

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie
Département : Automatisation et électrification des procédés industriels
Spécialité : Automatisation des procédés industriels : Commande Automatique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Etude comparatives des divers modes d'application des
régulateurs industriels pour la stabilisation des trains de
tiges de forage des puits pétroliers**

Présenté par :
BESSAAD Sara

Devant le jury :

| | | |
|--------------------------------|------|------------|
| <i>M^{me}</i> D.ACHELI | UMBB | Présidente |
| M.A.CHAIBE | UMBB | Examineur |
| M.T.YOUCEF | UMBB | Examineur |
| M.M.S.BOUMEDINE | UMBB | Promoteur |

Année Universitaire : 2015/2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie

Département : Automatisation et électrification des procédés industriels

Spécialité : Automatisation des procédés industriels : Commande Automatique

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme :

MASTER

Thème

Etude comparatives des divers modes d'application des régulateurs industriels pour la stabilisation des trains de tiges de forage des puits pétroliers

Présenté par :

BESSAAD Sara

Avis favorable de l'encadreur :

Dr.BOUMEDIENE

Avis favorable de la Présidente du jury :

M^{me}.D.ACHELI

Cachet et signature

REMERCIEMENTS

Je remercie **Dieu** le tout puissant, pour m'avoir donné le courage, la patience, la volonté et la force nécessaire pour effectuer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Monsieur BOUMEDINNE** mon promoteur pour avoir dirigé ce travail, ainsi que pour la compréhension, la disponibilité et l'encouragement qu'il m'a apportés.

Je remercie aussi les gans de l'entreprise ENTIP :

Chef mecanicien **BOUZID FATHI** et Chef électricien **CHAABANI DERIS** de TP223.

Je remercie jamais suffisamment mes **parents**, mes **souers** et mon **frère** qui ont été toujours présents et qui son présence je ne saurer arrive la.

BESSAAD Sara



DEDICACES

Je tiens à remercier tout d'abord par excellence sa grandeur « dieu ALLAH »

Je dédie ce travail à

*La mémoire de **ma grande mère** que dieu l'accueille dans son vaste paradis.*

*Mon **PERE** et ma **MERE** qui ont beaucoup sacrifié à mon bonheur, et qui ont partagés mes malheurs.*

*qui m'ont encouragé à terminer mes études et faire cette formation à La faculté des hydrocarbures et de la chimie à **boumerdés**, de leurs soutien permanent durant toutes mes années d'études ,leurs sacrifices illimités, leur réconfort moral et ses prières pour moi tout le long de mon carrière, eux qui ont consenti tant d'effort pour mon éducation, mon instruction et pour me voir atteindre ce but ,pour tout cela et pour ce qui ne peut être dit. Mes affectations sans limite*

*Mon chère **FRERE** et mes chères **SŒURS** et à toutes ma famille.*

*Je dédie également à la seule personne qui était à côté de moi durant la période de stage, la source de mon inspiration et mon courage le plus chère **ZINOUE** que je ne remercierai jamais assez pour tout, que le dieu protégé.*

sara

Introduction générale.....1**Chapitre1 : Généralités sur les procédés de forage pétroliers**

| | |
|--|----|
| 1.1. Introduction..... | 2 |
| 1.2. Le Forage..... | 2 |
| 1.3. Architecture d'un forage..... | 2 |
| 1.4. Fonctionnement général d'un appareil de forage..... | 4 |
| 1.5. La complétion..... | 5 |
| 1.6. Les systèmes nécessaires..... | 5 |
| 1.6.1. Le système de levage..... | 5 |
| 1.6.2. Le système rotary..... | 7 |
| 1.6.3. Le système de circulation des fluides..... | 7 |
| 1.6.3.1 Circuit du fluide de forage..... | 7 |
| 1.6.3.2 Fonctions du fluide de forage..... | 8 |
| 1.6.3.3 Types et compositions de fluides de forage..... | 10 |
| 1.7. Le système de génération de puissance..... | 10 |
| 1.8. Le système de contrôle du puits..... | 10 |
| 1.9. Conclusion..... | 10 |

Chapitre 2 : Description et fonctionnement du treuil JC70D

| | |
|--|----|
| 2.1. Introduction | 11 |
| 2.2. Description de fonctionnement..... | 11 |
| 2.3. Différentes parties mécaniques..... | 12 |
| 2.3.1. Bâti du treuil de levage..... | 12 |
| 2.3.2 Bâti des moteurs..... | 12 |
| 2.3.3. Arbre principal (Arbre de tambour) | 12 |
| 2.3.4. Arbre d'attaque (Arbre de commande ou arbre d'entrée) | 13 |
| 2.3.5. Arbre secondaire (arbre intermédiaire ou arbre de sortie) | 13 |
| 2.3.6 . Le frein principal..... | 13 |
| 2.3.6.1. Description..... | 13 |
| 2.3.6.2. Principe de fonctionnement..... | 13 |
| 2.3.6.3. Levier du frein principal..... | 14 |
| 2.3.6.4. Ajustage du frein à ruban..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 2.3.7. Le frein auxiliaire (électromagnétique) -El Magco- | 14 |
| 2.3.8. Embrayage du frein à courants Foucault | 15 |
| 2.3.8.1 Le tambour de curage | 15 |
| 2.3.8.2 Les cabestans | 15 |
| 2.3.9. L'arbre d'entraînement de la table de rotation | 15 |
| 2.3.10. La boîte de vitesse | 15 |
| 2.3.11. Les embrayages | 16 |
| 2.3.11.1. Embrayage mécanique | 16 |
| 2.3.11.2. Embrayage pneumatiques | 16 |
| 2.3.12. Le crown-o-matic | 16 |
| 2.3.13. Barrière de sécurité (le Twin stop) | 16 |
| 2.4. Fonctionnement du treuil | 17 |
| 2.4.1. La procédure de sélection de vitesses du treuil | 17 |
| 2.5. Conclusion | 18 |

Chapitre 3 : les systèmes de transmissions de puissance et le système de freinage

| | |
|--|----|
| 3.1. Introduction | 19 |
| 3.2. Les systèmes de transmissions de puissance | 19 |
| 3.3. Présentation du système SCR | 19 |
| 3.3.1. Caractéristiques Principale du système SCR | 21 |
| 3.3.2. Unité alternateur | 21 |
| 3.3.3. Le module AC | 22 |
| 3.3.4. Unité SCR | 22 |
| 3.2.5. Le pont SCR | 23 |
| 3.2.6. Le module DC | 23 |
| 3.2.7. Le régulateur DC | 23 |
| 3.2.8. Armoire de distribution AC (MCC) | 24 |
| 3.4. Console de foreur | 25 |
| 3.4.1. Les signaux d'entrée | 25 |
| 3.4.2. Les signaux de sortie | 25 |
| 3.5. Machines de forage | 26 |
| 3.5.1. Machines entraînées par des moteurs à courant continu | 26 |
| 3.5.1.1. Table de rotation | 26 |

| | |
|--|----|
| 3.5.1.2. Treuil de forage..... | 27 |
| 3.5.1.3. Pompe à boue..... | 28 |
| 3.6. Freinage du treuil par récupération | 30 |
| 3.6.1. Théorie de fonctionnement | 30 |
| 3.6.2. Condition du cycle de freinage..... | 31 |
| 3.7. Frein dynamique "dynamique break..... | 31 |
| 3.7.1. Description..... | 31 |
| 3.7.2. Théorie de fonctionnement..... | 32 |
| 3.8. Conclusion..... | 32 |

Chapitre 4 : Régulation de la descente d'une tête de forage

| | |
|--|----|
| 4.1. Identification..... | 33 |
| 4.2. Etude de la régulation de vitesse $z'(t)$ | 34 |
| 4.2.1. Analyse du système | 34 |
| 4.3. Choix du régulateur..... | 35 |
| 4.3.1. Fonction du transfert du processus..... | 35 |
| 4.3.2. Réponse fréquentielle..... | 35 |
| 4.3.3. Diagramme de Bode..... | 35 |
| 4.4. Choix et synthèse d'un régulateur..... | 38 |
| 4.4.1. Régulateur à action promotionnel..... | 38 |
| 4.4.2. Régulateur PI (proportionnel Intégral)..... | 40 |
| 4.4.3 Prédicteur de smith..... | 43 |
| 4.5. Conclusion | 48 |

Chapitre 5 : Asservissement et loi de commande

| | |
|--|----|
| 5.1. Introduction..... | 49 |
| 5.2. Etude de l'asservissement de position | 49 |
| 5.3. Analyse fréquentielle..... | 49 |
| 5.4. Correction proportionnelle..... | 51 |
| 5.5. Correction par avance de phase..... | 52 |
| 5.5.1. Détermination des paramètres d'apertement « a » et « T »..... | 53 |
| 5.5.2. Détermination de K_{av} | 53 |
| 5.6. Correction tachymétrique..... | 55 |

| | |
|--|----|
| 5.6.1 Détermination de λ | 56 |
| 5.6.2. Détermination de K_t | 56 |
| 5.7. Conclusion..... | 59 |

Chapitre 6 : Commande par la logique floue

| | |
|--|----|
| 6.1. Introduction..... | 60 |
| 6.2. Principe de la logique floue..... | 60 |
| 6.3. Historique de la logique floue..... | 61 |
| 6.4. Concepts et définitions de la logique floue..... | 62 |
| 6.4.1. Sous ensembles Flous..... | 62 |
| 6.4.2. Variables Linguistiques..... | 63 |
| 6.4.3. Opérations Floues..... | 63 |
| 6.4.4. Règles floues if-then..... | 64 |
| 6.4.5. Fonction d'appartenance..... | 64 |
| 6.5. Réglage et commande par logique floue..... | 64 |
| 6.5.1. La structure d'un régulateur floue..... | 64 |
| 6.5.1.1. Fuzzification..... | 65 |
| 6.5.1.2. La base de règles..... | 65 |
| 6.5.1.3. Le moteur d'Inférence..... | 65 |
| 6.5.1.4. Défuzzification..... | 65 |
| 6.6. Conduite par logique floue..... | 66 |
| 6.6.1. Schéma de la chaine de réglage de la vitesse de la descente d'une tête de Forage par la logique floue | 68 |
| 6.6.2. Schéma de la chaine de réglage de l'asservissement de position..... | 70 |
| 6.7. Comparaison entre les modes de commande..... | 72 |
| 6.7.1. Pour la commande de la vitesse de la descente d'une tête de forage..... | 72 |
| 6.7.2. Pour la commande de l'asservissement de position..... | 74 |
| 6.8. Conclusion..... | 75 |

| | |
|----------------------------------|----|
| Conclusion générale | 76 |
|----------------------------------|----|

Bibliographie

Annexe 1

Annexe 2

Annexe 3

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure.1.1 : Architecture de forage..... | 3 |
| Figure.1.2 : Opérateurs effectuant une manœuvre..... | 4 |
| Figure.1.3 : Schéma de fonctionnement d'un appareil de forage..... | 6 |
| Figure.1.4 : Schéma de circuit de la boue..... | 9 |
| Figure.2.1 : tambour frein..... | 13 |
| Figure.2.2 : Twine stop..... | 16 |
| Figure.2.3 : le treuil de forage (JC 70 D)..... | 18 |
| Figure.3.1 : Schéma typique du Système..... | 21 |
| Figure.3.2 : Unité Alternateur..... | 21 |
| Figure.3.3 : Schéma block de l'unité alternateur..... | 22 |
| Figure.3.4 : Module AC control..... | 22 |
| Figure.3.5 : Unité SCR..... | 23 |
| Figure.3.6 : Le module DC..... | 24 |
| Figure.3.7 : Armoire MCC..... | 25 |
| Figure.3.8 : la console de foreur..... | 25 |
| Figure.3.9 : Interface des signaux d'entrée et sortie..... | 26 |
| Figure.3.10 : La table de rotation..... | 27 |
| Figure.3.11 : Le treuil de forage..... | 28 |
| Figure.3.12 : Les deux pompes à boue..... | 34 |
| Figure.4.1 : Schéma bloc de la régulation de vitesse..... | 36 |
| Figure.4.2 : Illustration du diagramme de Bode sans retard pur..... | 37 |
| Figure.4.3 : Illustration du diagramme de Bode avec retard pur..... | 37 |
| Figure.4.4 : Réponse indicielle de système bouclé..... | 39 |
| Figure.4.5 : Réponse indicielle du système bouclé avec $R(p)=100$ | 42 |
| Figure.4.6 : Diagramme de Bode $H_{bo1}(p)$ | 43 |
| Figure.4.7 : Réponse indicielle du système bouclé avec le régulateur PI..... | 43 |
| Figure.4.8 : Structure du préducteur de smith..... | 44 |
| Figure.4.9 : Schémat bloc équivalent du préducteur de smith..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figure.4.10 : illustartion Diagramme de Bode de $H_{bo2}(p)$ | 47 |
| Figure.4.11 : Réponse indicielle du systéme bouclé par le prédictéur de Smith..... | 49 |
| Figure.5.1 : Schéma bloc de l'asservissement de position..... | 50 |
| Figure.5.2 : Diagramme de Bode de $G(p)$ | 52 |
| Figure.5.3 : Réponse indicielle du systéme bouclé par $K_p=0.3$ | 54 |
| Figure.5.4 : Diagramme de Bode de $G_{av}(p)$ | 55 |
| Figure 5.5 :Réponse indicielle de l'asservissement de position corrigé par avance de phase...55 | |
| Figure.5.6 : Schéma bloc de l'asservissement de position avec retour tachymétrique..... | 55 |
| Figure.5.7 : Diagramme de Bode de $G_t(p)$ | 57 |
| Figure.5.8 : Réponse indicielles de l'asservissement de position avec correction par avance de phase et par retour tachymétrique..... | 58 |
| Figure.6.1 : Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou..... | 61 |
| Figure. 6.2 : Fonction d'appartenance : (a) logique classique : (b) logique floue..... | 63 |
| Figure.6.3 : Ensembles flous..... | 63 |
| Figure.6.4 : Forme des fonctions d'appartenance usuelles..... | 64 |
| Figure.6.5 : Structure d'une commande floue | 64 |
| Figure.6.6 : l'interface des entrés et de sortie de controleur floue..... | 66 |
| Figure.6.7 : Fonctions d'appartenance de e , Δe , u | 67 |
| Figure.6.8 : Base des règles..... | 67 |
| Figure.6.9 : Schéma de réglage de la vitesse..... | 68 |
| Figure.6.10 : La variation de la commande de vitesse..... | 69 |
| Figure.6.11 : Illustration de la réponse indicielle du systéme de contrôle de la vitesse en B.F avec un régulateur flou..... | 69 |
| Figure.6.12 : Shéma de réglage de la position..... | 70 |
| Figure.6.13 : La variation de la commande de position..... | 71 |
| Figure.6.14 : Illustration de la réponse indicielle du systéme de contrôle de la position en B.F avec un régulateur flou..... | 71 |
| Figure.6.15 : Schéma de comparaison de vitesse..... | 72 |
| Figure.6.16 : illustration de la réponse indicielle en boucle fermée de la vitesse de descente d'une tête de forage par différentes types de correction..... | 73 |
| Figure.6.17 : Schéma de comparaison de position..... | 74 |
| Figure.6.18 : illustration de la réponse indicielle en boucle fermée de la position de descente d'une tête de forage par différentes types de correction..... | 75 |

Introduction générale

Depuis le début de l'ère industrielle, le premier souci des pays développés est d'assurer l'approvisionnement de leurs industries en énergies. Actuellement les hydrocarbures (Notamment le pétrole) tiennent une place prépondérante dans la consommation énergétique mondiale, cette forte demande des hydrocarbures à l'échelle mondiale pousse les entreprises pétrolières à des concurrences dans la découverte, le développement de nouvelles réserves de pétrole pour satisfaire la demande croissante de l'énergie.

L'opération de forage est bien l'étape la plus importante et la plus délicate, depuis l'installation de l'appareil de forage jusqu'à la mise en production du puits.

On peut définir la technique de forage comme étant l'action de creuser « forer » un puits de forme presque cylindrique à partir de la surface de la terre jusqu'à la cible souhaitée avec un moindre coût tout en respectant l'aspect sécuritaire. Parmi tous organes de forage, le trépan reste l'élément indispensable pour réaliser un puits pétrolier, c'est la première pièce à s'attaquer aux roches sont terrains(aux différent roches géologiques).

Problématique :

Les performances de l'outil de forage dépendent de beaucoup de paramètres, dont l'un des facteurs parmi les plus importants est la vitesse d'avancement de l'outil.

Contraintes :

A cet effet, des nombreux types d'outils disponibles sur le marché, il est relativement difficile de choisir l'outil le mieux adapté.

Solution :

Dans cet esprit, notre présent travail consiste à mener une étude comparative des divers modes de commande pour la stabilisation des trains de tige de forage.

Le développement de travail repose sur la réalisation de six chapitre, à savoir :

Chapitre 1 : Généralités sur les procédés de forage pétroliers.

Chapitre 2 : Description et fonctionnement du treuil Jc70 D.

Chapitre 3 : Les systèmes de transmissions de puissance et le système de freinage.

Chapitre 4 : Régulation de la descente d'une tête de forage.

Chapitre 5 : Asservissement et loi de commande.

Chapitre 6 : Commande par la logique floue

1.1 Introduction :

L'exploration pétrolière ou gazière, que ce soit en mer (offshore) ou sur terre (onshore), nécessite un processus de forage pour extraire la matière et parvenir aux réservoirs d'hydrocarbures. L'acheminement des hydrocarbures impose de connecter les réservoirs à la surface par des canaux reliés à des systèmes de pompage.

Dans le domaine de forage des hydrocarbures il existe plusieurs méthodes :

- Le forage par percussion qui consiste à briser les roches de fond par chute d'un outil de forage entraîné en mouvement de va et vient, cette méthode est plus ancienne et n'est pas utilisable aujourd'hui.

La méthode combinée de forage par rotation percussion est jusqu'à présent limitée.

- La méthode la plus répandue actuellement est le forage rotary où les roches de fond subissent à la charge imposée sur l'outil et à action de couple de l'outil qui assure la destruction des roches.

Cette opération est assurée par l'appareil de forage ou « la sonde de Forage ».

Il existe toute une gamme d'appareil convenant à différentes profondeurs :

- Appareil léger : 1500 à 2000 m.
- Appareil moyen : 2000 à 3500 m.
- Appareil lourd : 3500 à 6000 m.
- Appareil ultra lourd : 8000 à 12000 m.

1.2 Le Forage

On appelle « forage pétrolier » un ensemble d'opérations permettant d'atteindre les roches poreuses et perméables du sous-sol, susceptibles de contenir des hydrocarbures liquides ou gazeux.

1.3 Architecture d'un forage :

Le profil d'un forage pétrolier dépend de sa profondeur (de quelques centaines de mètres à 9000m), des horizons géologiques rencontrés et des pressions de ces couches géologiques. Il n'est généralement pas possible de forer un puits à travers

toutes les formations de la surface (du sol ou de la mer) jusqu'à la zone productive. Il en résulte différentes phases de forage successives entre lesquelles le trou est tubé, c'est-à-dire cuvelé par une colonne de tubes en acier appelée aussi casing. Un profil type de forage est caractérisé par la mise en place des tubages intermédiaires suivants (**figure1.1**) :

- une **colonne ou tubage de surface** destinée à retenir les terrains de surface peu Consolidés. Sa longueur est comprise entre 100 et 1 000m. Cette colonne sert en outre de support à la tête de puits ;
- Une ou plusieurs **colonnes ou tubages techniques**, pour éliminer les couches ou Fluides susceptibles d'empêcher la poursuite du forage ; par exemple des terrains éboulant, des zones contenant des fluides à forte pression;
- Une **colonne ou tubage de production**, si le puits est positif, permet d'isoler la Zone pétrolifère. A l'intérieur de cette colonne il sera descendu un tube d'écoulement du pétrole ou du gaz appelé tubing.

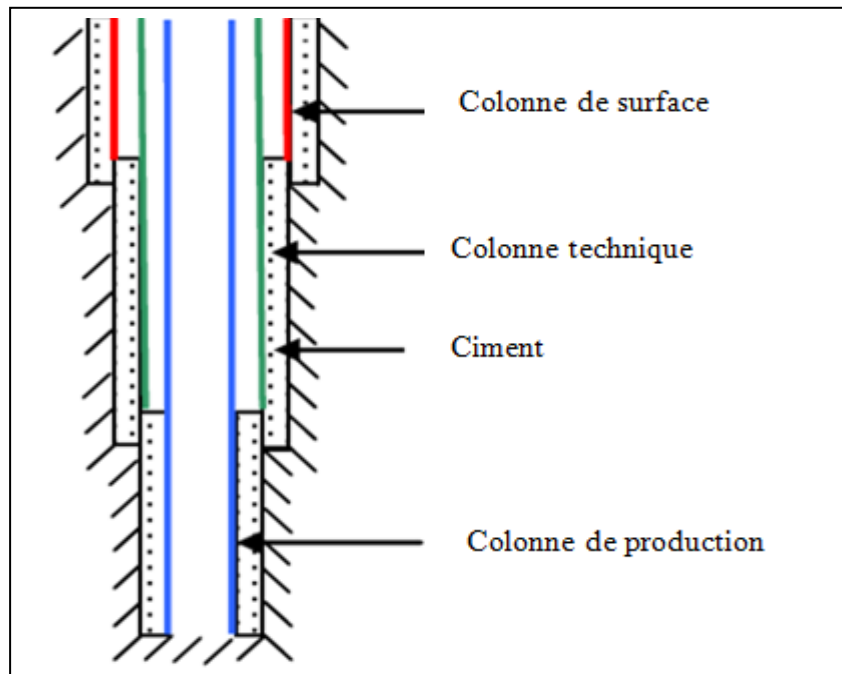


Figure1.1: Architecture de forage

Ces différentes colonnes sont cimentées par un lait de ciment placé entre la paroi du trou et la colonne aussitôt après la descente de celle-ci [1].

1.4 Fonctionnement général d'un appareil de forage :

L'appareil de forage est constitué d'un ensemble d'éléments permettant les fonctions de levage, rotation, pompage nécessaires à la réalisation d'un sondage. Le mât (ou derrick) sert ainsi à descendre le train de tiges de forage, est constitué d'un ensemble de tubes (ou tiges) vissés les uns aux autres, au bout desquelles se trouve l'outil de forage « le trépan », permettant de découper la roche. Le trépan mis en rotation attaque la roche au fond du puits par la tête du forage.

Lors de la réalisation d'un forage on distingue plusieurs opérations principales à savoir :

- **L'ajout de tige** : l'outil à foré une longueur de tige finie et par suite qu'elle a été utilisée, il faut rallonger la garniture de forage en vissant une tige de forage supplémentaire ;
- **La manœuvre** : il est nécessaire de remonter la totalité de la garniture, soit pour changer le trépan lorsqu'il est usé, soit pour descendre des tubes casing lorsqu'on a atteint la profondeur souhaitée (**figure 1.2**) ;
- **Le tubage et la cimentation** : le forage ayant été accompli à la profondeur prévue pour cette phase, il faut descendre les tubes casing dans le puits. Lorsque le tube est descendu au fond du puits, il est nécessaire de cimenter le tube. Le ciment est mis en place dans l'espace annulaire situé entre le tube casing et la paroi du puits par injection du laitier de ciment par l'intérieur du tube et retour par l'espace annulaire.

Durant les manœuvres de forage, un fluide de forage à base d'eau ou d'huile est injecté dans le puits à l'intérieur des tiges de forage et remonte jusqu'à la surface par passage par l'espace annulaire entre les parois du puits et le train de tiges. Il permet de remonter les déblais de forage et d'assurer la stabilité et la sécurité du puits.



Figure1.2 : Opérateurs effectuant une manœuvre [2]

1.5 La complétion

La complétion fait référence à toutes les opérations qui doivent être réalisées pour préparer le trou foré à la production de pétrole et de gaz. Une fois le puits foré et les différents tubages installés et cimentés selon les spécifications initiales, il faut initier la production en créant des ouvertures dans la colonne de production pour permettre au pétrole et au gaz de remonter dans le trou du puits. Une société spécialisée se charge généralement de ce travail. Après la perforation du tubage de production, le tubing permettant l'écoulement des hydrocarbures vers la surface est descendu dans le tubage [3] [4].

1.6 Les systèmes nécessaires

Ce paragraphe présente les de cinq systèmes essentiels dont se compose un appareil de forage (**figure1.3**):

- le système de levage ;
- le système rotary ;
- le système de circulation des fluides ;
- le système de génération de puissance ;
- le système de contrôle du puits.

1.6.1 Le système de levage

Le système de levage est un système de poulies permettant de remonter et de faire descendre le train de tiges et les tubages dans le puits. Il comprend :

- **Le derrick** : ou mât de forage qui permet la manœuvre et le stockage vertical des tiges de forage en général par tronçons de trois éléments de 9m ;
- **Le treuil** : qui enroule et déroule le câble de forage (drilling line) et fait ainsi remonter ou descendre le train de tiges et les tubages ;
- **Les moufles** : fixe et mobile par lesquels passe le câble de forage. Un crochet de levage fixé au moufle mobile est utilisé pour suspendre le train de tiges dans le trou ;
- **Les clés et les coins de retenus** : les clés sont de grands outils qui servent à visser et dévisser les tiges et les masses-tiges. Deux clés sont nécessaires : l'une servant à maintenir la première tige immobile et l'autre à visser ou dévisser la seconde tige. Les coins de retenus sont des cales destinées à maintenir le train de tiges et l'empêcher de glisser dans le puits pendant l'ajout d'une tige ou une manœuvre de trépan [3] [4].

LE FORAGE PETROLIER

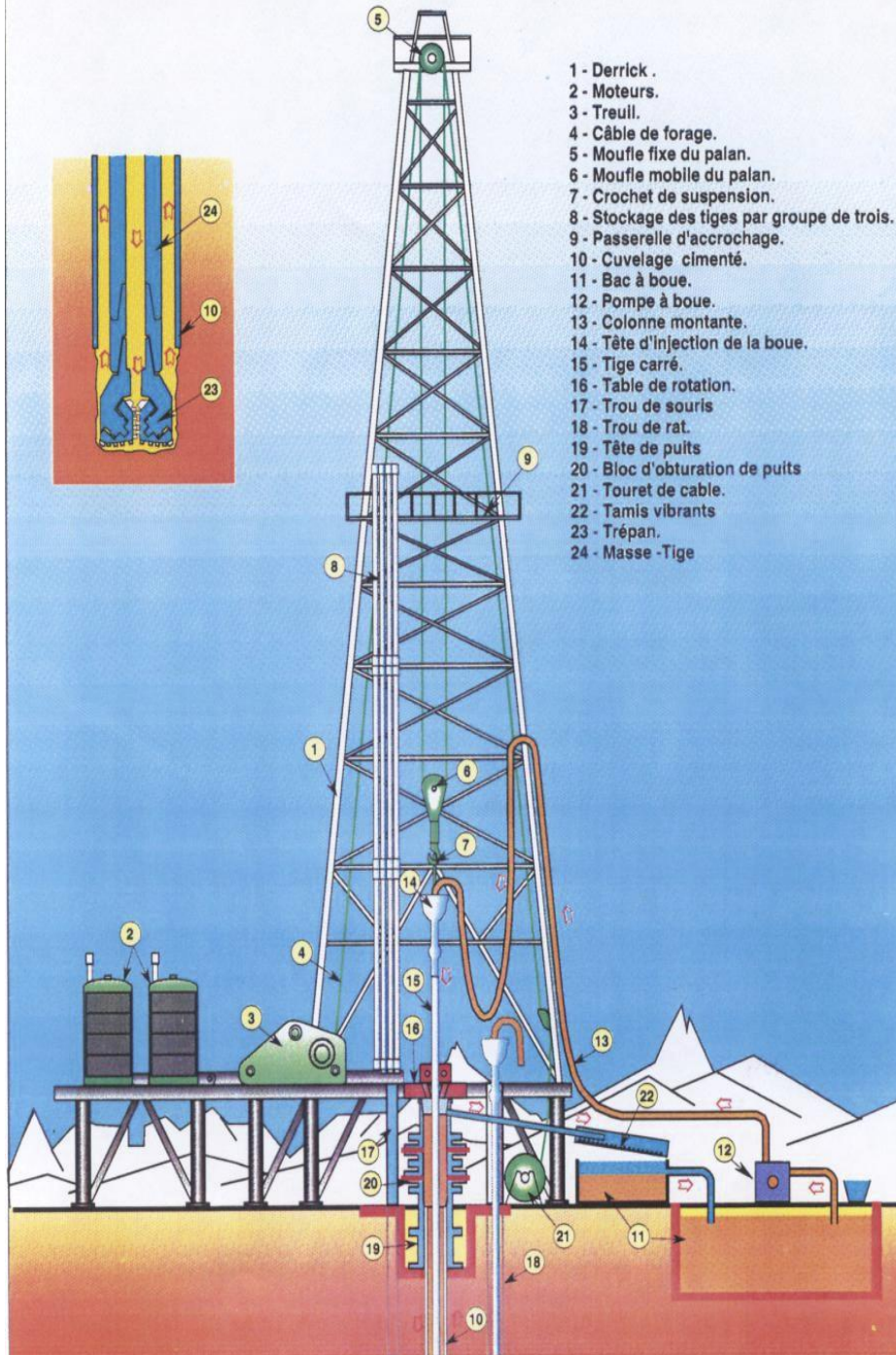


Figure 1.3: Schéma de fonctionnement d'un appareil de forage

1.6.2 Le système rotary

Le forage rotary est une méthode de forage qui consiste à utiliser des trépan sur lesquels on appuie et que l'on fait tourner de façon à attaquer la roche. La rotation du trépan peut être obtenue en faisant tourner l'ensemble des tiges de forage qui relient le trépan à la surface.

Aujourd'hui, la plupart des rigs de forage récents possèdent un appareil appelé «Top drive system» constitué d'une tête d'injection (swivel) animée d'une force motrice qui permet d'une part la rotation du train de tiges et du trépan et d'autre part l'injection de boue à l'intérieur des tiges pendant la rotation.

Auparavant, la rotation du train de tiges était obtenue en faisant tourner une table de rotation située au niveau du plancher dans laquelle était engagée une tige carrée appelée kelly. Cette tige étant vissée au train de tiges, la rotation de la table entraînait celle de la tige carrée et de ce fait celle du trépan.

1.6.3 Le système de circulation des fluides

Le système de circulation des fluides permet d'injecter le fluide de forage ou boue à l'intérieur des tiges de forage : le fluide passe par les orifices du trépan et remonte jusqu'à la surface, par l'espace annulaire entre le trou et les tiges de forage (**figure 1.4**).

