées ont entraîné une augmentation spectaculaire de la production et ont jeté les bases de l'économie moderne. [2]



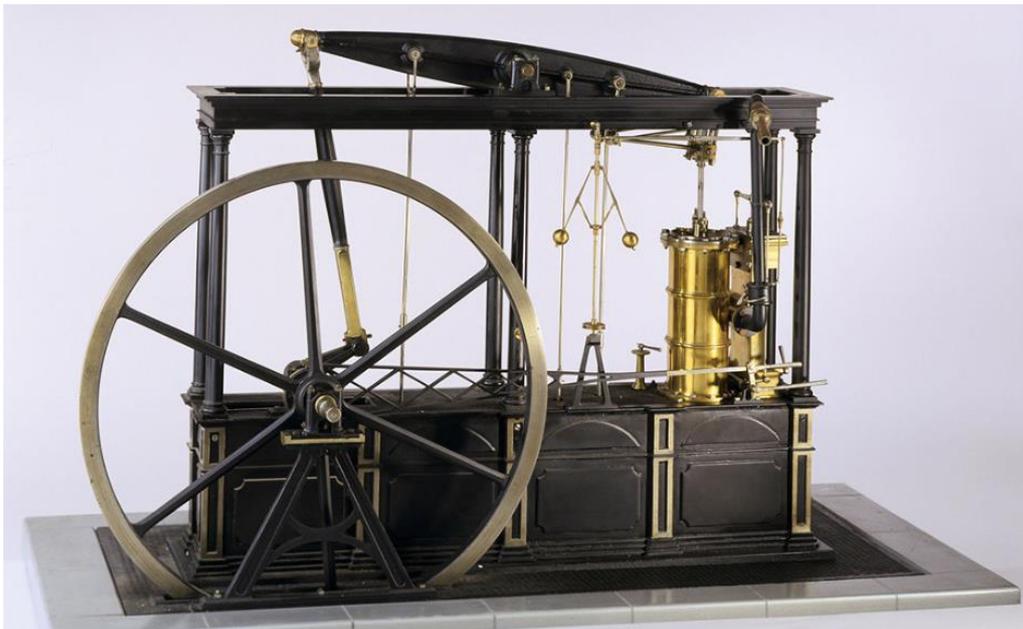
**Figure 1.1** : Le plus ancien système d'irrigation romain

## 1.2.2. Premières Formes de Régulation

En parallèle au développement de l'automatisation industrielle, les sociétés anciennes ont mis au point des méthodes de régulation pour gérer les processus naturels. Des systèmes d'irrigation sophistiqués ont été développés pour maximiser la productivité agricole, tandis que des mécanismes de régulation de la température ont été utilisés pour préserver les aliments et assurer des conditions de vie confortables. Ces avancées témoignent de l'ingéniosité humaine dans l'adaptation de l'environnement à ses besoins. [3]

## 1.2.3. Innovations antiques et médiévales

Les civilisations de l'Antiquité et du Moyen Âge ont également apporté leur contribution au développement des systèmes de contrôle. Les Romains, par exemple, ont construit des aqueducs et des canalisations sophistiqués pour transporter l'eau sur de longues distances, tandis que les moulins à vent et à eau médiévaux utilisaient des mécanismes de contrôle pour optimiser la production de farine et d'autres produits. Ces réalisations témoignent de l'ingéniosité et de la persévérance des ancêtres dans la recherche de solutions innovantes. [4]



**Figure 2.2 :** Machine à vapeur

## 1.2.4. Apports de la Renaissance et de l'Ère Industrielle

La Renaissance a été une période de renouveau intellectuel et technologique, marquée par des avancées significatives dans les sciences et l'ingénierie. Les inventions de génies tels que Léonard de Vinci ont ouvert la voie à de nouvelles perspectives en matière de conception de machines et de dispositifs. L'ère industrielle qui a suivi a vu l'introduction de technologies révolutionnaires telles que la machine à vapeur et l'électricité, permettant une automatisation plus poussée des processus industriels et une augmentation spectaculaire de la productivité.

## 1.3. L'Avènement de l'Automatisation Moderne

Le XXe siècle a été marqué par l'avènement de l'automatisation moderne, avec l'introduction de l'informatique et de l'électronique dans le domaine du contrôle et de la régulation des processus. Les progrès dans ces domaines ont permis le développement de systèmes de contrôle de plus en plus sophistiqués, capables de surveiller, de réguler et de commander une grande variété de processus et de systèmes complexes. L'introduction de capteurs électroniques, de calculateurs programmables et de réseaux de communication a ouvert de nouvelles possibilités dans le domaine de l'automatisation et de la régulation. [5]



**Figure 3.3 :** Contrôleurs programmables logiques (PLC)

### 1.3.1. Avancées en Informatique et en Électronique

Les avancées dans les domaines de l'informatique et de l'électronique ont été déterminantes dans l'évolution des systèmes de contrôle. L'invention du transistor dans les années 1940 a ouvert la voie à la miniaturisation des composants électroniques, permettant ainsi le développement de systèmes de contrôle compacts et efficaces. L'introduction des circuits intégrés et des microcontrôleurs a permis de réaliser des systèmes de contrôle à haute performance, capables de traiter des quantités massives de données en temps réel. Ces avancées ont largement contribué à la prolifération des systèmes de contrôle dans un large éventail d'applications industrielles et commerciales.



Figure 4.4 : Systèmes de supervision et d'acquisition de données (SCADA)

### 1.3.2. Systèmes de Contrôle Numériques

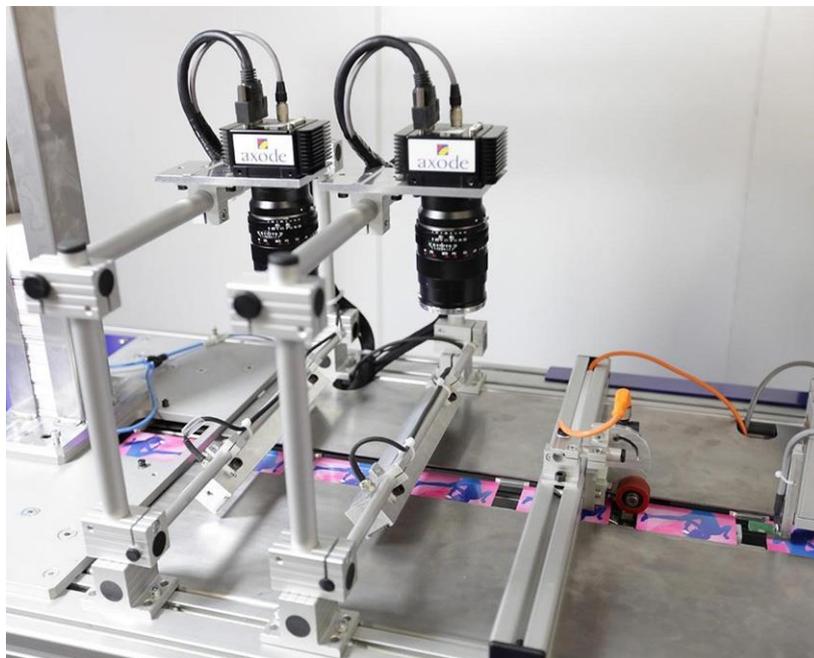
L'un des développements les plus significatifs dans le domaine des systèmes de contrôle a été l'émergence des systèmes de contrôle numériques. Contrairement aux systèmes de contrôle analogiques traditionnels, qui utilisent des circuits électroniques et des composants analogiques pour traiter les signaux, les systèmes de contrôle numériques utilisent des calculateurs et des algorithmes numériques pour effectuer des calculs et générer des commandes de sortie. Cette approche offre plusieurs avantages, notamment une plus grande précision, une plus grande flexibilité et une meilleure intégration avec d'autres systèmes informatiques.

### 1.4. Applications des Systèmes de Contrôle

Les applications des systèmes de contrôle sont vastes et variées, touchant presque tous les aspects de la vie moderne. Dans l'industrie manufacturière, les systèmes de contrôle sont utilisés pour superviser et réguler les processus de production, garantissant ainsi la qualité et la cohérence des produits. Dans le domaine de la santé, les systèmes de contrôle sont utilisés pour surveiller et réguler les fonctions vitales des patients, notamment dans les dispositifs de surveillance cardiaque et respiratoire. Dans les transports, les systèmes de contrôle contribuent à la sécurité et à l'efficacité des véhicules, qu'il s'agisse de systèmes de contrôle de traction dans les automobiles ou de systèmes de contrôle de vol dans les avions.

#### 1.4.1. Applications Industrielles

Dans l'industrie, les systèmes de contrôle sont utilisés pour superviser et réguler une grande variété de processus, allant de la production de biens de consommation aux procédés chimiques et pétrochimiques complexes. Les systèmes de contrôle permettent d'optimiser les performances des équipements, de garantir la qualité des produits et de minimiser les risques pour la sécurité et l'environnement. Dans le secteur manufacturier, par exemple, les systèmes de contrôle automatisés sont largement utilisés pour surveiller et réguler les lignes de production, assurant ainsi des opérations efficaces et fiables. [6]



**Figure 5.5 :** Chaîne de production automatisée avec un système de contrôle

### 1.4.2. Applications Domestiques et Personnelles

En dehors de l'industrie, les systèmes de contrôle sont également largement utilisés dans les applications domestiques et personnelles. Les systèmes de contrôle domestiques, tels que les thermostats intelligents, les systèmes de sécurité et de surveillance, et les appareils électroménagers programmables, offrent aux utilisateurs un contrôle accru sur leur environnement domestique et leur mode de vie. Les applications personnelles, telles que les dispositifs de suivi de la condition physique et les systèmes d'assistance à la conduite automobile, utilisent également des systèmes de contrôle pour fournir des informations utiles et améliorer la qualité de vie des individus. [7]



Figure 6.6 : Système de sécurité domotique

### 1.5. Différents Types de Systèmes de Contrôle

Il existe une multitude de types de systèmes de contrôle, chacun adapté à des applications spécifiques et des exigences particulières. Parmi les principaux types de systèmes de contrôle, on trouve les systèmes de contrôle en boucle ouverte, les systèmes de contrôle en boucle fermée, les systèmes de contrôle prédictif, les systèmes de contrôle adaptatif, et les systèmes de contrôle distribué. Chacun de ces types de systèmes présente des avantages et des inconvénients, et leur choix dépend souvent des caractéristiques du système à contrôler ainsi que des objectifs spécifiques de l'application.

## 1.5.1. Systèmes de Contrôle en Boucle Ouverte

Les systèmes de contrôle en boucle ouverte sont des systèmes où la sortie n'est pas influencée par la rétroaction. Cela signifie que la commande de sortie est déterminée uniquement par les entrées du système et par les caractéristiques du système lui-même. Les systèmes de contrôle en boucle ouverte sont souvent utilisés dans des applications où la précision n'est pas critique, ou lorsque les variations de la charge ou de l'environnement sont prévisibles.

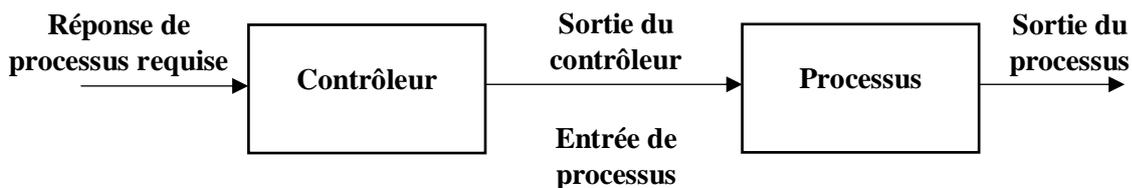


Figure 7.7 : Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle ouverte

## 1.5.2. Systèmes de Contrôle en Boucle Fermée

Les systèmes de contrôle en boucle fermée sont des systèmes où la sortie est influencée par la rétroaction. Cela signifie que la commande de sortie est ajustée en fonction de la rétroaction obtenue du système, ce qui permet de maintenir la sortie à une valeur désirée malgré les perturbations du système ou les variations de la charge. Les systèmes de contrôle en boucle fermée sont souvent utilisés dans des applications où la précision est critique, ou lorsque les variations de la charge ou de l'environnement sont imprévisibles.

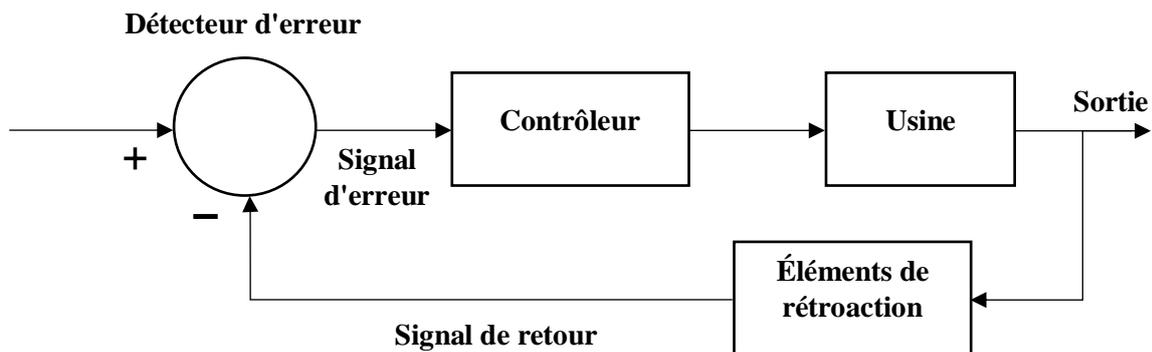


Figure 8.8 : Schéma bloc d'un système de contrôle en boucle fermée

## 1.5.3. Systèmes de Contrôle Prédictif

Les systèmes de contrôle prédictif utilisent des modèles mathématiques du système pour prédire son comportement futur et ajuster la commande en conséquence. Ces systèmes sont particulièrement utiles dans les applications où les réponses du système sont lentes ou retardées, ou lorsque les variations de la charge ou de l'environnement sont difficiles à anticiper.

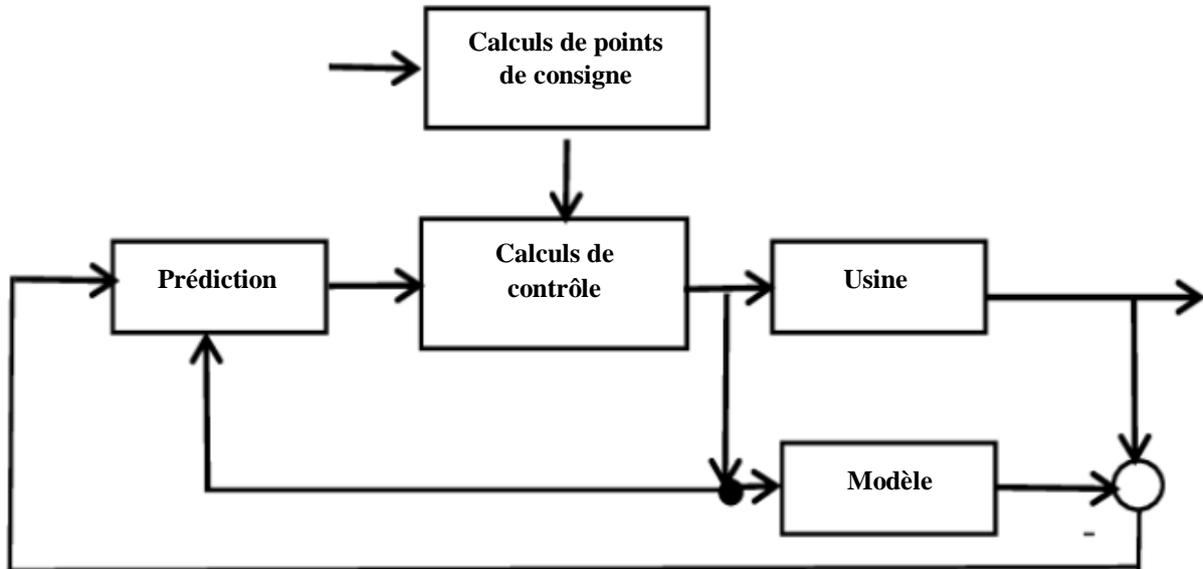


Figure 9.9 : Schéma bloc d'un système de contrôle prédictif

## 1.5.4. Systèmes de Contrôle Adaptatif

Les systèmes de contrôle adaptatif sont capables de s'ajuster automatiquement aux changements dans les caractéristiques du système ou de l'environnement. Ces systèmes utilisent des algorithmes d'apprentissage automatique pour ajuster la commande en fonction des conditions actuelles du système, ce qui permet d'optimiser les performances du système dans des environnements changeants ou imprévisibles.

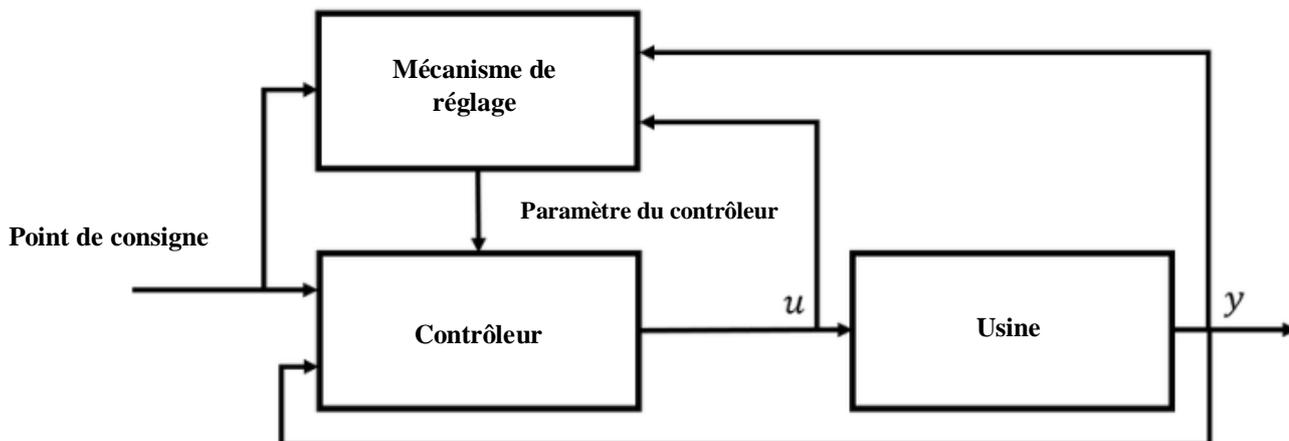


Figure 10.10 : Schéma bloc d'un système de contrôle adaptatif

### 1.5.5. Systèmes de Contrôle Distribué

Les systèmes de contrôle distribué sont des systèmes où les fonctions de contrôle sont réparties sur plusieurs unités ou composants, plutôt que d'être centralisées en un seul endroit. Ces systèmes sont particulièrement utiles dans les applications où la redondance, la fiabilité et la flexibilité sont des priorités, ou lorsque les contraintes de communication et de bande passante limitent la capacité d'un système centralisé à contrôler efficacement un grand nombre de variables.

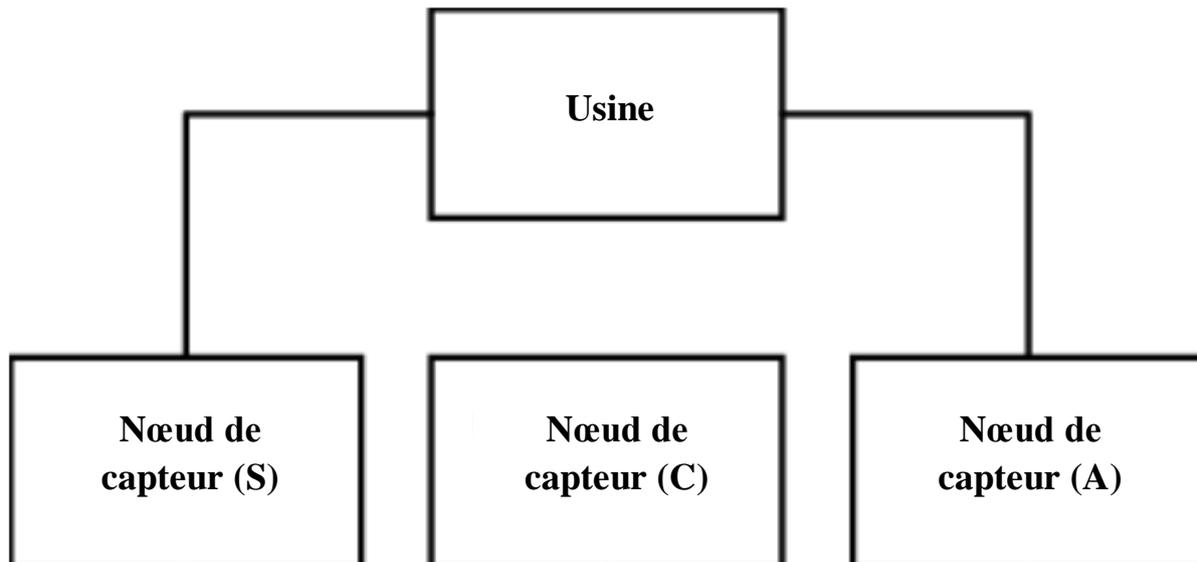


Figure 11.11 : Schéma bloc d'un système de contrôle distribué

## 1.6. Conclusion

L'évolution des systèmes de contrôle est le reflet de l'évolution de la société humaine et de ses besoins en matière d'automatisation, de régulation et de gestion des processus. Des mécanismes simples de contrôle des leviers et des poulies aux systèmes de contrôle numériques et distribués sophistiqués d'aujourd'hui, les systèmes de contrôle ont parcouru un long chemin pour devenir les piliers de notre monde moderne. Ce chapitre a fourni une exploration approfondie de cette évolution, en mettant en lumière les origines, les progrès et les applications des systèmes de contrôle, ainsi que les différents types de systèmes qui façonnent notre quotidien.

Dans le prochain chapitre, nous approfondirons notre analyse en examinant de manière détaillée les différents types de systèmes de contrôle. Nous explorerons en profondeur leurs caractéristiques, leurs avantages et leurs applications spécifiques, afin de mieux comprendre leur rôle essentiel dans une variété de domaines industriels et technologiques.

# **CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle**

### 2.1. Introduction

Les systèmes de contrôle sont omniprésents dans notre monde moderne, intervenant dans une large gamme d'applications, depuis les appareils électroménagers simples jusqu'aux processus industriels complexes. Ces systèmes visent à maintenir une variable contrôlée, comme la température, la vitesse ou la position, à une valeur désirée en réponse à des perturbations ou à des changements de conditions.

