

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université M'Hamed Bougara-Boumerdes
Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie



Département Transport et Equipements des Hydrocarbures

Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de

Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydrocarbure

Option : Génie mécanique-Mécanique des chantiers pétroliers

Présenté par : **-AZZOUZ FOUAD**
-BERROUK SOUHAIB

THEME

Étude du Blowout preventer (BOP) et leur fiabilité lors des opérations de forage dans la zone de Hassi Messaoud

Devant le jury :

President de jury:	BENBRIK ABDERRAHMANE
Examineur :	BELOUL BENATIA
Examineur :	SABRI LKHAYAR
Encadreur :	HARHOUT RIAD

Boumerdes 2023

REMERCIEMENT

Avant tous, Nous Remercions le bon DIEU qui nous a donné la patience courage et la capacité et qui a éclairé notre chemin et nous a aidé pour continuer ce Modeste travail de Fin d'étude.

Nous avons l'honneur d'envoyer nos remerciements avec haute considérations à notre encadreur

« Mr Harhout riad »

Qu'il était un membre très important et essentiel dans ce travail avec ces efforts, sa confiance, son endurance et ses conseils précieux pour conduire ce projet au succès.

Nous remercions également les membres de jury qui ont acceptés l'évaluation de ce travail

Nous tenons à transmettre nos remerciements au chef mécanicien **Mr Omar** et service maintenance de l'ENTP, qui sont restant toujours à côté de nous sur le chantier TP214 durant le stage.

Enfin nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidés à la réalisation de ce travail.

Merçi, merçi et encore mille

Merci.....

DÉDICACE

À mes chers parents bien-aimés,

Je les remercie pour leurs sacrifices, leur amour inconditionnel et leur soutien financier et moral. Leur présence et leurs efforts constants dans ma vie sont des trésors précieux. Je leur souhaite une vie longue et en bonne santé, et je les aime plus que tout.

À mes deux frères Fayçal et Hamza et ma petite sœur bien-aimés,

Bien que nous puissions avoir des différences d'opinions et de perspectives, je tiens à leur dire que je les aime infiniment. Notre lien fraternel est plus fort que nos divergences, et je serai toujours là pour eux jusqu'à la fin.

À la famille AZZOUZ et HACHEMI,

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude et mon amour sincère envers chaque membre qui fait partie de notre famille. Votre soutien inébranlable, votre affection inconditionnelle et votre présence précieuse ont une empreinte sur ce que je suis aujourd'hui. Je suis profondément reconnaissant d'avoir la chance d'appartenir à une famille aussi merveilleuse et aimante. Mon amour pour vous tous est infini.

À mon binôme BERROUK SOUHAIB,

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et ma gratitude envers lui pour son écoute attentive et son aide précieuse. Sa générosité et sa disponibilité ont fait de lui un partenaire exceptionnel.

À tous mes précieux amis de bon coin,

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mon affection envers eux. Leur amitié précieuse et leur soutien inconditionnel ont enrichi ma vie de manière inestimable. Ensemble, nous avons partagé des moments inoubliables, ri, pleuré et grandi. Leur présence m'a apporté du réconfort et de la joie. Mes amis, je vous porte dans mon cœur et je suis reconnaissant d'avoir la chance de vous avoir à mes côtés. Je vous aime profondément.

À toute personne que je connais,

AZZOUZ FOUAD

DÉDICACE

À mes chers parents,

Vous êtes mes piliers, ma source d'amour et de soutien inconditionnel, je vous dédie toute ma gratitude et mon amour infini.

À mes deux frères Haythem et Aymen, et ma sœur

vous êtes mon roc, mon confident et mon inspiration, je te dédie tout mon amour et ma reconnaissance pour ta présence précieuse dans ma vie.

À ma chère famille Berrouk et Djellouli,

Vous êtes mon ancre, ma source de bonheur et ma plus grande fierté, je vous dédie tout mon amour et ma reconnaissance infinie pour les moments inoubliables et le lien indéfectible qui nous unit.

À mon précieux binôme, AZZOUZ Fouad,

Tu es bien plus qu'un partenaire de travail, tu es un ami sincère et un soutien inébranlable, je te dédie toute ma gratitude et mon respect pour notre collaboration exceptionnelle et les moments mémorables que nous avons partagés.

À mes chers amis,

Vous êtes ma famille choisie, mes rayons de soleil et mes complices de tous les instants, je vous dédie tout mon amour et ma reconnaissance pour les rires, les aventures et le précieux soutien que nous partageons.

BERROUK SOUHAIB

ملخص

في هذا العمل، نركز على جانب الوقاية من المخاطر الرئيسية في عمليات النفط من خلال دراسة موثوقية نظام منع الانفجار. لقد طورنا منهجية عمل تدور حول ثلاثة محاور: نبدأ بتحليل تقني شامل لمانع الانفجار (BOP) ووحدات التحكم الخاصة به. بعد ذلك، ندرس تعامل المكونات المختلفة لمانع الانفجار BOP وأنماط عطلها. لهذا الغرض، يتضمن الجزء الثاني تحليل النظام من خلال التحليل الوظيفي باستخدام طريق SADT ، متبوعاً بتطبيق طريقة AMDEC على نظامنا. يتضمن الجزء الأخير تحديد المكونات التي لها أنماط عطل تعتبرها AMDEC غير محتملة وحساب احتمال عدم تأدية وظيفته عند الطلب (PFD) لمانع الانفجار BOP، على افتراض أن أي عطل في أي من هذه المكونات سيؤدي إلى عطل مانع الانفجار BOP.

كلمات مفتاحية: الموثوقية، SADT، AMDEC، مانع الانفجار، عمليات الحفر

Abstract

In this work, we focus on the aspect of major risk prevention in oil operations through the study of the reliability of the blowout preventer system. We have developed a working methodology that revolves around three axes: We begin with a thorough technological analysis of the blowout preventer (BOP) and its control units. Then, we study the interaction of the different components of the BOP and their failure modes. For this purpose, the second part involves decomposing the system through functional analysis using the SADT method, followed by applying the AMDEC method to our system. The final part involves identifying components that have failure modes considered intolerable by the AMDEC and calculating the probability of failure on demand (PFD) of the BOP, assuming that a failure in any of these components would result the failure of the BOP.

Keywords : Reliability, SADT, AMDEC, Blowout preventer, Drilling, BOP.

Résumé

Notre travail se concentre sur la prévention des risques majeurs dans les opérations pétrolières en examinant la fiabilité du système de blowout preventer. Nous avons élaboré une méthodologie basée sur trois axes. Tout d'abord, nous effectuons une analyse technologique approfondie du blowout preventer (BOP) et de ses unités de commande. Ensuite, nous étudions l'interaction des différents composants du BOP et leurs modes de défaillance. Pour ce faire, la deuxième partie consiste à décomposer le système à l'aide de l'analyse fonctionnelle selon la méthode SADT, puis à appliquer la méthode AMDEC. Enfin, nous identifions les composants présentant des modes de défaillance considérés comme non tolérables par l'AMDEC et calculons la probabilité de défaillance sur demande (PFD) du BOP. Nous supposons qu'une défaillance dans l'un de ces composants entraînerait la défaillance du BOP.

Mots clés : Fiabilité, SADT, AMDEC, Obturateurs anti éruption, Forage.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Dédicace

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Abréviations

Introduction générale

Chapitre 1 : Généralité sur l'appareil de forage

1.1 Introduction :	3
1.2 Appareil de forage	3
1.2.1 Rôle de l'appareil de forage	3
1.2.2 Description d'un appareil de forage	3
1.2.3 Schéma de structure D'AdF	4
1.2.4 Classification :	4
1.3 Fonctions de l'AdF :	5
1.3.1 Fonction de levage :	5
1.3.2 Fonction de rotation :	8
1.3.3 Fonction de Pompage :	9
1.3.4 Fonction de sécurité :	9
1.3.4.1 Blowout preventer BOP :	10
1.3.4.2 Unité d'accumulation et de commande des BOP :	11
1.4 Problématique du projet de fin d'étude :	12
1.4.1 Méthodologie :	12

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

2.1 Introduction	13
2.2 Les obturateurs anti-éruption	13
2.3 Différents types d'obturateurs anti-éruption	13
2.3.1 Obturateurs Annulaires (à membrane)	13
2.3.1.1 Hydril type GK	14
2.3.1.2 Hydril type GL	14

2.3.1.3 Shaffer sphérique	15
2.3.1.4 Cameron type D	15
2.3.2 Les obturateurs à mâchoires	15
2.3.3 Obturateurs rotatifs	18
2.4 Annulaire (Hydril type GK)	18
2.5 Les obturateurs du Cameron type U	20
2.6 Choke et kill line	24
2.7 Système de circulation hydraulique	24

Chapitre 3 : Unité d'accumulation et de commande Des BOP (koomey)

3.1 Introduction	25
3.2 Description de l'unité d'accumulation et de commande des BOP	25
3.3 Principe de fonctionnement de l'unité	28
3.3.1 Module accumulateur	28
3.3.2 Système de pompage	30
3.3.3 Manifold de contrôle hydraulique	35
3.3.3.1 Vanne de contrôle	35
3.3.3.2 Régulateur	36
3.3.3.3 By-Pass	36
3.3.3.4 Manomètres	37
3.3.3.5 Manifold pipeline	37
3.3.4 Module d'interface	38
3.4 Panneaux de commande pneumatique	39
3.5 Module d'interconnexion	40

CHAPITRE 4 : Application de la méthode SADT et AMDEC sur le BOP

4.1 Introduction	42
4.2 Présentation de la méthode SADT	42
4.2.1 Historique et objectif de la méthode	42
4.2.2 Représentation graphique	43
4.3 Présentation de la méthode AMDEC	44
4.3.1 Historique	44
4.3.2 But de AMDEC	44
4.3.3 Objectif de AMDEC	44
4.3.4 Type de AMDEC.....	44

4.3.5 La Méthodologie de L AMDEC	45
4.4 Application de la méthode AMDEC sur le BOP	46
4.4.1 Collecte des données	46
4.4.2 Tests et maintenance du BOP	46
4.4.2 Les Inspection du BOP	48
4.4.3 Analyse fonctionnelle du BOP par SADT	49
V.4.4 Analyse des défaillances	54
4.4.4.1 Evaluation des modes de défaillance et détermination leur criticité	54
4.4.4.2 Choix de l'échelle de cotation	54
4.4.4.3 Grille d'AMDEC	55
4.4.5 Interprétation	66
4.4.6 Hiérarchisation des modes de défaillances	67
V.5 Conclusion	68
CHAPITRE 5 : Calcul de fiabilité du BOP	
5.1 Introduction	69
5.2 Calcul du PFD	69
5.3 Bloc Diagramme de fiabilité BDF	70
5.3.1 Schématisation du BDF du système	70
5.4 Calcul	73
5.4.1 Calcul du PFDmoy de chaque sous-système	73
5.4.2 Calcul du PFDsys de chaque échantillon	74
5.4.3 Schématisation du BDF du BOP	75
5.4.3.1 Interprétation	76
5.5 Conclusion	76
Conclusion générale	77
Bibliographie	

Liste des figures

CHAPITRE 1 : Généralité sur l'appareil de forage

Figure 1. 1 : Appareil de forage (on shore).	3
Figure 1. 2 : Schéma de structure D'AdF	4
Figure 1. 3 : Système de levage.	5
Figure 1. 4 : Le mat de forage.	5
Figure 1. 5 : Schéma de treuil.	6
Figure 1. 6 : Cable de forage.	6
Figure 1. 7 : Moufle mobile et le Crochet.	7
Figure 1. 8 : Table de rotation.	8
Figure 1. 9 : Tête d'injection.	8
Figure 1. 10 : Pompe à boue triplex.	9
Figure 1. 11 : Le BOP.	10
Figure 1. 12 : Unité d'accumulation et de commande des BOP.	11

CHAPITRE 2 : Etude technologique de BOP

Figure 2. 1 : Annulaire de type Hydril type GK.	14
Figure 2. 2 : Annulaire Shaffer.	15
Figure 2. 3 : Annulaire Cameron type D.	15
Figure 2. 4 : Obturateurs à mâchoires Cameron type U.	16
Figure 2. 5 : Obturateurs à mâchoires Cameron type UII.	17
Figure 2. 6 : Obturateurs à mâchoires shaffer.	17
Figure 2. 7 : Hydril type GK avec chapeau vissé.	18
Figure 2. 8 : types de membranes.	19
Figure 2. 9 : Déformations de la garniture lors de la fermeture de BOP.	20
Figure 2. 10 : Description de l'obturateur Cameron type U.	21
Figure 2. 11 : Verrouillage manuel des obturateurs du Cameron type U (15).	21
Figure 2. 12 : Verrouillage des obturateurs du Cameron type U.	21
Figure 2. 13 : Pipe rams de Cameron type U.	22
Figure 2. 14 : Variable rams du Cameron type U.	23
Figure 2. 15 : Blind shear rams du Cameron type U.	23
Figure 2. 16 : Schéma montrant le circuit de fermeture d'un Cameron type U.	24

Chapitre 3 : Unité d'accumulation et de commande Des BOP (koomey)

Figure 3. 1 : Schéma de différents composants de l'unité d'accumulation et de commande de BOP.	26
Figure 3. 2 : Bouteille de l'accumulateur.	28
Figure 3. 3 : Système de pompage électrique.	30
Figure 3. 4 : Collecteur d'aspiration de fluide.	31
Figure 3. 5 : Assemblage d'entraînement.	32
Figure 3. 6 : Système de pompage pneumatique.	32

Figure 3. 7 : Pompe pneumatique.	32
Figure 3. 9 : Pompe pneumatique.	33
Figure 3. 10 : Les éléments de manifold d'alimentation en air.	34
Figure 3. 11 : Collecteur d'aspiration de fluide de les pompes pneumatique.	34
Figure 3. 12 : Vanne de contrôle	35
Figure 3. 13 : principe de fonctionnement de la vanne de contrôle.	36
Figure 3. 14 : Régulateurs.	36
Figure 3. 15 : By-pass.....	37
Figure 3. 16 : Les Manomètres	37
Figure 3. 17 : Manifold de contrôle hydraulique.....	38
Figure 3. 18 : Régulateurs à air.	38
Figure 3. 19 : Composants de panneau de commande à distance.	40

CHAPITRE 4 : Application de la méthode SADT et AMDEC sur le BOP

Figure 4. 1 : Représentation graphique d'un actigramme d'une SADT.....	43
Figure 4. 2 : Diagramme SADT niveau A0.....	46
Figure 4. 3 : Diagramme SADT niveau A0.....	49
Figure 4. 4 : Diagramme SADT niveau A0 détaillé	50
Figure 4. 5 : Diagramme SADT niveau A3 détaillé.	51
Figure 4. 6 : Diagramme SADT niveau A4.....	52
Figure 4. 7 : Diagramme SADT niveau A5.....	53
Figure 4. 8 : Hiérarchisation des modes de défaillances selon leur criticité.	67

CHAPITRE 5 : Calcul de fiabilité du BOP

Figure 5. 1: BOP.....	64
Figure 5. 2: BOP.....	72
Figure 5. 3 : Schéma du BDF du BOP avec l'empilement choisi	72
Figure 5. 4 : Schématisation du BDF (Bloc Diagramme de fiabilité) du BOP avec l'empilement choisi.	75

Liste des tableaux

Tableau 4. 1: Les bonnes pratiques pour le test de pression (Avant le début des opérations de forage).....	47
Tableau 4. 2 : Les bonnes pratiques pour le test de pression : Contrôle durant les opérations de Forage.	48
Tableau 4. 3 : Echelle de probabilité d'occurrence de la défaillance.	54
Tableau 4. 4 : Echelle de gravité de la défaillance.	55
Tableau 4. 5 : Echelle de détectabilité de la défaillance.	55
Tableau 4. 6 : Tableau d'application la méthode AMDEC sur le BOP	56
Tableau 4. 7 : Intervalle de criticité.	66
Tableau 5. 1: Différents empilements possibles selon les spécifications de l'API 53 concernant les BOP de surface.....	71
Tableau 5. 2 : Caractéristiques des réservoirs se trouvant dans la Région de HMD.....	71
Tableau 5. 3 : les résultats des calculs des PFD pour chaque échantillons.	73
Tableau 5. 4 : Résultats de calcul des PFDsys des BOP étudiés.	75

Liste des Abréviations

ENTP	<i>Entreprise nationale des travaux aux puits</i>
AMDEC	<i>Analyse des modes de défaillance, leurs effets et leurs criticités</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
BOP	<i>Blowout Preventer</i>
DTP	<i>Direction des Travaux Pétrolier</i>
AdF	<i>Appareil de Forage</i>
SADT	<i>Structured Analysis and Design Technique</i>
APT	<i>Automatic Programming Tool</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MD	<i>Mode de Défaillance</i>
HMD	<i>Hassi Messaoud</i>
C	<i>Criticité</i>
P	<i>Probabilité</i>
G	<i>Gravité</i>
D	<i>Détectabilité</i>
BFD	<i>Bloc de Diagramme de Fiabilité</i>
PFD	<i>Probabilité de Défaillance à la Demande</i>

Introduction générale

L'industrie pétrolière est actuellement l'industrie la plus importante au monde, ayant un impact sur de nombreuses industries à travers le monde, avec des exportations d'hydrocarbures représentant une part importante des revenus nationaux. Cependant, cette industrie est également associée à des risques considérables, et des accidents tragiques.