1.6.3.1 Circuit du fluide de forage :

La boue ou fluide de forage est mélangée dans des bassins à boue, puis elle est aspirée par des pompes à boue qui l'envoient vers la tête d'injection ou swivel par le «stand pipe» ou colonne montante.

De là, elle passe à travers la tige carrée, les tiges, les masse-tiges et le trépan ; elle sort du trépan sous la forme d'un jet extrêmement puissant. Puis elle remonte vers la surface dans l'espace inter annulaire entre le train de tige et la paroi du trou.

Elle est alors chargée des roches arrachées à la formation par le trépan, appelées déblais de forage ou cuttings. En surface, elle passe ensuite sur un tamis vibrant qui retient les déblais les plus gros. Puis, elle passe éventuellement par des hydrocyclones puis par un desableur, qui enlève le sable et les silts par centrifugation.

Dans le cas où la boue contient des gaz, elle est envoyée vers le dégazeur. Enfin, la boue retourne dans les bassins à boue pour un nouveau cycle d'opération.

Les bassins à boue sont un ensemble de grands réservoirs en acier équipés d'agitateurs permettant de maintenir en suspension les solides responsables de la densité du fluide. Certains bassins sont utilisés pour faire circuler la boue, d'autres pour mélanger et stocker la boue fraîche) [3] [4].

1.6.3.2 Fonctions du fluide de forage :

Le fluide de forage est un élément critique du procédé de forage rotary. Il a pour fonction de :

- remonter les déblais de forage ;
- maintenir la stabilité du puits : le fluide de forage exerce sur les formations une Contre-pression qui empêche les fluides présents dans les formations de remonter et de provoquer une éruption ;
- refroidir et lubrifier le trépan ;
- transmettre une énergie hydraulique au trépan ; permettre la formation d'un cake sur la paroi de la formation. Ce cake doit permettre d'imperméabiliser la formation et assurer une pression hydrostatique suffisante pour éviter l'effondrement du puits et l'éruption de gaz.

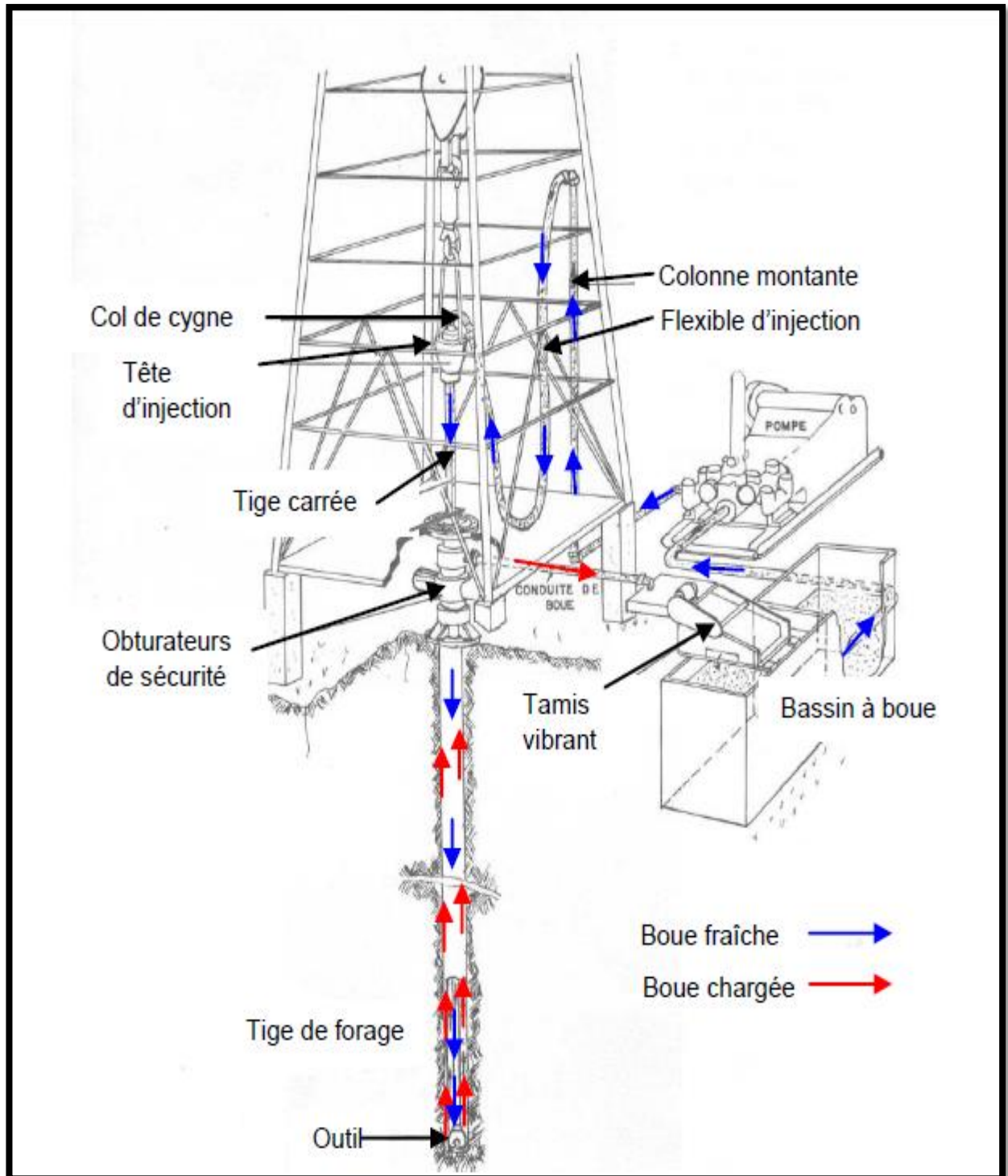


Figure 1.4 : Schéma de circuit de la boue [1]

1.6.3.3 Types et compositions de fluides de forage :

Selon les formations rencontrées, les fluides de forage pourront être de différents types. Il existe des fluides de forage liquides et gazeux. Les plus communément utilisés sont les fluides liquides.

Deux principaux types de fluides de forage liquides existent :

- Les boues à base d'eau qui sont des fluides de forage dans lesquels la phase continue du système est l'eau ;
- Les boues à base d'huile ou de diesel qui sont des fluides de forage dans lesquels la phase continue du système est de l'huile minérale ou du diesel.

1.7 Le système de génération de puissance

Généralement des moteurs à combustion interne diesel sont utilisés pour fournir l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'installation.

1.8 Le système de contrôle du puits

L'objectif du système de contrôle du puits est d'éviter l'éruption ou blow-out des fluides présents dans les roches perméables rencontrées. Une éruption peut causer des dommages environnementaux et matériels, des pertes notables de gaz et de pétrole, et plus sérieusement, coûter des vies humaines. Une éruption se produit quand la pression hydrostatique exercée par le fluide forage est insuffisante pour maintenir les fluides sous pression contenus dans les formations rencontrées. Les remontées de fluides sous pression sont normalement contrôlées grâce aux obturateurs de sécurité placés en tête de puits et fixés sur la colonne de surface. Les obturateurs de sécurité ou BOP (Blow Out Preventers) sont des vannes particulières à haute pression installées à la tête du puits avant le commencement du forage qui permettent soit d'obturer l'espace annulaire de surface, soit d'obturer le puits en entier).

1.9 Conclusion :

L'étude générale sur l'appareil de forage exposée dans ce premier chapitre, nous a permis de retracer les différents éléments caractéristiques du système de forage rotary, et par conséquent situer les différents problèmes liés à son déroulement pratique.

2.1 Introduction :

Le treuil de forage est l'organe principale de la sonde, par sa capacité il caractérise le rig en indiquant la profondeur de forage que l'on peut atteindre le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions :

- les manœuvres de remontée et de descente (levage) de train de sonde à des vitesses rapides et en toute sécurité ce que constitue sa principale utilisation.

- L'entraînement de la table de rotation quand celle-ci n'est pas entraînée par un moteur indépendant.

- Il fournit la puissance à un arbre secondaire permettant le vissage et le dévissage du train de sonde ainsi que les opérations de curage.

- La remontée et la descente du mât pendant le DTM.

2.2 Description de fonctionnement [5] :

Le treuil de levage se compose de deux unités séparées, et ce, de l'unité du treuil de levage avec le tambour et de l'unité d'entraînement avec deux moteurs CC. Les deux unités sont montées sur des bâtis en forme de traîneaux. Le treuil de levage est entraîné par deux moteurs montés en arrière. Chaque moteur a un ventilateur autonome entraîné électriquement et un chauffage. Les deux moteurs transmettent leur force moyennant des embrayages sur l'arbre de commande. **Figure 2.1**

- L'arbre de commande est lié à l'arbre secondaire par deux systèmes d'entraînement à chaînes. L'arbre de transmission est pourvu d'un système permettant le changement dans la 1ère et la 2e vitesse. D'autres chaînes raccordent l'arbre secondaire avec l'arbre du tambour de levage et l'arbre de curage.

Les systèmes d'entraînement à chaînes sont lubrifiés par un système à circulation sous pression qui est alimenté par une pompe de refoulement à engrenages qui est entraînée par un moteur électrique.

Par l'actionnement des embrayages respectifs à l'arbre du tambour de levage, on obtient d'autres taux de réduction de la vitesse de rotation et les transferts sur le tambour.

Quatre vitesses de rotation du tambour de levage sont donc disponibles d'après la vitesse demandée et la charge suspendue moyennant les systèmes d'entraînement à chaînes différents.

-Le tambour de levage peut être freiné par levier à main du système de frein à ruban. Les couronnes de freinage du frein à ruban sont refroidies par eau.

-Un embrayage opéré par main peut raccorder l'arbre du tambour de levage à un frein à courants Foucault refroidi par eau. Le frein à courants Foucault sert de frein auxiliaire et réduit l'usure du frein à ruban. La lubrification à graisse des roulements se fait par des points de lubrification directement à la position des roulements ou moyennant un système de lubrification central.

2.3 Différentes parties mécaniques :

2.3.1 Bâti du treuil de levage :

Le bâti du treuil de levage est une construction à la soudure en acier haute résistance.

2.3.2 Bâti des moteurs :

Deux moteurs CC moteurs de forage à enroulement en série et haut couple avec refroidisseur à air servent des moteurs d'entraînement. L'air de refroidissement est pressé dans le moteur à travers un ventilateur radial du côté du collecteur. L'air de décharge chauffé sort du côté d'entraînement du moteur.

2.3.3 Arbre principal (Arbre de tambour) :

L'arbre de tambour peut être entraîné par deux arrangements divers des paires de chaînes de l'arbre secondaire (arbre intermédiaire). Ils sont reliés par des embrayages pneumatiques. Les soupapes à fermeture instantanée des embrayages sont construites comme partie intégrante de l'embrayage.

Le tambour de manœuvre monté sur l'arbre principal du treuil, le tambour de manœuvre permet l'enroulement et le déroulement du câble de forage suivant que l'on remonte ou descende le train de sonde.

Il peut être lisse mais plus généralement cannelé, ce qui permet un enroulement correct et réduit le risque d'écrasement du câble.

Des deux coté du tambour figurent des rouleaux qui évitent l'usure par frottement du câble sur les joues du tambour.

2.3.4 Arbre d'attaque (Arbre de commande ou arbre d'entrée) :

L'arbre de commande est entraîné par deux moteurs CC. La commande secondaire se fait moyennant des roues à chaînes vers l'arbre de transmission. En plus, un embrayage est installé sur cet arbre.

2.3.5 Arbre secondaire (arbre intermédiaire ou arbre de sortie) :

Le contre arbre est entraîné par chaînes, partant de l'arbre de commande. Le nombre de tours peut être varié moyennant embrayage à denture et plusieurs roues à chaînes. Du côté d'entraînement secondaire, l'arbre est relié à l'arbre de cabestan et arbre de tambour, moyennant des chaînes.

2.3.6 Le frein principal :

2.3.6.1 Description :

- Est constitué de deux bandes métalliques circulaires équipées de garnitures (patins) reliées aux bandes par des boulons à têtes fraisées.
- Ces bandes sont reliées par une barre d'équilibrage qui répartit les forces entre les deux bandes et réduit ainsi l'usure des patins.
- Chaque bande enveloppe une jante de grand diamètre rivetée sur la joue de tambour.
- La surface de ces jantes est généralement cémentée afin de résister à l'usure.
- Le système de frein à ruban est pourvu d'un système de refroidissement par eau. les raccords à eau peuvent être posés des deux côtés du bâti.
- Cette circulation d'eau à l'intérieur des jantes dissipe la chaleur dégagée.

2.3.6.2 Principe de fonctionnement :

Le tambour à freiner (T) est serré plus ou moins fortement par la bande (B) dont une extrémité (P) est fixe et l'autre est tirée dans le sens de flèche (F) au moyen de levier (L) qui tourne autour de l'axe (A) et est attaché en (M) à la bande par une articulation (**figure2.2**) [6].

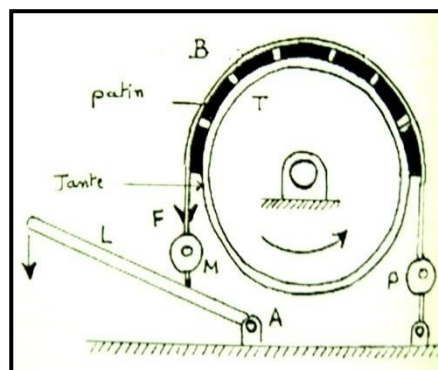


Figure 2.1 tambour frein

2.3.6.3 Levier du frein principal :

Le levier du frein de tambour à côté de la console de commande applique le mécanisme de freinage dans le treuil de levage.

Le levier de freinage peut être assemblé en plusieurs positions différentes pour un maniement plus aisé.

Le support du ruban de frein lève le ruban du tambour lorsque le frein n'est pas actionné pour éviter l'usure des garnitures de frein [6].

2.3.6.4 Ajustage du frein à ruban :

Le frein à ruban doit être rajusté avant que le levier d'accouplement du vérin pneumatique contacte la butée à l'application de pression. Contrôlez l'ajustage chaque jour et/ou pendant chaque poste. S'il est en contact à la butée, un freinage effectif n'est plus garanti et l'ajustage devient nécessaire [5].

2.3.7 Le frein auxiliaire (électromagnétique) -El Magco- :

La capacité de freinage du système à bandes n'est pas suffisante lorsque les plus lourdes sont descendues dans le puits.

C'est pourquoi sur tous les appareils de forage il est adjoit un autre frein dit « auxiliaire » ou ralentisseur de charge destiné à absorber la plus grande partie d'énergie.

Positionné dans le prolongement de l'arbre tambour de manœuvre, il est accouplé à ce dernier par un embrayage à clabot ou à denture (ou pneumatique).

Le frein auxiliaire est électromagnétique de type el-magco du point de vue forme et disposition, il ressemble au frein hydraulique, mais son fonctionnement est électrique.

Freins électromagnétiques qui convertissent le mouvement de la roue entre les fers d'un électroaimant en courants induits soumettant la roue à une force opposée à son déplacement, avec dégagement de chaleur .Ce frein comprend un stator muni de bobines et un rotor. Ces bobines sont alimentées d'un courant continu à travers un rhéostat qui fait varier l'intensité de freinage et deviennent des aimants créant un champ magnétique. Le rotor en tournant dans ce champ devient le siège du courant de FOUCAULT [6].

Ainsi, il se crée une force de freinage entre les bobines et le rotor. Cette force de freinage varie proportionnellement à l'intensité du courant contrôlé par le rhéostat et commandé par le maître de sondeur.

A l'intérieur de ce frein, circule une eau qui dissipe la chaleur produite.

2.3.8 Embrayage du frein à courants Foucault :

L'embrayage raccorde le bout de l'arbre de tambour et le frein à courants Foucault moyennant un mécanisme de changement opéré par main.

Le levier d'embrayage doit être fixé en deux positions avec les raccords de sûreté L'arbre tambour de curage et les cabestans :

Le tambour de curage et les cabestans sont montés sur un même arbre situé à la partie haute de treuil [5].

2.3.8.1 Le tambour de curage :

De conception sensiblement identique au tambour de manœuvre, il est utilisé pour les opérations spéciales dans le puits comme le nettoyage des puits.

2.3.8.2 Les cabestans :

Il est constitué d'un tambour coulissant et deux poupées clavetées sur l'arbre la rotation du tambour est obtenue par embrayage pneumatique qui plaque le tambour sur un disque de friction.

Les cabestans ont comme fonctions :

- le vissage et le dévissage du train de sonde à l'aide des clés.

2.3.9 L'arbre d'entraînement de la table de rotation :

L'entraînement de la table de rotation depuis le treuil se fait par chaîne baignant un carter ou par joint de cardan.

La table de rotation est à commande indépendante, ce qui a l'avantage, d'arrêter le treuil pendant le forage (rotation) et utiliser les moteurs de la transmission uniquement pour la pompe à boue [5].

2.3.10 La boîte de vitesse :

Intégrée au treuil ou positionnée sur la première section de la transmission (arrière de treuil), la boîte de vitesse permet pour des vitesses de rotation données des moteurs, d'entraîner les différents arbres du treuil à des vitesses diverses et dans les deux sens.

L'entraînement de ces arbres à partir de boîte se fait généralement par chaînes à rouleaux et embrayages pneumatique [6].

2.3.11 Les embrayages :

On distingue deux types d'embrayages :

- Embrayage pneumatique.
- Embrayage mécanique.

2.3.11.1 Embrayage mécanique :

- à clabot ou à denture :

L'accouplement ne se fait que lorsque les arbres sont à l'arrêt ou très faible vitesse.

- à disque :

Tendent à être remplacés par les embrayages pneumatiques.

2.3.11.2. Embrayage pneumatiques :

Le principe de l'embrayage pneumatique réside dans le gonflement d'une chambre annulaire qui crée une liaison entre deux cylindres. L'admission d'air dans la chambre met en contact des sabots de friction avec le tambour.

2.3.12 Le crown-o-matic :

C'est un dispositif de sécurité placé en parallèle avec la dernière spire d'enroulement du câble sur le tambour du treuil. Durant la remontée du moufle et en cas d'oubli par le conducteur du treuil d'utiliser frein principal, le crown-o-matic permet le freinage automatique du treuil pour éviter le bloc à bloc est suivi par la rupture du câble de forage et la chute libre du moufle mobile sur le plancher.

2.3.13 Barrière de sécurité (le Twin stop):

Joue le rôle d'un pivot mécanique soit pour un nombre de tours de tambours du treuil équivalent a un déplacement linéaire du moufle, l'arbre du moufle, l'arbre du réducteur fait moins d'un tour et d'éclanche l'action du frein pour éviter l'effet bloc à bloc ou bloc à plancher **figure (2.3).**



Figure 2.2: Twine stop

2.4 Fonctionnement du treuil:

Les deux moteurs électriques (Moteur de traction EMD model D79 MB) développent une puissance 1400HP à la boîte de vitesse du treuil, par l'intermédiaire de chaînes le mouvement est transmis à l'arbre- tambour, les embrayages transmettent le mouvement au tambour à des vitesses soit HI ou LOW **Figure 2.3**

2.4.1 La procédure de sélection de vitesses du treuil :

La sélection des vitesses dépend de la charge au crochet.

➤ 1ere vitesse : LO-LO

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entrée avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le grand pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la manette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW. Cette vitesse est utilisée pour les grandes charges.

➤ 2eme vitesse : LO-HI

Le clabot est toujours enclenché dans le grand pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

➤ 3eme vitesse : HI-LO

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entrée avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le petit pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la manette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW.

➤ 4eme vitesse : HI-HI

Le clabot est toujours enclenché dans le petit pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

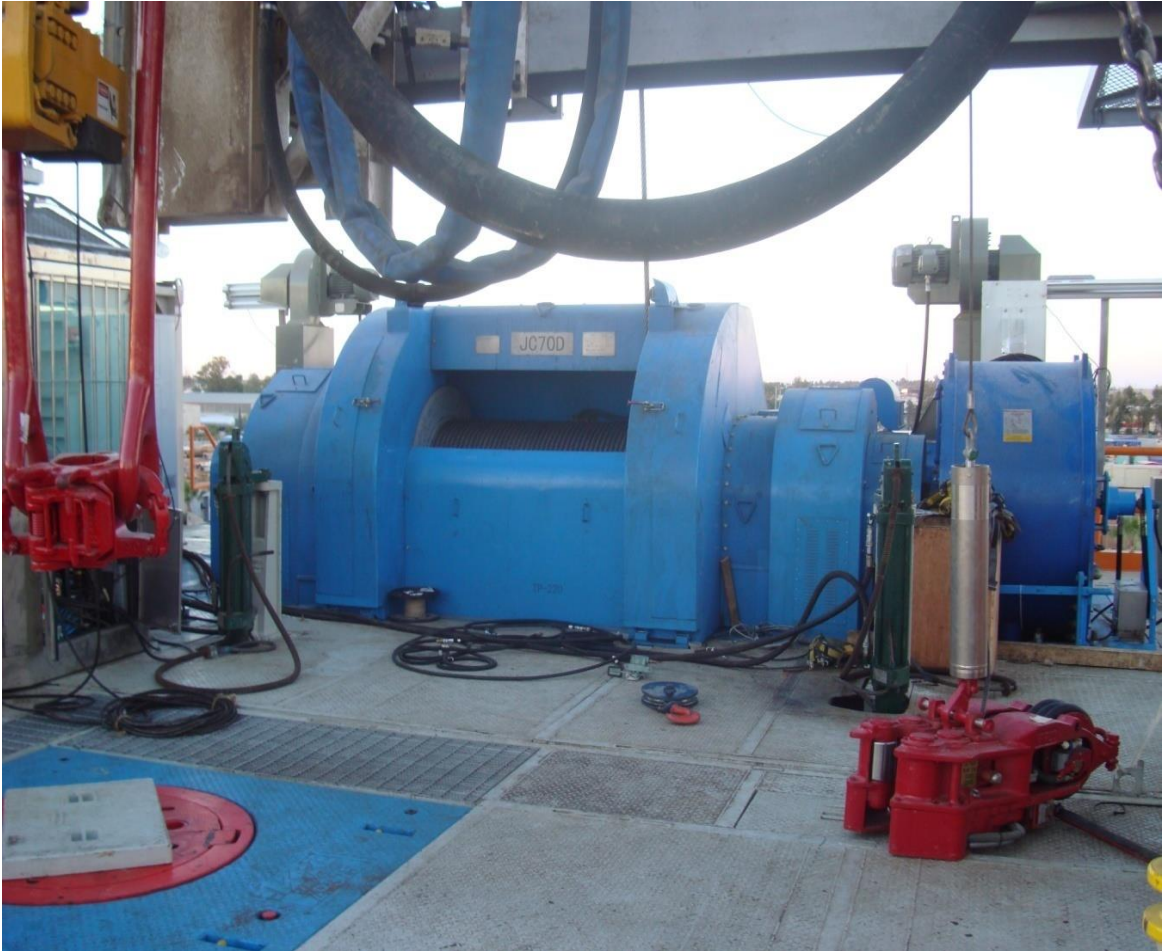


Figure 2.3 : le treuil de forage (JC 70 D)

2.5 Conclusion :

Le treuil Jc70 D à une construction simple qui offre une grande performance pour les travaux de forage.

Le tambour et l'arbre-tambour offrent un fonctionnement adéquat, permettant ainsi une grande durée de vie. Ils peuvent atteindre une dizaine d'années sans un changement radical de ces pièces de base.

Le système de freinage est la partie sensible du treuil. Le frein principal du treuil Jc70 D offre une grande efficacité dans la commande de l'arrêt du train de tiges de forage.

3.1 Introduction

Le besoin des chantiers de forage à la consommation d'électricité est en augmentation permanente.

Vu le développement scientifique dans le domaine de l'énergie électrique et le contrôle de cette dernière, il est devenu nécessaire de trouver des systèmes d'exploitation appropriés à cette énergie avec des coûts réduits, et cela en utilisant des composants électroniques d'une fonctionnalité précise et d'une haute efficacité ce qui a mené à trouver un système de contrôle et de production d'énergie électrique nommé unité de redressement (SCR) (Silicon Controlled Rectifier) (redresseur commandé au silicium).

3.2 Les systèmes de transmissions de puissance :

➤ **Transmission mécanique :**

Plusieurs moteurs diesel travaillent en parallèle grâce à leur interconnexion par un système de chaînes d'embrayage.

➤ **Transmission électrique :**

Les appareils de forage utilisent le système pour la consommation d'énergie électrique qui est fournie par le moteur diesel (**Caterpillar**) et les génératrices (KATO).

3.3 Présentation du système SCR :

L'appareil de forage peut être décrit sous forme de deux catégories de matériel :
Le matériel de surface et le matériel de fond et c'est la première catégorie qui nous intéresse :
Cette dernière est répartie en plusieurs groupes assurant les opérations de forage des puits se sont :

- Les équipements de puissance.
- Les équipements de Forage.
- Les équipements auxiliaires et l'éclairage.

Les équipements de puissance c'est la force motrice qui assure les fonctions de forage telles que le levage, la rotation, le pompage, l'éclairage et les auxiliaires.

La force motrice est constituée d'un ensemble de génératrices ou d'alternateurs entraînés par des moteurs diesel. Le courant alternatif ou continu ce qu'on appelle les systèmes DC/DC, AC/AC ou AC/DC. Dans ce dernier cas, les diesels entraînent des alternateurs qui produisent du courant alternatif, une partie du courant produit sera redressée (transformée en courant continu) dans la centrale SCR pour alimenter les moteurs à courant continu à vitesse et à couples variables entraînant des machines de forage (treuil, table de rotation et pompes à boue), le reste du courant alternatif servira pour les accessoires et l'éclairage. un groupe électrogène de secours (emergency engin) servira en cas de problème sur les groupes de force en assurant l'éclairage et certaines fonctions accessoires **Figure 3.1 [7]**.

Un système AC/DC SCR de commande se compose des unités suivantes :

- Unités Génératrices pour la commande et le contrôle des groupes moteurs alternateurs.
- Unités SCR pour le redressement du courant alternatif triphasé qui est destiné à l'alimentation et à la commande des moteurs de traction.
- Centre de Commande des Moteurs MCC (Motors Control Center) comprenant l'alimentation et le contrôle des machines auxiliaires entraînées par des moteurs asynchrones via les transformateurs abaisseurs qui fournissent du courant à basse tension pour les auxiliaires CA telles que : les Agitateurs , les Super-charging, les Mixeur, les tamis vibrants, les Dis sableurs, les Mud-cleaners, les Trip-tanks, les Blowers, les pompes de Graissage et de refroidissement, els Pompes à eau, les Compresseurs, éclairage et locaux d'habitation...etc.
- Unité de contrôle du Frein Electromagnétique(Elmagco) autant qu'un ralentisseur.
- Armoires d'éclairage (Light Panels).
- Unité d'alimentation de champ CC pour les moteurs de traction CC si l'excitation est shunt (parallèle).
- Console du foreur (Driller Console) pour la commande de toutes les fonctions de forage à partir du plancher de forage.
- Unité Batterie Back up en cas d'absence d'alimentation continue pour le frein électromagnétique.
- Unité Automate Programmable industrielle PLC (différent type, marque et conception).

- Transformateurs abaisseurs.
- Unités de climatisation centrale [7].

3.3.1 Caractéristiques Principale du système SCR:

- ✓ Entrée AC : 600 V
- ✓ Fréquence : 60 HZ
- ✓ Sortie DC : 0 – 750 V
- ✓ Courant de sortie : 0- 1800 A

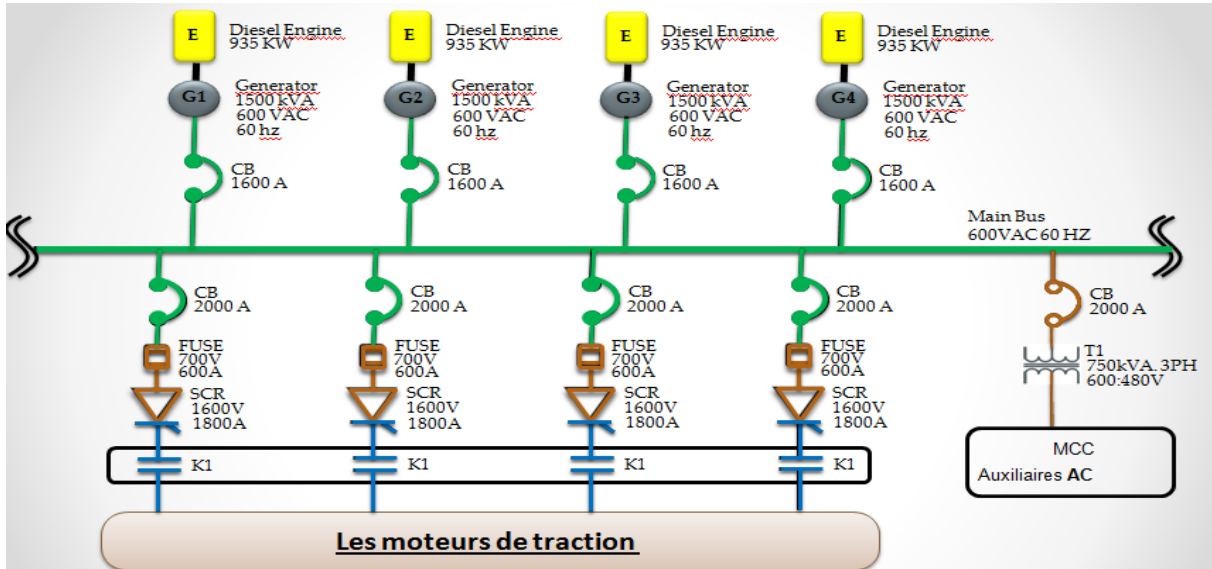


Figure 3.1 : Schéma typique du Système

3.3.2 Unité alternateur

L'unité alternateur est reliée à son armoire (GEN UNIT), cette armoire contrôle et commande la tension délivrée par les groupes électrogènes.

- Chaque alternateur fournit 3 phases (ØA ØB ØC) de 600 VAC et d'une fréquence de 60 Hz.
- La sortie de tous les générateurs est reliée à un seul jeu de barre.
- Toutes les unités alternateurs possèdent un module électronique qu'on appelle le module AC, en plus un circuit de protection qui est prévu à déclencher le disjoncteur en cas d'anomalie. **Figure 3.2**
- L'interface de l'unité contient les indicateurs et les boutons de contrôle.



Figure 3.2 : Unité Alternateur

3.3.3 Le module AC

C'est une boîte métallique qui se trouve au niveau d'unité alternateur qui contient des circuits électroniques tels que la régulation de vitesse de diesel et tension de l'alternateur.