Ce chapitre s'enfonce dans le monde des systèmes de contrôle, en explorant les différents types qui existent et leurs caractéristiques distinctives. Nous examinerons les principes fondamentaux de chaque type, ses applications courantes et ses avantages et inconvénients

### 2.2. Systèmes de contrôle en boucle ouverte

Les systèmes de contrôle en boucle ouverte, également connus sous le nom de systèmes à rétroaction non-négative, constituent la forme la plus simple de contrôle. Dans ces systèmes, la commande de contrôle est générée uniquement à partir de l'entrée, sans tenir compte de la sortie réelle.

#### 2.2.1. Fonctionnement et schéma bloc

Un système de contrôle en boucle ouverte se compose de trois éléments principaux : l'entrée, le contrôleur et la sortie. L'entrée représente la valeur ou le signal de référence que le système cherche à atteindre. Le contrôleur reçoit l'entrée et génère un signal de commande en fonction de celle-ci. La sortie est la valeur réelle de la variable contrôlée.

#### 2.2.2. Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle ouverte

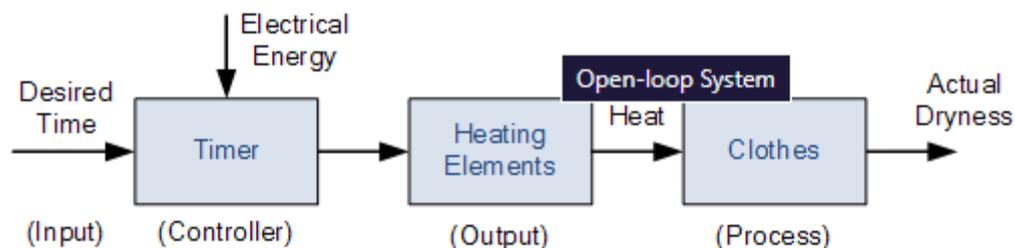


Figure 2.1 : Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle ouverte

Ce diagramme temporel illustre le comportement d'un système de contrôle en boucle ouverte au fil du temps. Il montre l'évolution de l'entrée et de la sortie du système en fonction du temps. L'entrée est généralement une valeur constante ou une séquence prédéfinie. La sortie suit la commande de l'entrée, mais peut être affectée par des perturbations externes. [8]

### 2.2.3. Exemples

#### 2.2.3.1. Exemple de système de contrôle en boucle ouverte : Grille-pain

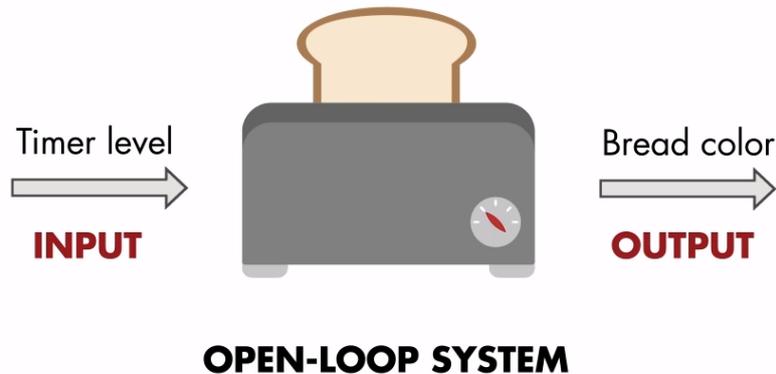


Figure 2.2 : Système de contrôle en boucle ouverte (Grille-pain)

Un grille-pain est un exemple classique d'un système de contrôle en boucle ouverte. L'utilisateur sélectionne le temps de cuisson souhaité sur un bouton rotatif. Ce réglage du temps représente l'entrée du système. Le grille-pain active ensuite l'élément chauffant pendant la durée spécifiée, sans tenir compte du niveau de brunissement du pain. La sortie du système est le pain grillé, dont le niveau de cuisson dépend de la durée de cuisson et des caractéristiques du pain. [9]

#### 2.2.3.2. Exemple de système de contrôle en boucle ouverte : Système d'arrosage automatique

Un système d'arrosage automatique avec un programmeur et des vannes d'arrosage est un autre exemple de système de contrôle en boucle ouverte. Le programmeur définit un calendrier d'arrosage prédéfini, qui est la commande du système. Les vannes d'arrosage s'ouvrent et se ferment selon le calendrier, sans tenir compte de l'humidité du sol ou d'autres conditions. La sortie du système est l'arrosage des plantes, dont la quantité dépend de la durée d'arrosage et des caractéristiques du sol et des plantes.

#### 2.2.3.3. Exemple de système de contrôle en boucle ouverte : Chauffage domestique

Un système de chauffage domestique avec un thermostat et une chaudière peut être considéré comme un système de contrôle en boucle ouverte simple. Le thermostat définit la température souhaitée pour la maison, qui est l'entrée du système. La chaudière s'allume et s'éteint en fonction de la température ambiante mesurée par le thermostat, sans tenir compte de l'efficacité énergétique ou du confort des occupants. La sortie du système est la température de la maison, qui dépend de la performance de la chaudière et des pertes de chaleur de la maison.

Ces exemples illustrent la diversité des applications des systèmes de contrôle en boucle ouverte dans des contextes quotidiens et industriels. Bien que leur simplicité et leur faible coût les rendent attrayants pour certaines applications, il est important de noter que leur manque de rétroaction peut limiter leur précision et leur adaptabilité face à des perturbations ou des changements de conditions.

### **2.2.4. Avantages et inconvénients**

Les systèmes de contrôle en boucle ouverte sont simples à concevoir et à mettre en œuvre, et ils sont généralement peu coûteux. Cependant, ils peuvent être imprécis et sensibles aux perturbations, car ils ne tiennent pas compte de la sortie réelle. De plus, ils ne peuvent pas s'adapter aux changements de conditions ou aux erreurs de système.

## **2.3. Systèmes de contrôle en boucle fermée**

Les systèmes de contrôle en boucle fermée, également connus sous le nom de systèmes à rétroaction négative, apportent une amélioration significative par rapport aux systèmes en boucle ouverte en intégrant une boucle de rétroaction. Cette boucle permet au système de mesurer la sortie réelle et de l'utiliser pour ajuster la commande de contrôle, réduisant ainsi l'erreur entre la valeur de consigne et la valeur mesurée. [10]

### **2.3.1. Fonctionnement et schéma bloc**

Un système de contrôle en boucle fermée ajoute un élément supplémentaire à la structure de base : un capteur de mesure. Ce capteur mesure la sortie réelle du système et envoie cette information au contrôleur. Le contrôleur utilise à la fois l'entrée et la mesure de la sortie pour générer la commande de contrôle.

2.3.2. Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle fermée

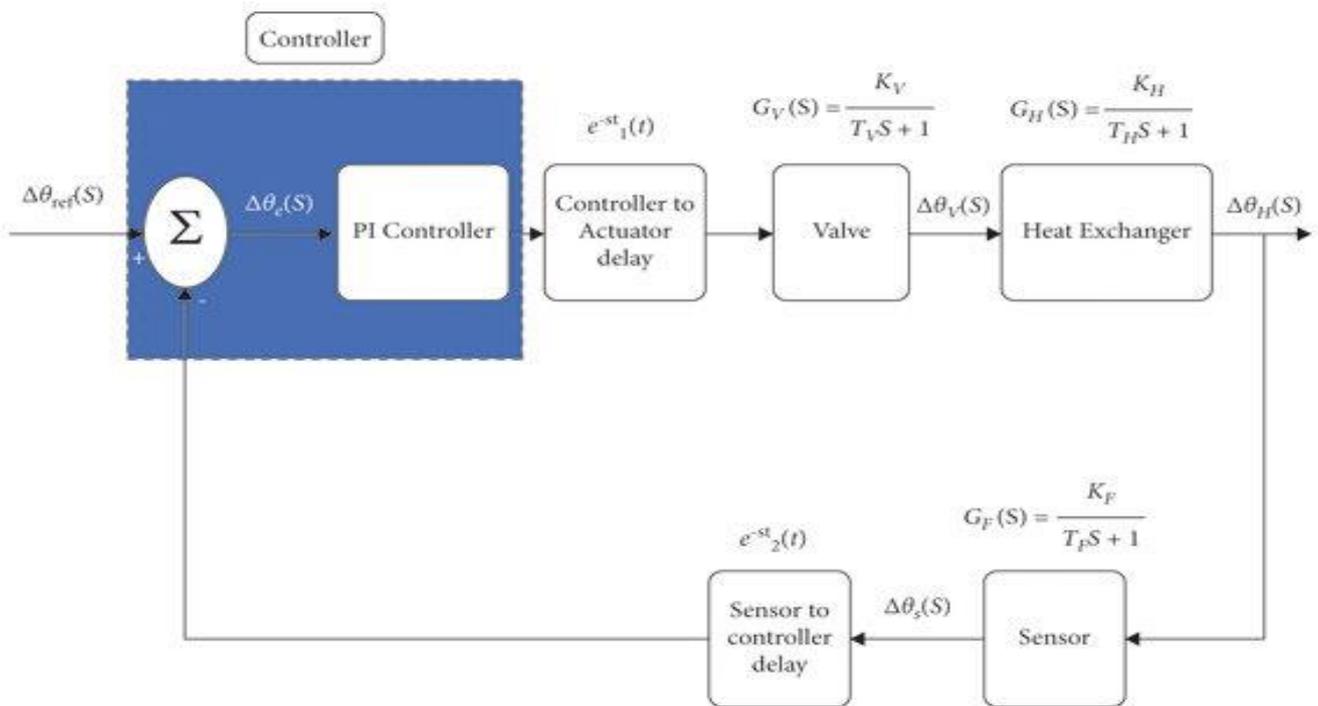


Figure 2.3 : Diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle fermée

Un diagramme temporel d'un système de contrôle en boucle fermée illustre le comportement du système au fil du temps. Il montre l'évolution de l'entrée, de la sortie et de l'erreur (différence entre l'entrée et la sortie) en fonction du temps. La rétroaction permet au système de réduire l'erreur et de se rapprocher de la valeur d'entrée souhaitée. [11]

2.3.3. Exemples

2.3.3.1. Exemple de système de contrôle en boucle fermée : Thermostat

Un thermostat domestique est un exemple courant d'un système de contrôle en boucle fermée. L'utilisateur définit la température souhaitée (entrée). Le thermostat mesure la température ambiante actuelle (sortie) et calcule l'erreur (différence entre la température souhaitée et la température ambiante). Le contrôleur du thermostat utilise cette erreur pour générer un signal de commande qui active ou désactive la chaudière ou le climatiseur afin d'ajuster la température ambiante et de réduire l'erreur.

### 2.3.3.2. Exemple de système de contrôle en boucle fermée : Servo-moteur

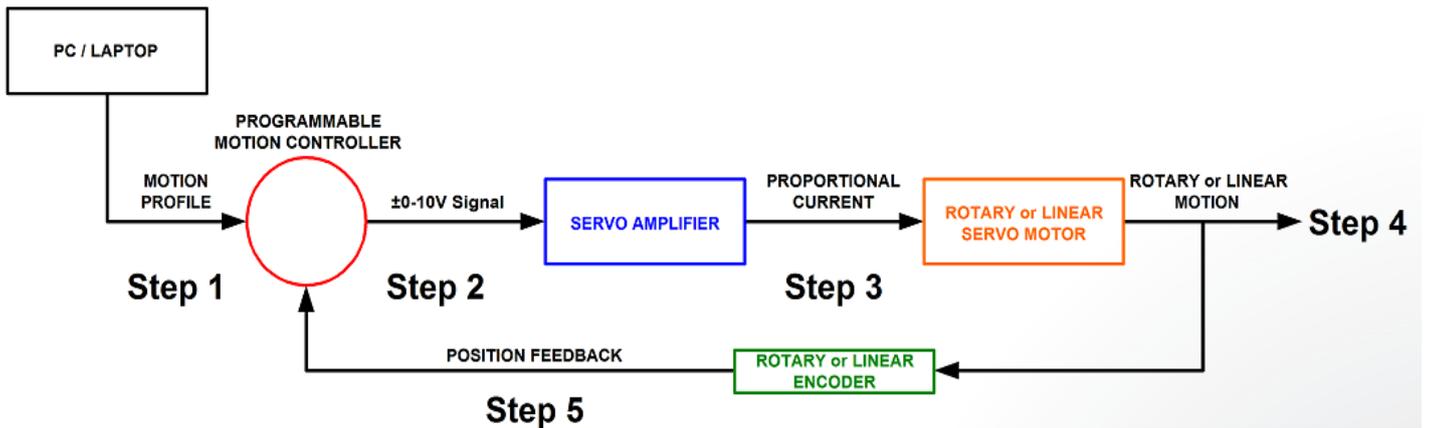


Figure 2.4 : Système de contrôle en boucle fermée (Servo-moteur)

Un servo-moteur est un dispositif couramment utilisé dans la robotique et l'automatisation. Il intègre un moteur, un capteur de position et un contrôleur en boucle fermée. L'utilisateur fournit la position souhaitée du moteur (entrée). Le capteur de position mesure la position réelle du moteur (sortie). Le contrôleur calcule l'erreur (différence entre la position souhaitée et la position réelle) et utilise cette erreur pour générer un signal de commande qui ajuste la vitesse du moteur. Le moteur tourne dans le sens approprié jusqu'à ce que la position souhaitée soit atteinte, minimisant ainsi l'erreur. [12]

### 2.3.3.3. Exemple de système de contrôle en boucle fermée : Régulateur de vitesse de croisière

Un régulateur de vitesse de croisière automobile est un autre exemple notable d'un système de contrôle en boucle fermée. Le conducteur définit la vitesse souhaitée du véhicule (entrée). Un capteur de vitesse mesure la vitesse actuelle du véhicule (sortie). Le contrôleur calcule l'erreur (différence entre la vitesse souhaitée et la vitesse actuelle) et utilise cette erreur pour générer un signal de commande qui ajuste la position de la pédale d'accélérateur. Le système maintient la vitesse du véhicule constante en compensant les changements de pente, de résistance au vent et d'autres facteurs externes.

Ces exemples illustrent la présence des systèmes de contrôle en boucle fermée dans divers domaines, allant du confort domestique aux applications industrielles complexes. La rétroaction et l'ajustement continu permettent à ces systèmes d'atteindre une précision, une stabilité et des performances supérieures par rapport aux systèmes en boucle ouverte.

### 2.3.4. Avantages et inconvénients

Les systèmes de contrôle en boucle fermée offrent une précision et une stabilité supérieures aux systèmes en boucle ouverte, car ils prennent en compte les perturbations et les erreurs de système. Ils peuvent également s'adapter aux changements de conditions et maintenir la performance du système. Cependant, ils sont généralement plus complexes à concevoir et à mettre en œuvre que les systèmes en boucle ouverte.

## 2.4. Systèmes de contrôle PID

Les contrôleurs **PID** (**P**roportional-**I**ntegral-**D**erivative) représentent une catégorie importante de contrôleurs utilisés dans les systèmes de contrôle en boucle fermée. Ils sont appréciés pour leur simplicité, leur efficacité et leur polyvalence.

### 2.4.1. Fonctionnement

Un contrôleur **PID** ajuste la commande de contrôle en fonction de trois termes distincts :

- **Proportionnel (P)** : Le terme proportionnel est directement proportionnel à l'erreur (différence entre la valeur de consigne et la sortie mesurée). Un terme proportionnel plus important entraîne une correction plus rapide de l'erreur.
- **Intégral (I)** : Le terme intégral tient compte de l'accumulation de l'erreur au fil du temps. Il permet d'éliminer les erreurs permanentes (biais) et d'améliorer la précision à l'état stable.
- **Dérivé (D)** : Le terme dérivé tient compte du taux de variation de l'erreur. Il permet d'anticiper les changements futurs de l'erreur et d'accélérer la réponse du système.

En ajustant les gains de chacun de ces termes (proportionnel, intégral et dérivé), on peut personnaliser le comportement du contrôleur PID pour répondre aux exigences spécifiques de l'application.

2.4.2. Schéma bloc d'un système de contrôle PID

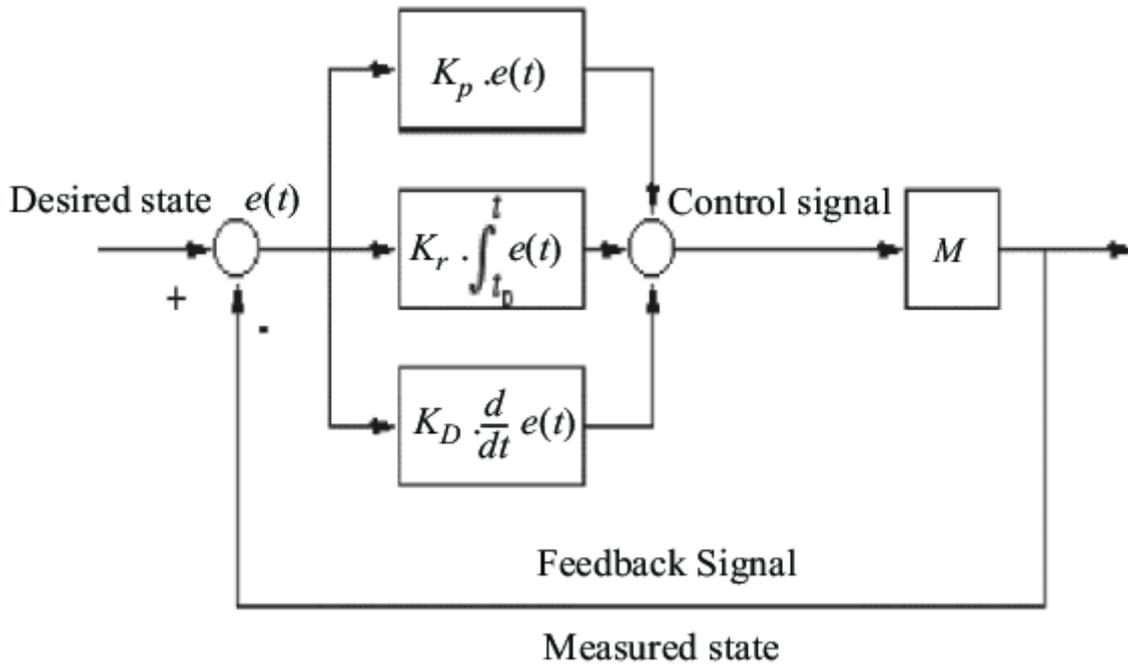


Figure 2.5 : Schéma bloc d'un système de contrôle PID

Un schéma bloc d'un système de contrôle PID illustre les composants clés du système et leurs interactions. Il met en évidence la présence d'un contrôleur PID, qui joue un rôle central dans le calcul de la commande de contrôle en fonction de l'erreur entre la valeur de consigne et la sortie mesurée. [13]

2.4.3. Diagramme temporel d'un système de contrôle PID

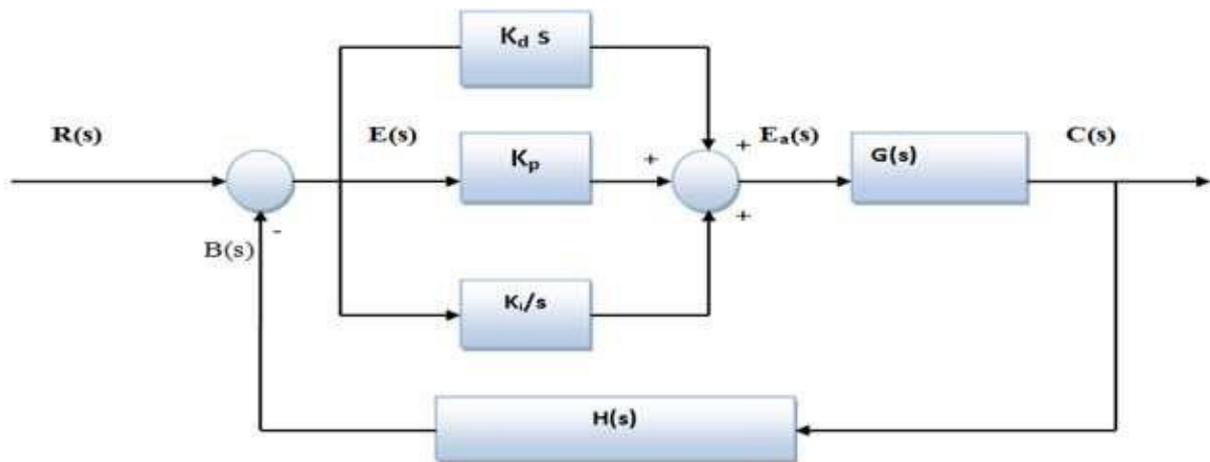


Figure 2.6 : Diagramme temporel d'un système de contrôle PID

## CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle

Un diagramme temporel d'un système de contrôle PID montre l'évolution de l'entrée, de la sortie, de l'erreur et de la commande de contrôle au fil du temps. Il permet d'observer l'effet des termes proportionnel, intégral et dérivé sur le comportement du système et la réduction progressive de l'erreur. [14]