Face aux risques majeurs, les organismes internationaux ont élaboré et régulièrement mis à jour plusieurs normes relatives à l'intégrité et au contrôle des puits. Ces normes sont devenues largement recommandées voire obligatoires au sein des entreprises internationales. Elles définissent les barrières de sécurité à mettre en place ainsi que les informations concernant leur fonctionnement, leur maintenance et leur inspection. L'objectif de ces normes est d'éviter l'éruption incontrôlable des puits et de garantir l'étanchéité des puits en cas de surpression.

En effet, en cas de défaillance du blowout preventer (BOP) lors des opérations de forage, les conséquences peuvent être désastreuses, engendrant d'importantes pertes financières, des dommages humains et environnementaux considérables, ainsi qu'un impact sur la réputation de l'entreprise. Par conséquent, il est essentiel d'étudier la fiabilité de cet équipement dans le cadre de l'évaluation et de la prévention des risques.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la fiabilité des blowout preventers (BOP) utilisés lors des opérations de forage dans les régions sud de l'Algérie, plus spécifiquement dans la zone de Hassi Messaoud (TP214) gérée par l'ENTP. Dans notre étude nous nous sommes intéressés sur les éventuels dysfonctionnements que cet équipement pourrait rencontrer pendant son fonctionnement, et nous procéderons au calcul et à l'estimation de sa fiabilité. Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en six chapitres distincts, qui aborderont en détail les différents aspects de notre étude :

Le premier chapitre aura pour objectif de fournir une vue d'ensemble de l'appareil de forage. Nous examinerons ses composants, son fonctionnement général et les différents systèmes qui les composent. Cette compréhension approfondie de l'appareil de forage sera essentielle pour notre étude ultérieure sur le BOP. Puis, nous présenterons la problématique et l'objectif du projet de fin d'étude ainsi que la méthodologie de travail pour les achever.

Dans **Le deuxième chapitre** nous nous concentrerons sur l'étude technologique approfondie du blowout preventer. Nous examinerons en détail sa conception, ses caractéristiques techniques et ses principales fonctionnalités. Cette étude nous permettra de mieux comprendre le BOP et de l'évaluer plus précisément en termes de fiabilité.

le troisième chapitre sera consacré à l'étude de l'unité de contrôle du BOP. Nous examinerons les différents systèmes et sous-systèmes qui composent cette unité de contrôle, ainsi que leur interaction avec le BOP.

Le quatrième chapitre est pour objectif d'appliquer la méthode AMDEC sur l'ensemble du BOP pour identifier toutes les défaillances et pannes qui pourraient survenir dans notre système. Pour ce faire, il est essentiel de comprendre le fonctionnement du système ainsi que l'interaction entre ses différents sous-systèmes, ainsi qu'avec les systèmes en amont et en aval. Pour atteindre

cet objectif, nous réaliserons une analyse fonctionnelle du blowout preventer (BOP) par la méthode SADT (Structured Analysing and Design Technic). Cette analyse nous permettra de déterminer les modes de défaillance et leur criticité, fournissant ainsi une vue d'ensemble des éventuels problèmes et de leur gravité.

Le dernier chapitre est consacré au calcul de la probabilité de défaillance sur demande (PFD) du blowout preventer en supposant qu'une défaillance dans un de ces composants entraînerait sa défaillance.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

Chapitre 1 : Généralité sur l'appareil de forage

1.1 Introduction :

La technologie utilisée pour le forage des puits de pétrole et de gaz exige l'utilisation d'un équipement complexe, de technologies modernes, ainsi que la présence importante de matériaux tels que Treuil, Trépan, BOP, pompe à boue ...

Le but de ce chapitre est mis en évidence l'appareil de forage, ses équipements principaux utilisés et ses opérations.

1.2 Appareil de forage :

1.2.1 Rôle de l'appareil de forage :

L'objectif principal de l'AdF est de créer un puits reliant un gisement souterrain à la surface, tout en assurant les meilleures conditions techniques et de sécurité.

1.2.2 Description d'un appareil de forage :

L'AdF (Rig drill), ou plus précisément les chantiers de forage, sont constitués de divers dispositifs techniques, équipement et systèmes énergétiques et un personnel très qualifié, qui se répartissent en trois catégories : [3]

- ✚ Les chantiers de forage utilisés pour évaluer la géologie et les sondages de prospection.
- ✚ Les chantiers de forage destinés à l'exploitation et à la recherche en profondeur.
- ✚ Les chantiers de forage du Works over pour effectuer l'entretien et la réparation des puits.

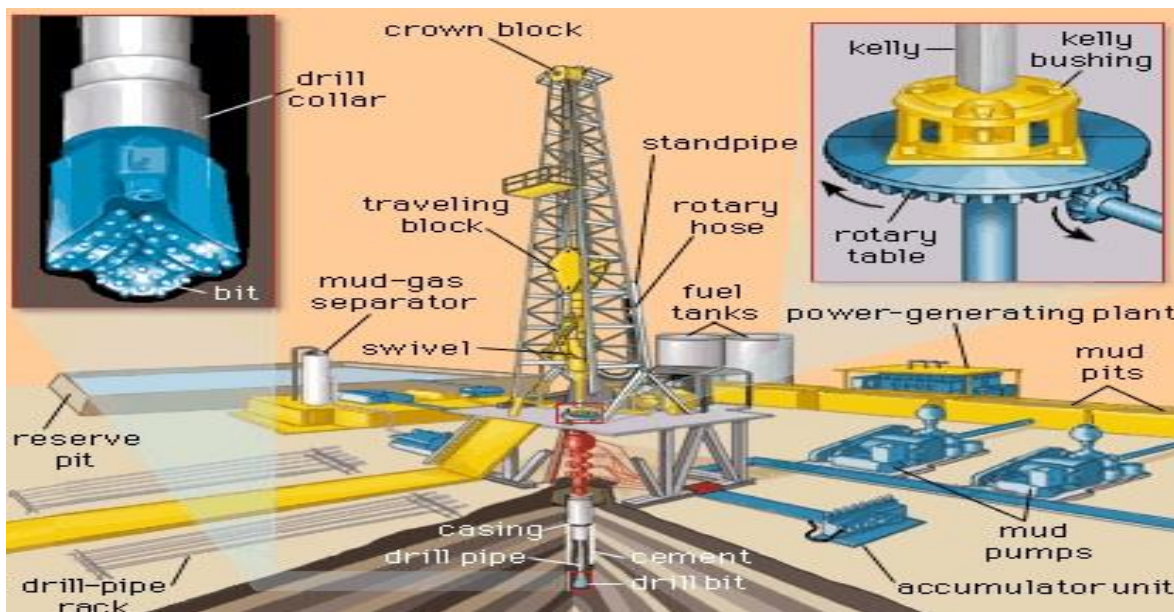


Figure 1. 1 : Appareil de forage (on shore).

Il y a deux méthodes de forage selon l'action de l'outil de forage au fond du puit :

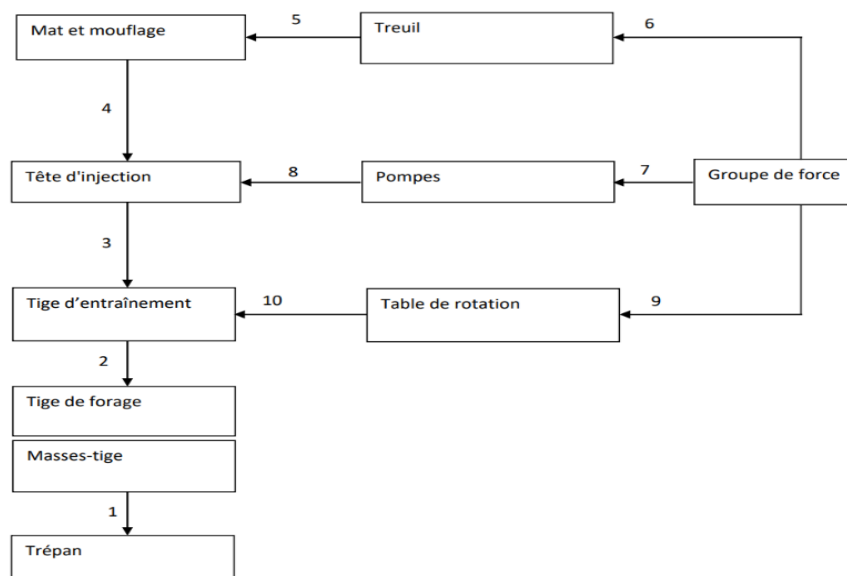
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

- Le forage par percussion.
- Le forage par rotation qui est la méthode l'a plus utilisé actuellement dans la construction des puits de pétrole et de gaz car il permet des vitesses d'avance optimales et surtout des profondeurs extrêmement élevées (l'exploit actuel est 12500 mètres). [3]

La mise en place d'un forage peut être séparée en deux parties :

- Les équipements de fond (le train de sonde).
- Les équipements de surface (l'appareil de forage proprement dit).

1.2.3 Schéma de structure D'AdF : [3]



- 1- Raccord et centreur.
- 2 et 3 - raccord de la tige d'entraînement et de la tête d'injection.
- 4 - crochet.
- 5 - brin mobile de câble.
- 6, 7 et 9 - Organes exécutifs : transmissions des treuils, pompes et table de rotation.
- 8 - conduite de haute pression.
- 10 - cales (coins) de la table de rotation ou carré d'entraînement.

Figure 1. 2 : Schéma de structure D'AdF

1.2.4 Classification :

Il y a deux caractéristiques qui sont étroitement liées et qui interviennent dans la classification d'un appareil de forage :

- La puissance au treuil (Il est nécessaire de disposer d'une puissance de 10 HP au treuil pour chaque tranche de 100 Foot).
- La capacité de profondeur de forage maximale.

Il existe plusieurs types d'appareil de forage, **on distingue** : [4]

- **Appareils légers** : 4921 à 6565 pieds de longueur, incluant une profondeur minimale de 1500 mètres, ces appareils sont portables ou semi-portables.
- **Appareil moyen** : 11482 pieds de longueur et 3500 mètres pour les profondeurs.
- **Appareils lourds** : 6000 mètres pour les profondeurs et 19685 pieds de longueur.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

- **Appareil super lourds** : adapté aux profondeurs comprises entre 8 000 et 10 000 mètres.

1.3 Fonctions de l'AdF :

L'AdF comporte cinq systèmes principaux :

1.3.1 Fonction de levage :

Le système de levage est utilisé sert à :

- Les manœuvres (descente, remonte) du train de sonde (TdS).
- La suspension du Train du sonde et du train de tubage.
- Réglage du poids sur le trépan et de la vitesse d'avancement.
- Les opérations techniques nécessaires pendant le processus de forage (montage, ajout des tiges, descente du tubage, etc....).

Il compose principalement de :

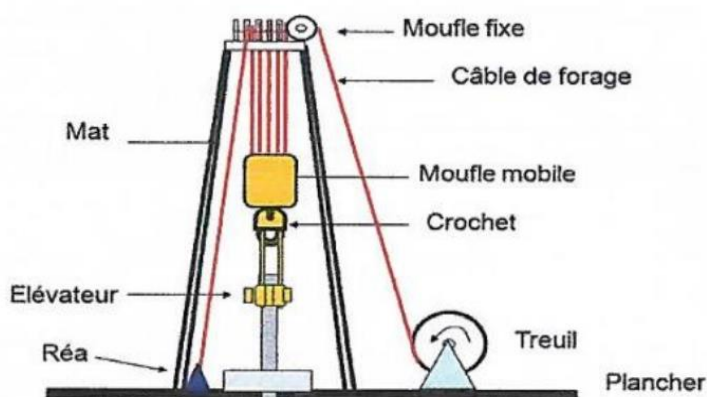


Figure 1. 3 : Système de levage.

- **Le mat :**

Le mât est structure de forme en A très pointue, possède une particularité remarquable : il est articulé à sa base, ce qui permet de l'assembler ou de le démonter horizontalement. Ensuite, grâce à l'utilisation d'un treuil de forage et d'un câble de relevage spécial, se relevé en position verticale. Il existe d'autres types de mâts, moins répandus comme **le mat haubané** (monté en position inclinée vers l'avant sur une remorque ou un camion) qu'est employé sur des équipements légers ainsi que sur des équipements spécialisés dans au work-over. [4]

- **Treuil :**

C'est le cœur de l'AdF, et comme nous l'avons vu précédemment, la capacité du treuil caractérise l'appareil et

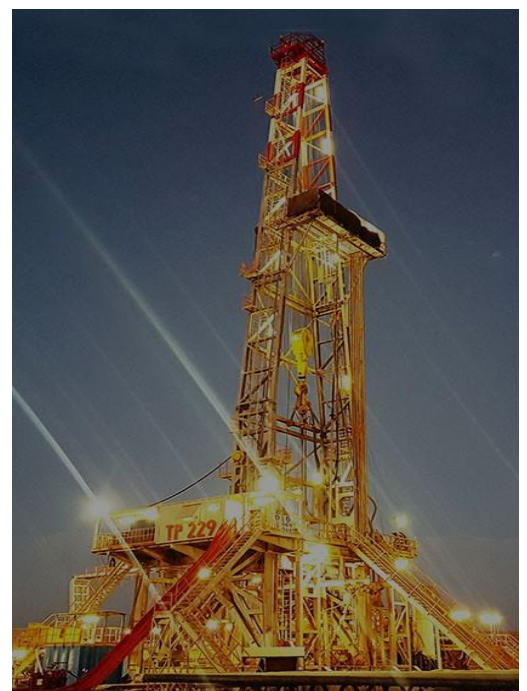


Figure 1. 4 : Le mat de forage.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

dicte la cote de profondeur du trou qui peut être foré. Il compose principalement de : [3]

- ✓ Le tambour.
- ✓ Boite de vitesse du treuil.
- ✓ Cabestans.
- ✓ Moteur électrique.
- ✓ Les embrayages.
- ✓ Les freins mécaniques à bande.
- ✓ Frein auxiliaire.
- ✓ Frein d'inertie.
- ✓ Tambour de curage.

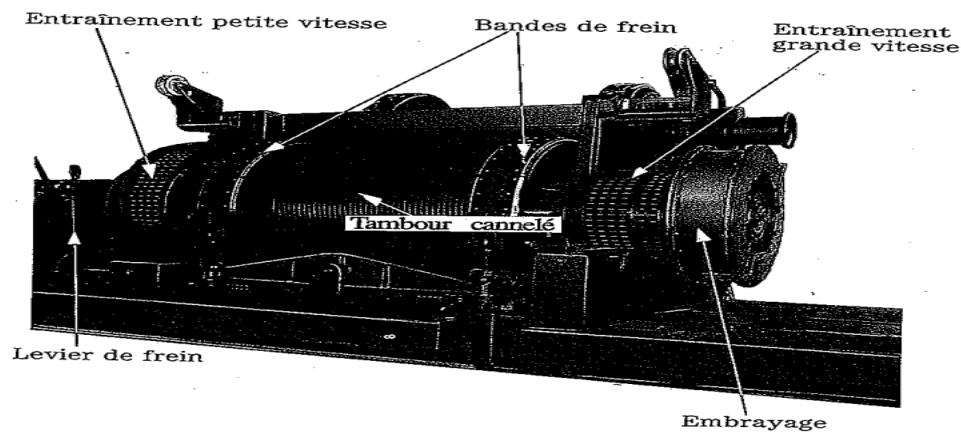


Figure 1. 5 : Schéma de treuil.

- **Le câble de forage :**

Le câble de forage est un câble enroulé sur le tambour du treuil et joue un rôle essentiel dans le mouflage. Il permet de manipuler la garniture de forage suspendue au crochet et assure sa suspension pendant l'opération de forage.

Le câble est composé de multiples torons enroulés en spirale autour d'une âme centrale.

Chaque toron est lui-même constitué de plusieurs fils disposés en hélice sur plusieurs couches. Ces fils en acier, de diamètre régulier, constituent les éléments fondamentaux du câble. [3]

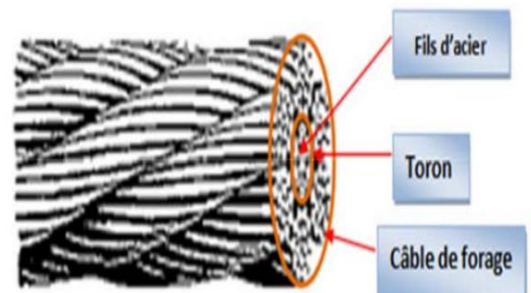


Figure 1. 6 : Câble de forage.

- **Le Mouflage :**

Le mouflage a pour fonction de :

- ✚ Traduit le mouvement de rotation du tambour en mouvement linéaire du crochet sur lequel est suspendu le train d'engrenages de sondage.
- ✚ Soulever des charges lourdes.
- ✚ Réduit la tension sur les brins actifs et morts et les autres brins.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

- ✚ Assurez la vitesse du TdS et de la vitesse de déplacement du moufle mobile pendant les manœuvres.