Figure 3.3

Sur son interface frontale, on a quelques auxiliaires de commandes et de signalisation comme la lampe de mise en marche, indicateurs des valeurs (tension et courant) et le bouton de test pour les valeurs suivantes :

- La référence, le courant et la tension du throttle.
- La référence de la tension.
- La contre réaction du courant d'excitation.
- Le signal d'impulsion de l'excitation.



Figure 3.3 : Module AC control

3.3.4 Unité SCR :

L'unité SCR est l'armoire ou le redressement de la tension AC est assuré, entre autre elle contient les circuits nécessaire qui ont pour rôles de contrôlés et régulés la tension DC convertie par le pont thyristors. **Figure 3.4**

L'interface de l'unité contient :

- Le Disjoncteur
- La carte logique d'indication d'assignement des contacteurs
- La lampe SCR ON
- Voltmètre et Ampèremètre DC
- Un bouton de verrouillage des moteurs
- La lampe d'indication d'anomalie de surtension
- La lampe d'indication d'anomalie de glissement de chaine

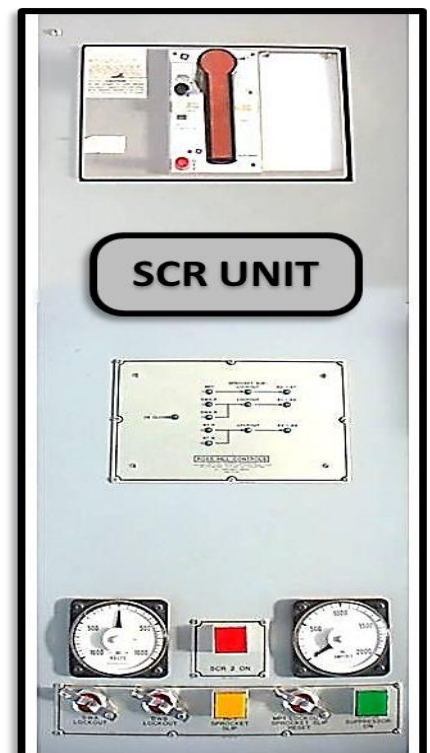


Figure 3.4 : Unité SCR

L'unité SCR comprend :

- le pont SCR
- Le disjoncteur
- le circuit de surtension
- le circuit de détection de défaut de terre
- Circuit Commande des contacteurs
- Le module DC
- Le circuit de glissement de chaîne [7].

3.3.5 Le pont SCR :

- Trois phases alimentent le pont SCR à travers un disjoncteur, Chaque phase est reliée à 2 thyristors.
- Les sorties DC (+) et DC (-) alimentent les moteurs par l'intermédiaire des contacteurs.
- Les thyristors conduisent s'ils reçoivent des impulsions sur leurs gâchettes. Ces impulsions proviennent du module DC. **Figure 3.5**

3.3.6 Le module DC :

Il contient des circuits électroniques pour l'unité SCR.

On peut les grouper en 3 parties :

1. Le régulateur DC.
2. Le circuit d'amorçage.
3. Le frein dynamique du treuil.

3.3.7 Le régulateur DC :

C'est un circuit de contrôle de contre réaction qui compare la vitesse du moteur et son couple d'effort (torque) ou bien le courant.

Les entrées de du circuit sont :

- La vitesse de référence.
- La vitesse de contre réaction.
- Le courant de contre réaction.

La sortie du régulateur est une impulsion de référence pour le circuit d'amorçage.



Figure 3.5 : Le module DC

3.3.8 Armoire de distribution AC (MCC)

L'armoire de distribution AC est une partie du système SCR. Elle est composée de deux parties (A / B), chacune reçoit une tension de 480 Volts à partir des transformateurs et fournissent un contrôle centralisé des fonctions auxiliaires à partir des unités starter.

Figure 3.6.

Description :

- Les starters magnétique sont utilisés pour l'alimentation des auxiliaires AC tel que : soufflantes des moteurs DC, agitateurs ... etc.
- Chaque unité de starter dispose d'un bouton (H.O.A) {hand-Off-Auto}, ou d'un bouton poussoir {démarrage – arrêt}.
- La protection contre la sure charge est assurée par un relais thermique de surcharge et également par un disjoncteur pour la protection contre les courts circuits [7].

Les transformateurs :

- 02 transformateurs : (750 KVa) (600V / 480V).
- 02 transformateurs : (75 KVa) (480V / 120V, 208V).
- 01 transformateur : (30 KVa) (480V / 240 V).



Figure 3.6 : Armoire MCC

3.4 Console de foreur

La console du foreur est l'élément principale de commande des fonctions DC dans un chantier de forage située sur le plancher de l'appareil de forage, elle contient tous les contacts de sélection et les combinaisons pour les opérations de forage et levage .En plus elle contient le rhéostat de commande des potentiomètres de référence des moteurs DC (DW, RT et MP). **Figure 3.7**



Figure 3.7 : la console de foreur

Les fonctions lumineuse au niveau du panel indiquant : les alternateurs qui est-on ligne, les unités SCR opérants ainsi que les auxiliaires tels que Les soufflantes etc....

3.4.1 Les signaux d'entrée :

La console de foreur ne requiert pas une alimentation électrique indépendante, elle reçoit les valeurs de tension suivantes **Figure 3.8** :

- 115 Volts AC de la section de synchronisation de l'alternateur.
- ± 14 Volts DC de chaque unité SCR.
- -14 Volts DC du contacteur de puissance afin de développer le signal de contrôle, associé avec chaque moteur de traction (DC).

3.4.2 Les signaux de sortie :

- (0 a -8) Volts DC Signal de moteur de référence d'accélération vers les unités SCR (DC module) pour chaque fonction DC.
- -14 Volts DC de contrôle de contacteur pour Chaque moteur de traction [7].

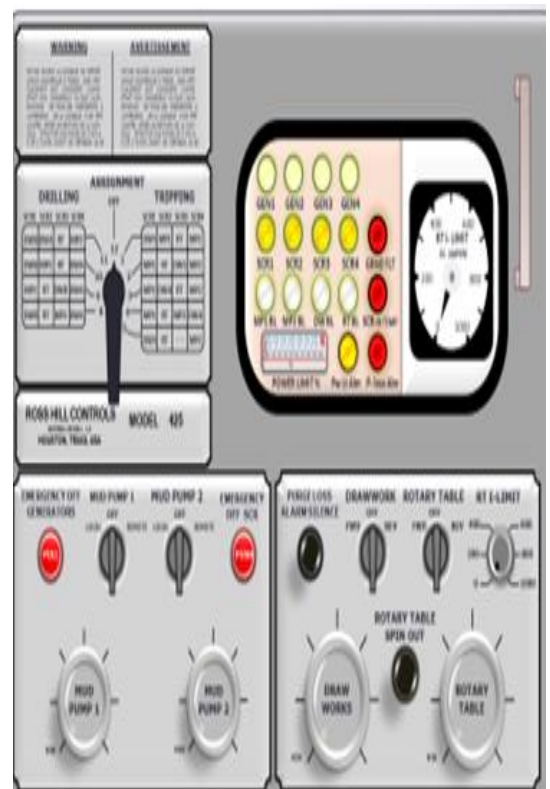


Figure 3.8: Interface des signaux d'entré et sortie

3.5 Machines de forage :

3.5.1 Machines entraînées par des moteurs à courant continu :

Quatre machines de forage entraînées par des moteurs à courant continu à excitation série ou shunt :

3.5.1.1 Table de rotation

- La table de rotation **Figure 3.9** a deux rôles :
 1. En cours de manœuvre elle supporte le poids du train de sonde par l'intermédiaire de coins coniques de retenue (cales).
 2. En cours de forage, elle tourne (à droite c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre et fait tourner le train de sonde par l'intermédiaire d'une fourrure à passage carré, du carré d'entraînement et de la tige d'entraînement.

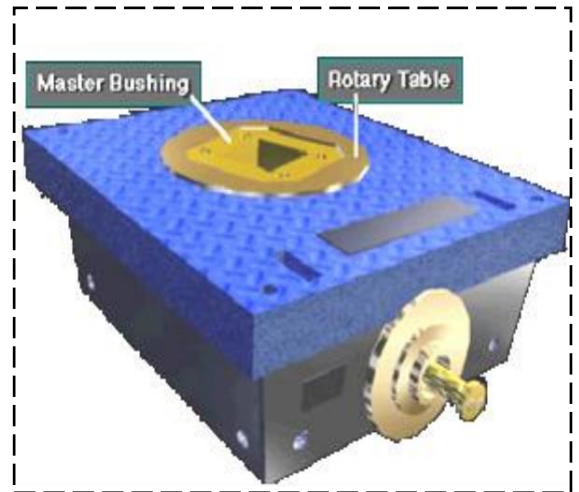


Figure 3.9: La table de rotation.

- La partie tournante de la table transmet le mouvement de rotation au carré d'entraînement par l'intermédiaire de la fourrure principale (master brushings). Un jeu de deux fourrures coniques et interchangeables relie la fourrure principale aux coins de la retenue (slips) pendant la manœuvre et l'ajout de simple.
- Le carré d'entraînement assure la liaison entre la fourrure principale et la tige d'entraînement et entraîne en rotation la garniture tout en déplaçant de haut en bas la tige d'entraînement.
- L'entraînement d'une table de rotation peut être réaliser à l'aide d'un moteur à courant continu, qu'il doit présenter une très large gamme de couples et de vitesses, pour être utilisable dans des conditions du travail très variables suivant le programme du maître d'œuvre et le terrain.
- Notons qu'il est intéressant d'avoir une vitesse de rotation sensiblement constante indépendamment du couple résistant, phénomène de soft torque.
- Par ailleurs, il est nécessaire d'avoir une bonne limitation du couple maximal pour éviter la rupture du train de tiges en cas de coincement de l'outil, un potentiomètre d'un Kilo ohm environ ; (selon le constructeur) ; gradué qui permet de choisir le couple maximal affiché à la table de rotation en fonction de la garniture de forage et

pour éviter la rupture de cette dernière (RT Torque Limite) , généralement un torque mètre existe sur le plancher ou la Dog House pour indiquer le couple de la table de rotation approprié.

- Et pour obtenir une vitesse lente et constante de la table de rotation en agissant sur un bouton poussoir au niveau du Driller console (BP.SPIN OUT).
- Enfin il faut savoir aussi que l'entraînement de la table de rotation doit s'effectuer dans les deux sens, la sélection se faisant au moyen d'un commutateur (For Ward & Reverse) [8].

3.5.1.2 Treuil de forage

Le treuil de forage est l'organe principal de la sonde ; par sa capacité il caractérise le Rig en indiquant la profondeur de forage que peut atteindre. **Figure 3.10**

La règle du pouce donne sa puissance d'une manière pragmatique « pour 100 feet de forage, il faut 10 HP de puissance au treuil »

Exemple : 19685 feet = (6000 m) ↔ 2000 HP.

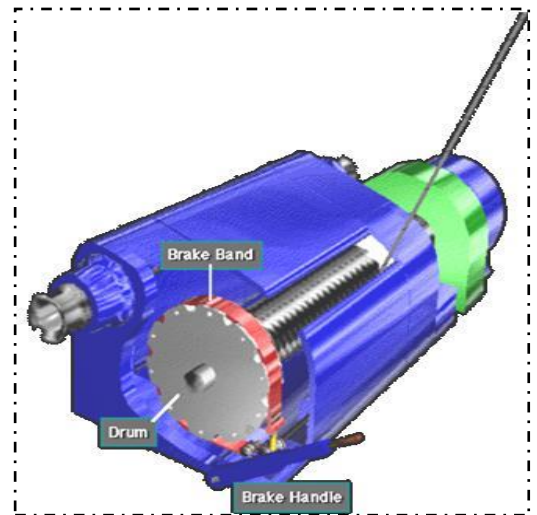


Figure 3.10 : Le treuil de forage

Il regroupe un ensemble d'éléments mécanique et/ou électrique, son régime de travail est intermittent qu'on peut différencier plusieurs opérations :

- Opération de Remontée du train de tiges qui est partiellement fréquente et de longue durée elle s'est réalisée par longueur de trois éléments.

Le treuil est soumis à un régime périodique, il est à noter que l'amplitude des efforts décroît avec la longueur du train de tiges. Il en est de même du temps de relevage.

En plus, en régime transitoire d'accélération il apparaît un important appel de puissance de courte durée mais susceptible de perturber la vitesse des moteurs diesels et il aura plusieurs phénomènes électriques qui se produisent.

- Opération de descente des charges : qui s'effectue au niveau du frein auxiliaire Elmagco (à courant de Foucault) ; les moteurs électrique étant débrayés. Un frein mécanique permet le maintien au calage.

Les dispositifs électriques d'entraînement doivent, toutefois, posséder une capacité de freinage correspondant à l'absorption de l'énergie cinétique de rotation pour assurer un ralentissement rapide du treuil qui est un phénomène géré par le SCR.

- Opération d'ajout de tige : Le treuil doit soulever le train de tiges d'une hauteur qui correspond à la longueur d'un élément, la durée de l'opération est inférieure à la minute, elle est répétitive à des intervalles de temps variant entre quelques minutes est plusieurs heures en fonction de la nature du train et des paramètres de forage exigé.

La puissance installée varie dans les limites très larges suivant la destination de l'équipement de forage. Elle est généralement comprise entre 800 et 2000 HP avec possibilité de surcharge instantanée très importante compte tenu du régime du treuil. Pour des raisons de sécurité on prévoit généralement deux moteurs dimensionnés de telle que l'un d'entre eux puisse relever le train de tiges le plus lourd ; Le treuil possède deux sens de rotations que l'on peut sélectionner au moyen d'un commutateur (For Ward & Reverse) [8].

3.5.1.3 Pompe à boue

Elément principal du circuit, assure la circulation de la boue de forage dans le puits. Entraînée par un moteur Diesel ou deux moteurs électriques, elle aspire la boue des bassins et la refoule dans le puits. **Figure 3.11**

Elle doit être assez puissante pour vaincre tous les frottements du fluide depuis l'injection jusqu'au retour en surface.



Figure 3.11 : Les deux pompes à boue

Elle se compose de deux parties :

- La partie mécanique : sert à transformer le mouvement de rotation (Moteur DC dans le cas des SCR) reçue en un mouvement alternatif communiqué aux pistons.
- La partie hydraulique : C'est le logement des pièces d'usure. Elle comprend deux ou trois « corps » (selon le type de pompe) dans lesquels sont montées des chemises.

Dans chaque chemise se déplace (mouvement alternatif) un piston relie par une tige de piston à la partie mécanique. Ce piston aspire le fluide par la conduite d'aspiration et clapet d'aspiration puis le refoule dans des pompes volumétrique, alternatives, à double effet ; à pistons horizontaux ;

- 2 pistons : pompe duplex.
- 3 pistons : pompe triplex.

Elle se caractérise par la variation de débit qui est obtenue par variation de la vitesse du moteur d'entraînement. Cette vitesse doit être limitée à une valeur de sorte que l'aspiration de la pompe ne soit pas perturbée.

Notons, au passage, que la mesure du débit s'effectue par comptage du nombre de coups par minute de la pompe.

Sachant que le débit et la pression de la pompe sont respectivement proportionnels à la vitesse et au couple développé par le moteur d'entraînement il est clair que la caractéristique $C = F(N)$ de ce dernier doit être analogue à $P = F(Q)$.

Le régime de fonctionnement est pratiquement continu, lorsque la profondeur du forage croît, la pression de refoulement, nécessaire pour assurer la circulation à débit constant, à pression et à puissance variables.

Signalons, que les entraînements de pompe à boue sont à un sens de rotation et que le freinage électrique par récupération n'est pas nécessaire.

Une installation de forage comprend généralement deux ou trois pompes à boue. Dans la majorité des cas chaque pompe est entraînée par deux moteurs à courant continu [8].

3.6 Freinage du treuil par récupération

Le freinage par récupération est utilisé pour ralentir et freiner le moteur du treuil au moment du débrayage. Ceci n'est pas un complètement ou une substitution du freinage magnétique, qui lui, agit sur le tambour principal.

Le moteur débrayé, peut tourner 45 sec pour passer de la pleine vitesse à la vitesse d'attente et ce, entraîné par sa vitesse d'inertie. Par contre si on lui applique un freinage par récupération le moteur mettra 8 à 12 secs pour passer de la vitesse maximale à la vitesse d'attente fixée par le rhéostat [8].

3.6.1 Théorie de fonctionnement :

Pour fonctionner le moteur et le générateur nécessitent trois conditions :

1. Un enroulement statorique.
2. Un enroulement rotorique.
3. Une énergie mécanique.

Dans un moteur l'ensemble stator et rotor est traversé par un courant. Dans chaque enroulement, le courant génère un champ électromagnétique autour de ce dernier.

Il y a une interaction entre les lignes de champs électromagnétiques du rotor et celles du stator ; ce qui cause une répulsion entre elles.

Le stator étant fixe et le rotor libre, cette interaction est la cause du mouvement du rotor. Ce mouvement est utilisé pour faire tourner des machines. L'énergie électrique est donc transformée en énergie mécanique.

Dans un générateur (alternateur dans notre cas) c'est l'effet inverse qui se produit ; l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

La rotation est due à une énergie mécanique ; En coupant le champ électrique du stator, le rotor est le siège d'une f.e.m. Cette f.e.m. Provoque une circulation de courant électrique si le circuit du rotor est fermé.

Si ce circuit comprend une charge résistive, la puissance due à la f.e.m. produite, est dissipée par effet joule. L'énergie convertie en chaleur est perdue étant donné qu'elle n'a pas

fourni un travail. Cette méthode de ralentissement du moteur est appelée farinage dynamique (dynamique break).

Il est aussi possible de diriger cette puissance (mécanique ou électrique) vers la source d'origine. En retournant cette puissance vers la source d'origine on ralentit le moteur et en même temps on économise une énergie supplémentaire. Cette méthode de ralentissement du moteur est appelée freinage par régénération ou récupération (régénérative break).

Le fonctionnement de ce montage peut se résumer comme suit :

1. La source d'origine est alternative (AC).
2. L'AC est converti en courant continu (DC) par le pont.
3. Le moteur est alimenté en DC.
4. Durant le freinage par régénération la sortie DC produit par le moteur est convertie en AC par le même pont ; Le pont est utilisé comme onduleur c'est dire convertisseur DC/AC.

Dans le freinage par « régénérative break », l'énergie produite est renvoyée à la source après avoir été convertie en AC. Pour pouvoir le faire il faut que sa polarité soit en adéquation avec le sens du pont de thyristors.

Une fois convertie, cette énergie revient au réseau si elle est supérieure à ce dernier.

Le relais d'inversion armatures (RL6) est excité [8].

3.6.2 Condition du cycle de freinage

1. Le module DC détecte le besoin de freiner
2. Le relais d'inversion armatures (RL6) est excité.
3. Le contacteur de puissance (K5) se positionne en inverse.
4. K8 est désexcite (champ série), K9 est excite (champ de régent).
5. Les thyristors sont amorcés avec un angle supérieur à 90° pour convertir le DC en AC.

3.7 Frein dynamique "dynamique break"

3.7.1 Description :

- Le frein dynamique ralentit le moteur en le ramenant à la vitesse d'attente fixée par le volant, dès que la pédale est relâchée par le foreur. Le freinage est utilisé surtout dans le mode de levage.

- Comme le frein par régénération, le frein dynamique n'est pas une substitution ou un complément du freinage magnétique utilise sur le tambour du treuil.
- Sans freinage, le moteur s'arrête 30 à 40 sec après que l'on ait relâché la pédale avec le frein dynamique le moteur s'arrêtera après seulement 12 à 18 sec.
- Contrairement au frein de régénération, ou le moteur que l'on frein produit une énergie que l'on renvoie à la source. Avec le frein dynamique .l'énergie produit une énergie que l'on renvoyée dans une série de résistances et consommer par effet joule.

3.7.2 Théorie de fonctionnement :

Pendant le débrayage du moteur .ce dernier est livre à sa pleine vitesse par son inertie. On notera que le moteur à excitation séparée tourne en "roue libre", il se conduit comme un générateur et produit une énergie que l'on renvoie à la source .ce phénomène est appelé régénération.

- le moteur peut aussi être freiné en dissipant cette énergie à travers des résistances.
- Les moteurs séries peuvent devenir aussi générateurs par excitation de leur champ.

3.8 Conclusion :

Le système SCR permet d'obtenir une conversion de la tension alternative en une tension Continue variable. Ce système permet d'ajuster la puissance AC produite par les alternateurs et délivrer une puissance DC continue pour les moteurs de traction.

Le freinage du treuil de forage se fait par deux types de freinage ; Par récupération et par DBK (Dynamique Break). Ceux-ci sont d destinés à ralentir les moteurs du treuil de forage

Le Freinage par récupération nous permet de récupérer l'énergie fournie par les moteurs du Treuil.

Le Frein dynamique nous permet de récupérer l'énergie fournie par la rotation à vide pendant le relâchement de l'accélérateur est dissipé sous forme d'énergie calorifique.

2.1 Introduction :

Le treuil de forage est l'organe principale de la sonde, par sa capacité il caractérise le rig en indiquant la profondeur de forage que l'on peut atteindre le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions :

- les manœuvres de remontée et de descente (levage) de train de sonde à des vitesses rapides et en toute sécurité ce que constitue sa principale utilisation.

- L'entraînement de la table de rotation quand celle-ci n'est pas entraînée par un moteur indépendant.

- Il fournit la puissance à un arbre secondaire permettant le vissage et le dévissage du train de sonde ainsi que les opérations de curage.

- La remontée et la descente du mât pendant le DTM.

2.2 Description de fonctionnement [5] :

Le treuil de levage se compose de deux unités séparées, et ce, de l'unité du treuil de levage avec le tambour et de l'unité d'entraînement avec deux moteurs CC. Les deux unités sont montées sur des bâtis en forme de traîneaux. Le treuil de levage est entraîné par deux moteurs montés en arrière. Chaque moteur a un ventilateur autonome entraîné électriquement et un chauffage. Les deux moteurs transmettent leur force moyennant des embrayages sur l'arbre de commande. **Figure 2.1**

- L'arbre de commande est lié à l'arbre secondaire par deux systèmes d'entraînement à chaînes. L'arbre de transmission est pourvu d'un système permettant le changement dans la 1ère et la 2e vitesse. D'autres chaînes raccordent l'arbre secondaire avec l'arbre du tambour de levage et l'arbre de curage.

Les systèmes d'entraînement à chaînes sont lubrifiés par un système à circulation sous pression qui est alimenté par une pompe de refoulement à engrenages qui est entraînée par un moteur électrique.

Par l'actionnement des embrayages respectifs à l'arbre du tambour de levage, on obtient d'autres taux de réduction de la vitesse de rotation et les transferts sur le tambour.

Quatre vitesses de rotation du tambour de levage sont donc disponibles d'après la vitesse demandée et la charge suspendue moyennant les systèmes d'entraînement à chaînes différents.

-Le tambour de levage peut être freiné par levier à main du système de frein à ruban. Les couronnes de freinage du frein à ruban sont refroidies par eau.

-Un embrayage opéré par main peut raccorder l'arbre du tambour de levage à un frein à courants Foucault refroidi par eau. Le frein à courants Foucault sert de frein auxiliaire et réduit l'usure du frein à ruban. La lubrification à graisse des roulements se fait par des points de lubrification directement à la position des roulements ou moyennant un système de lubrification central.

2.3 Différentes parties mécaniques :

2.3.1 Bâti du treuil de levage :

Le bâti du treuil de levage est une construction à la soudure en acier haute résistance.

2.3.2 Bâti des moteurs :

Deux moteurs CC moteurs de forage à enroulement en série et haut couple avec refroidisseur à air servent des moteurs d'entraînement. L'air de refroidissement est pressé dans le moteur à travers un ventilateur radial du côté du collecteur. L'air de décharge chauffé sort du côté d'entraînement du moteur.

2.3.3 Arbre principal (Arbre de tambour) :

L'arbre de tambour peut être entraîné par deux arrangements divers des paires de chaînes de l'arbre secondaire (arbre intermédiaire). Ils sont reliés par des embrayages pneumatiques. Les soupapes à fermeture instantanée des embrayages sont construites comme partie intégrante de l'embrayage.

Le tambour de manœuvre monté sur l'arbre principal du treuil, le tambour de manœuvre permet l'enroulement et le déroulement du câble de forage suivant que l'on remonte ou descende le train de sonde.

Il peut être lisse mais plus généralement cannelé, ce qui permet un enroulement correct et réduit le risque d'écrasement du câble.

Des deux coté du tambour figurent des rouleaux qui évitent l'usure par frottement du câble sur les joues du tambour.

2.3.4 Arbre d'attaque (Arbre de commande ou arbre d'entrée) :

L'arbre de commande est entraîné par deux moteurs CC. La commande secondaire se fait moyennant des roues à chaînes vers l'arbre de transmission. En plus, un embrayage est installé sur cet arbre.

2.3.5 Arbre secondaire (arbre intermédiaire ou arbre de sortie) :

Le contre arbre est entraîné par chaînes, partant de l'arbre de commande. Le nombre de tours peut être varié moyennant embrayage à denture et plusieurs roues à chaînes. Du côté d'entraînement secondaire, l'arbre est relié à l'arbre de cabestan et arbre de tambour, moyennant des chaînes.

2.3.6 Le frein principal :

2.3.6.1 Description :

- Est constitué de deux bandes métalliques circulaires équipées de garnitures (patins) reliées aux bandes par des boulons à têtes fraisées.
- Ces bandes sont reliées par une barre d'équilibrage qui répartit les forces entre les deux bandes et réduit ainsi l'usure des patins.
- Chaque bande enveloppe une jante de grand diamètre rivetée sur la joue de tambour.
- La surface de ces jantes est généralement cémentée afin de résister à l'usure.
- Le système de frein à ruban est pourvu d'un système de refroidissement par eau. les raccords à eau peuvent être posés des deux côtés du bâti.
- Cette circulation d'eau à l'intérieur des jantes dissipe la chaleur dégagée.

2.3.6.2 Principe de fonctionnement :

Le tambour à freiner (T) est serré plus ou moins fortement par la bande (B) dont une extrémité (P) est fixe et l'autre est tirée dans le sens de flèche (F) au moyen de levier (L) qui tourne autour de l'axe (A) et est attaché en (M) à la bande par une articulation (**figure2.2**) [6].

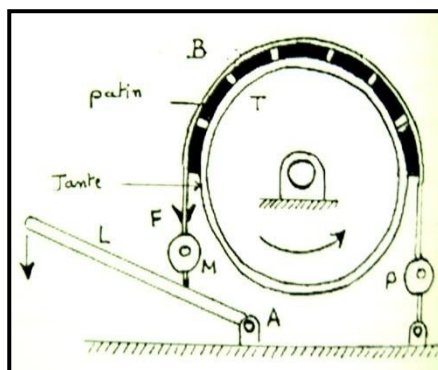


Figure 2.1 tambour frein

2.3.6.3 Levier du frein principal :

Le levier du frein de tambour à côté de la console de commande applique le mécanisme de freinage dans le treuil de levage.

Le levier de freinage peut être assemblé en plusieurs positions différentes pour un maniement plus aisé.

Le support du ruban de frein lève le ruban du tambour lorsque le frein n'est pas actionné pour éviter l'usure des garnitures de frein [6].

2.3.6.4 Ajustage du frein à ruban :

Le frein à ruban doit être rajusté avant que le levier d'accouplement du vérin pneumatique contacte la butée à l'application de pression. Contrôlez l'ajustage chaque jour et/ou pendant chaque poste. S'il est en contact à la butée, un freinage effectif n'est plus garanti et l'ajustage devient nécessaire [5].

2.3.7 Le frein auxiliaire (électromagnétique) -El Magco- :

La capacité de freinage du système à bandes n'est pas suffisante lorsque les plus lourdes sont descendues dans le puits.

C'est pourquoi sur tous les appareils de forage il est adjoit un autre frein dit « auxiliaire » ou ralentisseur de charge destiné à absorber la plus grande partie d'énergie.

Positionné dans le prolongement de l'arbre tambour de manœuvre, il est accouplé à ce dernier par un embrayage à clabot ou à denture (ou pneumatique).

Le frein auxiliaire est électromagnétique de type el-magco du point de vue forme et disposition, il ressemble au frein hydraulique, mais son fonctionnement est électrique.

Freins électromagnétiques qui convertissent le mouvement de la roue entre les fers d'un électroaimant en courants induits soumettant la roue à une force opposée à son déplacement, avec dégagement de chaleur .Ce frein comprend un stator muni de bobines et un rotor. Ces bobines sont alimentées d'un courant continu à travers un rhéostat qui fait varier l'intensité de freinage et deviennent des aimants créant un champ magnétique. Le rotor en tournant dans ce champ devient le siège du courant de FOUCAULT [6].

Ainsi, il se crée une force de freinage entre les bobines et le rotor. Cette force de freinage varie proportionnellement à l'intensité du courant contrôlé par le rhéostat et commandé par le maître de sondeur.

A l'intérieur de ce frein, circule une eau qui dissipe la chaleur produite.

2.3.8 Embrayage du frein à courants Foucault :

L'embrayage raccorde le bout de l'arbre de tambour et le frein à courants Foucault moyennant un mécanisme de changement opéré par main.

Le levier d'embrayage doit être fixé en deux positions avec les raccords de sûreté L'arbre tambour de curage et les cabestans :

Le tambour de curage et les cabestans sont montés sur un même arbre situé à la partie haute de treuil [5].

2.3.8.1 Le tambour de curage :

De conception sensiblement identique au tambour de manœuvre, il est utilisé pour les opérations spéciales dans le puits comme le nettoyage des puits.

2.3.8.2 Les cabestans :

Il est constitué d'un tambour coulissant et deux poupées clavetées sur l'arbre la rotation du tambour est obtenue par embrayage pneumatique qui plaque le tambour sur un disque de friction.

Les cabestans ont comme fonctions :

- le vissage et le dévissage du train de sonde à l'aide des clés.

2.3.9 L'arbre d'entraînement de la table de rotation :

L'entraînement de la table de rotation depuis le treuil se fait par chaîne baignant un carter ou par joint de cardan.

La table de rotation est à commande indépendante, ce qui a l'avantage, d'arrêter le treuil pendant le forage (rotation) et utiliser les moteurs de la transmission uniquement pour la pompe à boue [5].

2.3.10 La boîte de vitesse :

Intégrée au treuil ou positionnée sur la première section de la transmission (arrière de treuil), la boîte de vitesse permet pour des vitesses de rotation données des moteurs, d'entraîner les différents arbres du treuil à des vitesses diverses et dans les deux sens.

L'entraînement de ces arbres à partir de boîte se fait généralement par chaînes à rouleaux et embrayages pneumatique [6].

2.3.11 Les embrayages :

On distingue deux types d'embrayages :

- Embrayage pneumatique.
- Embrayage mécanique.