### 2.4.4. Exemples

#### 2.4.4.1. Exemple de système de contrôle PID : Contrôle de la température d'un four

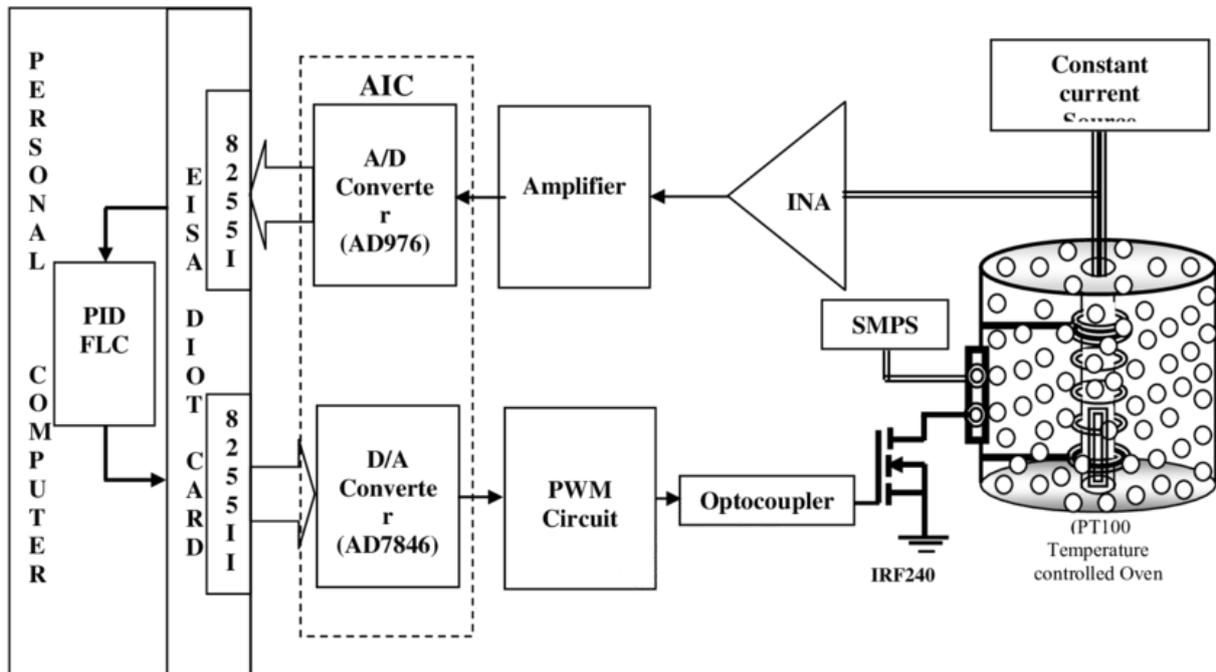


Figure 2.7 : Système de contrôle PID (Contrôle de la température d'un four)

Un four électrique est un exemple classique d'application d'un système de contrôle PID. L'utilisateur définit la température souhaitée (valeur de consigne). Un capteur de température mesure la température réelle du four (sortie). Le contrôleur PID calcule l'erreur (différence entre la température souhaitée et la température mesurée) et ajuste la puissance de l'élément chauffant (commande de contrôle) en fonction des termes proportionnel, intégral et dérivé pour atteindre et maintenir la température souhaitée avec précision. [15]

2.4.4.2. Exemple de système de contrôle PID : Contrôle de la vitesse d'un moteur

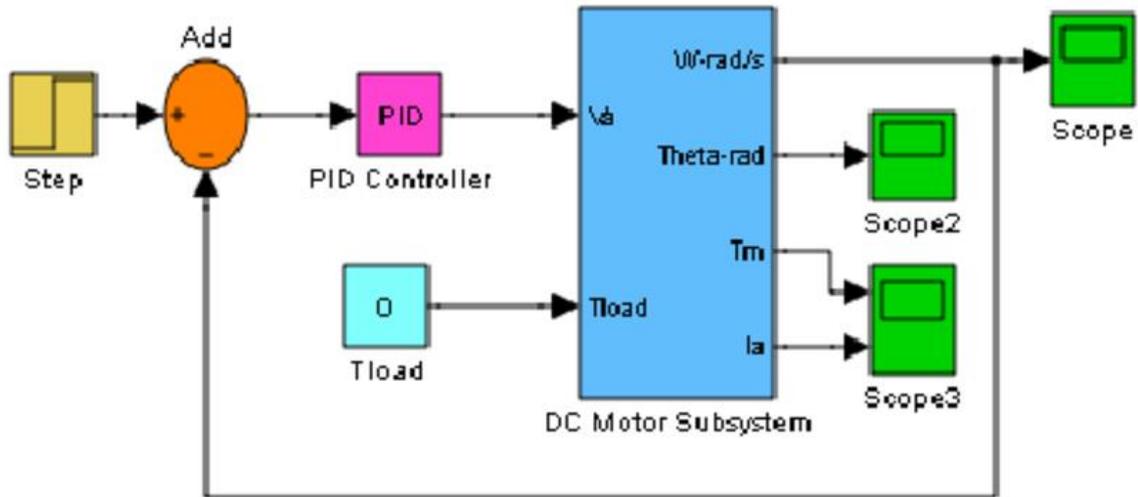


Figure 2.8 : Système de contrôle PID (Contrôle de la vitesse d'un moteur)

Le contrôle de la vitesse d'un moteur électrique est un autre exemple courant d'un système de contrôle PID. Un encodeur rotatif mesure la vitesse réelle du moteur (sortie). Le contrôleur PID compare la vitesse réelle à la vitesse souhaitée (valeur de consigne) et calcule l'erreur. En fonction de l'erreur et des gains PID, le contrôleur ajuste la tension d'alimentation du moteur (commande de contrôle) pour atteindre et maintenir la vitesse souhaitée avec précision. [16]

2.4.4.3. Exemple de système de contrôle PID : Asservissement d'un robot

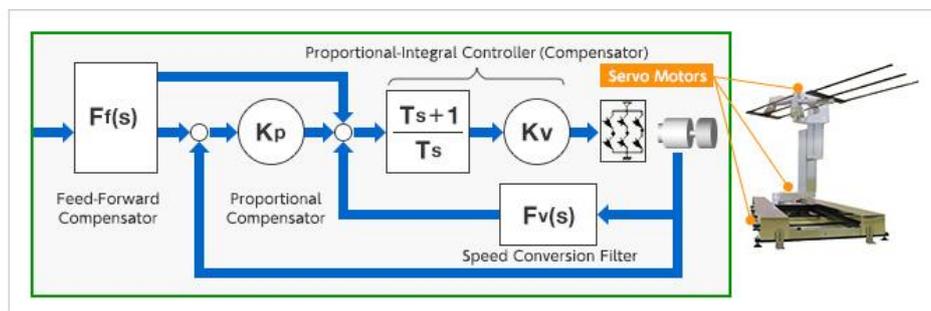


Figure 2.9 : Système de contrôle PID (Asservissement d'un robot)

Dans la robotique, les systèmes de contrôle PID sont essentiels pour asservir les articulations des robots et atteindre des positions précises. Des capteurs de position mesurent la position actuelle de chaque articulation (sortie). Le contrôleur PID calcule l'erreur entre la position souhaitée et la position mesurée pour chaque articulation et ajuste les couples moteurs des articulations (commande de contrôle) en fonction des termes proportionnel, intégral et dérivé pour atteindre et maintenir les positions souhaitées avec précision. [17]

Ces exemples illustrent la polyvalence et l'efficacité des systèmes de contrôle PID dans une large gamme d'applications, allant du contrôle domestique simple aux systèmes industriels complexes. En combinant les actions proportionnelle, intégrale et dérivée, les contrôleurs PID permettent d'obtenir une précision et une stabilité remarquables dans le maintien des variables contrôlées à des valeurs désirées.

### **2.4.5. Avantages et inconvénients**

Les contrôleurs PID sont robustes, faciles à mettre en œuvre et efficaces dans une large gamme d'applications. Cependant, le réglage optimal des gains PID peut nécessiter une certaine expertise et de l'expérience. De plus, les contrôleurs PID peuvent ne pas être aussi performants dans les systèmes dynamiques complexes.

## **2.5. Systèmes de contrôle par état**

Les systèmes de contrôle par état diffèrent des contrôleurs PID en ce qu'ils utilisent non seulement la sortie mesurée, mais également des informations supplémentaires sur l'état interne du système. Ces informations, obtenues à partir de capteurs supplémentaires ou d'estimations d'état, permettent un contrôle plus précis et plus robuste.

### **2.5.1. Fonctionnement**

Les systèmes de contrôle par état utilisent un modèle mathématique du système pour estimer son état interne. Ce modèle est ensuite utilisé pour calculer la commande de contrôle optimale qui minimise l'erreur et garantit la stabilité du système.

2.5.2. Schéma bloc d'un système de contrôle par état

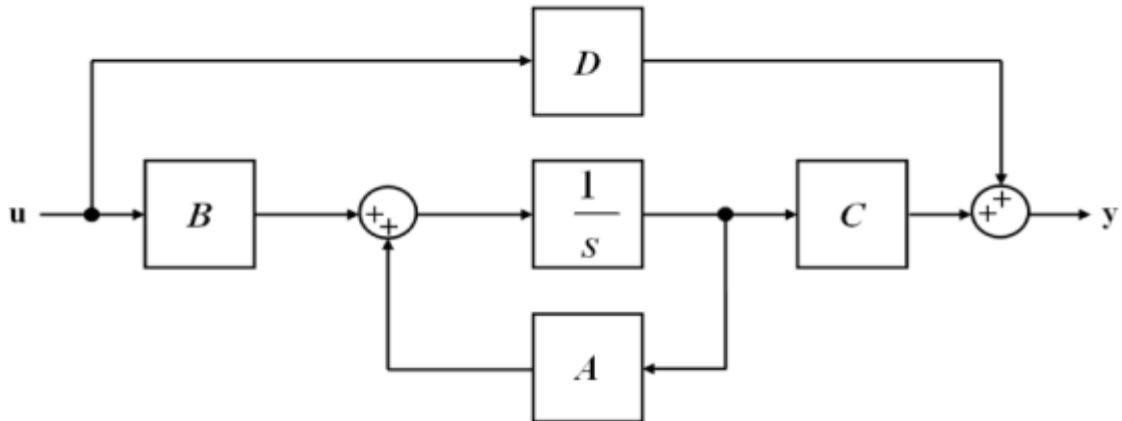


Figure 2.10 : Schéma bloc d'un système de contrôle par état

Un schéma bloc d'un système de contrôle par état illustre les composants clés du système et leurs interactions. Il met en évidence la présence d'un modèle d'état du système, d'un estimateur d'état et d'un contrôleur par état. Le modèle d'état représente le comportement dynamique du système, l'estimateur d'état fournit une estimation de l'état interne du système à partir des mesures de sortie, et le contrôleur par état calcule la commande de contrôle en fonction de l'état estimé et de la valeur de consigne. [18]

2.5.3. Diagramme temporel d'un système de contrôle par état

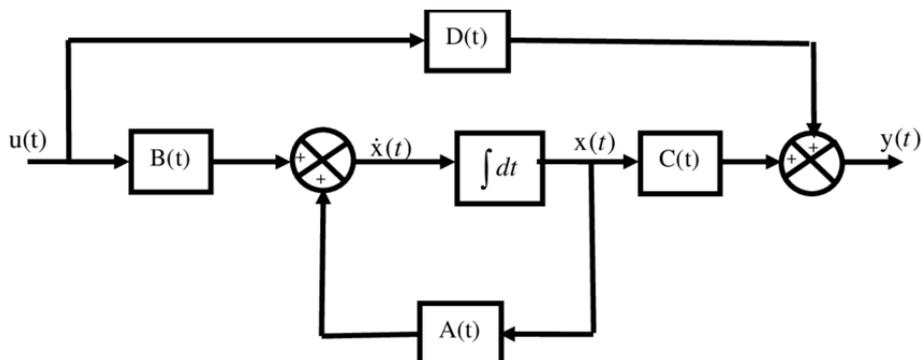


Figure 2.11 : Diagramme temporel d'un système de contrôle par état

Un diagramme temporel d'un système de contrôle par état montre l'évolution des entrées, des sorties, de l'état estimé et de la commande de contrôle au fil du temps. Il permet d'observer le comportement dynamique du système et l'effet du contrôleur par état sur la réduction de l'erreur et la stabilisation du système. [19]

2.5.4. Exemples

2.5.4.1. Exemple de système de contrôle par état : Contrôle de vol d'un avion

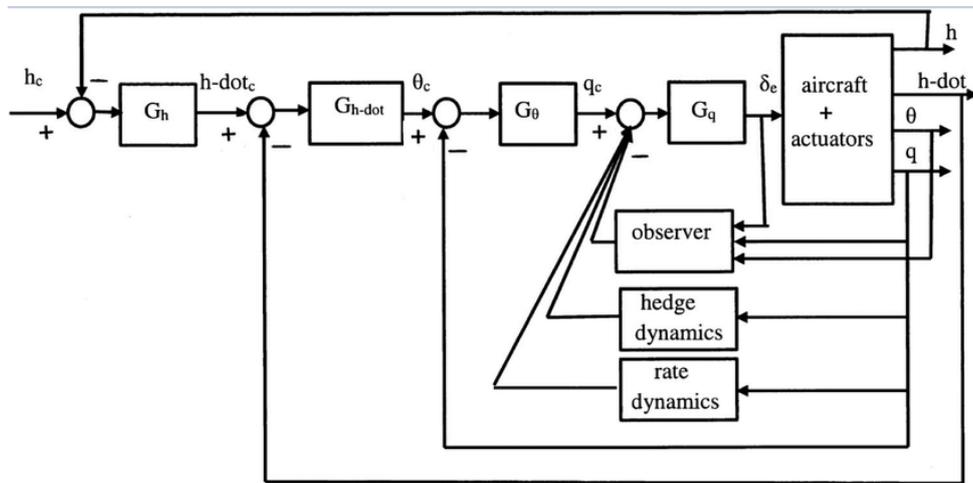


Figure 2.12 : Système de contrôle par état (Contrôle de vol d'un avion)

Le contrôle de vol d'un avion est un exemple complexe d'application d'un système de contrôle par état. Les équations d'état du système représentent la dynamique de l'avion en termes de position, vitesse, orientation et altitude. Des capteurs tels que des gyroscopes, des accéléromètres et des altimètres fournissent des mesures de l'état actuel de l'avion. L'estimateur d'état utilise ces mesures pour estimer l'état complet de l'avion. Le contrôleur par état calcule la commande de contrôle nécessaire pour amener l'avion à la position, à l'orientation et à l'altitude souhaitées, en tenant compte des perturbations extérieures et des changements de conditions de vol. [20]

2.5.4.2. Exemple de système de contrôle par état : Contrôle de processus industriel

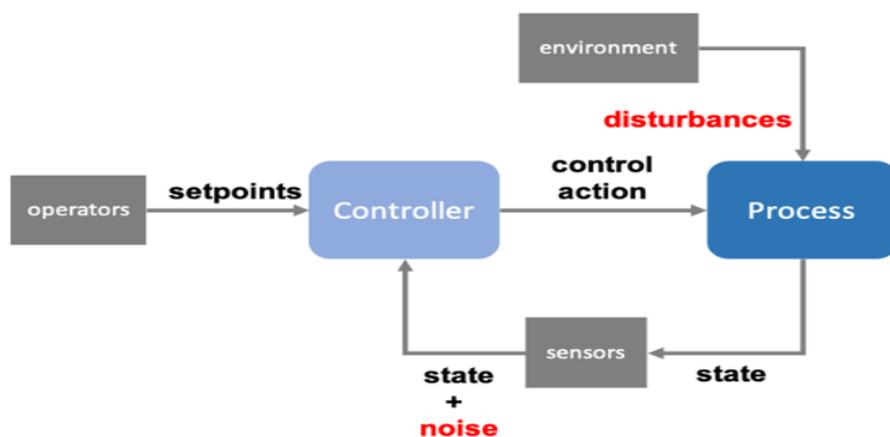


Figure 2.13 : Système de contrôle par état (Contrôle de processus industriel)

## CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle

---

Dans les industries chimiques et pétrochimiques, les systèmes de contrôle par état sont utilisés pour contrôler des processus complexes tels que la réaction chimique, la distillation et le fractionnement. Les équations d'état représentent la dynamique du processus en termes de température, pression, concentration et débit. Des capteurs mesurent ces variables en temps réel. L'estimateur d'état utilise ces mesures pour estimer l'état complet du processus. Le contrôleur par état calcule la commande de contrôle nécessaire pour maintenir les variables du processus aux valeurs souhaitées, en tenant compte des perturbations et des changements dans les conditions d'alimentation. [21]

### 2.5.4.3. Exemple de système de contrôle par état : Robotique avancée

La robotique avancée utilise des systèmes de contrôle par état pour réaliser des mouvements complexes et précis, comme la marche bipède ou la manipulation d'objets délicats. Les équations d'état représentent la dynamique du robot en termes de position, orientation, vitesse et accélération articulaires. Des capteurs tels que des encodeurs rotatifs et des accéléromètres fournissent des mesures de l'état actuel du robot. L'estimateur d'état utilise ces mesures pour estimer l'état complet du robot. Le contrôleur par état calcule la commande de contrôle nécessaire pour que le robot atteigne la position et l'orientation souhaitées, en tenant compte des contraintes physiques et des interactions avec l'environnement.

Ces exemples illustrent la puissance et la flexibilité des systèmes de contrôle par état dans des applications où la précision, la performance et la robustesse face aux perturbations sont essentielles. En modélisant le comportement dynamique du système et en estimant son état interne, les systèmes de contrôle par état permettent d'atteindre des performances supérieures aux contrôleurs classiques dans des systèmes complexes et dynamiques

### 2.5.5. Avantages et inconvénients

Les systèmes de contrôle par état offrent des performances supérieures aux contrôleurs PID, en particulier dans les systèmes dynamiques complexes. Ils peuvent également être plus robustes face aux perturbations et aux incertitudes du modèle. Cependant, ils nécessitent un modèle mathématique précis du système, ce qui peut être difficile à obtenir dans certains cas. De plus, la complexité accrue du calcul de la commande peut limiter leur mise en œuvre dans des applications temps réel critiques.

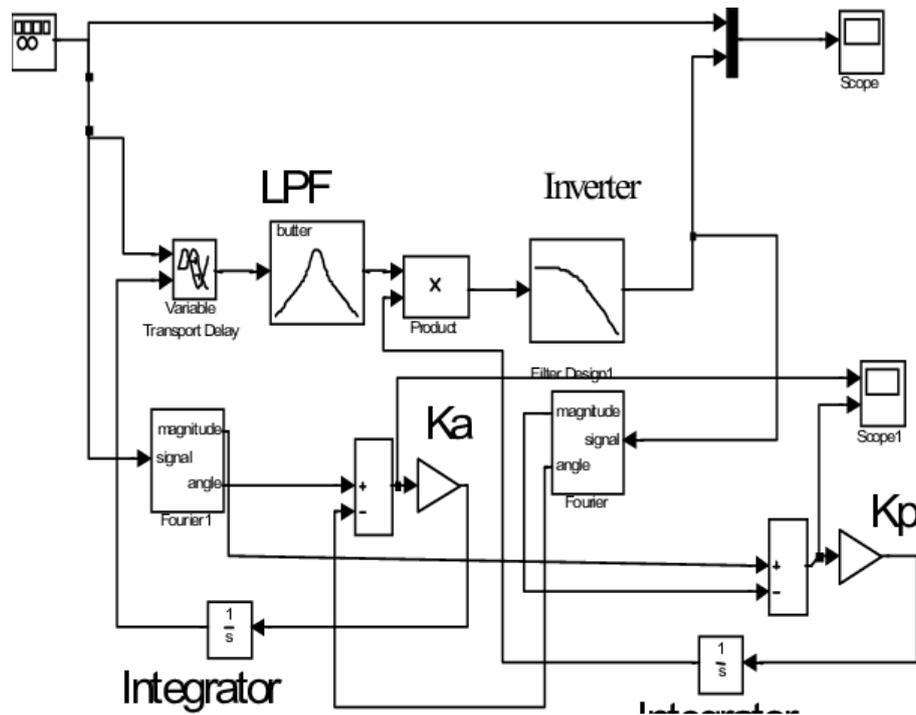
## 2.6. Systèmes de contrôle adaptatif

Les systèmes de contrôle adaptatif constituent une évolution des systèmes de contrôle classiques. Ils ont la capacité d'ajuster automatiquement leurs paramètres ou leur structure en fonction des changements de l'environnement ou des caractéristiques du système contrôlé.

### 2.6.1. Fonctionnement

Les systèmes de contrôle adaptatif intègrent un mécanisme d'adaptation qui analyse en permanence les performances du système et détecte les changements. En fonction de cette analyse, le système ajuste ses paramètres internes (par exemple, les gains d'un contrôleur PID) ou même sa structure de contrôle pour maintenir des performances optimales.