En effet, le mouflage comprend deux brins supplémentaires :

- ✓ **Brin actif** : correspond à la partie du câble qui est enroulée autour du tambour du treuil et le moufle fixe.
- ✚ **Brin mort** : Le brin mort du câble de forage est la partie de câble sortant du moufle fixe et allant directement au point fixe qui est **Réa**.

Le système de mouflage comporte trois parties qui sont :

- Moufle fixe,
- Moufle mobile,
- Crochet.

- **Moufle fixe ou Crown-Block :**

Le moufle fixe ou crow-block est constitué d'un ensemble de poulies qui sont montées alignées sur un même axe à travers des roulements par lesquelles passe le câble. Il est installé fixement sur la plateforme supérieure du mat de forage. Il utilisant ces ensembles de polies de cette manière, un énorme avantage mécanique est obtenu, permettant l'utilisation de lignes de forage relativement petites pour soulever des charges plusieurs fois plus lourdes que ce que le câble peut supporter. Il est à noter que la charge sur la poulie fixe, tandis que sur la bôme est supérieure à la charge sur le crochet : en fait, la poulie est comme ça, avec deux brins supplémentaires : brin mort et le brin actif.

- **Moufle mobile (Travelling Block) et Crochet (Hook) :**

Moufle mobile est également constitué d'un certain nombre de poulies montée sur un même arbre, il comporte une poulie de moins que le moufle fixe, à travers lesquelles passe le câble de forage pour se déplacer d'une certaine hauteur entre la table et le moufle fixe.

Le Crochet est un complément du moufle mobile, a pour fonction de suspendre la garniture de forage. On distingue différents types de crochet : [4]

- Crochet intégré au moufle, ou autrement dit le moufle-crochet.
- Véritable crochet (indépendant), qui se trouve suspendu au moufle mobile grâce à des anses.
- Connecteur.

Le moufle mobile et le Crochet on dit généralement qu'ils sont monobloc, ce qui signifie que toutes les poulies et le crochet sont assemblés de manière compacte. Le crochet est doté d'un amortisseur qui limite les chocs en charge et facilite le serrage des connexions. Suspendez les bras de l'élévateur aux deux oreilles latérales. [4]



Figure 1. 7 : Moufle mobile et le Crochet.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

1.3.2 Fonction de rotation :

- **Table de rotation :**

La table de rotation est le composant principal du système de rotation, est un procédé mécanique sur une plateforme de forage, qui fournit une force de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre (vue de dessus) au train de tiges pour faciliter le forage, utilisé pour mise en rotation le train de la sonde.

Ce mouvement rotatif est créé par un assemblage d'engrenage (arbre d'entraînement) qu'il transmette l'énergie (électrique ...) en mouvement rotative [4].

La table de rotation se constitue principalement de : [3]

- ✓ Un bâti.
- ✓ Une partie mobile.
- ✓ Arbre d'entraînement.

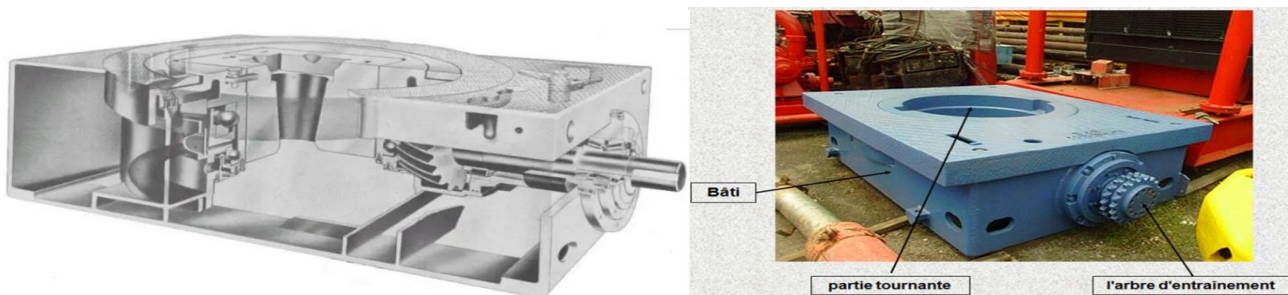


Figure 1. 8 : Table de rotation.

- **Tête d'injection (Swivel) :**

C'est une procédé mécanique utilisé sur les plates-formes de forage qui est pendu du crochet par son anse. Elle forme la liaison entre la garniture de forage rotatif et le reste de l'installation est fixe.

Elle permet de :

- ✚ Supporter la charge de la garniture de forage.
- ✚ Injection du fluide de forage (la boue) sous pression dans la garniture en rotation ou à l'arrêt par le flexible de forage relié au col de cygne de la tête.
- ✚ Rotation du train de sonde tout en gardant le corps de la tête d'injection fixe. [3]

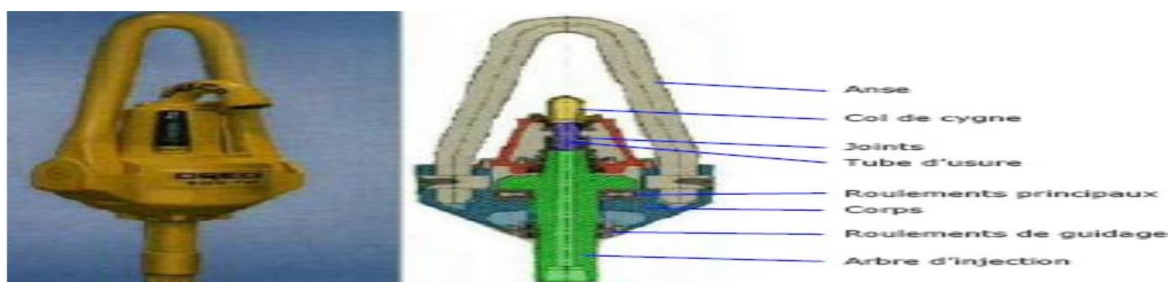


Figure1. 9 : Tête d'injection.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

1.3.3 Fonction de Pompage :

- **Système de pompage et circulation de la boue de forage :**

Système de pompage et circulation de la boue de forage sont principalement constitués d'équipements qui permettent la fabrication, le pompage, la circulation et le traitement mécanique des fluides de forage,

- ✓ **Une pompe** : est un dispositif hydraulique qui aspire et refoule un liquide (comme l'eau, l'huile, l'essence, la boue, les liquides alimentaires, etc.) d'un emplacement vers un autre selon les besoins.

Les principaux équipements dans le système de pompage sont : **Les pompes à boue**,

- **Les pompe à boue :**

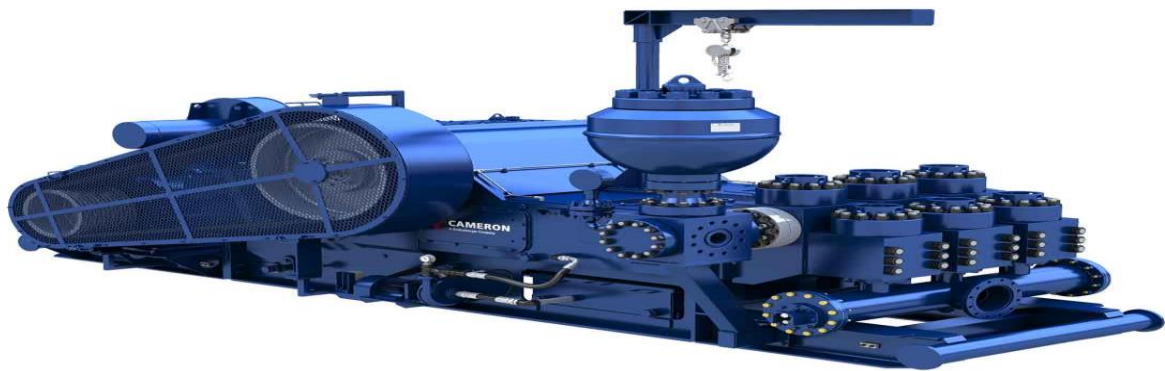


Figure II. 10 : Pompe à boue triplex.

Ces des pompes à pistons alternatifs, duplex ou triplex à simple effet utilisent un mécanisme traditionnel de bielle et vilebrequin pour générer un mouvement alternatif des pistons et des tiges. Elles fonctionnent selon un principe volumétrique, ce qui signifie que le débit et la pression du fluide de forage dépend directement de la taille de la pompe et de la vitesse de rotation du vilebrequin. Elles sont utilisées pour garantir un débit adéquat et une pression souhaitée (supérieure de 5000psi) afin de faire circuler la boue du fond du puits jusqu'à la surface. [4]

1.3.4 Fonction de sécurité :

La fonction de sécurité dans l'AdF est pour garantir la conformité aux normes de sécurité et assurant ainsi un environnement de travail sûr et fiable, la protection des travailleurs, des équipements...

Lorsqu'il s'agit de forer des puits dans des gisements où une pression élevée est attendue dans les formations géologiques, il est crucial de prendre des mesures pour prévenir les éruptions de gaz et de pétrole, et pour contribuer à réduire ces risques associés aux opérations de forage, il existe deux barrières utilisées pour assurer la sécurité en cours de forage :

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

- **La boue de forage :**

Qui est un fluide de forage servant à la sécurité de celui-ci. Il exerce une contre-pression (pression hydrostatique du fluide de forage) sur des formations renfermant des fluides pour réduire la pression et évanouie du puits lorsque l'éruption ou d'un venu de gaz.

Si la boue de forage n'a pas pu ajuster la sécurité du puits automatiquement utiliser la seconde barrière qui est mécanique : les BOP.

1.3.4.1 Blowout preventer BOP :

Les Bloc Obturateur de Puits (BOP) sont des dispositifs de sécurité qui agissent comme une barrière de protection en cas de situation d'urgence. Ils sont des valves de sécurité utilisées dans de nombreuses phases du cycle de vie du puits : forage, complétion, intervention sur le puits (Work-over) ou lors des procédures de maintenance du puits (Fermer définitivement le puits). Le BOP est situé entre la tête de puits (l'extrémité du puits de surface) et le plancher de forage ("rotatif"). Les Bloc Obturateur de Puits (BOP) jouent un rôle déterminant dans la sécurité lors de forages ou d'interventions lourdes. Les BOP ne sont utilisés que lorsque la première barrière de sécurité (pression statique du lisier) échoue [4]. Il remplit deux fonctions de sécurité principales :

- D'abord, il est conçu pour s'assurer que le puits est fermé en cas d'éruption ou d'un venu.
- Deuxièmement, BOP vous permet de reprendre le contrôle du puits. En cas d'urgence ou de besoin de reprendre rapidement le contrôle de la pression du puits.

La fonction de fermeture du puits est assurée par plusieurs types d'obturateurs. On distingue différents types obturateurs : [4]

- Obturateurs annulaires.
- Mâchoires à fermeture totale (blind rams).
- Mâchoires à fermeture sur tiges (pipe rams).
- Mâchoires à fermeture cisailant (blind Shear rams).
- Les départs des lignes de contrôle et de décharge (« Kill line » et « Choke line »).

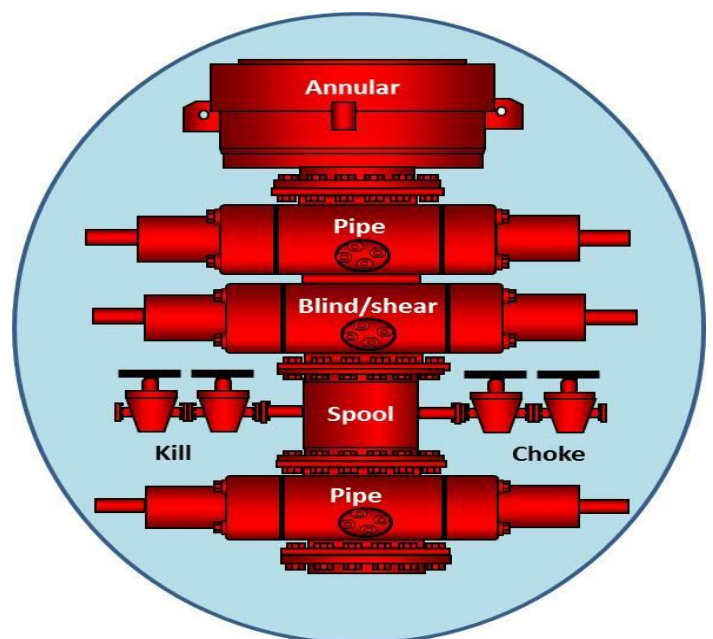


Figure 1. 11 : Le BOP.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

1.3.4.2 Unité d'accumulation et de commande des BOP :

Tous les obturateurs de sécurité (BOP) sont à commande par l'accumulateur de pression qu'est un système de commande hydraulique du BOP et les principales vannes de tête de puits utilisent des vérins hydrauliques à double action et chaque action requiert une flexible pour l'ouverture et une autre pour la fermeture. Le principe de l'accumulateur est de produire et stocker de l'énergie hydraulique (une réserve d'huile sous pression nécessaire) prête à être utilisée pour ouvrir ou fermer les obturateurs à tout moment pendant le forage et en raison de conditions d'urgence en cas d'éruption et d'un venu.

L'unité d'accumulation et de commande des BOP se compose principalement de :

- Plusieurs bouteilles d'azote-huile,
- Pompe hydraulique, électrique et pneumatique,
- Vanne de contrôle,
- Panneau de contrôle.



Figure 1. 12 : Unité d'accumulation et de commande des BOP.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR L'APPAREIL DE FORAGE

1.4 Problématique du projet de fin d'étude :

L'exploitation du pétrole et du gaz s'effectue dans des endroits difficiles et éloignés où le plus haut niveau de sécurité est requis. L'éruption incontrôlée du puits (Le blowout), représente l'un des accidents les plus redoutés dans les projets d'exploitation du pétrole et du gaz.

La problématique de notre étude est : " **Comment évaluer et améliorer la fiabilité des blowout preventers (BOP) utilisés lors des opérations de forage dans les régions sud de l'Algérie, en mettant l'accent sur la zone de Hassi Messaoud, afin de prévenir les défaillances et les risques majeurs associés à ces équipements essentiels de sécurité pétrolière ?**"

1.4.1 Méthodologie :

Pour aborder cette problématique et atteindre l'objectif défini, nous avons adopté une approche en trois étapes :

➤ Etude technologique de BOP :

Dans cette partie, notre attention se portera sur une analyse technologique approfondie du blowout preventer (BOP) et leurs unité de commande. Nous procéderons à un examen détaillé de ses éléments constitutifs, de ses caractéristiques techniques et de ses principales fonctionnalités. Cette étude nous permettra d'approfondir notre compréhension du BOP et d'aider pour analyser les défaillances l'évaluer de manière plus précise en termes de fiabilité.

➤ Évaluation des défaillances critiques :

Dans cette étape, notre objectif est d'établir la corrélation entre la défaillance d'un sous-système ou composant spécifique et la perte ou la détérioration de la fonction principale du système BOP. Cette démarche nous permettra d'identifier les modes de défaillance du BOP, en les classant par ordre de criticité croissante. Pour ce faire, nous mettrons en œuvre la méthode de modélisation SADT et la méthode d'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs criticités (AMDEC).

➤ Évaluation de la fiabilité du BOP :

Dans cette phase, nous entreprendrons une étude de fiabilité du BOP. Notre approche consistera à analyser un échantillon de huit BOP dans la région de Hassi Messaoud. Nous calculerons la probabilité de défaillance sur demande pour chaque sous-système/composant en utilisant l'historique des pannes et l'intervalle entre les tests de bon fonctionnement. Ensuite, nous évaluerons la probabilité de défaillance sur demande pour l'ensemble du système et comparerons les résultats obtenus entre les huit échantillons. Si nécessaire, nous formulerons des recommandations en fonction des résultats obtenus.

CHAPITRE 2 :
ETUDE
TECHNOLOGIQUE
DE BOP

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

2.1 Introduction :

Lorsque du gaz, du pétrole ou de l'eau s'échappe de la roche qui le contient (réservoir) et entre dans le puits, cela est appelé une venue. Il est essentiel de fermer immédiatement le puits, sinon le fluide chasse la boue au-dessus de lui et remonte dans le puits. Si le fluide atteint une certaine hauteur, il devient difficile à contrôler, ce que l'on appelle une éruption (blowout). Pour prévenir ce type de problème, des obturateurs (blow out preventers = BOP) sont placés au-dessus de la tête du puits. Ces obturateurs sont des vannes qui ferment le puits, même s'il contient des tiges.

2.2 Les obturateurs anti-éruption :

Les obturateurs anti-éruption de puits sont des ensembles de vannes installées pendant le forage, entre la tête de puits et le plancher de forage, dans le but de fermer le puits en cas d'éruption. Les fonctions des obturateurs sont les suivantes :

- Assurer la fermeture du puits lorsque cela est nécessaire.
- Permettre de reprendre le contrôle du puits.

Les obturateurs anti-éruption jouent un rôle de contrôle secondaire (deuxième barrière de sécurité), tandis que la boue assure le contrôle primaire (première barrière).