2.3.11.1 Embrayage mécanique :

- à clabot ou à denture :

L'accouplement ne se fait que lorsque les arbres sont à l'arrêt ou très faible vitesse.

- à disque :

Tendent à être remplacés par les embrayages pneumatiques.

2.3.11.2. Embrayage pneumatiques :

Le principe de l'embrayage pneumatique réside dans le gonflement d'une chambre annulaire qui crée une liaison entre deux cylindres. L'admission d'air dans la chambre met en contact des sabots de friction avec le tambour.

2.3.12 Le crown-o-matic :

C'est un dispositif de sécurité placé en parallèle avec la dernière spire d'enroulement du câble sur le tambour du treuil. Durant la remontée du moufle et en cas d'oubli par le conducteur du treuil d'utiliser frein principal, le crown-o-matic permet le freinage automatique du treuil pour éviter le bloc à bloc est suivi par la rupture du câble de forage et la chute libre du moufle mobile sur le plancher.

2.3.13 Barrière de sécurité (le Twin stop):

Joue le rôle d'un pivot mécanique soit pour un nombre de tours de tambours du treuil équivalent a un déplacement linéaire du moufle, l'arbre du moufle, l'arbre du réducteur fait moins d'un tour et d'éclanche l'action du frein pour éviter l'effet bloc à bloc ou bloc à plancher **figure (2.3).**



Figure 2.2: Twine stop

2.4 Fonctionnement du treuil:

Les deux moteurs électriques (Moteur de traction EMD model D79 MB) développent une puissance 1400HP à la boîte de vitesse du treuil, par l'intermédiaire de chaînes le mouvement est transmis à l'arbre- tambour, les embrayages transmettent le mouvement au tambour à des vitesses soit HI ou LOW **Figure 2.3**

2.4.1 La procédure de sélection de vitesses du treuil :

La sélection des vitesses dépend de la charge au crochet.

➤ 1ere vitesse : LO-LO

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entrée avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le grand pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la manette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW. Cette vitesse est utilisée pour les grandes charges.

➤ 2eme vitesse : LO-HI

Le clabot est toujours enclenché dans le grand pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.

➤ 3eme vitesse : HI-LO

Arrêter les moteurs électriques, freiner l'arbre d'entrée avec le frein d'inertie, enclencher le clabot dans le petit pignon de l'arbre de sortie, remettre les moteurs électriques en marche puis à l'aide de la manette de commande pneumatique alimenter l'embrayage LOW.

➤ 4eme vitesse : HI-HI

Le clabot est toujours enclenché dans le petit pignon de l'arbre de sortie, puis à l'aide de manette de commande on alimente l'embrayage HI du tambour.



Figure 2.3 : le treuil de forage (JC 70 D)

2.5 Conclusion :

Le treuil Jc70 D à une construction simple qui offre une grande performance pour les travaux de forage.

Le tambour et l'arbre-tambour offrent un fonctionnement adéquat, permettant ainsi une grande durée de vie. Ils peuvent atteindre une dizaine d'années sans un changement radical de ces pièces de base.

Le système de freinage est la partie sensible du treuil. Le frein principal du treuil Jc70 D offre une grande efficacité dans la commande de l'arrêt du train de tiges de forage.

4.1 Identification :

Lors de la descente des têtes de forage dans un puits de pétrole ou de gaz, un moyen d'arrêter l'ensemble des tubulures à l'altitude voulue est l'utilisation d'un frein à bande.

Ce frein fonctionne selon le principe suivant : en fonction du freinage désiré, une bande vient plus ou moins se coller contre le cylindre du treuil assurant la descente du train de tiges.

La commande du frein est réalisée par l'intermédiaire d'une servovalve qui, en fonction d'une tension, vient plaquer plus ou moins la bande contre le cylindre.

- ✚ Si l'on considère l'entrée en tension et la sortie en pression de la servovalve, cette dernière peut être représentée par un système du premier ordre de constante de temps égale à 0.6 [s] et dont le gain est 0.1.
- ✚ Lorsque la bande est complètement collée sur le cylindre, la réaction du frein à une commande inverse se produit avec un certain retard, qui peut s'expliquer notamment par la géométrie de la bande .Il en est de même pour une bande complètement décollée.
- ✚ Le frein pourra donc, en première approximation, être modélisé par un retard pur de la valeur $\tau = 0.3$ [s] qui symbolise la fonction de transfert entre la pression en sortie de la servovalve et l'accélération disponible $c(t)$.
- ✚ Enfin, si la variable $y(t)$ représente l'altitude de la tête du forage, le couple délivré par le frein vient contre-balancer le couple dû à l'accélération de la pesanteur traduisant la chute libre des tiges selon l'équation différentielle suivante :

$$0.1y'(t)+y''(t)=K[c(t)-g]$$

Telle que :

- ❖ $y'(t)$ et $y''(t)$ représentent les dérivées première et seconde de l'altitude.
- ❖ $c(t)$ est l'accélération en sortie du frein.
- ❖ g est l'accélération de la pesanteur.
- ❖ K est un coefficient lié à l'inertie du treuil, de valeur $K=0.06$.

4.2 Etude de la régulation de vitesse $z'(t)$:

4.2.1 Analyse du système :

Le schéma bloc de la régulation de vitesse de la tête de forage est tracé sur la **Figure 4.1** :

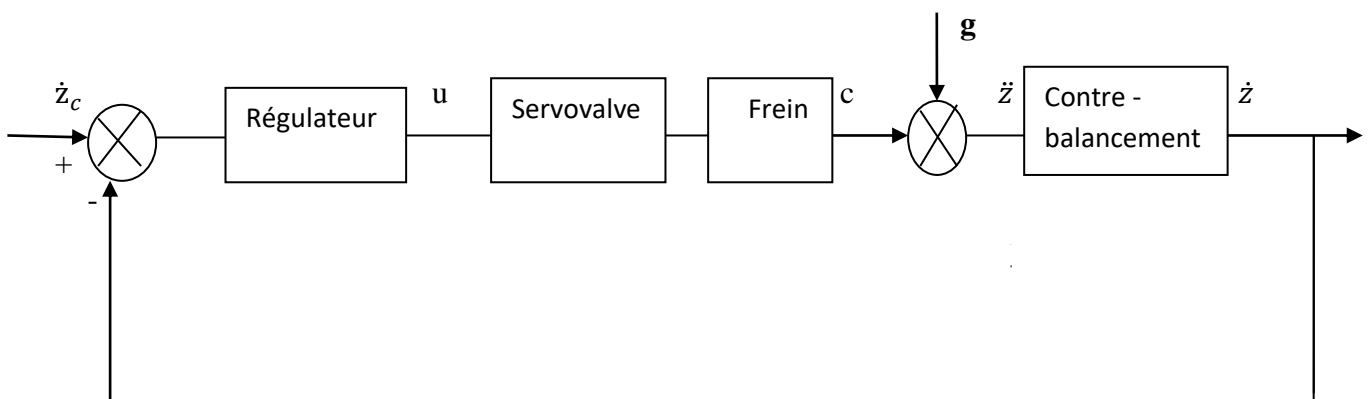


Figure 4.1 : schéma bloc de la régulation de vitesse.

Sur ce schéma :

- z'_c est la consigne en vitesse.
- U est la commande en tension de la servovalve.
- la grandeur à régler est la vitesse \dot{z} .
- la perturbation est l'accélération de la pesanteur g .

Les fonctions de transfert des différents blocs sont les suivantes :

➤ Pour la servovalve :
$$H_{sv}(p) = \frac{0.1}{1+0.6P}$$

➤ Pour le frein :
$$H_f(p) = e^{-0.3P}$$

➤ Pour le contre-balancement :
$$H_{cb}(p) = \frac{0.6}{1+10P}$$

4.3 Choix du régulateur:

Si l'on désire annuler toute erreur statique par rapport à un échelon de consigne ou pour que la présence de la perturbation g n'agisse pas, il est nécessaire que le régulateur possède une intégration : on envisagera donc un régulateur de type Proportionnel Intégral (**PI**) ou Intégral Dérivé (**PID**).

4.3.1 Fonction du transfert du processus :

La fonction de transfert du système complet est :

$$H(p) = \frac{Z'(p)}{U(p)} = H_{sv}(p) H_f(p) H_{cb}(p) = \frac{0.06e^{-0.3P}}{(1+0.6P)(1+10P)}$$

4.3.2 Réponse fréquentielle :

La bande passante est illustrée par la pulsation propre portée sur le diagramme de Bode.

La fonction de transfert en boucle ouverte de la boucle de vitesse (sans retard pur) :

$$H(p) = \frac{0.06}{(1+0.6P)(1+10P)} = \frac{0.06}{1+10.6P+6P^2}$$

4.3.3 Diagramme de Bode :

En prenant pour régulateur un gain unité, la réponse fréquentielle dans le plan de Bode est tracée dans la **Figure 4.2** :

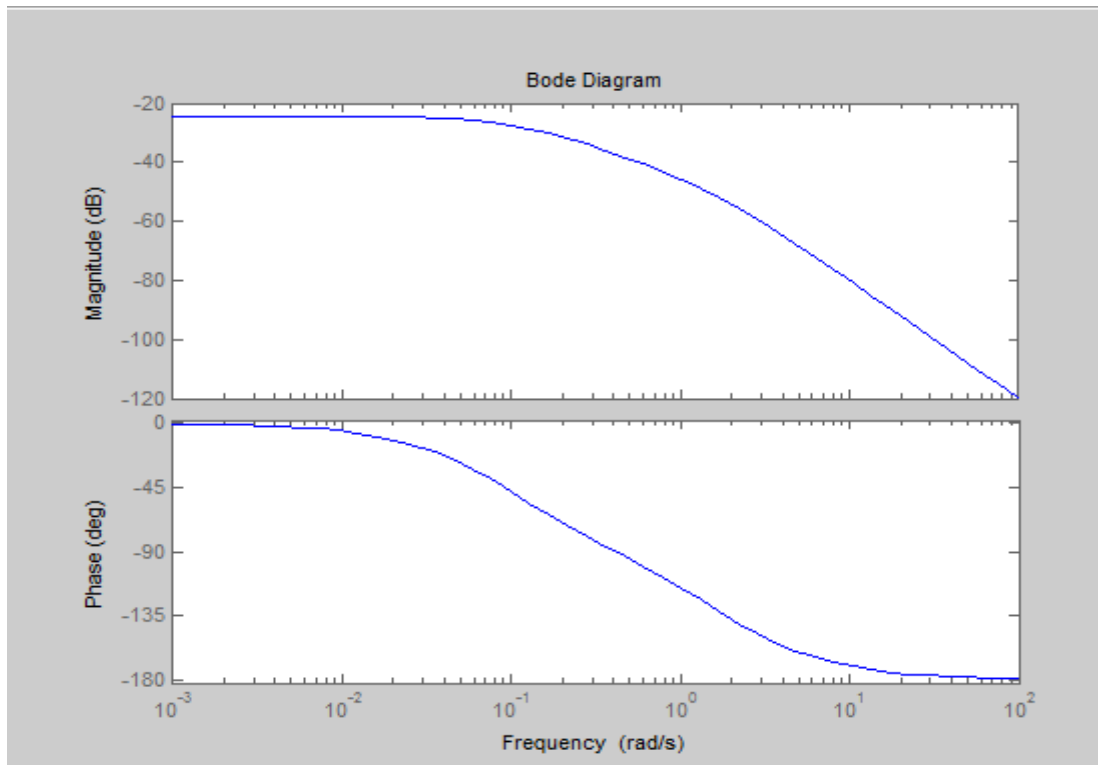


Figure 4.2 : illustration du diagramme de Bode sans retard pur

La fonction de transfert $H(P)$ avec retard est :

$$H(p) = \frac{0.06 - 0.009P}{(1 + 10.75P + 7.59P^2 + 0.9P^3)}$$

Le module est celui du diagramme de Bode :

- un gain statique égal à 0.06, c'est-à-dire -24 dB,
- Deux brisures placées aux pulsations $\omega_1=0.01$ rad/s et $\omega_2=1.67$ rad/s.

Le système n'est pas rapide, sa bande passante est étroite ; pour pouvoir de déficit du gain statique faible $k_s = 0.06$, on doit compenser d'une module de phase d'au moins $180^\circ - 45^\circ = 135^\circ$ afin d'avoir une large bande passante et autrement relevé le gain statique + 40 dB.

La réponse indicielle **Figure 4.4** atteste l'import du gain statique faible, l'écart type trop important.

Remarque : pour le diagramme de Bode

— F : fonction de transfert avec retard pur.

— H : fonction de transfert sans retard pur.

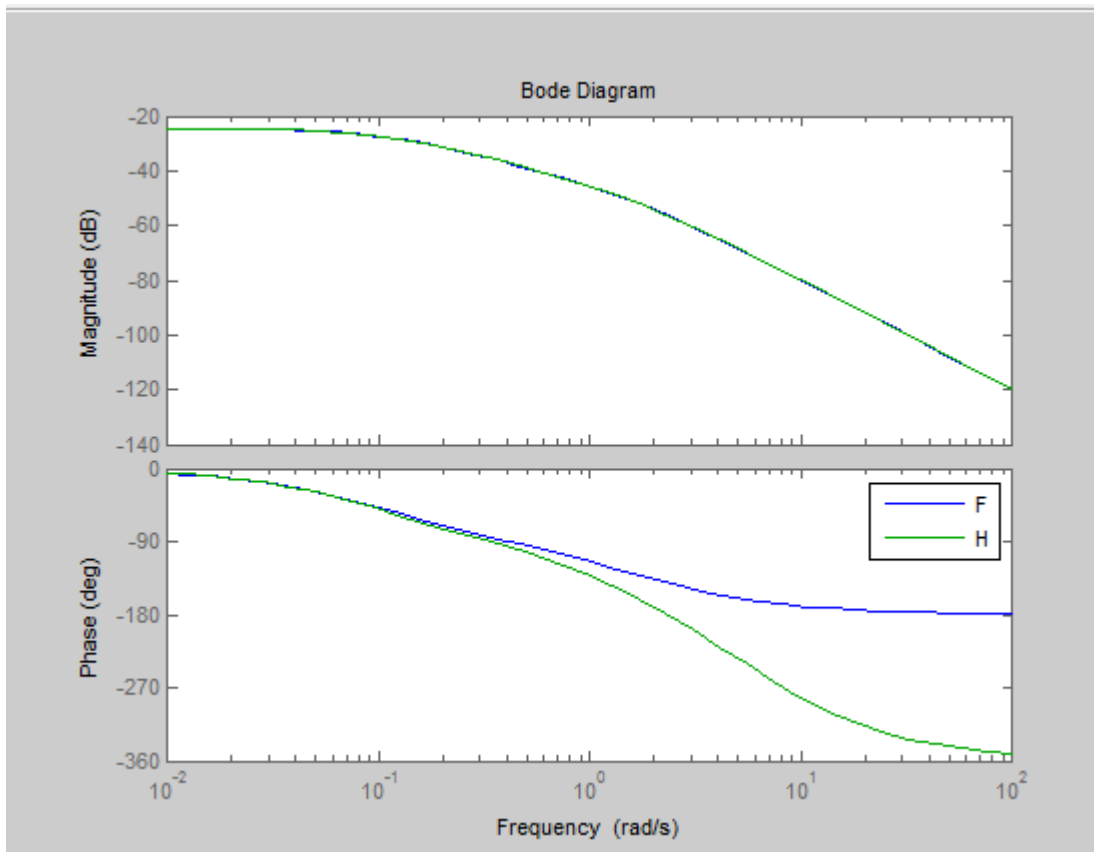


Figure 4.3 : illustration du diagramme de Bode avec retard pure

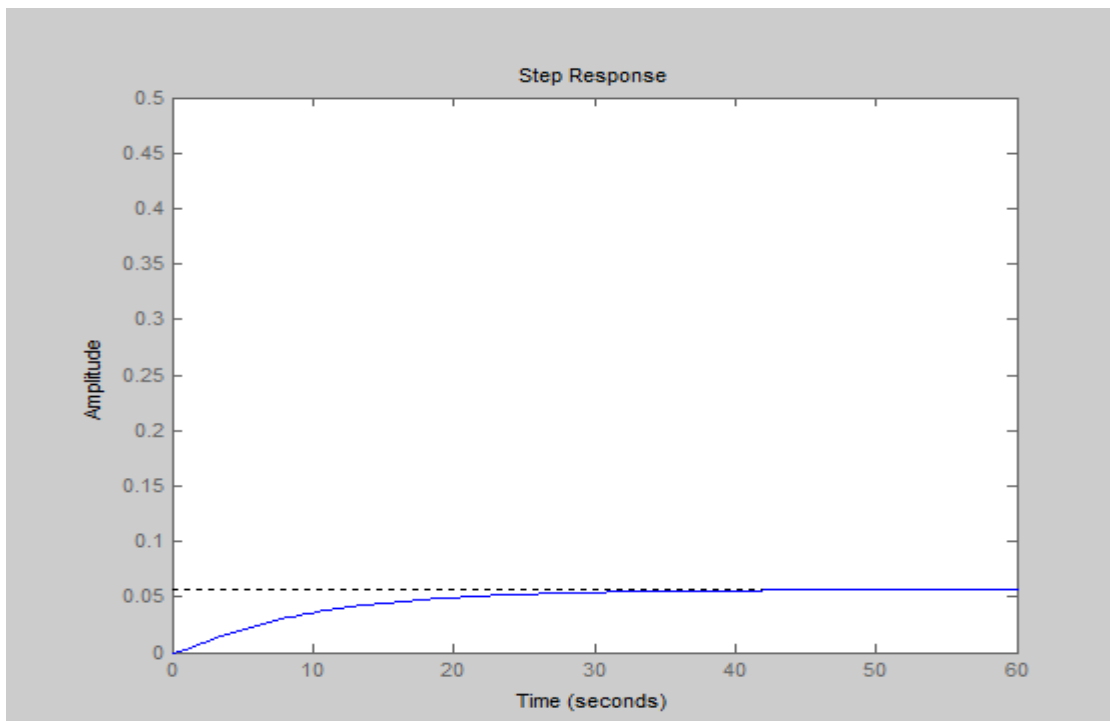


Figure 4.4 : Réponse indicielle de système bouclé

Dans ce qui fait, il sera proposé des structures de Boucles de régulation doté fait d'un régulateur :

- Proportionnel.
- Proportionnel et intégral.
- D'un correcteur flou

4.4 Choix et synthèse d'un régulateur :

4.4.1 Régulateur à action promotionnel :

Étant donné que la fonction de transfert du système en boucle fermée :

$$W_{BF}(p) = \frac{k_R H_{Bo}(p)}{1 + k_R H_{Bo}(p)}$$

$$= \frac{0.06 k_R e^{-0.3P}}{(1+0.6P)(1+10P) + 0.06 k_R e^{-0.3P}}$$

La synthèse de calcul des paramètres d'apertement du régulateur nous a conduit à prendre au gain $k_R(p) = 100$. (Table de Routh)

Donc la fonction de transfert du système en boucle ouverte est :

$$H_{bo}(p) = \frac{6e^{-0.3P}}{(1+0.6P)(1+10P)}$$

Le diagramme de Bode correspondant est celui de $H(p)$ avec un module translaté de + 40 dB.

D'après le tracé précédant , on peut déduire les caractéristique fréquentielles du système en boucle ouverte :

- ✓ marge de phase $\Delta\varphi = 72$ degrés
- ✓ marge de gain $\Delta G = 16$ dB.
- ✓ pulsation de courpüre $\omega_c = 0.55$ rad/s.

Connaissant ces caractéristiques fréquentielles sur la boucle ouverte , on peut approcher les performances temporelles du système en boucle fermée en réponse à un échelon de consigne ,

en supposant que le système en boucle fermée est proche soit d'une fonction du premier ordre et par la suite soit à un système de second ordre, dans ce cas:

- ✓ Un temps du premier maximum t_m tel que $\omega_c t_m = 3$, soit : $t_m = 5.5$ s.
- ✓ Un dépassement presque nul.

Le tracé de la réponse indicielle du système ainsi bouclé est tracé dans la **figure 4.4** :

$$H_{BF}(p) = \frac{6-0.9p}{0.9P^3+7.59P^2+9.85p+7}$$

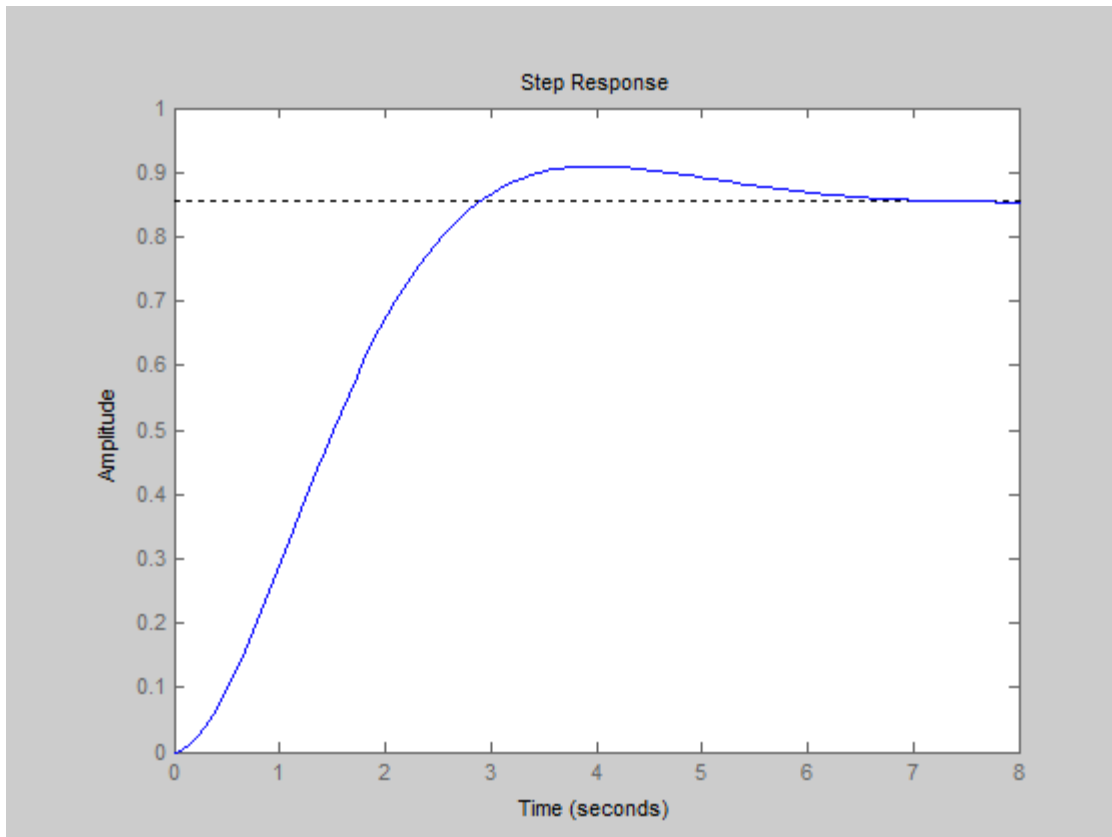


Figure 4.4 : Réponse indicielle du système bouclé avec $R(p)=100$

On constate que cette réponse indicielle possède une erreur statique grand ; les performances ne sont pas proche de ce que l'on attendait ; qui nécessite d'introduire un régulateur **PI**.

La valeur de l'erreur statique \mathcal{E}_c vis-à-vis de la consigne, pour un échelon d'amplitude E_0 est donnée par la relation suivante :

$$\mathcal{E}_c = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{E_0}{p} \frac{1}{1+H_{bo}(p)}, \quad \text{soit} \quad \mathcal{E}_c = \frac{E_0}{1+6} = 0.143E_0.$$

- Si $E_0=1$ alors $\mathcal{E}_c = 0.143E_0 = 0.143*1 = 0.143$

La valeur de l'erreur statique \mathcal{E}_g vis-à-vis de la perturbation constante g est donnée par la relation suivante :

$$\mathcal{E}_g = \lim_{p \rightarrow 0} p \frac{g}{p} \frac{1}{1+H_{bo}(p)}, \quad \text{soit} \quad \mathcal{E}_g = \frac{0.6g}{1+6} = 0.0857g.$$

4.4.2 Régulateur PI (proportionnel Intégral) :

La fonction de transfert du régulateur PI est :

$$R_1(p) = K_1 \left(1 + \frac{1}{T_{i1}p} \right) = K_1 \left(\frac{1+T_{i1}p}{T_{i1}p} \right)$$

La fonction de transfert du système en boucle ouverte corrigée est donc :

$$H_{bo1}(p) = \frac{6e^{-0.3P}}{(1+0.6P)(1+10P)} K_1 \left(\frac{1+T_{i1}p}{T_{i1}p} \right)$$

Les deux paramètres K_1 et T_{i1} doivent permettre de satisfaire le cahier des charges.

C'est-à-dire :

- L'annulation de l'erreur statique vis-à-vis d'un échelon de consigne et de perturbation
- une pulsation de coupure égale à **0.4 rad/s** et une marge de phase d'un moins **60°**.

L'erreur statique est annulée par la présence d'une intégration dans la fonction de transfert du régulateur. D'autre part, il faut qu'à la pulsation de coupure $\omega_c = 0.4 \text{ rad/s}$. Le module de la fonction de transfert de la boucle ouverte corrigée soit nul et que la phase soit supérieure à **-120°**.

Un moyen simple pour déterminer les paramètres de ce régulateur est compenser le pole de $H(p)$ placé en $\omega=0.1$ rad/s ,ce qui revient à écrire $T_{i1}= 10[s]$.On constate avec ce choix qu'à la pulsation $\omega_c=0.4$ rad/s, l'argument de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée est de -110° (ce qui correspond au cahier des charges).

Il reste alors à ajuster le gain pour qu'à cette pulsation le module global soit égal à 0dB, d'où l'égalité :

$$|H_{bo1}(p)|_{p=0.4j} = \left| \frac{0.06K_1}{10p(1+0.6p)} \right|_{p=0.4j} = 1$$

On en déduit $K_1=70$.

La fonction de transfert du système en boucle ouverte corrigée est alors :

$$H_{bo1}(p) = \frac{0.42e^{-0.3P}}{(1+0.6P)P}$$

La fonction de transfert $H_{bo1}(p)$ est du type « intégrateur + constante de temps ».

Avec le même retard pur que précédemment .Sa réponse fréquentielle est donnée par la **Figure 4.5** telle que :

- dans les basses fréquences, le module correspond à une pente (-1) qui coupe l'axe 0 dB à la pulsation $\omega_c=0.42$ rad/s.
- la brisure est à la pulsation $\omega_2=1.67$ rad/s
- dans les hautes fréquences , la phase du système sans le retard pur est égale à -90° et chute vers -180° à partir de la pulsation de brisure.Il faut en suite retirer la phase du retard pur , soit -17.2ω degrés.

Le tracé de la réponse fréquentielle de $H_{bo1}(p)$ dans le plan de Bode est donné par la **Figure 4.5**:

La fonction de transfert simplifié $H_{bo1}(p)$ est :

$$H_{bo1}(p) = \frac{0.42-0.063p}{0.09P^3+0.75P^2+p}$$

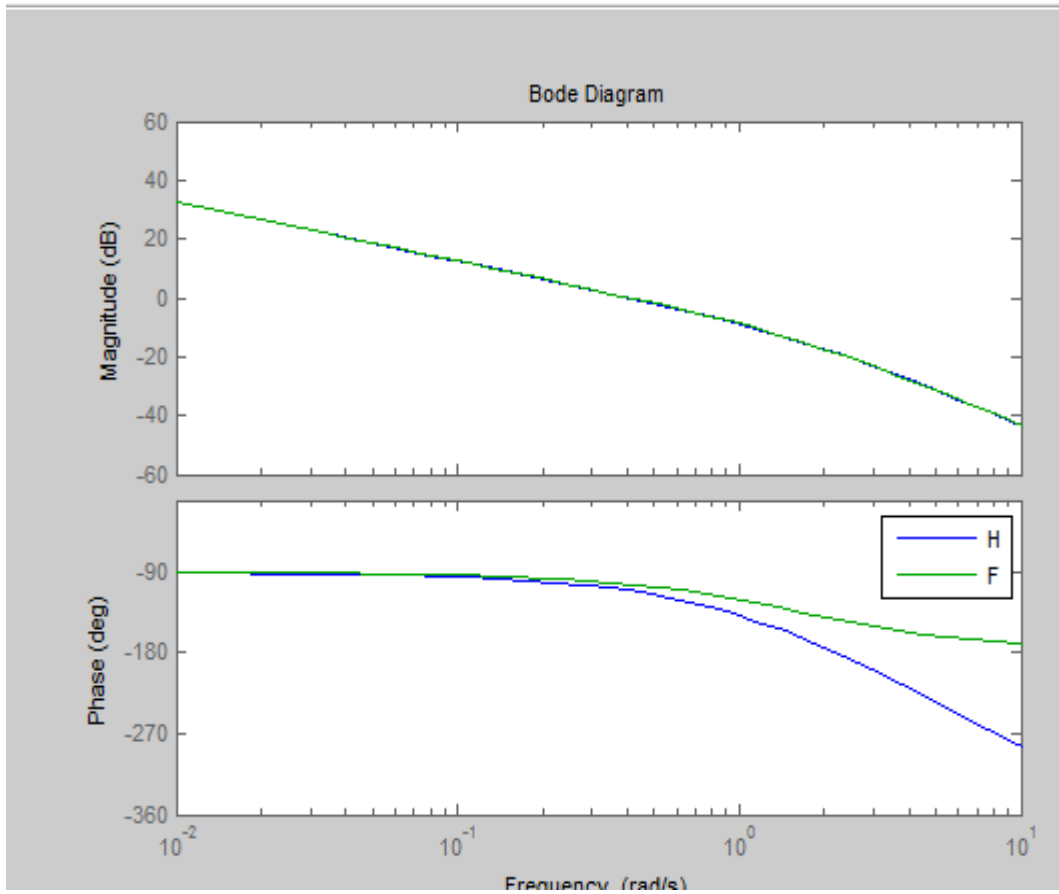


Figure4.5 Diagramme de Bode $H_{bo1}(p)$

On constate que les caractéristique fréquentielles correspondent bien à ce qui était demandé ; de plus, la marge de gain est égale à 18.5 dB.

Comme précédemment , en faisant l'approximation d'une fonction soit d'une premier ordre et du second ordre (avec un point d'inflexion au temps $t=2$ [s]) pour le système bouclé , on peut en déduire les performances temporelles du système bouclé en réponse à un échelon consigne :

- un temps du premier maximum t_m tel que $\omega_c t_m=3$, soit : $t_m=7.5s$.
- un dépassement presque nul.