### 2.6.2. Diagramme temporel d'un système de contrôle adaptatif



**Figure 2.14 :** Diagramme temporel d'un système de contrôle adaptatif

Un diagramme temporel d'un système de contrôle adaptatif montre le comportement du système au fil du temps. Il montre l'évolution de l'entrée, de la sortie, de l'erreur et des paramètres adaptatifs en fonction du temps. L'adaptation permet au système de maintenir des performances optimales même en présence de perturbations ou de changements dans les conditions d'exploitation. [22]

2.6.3. Exemples

2.6.3.1. Exemple de système de contrôle adaptatif : Contrôle de vitesse d'un moteur

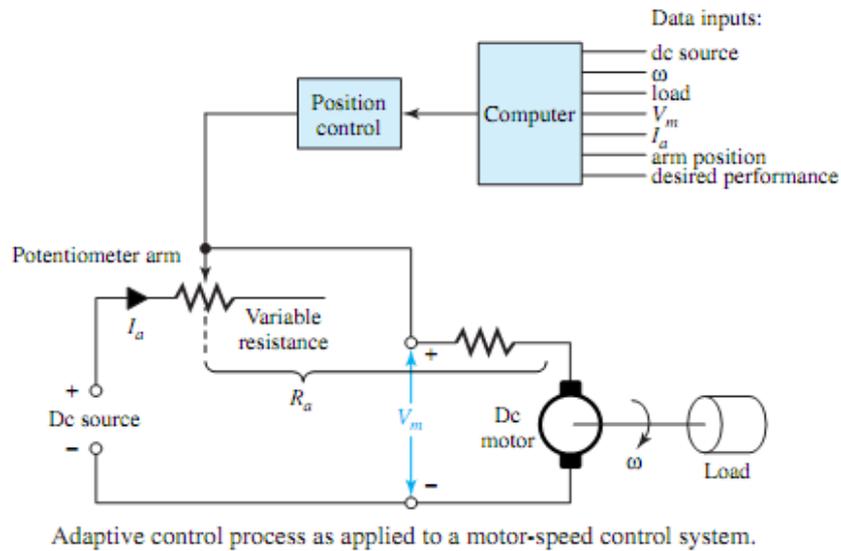


Figure 2.15 : Système de contrôle adaptatif (Contrôle de vitesse d'un moteur)

Le contrôle de la vitesse d'un moteur est un exemple classique d'un système de contrôle adaptatif. Le système utilise un contrôleur PID classique pour maintenir la vitesse du moteur à une valeur de consigne. Cependant, les paramètres du contrôleur PID peuvent être ajustés en temps réel en fonction de la charge appliquée au moteur ou des changements dans les frottements du système. Cela permet au système de maintenir des performances optimales sur une large plage de conditions d'exploitation. [23]

2.6.3.2. Exemple de système de contrôle adaptatif : Annulation de bruit active

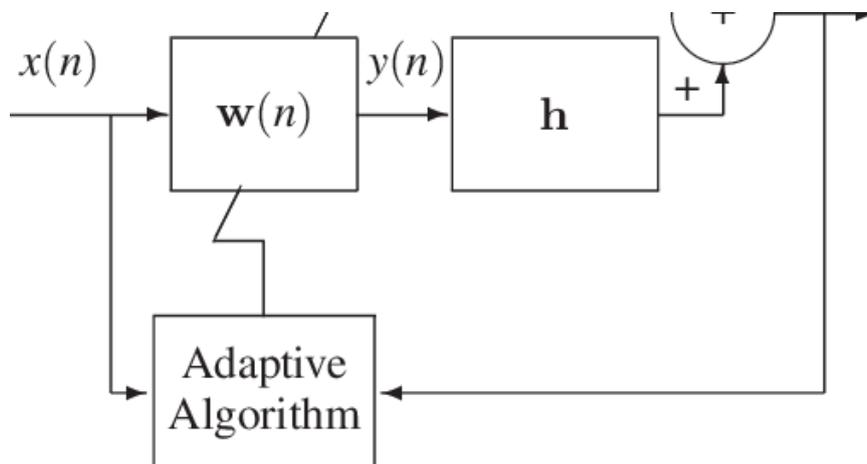


Figure 2.16 : Système de contrôle adaptatif (Annulation de bruit active)

## CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle

L'annulation active du bruit (ANC) est une technologie utilisée dans les casques antibruit pour réduire le bruit ambiant. Le système utilise des microphones pour capter le bruit ambiant (entrée). Un modèle prédictif anticipe le bruit futur. Le contrôleur génère un signal antibruit (commande) qui est émis par les haut-parleurs du casque pour annuler le bruit ambiant. Le système peut s'adapter à différents types de bruit et à des environnements acoustiques variés. [24]

### 2.6.3.3. Exemple de système de contrôle adaptatif : Contrôle de l'altitude d'un avion

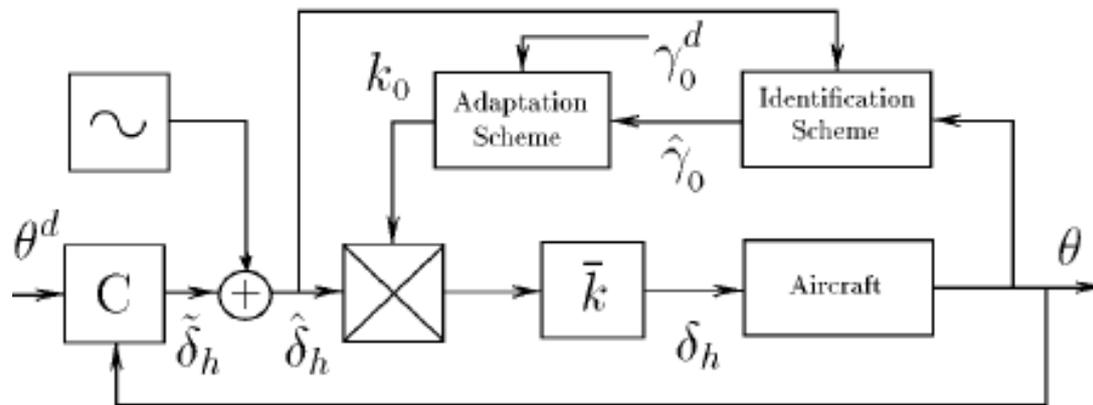


Figure 2.17 : Système de contrôle adaptatif (Contrôle de l'altitude d'un avion)

Le contrôle de l'altitude d'un avion est un exemple crucial d'un système de contrôle adaptatif dans l'aéronautique. Le système utilise un pilote automatique pour maintenir l'altitude de l'avion à une valeur de consigne. Cependant, les paramètres du pilote automatique peuvent être ajustés en temps réel en fonction des conditions météorologiques, de la turbulence ou des changements de poids de l'avion. Cela permet au système de maintenir un vol stable et sûr dans des conditions d'exploitation variées. [25]

Ces exemples illustrent la capacité des systèmes de contrôle adaptatifs à s'adapter aux changements de l'environnement et à maintenir des performances optimales dans des conditions d'exploitation complexes. En ajustant continuellement leurs paramètres ou leur structure, ces systèmes offrent une robustesse et une efficacité accrues face aux incertitudes et aux perturbations.

### 2.6.4. Avantages et inconvénients

Les systèmes de contrôle adaptatif offrent une robustesse et une efficacité accrues face aux incertitudes et aux perturbations du système. Ils peuvent s'adapter aux changements de conditions d'exploitation et maintenir une performance optimale. Cependant, ils sont plus complexes à concevoir et à mettre en œuvre que les systèmes de contrôle classiques. De plus, le mécanisme d'adaptation peut nécessiter un temps de convergence pour s'ajuster aux changements, ce qui peut être un inconvénient dans certaines applications.

## 2.7. Système de contrôle prédictif

Les systèmes de contrôle prédictif anticipent le comportement futur du système en utilisant un modèle mathématique interne. Cette anticipation permet de calculer la commande de contrôle optimale qui minimise

### 2.7.1. Fonctionnement

Les systèmes de contrôle prédictif anticipent le comportement futur du système en utilisant un modèle mathématique interne. Cette anticipation permet de calculer la commande de contrôle optimale qui minimise l'erreur future et garantit la stabilité du système. Le système prend en compte non seulement l'erreur actuelle, mais également les erreurs prédites sur un horizon futur défini.

### 2.7.2. Diagramme temporel d'un système de contrôle prédictif

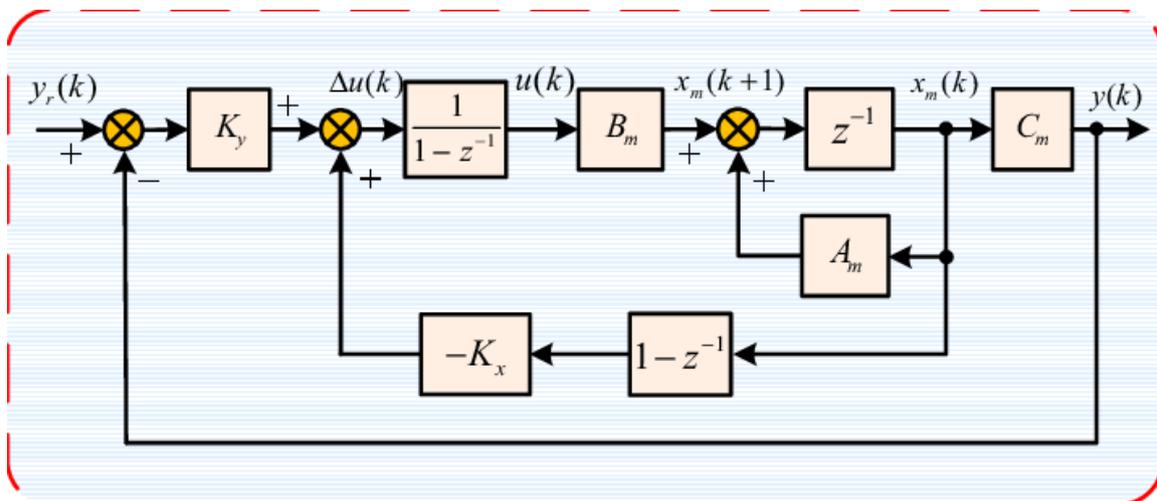


Figure 2.18 : Diagramme temporel d'un système de contrôle prédictif

## CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle

Un diagramme temporel d'un système de contrôle prédictif montre le comportement du système au fil du temps. Il montre l'évolution de l'entrée, de la sortie, de l'erreur et de la commande prédite en fonction du temps. La rétroaction et la prédiction permettent au système d'atteindre une performance optimale en anticipant les perturbations et en ajustant la commande de manière proactive. [26]

### 2.7.3. Exemples

#### 2.7.3.1. Exemple de système de contrôle prédictif : Chauffage d'un bâtiment

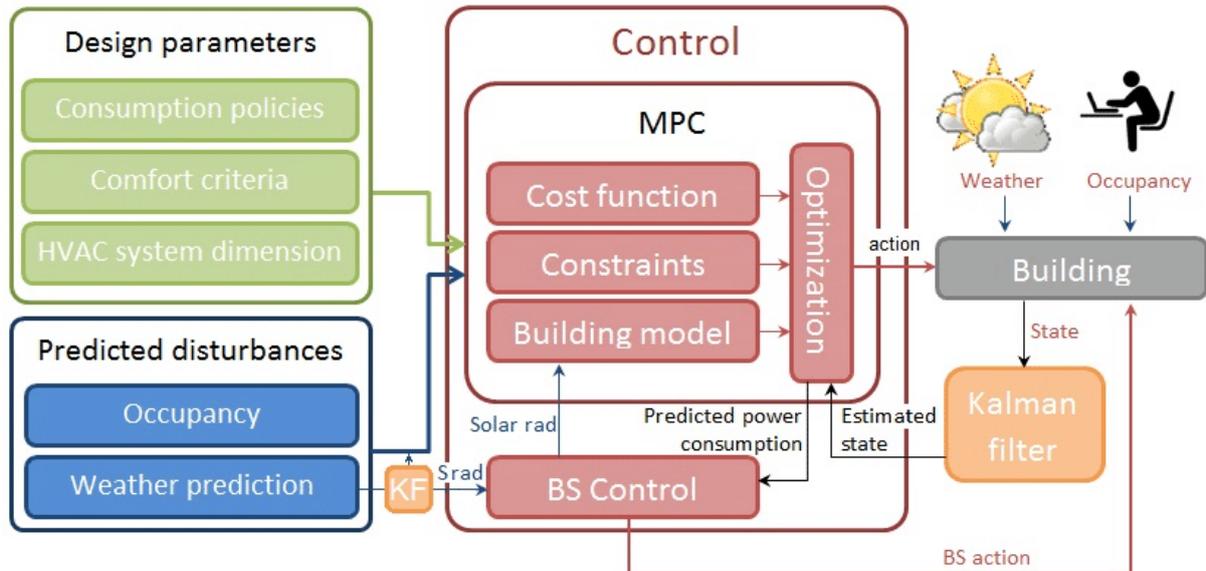


Figure 2.19 : Système de contrôle prédictif (Chauffage d'un bâtiment)

Le chauffage d'un bâtiment est un exemple d'application du contrôle prédictif. Le système utilise des capteurs pour mesurer la température intérieure et extérieure (entrée). Un modèle prédictif estime les futures demandes de chaleur en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques du bâtiment. Le contrôleur calcule la commande optimale en anticipant les besoins futurs de chauffage et en minimisant la consommation d'énergie. [27]

2.7.3.2. Exemple de système de contrôle prédictif : Contrôle de processus industriel

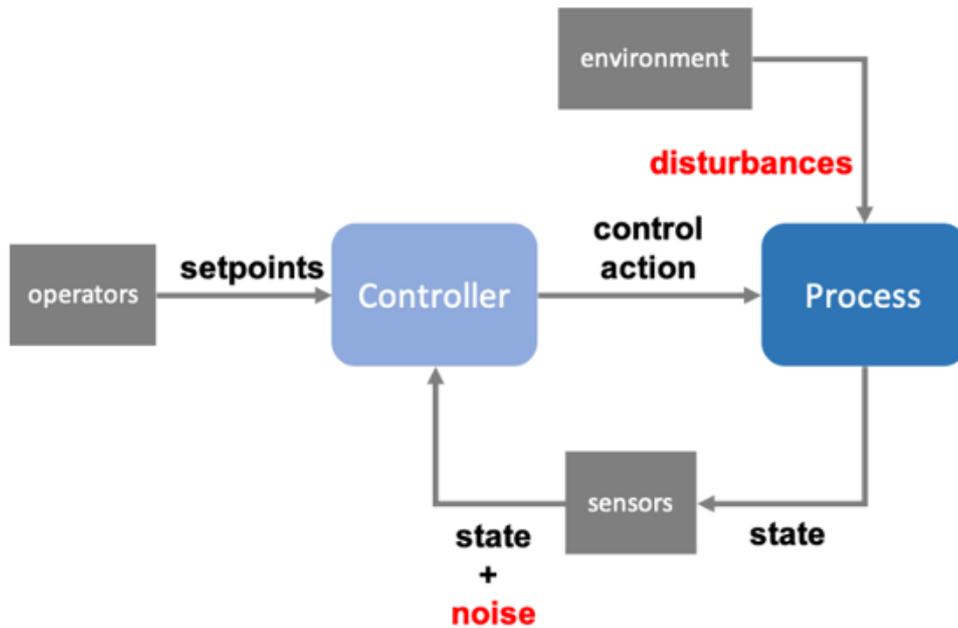


Figure 2.20 : Système de contrôle prédictif (Contrôle de processus industriel)

Dans le contrôle de processus industriel, le contrôle prédictif est utilisé pour maintenir des variables critiques du processus, telles que la température, la pression ou le débit, à des valeurs souhaitées. Le système utilise des capteurs pour mesurer les variables du processus (entrée). Un modèle prédictif anticipe les perturbations et les changements de conditions dans le processus. Le contrôleur calcule la commande optimale en minimisant les écarts par rapport aux valeurs de consigne et en optimisant les performances du processus. [28]

2.7.3.3. Exemple de système de contrôle prédictif : Robotique

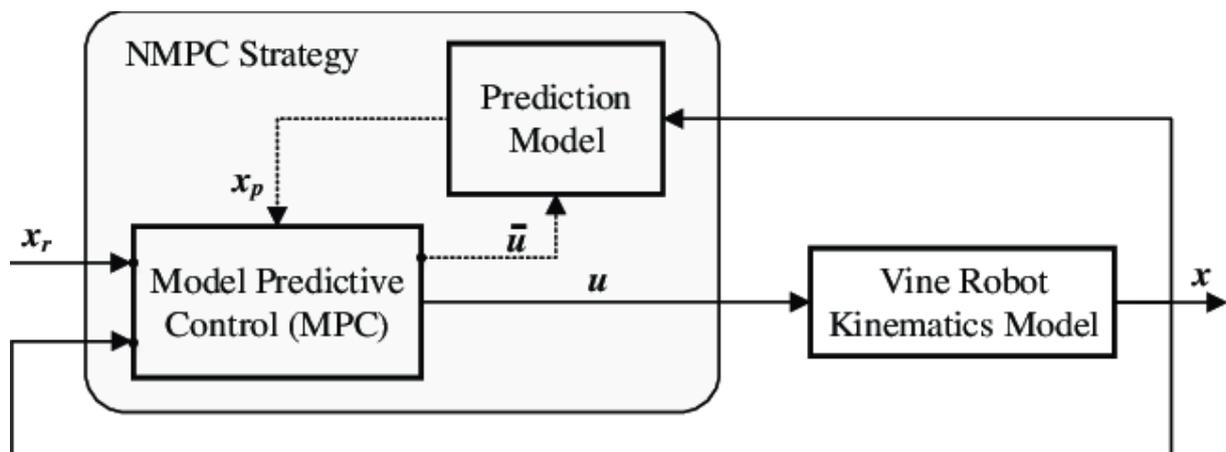


Figure 2.21 : Système de contrôle prédictif (Robotique)

En robotique, le contrôle prédictif est utilisé pour contrôler le mouvement et la trajectoire des robots. Le système utilise des capteurs pour mesurer la position et l'orientation du robot (entrée). Un modèle prédictif anticipe les effets des commandes sur le mouvement du robot. Le contrôleur calcule la commande optimale pour atteindre la position et l'orientation souhaitées avec précision et en minimisant le temps de réponse. [29]

Ces exemples illustrent la puissance et la polyvalence des systèmes de contrôle prédictif dans divers domaines, allant du contrôle environnemental aux applications industrielles complexes. En anticipant le comportement futur et en optimisant les commandes de manière proactive, ces systèmes permettent d'atteindre des performances supérieures, une efficacité accrue et une meilleure robustesse face aux perturbations.

### **2.7.4. Avantages et inconvénients**

Les systèmes de contrôle prédictif offrent des performances supérieures aux contrôleurs classiques en optimisant les commandes de manière proactive. Ils peuvent être particulièrement efficaces dans les systèmes à réponse lente ou présentant des retards importants. Cependant, ils nécessitent un modèle mathématique précis du système et des calculs informatiques plus intensifs. De plus, la définition de l'horizon de prédiction optimal peut être cruciale pour les performances du système.

## **2.8. Systèmes de contrôle distribué**

Dans les systèmes de contrôle classiques, un contrôleur centralisé prend toutes les décisions de contrôle. Les systèmes de contrôle distribué (**DCS**) adoptent une approche différente en répartissant les tâches de contrôle entre plusieurs contrôleurs individuels interconnectés.

### **2.8.1. Fonctionnement**

Un **DCS** est composé de plusieurs unités de contrôle intelligentes réparties géographiquement. Ces unités collectent des données des capteurs locaux, traitent l'information et prennent des décisions de contrôle de manière autonome. Elles communiquent également entre elles pour coordonner leurs actions et atteindre les objectifs de contrôle globaux

2.8.2. Diagramme temporel d'un système de contrôle distribué

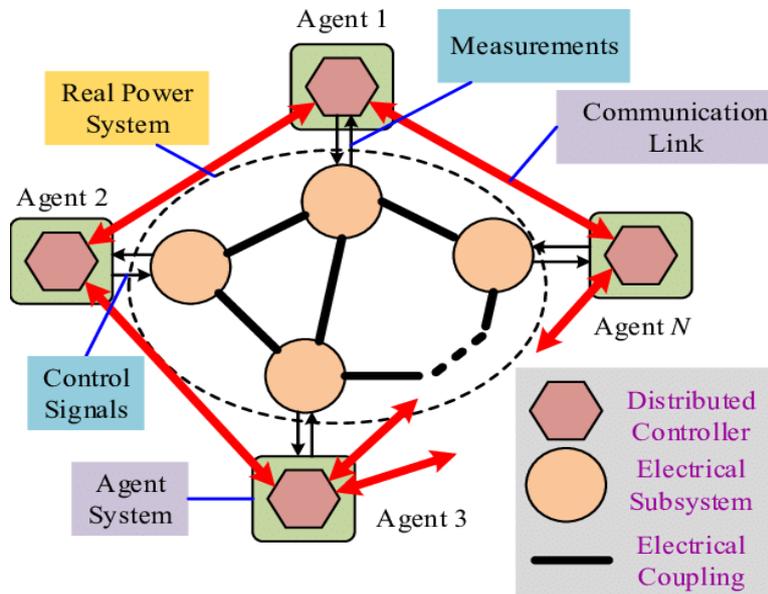


Figure 2.22 : Diagramme temporel d'un système de contrôle distribué

Un diagramme temporel d'un système de contrôle distribué montre l'évolution des signaux de commande et de communication entre les contrôleurs au fil du temps. Il met en évidence la coordination temporelle et l'échange d'informations nécessaires pour atteindre les objectifs de contrôle globaux. [30]

2.8.3. Exemples

2.8.3.1. Exemple de système de contrôle distribué : Réseau électrique

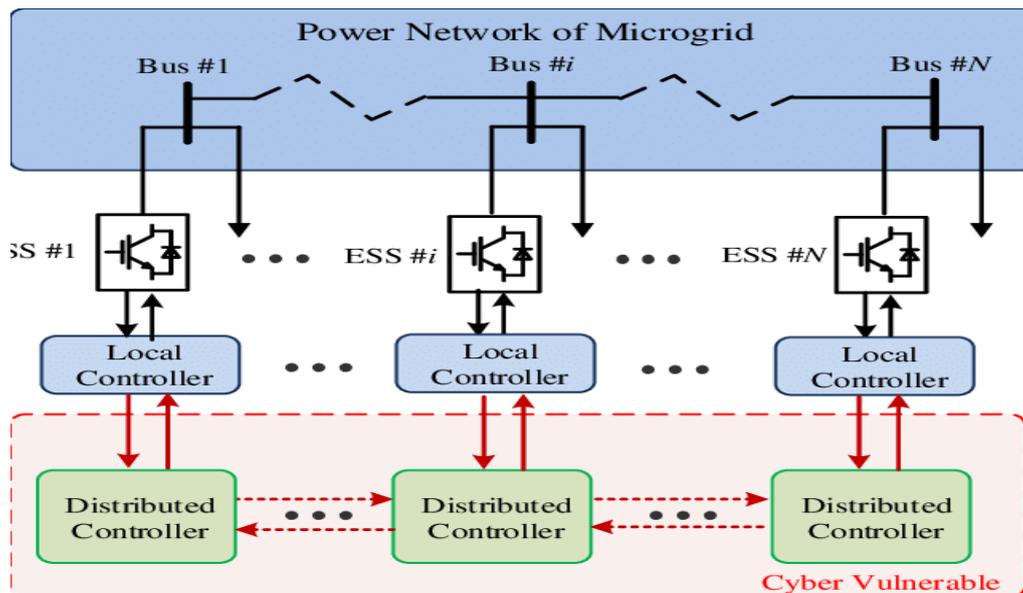


Figure 2.23 : Système de contrôle distribué (Réseau électrique)

## CHAPITRE 2 : Les différents types de systèmes de contrôle

Un réseau électrique est un exemple complexe de système de contrôle distribué. Chaque centrale électrique et chaque sous-station dispose de son propre contrôleur local qui gère la production, la distribution et la consommation d'énergie. Les contrôleurs locaux communiquent entre eux pour coordonner la fourniture d'électricité à l'ensemble du réseau, en maintenant la tension et la fréquence dans des plages acceptables. [31]

### 2.8.3.2. Exemple de système de contrôle distribué : Système de transport aérien

Le système de contrôle du trafic aérien (ATC) est un autre exemple de système de contrôle distribué à grande échelle. Les contrôleurs aériens situés dans différents centres de contrôle communiquent entre eux pour coordonner les mouvements des avions, en garantissant la sécurité et l'efficacité du trafic aérien dans l'espace aérien.