Un obturateur est caractérisé par les éléments suivants : [5]

- Sa marque : Cameron, Shaffer, Hydril.
- Son type : U, SL, GK, etc.
- Sa dimension nominale, qui représente son diamètre nominal d'alésage, par exemple : 11 pouces, 13 5/8 pouces, etc.
- Sa série, qui indique sa pression de service en PSI, par exemple 3000, 5000, 10000.

Pour chaque obturateur, les caractéristiques suivantes sont spécifiées :

- Les rapports de fermeture et d'ouverture, qui représentent le rapport entre la pression dans le puits au moment de la fermeture ou de l'ouverture, et la pression requise dans la chambre hydraulique pour effectuer la fermeture ou l'ouverture de l'obturateur.
- Les volumes de fluide nécessaires pour la fermeture et l'ouverture de l'obturateur.
- Les dimensions physiques (hauteur, longueur, largeur, poids), en particulier la longueur ou la largeur lors de l'ouverture pour le remplacement des mâchoires, selon le type d'obturateur. [5]

2.3 Différents types d'obturateurs anti-éruption :

2.3.1 Obturateurs Annulaires (à membrane) :

Ces obturateurs utilisent une membrane en caoutchouc synthétique qui assure l'étanchéité sur différents diamètres de la garniture de forage. Cette membrane est capable de réaliser de petits

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

mouvements de translation et de rotation, et peut se fermer sur n'importe quel équipement, y compris dans des conditions de vide (bien que cela ne soit pas recommandé).

L'obturateur est situé en haut de la tête de puits. Sur cet obturateur annulaire, le tube fontaine est placé, et celui-ci est connecté à la goulotte.

Les types d'obturateurs annulaires les plus couramment utilisés sont fabriqués par les marques suivantes : [5]

- Hydril : type GK, GL, GX, MSP
- Shaffer : type sphérique
- Cameron : type D

2.3.1.1 Hydril type GK :

Ce modèle est largement utilisé et présente les caractéristiques opérationnelles suivantes : [6]

- Conçu pour les opérations de stripping et snubbing.
- Capable de se fermer sur un trou vide.
- Disponible avec un couvercle boulonné.
- L'étanchéité de la membrane est renforcée par la pression du puits.

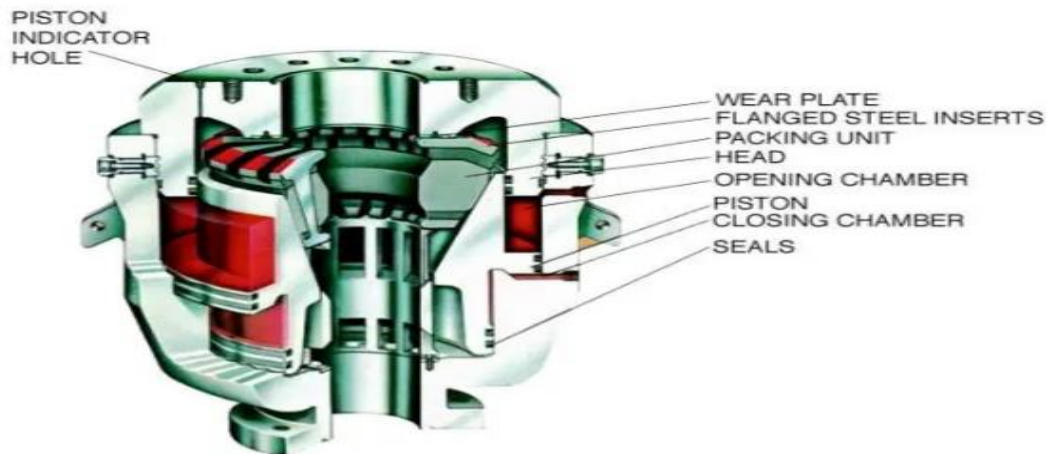


Figure 2. 1 : Annulaire de type Hydril type GK.

2.3.1.2 Hydril type GL :

Les caractéristiques opérationnelles de cet obturateur sont les suivantes :

- Capacité de se fermer sur un trou vide.
- Principalement conçu pour les têtes de puits sous-marines.
- L'étanchéité de la membrane est renforcée par la pression du puits.
- Le couvercle boulonné facilite le remplacement de la membrane.

Les obturateurs de type 'GL' sont conçus pour les opérations sous-marines et de surface. Les caractéristiques du type 'GL' en font un outil particulièrement utile pour le forage en eaux profondes et sous-marines. [6]

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

2.3.1.3 Shaffer sphérique :

Il est constitué d'un corps en acier avec un chapeau hémisphérique [7].

- Capacité de se fermer sur un trou vide.
- Requiert une pression élevée lorsqu'il est utilisé pour des opérations sous-marines.
- L'étanchéité de la membrane est renforcée par la pression du puits.



Figure 2. 2 : Annulaire Shaffer.

2.3.1.4 Cameron type D :

Les caractéristiques opérationnelles de cet obturateur sont les suivantes : [6]

- Démontage rapide du couvercle lors du remplacement de la membrane.
- La plupart de ces obturateurs nécessitent moins de volume de fluide pour la fermeture par rapport aux obturateurs annulaires Hydril et Shaffer.
- Hauteur inférieure à celle des obturateurs annulaires Shaffer et Hydril.
- Poids inférieur à celui des obturateurs annulaires Shaffer et Hydril.
- Nécessite une pression de fermeture de 3000 psi pour se sceller sur un trou vide.

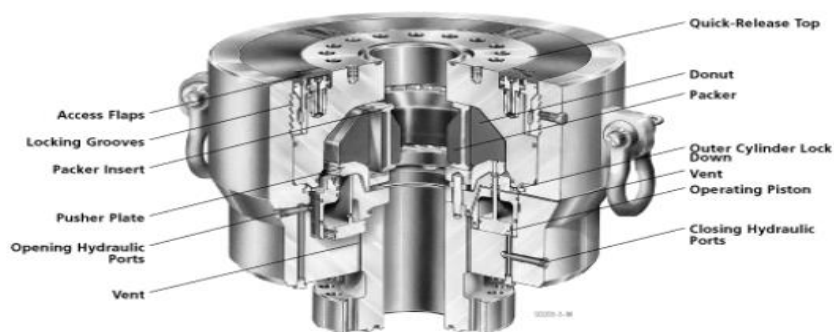


Figure 2. 3 : Annulaire Cameron type D.

2.3.2 Les obturateurs à mâchoires :

Ces obturateurs sont disponibles en simple, double ou triple étages. Ils peuvent être équipés de différentes configurations de mâchoires de fermeture, telles que :

- Fermeture totale (Blind Rams)
- Fermeture totale et cisailant (Blind Shear Rams)
- Fermeture spécifique aux tiges (Pipe Rams)

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

Les modèles les plus couramment utilisés sont les suivants : [6]

- Cameron type U et UII.
- Shaffer type LWS.
- Hydril type X.

2.3.2.1 Les obturateurs à mâchoires Cameron type U :

En général, il est composé d'un corps forgé qui comprend :

- Un alésage central vertical permettant le passage des outils.
- Un alésage horizontal dans lequel se déplace un ensemble de deux mâchoires. Chaque mâchoire est montée sur une tige piston avec le piston de manœuvre situé au centre. [6]

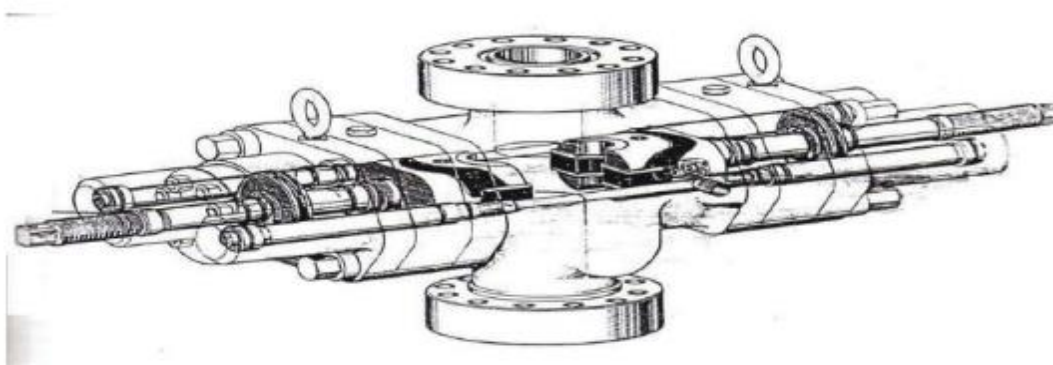


Figure 2. 4 : Obturateurs à mâchoires Cameron type U.

2.3.2.2 Les obturateurs à mâchoires Cameron type UII :

L'obturateur de puits de type Cameron U II reprend toutes les caractéristiques de l'obturateur de type U et les adapte pour une utilisation sous-marine dans les tailles 18-3/4-10,000 et 15,000. Comme tous les autres obturateurs Cameron, les obturateurs de l'obturateur de type U II sont mis sous pression. La pression du puits agit sur les obturateurs pour augmenter la force d'étanchéité et maintenir le joint en cas de perte de pression hydraulique. D'autres caractéristiques de l'obturateur de type U II incluent : [6]

- Un système de tension des goujons hydrauliques à passage interne assure un chargement précis et uniforme des goujons.
- Un support d'étanchéité du capot est disponible pour éliminer le besoin d'un couple de serrage élevé sur les goujons et les écrous du capot.
- Des mécanismes de verrouillage actionnés hydrauliquement, des verrous à coins, verrouillent hydrauliquement les obturateurs et les maintiennent fermés mécaniquement même lorsque la pression d'actionnement est relâchée. Le système de fonctionnement peut être inter verrouillé à l'aide de bouchons de séquence pour s'assurer que le verrou à coins est rétracté avant d'appliquer la pression pour ouvrir l'obturateur.
- Une chambre de compensation de pression est utilisée avec les verrous à coins pour éliminer la possibilité de déverrouillage du verrou à coins en raison de la pression hydrostatique.

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP



Figure 2. 5 : Obturateurs à mâchoires Cameron type UII.

2.3.2.3 Les obturateurs à mâchoires Shaffer : [8]

Le Shaffer présente une conception beaucoup plus simple que le Cameron, cependant, le principe de fonctionnement demeure identique.

Les caractéristiques spéciales comprennent :

- Des portes plates pour simplifier le changement des obturateurs.
- Des joints de porte avec un support spécial pour éviter l'extrusion et le pincement.
- Une garniture interne standard.
- Des bagues d'usure entre le piston et le cylindre pour prolonger la durée de vie du joint et pratiquement éliminer l'usure du cylindre.
- Des joints d'étanchéité de piston de type lèvre en polyuréthane avec une lubrification à vie.
- Des joints d'étanchéité de tige d'obturateur de type lèvre pour maintenir la pression du puits et la pression hydraulique d'ouverture.
- Des joints d'étanchéité de tige d'obturateur secondaires pour permettre l'injection d'un garnissage en plastique si le joint de type lèvre primaire venait à se défaillir.

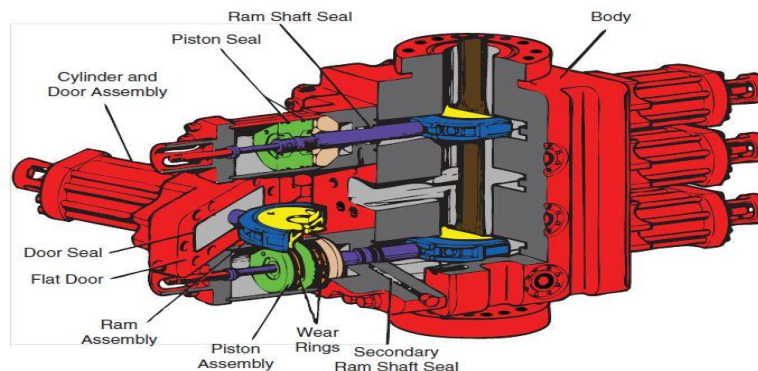


Figure 2. 6 : Obturateurs à mâchoires shaffer.

2.3.2.4 Les obturateurs à mâchoires Hydril type X :

On observe les caractéristiques suivantes :

- Disponible pour des pressions de service élevées.
- Disponible avec des systèmes de verrouillage automatiques ou manuels.
- Nécessite plus d'espace pour l'ouverture latérale des portes.
- La pente des cavités permet le drainage de la boue et des déblais.

Les mâchoires sont conçues pour suspendre la garniture de forage.

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

2.3.3 Obturateurs rotatifs :

Ce sont des équipements qui permettent d'obturer rapidement la garniture de forage en cas de venue durant la manœuvre et aussi en cas de fuite sur les équipements de surface durant le contrôle.

Pour garantir l'étanchéité autour de la garniture de forage, un obturateur rotatif est positionné au-dessus de l'empilage lors des opérations suivantes :

- Forage ou circulation sous pression avec de l'air ou du gaz.
- Forage avec de la boue déséquilibrée.
- Évacuation d'un effluent par torche, en particulier dans les puits contenant du H₂S [5].
- La pression normale de fonctionnement de l'obturateur est de 500 à 700 PSI [4].
- L'étanchéité autour de la garniture de forage s'améliore avec la pression présente dans le puits.

2.4 Annulaire (Hydril type GK) :

2.4.1 Description :

C'est le modèle le plus fréquemment utilisé. Il comprend un corps dans lequel un piston peut coulisser verticalement. Dans ce modèle, le chapeau est vissé sur le corps, bien que certains modèles aient un chapeau verrouillé par des chiens [6]. Une chemise portant des ouvertures à sa partie inférieure permet le passage des fluides du puits. La pression dans le puits agit sur la face intérieure du piston et contribue à la fermeture du BOP.

La garniture élastique à armature métallique repose sur la partie supérieure intérieure conique du piston. Cette garniture est en butée, en haut, sur le couvercle et, en bas, sur le guide intérieur.

Le déplacement vertical du piston est rendu possible par une chambre hydraulique d'ouverture et une chambre de fermeture. Des joints d'étanchéité séparent ces deux chambres entre elles et avec l'extérieur.

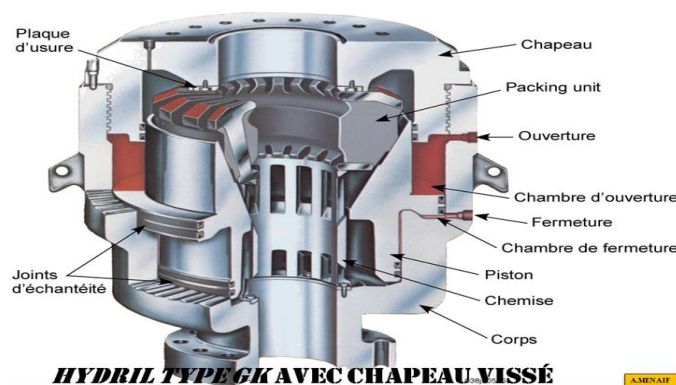


Figure 2. 7 : Hydril type GK avec chapeau vissé.

➤ Différents types de caoutchouc des garnitures (packing units) :

Différents types de packing units sont disponibles, chacun étant équipé d'un type de caoutchouc spécifique. Le choix du caoutchouc dépend de la nature de la boue utilisée (à base d'eau ou

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

d'huile) ainsi que de la température prévue dans le puits. Le critère le plus important à prendre en compte est la nature de la boue.

- Le caoutchouc naturel est utilisé pour le forage avec de la boue à base d'eau et des températures allant jusqu'à 225 °F (107 °C). Ce type de packing est entièrement noir et le code "NR" est inclus dans le numéro de série. [8]
- Le caoutchouc nitrile est destiné au forage avec de la boue à base d'huile et des températures allant jusqu'à 190 °F (88 °C). Ce type de packing est marqué d'une bande rouge et le code "NBR" est inclus dans le numéro de série. [8]
- Le caoutchouc néoprène est utilisé pour le forage avec de la boue à base d'huile et des températures allant jusqu'à 170 °F (77 °C). Ce type de packing est marqué d'une bande verte et le code "CR" est inclus dans le numéro de série. [8]
- La présence de H₂S n'influence pas réellement le choix du caoutchouc [5]. Il est cependant important de prendre en compte les conditions de stockage des packing units afin de préserver les propriétés élastiques du caoutchouc. Un stockage dans un endroit frais, sec et sombre est recommandé.



Figure 2. 8 : types de membranes.

2.3.4.2 Principe de fonctionnement :

Lorsque le fluide de manœuvre sous pression est envoyé dans la chambre de fermeture, il pousse le piston vers le haut, ce qui comprime la garniture élastique. Étant bloquée en haut et en bas, la garniture ne peut que se refermer vers l'intérieur de l'obturateur. Grâce à son élasticité, la garniture peut assurer l'étanchéité sur n'importe quel tubulaire (à condition qu'il ait une forme régulière), sur un câble, voire même sans équipement dans le puits (lors d'une fermeture totale). Cependant, il est important de noter que cela n'est pas recommandé par le fabricant.

Afin d'assurer une fermeture adéquate et une étanchéité correcte, il peut être nécessaire d'actionner plusieurs fois la fermeture du BOP.