Le tracé de la réponse indicielle du système ainsi bouclé est donnée par **Figure4.6** :

$$H_{bf1}(p) = \frac{0.42 - 0.063p}{0.09P^3 + 0.75P^2 + 0.937p + 0.42}$$

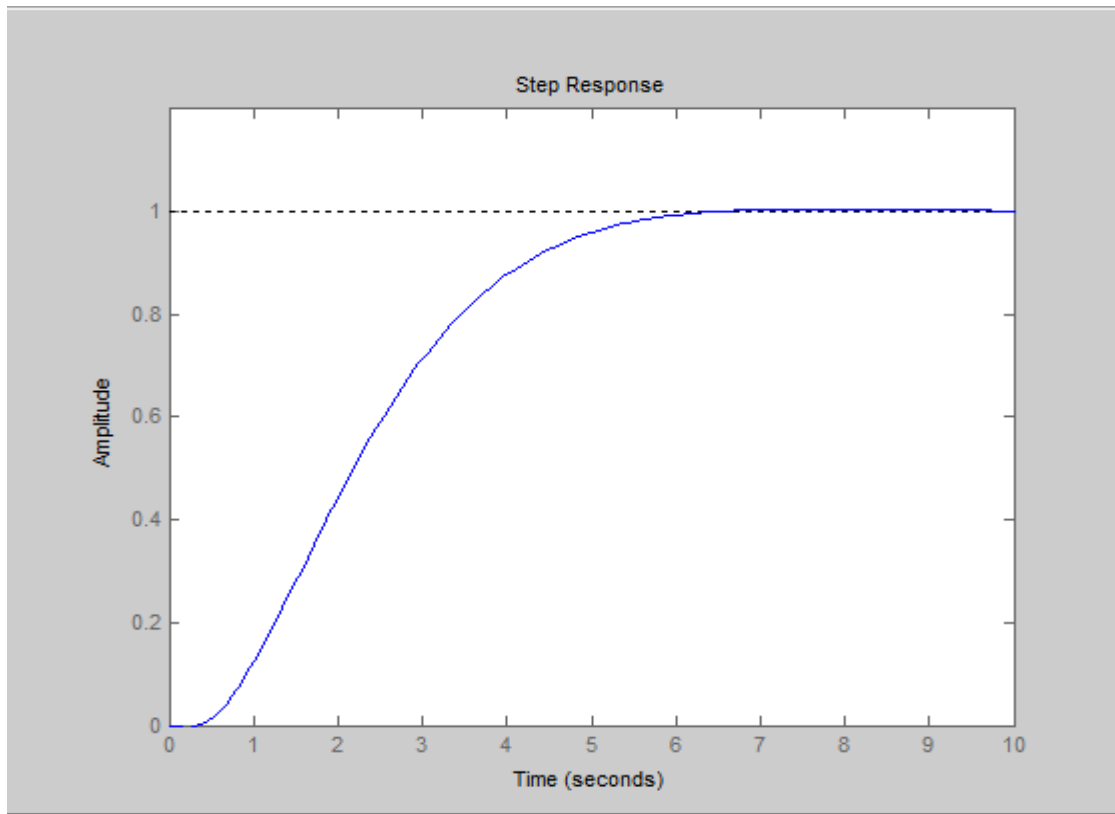


Figure 4.6 : Réponse indicielle du système bouclé avec le régulateur PI.

On constate que le régulateur **PI** offre de meilleurs performances ; à savoir :

- Un écart statique nul.
- Un temps de réponse compris entr 6 à 7.5 [s].

4.4.3 Prédicteur de smith :

Afin d'amélioration régulation précédente , on remplace le régulateur PI par un prédicteur de Smith.

Le schéma bloc de la structure du régulateur Smith est illustrée par le schéma structure suivant :

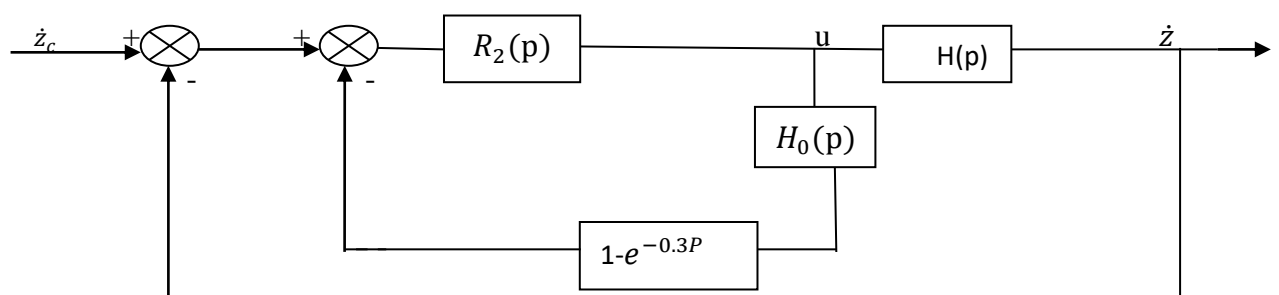


Figure 4.7 Structure du préducteur de smith

On note sur ce schéma que la fonction de transfert en boucle ouverte de la vitesse du frein est telle que :

$$H_{bo1}(p) = H_0(p)e^{-0.3P} = \frac{0.06e^{-0.3P}}{(1+0.6P)(1+10P)}$$

Avec :

$$H_0(p) = \frac{0.06}{(1+0.6P)(1+10P)}$$

Le schéma de structure illustré par la **figure 4.7** peut être transformé en celui de la **figure 4.8**, tracé ci-après:

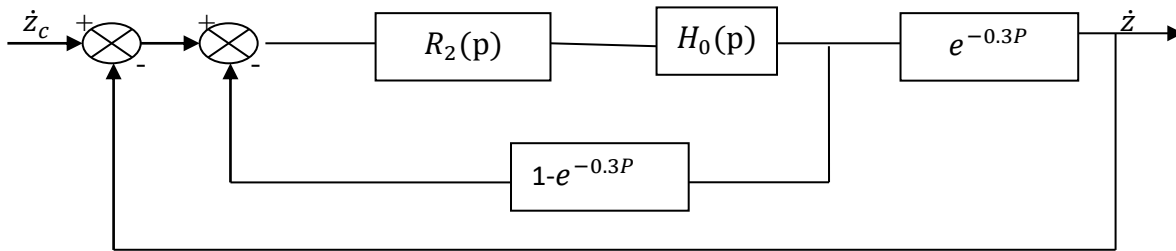


Figure 4.8 : Schéma bloc équivalent du prédicteur de Smith.

La fonction de transfert en boucle ouverte du système bouclé par le prédicteur de Smith est :

$$H_{bo2}(p) = \frac{R_2(p)H_0(p)0.06e^{-0.3P}}{1+R_2(p)H_0(p)(1-e^{-0.3P})}$$

La fonction de transfert en boucle fermée du système ainsi bouclé est alors :

$$F(p) = \frac{Z(p)}{Z_c(p)} = \frac{\frac{R_2(p)H_0(p)0.06e^{-0.3P}}{1+R_2(p)H_0(p)(1-e^{-0.3P})}}{1 + \frac{R_2(p)H_0(p)0.06e^{-0.3P}}{1+R_2(p)H_0(p)(1-e^{-0.3P})}} = \frac{R_2(p)H_0(p)}{1+R_2(p)H_0(p)} e^{-0.3P}$$

On constate immédiatement que l'intérêt du prédicteur de Smith est de rejeter le retard pur en dehors de la boucle interne. Il suffit alors de déterminer un régulateur pour la fonction de transfert $H_0(p)$ (boucle ouverte sans retard pur).

Si l'on désire obtenir une fonction de transfert en boucle fermée d'expression $F(p) = e^{-0.3P}/(1+p)$, on peut choisir le régulateur $R_2(p)$ sous la forme d'un régulateur PID (Proportionnel Intégral Dérivé) qui compense les deux constantes de temps de $H_0(p)$.

on peut écrire :

$$R_2(p) = \left(K_2 \left(1 + \frac{1}{T_{i2}p} + T_{d2}p \right) \right) = K_2 \left(\frac{1 + T_{i2}p + T_{i2}T_{d2}p^2}{T_{i2}p} \right)$$

Soit :

$$R_2(p) = K_2 \left(\frac{(1+10p)(1+0.6p)}{p} \right)$$

On obtient alors : $R_2(p)H_0(p) = \frac{0.06K_2}{p}$

La fonction de transfert en boucle fermée devient donc :

$$F(p) = \frac{R_2(p)H_0(p)e^{-0.3P}}{1+R_2(p)H_0(p)} = \frac{0.06K_2e^{-0.3P}}{p+0.06K_2} = \frac{e^{-0.3P}}{1+\frac{p}{0.06K_2}}$$

Cette fonction de transfert en boucle fermée est donc une fonction de premier ordre ayant un retard pur égale à 0.3s, de constante de temps égale à $1/0.06K_2$ et de gain unité. Par identification avec la fonction désirée , on en déduit :

$$K_2 = 1/0.06 = 16.67$$

Finalement, la fonction de transfert du régulateur PID composant le prédicteur de Smith est la suivante :

$$R_2(p) = 16.67 \frac{(1+10p)(1+0.6p)}{p}$$

Les paramètres $\ll K_2 \gg$, $\ll T_{i2} \gg$, $\ll T_{d2} \gg$ et du régulateur **PID** de fonction de transfert $R_2(p)$ sont alors :

$$K_2 = 0.64 \quad , \quad T_{i2} = 10.6s \quad \text{et} \quad T_{d2} = 0.57s$$

La fonction de transfert de la boucle ouverte corrigée par le régulateur $R_2(p)$ est donc :

$$H_{bo2}(p) = \frac{R_2(p)H_0(p)e^{-0.3P}}{1 + R_2(p)H_0(p)(1 - e^{-0.3P})}$$

$$= \frac{e^{-0.3P}}{p+1-e^{-0.3P}}$$

La réponse fréquentielle de $H_{bo2}(p)$ est calculée par la recherche du module et de l'argument de l'expression précédente, soit :

$$\left\{ \begin{array}{l} |H_{bo2}(p)| = \frac{1}{\sqrt{(1-\cos 0.3\omega)^2 + (\omega + \sin 0.3\omega)^2}} \\ \text{Arg}[H_{bo2}(p)] = -\text{Arg} \frac{\omega + \sin 0.3\omega}{1 - \cos 0.3\omega} - 0.3\omega \end{array} \right.$$

La réponse fréquentielle dans le plan de Bode correspondant à la boucle ouverte corrigée par le prédicteur de Smith est tracée au **Figure 4.9** :

$$H_{bo2}(p) = \frac{1-0.15p}{0.15P^2+1.3p}$$

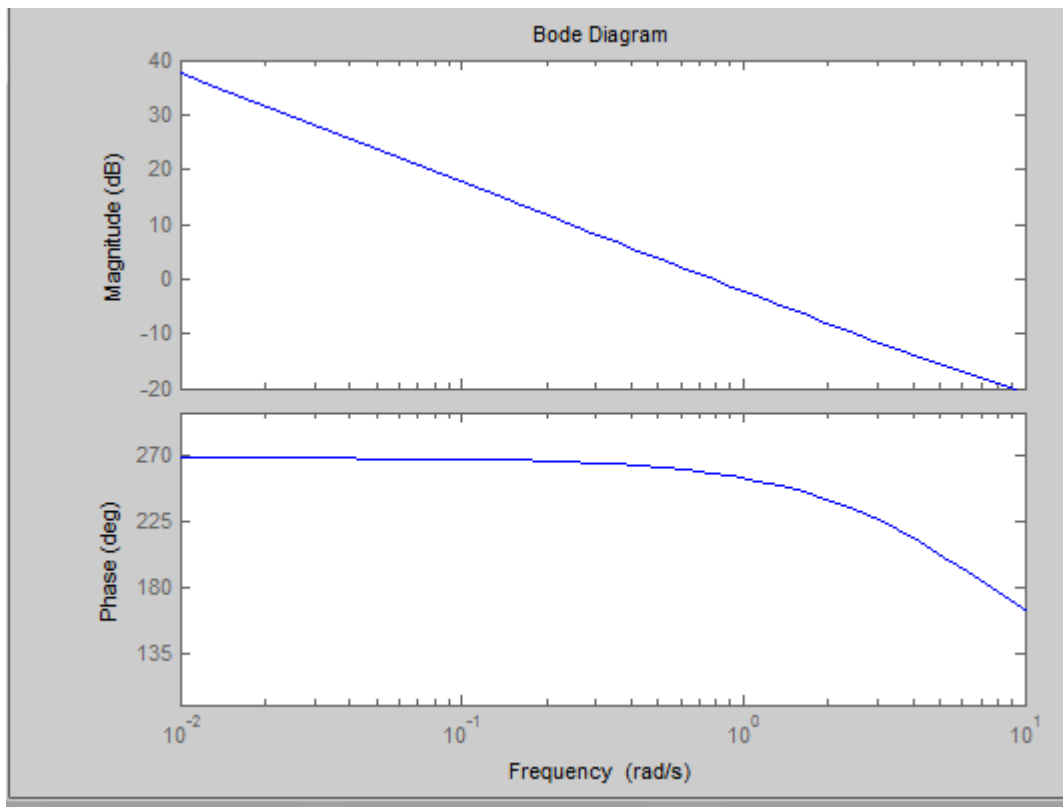


Figure 4.9 : illustration Diagramme de Bode de $H_{bo2}(p)$

On peut déduire de cette analyse fréquentielle les caractéristiques du système en boucle ouverte :

- marge de phase $\Delta\varphi = 75$ degrés.
- marge de gain $\Delta G = 15$ dB.
- pulsation de courpure $\omega_c = 0.8$ rad/s.

Après implémentation du prédicteur de Smith précédemment obtenu, la fonction de transfert en boucle fermée est déterminée pour $K_2=16.67$, soit $F(p) = \frac{e^{-0.3P}}{(1+p)}$

La réponse à un échelon de consigne du système ainsi bouclé est celle d'un système du premier ordre de constante de temps égale à 1[s], retard de 0.3. Elle est tracée ci-après au **Figure 4.10**

$$F_{bf}(p) = \frac{1-0.15p}{1+1.5p+0.15p^2}$$

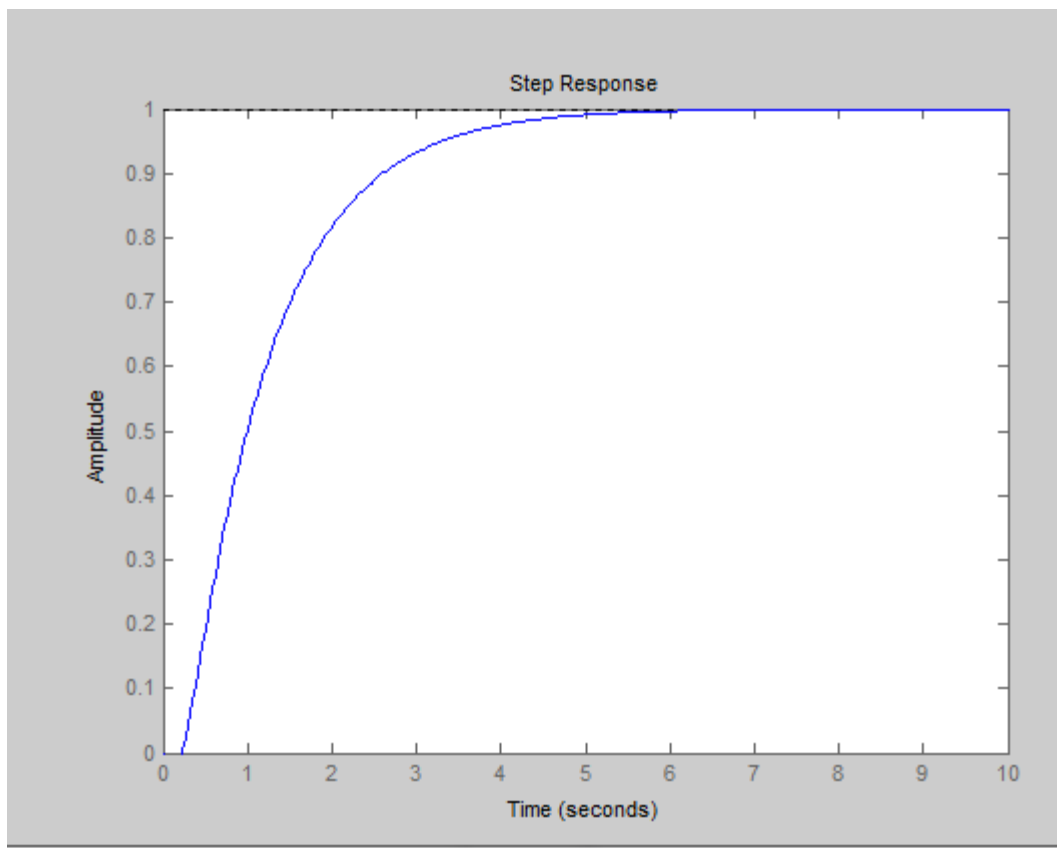


Figure 4.10 : Réponse indicielle du système bouclé par le prédicteur de Smith.

L'erreur statique est nulle, le prédicteur de Smith a permis d'obtenir un système plus rapide sans aucun dépassement.

4.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté une régulation de la descente d'une tête de forage. Le résultat obtenu est caractérisé par un comportement indésirable, ce qui nécessite l'emploi d'une correction pour améliorer ses performances.

5.1 Introduction :

Dans ce chapitre on s'intéresse à développer les lois de commande qui vont permettre l'asservissement de position de la descente des tiges dans les puits de forage.

Cet asservissement sera un correcteur proportionnel tachymétrique ayant au prédicteur de Smith.

5.2 Etude de l'asservissement de position :

La fonction de transfert du processus est donnée par celle du capteur de position un gain unité et que la fonction de transfert de la boucle de vitesse est celle obtenue par l'adjonction du prédicteur de Smith. le schéma bloc de l'asservissement de position est illustré par la **figure 5.1** :

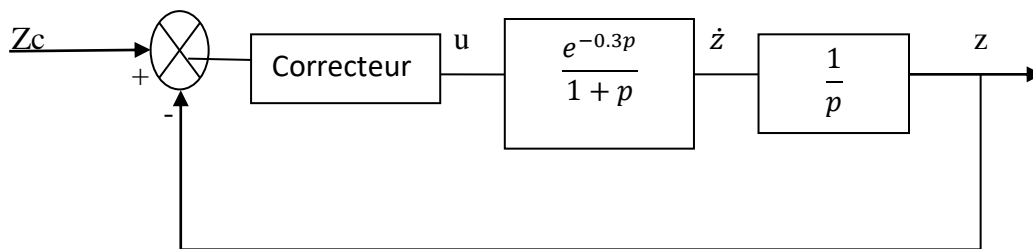


Figure 5.1 : Schéma bloc de l'asservissement de position.

5.3. Analyse fréquentielle :

Pour un correcteur de gain unité, la fonction de transfert du système en boucle ouverte est

$$G(p) = \frac{e^{-0.3p}}{p(1+p)}$$

La réponse fréquentielle de $G(p)$ dans le plan de Bode doit avoir les caractéristiques suivantes :

Le module correspond à celui d'un système «intégrateur + constante de temps»

- dans les basses fréquences, le module de $G(p)$ correspond à une pente (-1) coupant l'axe 0 dB à la pulsation $\omega = 1\text{rad/s}$.

Par la suite de l'étude de la réponse fréquentielle du tracé du diagramme de Bode **figure 5.2** il ressort une brisure correspondant au pôle relatif à la pulsation $\omega=1$ rad/s.

- La phase du système est celle de $1/p$ ($1+p$) (correspondant à l'intégrateur + constante de temps) à laquelle on retire la phase due au retard pur, soit -0.3ω rad/s ou -17.2ω degrés.

La fonction de transfert $G(p)$:

$$G(p) = \frac{0.42 - 0.063P}{(P + 0.75P^2 + 0.009P^3)}$$

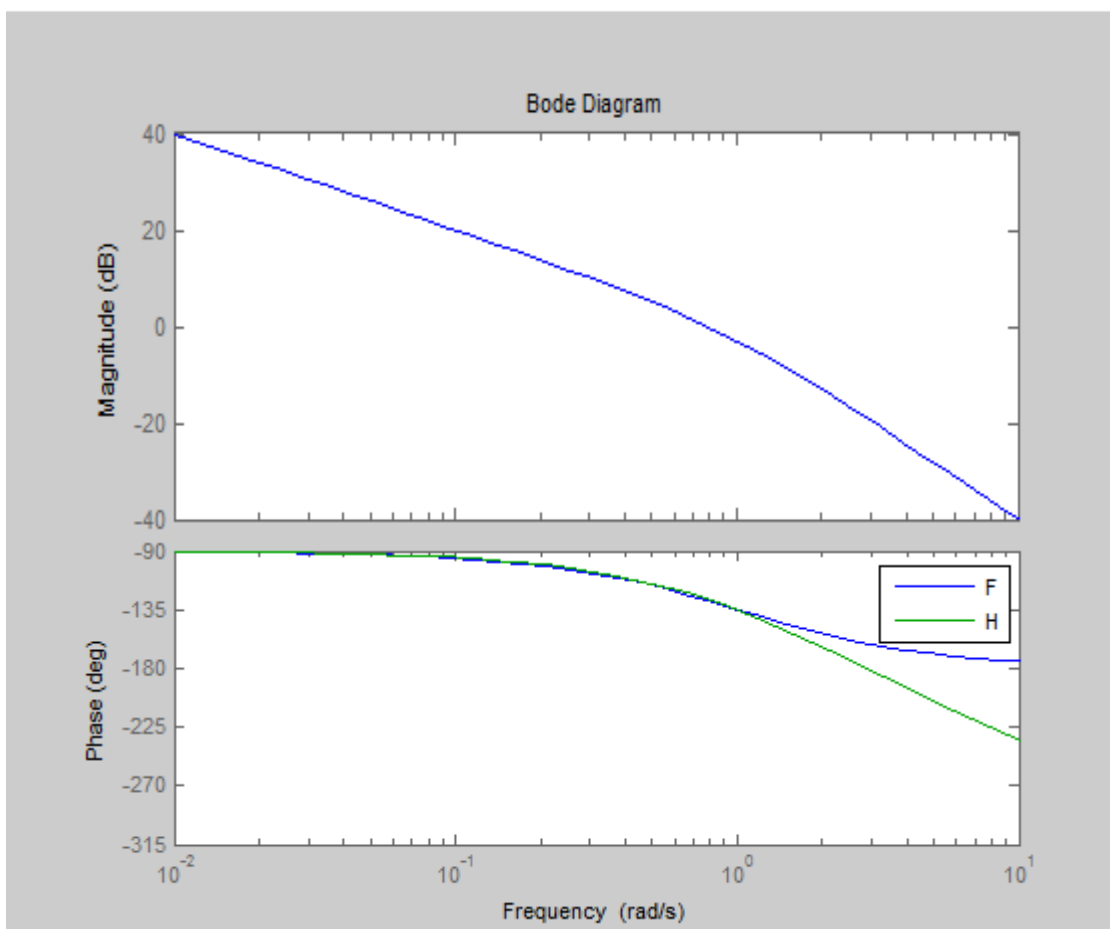


Figure 5.2 : Diagramme de Bode de $G(p)$.

A partir de cette analyse fréquentielle de cette analyse fréquentielle .On peut déterminer les caractéristiques du système lorsque le correcteur est un gain unité :

- marge de phase $\Delta\varphi = 40^\circ$
- marge de gain $\Delta G = 10\text{dB}$.
- pulsation de courpure $\omega_c = 0.75$ rad/s.

5.4 Correction proportionnelle :

Pour ce type de correction, la fonction de transfert du correcteur est un gain K_p .

Si l'on approche la fonction de transfert en boucle fermée par une fonction du second ordre, les performances temporelles de la réponse indicielle en boucle fermée (dépassement D inférieur à 5 % et temps du premier maximum t_m de 10 [s]) se traduisent par des caractéristiques fréquentielles de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée, soit :

- pour avoir un dépassement $D < 5\%$, la marge de phase $\Delta\varphi$ doit être supérieure à 65° ,
- pour avoir un temps du premier maximum t_m égale à 10[s], la relation $\omega_c t_m \approx 3$ doit être vérifiée, sachant que ω_c est la nouvelle pulsation de coupure. On en déduit $\omega_c \approx 0.3$ rad/s.

En considérant le diagramme de Bode de $G(p)$, il ressort qu'il faut translater la courbe de module de -10 dB pour avoir la bonne pulsation de coupure. Cela signifie que l'on introduit un gain $K_p=0.3$

On lit directement sur le diagramme de Bode (après décalage de -10 dB du diagramme précédent) que, dans ce cas, on a une marge de phase d'environ 70° . ce qui correspond au condition qu'on a imposé. La pulsation de coupure est $\omega_c=0.3$ rad/s et la marge de gain est $\Delta G = 20\text{dB}$.

La réponse indicielle du système bouclé par le gain $K_p=0.3$ à un échelon de position est donnée ci-après **Figure 5.3**.

La fonction de transfert $G(p)$ en BF :

$$G(p) = \frac{0.3}{p^2 + p + 0.3}$$

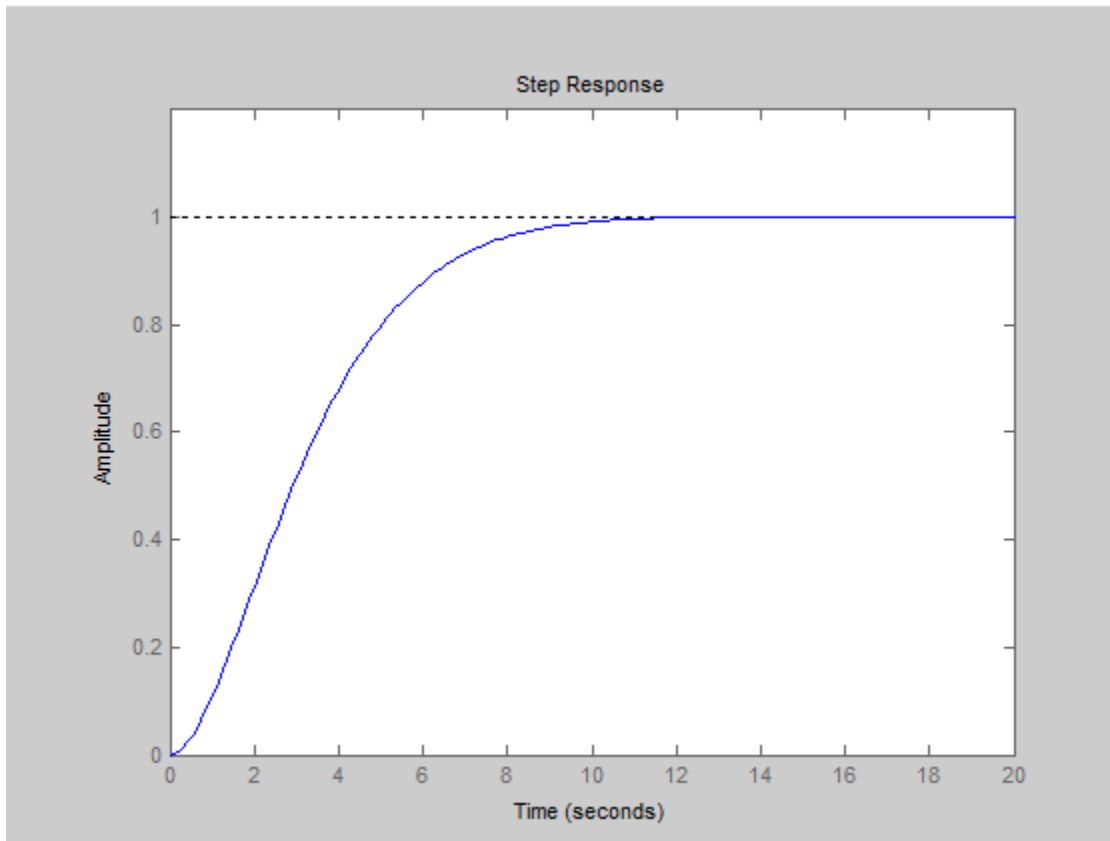


Figure 5.3 : Réponse indicielle du système bouclé par $K_p=0.3$

On constate les bonnes performances de cette correction proportionnelle. L'erreur statique par rapport à un échelon de consigne est nulle puisque le système est intégrateur en boucle ouverte.

5.5. Correction par avance de phase :

Le correcteur par avance de phase a pour fonction de transfert :

$$C(p) = K_{av} \frac{1+T_p p}{1+aT_p p}, \quad \text{avec} \quad a < 1$$

Ce correcteur étant mis en série avec le système à corriger, la fonction de transfert en boucle ouverte du système corrigé est $G_{av}(p) = G(p) C(p)$.

En reprenant l'approximation d'un système du second ordre pour la fonction de transfert en boucle fermée, les caractéristiques fréquentielles du cahier des charges se traduisent de la façon suivante :

- pour avoir un dépassement $D < 5\%$, la marge de phase $\Delta\Phi$ doit être supérieure à 65° .

- pour avoir un temps du premier maximum t_m égal à 3[s], la nouvelle pulsation de coupure ω_c de la fonction de transfert en boucle ouverte doit être égale à 1 rad/s.

Les paramètres « a » et « T » du correcteur permettent à la fonction de transfert $G_{av}(p)$ d'avoir un argument égal à -120° à la pulsation ω_c . Le paramètre K_{av} ajuste la valeur du module de $G_{av}(p)$ pour être égale à 0 dB à cette même pulsation.

5.5.1 Détermination des paramètres d'apertement « a » et « T »

A la pulsation $\omega_c=1$ rad/s, l'argument de $G(p)$ est égale à -152° . Pour avoir un déphasage de -120° , il faut remonter la phase de 32° à cette pulsation.

Pour que l'avance de phase apportée par le correcteur soit maximale. On centre le correcteur sur la pulsation ω_c , c'est-à-dire que l'on écrit : $\omega_c = 1/T\sqrt{a}$.