### 2.8.3.3. Exemple de système de contrôle distribué : Robotique modulaire

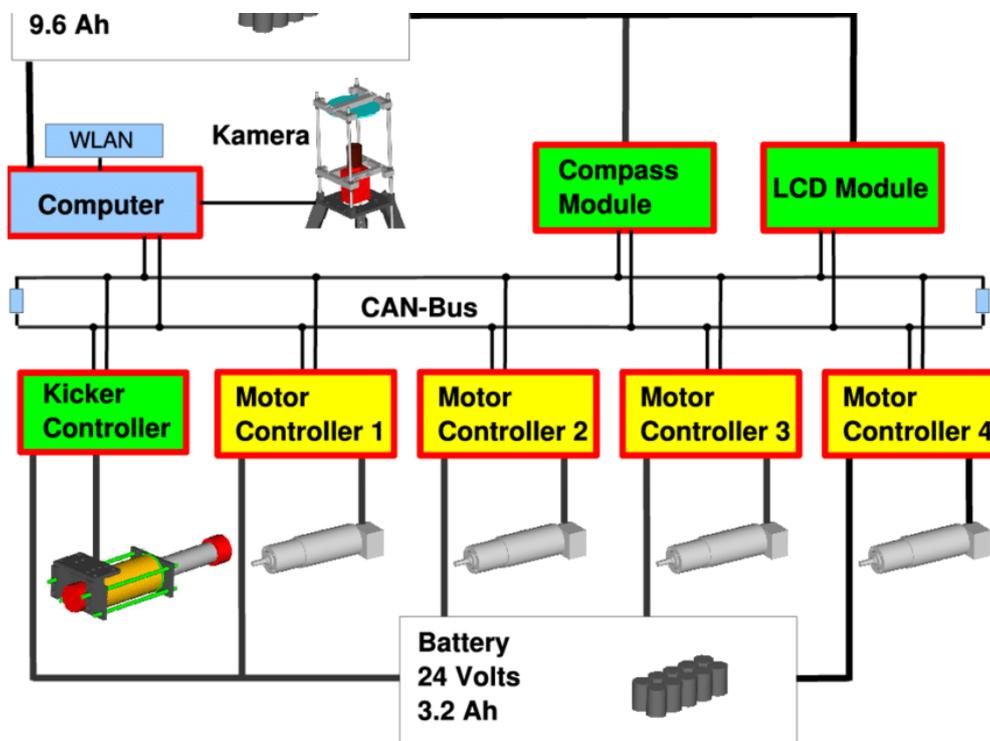


Figure 2.24 : Système de contrôle distribué (Robotique modulaire)

La robotique modulaire utilise des robots individuels interconnectés pour réaliser des tâches complexes. Chaque robot dispose de son propre contrôleur local qui gère son mouvement et sa communication avec les robots voisins. Les contrôleurs locaux communiquent entre eux pour coordonner les actions des robots et réaliser des tâches collectives. [32]

Ces exemples illustrent la puissance et la flexibilité des systèmes de contrôle distribués dans des domaines variés, allant des infrastructures critiques aux applications robotiques complexes. En répartissant les tâches de contrôle entre plusieurs unités, ces systèmes offrent une évolutivité, une robustesse et une adaptabilité accrues face à des problèmes de grande envergure et à des exigences de performance élevées.

### 2.8.4. Avantages et inconvénients

Les **DCS** offrent une évolutivité, une modularité et une robustesse accrues. En cas de défaillance d'une unité de contrôle, les autres unités peuvent toujours fonctionner, garantissant une certaine redondance. Cependant, la conception et la mise en œuvre des **DCS** peuvent être

## 2.9. Conclusion

Ce chapitre a présenté une exploration détaillée des différents types de systèmes de contrôle. Nous avons vu comment chaque type fonctionne, ses avantages et ses inconvénients, et ses applications courantes. Le choix du type de système de contrôle approprié dépend de plusieurs facteurs, notamment la complexité du système à contrôler, les exigences de précision et de performance, et les contraintes budgétaires. En comprenant les différents types de systèmes de contrôle disponibles, les ingénieurs et les concepteurs peuvent choisir la solution la plus efficace pour répondre aux besoins spécifiques de leur application.

Dans le dernier chapitre on va voir l'application du contrôleur (**HPM**) dans une zone industriel pétrolière

# **CHAPITRE 3 : Etude de cas : HPM à BRN**

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons entamer une exploration exhaustive du domaine **BRN** et du regroupement **GSE**, en présentant une vue d'ensemble. Ensuite, nous plongerons dans une analyse détaillée du système **DCS**, avec un focus particulier sur le contrôleur **HPM**. Enfin, nous proposerons une stratégie d'optimisation spécifique pour ce contrôleur, enrichissant ainsi notre compréhension de son fonctionnement et de ses possibilités d'amélioration.

### 3.2. Présentation Groupement SONATRACH-ENI « GSE »

#### 3.2.1. Historique

Le Groupement SONATRACH-ENI (**GSE**) est un groupement pétrolier, constitué des deux sociétés SONATRACH 51%, et **ENI** (**Ente Nazionale Idrocarburo**) 49%, régi par le décret 93-08 du 25/04/1993, c'est la première association entre SONATRACH et une société étrangère.

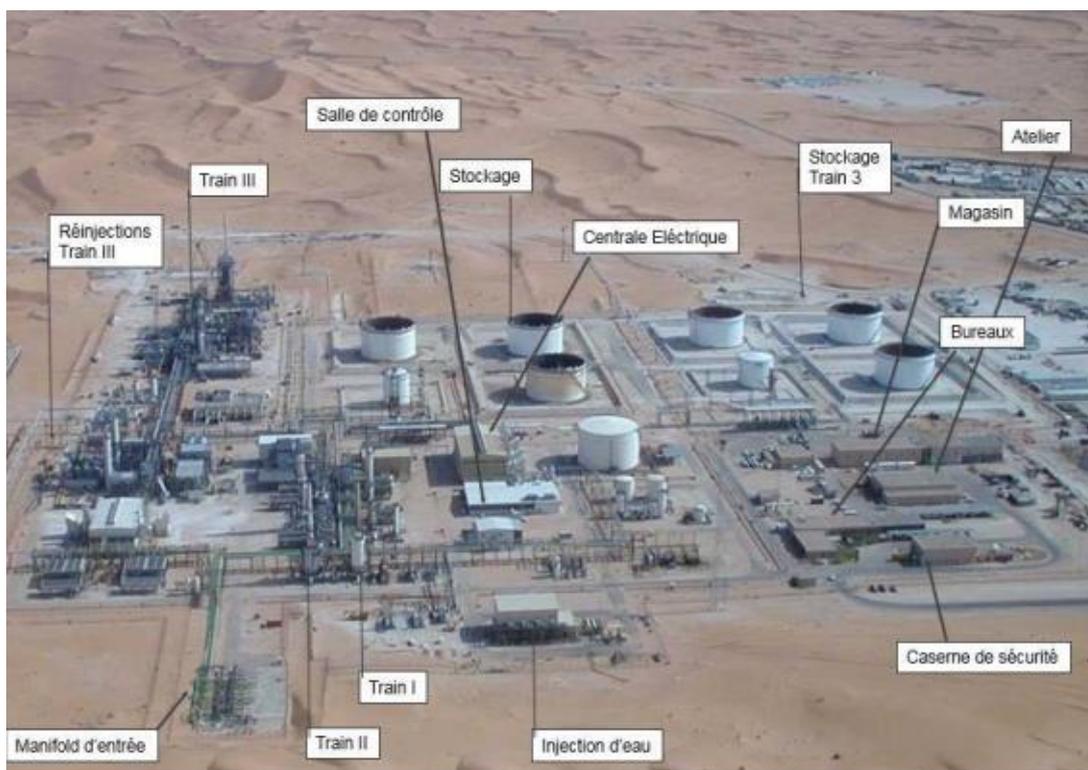
Les activités de l'association remontent au 15/12/1987, date de signature du premier contrat d'association entre SONATRACH et la société Italienne ENI pour la recherche et l'exploitation d'hydrocarbures sur le bloc 403. Depuis cette date à ce jour le GSE est arrivée à gérer cinq blocs (**403, 403a, 403d, ROD & Gis Sat**).

Chaque bloc possède ses propres spécifications du contrat, et sont structurés comme suit

- Le 15/07/1987 : Contrat d'association entre SONATRACH et ENI pour la recherche et l'exploitation des hydrocarbures liquides dans le bloc 403
- Le 26/02/1990 : Découverte champ BRN
- Attribution du permis d'exploitation.
  - Bloc 403 : 1991 (**BRN, BRW**) 1995 (**BRSW**).
  - Bloc 403 : 13/05/1995 (**ROM, ZEK, ZEA**).
- Le 12/06/1995 : Mise en service du premier train de traitement du Centre Huile de **BRN**.
- Le 9/08/1995 : Expédition de l'huile vers **MESDAR**.
- Le 10/10/1995 : Début de la réinjection des gaz associant. Attribution du permis exploitation.
  - Bloc 403 : 13/05/1995 (**ROM, ZEK, ZEA**).
- Le 28/11/1999 : Début du centre de traitement de l'huile de ROM.
- Le 11/04/2000 : Début de l'unité d'injection d'eau BRN.
- Le 26/02/2002 : Mise en service du second train de traitement

## CHAPITRE 3 : Etude de cas : HPM à BRN

- Le 10/04/2002 : signature du contrat bloc **ROD, SFNE** et **Gis Sat** : Gisements Satellites
  - **BSF, RDB, RERN, RAR** : Ces gisements s'étendent sur les blocs 401a, 402a, 403a et 403d, Le financement se fait comme suit
  - bloc 401a et 402a (55% **ENI** et 45% **BHP**).
  - bloc 403a 100% **ENI**.
  - bloc 403d 75% **ENI** et 25% **SH**.
- Le 01/06/2004 : démarrage du troisième train à **BRN**. [33]



**Figure 3.1** : Champ BRN (vue du ciel)

### Situation géographique

Le gisement BRN se situe approximativement à 340km à l'est de Hassi Messaoud, 60km au sud-ouest de Tunisie et à 100km du nord-ouest de la Lybie



Figure 3.2 : Situation géographique du champ BRN

### 3.2.2. Organisation du Groupement

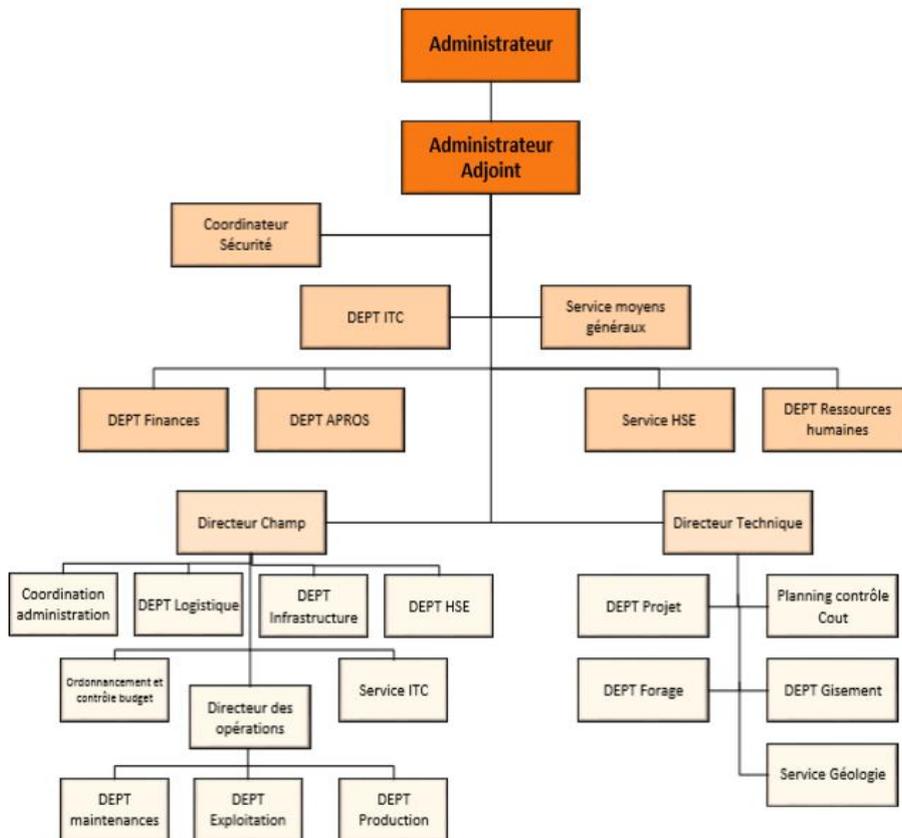


Figure 3.3 : Organigramme du Groupement Sonatrach-Eni (BRN)

### 3.2.3. Domaine d'activité

Le domaine d'activité du champ BRN est la recherche et l'exploitation des hydrocarbures. Le traitement et l'expédition de brut venant des puits producteurs ce fait dans le centre de traitement de l'huile constitué de trois trains de traitement.

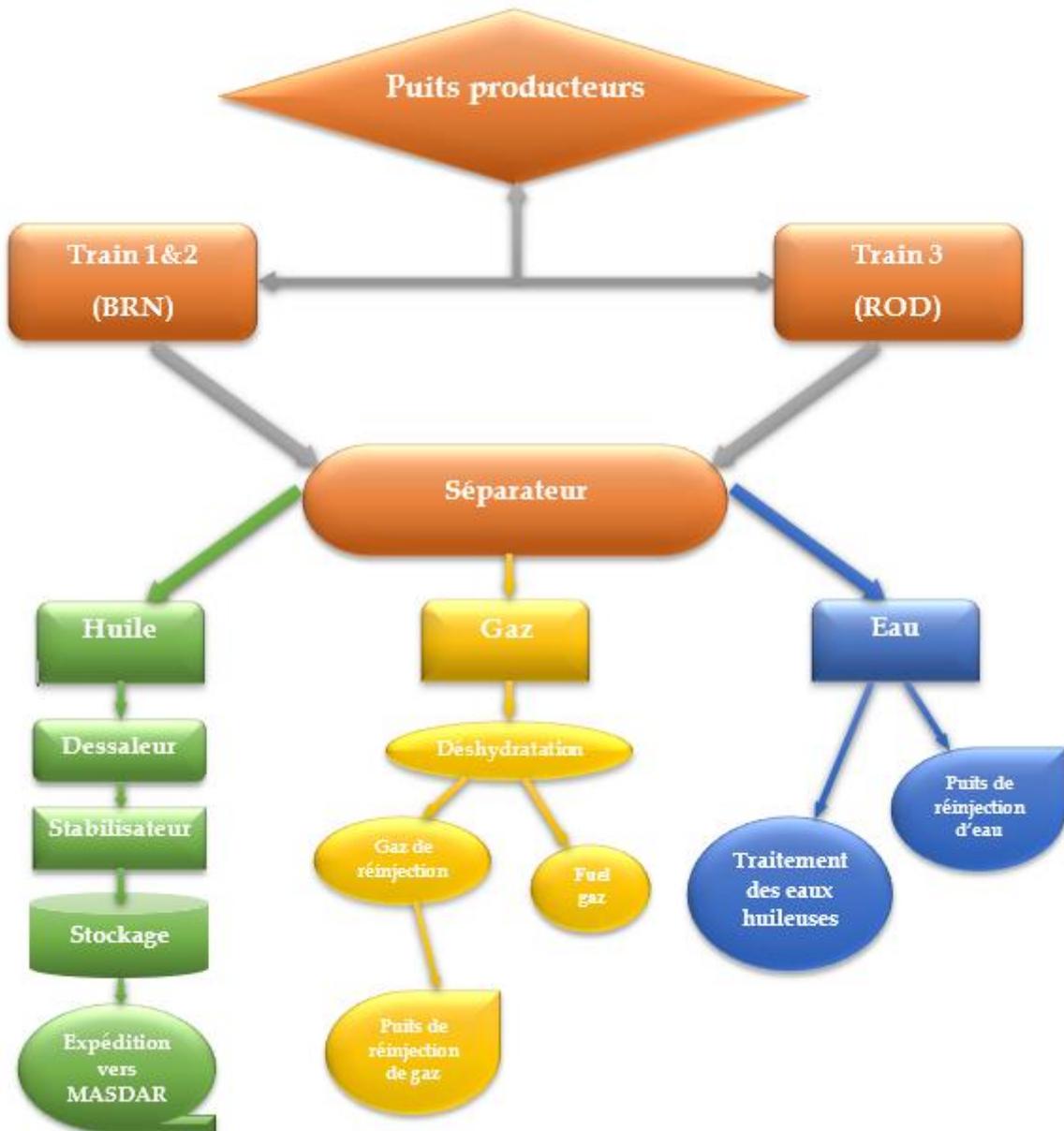


Figure 3.4 : Schéma décrivant le processus de traitement de l'huile

#### 3.2.3.1. Train 1 « BRN »

C'est le premier train de traitement à BRN avec une capacité de traitement de 41 500 Bbl/J, il est subdivisé en trois circuits.

### **3.2.3.1.1. Circuit de traitement d'huile**

Il est composé de deux circuits :

#### **3.2.3.1.1.1. Circuit froid : Unité 200 (Séparation)**

Cette unité se compose des équipements suivants :

- Un séparateur à haute pression HP 200V01.
- Un séparateur à moyenne pression MP 200V02 doté de 03 pompes en aval.
- Un séparateur à basse pression BP 200V03 doté de 03 pompes en aval.
- Un séparateur de test 200V04.

#### **3.2.3.1.1.2. Circuit chaud : Unité 210 (dessalage et stabilisation)**

Cette unité est composée de :

- Un séparateur triphasique 210V01.
- Un dessaleur électrostatique double étage 210SD01 et 210SD02.
- Une colonne de stabilisation 210C01.
- Un ballon de tête 210V04.
- Un four de rebouillage 210F01.
- Deux échangeurs de chaleur 210EA01/02.
- Une batterie des aéroréfrigérants

#### **3.2.3.1.2. Circuit de traitement gaz**

Il est composé de :

- Un compresseur basse pression 360 K 011.
- Un compresseur moyenne pression 360K02.
- Un compresseur haute pression 360 K 03.
- Une unité de déshydratation du gaz 310.
- Deux unités de réinjection de gaz : Unité 380 et 390.
- Une unité de fuel gaz 420.

#### **3.2.3.1.3. Circuit de traitement d'eau**

L'eau est envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses (unité 560) qui a pour objet d'enlever les traces d'huile entraînées avec l'eau de purge des séparateurs. L'eau purifiée est envoyée vers le bassin évaporateur

### 3.2.3.2. Train 2 « BRN »

C'est le deuxième train de traitement BRN a une capacité de traitement de 39000 Bbl/J. Il comprend trois circuits.

#### 3.2.3.2.1. Circuit de traitement d'huile

Il est composé de deux circuit :

##### 3.2.3.2.1.1. Circuit froid : Unité 200 (Séparation)

Cette unité se compose des équipements suivants

- Un séparateur haute pression 200VS201.
- Un séparateur moyenne pression 200VS202.

##### 3.2.3.2.1.2. Circuit chaud : Unité 210 (stabilisation et dessalage)

Cette unité est composée de

- Un séparateur triphasique 210VS201.
- Deux dessaleurs électrostatiques en série 210VU201 et 210VU202.
- Une colonne de stabilisation 210VE201 et un ballon de tête 210VS202.
- Un four de rebouillage 210FA201.
- 04 échangeurs de chaleur 210HA201A/B et 210HA202A/B.
- Une batterie des aéroréfrigérants.

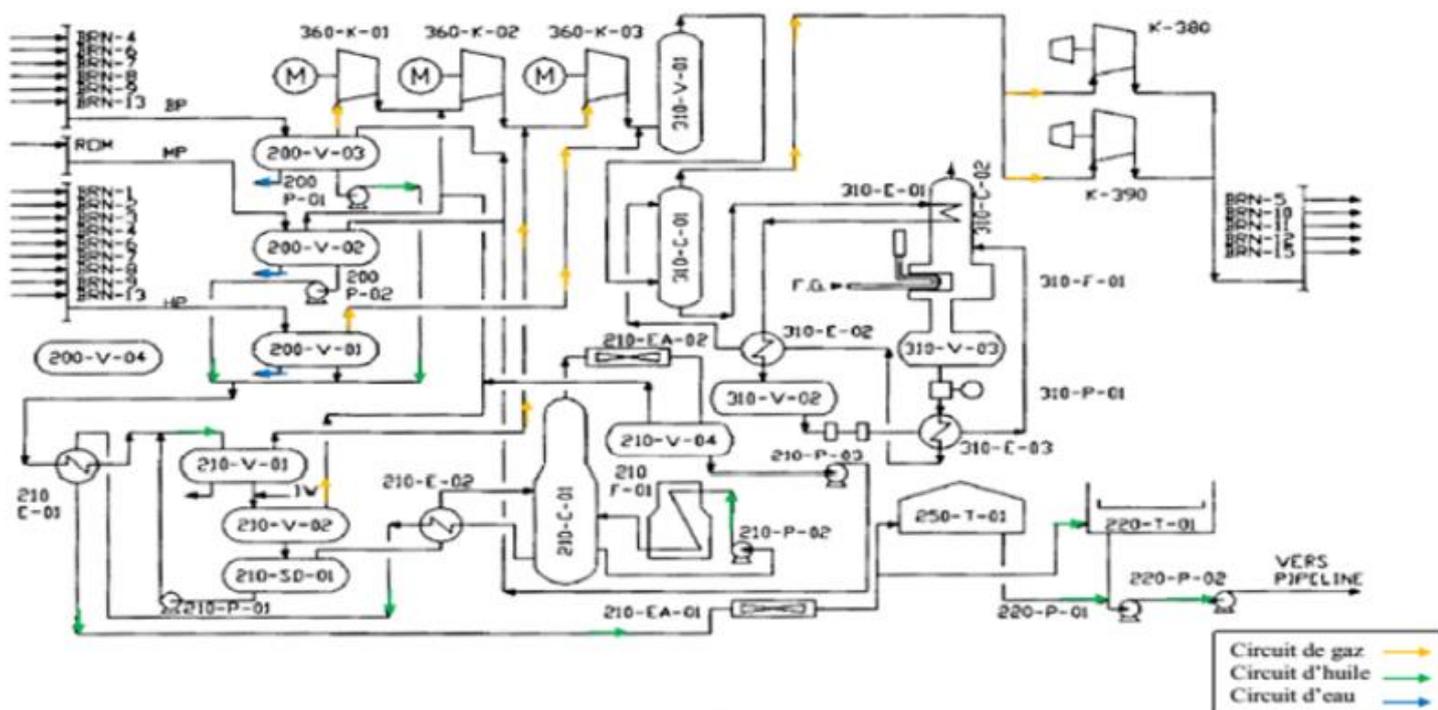
#### 3.2.3.2.2. Circuit de traitement de gaz

Il est composé de :

- Deux compresseur basses pressions 360K201A/B.
- Un compresseur moyenne pression 360K202.
- Un compresseur haute pression 360 K 203.
- Une unité de déshydratation du gaz 310.