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

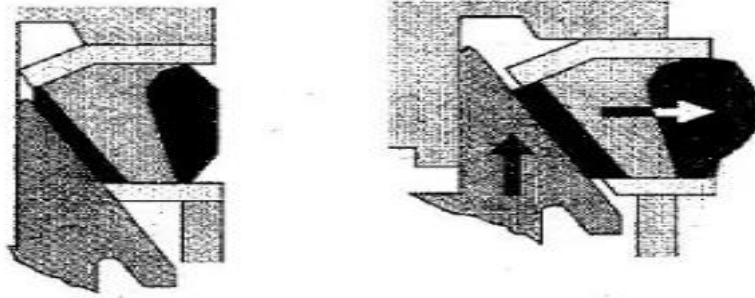


Figure 2. 9 : Déformations de la garniture lors de la fermeture de BOP.

2.5 Les obturateurs du Cameron type U :

Les obturateurs de puits de secours U BOP de Cameron sont les obturateurs de type bélier les plus largement utilisés dans le monde pour les applications terrestres, offshore et sous-marines, et offrent la gamme la plus étendue de tailles parmi tous les obturateurs de type bélier Cameron. [6]

Comme tous les autres obturateurs Cameron, les béliers du U BOP sont énergisés par la pression. La pression du puits agit sur les béliers pour augmenter la force d'étanchéité et maintenir l'étanchéité en cas de perte de pression hydraulique.

L'intégrité de l'étanchéité est en réalité améliorée par l'augmentation de la pression du puits.

Les autres caractéristiques du U BOP incluent :

- La tension des goujons hydrauliques est disponible sur les tailles plus grandes pour garantir une charge de goujon constamment précise et uniforme.
- Un support d'étanchéité de la chemise est disponible pour éliminer le besoin de couple de serrage élevé sur les goujons et les écrous de la chemise.
- Des mécanismes de verrouillage actionnés hydrauliquement, appelés verrous en coin, verrouillent hydrauliquement le bélier et le maintiennent fermé mécaniquement même lorsque la pression d'actionnement est relâchée.
- Le système de fonctionnement peut être inter verrouillé à l'aide de capuchons de séquence pour s'assurer que le verrou en coin est rétracté avant d'appliquer la pression pour ouvrir le BOP.

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

2.5.1 Description :

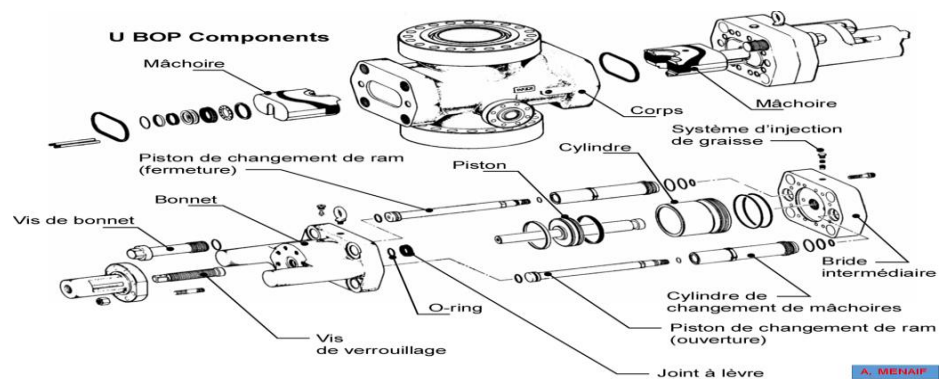


Figure 2. 10 : Description de l'obturateur Cameron type U.

2.5.2 Système de verrouillage :

Il existe deux types de verrouillage :

➤ Verrouillage manuel : [6]

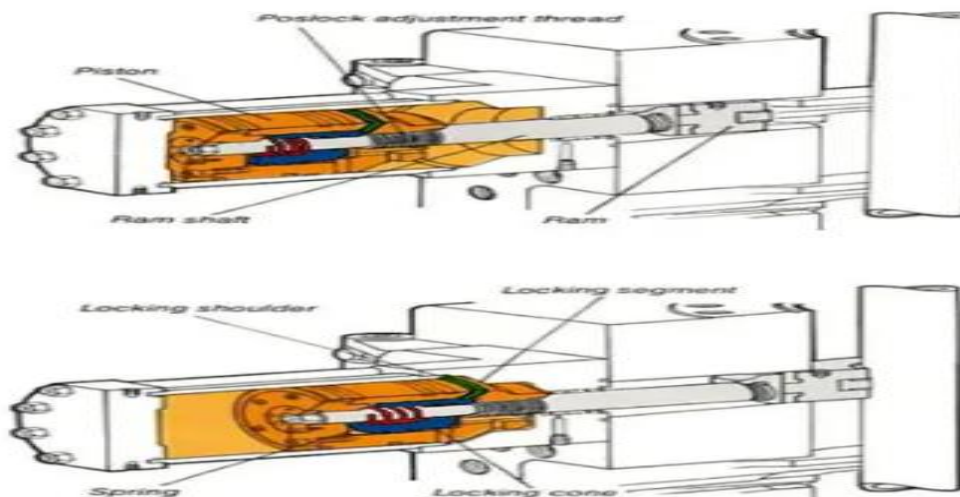


Figure 2. 11 : Verrouillage manuel des obturateurs du Cameron type U (15).

➤ Système wedgelock :



Figure 2. 12 : Verrouillage des obturateurs du Cameron type U.

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

2.5.3 Les mâchoires du Cameron type U :

2.5.3.1 Pipe Rams : [6]

Les béliers pour tuyaux Cameron sont disponibles pour une utilisation dans les obturateurs de puits de secours de type bélier de Cameron et s'adaptent à toutes les tailles couramment utilisées de tubes, de tiges de forage, de colliers de forage ou de tubages.

Les béliers pour tuyaux Cameron sont autoalimentés et intègrent un grand réservoir de caoutchouc d'étanchéité pour garantir une étanchéité durable dans toutes les conditions.

- Les joints d'étanchéité des béliers se verrouillent en place et ne sont pas délogés par l'écoulement du puits.
- Tous les béliers pour tuyaux Cameron conviennent au service H₂S selon la norme NACE MR-01-75.
- Les joints d'étanchéité supérieurs CAMRAM™ sont standard pour tous les béliers pour tuyaux Cameron (sauf pour les U BOPs de taille supérieure à 13 3/4").
- Les joints d'étanchéité supérieurs et les joints d'étanchéité CAMRAM 350™ sont disponibles pour les services à haute température et pour les services où des concentrations de H₂S sont prévues.



Figure 2. 13 : Pipe rams de Cameron type U.

2.5.3.2 Variable rams :

Les béliers variables sont devenus disponibles dès 1979. De plus, ces béliers étendent la polyvalence de l'obturateur de type bélier en assurant l'étanchéité sur les tiges de différentes tailles. Cette flexibilité peut éliminer la nécessité de changer de béliers lors de l'utilisation d'une colonne de forage conique ou lors de tests avec un tubage. Les béliers variables utilisent des doigts en acier qui se déplacent vers l'intérieur pour assurer l'étanchéité autour des tuyaux de diamètre inférieur à celui du corps du bélier. En général, tous les fabricants d'obturateurs de type bélier proposent des béliers à alésage variable qui peuvent se fermer et s'étancher sur une gamme de diamètres de tuyaux. Ces béliers peuvent être particulièrement utiles lors de l'utilisation d'une colonne conique ou lorsque les limitations d'espace de la sous-structure empêchent l'ajout d'un autre obturateur de type bélier. De plus, si un tube de forage en aluminium est utilisé, une étanchéité efficace ne peut pas toujours être assurée avec des béliers

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

pour tuyaux classiques car le diamètre du tube est plus grand près des joints d'outil qu'au milieu de l'articulation. [6]

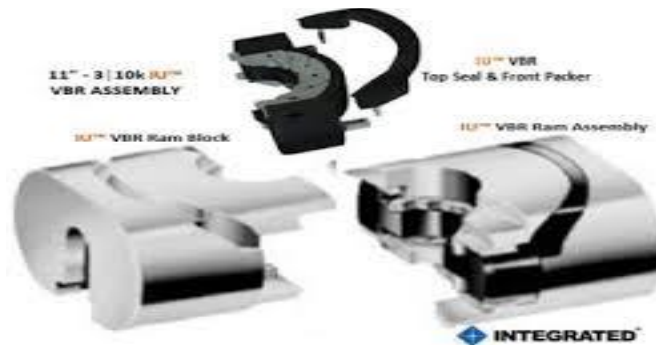


Figure 2. 14 : Variable rams du Cameron type U.

2.5.3.3 Blind shear rams :

Les obturateurs à cisaillement aveugle (SBR) de Cameron coupent le tuyau dans le puits, puis plient la section inférieure du tuyau coupé pour permettre aux béliers de se fermer et de s'étancher. Les SBR peuvent être utilisés comme béliers aveugles lors des opérations de forage normales.

Leurs caractéristiques incluent : [6]

- Une grande surface frontale sur le joint d'étanchéité de la face de la lame réduit la pression sur le caoutchouc et augmente la durée de vie.
- Les SBR de Cameron peuvent couper le tuyau à plusieurs reprises sans endommager le tranchant de coupe.
- Le corps en une seule pièce intègre un tranchant de coupe intégré.
- Les joints d'étanchéité supérieurs CAMRAM™ sont standard pour tous les SBR de Cameron.
- Des SBR pour H₂S sont disponibles pour des applications de service critiques et comprennent une lame en alliage haute résistance trempé adaptée au service H₂S [5].

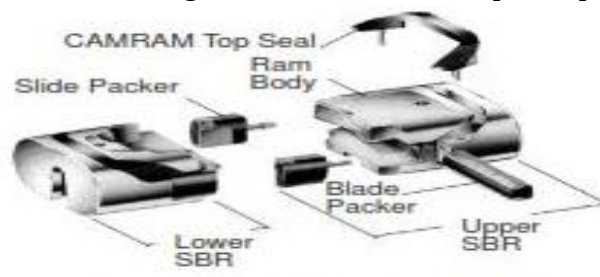


Figure 2. 15 : Blind shear rams du Cameron type U.

2.5.4 Principe de fonctionnement :

Le BOP de type U de Cameron équipé de béliers pour tuyaux en position fermée.

Le rapport de fermeture pour un BOP à mâchoires indique la pression hydraulique requise pour fermer le BOP en fonction de la pression dans le puits. Jusqu'à 10 000 psi, ce ratio est conçu pour permettre une fermeture avec une pression de 1 500 psi. La pression nécessaire pour les béliers de cisaillement aveugle est de 3 000 psi. [6]

CHAPITRE 2 : ETUDE TECHNOLOGIQUE DE BOP

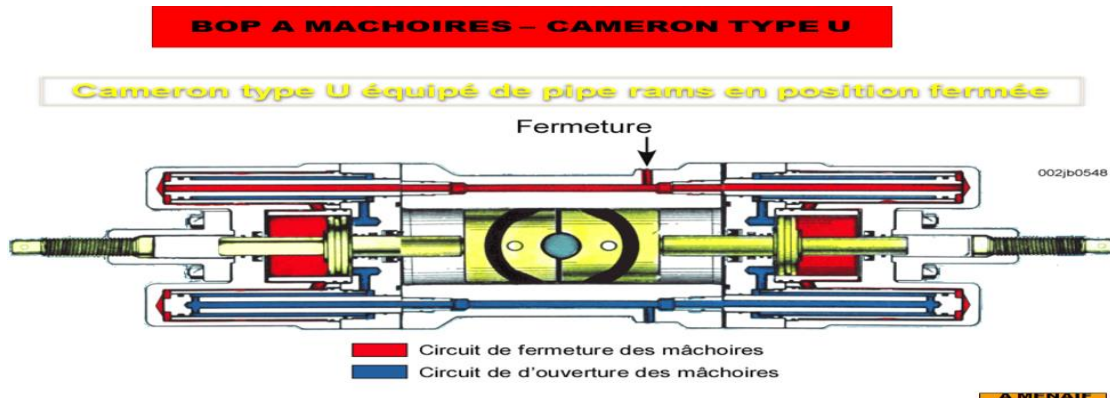


Figure 2. 16 : Schéma montrant le circuit de fermeture d'un Cameron type U.

2.6 Choke et kill line :

Lorsqu'on ferme le puits, les fluides provenant de celui-ci sont contrôlés à travers deux conduites qui partent du BOP : la conduite de décharge (appelée choke line) et la conduite de contrôle (appelée kill line).

La choke line permet au flux de circuler du fond du puits vers la surface, ce qui réduit la pression du puits par passage de plusieurs étapes.

Quant à la kill line, elle est utilisée pour injecter les boues de forage dans le puits lors des opérations de contrôle. Lorsqu'il y a une surpression dans le puits, le flux de pression doit passer par la choke line, le manifold de contrôle, les réservoirs de boues et la fosse de réserve [7].

Les lignes de choke et de kill sont installées soit entre la tête de puits et le BOP le plus bas, soit entre deux obturateurs.

2.7 Système de circulation hydraulique :

Tous les BOP utilisent la force hydraulique pour l'ouverture et la fermeture de l'annulaire preventer et les rams. Ils fonctionnent suivant le principe de vérins hydrauliques double effet, c'est-à-dire ayant deux directions de travail. L'unité d'accumulateurs nous permet d'avoir une réserve de fluide sous pression disponible à chaque instant pour assurer l'actionnement du BOP. L'unité d'accumulateurs est contrôlée à partir d'une unité de commande composée de pompes qui se mettent en marche et s'arrêtent automatiquement, de manière à maintenir une pression constante dans les accumulateurs [7].

Une bouteille d'accumulateur est composée de deux parties séparées par une vessie :

- La première partie contient de l'azote pré-pressurisé.
- La deuxième partie contient de l'huile hydraulique.

L'huile hydraulique est distribuée aux BOP à rams à travers des vannes à 4 voies, une vanne par BOP. Le foreur actionne l'assemblage de BOP depuis son poste de commande, ce dernier doit être à une distance de sécurité obligatoire, qui est de 30.5 mètres de la tête de puits et de 18 mètres pour un puits d'huile. L'annulaire preventer bénéficie d'un circuit à part. Un régulateur permet le réglage de la pression selon le besoin.

En effet, nous en parlerons en détail sur l'unité de contrôle qui contrôle la force hydraulique nécessaire au BOP dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 3 :
UNITÉ
D'ACCUMULATION ET
DE COMMANDE
DES BOP

Chapitre 3 : Unité d'accumulation et de commande Des BOP (koomey)

3.1 Introduction :

L'unité d'accumulation et de contrôle des obturateurs, ou Blow Out Preventer (BOP) en anglais, est un système de sécurité plus important utilisé dans l'industrie pétrolière et gazière pour empêcher et contrôler la libération incontrôlée de pétrole ou de gaz et pour assurer la sécurité des opérations de forage et prévenir les accidents environnementaux et les risques pour les travailleurs.

L'unité d'accumulation et de commande des BOP joue un rôle crucial en assurant une réserve de fluide sous pression, disponible à chaque instant pour assurer la fermeture ou l'ouverture des obturateurs. Elle est responsable de l'alimentation hydraulique du BOP et de sa commande. Son objectif principal est de fournir une puissance hydraulique fiable pour actionner les différents composants du BOP, y compris les rams de fermeture, les obturateurs et les vannes, lorsque les éruptions du pétrole et un vœu de gaz dans les opérations de forage.

Dans ce chapitre, nous allons fournir une compréhension approfondie de l'unité de contrôle du BOP et des composants qui la composent, et examinerons le fonctionnement et les caractéristiques de chaque composant de l'unité de contrôle pour assurer un fonctionnement efficace et sécurisé du BOP.

3.2 Description de l'unité d'accumulation et de commande des BOP :

L'unité de commande de BOP est de fonction principale qu'est de fournir le fluide hydraulique sous pression nécessaire pour actionner les différents obturateurs de surface et les vannes associées. Cette unité de commande assure une réserve constante de fluide sous pression pour actionner et maintenir en pression les différents composants du stack BOP. Le système fonctionne généralement à une pression de 3000 psi. Sur le plancher de forage, un poste de commande à distance sera installé pour effectuer toutes les fonctions requises. D'autres postes de commande, permettant d'effectuer un nombre limité de fonctions, peuvent également être installés sur le chantier.

Le système utilisé pour les obturateurs de surface fonctionne en circuit fermé. Chaque obturateur ou vanne auxiliaire est relié à l'unité de commande par une ligne de fermeture et d'ouverture. Lorsqu'une fonction est commandée, par exemple la fermeture d'un obturateur à mâchoire, le fluide hydraulique sous pression est envoyé dans la chambre de fermeture de l'obturateur, tandis que le fluide présent dans cette chambre est renvoyé vers le réservoir de l'unité de commande.

L'unité de commande comprend principalement les éléments suivants :

- Un réservoir de stockage qui contient le fluide hydraulique à pression atmosphérique.
- Au moins deux systèmes de pompage qui aspirent le fluide hydraulique du réservoir et le compriment jusqu'à atteindre la pression de fonctionnement de l'unité, généralement de 3 000 psi.

CHAPITRE 3 : UNITE D'ACCUMULATION ET DE COMMANDE DES BOP

- Un ensemble de bouteilles, également appelées accumulateurs oléopneumatiques, qui permettent de stocker le fluide à la pression de fonctionnement de l'unité.
- Des régulateurs qui servent à ajuster la pression du fluide hydraulique dirigé vers les différents composants du stack BOP.
- Des distributeurs 4 voies - 3 positions qui sont utilisés pour effectuer les différentes fonctions nécessaires.