Sachant que l'avance maximale de phase $\Phi_m = (1-a)/(1+a)$,

$$\text{soit :} \quad a = (1 \sin \Phi_m)/(1 + \sin \Phi_m)$$

On en déduit : $a = 0.31$; On obtient donc la valeur de T puis celle de aT :

$$T = 1/\omega_c \sqrt{a} = 1.8 \text{ [s]} \quad \text{et} \quad aT = 0.56\text{s}$$

Les pulsations de brisure du correcteur sont donc :

$$\frac{1}{T} = 0.56 \text{ rad/s} \quad \text{et} \quad \frac{1}{aT} = 1.8 \text{ rad/s}$$

5.5.2 Détermination de K_{av}

Le gain K_{av} est calculé de façon à ce que la relation suivante soit satisfaisante :

$$|G(p)|_{p=j} + \left| \frac{1+T_p}{1+aT_p} \right|_{p=j} + K_{av} = 0\text{dB}$$

On déduit : $K_{av} = 0.78$

Le correcteur par avance de phase a donc pour fonction de transfert :

$$C(p) = 0.78 \frac{1+1.8p}{1+0.56p}$$

La réponse fréquentielle dans le plan de bode de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée $G_{av}(p)=G(p)C(p)$ est donnée sur la **Figure 5.4** :

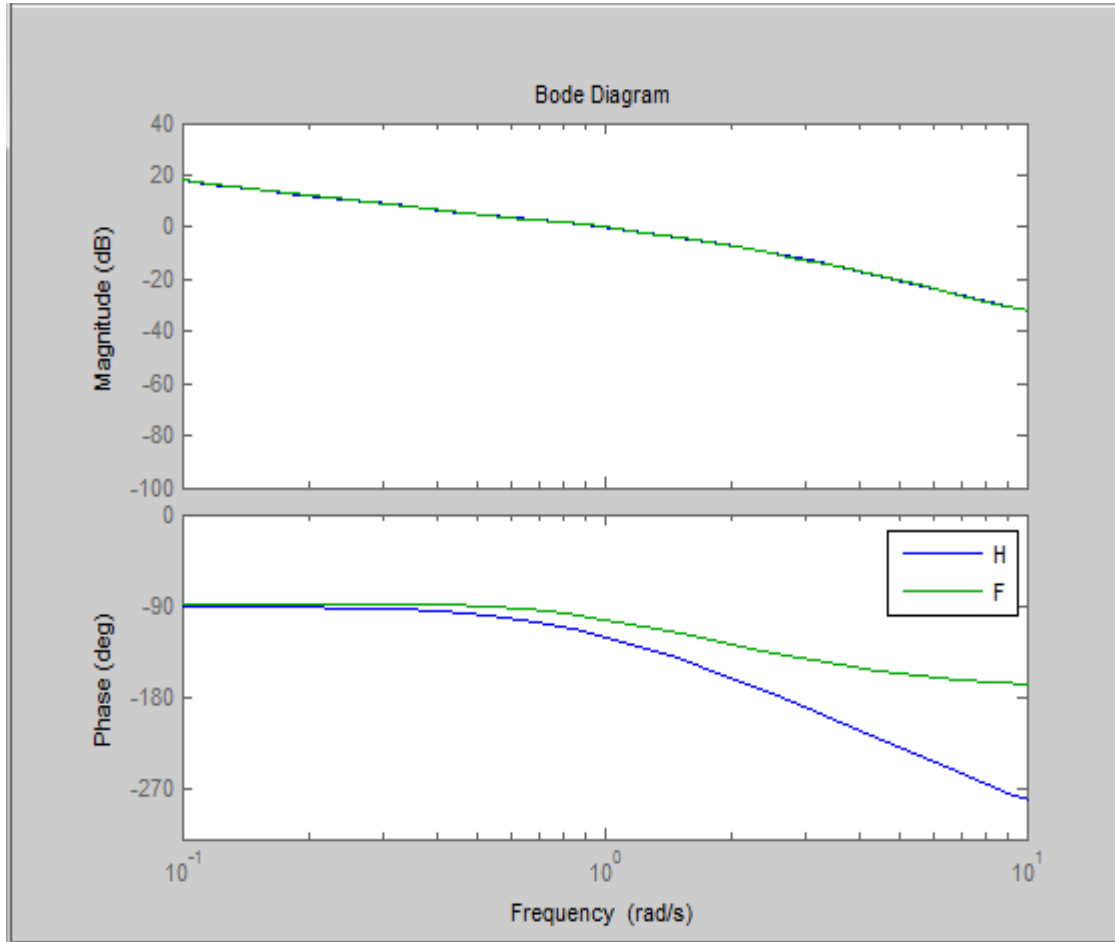


Figure 5.4 : Diagramme de Bode de $G_{av}(p)$

On constate sur ce tracé les caractéristiques demandées sont bien satisfaites .Le système corrigé a pour pulsation de coupure $\omega_c =1$ rad/s, une marge de phase de 60° et une marge de gain à égale à 10 dB.

La réponse du système bouclé à un échelon de consigne est tracée ci-après au **Figure 5.5** :

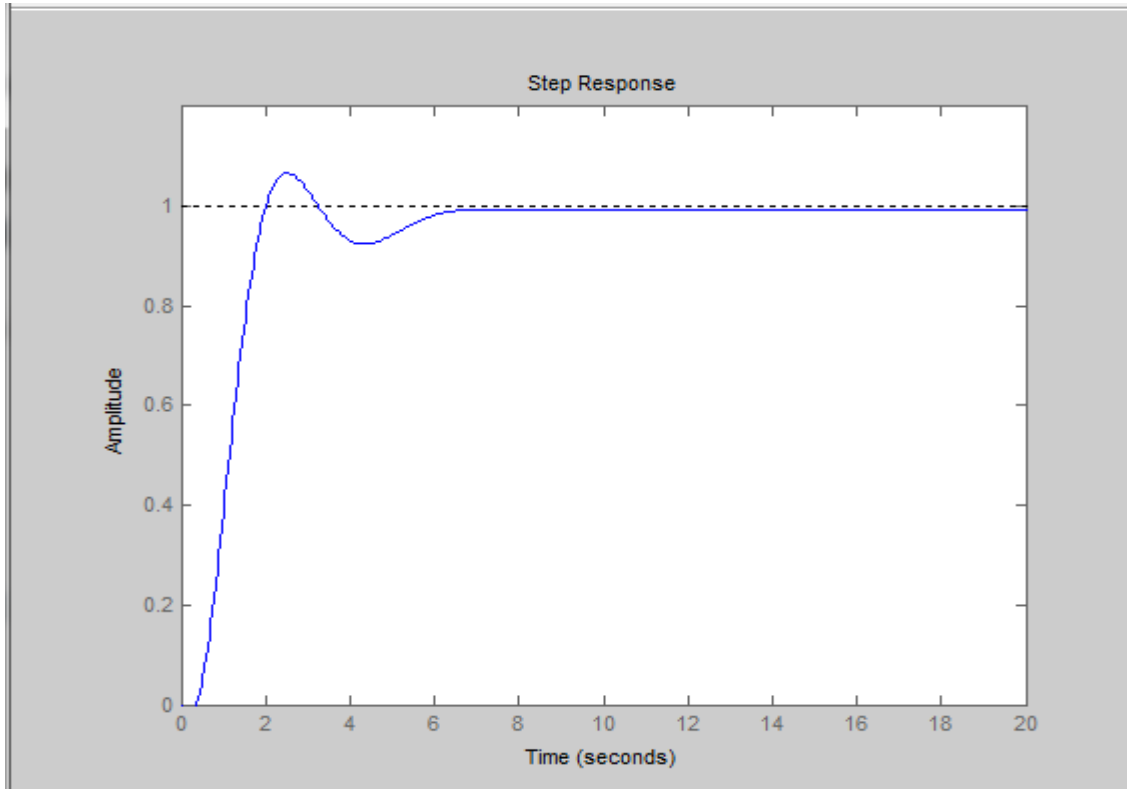


Figure 5.5 : Réponse indicielle de l’asservissement de position corrigé par avance de phase.

On remarque que les performances sont légèrement modifiées par rapport à ce qui était prévu : temps du premier maximum un peu plus faible mais dépassement un peu plus grand.

5.6 Correction tachymétrique :

Le schéma bloc de l’asservissement de position corrigé par retour tachymétrique est donné sur la **figure 5.6**

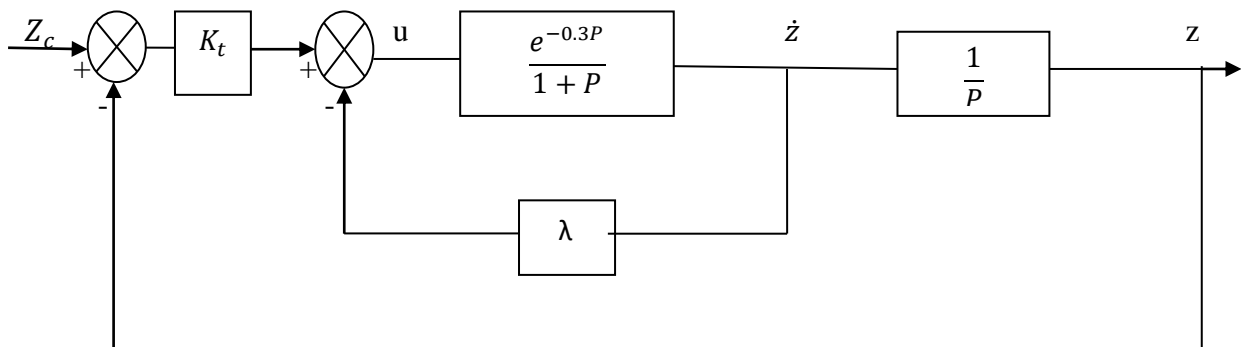


Figure 5.6 : Schéma bloc de l’asservissement de position avec retour tachymétrique.

Les caractéristiques fréquentielles de la fonction de transfert en boucle ouverte corrigée conduisent à une marge de phase $\Delta\varphi$ de l'ordre de 60° et une nouvelle pulsation de coupure ω_c égale à 1 rad/s.

La fonction de transfert de la boucle ouverte totale avec retour tachymétrique est :

$$G_t(p) = \frac{K_t}{p} \frac{e^{-0.3P}}{1 + P + \lambda e^{-0.3P}}$$

Le paramètre λ du retour en vitesse permet à la fonction de transfert $G_t(p)$ d'avoir un argument égal à -120° à la pulsation $\omega_c = 1$ rad/s. Le paramètre K_t ajuste le module de $G_t(p)$ afin qu'il soit égal à 0 dB à cette même pulsation.

5.6.1 Détermination de λ

L'argument de $G_t(p)$ est :

$$\Phi_t(\omega) = -90 - 0.3\omega 180 / \pi - \text{Arctg} \frac{\omega - \lambda \sin 0.3\omega}{\omega + \lambda \cos 0.3\omega} \text{ degrés.}$$

Si l'on désire une marge de phase égale à 60° pour la pulsation de coupure ω_c , on doit avoir $\Phi_t(\omega) = -120^\circ$, ce qui revient à écrire :

$$\text{arctg} \frac{1 - \lambda \sin 17.19}{1 + \lambda \cos 17.19} = 12.8 \text{ degrés} \quad (0.3 \text{ rad} = 17.19 \text{ degrés})$$

On en déduit donc :

$$\frac{1 - \lambda \sin 17.19}{1 + \lambda \cos 17.19} = 0.227$$

Soit :

$$\lambda = \frac{1 - 0.227}{\sin 17.19 + 0.227 \cos 17.19}$$

Le calcul conduit à $\lambda = 1.51$

5.6.2 Détermination de K_t :

Le module de $G_t(p)$ est :

$$m_t(\omega) = \frac{K_t}{\omega \sqrt{(1 + \lambda \cos 0.3\omega)^2 + (1 - \lambda \sin 0.3\omega)^2}}$$

Si l'on désire que le module $G_t(p)$ soit égal à la pulsation de coupure ω_c , on doit avoir

$m_t(1) = 1$, ce qui revient à écrire :

$$K_t = \sqrt{(1 + \lambda \cos 17.19)^2 + (1 - \lambda \sin 17.19)^2} = 2.5$$

La fonction de transfert du système en boucle ouverte avec retour tachymétrique est alors la suivante :

$$G_t(p) = \frac{K_t}{p} \frac{e^{-0.3P}}{1 + P + \lambda e^{-0.3P}} = \frac{2.5 e^{-0.3P}}{p(1 + P + 1.51 e^{-0.3P})}$$

Pour tracer la réponse fréquentielle de $G_t(p)$, on peut calculer le module et l'argument de l'expression précédent, soit :

$$\left\{ \begin{array}{l} |G_t(p)| = \frac{2.5}{\omega \sqrt{(1 + 1.51 \cos 0.3\omega)^2 + (1 - 1.51 \sin 0.3\omega)^2}} \\ \text{Arg}[G_t(\omega)] = -\frac{\pi}{2} - \text{Arctg} \frac{\omega - 1.51 \sin 0.3\omega}{\omega + 1.51 \cos 0.3\omega} - 0.3\omega \end{array} \right.$$

Le diagramme de Bode correspondant à la boucle ouverte corrigé par retour tachymétrique est donné par la **Figure 5.7**:

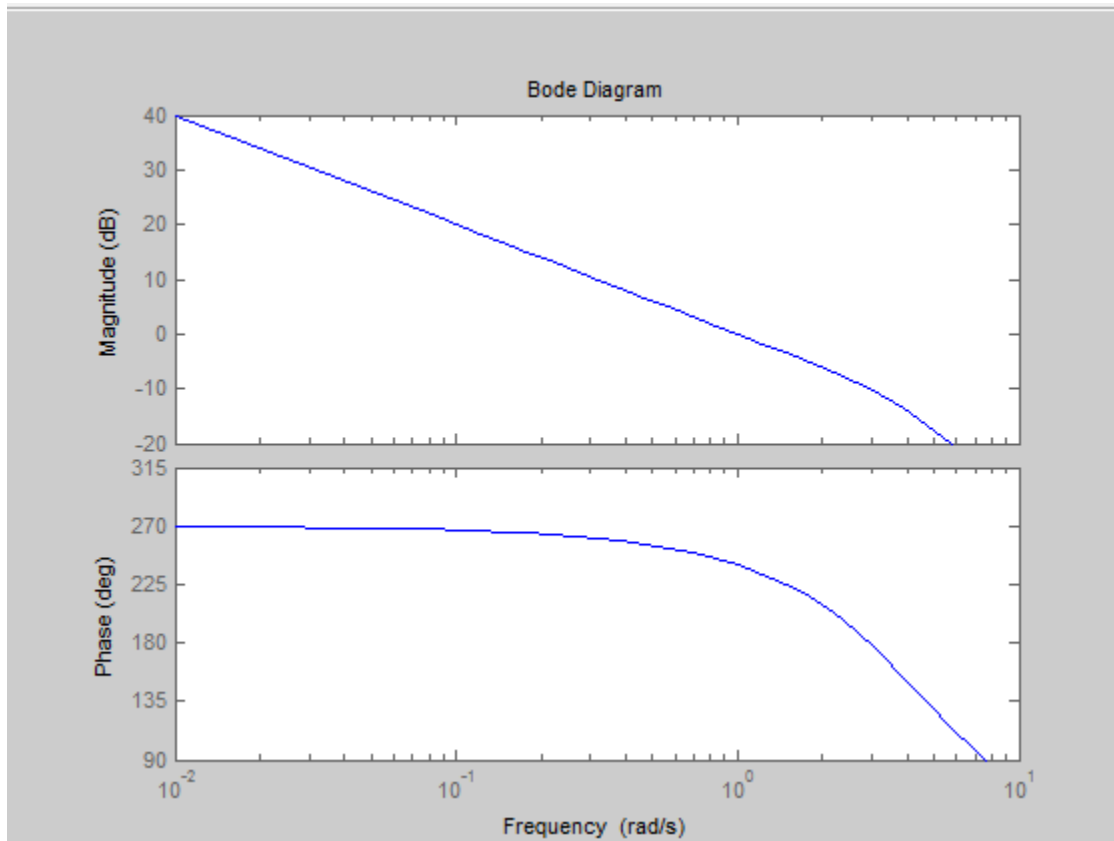


Figure 5.7 : Diagramme de Bode de $G_t(p)$

Comme pour le système corrigé par avance de phase, on constate sur le tracé précédent que les caractéristiques demandées sont bien satisfaites. Le système avec correction tachymétrique a pour pulsation de coupure $\omega_c = 1$ rad/s, une marge de phase de 60° et une marge de gain égale à 9.5 dB.

Le tracé de la réponse indicielle de l'asservissement de position corrigé par retour tachymétrique est donné par la **figure 5.8** :

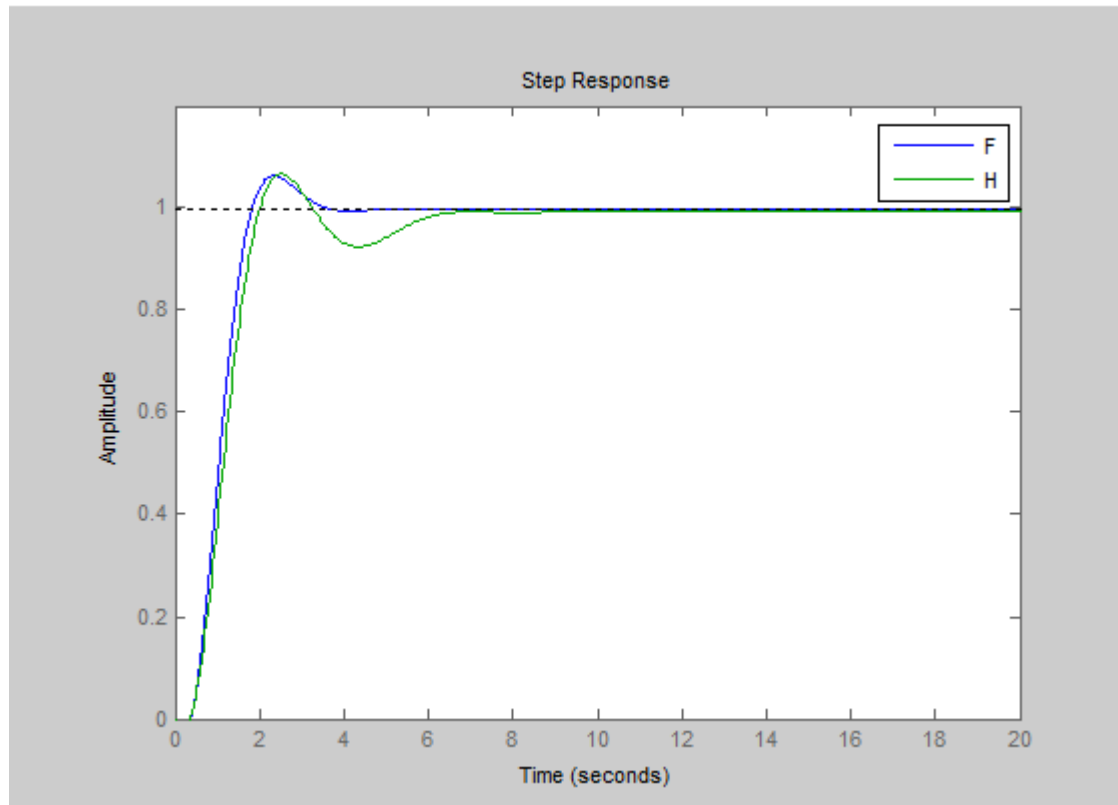


Figure 5.8 : Réponse indicielles de l'asservissement de position avec correction par avance de Phase et par retour tachymétrique.

- ✓ On remarque sur les tracés des réponses indicielles correspondant aux deux corrections que les résultats obtenus sont très proche l'un de l'autre.
- ✓ Notons cependant que dans la mesure où l'on a un accès direct à la vitesse du frein, la correction tachymétrique est très simple à implanter : un gain en série et un gain dans le retour en vitesse.
- ✓ En revanche, lorsque le système possède un retard pur, les calculs effectués pour déterminer la correction tachymétrique sont un peu plus complexes que ceux de la correction par avance de phase.

5.7 Conclusion :

A partir de l'étude effectuée et les résultats obtenus dans ce chapitre, nous avons constaté que ; la commande classique a amélioré les performances du système de forage, mais ne satisfait pas les exigences (temps de réponse....).

6.1 Introduction

La logique floue est une théorie qui a connu un grand engouement depuis que Zadeh a introduit le concept de sous-ensembles flous en 1965. Elle trouve notamment sa place dans le domaine de la commande pour une large gamme de systèmes.

La logique floue présente l'avantage d'utiliser des règles linguistiques simples permettant de traduire facilement le savoir-faire d'un expert pour répondre à une problématique spécifique.

Dans ce sens, des correcteurs à base de logique floue s'améliorent de façon globale.

Dans cette partie on s'intéressera à l'étude d'une technique d'intelligence artificielle qui est la logique floue. Son utilisation va nous permettre de concevoir un système de contrôle anti-pompage performant.

Tout d'abord le principe général de base de la logique floue va être présenté. Cela englobe des aspects de la théorie des possibilités qui fait intervenir des ensembles d'appartenance appelés ensembles flous caractérisant les différentes grandeurs du système à commander ; et le raisonnement flou qui emploie un ensemble de règles floues établies par le savoir-faire humain et dont la manipulation permet la génération de la commande adéquate ou la prise de la décision.

6.2 Principe de la logique floue

La logique floue a été développée par le professeur Zadeh, il y a une trentaine d'années, dans l'objectif de proposer un cadre formel pour travailler sur des notions imprécises. La base de cette approche a été constituée par la théorie des ensembles flous.

Dans la théorie des ensembles, un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble.

La notion d'ensemble est à l'origine de nombreuses théories mathématiques. Cette notion essentielle ne permet cependant pas de rendre compte de situations pourtant simples et rencontrées fréquemment. Parmi les fruits, il est facile de définir l'ensemble des pommes. Par contre, il sera plus difficile de définir l'ensemble des pommes mûres. On conçoit bien que la pomme mûrit progressivement... la notion de pomme mûre est donc graduelle.

C'est pour prendre en compte de telles situations qu'a été créée la notion d'ensemble flou. La théorie des ensembles flous repose sur la notion d'appartenance partielle : chaque élément appartient partiellement ou graduellement aux ensembles flous qui ont été définis. Les contours de chaque ensemble flou (**Figure 6.1**) ne sont pas « nets », mais « flous » ou « graduels » [10].

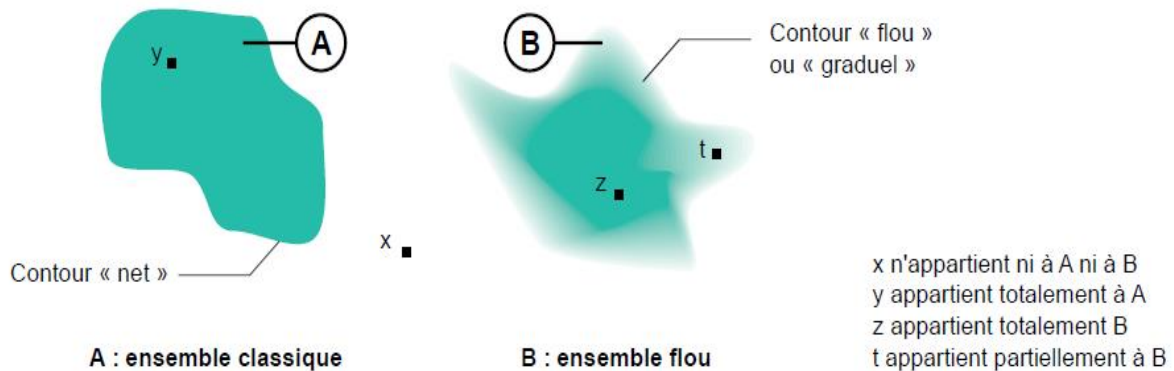


Figure 6.1 Comparaison d'un ensemble classique et d'un ensemble flou

6.3 Historique de la logique floue

Il est intéressant de retracer l'évolution de la théorie de la logique floue et de son application au contrôle.

La théorie des ensembles flous a été publiée en **1965** par le professeur *L.A.Zadeh*. Dès **1972**, le Japon s'intéresse à la logique floue et crée une fondation pour la recherche sur les systèmes flous qui deviendra plus tard le bureau japonais de l'IFSA (International Fuzzy Systems Association), Parmi les chercheurs japonais on cite « *M. Sugeno* ».

En **1973**, *Zadeh* propose une méthodologie pour décrire les systèmes en utilisant un langage incorporant la notion de flou. Peu après, *Mamdani* effectue la première application expérimentale d'un contrôleur flou.

La première application industrielle sera effectuée en **1980**, dans une cimenterie au Danemark. En **1983**, la compagnie Fuji Electric utilise la logique floue pour la conduite de procédés de purification d'eau.

En **1984**, l'IFSA est créée. Elle organise sa première conférence en **1985** et la seconde, en **1987**. Les premiers régulateurs flous industriels sont proposés sur le marché par OMRON cette même année **1987** [9].

Après une période de latence d'une quinzaine d'années, il aura suffi de 10 ans pour qu'une technique très novatrice passe des laboratoires de recherche dans les sites industriels. Dans le monde de la régulation, on peut considérer que ceci constitue une belle performance [1].

6.4 Concepts et définitions de la logique floue

6.4.1 Sous ensembles Flous

La notion d'ensembles flous permet de traiter les situations intermédiaires, les valeurs approximatives et les catégories aux limites mal définies, qui sont très souvent rencontrés dans le monde physiques c'est à dire ne possèdent pas de critères d'appartenance bien définis [11].

Les ensembles flous sont une généralisation des ensembles nets et sont caractérisés par des fonctions d'appartenance.

➤ Un ensemble net ou classique A de X est une collection d'éléments de l'univers de discours caractérisé par une fonction d'appartenance μ_A qui prend la valeur 0 pour les éléments de X n'appartenant pas à A et la valeur 1 pour ceux qui appartiennent à A . (**Figure 6.2.a**) [12].

$$\mu_A : X \longrightarrow \{0,1\}$$

➤ Un ensemble flou A est défini sur un univers de discours X , par une fonction d'appartenance $\mu_A(X)$ qui prend ces valeurs dans l'intervalle $[0,1]$ (**Figure 6.2.b**).

$$\mu_A : X \longrightarrow [0,1]$$

Cette fonction donne le degré d'appartenance de chaque élément $x \in X$ à A . En effet, un élément de l'univers de discours peut être entièrement ou partiellement membre de l'ensemble A , cet ensemble flou peut être représenté comme un ensemble de paires ordonnées:

$$A = (x, \mu_A(x)) / x \in X \quad (6.1)$$

On adopte à cette notation une autre représentation suivant que X est discret ou continu [11]:

$$A = \sum_{x \in X} \mu_A(x) / x \quad \text{SI } X \text{ est discret} \quad (6.2)$$

$$A = \int \mu_A(x)/x \quad \text{SI } X \text{ est continu} \quad (6.3)$$

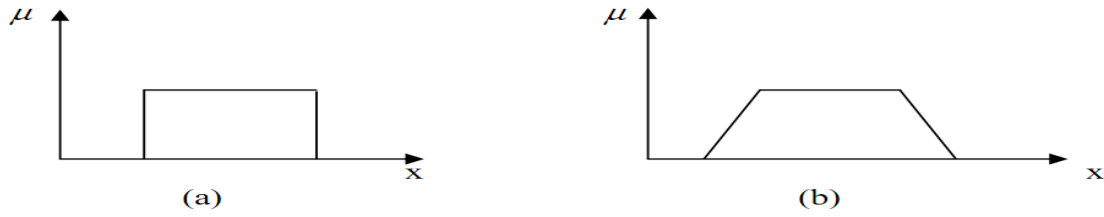


Figure 6.2 Fonction d'appartenance : (a) logique classique : (b) logique floue

6.4.2 Variables Linguistiques

Les variables linguistiques sont des variables dont les valeurs des mots ou des phrases exprimés en langage naturel sont des nombres. Elle sert à modéliser les connaissances imprécises ou vagues sur une variable dont la valeur précise peut être inconnue [11].

Une variable linguistique x est généralement caractérisée par un triplet $\{x, T(x), X\}$ où x désigne le nom de la variable, X son univers de discours, et $T(x)$ son ensemble de valeurs linguistique.

6.4.3 Opérations Floues

La caractérisation des ensembles flous par les fonctions d'appartenance a permis une extension de certaines opérations définies sur les ensembles classiques au cas flou.

Soient A et B deux ensembles flous définis dans l'univers de discours X ayant respectivement μ_A et μ_B comme fonction d'appartenance. (figure6.3) [13].

- Union (Ou) $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ (6.4)

- Intersection (Et) $\forall x \in X: \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ (6.5)

- Complément (Non) $\overline{\mu_A}(x) = 1 - \mu_A(x)$ (6.6)

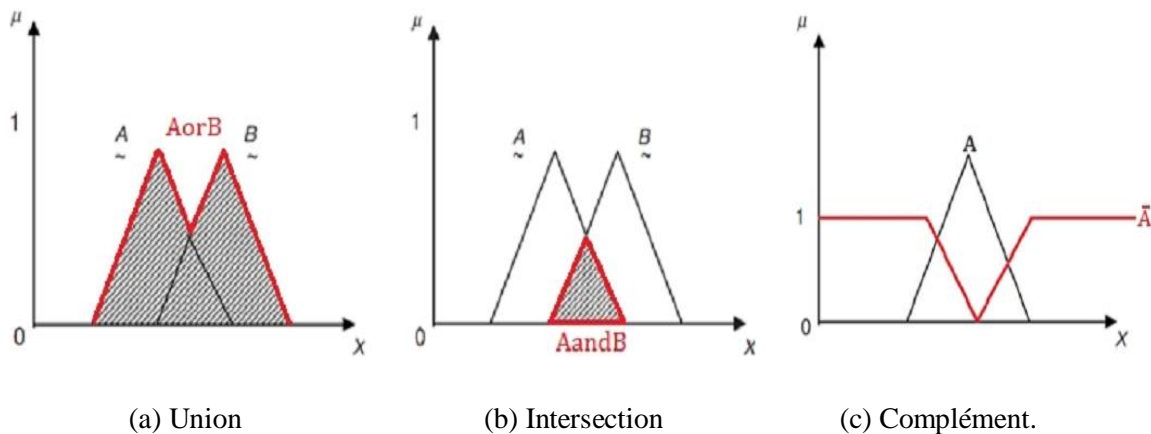


Figure 6.3 Ensembles flous [13]

6.4.4 Règles floues if-then

La règle floue if-then (règle floue, implication floue, ou instruction conditionnelle floue) est exprimée comme suit :

If x is A **then** y is B.

Dont A et B sont des valeurs linguistiques définies par des ensembles flous.

6.4.5 Fonction d'appartenance

Pour le traitement numérique en logique floue, il est nécessaire d'associer pour chaque valeur de la variable linguistique une fonction d'appartenance qui prend les différentes formes suivantes (**figure6.4**) [11]:

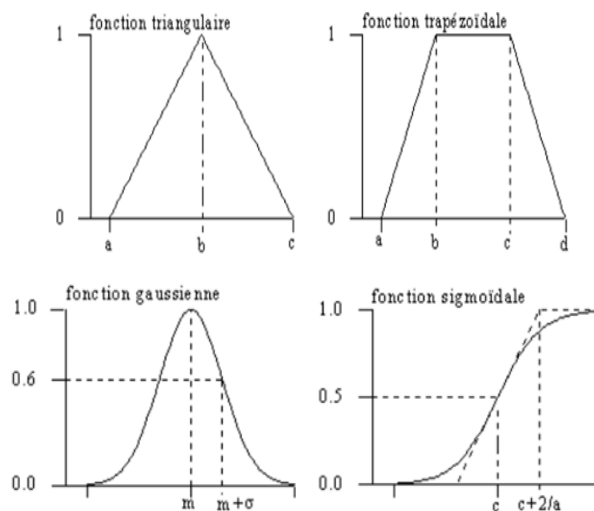


Figure 6 .4 : Forme des fonctions d'appartenance usuelles.