#### 3.2.3.2.3. Circuit de traitement d'eau

L'eau est envoyée vers l'unité de traitement des eaux huileuses (unité 560 train) L'eau purifiée est envoyée vers le bassin évaporateur.



**Figure 3.5 :** Schéma synoptique du train I et II

### 3.2.3.3. Train 3 « ROD »

Le train de traitement du brut de champ **ROD** à une capacité moyenne de traitement de 55000 bbl/jr. il est subdivisé en trois circuits. [34]

#### 3.2.3.3.1. Circuit de traitement d'huile

Il est composé de deux circuits

##### 3.2.3.3.1.1. Circuit froid : unité 200 (séparation)

Il est composé des équipements suivants

- Un séparateur haute pression 200V301.
- Un séparateur basse pression 200VS302 doté de 03 pompes en aval 200PA301 A/B/C.

##### 3.2.3.3.1.2. Circuit chaud : Unité 210 (dessalage et stabilisation)

Il comprend

- Un séparateur à moyenne pression 200VS313, appelé séparateur triphasique.
- Un dessaleur électrostatique à double étages 210VU306 et 210VU307.
- Une colonne de stabilisation (stripper) 210VE301.
- Un ballon coalesceur d'eau 210VA305.
- Un four de rebouillage 210FA301.
- Deux séries d'échangeurs de chaleur.
- Préchauffeur d'huile d'entrée 210HA301 A/B.

- Rebouilleur latéral 210HA302 A/B.
- Une batterie d'aéroréfrigérants 210HC303 A/B/C/D.

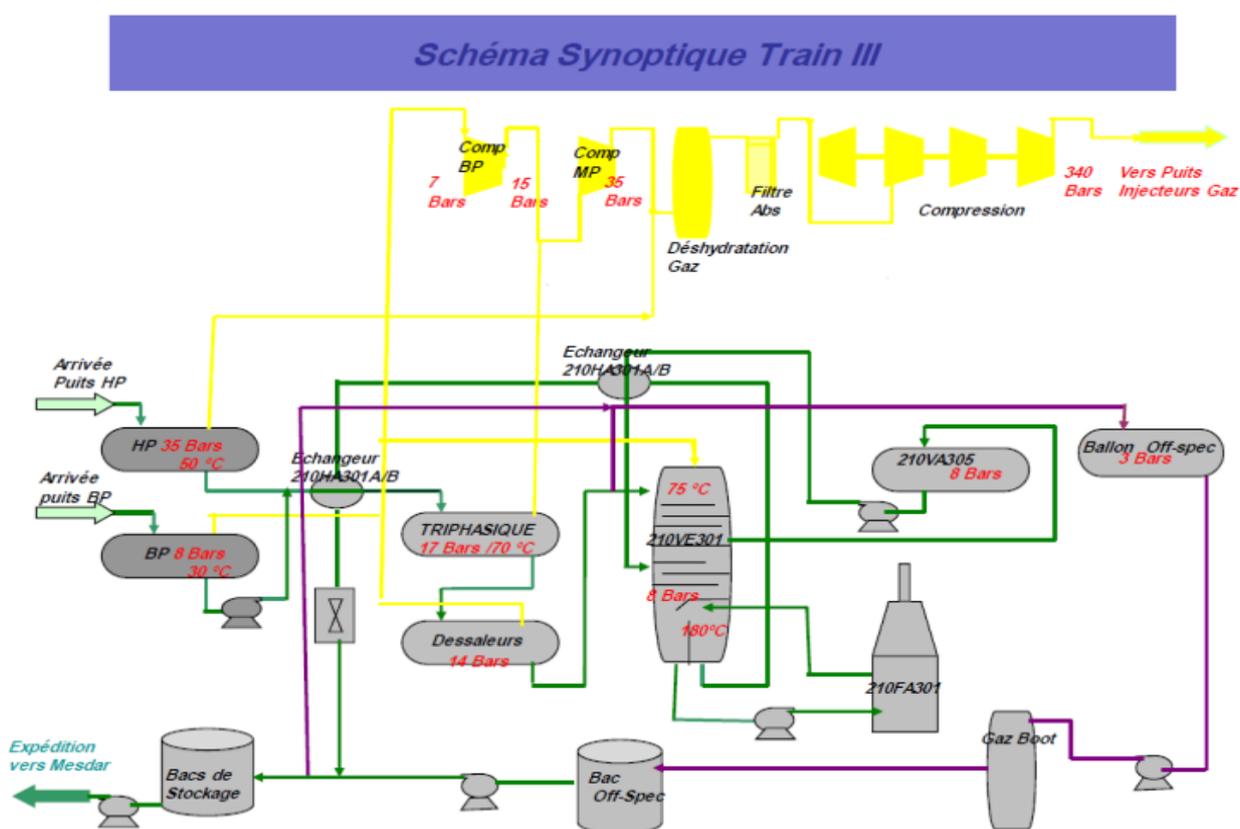
### 3.2.3.3.2. Circuit de traitement de gaz

- Déshydratation du gaz unité 310.
- Deux ballons scrubber 310VS301.
- Deux colonnes d'absorption 310C301.
- Deux filtres absolus 310S303.
- Deux skids de régénération du glycol (Unité 380).

### 3.2.3.3.3. Circuit de traitement d'eau

L'unité de traitement des eaux huileuses 560 se compose de

- Un ballon séparateur 560VS301
- Deux pompes pour la récupération d'huile vers unité Off-spec.
- Deux pompes pour la récupération d'eau vers unité 510 (réinjection).



**Figure 3.6 :** Schéma synoptique du train 3

### 3.2.3.3.4. Unité 220 : Stockage et expédition

Cette unité se compose de

- 03 bacs de stockage 220T01A/B/C avec une capacité de 15 000 m<sup>3</sup> chacun.
- 03 pompes boosters 220P01A/B/C avec une capacité de 500 m<sup>3</sup>/h chacune.
- 04 pompes d'expédition d'huile 220P02A/B/C/D avec une capacité de 250 m<sup>3</sup>/h chacune.
- 03 bacs de stockage 220TB301A/B/C avec une capacité de 15 000 m<sup>3</sup> chacun.
- 02 pompes boosters 220PA301A/B/C avec une capacité de 800 m<sup>3</sup>/h chacune.
- 03 pompes d'expédition d'huile 220PA302A/B/C/ avec une capacité de 400 m<sup>3</sup>/h chacune.

### 3.2.3.3.5. Unité 250 : Off-spécification

Elle est utilisée juste en cas de défaillance dans le circuit de l'unité 210 :

- En cas d'une basse température sortie huile stabilisée
- En cas d'un très haut niveau de la colonne de stabilisation
- En cas de très bas niveau de la colonne de stabilisation.
- L'huile Off-spec récupérée dans le bac 250TA301 sera par la suite dégazé dans ce dernier et récupérée vers les bacs de stockage d'huile stabilisée.

### 3.2.3.3.6. Unité 230 : (Système de torche)

Le train III dispose trois (03) lignes de torches

- Torche chaude : cette ligne est destinée pour brûler le gaz sortant de tous les équipements de l'usine.
- Torche froide : cette ligne est destinée pour brûler le gaz sortant des unités de réinjection de gaz (gaz à haute pression) en cas de déclenchement ou dépressurisation.
- Torche basse pression : cette ligne est destinée pour brûler le gaz produit par l'unité Off-spec du train 3.

### 3.2.3.3.7. Unité déshydratation du gaz et régénération du glycol (U310 et U380)

Le circuit de traitement gaz comprends :

- Un ballon scrubber 310VS301,
- Une colonne d'absorption 310C301
- Un filtre absolu 310S303
- Un skid de régénération du glycol (Unité 380).

Le gaz issu du séparateur HP est mélangé avec le gaz du refoulement du compresseurs MP (360KA302), déshydraté avec le TEG à l'unité 310 puis envoyé aux turbocompresseurs de réinjection de gaz.

### 3.2.3.3.8. Unité 360 (compression et réinjection de gaz)

Cette unité se compose des compresseurs de type MANTURBO

- 02 compresseurs à basse pression (BP) 360KA301, 360KA301A avec un débit nominal de 41 000 Sm<sup>3</sup>/h chacun.
- 02 compresseurs à moyenne pression (MP) 360KA302, 360KA302A avec un débit nominal de 90 000 Sm<sup>3</sup>/h chacun.

Les deux (02) compresseurs (BP/MP) fonctionnent en série pour augmenter la pression des différents effluents gazeux à une pression de 36 bars pour qu'ils puissent se mélanger avec les gaz sortant du séparateur HP et par la suite envoyés vers l'unité 310.

### 3.2.3.3.9. Unité de fuel gaz (U420)

L'unité de fuel gaz se compose de :

- Un four de chauffage du fuel gaz 420FA301
- Un ballon pour élimination des condensats 420VN301
- Des vannes de détente pour le réseau 4 bars
- Des vannes de détente pour le réseau 25 bars.

### 3.2.3.3.10. Unité 460 (Air instrument)

Cette unité est conçue pour produire de l'air instrument (La consommation maximale estimée de l'air instrument est de 500 Nm<sup>3</sup>/h et le débit nominal est de 550 Nm<sup>3</sup>/h) et l'air de service. Le package du sécheur d'air est conçu pour produire 550 Nm<sup>3</sup>/h d'air instrument depuis l'air humide d'entrée de 680 Nm<sup>3</sup>/h. Le réservoir d'air humide 460-VN-301 est dimensionné pour une capacité de réserve de cinq minutes entre des pressions 5 bars et 8 bars. De la même manière, le réservoir d'air sec 460-VA-303 a été dimensionné pour vingt minutes au taux de consommation nominale à une pression entre 7 bars et 3,5 bars.

### 3.2.3.3.11. Unité 510 (Injection d'eau)

L'unité d'injection d'eau se compose de :

- Deux pompes d'injection d'eau 510PA302 A/B d'une capacité nominale de 307 m<sup>3</sup>/h et une puissance nominale de : 4000 KW.
- Un manifold d'arrivée des puits producteur d'eau de l'albien.
- Une batterie de filtre.
- Trois skid d'injection chimique.

### 3.2.3.3.12. Unité 530 (Eau de service et de lavage)

Cette unité se compose de :

Deux pompes d'alimentation en eau de lavage des dessaleurs. Les pompes aspirent de l'eau à partir d'un manifold qui collecte de l'eau douce à partir des puits producteurs d'eau.

### 3.2.3.3.13. Unité 540 (Drainage atmosphérique)

Cette unité est composée d'un réseau de drain ouvert qui sert à collecter les différentes eaux huileuses drainées au niveau des installations de traitement et des bacs de stockage et les acheminer vers la fosse 540T01. Les huiles entraînées sont récupérées par le système des rubans (écrémeurs).

### 3.2.3.3.14. Unité 560 (traitement des eaux huileuses)

Cette unité se compose de :

- Un ballon séparateur 560VS301.
- Deux pompes pour la récupération d'huile vers unité Off-spec.
- Deux pompes pour la récupération d'eau vers unité 510 (réinjection)

### 3.2.3.3.15. Unité 600 (Production d'Azote)

Le système d'azote est conçu pour délivrer 140 Nm<sup>3</sup>/h d'azote pur à 95 %. L'alimentation continue en azote de 49,4 Nm<sup>3</sup>/h est nécessaire pour les compresseurs de gaz flash BP et MP et les compresseurs de gaz de réinjection A et B. La marge de dimensionnement fournira le débit adéquat d'azote (<50 Nm<sup>3</sup>/hr) pour les besoins en purge de maintenance des stations utilitaires d'azote. Le réservoir d'azote (600-VA301).

## 3.2.4. Sous-station électrique

La puissance totale requise pour les installations ROD est de 17,33 MW (charge maximale du site en continu). Le site est alimenté en électricité par l'intermédiaire de deux câbles 60 kV provenant de la nouvelle station électrique étanche au gaz qui se trouve à 400 mètres des installations ROD. Chaque ligne est dimensionnée pour une demande en électricité estimée à 60 kV. L'estimation de la demande maximale de ROD est de 20,6 MW.

Une alimentation électrique limitée est toutefois disponible depuis le générateur turbo BRN via l'interconnexion de 5,5 kV, cette sous-station contient un groupe de secours de puissance 1250 KW.

### 3.3. Description d'un système DCS

#### 3.3.1. Historique

Les systèmes numériques de contrôle commande (DCS) ont été en usage depuis le milieu des années 1970 que les moyens de surveillance et de contrôle automatique des processus industriels complexes, telles que le traitement des eaux / eaux usées, le raffinage du pétrole, la production alimentaire et des boissons et de production d'énergie électrique.

En fait, la plupart des grandes installations industrielles et les processus ont un ou plusieurs systèmes DCS. Dans l'architecture de base de ces systèmes sont tous constitués d'un ensemble d'unités informatiques distribués (généralement entièrement redondante ou "tolérance de panne") qui sont interfacés avec l'équipement de traitement sur le terrain et qui communiquent avec les exploitants de centrales, postes de travail informatiques, par l'intermédiaire d'un réseau à haut débit local. Au fil du temps, pendant les années 1980 et 1990, en tant que microprocesseur, ordinateurs personnels et de la technologie de réseau évolué, la conception de systèmes DCS modifié pour incorporer les dernières technologies. À la fin des années 1990 et dans les années 2000 est l'Internet et les technologies Internet ont commencé à devenir intégrées dans la conception des systèmes DCS. [35]

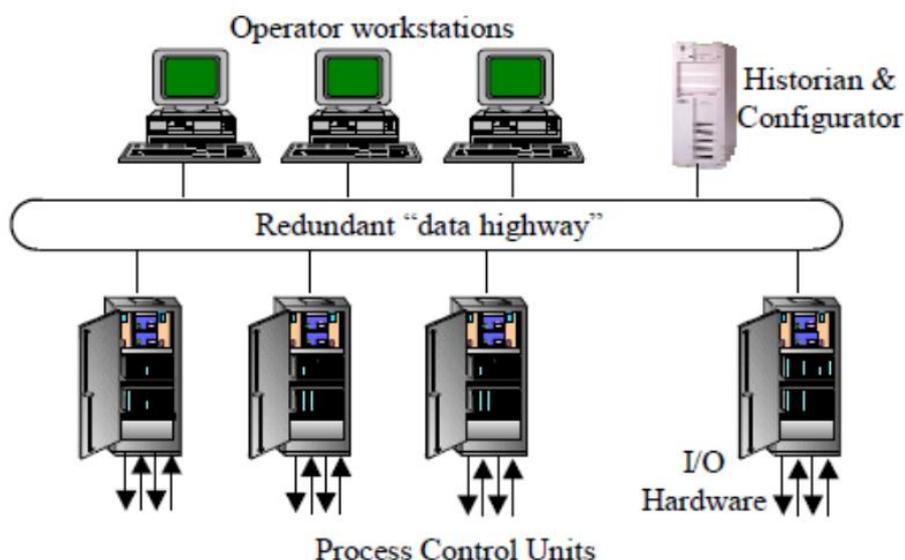


Figure 3.7 : Architecture DCS en 1970

Aujourd'hui, une usine moderne de système DCS (du côté de l'architecture) ressemble plus à un réseau informatique d'entreprise plus qu'un système de contrôle "temps réel". Mais, le fait est que DCS est un système de contrôle en temps réel et si une attaque réussie sur un tel système pourrait avoir des conséquences beaucoup plus graves et généralisées (en termes de pertes en vies humaines et les dégâts matériels) cela est plus grave comparé à une attaque sur un site Web d'entreprise. (Ces attaques DOS ne sont pas aussi nocifs).

### 3.3.2. Définition d'un système DCS

Comme son nom l'indique DCS (Distributed control system), ou système de contrôle distribué, c'est un système de supervision, de commande et de régulation de procédés qui utilise la plus récente technologie informatique.

Il gère toutes les opérations et séquences automatiques en temps réel et donne une haute vitesse de réponse aux signaux de régulation et aux commandes initiées par les opérateurs.

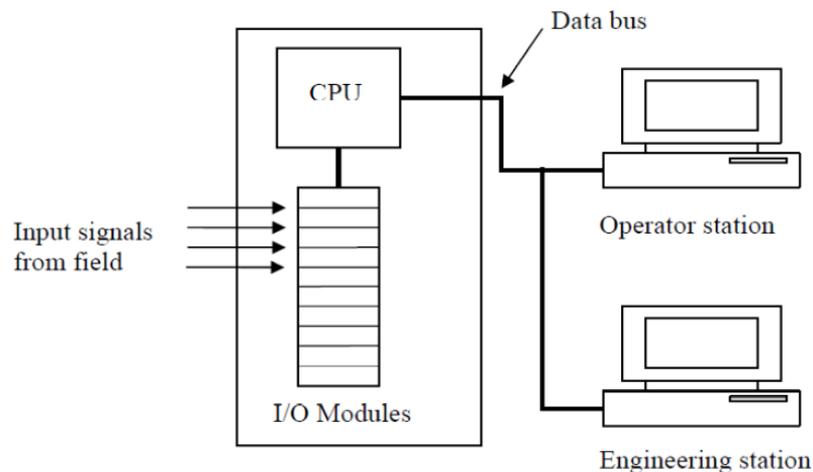
Le système de contrôle DCS assure les fonctionnalités suivantes :

- Une surveillance efficace : le DCS fournit différents types d'alarmes (niveau max atteint, niveau minimum atteint, fuite, feu...), et aussi à différents niveaux (Low, High, Emergency) suivant l'importance de l'anomalie.
- Le contrôle en temps réel de toutes les opérations à l'aide de vannes automatiques fonctionnant à l'air comprimé.
- Le DCS s'occupe aussi de l'application des procédures de démarrage compliquées, comme celle des turbines, et les applique étape par étape. Cela économise un long travail des opérateurs.
- Le DCS exécute aussi les procédures d'arrêt d'urgence en cas d'anomalie importante (comme un incendie par exemple).

### 3.3.3. Description matérielle (HARDWARE)

Le système DCS se compose au minimum des éléments suivants :

- Contrôleur : Il se compose de module entrées / sorties, CPU et bus de communication.
- Poste de conduite : Il s'agit essentiellement d'interfaces homme machine avec moniteur, l'homme opérateur peut visualiser le processus dans l'usine et vérifier si une alarme est présente et il peut modifier un paramètre, imprimer des rapports, etc...
- Station d'ingénierie (Serveur) : Il est utilisé pour développer la logique de contrôle en fonction des entrées/sorties des contrôleurs, ainsi que le développement des vues graphiques qui servent à la conduite du process par les opérateurs.



**Figure 3.8 :** Configuration de base de système DCS

### 3.3.4. Description logicielle (SOFTWARE)

#### 3.3.4.1. Système d'exploitation

Tous les anciens systèmes DCS originaux (1970s/80s) tournait sur des ordinateurs avec des systèmes d'exploitation propriétaires, fournisseurs avancés, en particulier dans les contrôleurs de processus. Puis, dans les années 1980, des systèmes d'exploitation « standards » sont devenus disponibles dans le commerce tels que UNIX et VAX / VMS et ont permis aux fournisseurs de DCS à les utiliser dans des parties choisies de leurs systèmes et les plates-formes des systèmes d'exploitation embarqués des microprocesseurs sont devenues disponibles pour les contrôleurs de processus.

Dans les années 1990, la grande majorité des postes opérateurs ont migré vers PC / technologie de Microsoft (en particulier avec l'introduction de Windows-NT.). Ceci a permis le développement et le soutien des systèmes soient fait beaucoup plus facilement. Mais cela a également permis à une grande base de personnes de connaître beaucoup de choses sur le fonctionnement de base des systèmes basés sur cette technologie commerciale. [36]

#### 3.3.4.2. Les logiciels et langage de programmation utilisés

Les logiciels qui sont utilisés pour le développement de système de contrôle sont :

- FORTRAN
- Logique Combinatoire
- MATLAB

Langage de programmation :

- C
- C++
- Visuel basic

### 3.4. HPM à BRN

#### 3.4.2. Définition

High-Performance Process Manager (HPM) est conçu pour fournir des capacités d'analyse et de contrôle de processus flexibles et puissantes. Pour ce faire, il utilise une puissante architecture multiprocesseur puissante avec des microprocesseurs séparés dédiés à l'exécution de tâches spécifiques. Comme le montre le diagramme de haut niveau suivant, Le HPM se compose de deux composants principaux :

- High-Performance Process Manager Module (HPMM).
- Sous système d'E/S.