La figure ci-dessous illustre une unité standard comprenant les divers composants qui la constituent [9] :

Typical Koomey Blowout Preventer Control System

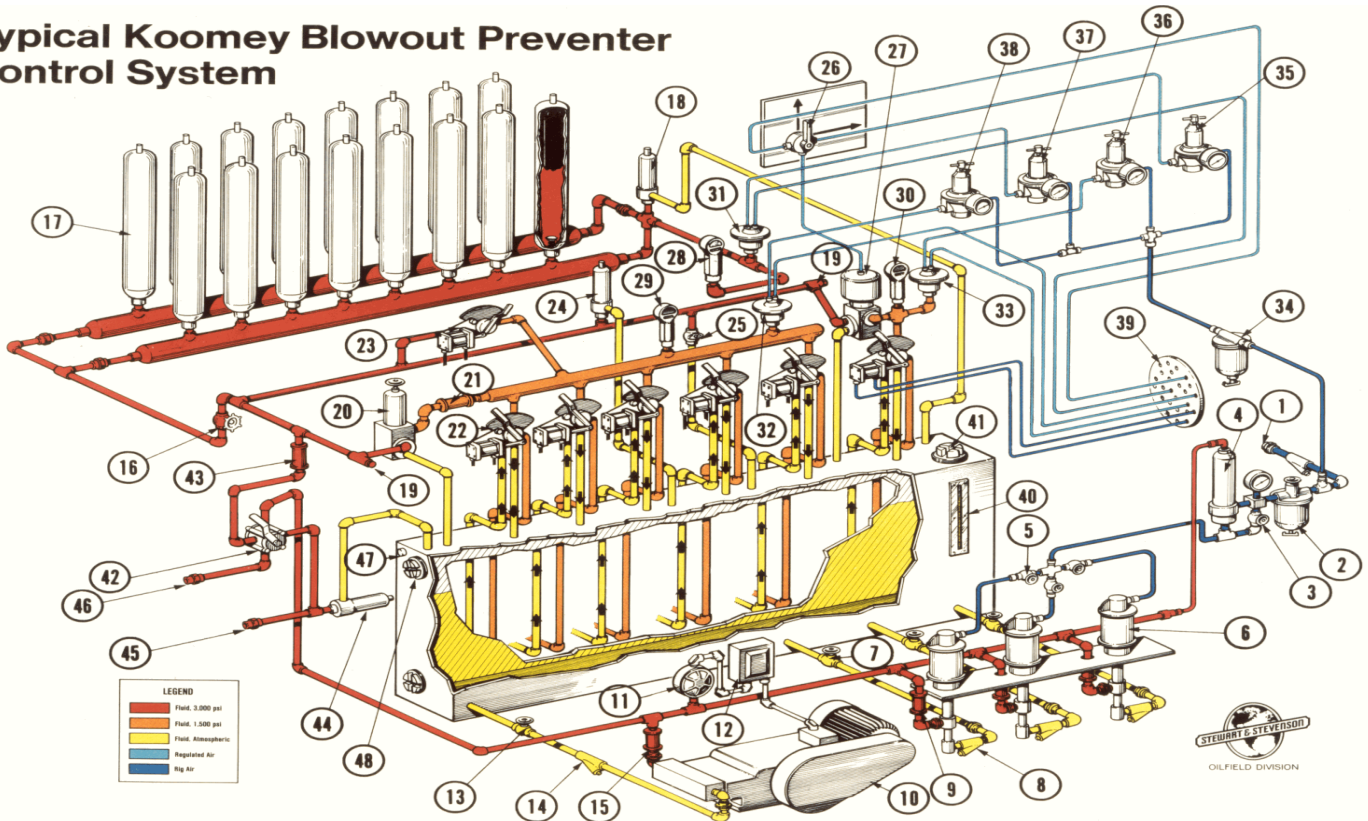


Figure 3. 1 : Schéma de différents composants de l'unité d'accumulation et de commande de BOP.

- 1 Arrivée d'air (pression de l'ordre de 120 Psi).
- 2 Huileur.
- 3 Vanne qui permet de by- passer la vanne d'admission automatique d'air N°4. En position ouverte, elle permet d'alimenter en continu les pompes à air. Elle doit être normalement en position fermée.
- 4 Vanne d'admission hydropneumatique automatique. Elle permet de régler la pression de démarrage et l'arrêt des pompes à air.
- 5 Vanne d'air d'alimentation (Vannes manuelles d'isolement des pompes pneumatiques).
- 6 Pompes à air.
- 7 Vanne d'aspiration (Vannes manuelles d'isolement de l'aspiration des pompes à air).
- 8 Filtre à huile.
- 9 Clapet anti-retour.

CHAPITRE 3 : UNITE D'ACCUMULATION ET DE COMMANDE DES BOP

- 10 Pompe triplex entraînée par moteur électrique.
- 11 Manocontact.
- 12 Coffret de démarrage contenant un commutateur à 3 positions (OFF, ON, AUTO). L'interrupteur doit être normalement sur la position AUTO.
- 13 Vanne d'aspiration (Vanne manuelle d'isolement de l'aspiration de la pompe électrique).
- 14 Filtre à huile équipé d'une crépine sur la ligne d'aspiration.
- 15 Clapet anti-retour.
- 16 Vanne manuelle d'isolement des bouteilles.
- 17 Accumulateur.
- 18 Soupape de sécurité, tarée à 3000 Psi. Le retour est connecté au réservoir.
- 19 Filtre à huile haute pression.
- 20 Régulateur de pression : Il réduit la pression de 3000 Psi à 1500 Psi pour le circuit "manifold". Son réglage se fait manuellement.
- 21 Clapet anti-retour.
- 22 Vanne de contrôle, équipés de vérins pneumatiques, peuvent être pilotés à distance.
- 23 Vanne de by-pass.
- 24 Soupape de sécurité avec retour au réservoir de stockage du fluide hydraulique. Elle est réglée vers 3000 Psi.
- 25 Vanne de purge de la partie HP.
- 26 Sélecteur à 2 positions : Il permet de sélectionner le point de commande du régulateur de pression du BOP annulaire N° 27. Lorsqu'il est sur Remote, N°27 peut être réglé à partir du panel de commande à distance. Lorsque le sélecteur est sur Local, N° 27 ne peut pas être réglé à distance.
- 27 Régulateur de pression annulaire.
- 28 Manomètre de pression de la partie "accumulateur".
- 29 Manomètre de pression de la partie "manifold".
- 30 Manomètre de pression de la partie "annulaire".
- 31 - 32 - 33 Transmetteurs pneumatiques de pression de l'accumulateur, du manifold et de l'annulaire vers le ou les panneaux de commande à distance.
- 34 Filtre à air.
- 35 Régulateur à air.
- 36 – 37 – 38 Régulateurs à air pour les transmetteurs pneumatiques de l'annulaire, de l'accumulateur et du manifold.
- 39 Boite de branchement pneumatique.
- 40 Indicateur de niveau de fluide hydraulique dans le réservoir.
- 41 Bouchon de remplissage et de mise à l'air du réservoir.
- 42 Vannes 4 voies - 3 positions.
- 43 Clapet anti-retour.
- 44 Soupape de sécurité sur la ligne auxiliaire avec retour au réservoir de stockage du fluide hydraulique.
- 45 Ligne auxiliaire qui peut être utilisée pour le ski ding.
- 46 Ligne auxiliaire qui peut être utilisée pour tester des équipements en pression.
- 47 Retour vers le réservoir lors de l'utilisation d'une ligne auxiliaire.
- 48 Bouchon d'inspection du réservoir de stockage de fluide hydraulique.

3.3 Principe de fonctionnement de l'unité :

3.3.1 Module accumulateur :

Le module est composé des éléments suivants :

- **Châssis principal.**
- **Des accumulateurs (Bouteilles)** qui permettent de stocker le fluide de contrôle sous haute pression.
- Un **réservoir** destiné à stocker le fluide atmosphérique utilisé pour alimenter les modules de pompage à haute pression.
- **Pipelines** qui assurent la connexion entre les dispositifs.

3.3.1.1 Châssis principal :

C'est un châssis en acier soudé qui sert un support sur laquelle le montage du composant du module accumulateur, tels que les accumulateurs, le réservoir, les ensembles de pompage, le collecteur de contrôle hydraulique et le module d'interface... [9]

3.3.1.2 Accumulateurs (Bouteilles) :

Ces unités sont conçues pour stocker l'huile hydraulique sous pression. Leur accumulation est par les systèmes d'une chambre à air et avec un flotteur. Lorsque la pression dans l'accumulateur est réduite, ces unités libèrent du fluide hydraulique. Les bouteilles couramment utilisées ont une capacité intérieure de 11 gallons, dont 1 gallon est occupé par la membrane en caoutchouc, laissant ainsi 10 gallons de volume disponible pour les fluides (huile et azote) selon les calculs.

La pression de précharge dépend des conditions spécifiques de fonctionnement des équipements. La valeur de pression généralement recommandée est de 3000 Psi. Il est essentiel de vérifier la pression de précharge lors de la mise en service de l'unité et au début de chaque exploitation, avec un intervalle de contrôle ne dépassant pas 2 mois. L'utilisation de l'azote est recommandée comme seul gaz pour recharger les bouteilles car il est impératif de ne jamais utiliser de l'oxygène pour précharger les accumulateurs ! on utilise exclusivement de l'azote pur à 98% ou plus [9].

Les bouteilles sont équipées d'une soupape de sécurité qui est généralement réglée entre 3 000 et 3 500 Psi. Un manomètre est utilisé pour indiquer la pression du fluide hydraulique stocké dans les bouteilles. Un transmetteur de pression permet de transmettre cette valeur aux panneaux de commande à distance, le cas échéant. En cas de fermeture de la Vanne manuelle d'isolement des bouteilles, la soupape de sécurité protège le circuit avec retour du fluide hydraulique au réservoir de stockage. La vanne de purge est utilisée pour purger l'unité.

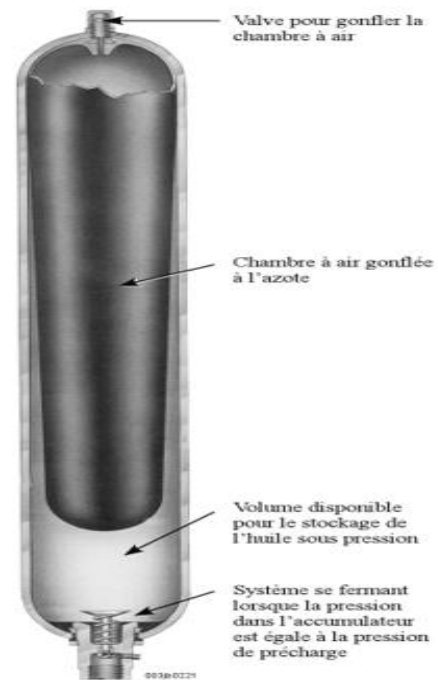


Figure 3. 2 : Bouteille de l'accumulateur.

3.3.1.3 Réservoir :

Le réservoir a pour fonction de stocker le fluide atmosphérique utilisé pour aspirer par les pompes à haute pression. Il est équipé des ports d'accès (Baffles) de 4 pouces de diamètre à chaque extrémité. Ces ports permettent une inspection visuelle de l'intérieur du réservoir et facilitent la détection de fuites éventuelles au niveau des composants du collecteur ainsi que de remplissage. Ce réservoir ayant une capacité de 420 gallons (1590 litres) équivaut à environ deux fois la capacité de liquide utilisable du système d'accumulateur [9].

Le système de contrôle des obturateurs (BOP) fonctionne en circuit fermé, ce qui signifie que tous les fluides purgés sont renvoyés dans le réservoir.

3.3.1.4 Fluide de fonctionnement :

Il est recommandé d'utiliser un fluide de commande hydraulique propre, léger et de haute qualité, ou un concentré de fluide qui peut être mélangé avec de l'eau potable, comme fluide de fonctionnement. Il est important de ne pas utiliser des substances telles que l'huile moteur, le kérosène, le carburant diesel, l'huile de chaîne ou d'autres produits pétroliers contenant des composés aromatiques, car ils peuvent endommager les composants et les joints en caoutchouc [9].

Le fluide hydraulique utilisé doit présenter les caractéristiques suivantes :

- ✓ Capacité à ne pas geler dans des climats froids.
- ✓ Propriétés de lubrification pour réduire l'usure des composants.
- ✓ Compatibilité chimique avec les joints en élastomère pour assurer leur bon fonctionnement et leur durabilité.
- ✓ Présence d'inhibiteurs de corrosion pour protéger les surfaces métalliques de la pompe et des autres composants.

Ces propriétés sont essentielles pour assurer un fonctionnement optimal de l'unité et pour maintenir sa performance et sa longévité dans différentes conditions d'utilisation.

3.3.1.5 Pipeline d'accumulateur :

Les accumulateurs sont installés sur des collecteurs (regrouper de 5 ou 6 Bouteilles) afin de minimiser les fuites et les pertes de pression, et pour faciliter les opérations de maintenance. Chaque collecteur d'accumulateur est équipé d'une vanne d'isolement du collecteur d'accumulateur et d'une vanne de purge. Pendant le fonctionnement normal, la vanne d'isolement du collecteur d'accumulateur est ouverte tandis que la vanne de purge est fermée. Si des doutes subsistent quant au bon fonctionnement d'un accumulateur, le collecteur d'accumulateur peut être isolé jusqu'à ce qu'il puisse être réparé.

Étant donné que les accumulateurs fonctionnent à une pression de 3 000 PSI, les pompes sont réglées pour s'arrêter à cette pression. De plus, les tuyauteries d'accumulateur sont équipées d'une soupape de sécurité de 3 000 PSI, qui protège le système contre les surpressions.

3.3.2 Système de pompage :

Le système de contrôle BOP est équipé de deux systèmes de pompage distincts qui sont installés sur l'unité de commande et d'accumulation. Ces systèmes sont les suivants :

- ✚ Un système de pompage électrique.
- ✚ Un système de pompage pneumatique.

Chaque système de pompe est capable de fournir du fluide aux accumulateurs à leur pleine pression de fonctionnement.

3.3.2.1 Système de pompage électrique :

Le système de pompage électrique est la principale source d'approvisionnement en haute pression pour le module accumulateur. Ce système requiert une alimentation électrique fournie par les besoins en courant varient en fonction de la puissance du moteur électrique. Le module de pompage électrique comprend une pompe alternative triplex à piston qui est actionnée par un moteur électrique. Cette pompe est connectée aux conduites d'accumulateur afin d'aspirer et refouler une source de fluide de travail à haute pression pour le système de contrôle du BOP. Le débit de sortie de la pompe reste constant jusqu'à ce qu'il atteigne une pression maximale de 3 000 PSI [9].

Le système de pompage électrique est constitué des éléments suivants : un collecteur d'aspiration de fluide, une pompe triplex, un moteur électrique, un manostat et un ensemble d'entraînement.

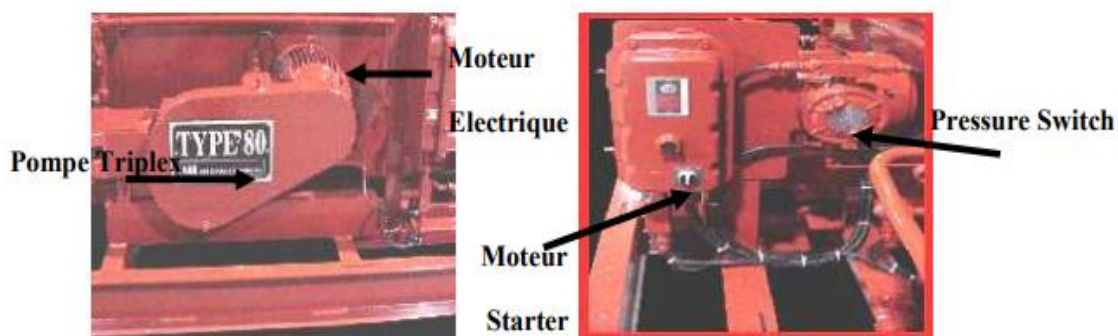


Figure 3. 3 : Système de pompage électrique.

➤ Pompe triplex :

La dénomination "triplex" de la pompe fait référence au nombre de pistons qu'elle contient (c'est-à-dire trois pistons). Les pompes triplex sont équipées d'un moteur électrique antidéflagrant à simple effet et à double tension de 20HP, 3 phases et 60Hz. Elles génèrent une pression hydraulique pour le système de contrôle BOP grâce au moteur électrique et mouvement du assemblage piston-vilebrequin (aspiration et refoulement). Chaque pompe est équipée d'un ensemble pressostat marche/arrêt. La pompe est programmée pour démarrer lorsque la pression du système tombe en dessous de 2 700 psi (186 bars) et s'arrête lorsque la pression atteint 3 000 psi (207 bars). Cette conception avancée de marche/arrêt réduit au minimum les cycles de fonctionnement de la pompe, prolongeant ainsi sa durée de vie maximale. [9]

➤ Moteur électrique :

Le moteur électrique utilisé dans la pompe électrique est un élément crucial qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique pour faire fonctionner la pompe. Ce moteur électrique est spécialement conçu pour être résistant à certaines conditions environnementales et est du type antidéflagrant. Il possède des spécifications spécifiques telles que la puissance, la tension, le nombre de phases et la fréquence. Par exemple, le moteur peut fonctionner à une fréquence de 50 ou 60 Hz et à une vitesse respective d'environ 1 450 ou 1 750 tours par minute [9].