6.5 Réglage et commande par logique floue

6.5.1 La structure d'un régulateur floue

La structure conventionnelle d'une commande floue est présentée par la **Figure (6.5)** .

Elle est composée de quatre blocs distincts dont les définitions son données ci-dessous [14]

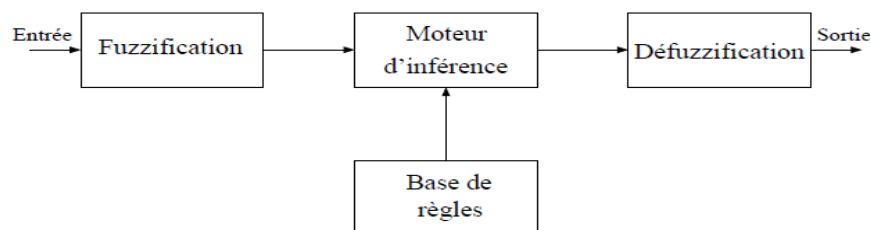


Figure 6 .5 : Structure d'une commande floue [15]

6.5.1.1 Fuzzification

L'étape de fuzzification comprend un passage des variables de taille réelle (physique) à des variables floues qui sont des variables linguistiques avec l'utilisation des fonctions d'appartenance pour représenter les variables d'entrée et sortie par des notations floues. Ce bloc comprend les tâches suivantes:

- a. Mesure des valeurs numériques pour les variables d'entrée.
- b. Les projeter sur l'univers du discours.
- c. Transformation des valeurs numériques pour les variables d'entrée à des valeurs linguistiques en utilisant les fonctions d'appartenance

6.5.1.2 La base de règles

Le but de la base de règles est de représenter de manière structurée la politique de contrôle sous la forme d'un ensemble de règles de production tels que:

6.5.1.3 Le moteur d'Inférence

La fonction principale du moteur d'inférence est de calculer la valeur globale de la variable de sortie de contrôle basé sur des contributions individuelles de chaque règle dans la base de règles.

6.5.1.3.1 Les méthodes d'inférence :

Après avoir établi la règle d'inférence qui décrit le système, il est nécessaire d'indiquer à l'ordinateur quelle procédure (méthodes mathématiques) doit être utilisée dans le but d'établir la relation entre les variables floues de sortie et entrée ainsi que les règles d'inférences. Plusieurs méthodes ont été développées et les plus souvent utilisées sont les suivantes:

- Max-min méthode.
- Max-produit méthode.
- Somme-produit méthode.

6.5.1.4 Défuzzification

Dans l'étape de défuzzification, une valeur réelle exacte est donnée aux variables de sortie floues résultant des règles d'inférence. De nombreuses méthodes ont été développées, telles que:

- La méthode du centre de gravité.
- La méthode de la moyenne de la valeur maximale.
- La méthode du maximum.

Les méthodes choisies pour le succès des algorithmes flous permettent de formuler un ensemble de décisions en termes linguistiques, utilisant les ensembles flous pour décrire l'amplitude de l'erreur, de sa variation et de la commande appropriée. En combinant ces règles, on peut dresser des tables de décisions permettant de donner les valeurs de la sortie du régulateur correspondant aux situations d'intérêt.

Les facteurs d'échelle doivent être choisis sur la base de l'étude du système de sorte que lors de petits phénomènes transitoires, le domaine admissible pour l'erreur et sa variation ne soit pas dépassé

6.6 Conduite par logique floue :

- Le régulateur flou utilisé a deux entrées : l'erreur et la variation d'erreur.
- Pour nos fonctions d'appartenance on a utilisé un ensemble de trois quantificateurs avec forme triangulaire.
- Pour le module de la défuzzification, on a utilisé la méthode moyenne des maximums.
- Pour la réalisation du moteur d'inférence, on a utilisé la méthode MAMDANI.
- La matrice des lois utilisées est représentée dans le tableau :

| | | | |
|----------------|---|---|---|
| Δe \ e | N | Z | P |
| N | N | N | Z |
| Z | N | Z | P |
| P | Z | P | P |

Matrice d'inférence pour les deux régulateurs flous.

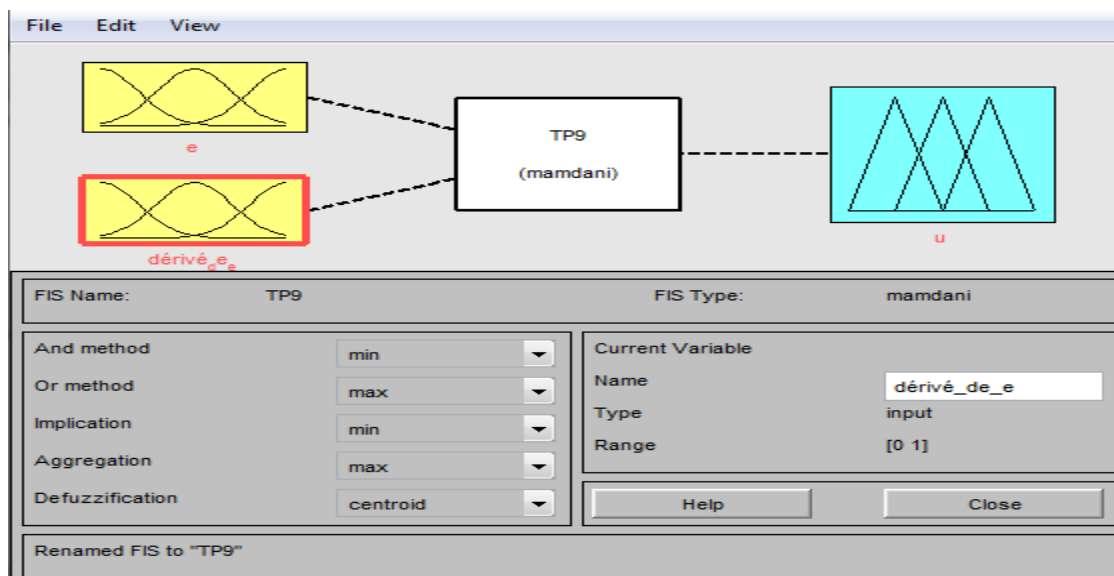


Figure 6.6 l'interface des entrées et de sortie de contrôleur flou

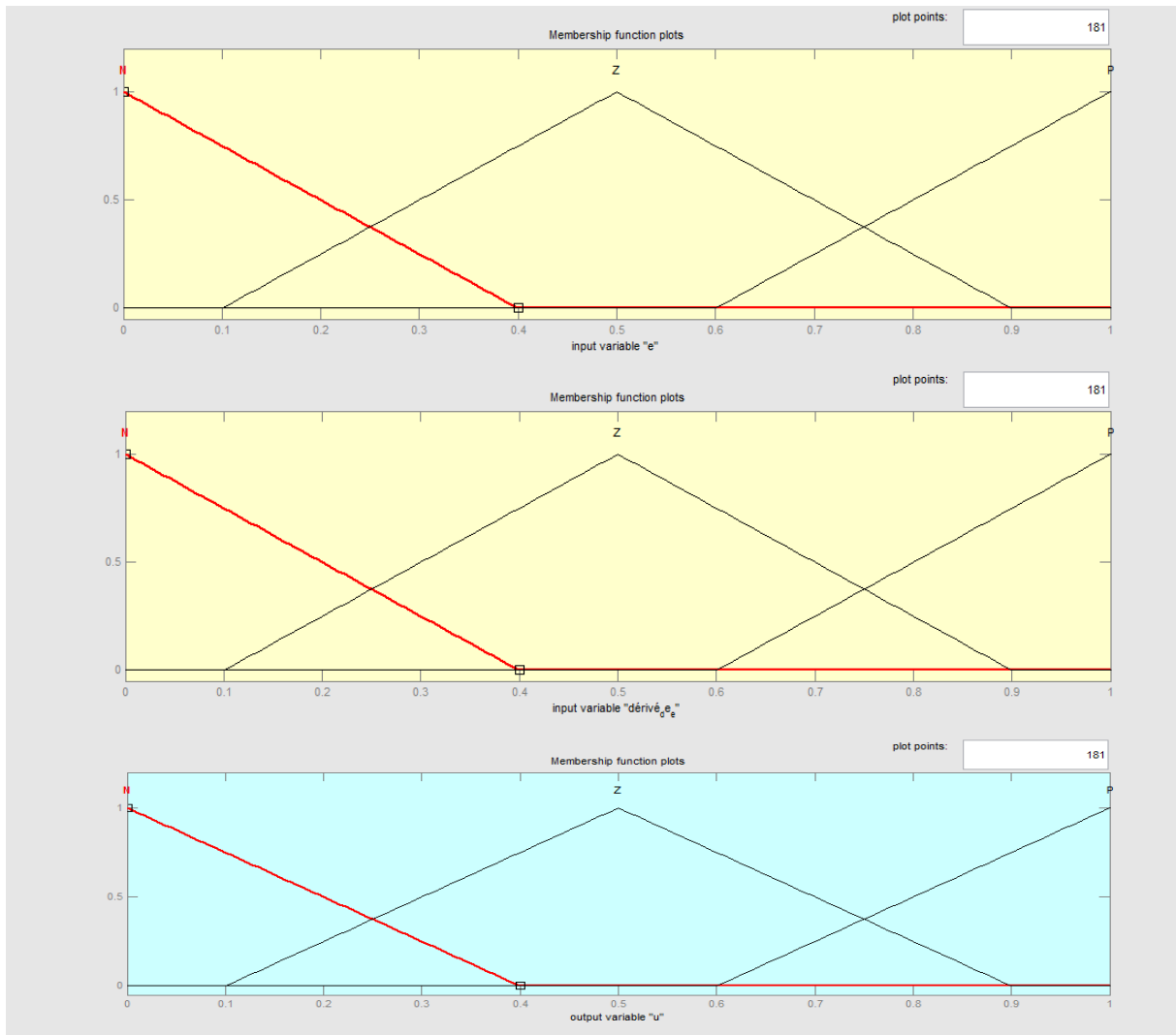


Figure 6.7 Fonctions d'appartenance de e, Δe, u.

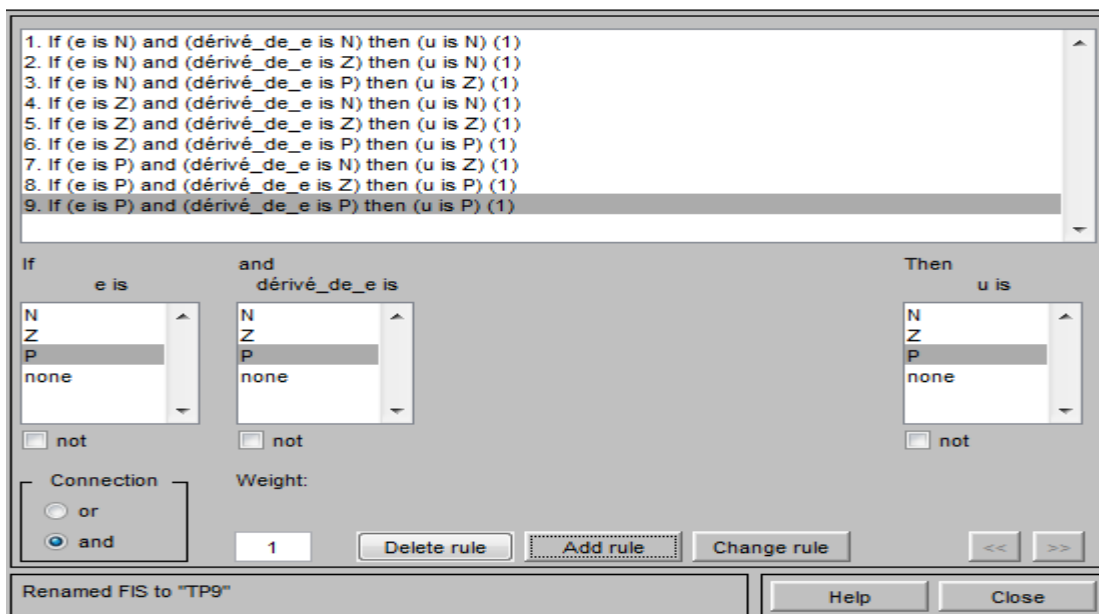


Figure6.8 Base des règles.

6.6.1 Schéma de la chaîne de réglage de la vitesse de la descente d'une tête de forage par la logique floue :

Le schéma de structure de la chaîne de réglage de la vitesse de la descente d'une tête de forage est donnée par la **Figure 6.9**

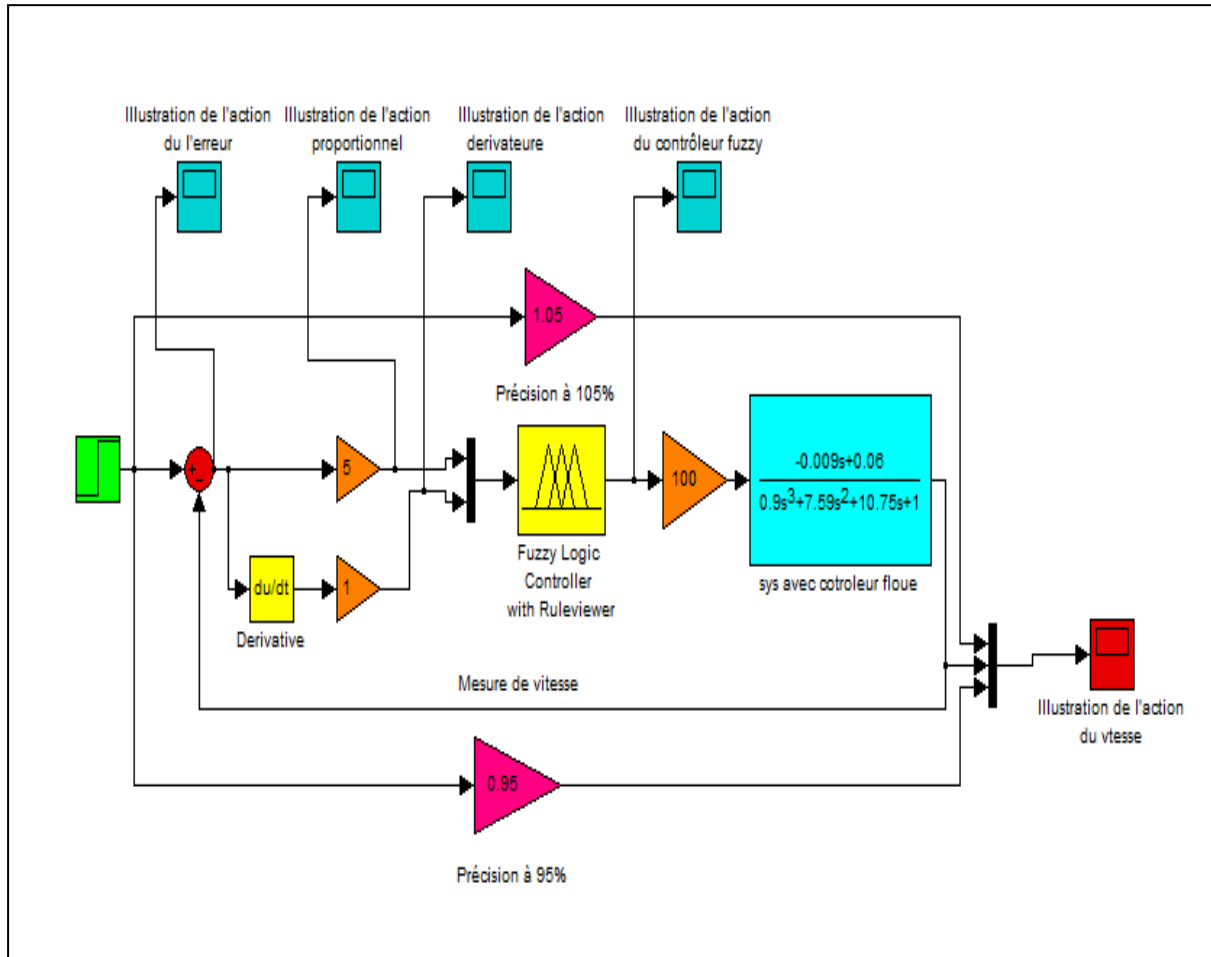


Figure 6.9 : schéma de réglage de la vitesse.

Ci-après, on a présenté les résultats de simulation de la commande de la variation de vitesse **Figure 6.10** et la réponse indicielle en boucle fermée **Figure 6.11**

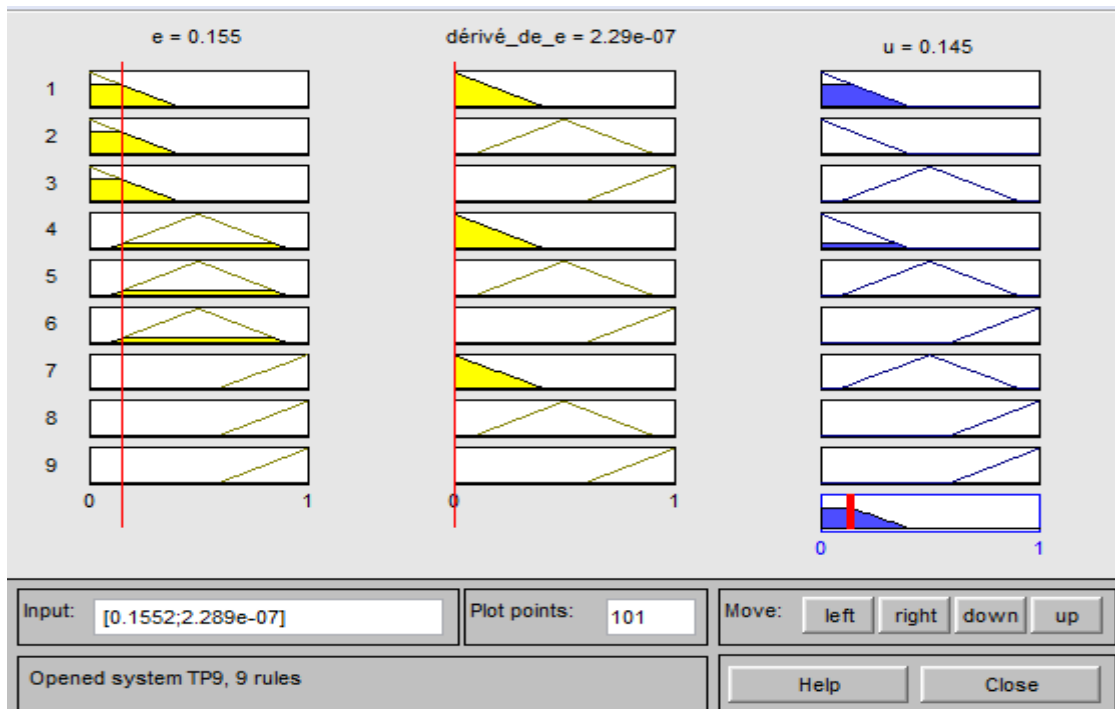


Figure 6.10 : La variation de la commande de vitesse

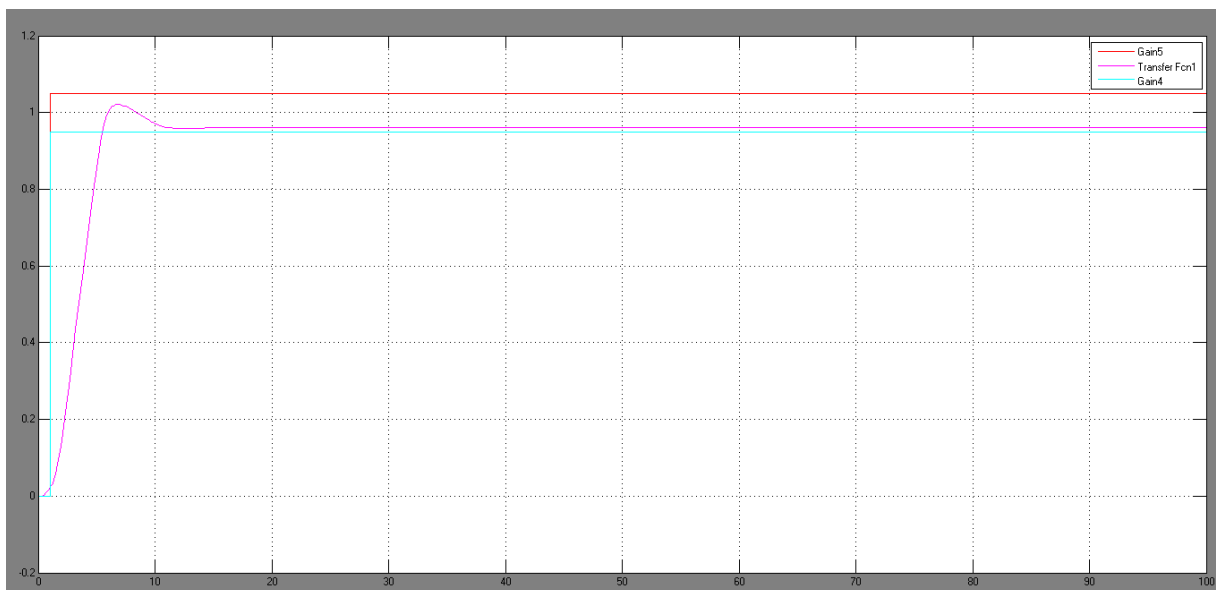


Figure 6.11 : Illustration de la réponse indicielle du système de contrôle de vitesse en B.F avec un régulateur flou

On constate que la commande floue donne des meilleurs résultats, sa réponse présente certes un dépassement, mais l'action de correction est très rapide qui donne un temps de réponse de 2[s].

6.6.2 Schéma de la chaine de réglage de l'asservissement de position :

Le schéma de structure de la chaine de réglage de la vitesse de la descente d'une tête de forage est donnée par la **Figure 6.12**

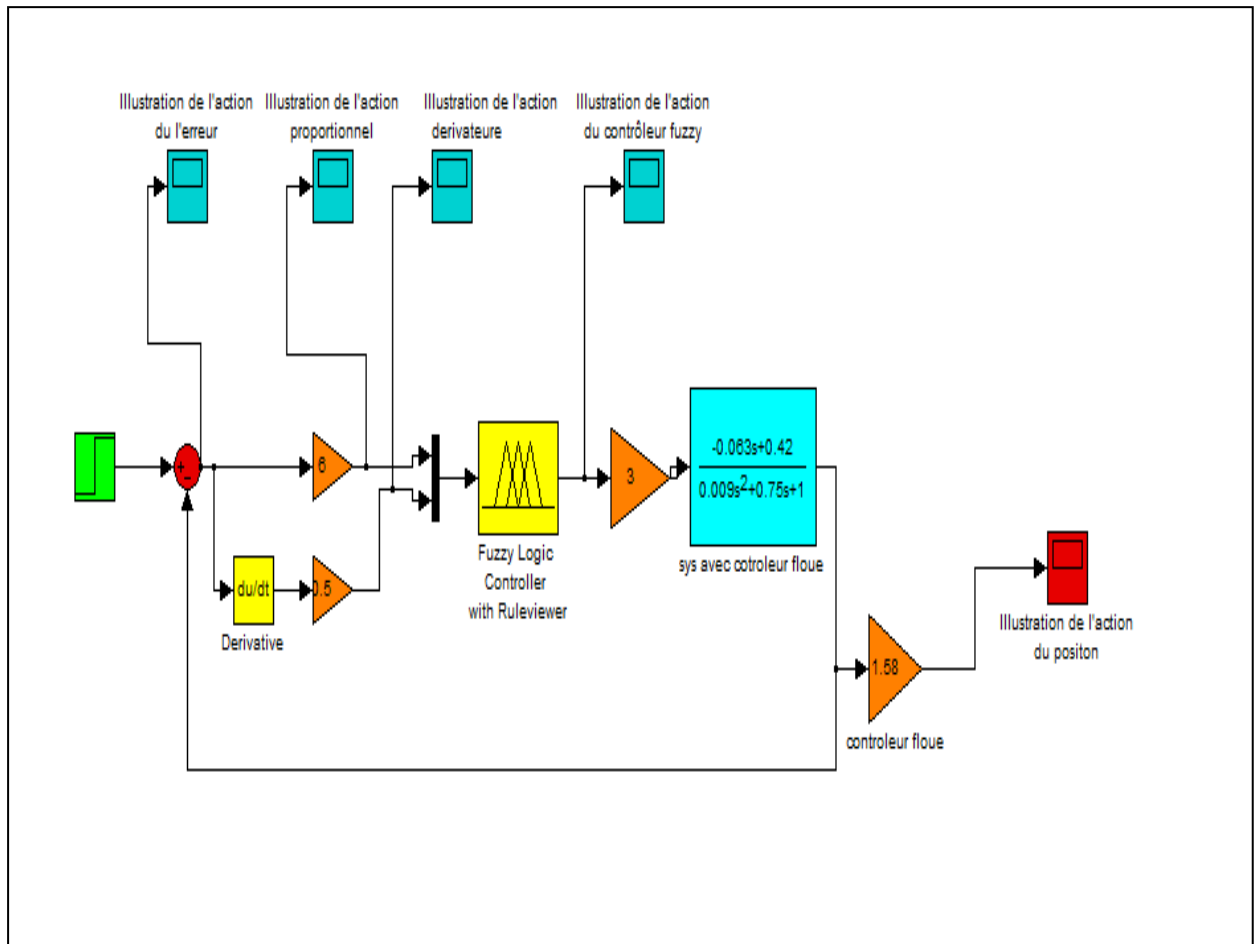


Figure6.12 : schéma de réglage de la position

Ci -après, on a présenté les résultats de simulation de la commande de la variation de vitesse **Figure 6.13** et la réponse indicielle en boucle fermé **Figure 6.14**

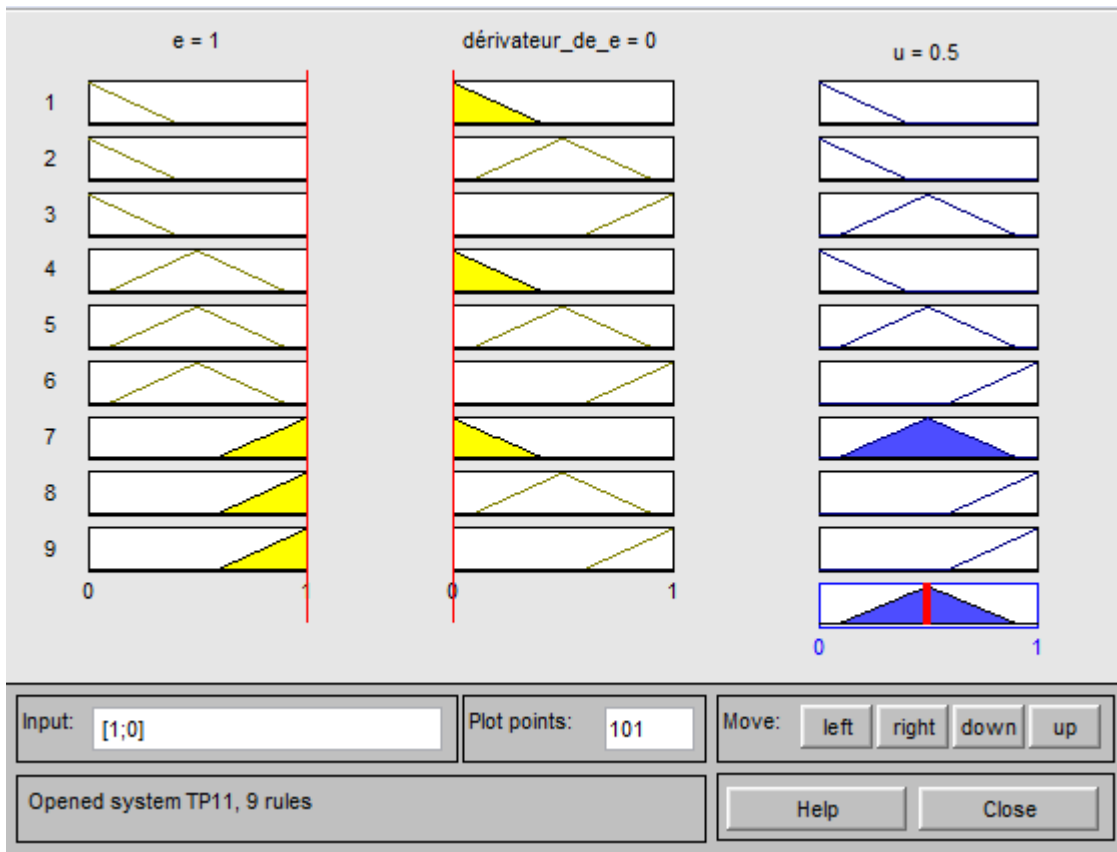


Figure 6.13: La variation de la commande de position

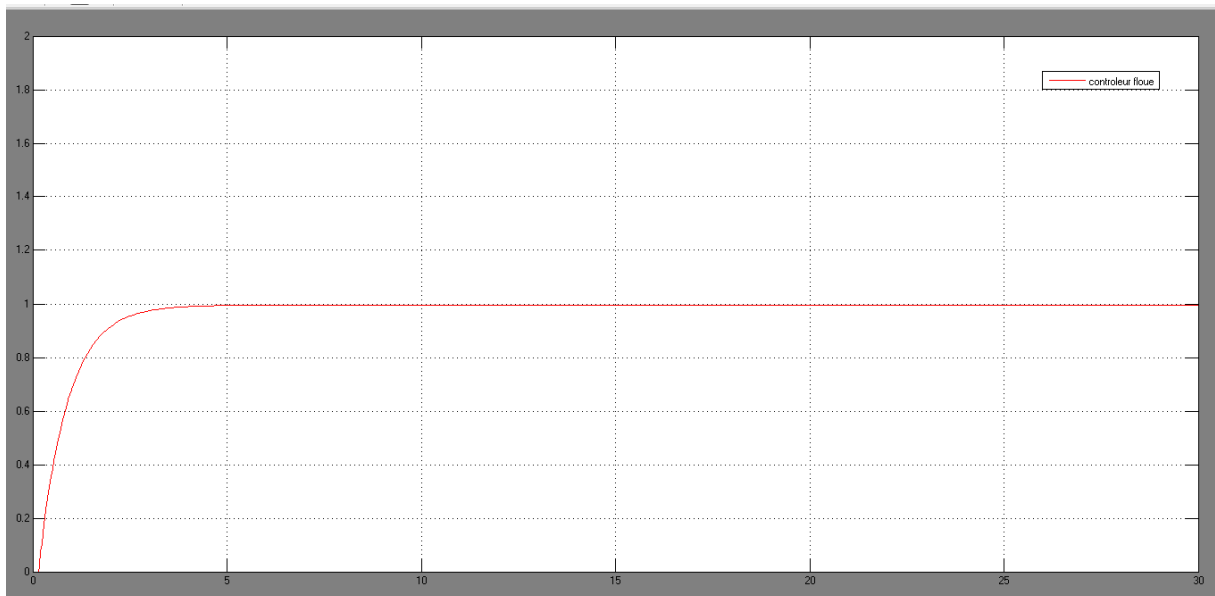


Figure 6.14 : Illustration de la réponse indicielle du système de contrôle de la position en B.F avec un régulateur flou

On constate aussi les bonnes performances de cette correction floue, le correcteur flou a permis d'obtenir un système plus rapide et sans aucun dépassement.