Figure 3.9 : HPM (High-Performance Process Manager)

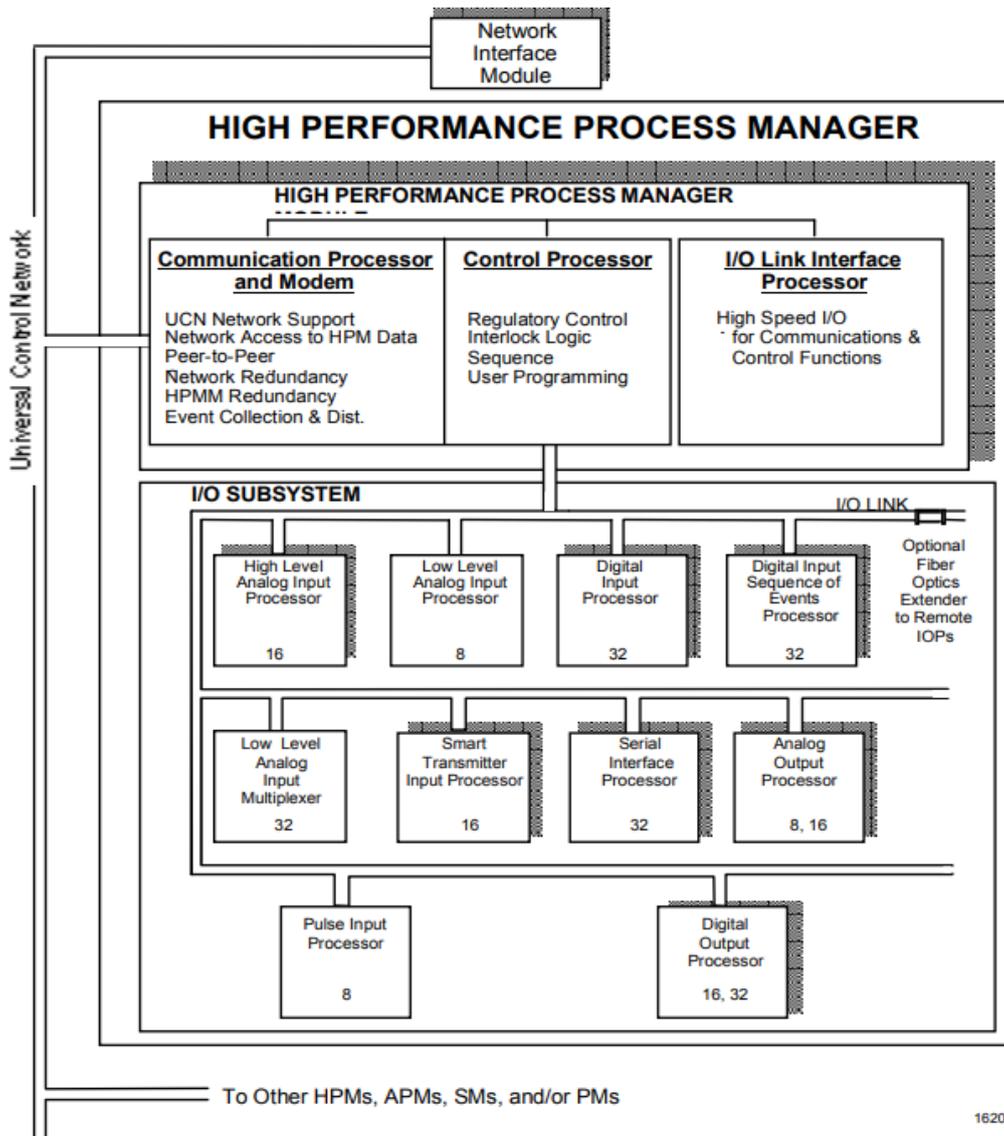


Figure 3.10 : Managers processus

### 3.4.3. HPM Module

#### 3.4.3.1. HPMM éléments

Le module High-Performance Process Manager (HPMM), tel qu'illustré dans le diagramme détaillé suivant, se compose de trois éléments de base :

- Processeur de communication et le modem.
- Processeur d'interface de liaison E/S.
- Processeur de contrôle.

La redondance peut être fournie en option et serait représenté ici comme un quatrième élément de base du HPMM.

#### 3.4.3.2. Processeur de communication

Le processeur de communication est optimisé pour fournir des communication réseau haute performance, gérant des fonctions telles que l'accès aux données réseau et les communications de pair à pair.

#### 3.4.3.3. Processeur de contrôle

Le processeur de contrôle est la ressource HPM dédiée à l'exécution des fonctions réglementaires, logiques et séquentielles, y compris une puissante facilité de programmation utilisateur. Etant donné que le traitement des communications et des E/S est effectué par du matériel dédié séparé, toute la puissance du processeur de contrôle peut être utilisée pour la mise en œuvre de la stratégie de contrôle.

#### 3.4.3.4. Processeur d'interface de liaison E/S

L'interface de liaison E/S est le lien avec le sous-système d'E/S.

### 3.4.4. Le sous-système d'E/S

#### 3.4.4.1. Eléments du sous-système d'E/S

Le sous-système d'E/S, se compose de deux éléments de base :

- Une liaison E/S redondante.
- Des processeurs E/S

#### 3.4.4.2. Numération d'E/S sur le terrain

Les processeurs E/S (IOP), en collaboration avec les ensembles de terminaison sur le terrain (FTA), effectuent la numérisation des entrées et des sorties, ainsi que le traitement de toutes les E/S sur le terrain. Une liaison E/S redondante est standard pour une sécurité accrue.

**3.4.4.3. Le traitement des E/S**

Les processeurs E/S gèrent toutes les E/S sur le terrain, à la fois pour l’acquisition de données et les fonctions de contrôle. Ils fournissent des fonctions telles que la conversion des unités d’ingénierie et la vérification des limites d’alarme indépendamment du HPMM. Tout le traitement des E/S (par exemple, l’acquisition de données) est effectué séparément des fonctions de traitement du contrôle, de sorte que les taux de numérisation des E/S sont complètement indépendants de la quantité d’E/S, de la charge du contrôleur, du traitement et des alarmes. La partition des besoins en traitement permet une utilisation plus efficace des capacités du processeur de contrôle et une intégration future de types de processeurs E/S supplémentaires. [37]

**3.4.4.4. Types d’E/S**

Types	E/S
<b>Analog Input</b>	16 Point, High Level—Analog Input
	8 Point, Low Level—Analog Input
<b>Analog Output</b>	8 Point, Analog Output
	16 Point, Analog Output
<b>Digital Input</b>	32 Point, Digital Input
	32 Point, Sequence of Events—Digital Input
<b>Digital Output</b>	16 Point, Digital Output
	32 Point, Digital Output
<b>Special Purpose</b>	Fieldbus (4 segments, 10 devices each)
	16 Point, Smart Transmitter Interface
	32 Point, Low Level—Multiplexer
	8 Point, Pulse Input
	32 Point, Serial Interface
	16 Point, Serial Device Interface

### 3.4.4.5. Les plaques bornier (FTA : Field Termination Assemblies)

Toutes les connexions vers et en provenance du procédé se font par les plaques borniers (field termination assembly). Ces borniers sont reliés aux processeurs d'entrées/sorties par des câbles pouvant aller jusqu'à 50 mètres.



**Figure 3.11** : FTA (Field Termination Assembly)

Le rôle de plaques borniers est :

- La connexion.
- La conversion courant/tension et tension/courant.
- Protection contre les surtensions.
- Fusibles.
- Limitation de courant.
- Alimentation des transmetteurs en 24 v.
- Isolation galvanique

### 3.4.5. Théorie du fonctionnement du traitement de contrôle.

#### 3.4.5.1. Fonctions de contrôle

##### 3.4.5.1.1. Background

Le HPM offre une variété d'outils de contrôle qui peuvent être personnalisés pour répondre à un large éventail de besoins en automatisation des processus. Des fonctions allant de la numérisation des entrées/sorties, en passant par le contrôle régulateur et logique, jusqu'à des contrôles plus avancés peuvent être facilement implémentées à travers le HPM. La boîte à outils du HPM comprend un package de contrôle régulateur sophistiqué, des fonctions logiques d'interverrouillage entièrement intégrées, et un langage de contrôle orienté ingénieur de processus avancé (CL/HPM). Le CL/HPM est une version améliorée du langage de contrôle mis en œuvre par Honeywell dans le contrôleur multifonction, le gestionnaire de processus et le module d'application. Cette facilité de langage comprend les structures de séquence nécessaires pour gérer les applications par lots ou hybrides, ainsi que la capacité de calcul nécessaire pour certaines tâches de contrôle continu. La clé de la puissance de cette capacité de contrôle est que chacune des fonctions partage librement les données à l'intérieur du HPM et peut partager des données avec d'autres appareils sur le réseau de contrôle universel.

##### 3.4.5.1.2. Types de points HPMM

Les types de points suivants résident dans le HPMM :

- PV de régulation
- Contrôle régulateur
- Composite numérique
- Logique
- Tableau
- Module de processus
- Contrôle de dispositif
- Drapeau de boîte, numérique et minuterie

##### 3.4.5.1.3. Implémentation des applications de contrôle

Les éléments fonctionnels distincts du HPM sont utilisés pour implémenter différentes parties de boucles de contrôle typiques et de stratégies de contrôle. Chacun de ces éléments fonctionnels peut se voir attribuer un nom de point défini par l'utilisateur pour permettre une référence indépendante de l'emplacement aux données associées à cette fonction. Par exemple, des points sont attribués par l'utilisateur pour les emplacements d'entrée analogique et de sortie analogique. Les données du processeur d'E/S (plage d'unités d'ingénierie pour les entrées, option de caractérisation pour les sorties, etc.) sont configurées dans le cadre du processus de construction de points pour ces points. Un point séparé serait configuré pour chaque slot de contrôle régulateur (RegCtl) qui serait lié aux points d'E/S analogiques attribués par le biais de connexions d'entrée/sortie.

### 3.4.5.1.4. Forme de point

Le HPM fournit un paramètre configurable appelé PNTFORM (Forme de point) qui permet à l'utilisateur de définir quels points doivent être utilisés comme interface opérateur principale pour les données de point. Le paramètre PNTFORM offre à l'utilisateur deux choix de forme de point : "Complet" et "Composant". Les points configurés avec la forme de point "Complet" comprennent des paramètres liés aux alarmes et parfois d'autres paramètres divers. Cette information est nécessaire lorsque le point doit être utilisé comme interface opérateur principale pour les données du point.

### 3.4.6. Avantages de HPM à BRN

Le HPM (High Performance Process Manager) peut apporter de nombreux avantages significatifs au champ pétrolière de (BRN). Voici quelques exemples concrets :

#### 3.4.6.1. Amélioration de la production de pétrole

- **Identification et élimination des goulots d'étranglement** : Le HPM permet d'identifier les goulots d'étranglement dans les processus de production, tels que les inefficacités des puits, les problèmes de maintenance ou les retards dans les opérations de transport. En corrigeant ces goulots d'étranglement, le HPM peut contribuer à augmenter la production de pétrole de manière significative.
- **Optimisation de l'injection d'eau et des techniques de récupération améliorée du pétrole (EOR)** : Le HPM peut aider à optimiser les stratégies d'injection d'eau et d'EOR en analysant en temps réel les données de production et en fournissant des recommandations précises pour ajuster les paramètres d'injection. Cela peut conduire à une meilleure récupération du pétrole et à une prolongation de la durée de vie du champ.

#### 3.4.6.2. Réduction des coûts d'exploitation

- **Minimisation des temps d'arrêt non planifiés** : Le HPM peut prédire les pannes potentielles des équipements et des installations en analysant les données de maintenance et les signaux de performance. Cela permet de mettre en œuvre des actions préventives et de réduire les temps d'arrêt non planifiés, ce qui se traduit par des économies de coûts importantes.
- **Optimisation de la consommation d'énergie** : Le HPM peut identifier les domaines où la consommation d'énergie est excessive et suggérer des mesures d'optimisation, telles que l'ajustement des paramètres de fonctionnement des pompes ou l'utilisation de technologies d'éclairage plus économes en énergie. Cela peut entraîner une réduction significative des coûts énergétiques.
- **Amélioration de l'efficacité de la maintenance** : Le HPM peut fournir des informations précieuses pour planifier et optimiser les activités de maintenance, en identifiant les équipements qui nécessitent une attention particulière et en prévoyant les pièces de rechange nécessaires. Cela peut améliorer l'efficacité de la maintenance et réduire les coûts associés.

### 3.4.6.3. Amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement

- **Détection précoce des fuites et des incidents environnementaux :** Le HPM peut surveiller les paramètres environnementaux, tels que les niveaux de gaz et les déversements d'hydrocarbures, et alerter les opérateurs en cas d'anomalie. Cela permet une intervention rapide pour limiter les dommages environnementaux et assurer la sécurité des travailleurs.
- **Optimisation des processus de gestion des déchets :** Le HPM peut aider à optimiser les processus de gestion des déchets en identifiant les sources de déchets, en quantifiant les volumes et en suggérant des solutions de traitement plus efficaces. Cela peut réduire l'impact environnemental du champ pétrolifère et contribuer à une production plus durable.

### 3.4.6.4. Amélioration de la prise de décision et de la gestion du champ

- **Fourniture de données et d'analyses en temps réel :** Le HPM collecte et analyse de grandes quantités de données en temps réel provenant de divers capteurs et systèmes du champ pétrolifère. Ces données fournissent aux gestionnaires une vision complète des opérations et leur permettent de prendre des décisions éclairées pour optimiser la production, réduire les coûts et améliorer la sécurité.
- **Modélisation prédictive et simulation de scénarios :** Le HPM peut être utilisé pour créer des modèles prédictifs qui permettent d'anticiper les tendances de production, les risques potentiels et les impacts des changements de conditions. Cela permet aux gestionnaires de simuler différents scénarios et de prendre des décisions stratégiques pour l'avenir du champ.

### 3.4.6.5. Renforcement de la collaboration et de la communication

- **Plateforme centralisée pour le partage des données :** Le HPM fournit une plateforme centralisée pour collecter, stocker et partager les données de production, de maintenance et de sécurité avec tous les intervenants du champ. Cela favorise une meilleure collaboration entre les équipes et une communication plus transparente.
- **Amélioration de la visibilité et de la responsabilisation :** Le HPM permet de suivre les performances individuelles et d'équipe, ce qui améliore la visibilité et la responsabilisation au sein de l'organisation. Cela peut motiver les employés à s'engager dans des initiatives d'amélioration continue.

### 3.4.7. Inconvénients du HPM existant à BRN

Le HPM existant à BRN peut présenter plusieurs inconvénients qui limitent son efficacité et justifient son remplacement :

- **Obsolescence technologique :** Les technologies évoluent rapidement et le HPM existant pourrait être obsolète. Un HPM obsolète peut avoir des difficultés à gérer les volumes croissants de données générés par le champ pétrolifère, ce qui entrave l'analyse et la prise de décision en temps réel.
- **Limitations de performance :** Le HPM existant pourrait avoir des limitations en termes de vitesse de traitement, de capacité de mémoire ou de fonctionnalités d'analyse. Ces limitations peuvent l'empêcher de fournir des informations et des analyses en temps réel nécessaires pour une optimisation efficace de la production.
- **Manque de flexibilité et d'évolutivité :** Les besoins du champ pétrolifère de BRN peuvent évoluer au fil du temps. Le HPM existant pourrait ne pas être suffisamment flexible pour s'adapter à de nouvelles technologies d'exploitation, à des techniques de récupération améliorée du pétrole (EOR) plus avancées, ou à des exigences de conformité réglementaire plus strictes.
- **Fiabilité et sécurité limitées :** Le HPM existant pourrait être sujet à des pannes ou des problèmes de sécurité. Cela peut entraîner des pertes de données critiques, des interruptions de production et des risques pour la sécurité des travailleurs et de l'environnement.
- **Coûts d'exploitation et de maintenance élevés :** Un HPM obsolète peut entraîner des coûts d'exploitation et de maintenance élevés. Le manque de support technique pour un modèle plus ancien peut également augmenter les difficultés de maintenance.
- **Difficultés d'intégration avec d'autres systèmes :** Le HPM existant pourrait ne pas être facilement intégré avec d'autres systèmes informatiques utilisés à BRN, tels que les systèmes de gestion de la production (PGM) ou les systèmes de comptabilité. Cela peut créer des silos de données et entraver une vue d'ensemble des opérations du champ pétrolifère.

### 3.4.8. Analyse des performances

#### 3.4.8.1. Identification des Sources de Données

##### 3.4.8.1.1. Capteurs

##### Température :

**T1 :** Capteur de température sur le réacteur principal (**R1**)

**T2 :** Capteur de température sur le réacteur secondaire (**R2**)

### Pression :

**P1** : Capteur de pression sur la conduite principale d'injection (**C1**)

**P2** : Capteur de pression sur la conduite de production (**C2**)

### Débit :

**F1** : Capteur de débit à l'entrée de la pompe principale (**P1**)

**F2** : Capteur de débit à la sortie de la pompe secondaire (**P2**)

#### **3.4.8.1.2. Système de contrôle**

- **Process Manager (PM)**
- **Advanced Process Manger (APM)**

#### **3.4.8.1.3. Base de données**

- **HPM1** : Base de données principale pour les données historiques (6 derniers mois)
- **HPM2** : Base de données secondaire pour la redondance et la sauvegarde

#### **3.4.8.2. Configuration des Points de Données**

### Point de mesure :

- **Température** : T1 (R1), T2 (R2)
- **Pression** : P1 (C1), P2 (C2)
- **Débit** : F1 (P1), F2 (P2)

### Périodicité :

- **Température** : Échantillonnage toutes les minutes
- **Pression** : Échantillonnage toutes les minutes
- **Débit** : Échantillonnage toutes les minutes

### Format :

- Données enregistrées en format **CSV** pour les analyses immédiates
- Stockage long terme en format **JSON** pour les analyses immédiates

### Automatisation :

- Configuration du **HPM** pour collecter automatiquement les données de chaque capteur.

### Communication :

- Utilisation du **Universal Control Network (UCN)** pour la transmission des données entre les capteurs, les contrôleurs et les modules.

### 3.4.8.3. Vérification de la Qualité des Données

#### Validité :

Mise en place de filtres pour éliminer les valeurs hors des plages acceptables :

**Température** : 0°C à 300°C

**Pression** : 0 bar à 10 bar

**Débit** : 0 L/min à 500 L/min

#### Complétude :

- Contrôle quotidien pour s'assurer qu'aucune donnée n'est manquante pour chaque point de mesure.

#### Consistance :

- Comparaison des données de température et de pression pour détecter les incohérences éventuelles.

### 3.4.8.4. Traitement et Stockage

#### Traitement :

- Filtrage des valeurs aberrantes détectées (valeurs qui dévient significativement des tendances historiques).
- Agrégation des données en moyenne horaire et quotidienne pour les rapports

#### Stockage :

- Données brutes et agrégées stockées sur le serveur **SQL (Structured Query Language)** principal.
- Backup hebdomadaire sur un serveur de stockage secondaire.

### 3.4.8.5. Sécurité et Surveillance

#### Sécurité :

- Mise en place de pare-feu et de systèmes de détection des intrusions (**IDS**).
- Chiffrement des données en transit et au repos.

#### Surveillance :

- Tableau de bord en temps réel affichant les données collectées et les alertes en cas d'anomalies.
- Alertes configurées pour des dépassements de seuils critiques (**température > 250°C, pression > 8 bar**).

### 3.4.8.6. Données collectées

Période	Source	Température moyenne		Pression moyenne		Débit moyen	
		T1	T2	P1	P2	F1	F2
Janvier-Juin	HPM1/HPM2	120°	125°	6 bar	6.2 bar	200L/min	210L/min

### 3.4.8.7. Indicateurs de performances clés

Disponibilité du système	Précision des données	Temps de réponse	Taux de données manquantes	Consommation énergétique
98.5 %	99.2 %	2.1 secondes	0.3 %	1500 kWh

### 3.4.9. Evaluation des performances

Disponibilité du système		Précision des données		Temps de réponse		Taux de données manquantes		Consommation énergétique	
Objectif	Résultat	Objectif	Résultat	Objectif	Résultat	Objectif	Résultat	Objectif	Résultat
> 99 %	98.5 %	> 99 %	99.2 %	< 2 sec	2.1 sec	< 0.5 %	0.3 %	1450 kWh sur 6 mois	1500 kWh

#### Analyse :

- Le système a été opérationnel **98.5%** du temps, légèrement en dessous de l'objectif. Les interruptions ont été principalement dues à des maintenances programmées et à des pannes de capteurs.
- La précision des données collectées est satisfaisante, avec seulement **0.8%** des données considérées comme inexactes ou corrompues.
- Le temps de réponse moyen est légèrement supérieur à l'objectif, ce qui pourrait affecter la réactivité du système de contrôle en cas de changements rapides des conditions de processus.
- Le taux de données manquantes est bien en dessous de l'objectif, indiquant une fiabilité élevée du système de collecte de données.
- La consommation énergétique est légèrement inférieure à l'objectif, ce qui est positif pour l'efficacité énergétique du système.

## 3.5. Proposition de mise à jour vers le contrôleur C300

### 3.5.1. Définition

Le contrôleur **C300** est un système de gestion des performances (**HPM**) de nouvelle génération conçue pour les industries pétrolières et gazières exigeantes. Il offre une architecture puissante, une flexibilité accrue, une fiabilité renforcée et des fonctionnalités d'analyse avancées pour optimiser les opérations de production et la prise de décision.

### 3.5.2. Architecture et performances



**Figure 3.12** : Contrôleur C300

- **Processeur multicœur haute performance** : Le contrôleur C300 est doté d'un processeur multicœur haute performance qui offre une vitesse de traitement et une capacité de calcul supérieures. Cela permet de gérer efficacement les volumes croissants de données provenant de capteurs, de systèmes et d'équipements divers sur le champ pétrolifère.
- **Mémoire extensible** : Le contrôleur C300 dispose d'une mémoire extensible qui peut être augmentée en fonction des besoins en stockage et en analyse de données. Cela permet de répondre aux exigences croissantes en matière de données et de conserver l'intégrité des informations critiques.

- **Système d'exploitation temps réel (RTOS) :** Le contrôleur C300 utilise un RTOS qui garantit une réponse rapide et déterministe aux événements critiques, même dans des environnements industriels complexes. Cela permet un contrôle précis et une réaction immédiate aux changements de conditions, ce qui est crucial pour la sécurité et l'efficacité des opérations. [38]

### 3.5.3. Flexibilité et évolutivité

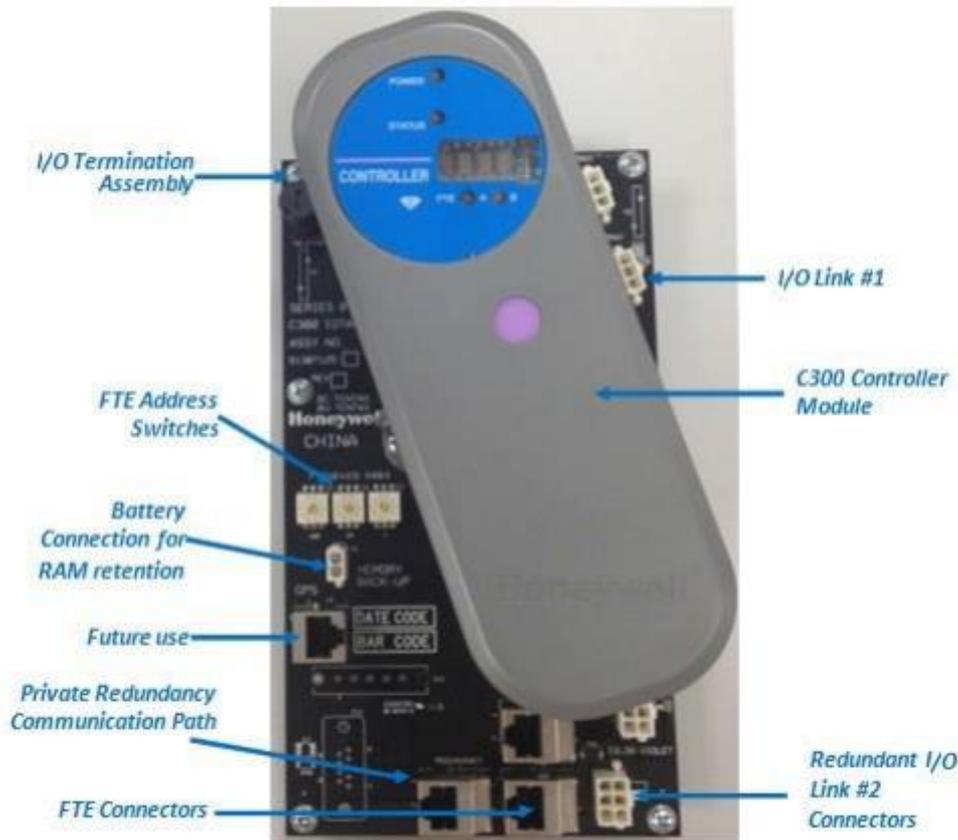


Figure 3.13 : Fonctionnalités de la carte IOTA du contrôleur C300

- **Interfaces de communication polyvalentes :** Le contrôleur C300 offre une large gamme d'interfaces de communication standard, telles qu'Ethernet, Modbus et Profibus, permettant une intégration facile avec divers capteurs, systèmes et équipements présents sur le champ pétrolier. Cela favorise une communication transparente et une collecte de données centralisée.
- **Outils de développement intuitifs :** Le contrôleur C300 est accompagné d'outils de développement intuitifs qui facilitent la configuration, la personnalisation et la maintenance du système. Cela permet aux utilisateurs d'adapter le contrôleur C300 aux besoins spécifiques du champ pétrolier et de répondre aux exigences évolutives.