Le moteur électrique est spécifiquement adapté pour être intégré à la pompe électrique et sa principale fonction est de fournir la puissance nécessaire pour actionner les différents composants de la pompe, tels que le vilebrequin et les pistons.

➤ Manifold d'aspiration de fluide :

Le Manifold d'aspiration de fluide établit la connexion entre la pompe haute pression et le réservoir qui contient le fluide de fonctionnement. Ce collecteur est composé des éléments suivants :

- ✓ **Filtre à huile :** Cette filtre contribue à éliminer les impuretés qui ont pu pénétrer dans le système avec le fluide évacué par les obturateurs. Il est important de procéder à un entretien périodique de cette crépine afin d'éviter d'endommager la pompe en la faisant fonctionner à sec.
- ✓ **Une vanne d'aspiration :** Cette vanne doit rester ouverte en permanence pendant le fonctionnement normal, mais elle doit être fermée pour isoler la pompe lors des opérations de maintenance.



Figure 3. 4 : Collecteur d'aspiration de fluide.

* La conduite de refoulement de la pompe contient un clapet anti-retour qui ne permet qu'un débit unidirectionnel. Tous les clapets d'isolement et de non-retour sont fournis pour isoler la pompe des autres systèmes si son entretien est nécessaire.

➤ Assemblage d'entraînement :

Cet assemblage établit la connexion entre la pompe et le moteur d'entraînement. Il comprend les éléments suivants :

- ✓ **Les engrenages (Les pignons) :** Les engrenages de la pompe et du moteur sont dimensionnés de manière à réduire la vitesse du moteur afin de respecter les limites de fonctionnement de la pompe.

- ✓ **Un ensemble complet de chaîne avec un carter de chaîne à bain d'huile :** Cet ensemble est utilisé en remplacement des courroies pour éliminer le glissement et prolonger la durée de vie tout en assurant une meilleure protection de la courroie.

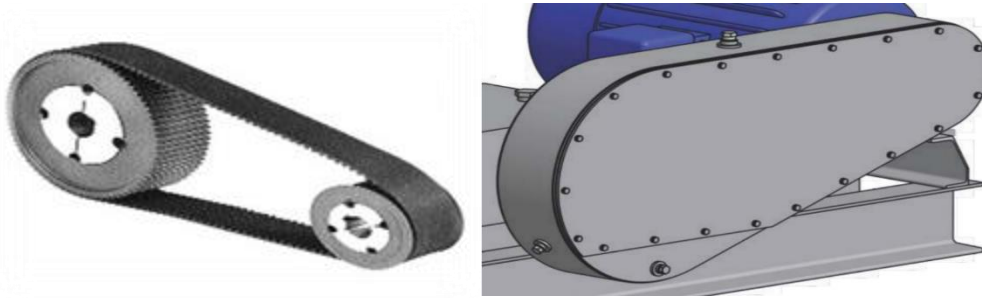


Figure 3. 5 : Assemblage d'entraînement.

- ✓ **Le démarreur du moteur :** Le démarreur du moteur contrôle l'alimentation électrique du moteur et est logé dans un boîtier antidéflagrant. Le commutateur de commande du démarreur doit toujours être positionné sur AUTO pendant le fonctionnement normal.

➤ **Pressostat électrique :**

Le manocontact électrique joue un rôle crucial dans la protection de la pompe électrique et l'unité en général. Lorsque la pression de décharge atteint 3 000 PSI, le manocontact électrique arrête automatiquement le moteur électrique, et il le redémarre automatiquement lorsque la pression de décharge descend à environ 2 700 PSI [9]. Cette fonctionnalité est essentielle pour éviter des pressions excessives qui pourraient endommager les garnitures d'étanchéité ou le châssis d'alimentation de la pompe.

En plus du manocontact, une soupape de sécurité secondaire de contrôle de pression est réglée à 3 000 PSI afin de limiter la pression maximale. Cette soupape de sécurité agit comme une mesure de protection supplémentaire pour prévenir toute augmentation excessive de la pression.

3.3.2. 2 Système de pompage pneumatique :

Le module de pompage pneumatique est l'une des sources de pression élevée utilisées pour charger le module accumulateur. Il a été spécialement conçu pour fournir une pression maximale de 3 000 PSI. Pour son fonctionnement, une alimentation en air avec une pression et un débit adéquat est nécessaire, et elle doit être fournie par les besoins.

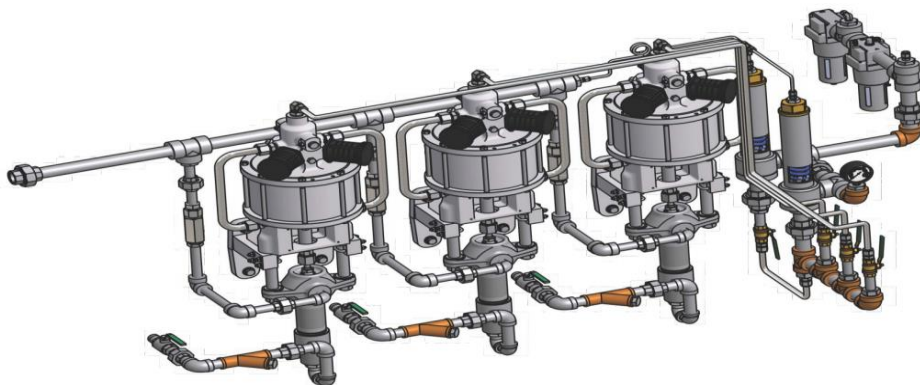


Figure 3. 6 : Système de pompage pneumatique.

CHAPITRE 3 : UNITE D'ACCUMULATION ET DE COMMANDE DES BOP

Les principaux composants du module de pompage pneumatique incluent : le collecteur d'alimentation en air, le collecteur d'aspiration de fluide, les pompes pneumatiques et le manocontact.

➤ Pompes à air :

Le système de pompage pneumatique est constitué de trois pompes à air qui sont utilisées pour augmenter la pression de fluide hydraulique à partir d'une pression d'air inférieure. Les pompes se composent de deux composants principaux : le moteur pneumatique et la tête hydraulique. Leur dimensionnement est basé sur le rapport de surface du piston du moteur pneumatique par rapport à la surface du piston côté fluide. Les pompes standard à double action ont une surface de piston dans le moteur pneumatique 60 fois plus grande que du côté fluide. Ainsi, **chaque psi d'air génère une pression de fluide hydraulique de 60 psi** [9].

Les pompes sont équipées de presse-étoupes à réglage automatique, ce qui signifie qu'elles ne nécessitent normalement aucun ajustement lors du fonctionnement normal. Les pompes fonctionnent en double effet, ce qui signifie que l'air est évacué à chaque course montante et descendante de la pompe. Il est normal de trouver de l'huile sur l'équipement environnant lorsque les pompes évacuent l'air lubrifié, et la présence d'humidité dans l'air évacué peut entraîner la formation de glace sur la pompe à air.

Avant d'effectuer l'entretien de la pompe, il est nécessaire de purger la pression du système. La conduite de refoulement de la pompe est équipée d'un clapet anti-retour pour permettre au système d'être réapprovisionné en fluide pendant que la pompe est en service.



Figure 3. 9 : Pompe pneumatique.

➤ Manifold d'alimentation en air :

Le Manifold d'alimentation en air est connecté à l'alimentation en air fournie par le client et comprend les éléments suivants :

- **Filtre à air** : il élimine les contaminants de l'air d'alimentation. Il est nécessaire de nettoyer régulièrement le filtre pour assurer un débit d'air maximal.
- **Huileur** : il ajoute de l'huile à l'air d'alimentation afin de lubrifier la ou les pompes pendant leur fonctionnement.

- **Jauge d'alimentation en air** : il s'agit d'un manomètre de 0 à 300 PSI qui est installé sur le Manifold d'alimentation en air pour surveiller la pression de l'air d'alimentation au niveau de l'unité.

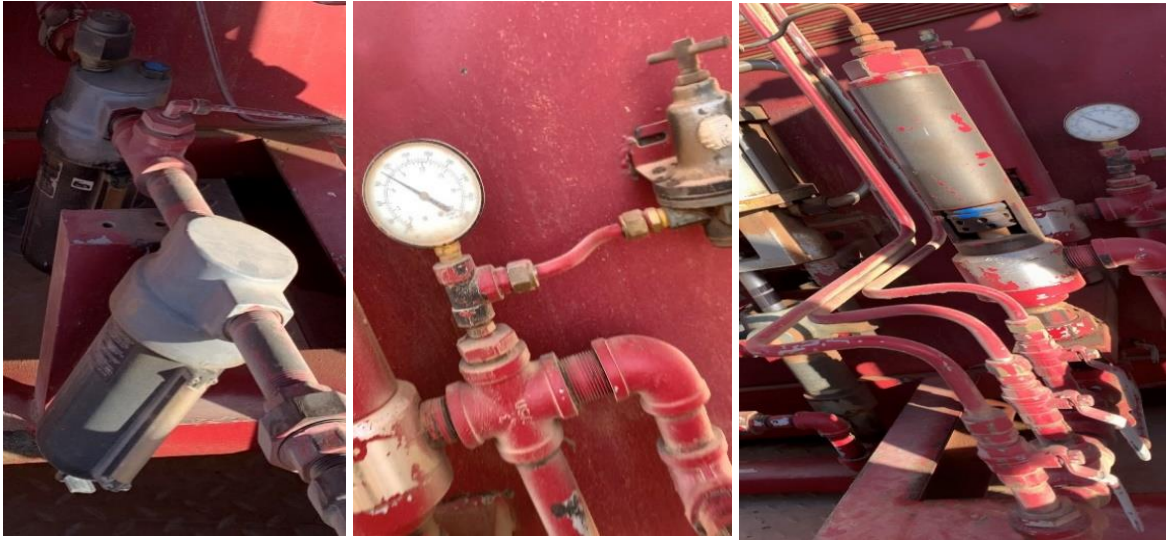


Figure 3. 10 : Les éléments de manifold d'alimentation en air.

- **Vanne d'air d'alimentation** : chaque pompe est dotée d'une vanne d'air d'alimentation qui permet un fonctionnement indépendant. En conditions normales, ces vannes restent ouvertes en permanence et lorsque la maintenance de la pompe on le ferme.
- **Manifold d'aspiration de fluide** :
Le Manifold d'aspiration de fluide relie chaque pompe haute pression au réservoir et est composé des éléments suivants :

- **Une vanne d'aspiration** : elle est utilisée pour isoler les pompes lors des travaux de maintenance. En temps normal, ces vannes restent ouvertes en permanence.
- **Un Filtre d'huile** : elle permet d'éliminer les impuretés présentes dans le fluide qui peuvent pénétrer dans le système à travers les blocs obturateurs. Ces impuretés sont ensuite renvoyées dans le réservoir avec le fluide purgé.

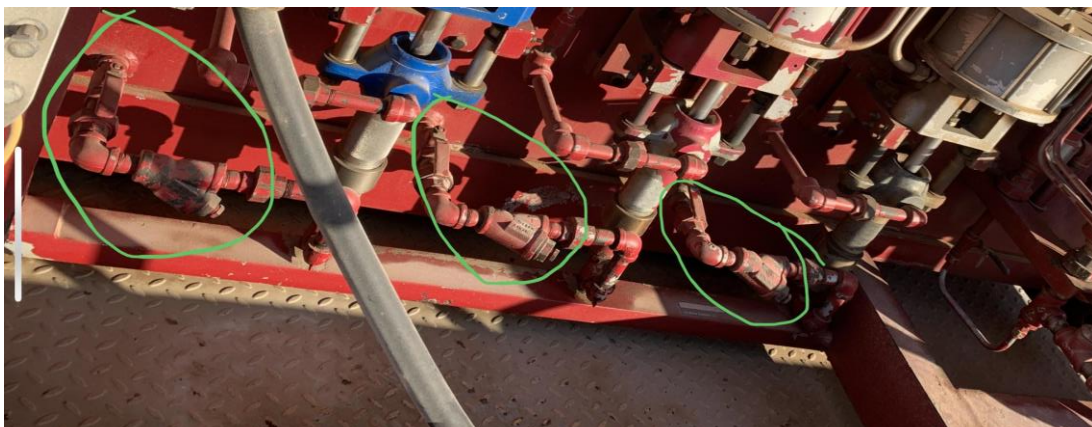


Figure 3. 11 : Collecteur d'aspiration de fluide de les pompes pneumatique.

3.3.3 Manifold de contrôle hydraulique :

Le Manifold de contrôle hydraulique a pour rôle de réguler le flux du fluide haute pression stocké dans les accumulateurs afin de commander les blocs obturateurs et les mâchoires. Pour assurer le bon fonctionnement du système aux pressions requises, le collecteur de contrôle hydraulique utilise une configuration à double collecteur comprenant principalement :

- ✚ **Des vannes de contrôle,**
- ✚ **Des régulateurs,**
- ✚ **By-Pass,**
- ✚ **Des manomètres,**
- ✚ **Manifold pipeline.**

3.3.3.1 Vanne de contrôle :

Les vannes de contrôle sont des vannes à papillon en acier inoxydable d'un pouce, à 4 voies et 3 positions qui possède quatre passages ou canaux d'huile, permettant de contrôler le débit et la direction du fluide vers les obturateurs et le BOP. Ils sont actionnés manuellement qu'il suffit de déplacer rapidement la poignée de la position FERMÉE à la position OUVERTE ou le contraire, et aussi actionnées à distance qu'est nécessaire des vérins pneumatiques sont montés sur chaque vanne de contrôle à quatre voies du collecteur de contrôle hydraulique. Le piston du vérin est connecté à la poignée des vannes de contrôle et s'étend ou se rétracte en réponse à un signal pneumatique émis depuis le panneau de commande à distance, activant ainsi la fonction sélectionnée.

Elles ont une pression nominale de fonctionnement de 3 000 PSI et sont responsables de contrôler la pression d'ouverture et de fermeture des obturateurs à mâchoires et/ou des vannes de commande hydraulique pour l'étranglement et l'arrêt des éruptions. Les vannes de contrôle sont couramment fournies pour les fonctions de cheminée suivantes :

- **Obturbateur annulaire.**
- **Mâchoires à fermeture totale (blind rams).**
- **Mâchoires à fermeture sur tiges (pipe rams).**
- **Mâchoires à fermeture cisailant (blind Shear rams).**
- **Les départs des lignes de contrôle et de décharge (« Kill line » et « Choke line »).**



Figure 3. 12 : Vanne de contrôle

➤ Principe de fonctionnement : [10]

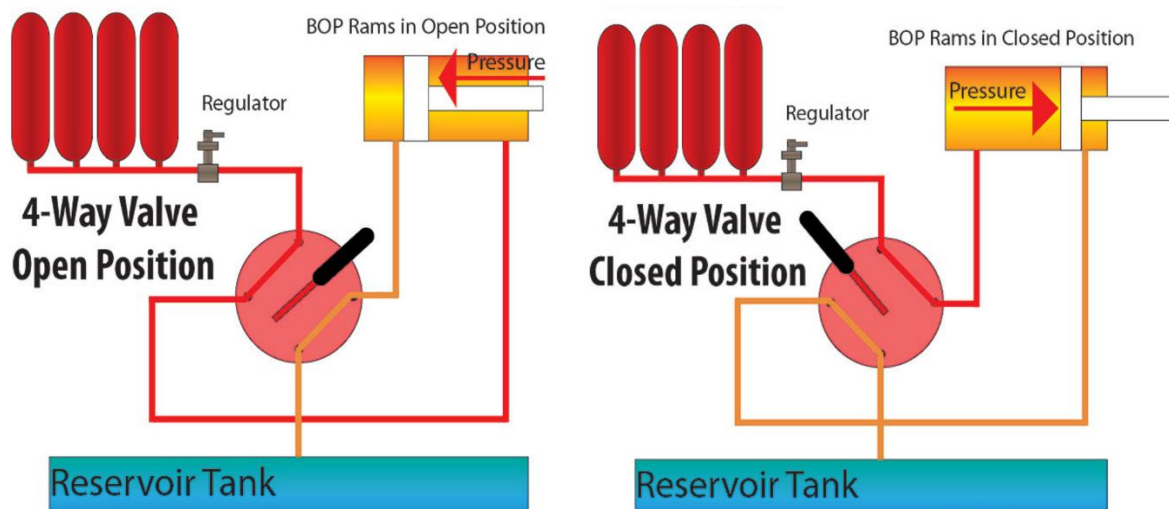


Figure 3. 13 : principe de fonctionnement de la vanne de contrôle.

3.3.3.2 Régulateur :

Les régulateurs ayant un rôle essentiel dans l'unité pour satisfaire les différentes pressions requises, y a compris la pression du manifold de commande des fonctions de la cheminée du BOP (Pipe rams, Blind rams, shear rams, kill et choc line) et la pression de l'obturateur annulaire.