6.7 Comparaison entre les modes de commande :

6.7.1 Pour la commande de la vitesse de la descente d'une tête de forage :

Maintenant nous allons faire une comparaison entre la régulation classique (**P**), (**PI**), **Prédicteur de Smith** et la régulation intelligente (**logique floue**) ; nous avons la structure et le résultat suivant **Figure 6.15** :

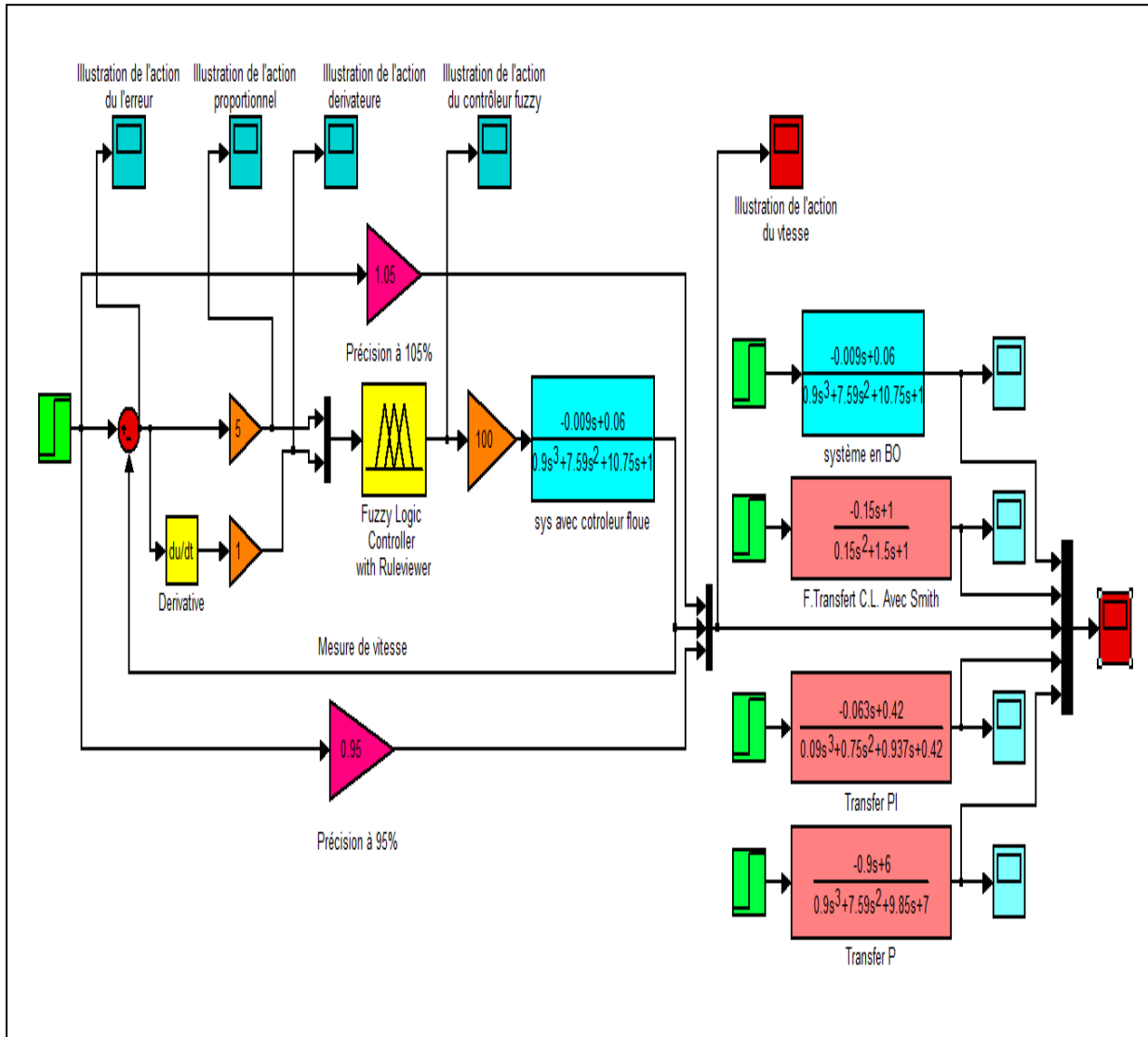


Figure 6.15 : Schéma de comparaison de vitesse

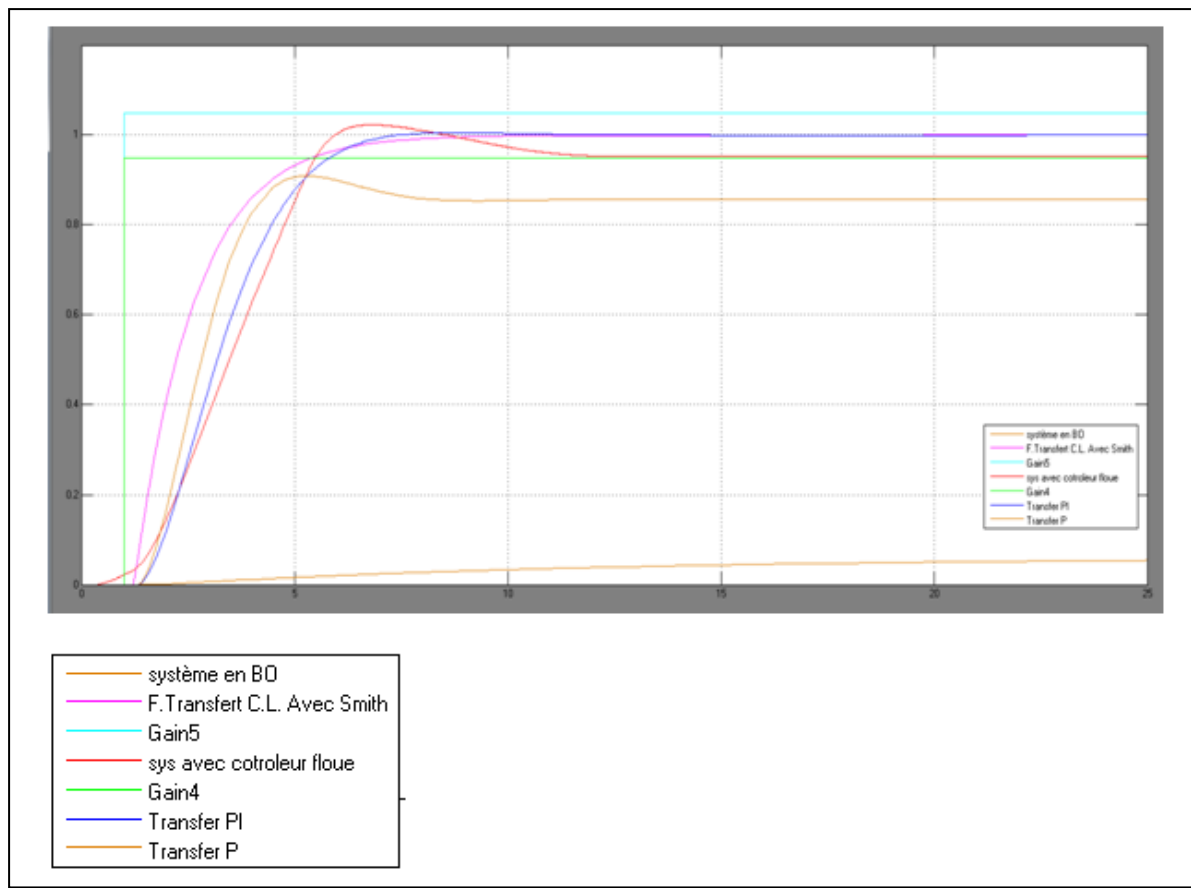


Figure 6.16 : illustration de la réponse indicielle en boucle fermée de la vitesse de descente d'une tête de forage par différentes types de correction

On constate que les performances du système sont nettement améliorées. On peut noter une légère amélioration sur le temps de réponse. Cette réponse confirme l'intérêt d'implanter un régulateur flou plutôt qu'un régulateur classique P, PI ou prédicteur de Smith dans la chaîne de réglage de la vitesse de la descente d'une tête de forage.

6.7.2 Pour la commande de l'asservissement de position

Maintenant nous allons faire une comparaison entre la correction proportionnelle (P), (PI) classique, par avance de phase, correction tachymétrique et la correction par le contrôleur floue ; nous avons la structure et le résultat suivant **Figure 6.17** :

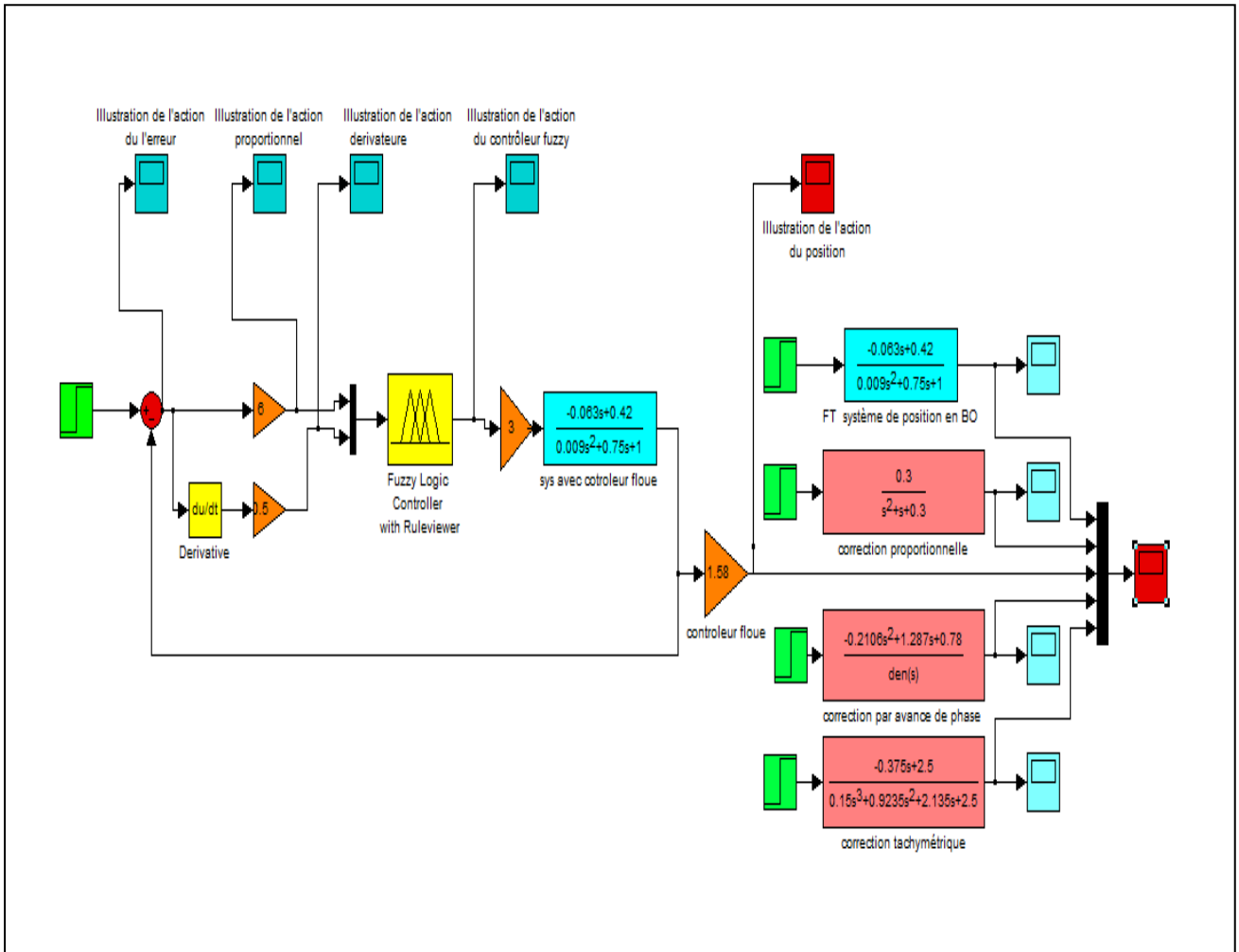


Figure 6.17 : Schéma de comparaison de position

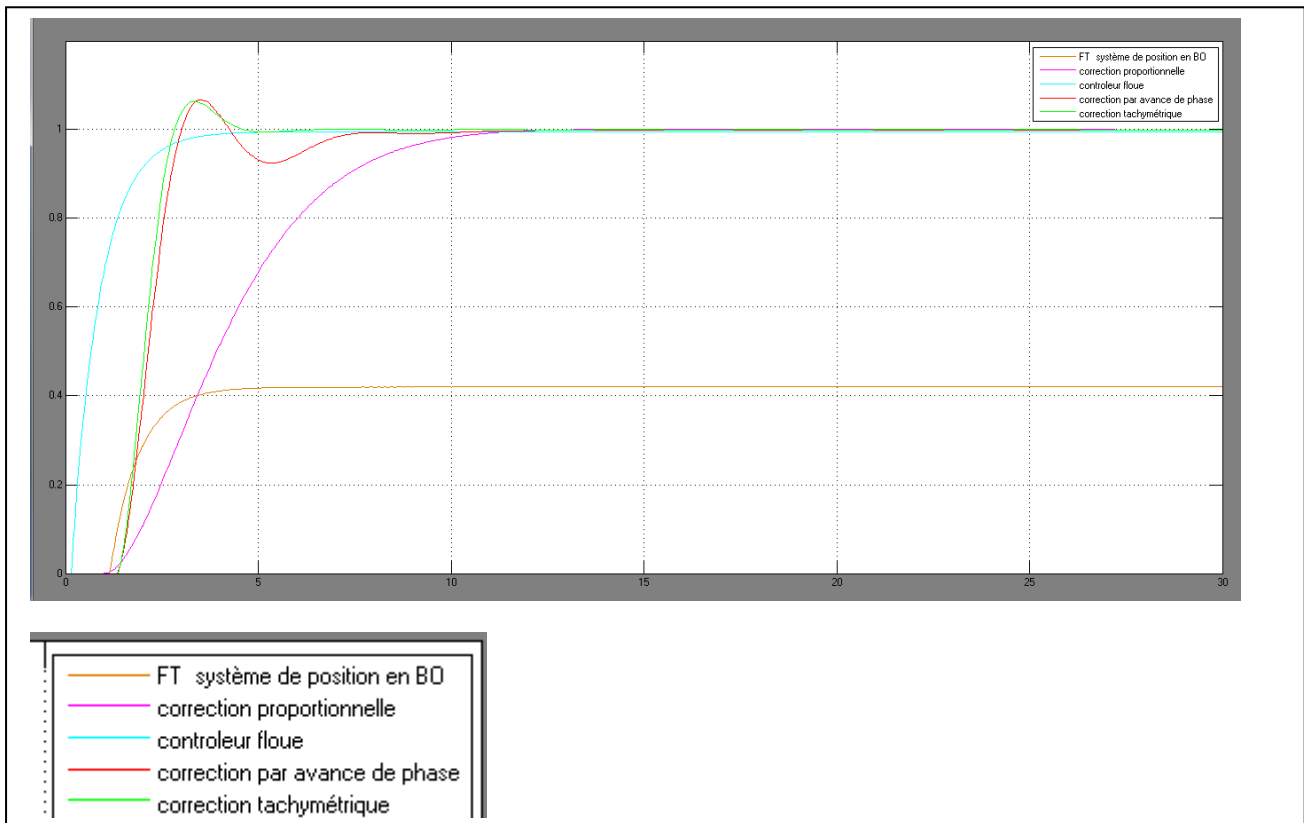


Figure 6.18 : illustration de la réponse indicielle en boucle fermée de la position de descente d'une tête de forage par différentes types de correction

On constate aussi les bonnes performances obtenue par la correction floue. Ceci dit le correcteur floue a permis d'obtenir un système plus rapide et sans aucun dépassement. Cette réponse confirme l'intérêt d'implanter une correction avec un contrôleur floue plutôt que les autres corrections déjà introduites dans la commande de l'asservissement de position.

6.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons proposé une technique de commande par logique floue pour la régulation de la vitesse et de la position de la descente d'une tige de forage dont le but est d'obtenir de bonnes performances de fonctionnement du système.

Dans la première partie, le principe de la logique floue ainsi que les caractéristiques de sa commande ont été présentés. Ensuite dans la seconde partie il a été illustré l'application d'un régulateur flou pour la commande du système. Dans la commande par logique floue, la description linguistique dès l'expertise de l'être humain apparait sous forme de règles floues afin de commander le système. D'après les résultats obtenus, on peut conclure que la commande par logique floue pour le réglage des systèmes de vitesse et de position par l'utilisation de régulateurs de type Mamdani donne de meilleures performances .

Conclusion générale

Dans ce mémoire nous nous sommes intéressés à l'amélioration des performances de commande automatique du système de forage.

De prime abord, nous avons passé en revue les différents équipements du processus de forage afin de comprendre son mode de fonctionnement.

En deuxième point, nous avons présenté la régulation de la descente d'une tête de forage, cela passe par l'identification des boucles et des réponses fréquentielles ou indicielles de vitesse ou de position, et à partir des résultats obtenus, nous les avons corrigé tout en se basant sur les correcteurs P et PI (classiques).

Par la suite nous avons tracé dans le plan de Bode le module et la phase de la réponse fréquentielle de la fonction de transfert en boucle ouverte tout en utilisant le logiciel Matlab, à des fins de faire ressortir la marge de gain et de phase.

Cela nous a permis d'identifier les points que nous avons traités afin de corriger la descente du mouvement des tiges de forage

Pour palier et corriger les points que nous avons soulevé dans le chapitre quatre, nous avons utilisé en premier lieu un régulateur à action proportionnelle ce qui permettait assurer la commande en boucle fermée la stabilité de cette dernière, afin d'améliorer les performances du système de forage.

Les résultats de simulation du système de forage corrigés par les régulateurs classiques montrent que les performances n'ont pas atteint les résultats souhaitables et n'ont pas bien améliorées le contrôle de la vitesse de descente des tiges de forage. En dépit de l'insuffisance des correcteurs automatiques classiques nous nous sommes portés sur l'adjonction d'un contrôleur floue.

La simulation par la logique floue a donné de meilleurs résultats et les performances ont été améliorées.

La différente étude de simulation que nous avons menée sur l'automatisation des systèmes de forage rotary démontre la supériorité de la commande floue par rapport aux anciennes techniques classiques car elle fait appel à l'implémentation au savoir humain.

A travers de cette étude modeste très riche en documentation sur les technique de forage et de vos apports par des différents propositions pour le choix d'un régulateurs approprié pour le contrôle de la vitesse de descente des tiges de forage et du contre balancement de ces derniers sur le puits de forage. Cette étude nous a permis de parfaire nous connaissances qu'elle soit théoriques et en pratiques.

Ceci dit, dans le cas des études théoriques, nous avons testé les idées par l'emploi du différent type de commande, dont on a fait ressortir les avantages et les inconvénients des unes par rapport aux autres. Il faut se ramener à ces résultats qui sont développés dans le chapitre six.

D'autre part dans le cas, du côté pratique l'unité forage dispose d'un simulateur qui est un appareil de simulation « SCR Power Control Room Full Size » ou la salle de gestion de contrôle de l'électricité d'un chantier de forage, offrira la plus authentique expérience par les électriciens débutants, les opérateurs, ainsi que les plus expérimentés, et ce dans le but de la formation spécifique dans le domaine tels que les aspects de démarrage, d'opération, de maintenance, de prospections et diagnostiques des problèmes.

Ce simulateur est capable, également, de reproduire, à volonté, les problèmes et pannes souvent rencontrés dans les chantiers de forage, en ce qui concerne le système SCR.

Finalement, je tiens à remercier l'aimable lecteur à enrichir cette étude d'avantage, mais toutefois elle semble de formation des prochaines promotions d'ingénieur en automatique.

Bibliographie

- [1] Leblond A ,1975-Initialisation au forage pétrolier, Réf 23703. Ecole Nationale Supérieure du pétrole et des Moteurs, Institut Français du Pétrole, décembre 1975.
- [2] [http://www planette-énergie.com](http://www.planette-energie.com)
- [3] Le forage des puits d'hydrocarbures 1969-d'après « A primes of oil well Drilling », édité par petroleum Extension service university texas. Division Austin et American Association of oil well Drilling Contractors DALLAS 1969.
- [4] Bramoo M.2005-Introduction to Petroleum Exploration & Production.A network of Excellence in training course, 4 juin 2005.
- [5] Ouvrier de plancher OP O1 direction de la formation centre de Formation filière forage. ENTP.
- [6] CD treuil de levage GH 2000 E Nos 34-55 (bureau de codification et documentation ENTP).
- [7] Manuel SCR. Niveau1 :SCR simulateur Full Size-A-KECIR. Rev-00-KA-09.
- [8] Entreprise national des travaux aux puits . Direction Formation. Le convertisseur AC/DC.SCR ROSSH ILL. Mr ZENATI. Document revu et corrigé le 15-01-2004.
- [9] Jean Mari Flaus, "La régulation industrielle,régulateurs PID,prédicatifs et flous" , HERMES Science Publications,Paris,1994.
- [10] F.Chevrie,F.Guély, "Cahier technique n°191,La logique floue. Groupe SCHNEIDER", 1998.
- [11] B. Mendil , " Outils structurels et algorithmiques pour la commande intelligente ," thèse de doctorat, université de Sétif, 2002.

[12] A. Kaufmann ,“ Introduction à la logique floue,” technique de l'ingénieur, mesures et contrôle, R7032, 1996.

[13] R. ZAMOUM, ‘’Conception d’un nouveau système de régulation anti pompage des compresseurs centrifuges’’, Thèse de Doctorat, juin,2013.

[14] E.H. Mamdani,“ Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant ,” IEEE, PP. 1585-1588, 1974.

[15] Jérôme FAUCHER,‘’Les plans d’expérience pour le réglage de commandes à base de logique floue’’, thèse préparée au Laboratoire d’électrotechnique et d’électronique Industrielle de L’ENSEEIH, UMR CNRS N°5828, 2006

Programme d'illustration des courbes de réponse indicielle et diagramme de Bode

```

% Illustration du diagramme de Bode sans retard pur du
figure4.2;
H=tf([0.06],[6 10.6 1])
bode(H)

%illustration du diagramme de Bode du figure4.3;
%avec retard pur;
H=tf([-0.009 0.06],[0.9 7.59 10.75 1])
%sans retard pur;
F=tf([0.06],[6 10.6 1])
bode(H,F)

%tracé la réponse indicielle du système bouclé du figure4.4;
H=tf([0.9 6],[0.9 7.59 9.85 7])
step(H)

%illustration du diagramme de Bode du figure4.5;
%avec retard pur;
H=tf([-0.063 0.42],[0.09 0.75 1 0])
%sans retard pur;
F=tf([0.42],[0.6 1 0])
bode(H,F)

%tracé la réponse indicielle du système bouclé du figure4.6;
H=tf([-0.063 0.42],[0.09 0.75 0.937 0.42])
step(H)

%illustration du diagramme de Bode du figure4.9;
H=tf([-0.15 1],[0.15 1.3 0])
bode(H)

%tracé la réponse indicielle du système bouclé du figure4.10;
H=tf([-0.15 1],[0.15 1.5 1])
step(H)

%illustration du diagramme de Bode du figure5.2;
%avec retard pur;
H=tf([-0.063 0.42],[0.009 0.75 1 0])
%sans retard pur;
F=tf([1],[1 1 0])
bode(H,F)

%tracé la réponse indicielle du système bouclé du figure5.3;
H=tf([0.3],[1 1 0.3])
step(H)

```

```

%illustration du diagramme de Bode du figure5.4;
%avec retard pur;
H=tf([-0.2106 1.287 0.78],[0.084 0.79 1.71 1 0])
%sans retard pur;
F=tf([1.404 0.78],[0.56 1.56 1 0])
bode(H,F)

%tracé la réponse indicielle du sys bouclé avec ratard pure du
figure5.5
H=tf([-0.2106 1.287 0.78],[0.084 0.794 1.4994 2.287 0.78])
step(H)

%illustration du diagramme de Bode du figure5.7
F=tf([-0.375 2.5],[0.15 0.9235 2.51 0])
bode(F)

%tracé réponse indicielle de l'asservissement de position avec
correction

%par avance de phase et par retour tachymétrique du figure5.8
%avance de phase
H=tf([-0.2106 1.287 0.78],[0.084 0.794 1.4994 0.78])
%retoure tachyamétrique
F=tf([-0.375 2.5],[0.15 0.9235 2.135 2.5])
step(F,H)

```

Programme de la commande floue de vitesse de descente d'une tête de forage

```
[System]
Name='TP11'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=9a
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='e'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='N':'trimf',[-0.4 0 0.4]
MF2='Z':'trimf',[0.1 0.5 0.9]
MF3='P':'trimf',[0.6 1 1.4]

[Input2]
Name='dérivateur_de_e'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='N':'trimf',[-0.4 0 0.4]
MF2='Z':'trimf',[0.1 0.5 0.9]
MF3='P':'trimf',[0.6 1 1.4]

[Output1]
Name='u'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='N':'trimf',[-0.4 0 0.4]
MF2='Z':'trimf',[0.1 0.5 0.9]
MF3='P':'trimf',[0.6 1 1.4]

[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 1 (1) : 1
1 3, 2 (1) : 1
2 1, 1 (1) : 1
2 2, 2 (1) : 1
2 3, 3 (1) : 1
3 1, 2 (1) : 1
3 2, 3 (1) : 1
3 3, 3 (1) : 1
```



Entreprise Nationale des Travaux aux Puits

EPE/SPA au Capital Social de 14 800 000 000 DA

Certifiée ISO 9001:2008-OHSAS 18001:2007-ISO 14001:2004

Certifiée QHSE

DIRECTION ENGINEERING

RIG N°: **TP 223**

KERUI JC 70 D 2000 HP

AFFECTATION

FORAGE

GENERAL DATA

Starting date.....
Revamping date..... Not yet
Depth rating 13 000'- 20 000'
Number of loads.....

MAST / ACCESSORIES

Type.....KERUI JJ585/47,5 K
Height..... 156'
G.N.C.....
Static Hook Load..... 1 300 000 lbs/14 lines
Crown block:..... KeruiTC 675, sheaves 07/60",01/60" / 760 tons
Hook..... LS-NOV 500 tons
Traveling block:..... Kerui YC 585,Sheaves 07/60"

SUBSTRUCTURE KERUI

Clear Heigh.....30'
Racking Capability..... 272 stands of 5"1/2 DP and 10 stands of 8" DC to 9"1/2 DC
Casing load.....1 300 000 lbs
Setback Load.....800 000 lbs

DRAWWORKS KERUI

Type.....KERUI JC 70 D 2000 HP
drilling line (in)..... 1 " 1/2
Auxiliary brake..... BAYLOR 7040
Crown-o-matic..... koomey CBS-RT2-H/L
Twin stop..... Mattco 400

MUD PUMP BOMCO

Type.....BOMCO F 1600
Quantity..... Two
Maximum input power..... 1600 HP
Traction motor..... GE-752 ARB3

TOP DRIVE / SWIVEL

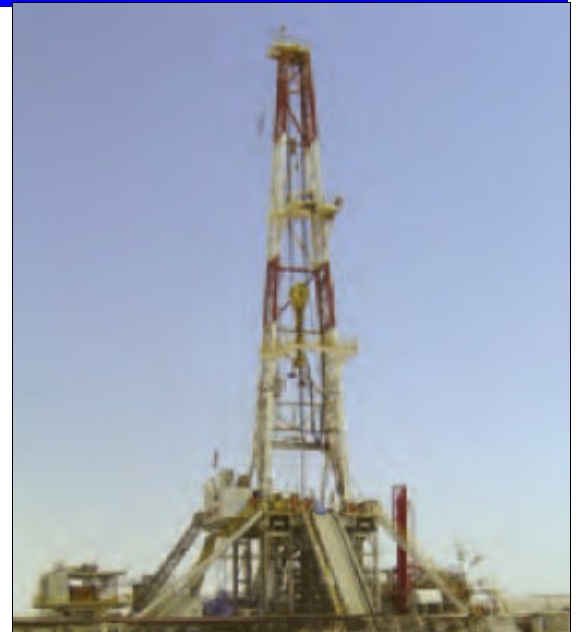
Type.....CANRIG 1250 AC
Capacity..... 1 000 000 lbs
Swivel.....

BLOW OUT EQUIPEMENT

Annular preventer..... Cameron DL 13 5/8"-10M psi
Single rams..... 2 x Cameron U 13 5/8"-10Mpsi
Double rams..... N/A
Ckoke and kill line..... Cameron 4 1/16"-10Mpsi
Accumulator unit..... Sara E80 with 22 botteles 3000 psi

CAMP

Camp capacity.....
Rig side camp.....
Main camp.....



ROTARY TABLE KERUI

Type.....KERUI ZP 375
Opening size..... 37"1/2
Traction motor..... YONGE YZ08A (752)
Static load rating..... 1 300 000 lbs
RPM.....

POWER SYSTEM

Main power.....4 x CAT 3512
Drive emergency.....
Generator..... 04 x KATO
SCR System..... TSC HH CT

STORAGE

Mud tank..... 7 tanks 3010 BBL
Water tank..... 3 tanks 80m3
Fuel tank..... 2 tanks 63m3

SOLIDS CONTROL

Shale shaker I..... 1x Derrick -FLC 514
Shale shaker II..... 1x Derrick -FLC 514
Mud cleaner..... Derrick 20x4"
Desander..... Derrick 3x10"
Degasser..... Derrick vacu-Flow 1200

Mast certificate



ENTP