- **Capacité de mise à niveau logicielle :** Le contrôleur C300 offre une capacité de mise à niveau logicielle, permettant d'intégrer de nouvelles fonctionnalités et de s'adapter aux avancées technologiques futures. Cela garantit que le système reste performant et à jour tout au long de son cycle de vie.

### 3.5.4. Fiabilité et sécurité

- **Conception robuste :** Le contrôleur C300 est conçu pour résister aux environnements industriels exigeants, avec des composants de haute qualité et une protection contre les conditions extrêmes telles que les températures élevées, les vibrations et les interférences électromagnétiques.
- **Fonctionnalités de sécurité avancées :** Le contrôleur C300 intègre des fonctionnalités de sécurité avancées, telles que le contrôle d'accès, le cryptage des données et la protection contre les cyberattaques. Cela garantit la confidentialité des données sensibles, l'intégrité des systèmes et la sécurité des opérations.
- **Redondance et tolérance aux pannes :** Le contrôleur C300 peut être configuré avec des systèmes redondants pour assurer une disponibilité continue et une protection contre les pannes critiques. Cela minimise les temps d'arrêt non planifiés et garantit la continuité des opérations de production.

### 3.5.5. Fonctionnalités d'analyse avancées

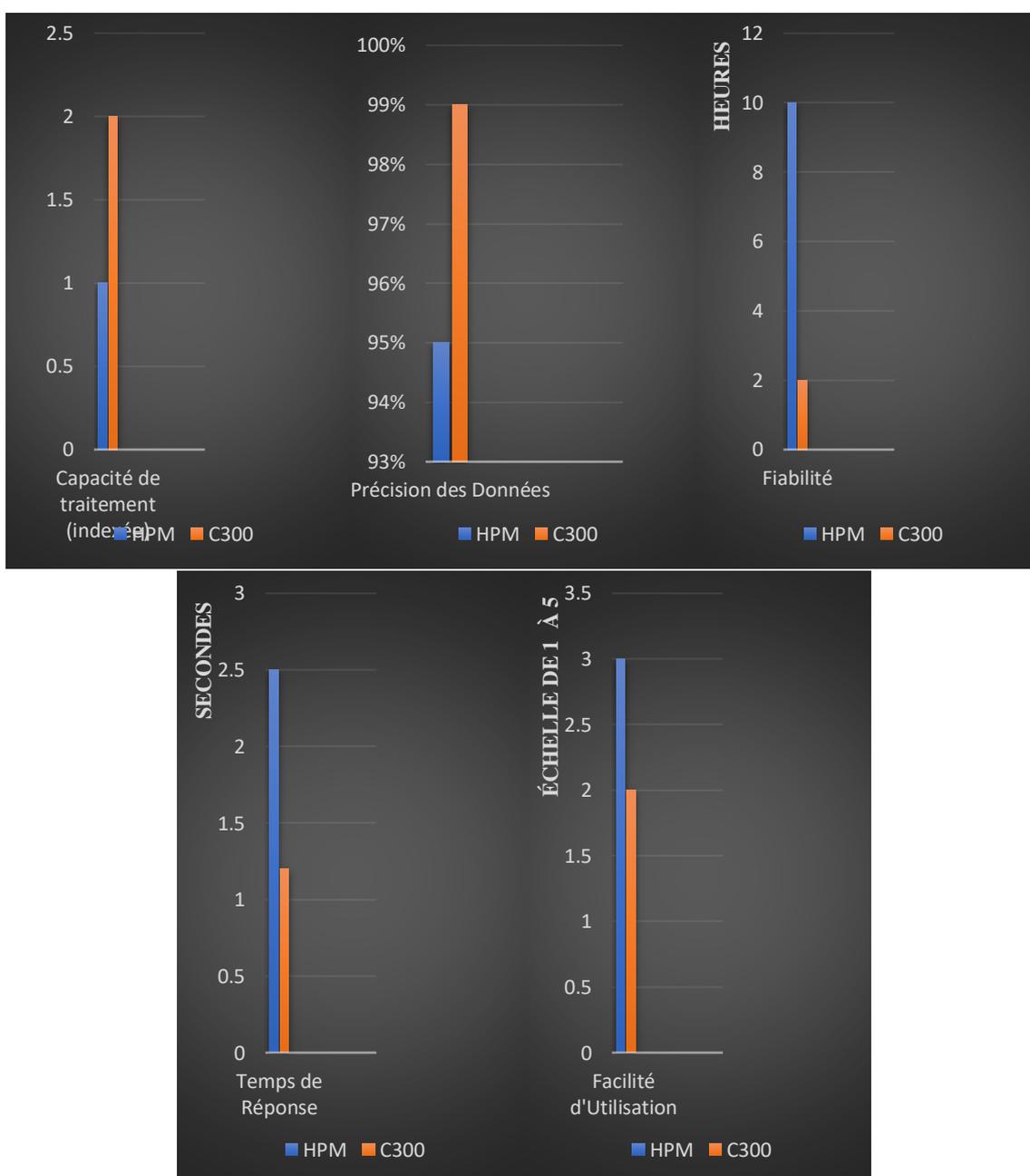
- **Collecte et analyse de données en temps réel :** Le contrôleur C300 collecte et analyse de grandes quantités de données en temps réel provenant de divers capteurs, systèmes et équipements sur le champ pétrolifère. Cela fournit une vue complète et instantanée des performances de production, permettant une identification rapide des problèmes et une prise de décision éclairée.
- **Modélisation prédictive et simulation de scénarios :** Le contrôleur C300 permet de créer des modèles prédictifs qui analysent les tendances historiques et les données en temps réel pour anticiper les performances futures, les risques potentiels et les impacts des changements de conditions. Cela permet aux gestionnaires de simuler différents scénarios et de prendre des décisions stratégiques pour optimiser la production, réduire les coûts et minimiser les risques.
- **Optimisation des processus de production :** Le contrôleur C300 utilise des algorithmes d'optimisation avancés pour identifier et éliminer les goulots d'étranglement dans les processus de production, améliorer l'efficacité des opérations et maximiser la récupération du pétrole.
- **Gestion de l'énergie et réduction des émissions :** Le contrôleur C300 peut analyser la consommation d'énergie et identifier les opportunités d'optimisation

### 3.5.6. Migration de HPM à C300

#### 3.5.6.1. Raison de la Mise à jour

Fonctionnalités	HPM	C300
Capacité de traitement	Limitée	Élevée
Support de protocoles	Restreint	Étendu
Fiabilité	Modérée	Haute
Interface utilisateur	Basique	Avancée
Support et maintenance	Obsolète	Actif

#### 3.5.6.2. Avantages Attendus



### Processeurs Plus Rapides :

- **C300** : Utilise un processeur Intel Core i7 de 7e génération, offrant une puissance de traitement élevée et une meilleure gestion des tâches multitâches.
- **HPM** : Utilise un processeur Motorola 68000, moins performant et dépassé, limitant la vitesse de traitement et la capacité de gestion des tâches complexes.

### Mémoire Vive (RAM) :

- **C300** : Équipé de 16 Go de RAM, permettant le traitement simultané de nombreuses tâches sans ralentissement.
- **HPM** : Dispose de 512 Mo à 1 Go de RAM, limitant la capacité de gestion des processus et ralentissant le traitement des données.

### Stockage :

- **C300** : Inclut un disque SSD de 256 Go, offrant une vitesse de lecture/écriture rapide et une fiabilité accrue.
- **HPM** : Utilise un disque dur traditionnel de 20 Mo, plus lent et sujet aux pannes.

### Redondance Matérielle :

- **C300** : Conçu avec des configurations redondantes pour les alimentations, les processeurs et les modules de communication, assurant une disponibilité continue.
- **HPM** : Offre une redondance limitée, augmentant le risque de temps d'arrêt en cas de panne matérielle.

### Interfaces de Communication :

- **C300** : Équipé de ports Ethernet gigabit et de modules de communication sans fil, facilitant l'intégration avec les réseaux modernes.
- **HPM** : Utilise des ports série RS-232/485, moins rapides et moins compatibles avec les technologies de réseau actuelles.

### Capteurs et Entrées/Sorties :

- **C300** : Supporte les capteurs numériques modernes et dispose de nombreuses entrées/sorties (I/O) modulaires, permettant une extension facile.
- **HPM** : Limité aux capteurs analogiques et aux entrées/sorties fixes, réduisant la flexibilité et l'extensibilité du système.

### Sécurité :

- **C300** : Intègre des mécanismes de sécurité avancés, y compris le chiffrement des données, les pare-feux intégrés et les systèmes de détection d'intrusion.
- **HPM** : Dispose de mesures de sécurité basiques, rendant le système plus vulnérable aux cyberattaques.

### Interface Utilisateur :

- **C300** : Interface graphique moderne avec écrans tactiles haute résolution, offrant une meilleure expérience utilisateur et facilitant la gestion des processus.
- **HPM** : Interface utilisateur basique et moins intuitive, nécessitant une formation approfondie pour les opérateurs.

### Consommation Énergétique :

- **C300** : Conception écoénergétique, réduisant la consommation d'énergie et les coûts opérationnels.
- **HPM** : Consommation énergétique plus élevée en raison de l'utilisation de composants moins efficaces.

### Maintenance et Support :

- **C300** : Capacités de diagnostic avancées et support technique 24/7, facilitant la maintenance proactive et la résolution rapide des problèmes.
- **HPM** : Diagnostic limité et support technique restreint, compliquant la maintenance et augmentant les temps de réparation.

### 3.5.7. Avantages de la mise à jour vers le contrôleur C300 pour BRN

Le remplacement du **HPM** existant par le contrôleur C300 à BRN apportera de nombreux avantages significatifs pour la production de pétrole, la réduction des coûts, l'amélioration de la sécurité et la prise de décision éclairée. Voici quelques exemples concrets :

- **Amélioration de la performance de production :**
  - Le C300 permettra une analyse et un contrôle en temps réel plus rapides des vastes volumes de données générés par le champ pétrolier, facilitant l'identification et l'élimination des goulots d'étranglement.
  - L'optimisation des stratégies d'injection d'eau et des techniques EOR grâce aux analyses avancées du C300 conduira à une meilleure récupération du pétrole.
- **Réduction des coûts d'exploitation :**
  - La maintenance prédictive du C300 permettra de minimiser les temps d'arrêt non planifiés et de réduire les coûts de maintenance.
  - L'optimisation de la consommation d'énergie grâce à l'analyse et aux suggestions du C300 se traduira par des économies de coûts énergétiques.
- **Amélioration de la sécurité et de la protection de l'environnement :**
  - La détection précoce des fuites et des incidents environnementaux par le C300 permettra une intervention rapide et limitera les dommages environnementaux.
  - L'optimisation des processus de gestion des déchets grâce aux informations du C300 contribuera à une production plus durable.

- **Prise de décision éclairée et gestion optimisée du champ :**
  - Le C300 fournira aux gestionnaires de BRN une vision complète des opérations en temps réel grâce à la collecte et l'analyse des données.
  - Les modèles prédictifs et la simulation de scénarios basés sur le C300 permettront d'anticiper les tendances, les risques et de prendre des décisions stratégiques pour l'avenir du champ.
- **Amélioration de la collaboration et de la communication :**
  - Le C300 agira comme une plateforme centralisée pour le partage des données de production, de maintenance et de sécurité, favorisant une meilleure collaboration entre les équipes.

### 3.5.8. Plan de mise en œuvre

La mise en œuvre du contrôleur C300 à BRN nécessitera une planification et une exécution minutieuses. Voici les étapes clés du plan de mise en œuvre :

- **Évaluation des besoins et analyse de compatibilité :** Une évaluation approfondie des besoins spécifiques de BRN sera effectuée pour déterminer la configuration optimale du C300. La compatibilité du C300 avec les systèmes et équipements existants sera également analysée.
- **Formation et préparation du personnel :** Un programme de formation sera mis en place pour familiariser le personnel de BRN avec le fonctionnement et l'utilisation du C300. Cela garantira une exploitation efficace et une utilisation optimale des fonctionnalités du système.
- **Installation et configuration du système :** Le contrôleur C300 sera installé sur site et configuré en fonction des besoins spécifiques de BRN. Cela comprendra la connexion aux capteurs, systèmes et équipements existants.
- **Migration des données et tests de validation :** Les données historiques du HPM existant seront migrées vers le C300 de manière sécurisée et fiable. Des tests approfondis seront effectués pour valider le fonctionnement du C300 et s'assurer qu'il répond aux attentes.
- **Mise en service et support technique :** Une fois la mise en œuvre terminée, le C300 sera mis en service et un support technique continu sera assuré par le fournisseur du système.

## 3.6. Conclusion

Le champ pétrolifère de Bir-Rebaa-Nord (BRN) peut optimiser ses performances en remplaçant son HPM actuel par le contrôleur C300. Ce système moderne offre une architecture performante, une flexibilité accrue, une fiabilité renforcée et des analyses avancées pour une gestion efficace du champ, une production accrue, une réduction des coûts et une prise de décision éclairée. L'investissement dans le C300 s'avère judicieux pour maximiser le potentiel de BRN et assurer sa réussite future.

# **CONCLUSION GENERALE**

Ce mémoire a exploré l'évolution des systèmes de contrôle, les différents types existants et leur application concrète à travers l'étude de cas du champ pétrolifère de Bir-Rebaa-Nord (BRN).

Le premier chapitre a retracé l'histoire des systèmes de contrôle, depuis les premiers modèles mécaniques jusqu'aux systèmes numériques sophistiqués d'aujourd'hui. L'accent a été mis sur les progrès technologiques qui ont permis l'évolution des systèmes de contrôle et leur impact sur l'industrie.

Le deuxième chapitre a présenté une classification détaillée des différents types de systèmes de contrôle, en mettant en avant leurs caractéristiques, leurs avantages et leurs applications. Cette analyse a permis de comprendre la diversité des systèmes de contrôle et leur capacité à répondre à des besoins spécifiques.

Le troisième chapitre, centré sur l'étude de cas de BRN, a illustré l'application concrète des systèmes de contrôle dans un contexte réel. L'analyse du HPM existant et la proposition d'optimisation vers le contrôleur C300 ont démontré les enjeux et les opportunités liées à l'utilisation de systèmes de contrôle performants dans l'industrie pétrolière.

En conclusion, ce mémoire a souligné l'importance des systèmes de contrôle dans la gestion efficace des processus industriels. Leur évolution constante et leur diversité permettent de répondre à des besoins de plus en plus complexes, contribuant ainsi à l'optimisation des performances, à la réduction des coûts et à l'amélioration de la sécurité. L'étude de cas de BRN a illustré concrètement ces avantages et a mis en lumière le potentiel du contrôleur C300 pour optimiser les opérations du champ pétrolifère.

Ce mémoire constitue une contribution à la compréhension des systèmes de contrôle et de leur rôle crucial dans l'industrie moderne. Les connaissances acquises peuvent être appliquées à d'autres domaines et contribuer à l'amélioration continue des processus de gestion et de contrôle.

# ***BIBLIOGRAPHIE***

- [1] "The History of Automatic Control" par Bernard S. Levine (2000)  
(<https://ieeexplore.ieee.org/document/506394>)
- [2] "The Early History of Automation" par Melvyn Kranzberg (1983)  
(<https://ieeexplore.ieee.org/document/9465055>)
- [3] "The Early History of Automation" par Melvyn Kranzberg (1983)  
(<https://ieeexplore.ieee.org/document/9465055>)
- [4] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/james-watt/2-un-succes-immediat/>
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable\\_logic\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Programmable_logic_controller)
- [6] <https://www.atg-technologies.fr/surveillance-controle-systemes-production/>
- [7] <https://www.cableson.com/pour-ou-contre-le-systeme-de-securite-domotique%E2%80%89/>
- [8] <https://www.electronics-tutorials.ws/systems/open-loop-system.html>
- [9] <https://www.mathworks.com/videos/understanding-control-systems-part-1-open-loop-control-systems-123419.html>
- [10] <https://www.elprocus.com/what-is-a-closed-loop-control-system-its-working/>
- [11] [https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-a-temperature-closed-loop-control-system-with-various-time-delays\\_fig1\\_363287215](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-a-temperature-closed-loop-control-system-with-various-time-delays_fig1_363287215)
- [12] <https://www.h2wtech.com/page/closed-loop-servo-motor-operating-instructions>
- [13] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-a-system-with-PID-controller\\_fig1\\_268802558](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-a-system-with-PID-controller_fig1_268802558)
- [14] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-a-proportional-PID-control-system-The-actuating-signal-or-output\\_fig1\\_348650730](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-a-proportional-PID-control-system-The-actuating-signal-or-output_fig1_348650730)
- [15] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-computer-based-oven-temperature-control-system\\_fig1\\_289389812](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-computer-based-oven-temperature-control-system_fig1_289389812)
- [16] [https://www.researchgate.net/figure/Speed-Control-of-DC-Motor-System-with-PID-Controller\\_fig5\\_221929804](https://www.researchgate.net/figure/Speed-Control-of-DC-Motor-System-with-PID-Controller_fig5_221929804)
- [17] <https://www.nidec.com/en/technology/capability/servocontrol/>
- [18] [https://www.researchgate.net/figure/Block-Diagram-of-state-space-equation-Four-state-variables-were-chosen-for-dynamic-system\\_fig2\\_338674100](https://www.researchgate.net/figure/Block-Diagram-of-state-space-equation-Four-state-variables-were-chosen-for-dynamic-system_fig2_338674100)
- [19] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-linear-continuous-time-control-system-represented-in-state-space\\_fig2\\_281003301](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-linear-continuous-time-control-system-represented-in-state-space_fig2_281003301)
- [20] [https://www.researchgate.net/figure/Example-longitudinal-flight-control-system-feedback-architecture\\_fig1\\_319966687](https://www.researchgate.net/figure/Example-longitudinal-flight-control-system-feedback-architecture_fig1_319966687)

- [21] <https://www.basetwo.ai/blogs/an-overview-of-industrial-process-control-systems>
- [22] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-adaptive-control-system-with-variable-delay-time\\_fig4\\_228912560](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-adaptive-control-system-with-variable-delay-time_fig4_228912560)
- [23] <https://www.expertsmind.com/questions/adaptive-control-process-in-motor-speed-control-system-30185310.aspx>
- [24] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-an-active-noise-control-system\\_fig1\\_267965431](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-an-active-noise-control-system_fig1_267965431)
- [25] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-aircraft-pitch-attitude-control-system-with-adaptive-gain-tuning\\_fig2\\_228861977](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-aircraft-pitch-attitude-control-system-with-adaptive-gain-tuning_fig2_228861977)
- [26] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-discrete-time-model-predictive-control-system\\_fig2\\_333119670](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-discrete-time-model-predictive-control-system_fig2_333119670)
- [27] [https://www.researchgate.net/figure/Model-Predictive-Control-MPC-scheme-of-the-control-for-the-the-Heating-Ventilating-and\\_fig3\\_313552710](https://www.researchgate.net/figure/Model-Predictive-Control-MPC-scheme-of-the-control-for-the-the-Heating-Ventilating-and_fig3_313552710)
- [28] <https://www.basetwo.ai/blogs/an-overview-of-industrial-process-control-systems>
- [29] [https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-proposed-Model-predictive-control-MPC-strategy-used-to-control-the\\_fig3\\_346571887](https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-the-proposed-Model-predictive-control-MPC-strategy-used-to-control-the_fig3_346571887)
- [30] [https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-a-general-multi-agent-distributed-control-system-for-real-time-load-management\\_fig3\\_330117434](https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-a-general-multi-agent-distributed-control-system-for-real-time-load-management_fig3_330117434)
- [31] [https://www.researchgate.net/figure/Distributed-control-framework-of-a-MG-system-with-multiple-ESSs\\_fig1\\_339848740](https://www.researchgate.net/figure/Distributed-control-framework-of-a-MG-system-with-multiple-ESSs_fig1_339848740)
- [32] [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-distributed-control-system-of-the-RFC-robot-consisting-of-8-nodes-on-the\\_fig6\\_37686470](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-the-distributed-control-system-of-the-RFC-robot-consisting-of-8-nodes-on-the_fig6_37686470)
- [33] FARID et DJALIL « Rapport de stage dans SONATRACH-AGIP », 2011.
- [34] Document Sonatrach-Agip, « Architecture DCS BRN-ROD ».
- [35] Document technique de Honeywell, « Description du système DCS HONEYWELL TDC-3000 » Editions Honeywell.
- [36] Document Sonatrach-Agip, « DCS ESD and F&G systems engineering and services », version 33-552-2028-0.
- [37] Document technique de Honeywell, « High-Performance Process Manager Control Theory » HP09-683 R683 11/2010.
- [38] Document technique de Honeywell, « C300 Controller User's Guide » EPDOC-XX11-en-511 June 2019