- **Régulateur du Manifold :** Il réduit la pression de 3000 Psi à 1500 Psi pour le circuit "manifold" [9]. Son réglage se fait manuellement. Cette pression régulée est ensuite utilisée pour actionner les obturateurs à mâchoires (Pipe rams, blind rams, choc et kill line, shear rams).
- **Régulateur annulaire :** Ce régulateur pneumatique permet d'ajuster la pression de fermeture du BOP annulaire en régulant les pressions du fluide hydraulique envoyé, avec une plage de réglage allant de 750 jusqu'à 1 500 ou 3 000 PSI. Il peut être ajusté à distance par une vérin pneumatique pour répondre aux besoins spécifiques.



Figure 3. 14 : Régulateurs.

3.3.3.3 By-Pass :

CHAPITRE 3 : UNITE D'ACCUMULATION ET DE COMMANDE DES BOP

By-pass est conçue pour une utilisation uniquement en cas d'urgence. Cette vanne de dérivation peut être actionnée manuellement depuis le poigné ou à distance depuis le panneau de commande du foreur par une vérins pneumatique. Pendant les opérations de forage, elle reste en position normale. En cas d'urgence, la vanne peut être déplacée vers la position de dérivation, permettant ainsi à la pleine pression de l'accumulateur de 3 000 psi (207 bar) de s'écouler vers le manifold des obturateurs à mâchoires.



Figure 3. 15 : By-pass.

3.3.3.4 Manomètres :

Le système de contrôle BOP est équipé de plusieurs jauges à lecture directe permettant de surveiller les paramètres critiques. Sur le panneau du système de contrôle BOP, on retrouve les indicateurs suivants : [9]

- Pression du manifold 1500-3000psi.
- Pression de l'accumulateur 3000psi.
- Pression annulaire 750-3000psi.



Figure 3. 16 : Les Manomètres

3.3.3.5 Manifold pipeline :

La tuyauterie du collecteur est constituée des éléments suivants :

- ✓ **Collecteur de pression d'alimentation** : c'est un distributeur qu'assure une pression uniforme à la vanne de contrôle, favorisant ainsi un débit maximal et réduisant les pertes de pression.
- ✓ **Filtre à huile haute pression** : Le filtre à huile sur le circuit haute pression joue un rôle essentiel en éliminant les débris susceptibles de causer des dommages aux régulateurs et aux vannes de contrôle, assurant ainsi la propreté du fluide de contrôle.
- ✓ **Vanne de purge** : Cette vanne est de permettre la purge de la pression du système lors des opérations de maintenance.

- ✓ **Soupape de sécurité** : Cette soupape est réglée à 3000 psi pour soulager les pressions excessives du système au réservoir de l'unité afin d'éviter défaillance d'un composant ou d'un système.
- ✓ **Clapet anti-retour.**

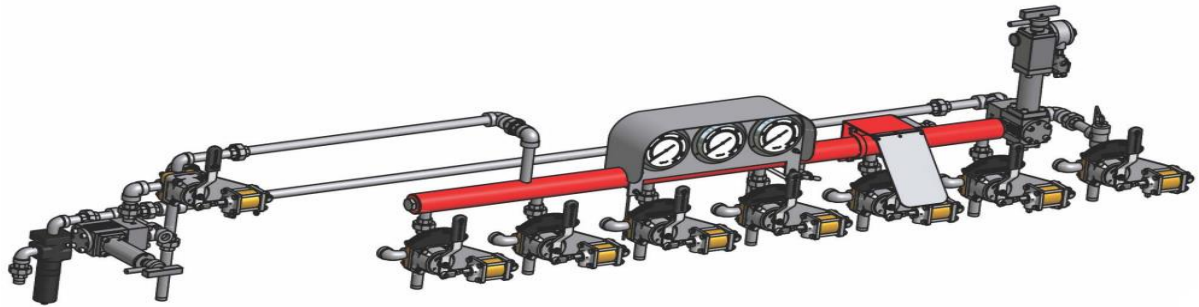


Figure 3. 17 : Manifold de contrôle hydraulique.

3.3.4 Module d'interface :

Le module d'interface est composé de composants supplémentaires essentiels pour le contrôle à distance et/ou la surveillance du système de contrôle de BOP à partir d'un point de contrôle distant. Ce module comprend principalement :

- ✓ **Transmetteurs pneumatiques** : sont des transmetteurs à tube de Bourdon qui sont utilisés pour convertir les pressions hydrauliques en signaux de pression d'air calibrés lorsque l'on souhaite surveiller les pressions de fonctionnement du système de contrôle de BOP à partir des panneaux de commande pneumatique. Ces signaux sont ensuite interprétés par les manomètres à air du panneau de commande pneumatique comme une pression hydraulique équivalente. Ces transmetteurs convertissent la pression du :
 - L'accumulateur,
 - Manifold,
 - L'annulaire.
- ✓ **Régulateurs à air** : sont des régulateurs à air pour les transmetteurs pneumatiques de l'annulaire, de l'accumulateur et du manifold qu'ils doivent réguler la pression d'alimentation d'air de ces transmetteur ajusté à 15 à 30 psi [9].



Figure 3. 18 : Régulateurs à air.

- ✓ **Boîtiers de branchement pneumatique** : Les boîtiers de branchement pneumatique sont conçus pour faciliter la manipulation de l'équipement du système de contrôle de

BOP lorsque le déplacement de l'appareil de forage. Les lignes de signaux du module d'interface sont connectées à la moitié fixe d'un boîtier de branchement pneumatique, qui est situé à l'extrémité du tuyau attaché au(x) module(s) d'interconnexion.

3.4 Panneaux de commande pneumatique :

Un ou plusieurs panneaux de commande pneumatique sont utilisés pour contrôler à distance le module accumulateur. Ils sont connectés à l'unité d'accumulation par une liaison pneumatique. Le panneau de commande à distance doit remplir les fonctions suivantes :

- ✓ Permettre d'opération de tous les BOP ainsi que des vannes de kill et de choke line.
- ✓ Permettre le réglage de la pression du BOP annulaire.
- ✓ Permettre le fonctionnement de la vanne de dérivation By-pass.
- ✓ Indiquer les pressions de l'accumulateur, du manifold, de l'annulaire et de l'air.

Les éléments essentiels de chaque panneau sont les suivants :

-  **Collecteur d'alimentation en air :** Le collecteur d'alimentation comprend principalement un filtre, qui élimine les contaminants de l'air d'alimentation, ainsi qu'un lubrifiant qui assure la lubrification des vannes pendant leur utilisation.
-  **Vanne maitresse :** c'est une vanne de ¼" à 3 voies, à ressort concentrique. Son activation est requise pour fournir la pression d'air d'alimentation nécessaire aux autres vannes pneumatiques présentes sur le panneau de commande pneumatique à distance. La vanne doit être maintenue en position ouverte pour permettre à l'air d'alimentation de circuler et d'actionner les autres vannes. Lorsque la poignée est relâchée, la vanne se recentre automatiquement grâce à un ressort, ce qui arrête l'alimentation en air et purge toute la pression d'air en aval. Cela évite ainsi une activation accidentelle d'une fonction du BOP
-  **Vannes de contrôle de l'air :** de taille ¼" et à ressort concentrique, sont utilisées pour activer à distance les vannes de contrôle du bloc obturateur sur le manifold de contrôle hydraulique. L'activation de ces vannes envoie un signal aux vérins pneumatiques qui sont attachés aux vannes de contrôle hydrauliques du collecteur. Cependant, cela se produit uniquement lorsque la vanne d'entrée d'air du panneau est également activée simultanément. Le signal provenant des vannes pneumatiques permet de prolonger ou de rétracter les vérins, ce qui déplace les vannes de contrôle. Par la suite, le fluide hydraulique est envoyé pour activer la fonction sélectionnée.
Lorsque la vanne pneumatique du panneau de commande à distance est relâchée, la poignée se recentre automatiquement, ce qui purge la pression sur le vérin pneumatique. Cela permet ensuite à la vanne de contrôle hydraulique du collecteur d'être actionnée manuellement.
-  **Manomètres :** Les manomètres utilisés sont de type récepteur à bain de glycérine et ont des cadrans de 4 pouces. Ils sont installés sur le ou les panneaux de commande pneumatique à distance pour permettre le suivi de la pression d'air d'alimentation, la pression de l'accumulateur, la pression du manifold et la pression de l'annulaire.
-  **Vanne de contrôle de la pression annulaire :** c'est une vanne de télécommande pneumatique permettant de régler la pression de fonctionnement du bloc obturateur annulaire.

CHAPITRE 3 : UNITE D'ACCUMULATION ET DE COMMANDE DES BOP

✚ **By-pass :** Cette vanne à ressort à quatre voies et de taille 1/4" permet d'activer à distance la dérivation du régulateur de manifold. Lorsqu'elle est déplacée en position BASSE PRESSION, elle fournit une pression régulée au manifold. Lorsqu'elle est déplacée en position HAUTE PRESSION, elle fournit au manifold une pression non régulée provenant de l'accumulateur.

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1-- Filtre à air. | 8--Manomètre de pression d'air. |
| 2-- Huileur. | 9--Manomètre de pression de manifold. |
| 3--vanne maitresse. | 10-- Manomètre de pression d'accumulateur. |
| 4--Commande de BOP annulaire. | 11-- Manomètre de pression de l'annulaire. |
| 5--Commande vanne de Choc line. | 12--Commande de la pression annulaire |
| 6--Commande de By-pass. | 13-- Boîtiers de branchement pneumatique. |
| 7--Plaque de marquage. | 14--Régulateur d'air. |

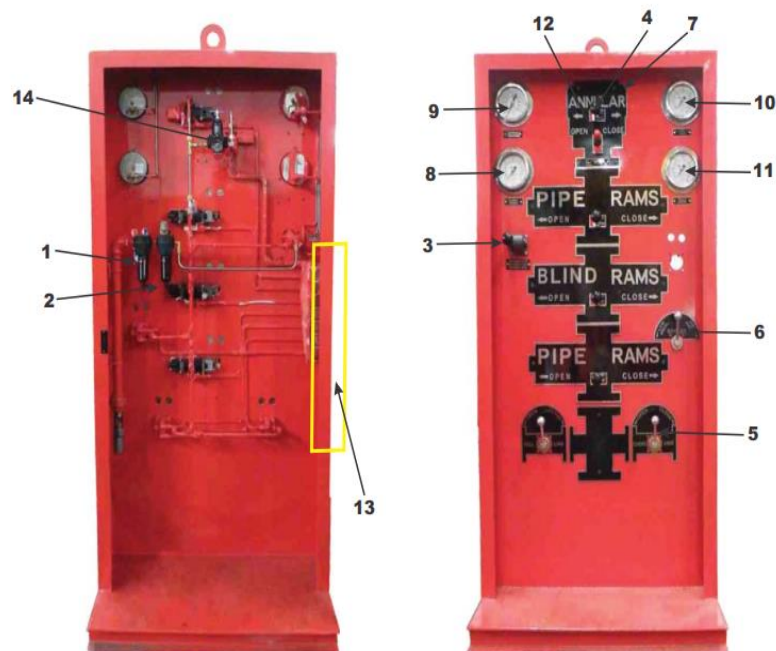


Figure 3. 19 : Composants de panneau de commande à distance. [9]

3.5 Module d'interconnexion :

Les modules d'interconnexion sont utilisés pour relier les panneaux de commande pneumatique au module accumulateur. Ils se composent d'un faisceau multitube avec une moitié de boîtier de branchement pneumatique à chaque extrémité. Ces boîtiers de branchement doivent être fixés aux boîtiers de branchement correspondants sur le module d'interface et les panneaux de commande pneumatique. Le tuyau d'interconnexion achemine les signaux pneumatiques du panneau de commande pneumatique vers le module accumulateur, ainsi que

CHAPITRE 3 : UNITE D'ACCUMULATION ET DE COMMANDE DES BOP

les signaux de suivi de la pression d'air du module accumulateur vers le panneau de commande pneumatique.

Le tuyau d'interconnexion est composé de plusieurs tubulures en polyéthylène avec un diamètre extérieur de 3/8" qui sont spiralées et enveloppées dans une gaine en chlorure de polyvinyle (PVC) d'une épaisseur de 3/16" [10]. Deux tubulures sont nécessaires pour chaque fonction, une pour l'ouverture et une pour la fermeture. Deux tubulures sont nécessaires pour chaque station de régulation, une pour l'augmentation et une pour la diminution. Une tubulure est nécessaire pour chaque signal de suivi de la pression.



Figure 3.19 : Tuyau d'interconnexion

CHAPITRE 4 :
APPLICATION DE
LA METHODE
SADT ET AMDEC
SUR LE BOP

CHAPITRE 4 : Application de la méthode SADT et AMDEC sur le BOP

4.1 Introduction :

Lorsqu'il s'agit de garantir la sécurité et la fiabilité du BOP dans l'industrie pétrolière et gazière, deux méthodologies d'analyse essentielles peuvent être utilisées : l'AMDEC et le SADT.

L'AMDEC est une approche systématique largement reconnue pour évaluer les risques et les défaillances potentielles des systèmes. Elle permet d'identifier les modes de défaillance, d'évaluer leurs conséquences et de déterminer leur criticité. L'AMDEC est particulièrement adaptée à l'analyse des composants, des sous-systèmes et des processus associés au BOP à partir de la méthode SADT qui est une technique d'analyse structurée qui permet de modéliser les systèmes complexes en identifiant les fonctions, les sous-fonctions et les interactions entre les différents éléments.

AMDEC aide à évaluer les défaillances potentielles et à hiérarchiser les actions correctives, tandis que SADT fournit une représentation visuelle claire du système, ce qui facilite la compréhension et l'identification des données requises.

Dans ce chapitre, nous décrivons les méthodes utilisées pour identifier les défaillances critiques par AMDEC et SADT.

Nous effectuerons ensuite une analyse sur le BOP en question et de rassembler toutes les informations pertinentes à son sujet puis une analyse fonctionnelle du BOP en utilisant la méthode SADT pour identifier les modes de défaillance affectant la fonction principale du BOP. Ces modes de défaillance sont ceux où le BOP ne parvient pas à sceller le puits.

Nous évaluerons ensuite ces modes de défaillance en considérant trois facteurs fondamentaux : la probabilité d'occurrence, la gravité des conséquences et la détectabilité de la défaillance.

Enfin, nous classerons ces modes de défaillance par criticité, en commençant par le plus critique et en terminant par les moins critiques. Cette démarche nous permettra d'identifier les défaillances responsables du non scellement du puits.

4.2 Présentation de la méthode SADT :

4.2.1 Historique et objectif de la méthode :

Le **SADT** (**S**tructured **A**nalysis and **D**esign **T**echnique), ou technique d'analyse et de conception structurée, est une méthode de modélisation des systèmes et de représentation structurée qui repose sur des concepts simples et complexe et utilise un formalisme graphique et textuel facile à apprendre. Il a été développé entre 1969 et 1973 par Douglas T. Ross et SofTech. Cette méthode a été utilisée dans le cadre du projet APT (Automatic Programming Tool) au MIT. À partir de 1973, elle a été largement adoptée par le programme de fabrication intégrée assistée par ordinateur de l'US Air Force. Vers la fin des années 1980, SADT a été largement utilisé dans le domaine de l'ingénierie des systèmes pour représenter graphiquement

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

la structure et le fonctionnement des systèmes simples et complexes grâce à l'analyse fonctionnelle descendante, qui consiste à analyser du niveau général au niveau particulier [11].

La méthode peut être utilisée comme outil d'analyse fonctionnelle d'un processus ou d'un système donné, quelle que soit sa complexité, en le décomposant en fonctions de base utilisant des niveaux de détail successifs. Il peut expliquer et présenter des processus de fabrication actifs, des programmes, mais aussi identifier des anomalies du système et comprendre les problèmes de ce dernier.

4.2.2 Représentation graphique :

SADT consiste en un ensemble de hiérarchies de diagrammes qui permettent de représenter des systèmes simples à très complexes à différents niveaux de détail et sous une forme relativement compacte. Ces schémas sont constitués de plusieurs boîtes pour éviter les schémas trop complexes. La méthode propose deux formes de représentation graphique (diagramme actigramme et diagramme datagramme) [11].

1. **Diagramme actigramme** est le diagramme d'activité qui représente les activités des verbes dans la boîte,
2. **Diagramme datagramme** est le datagramme qui identifie les données par le nom dans la boîte.

L'analyse est effectuée graphiquement, en utilisant uniquement les diagrammes actigrammes les plus couramment utilisés selon mon thème, et les mieux adaptés aux approches fonctionnelles. Dans une boîte actigramme SADT, on retrouve les éléments suivants :

1. **Un verbe** définissant l'activité ou l'action.
2. **Les entrées**, qui sont connectées à gauche, sont transformées par l'activité pour produire **des sorties** qui sont connectées à droite.
3. **Les données de contrôle**, qui sont connectés en haut, ne sont pas modifiés par l'activité, mais ils agissent sur celle-ci en la déclenchant ou en influençant fortement son comportement.
4. **Les dispositifs**, qui sont connectés en bas, permettent de décrire les éléments physiques et les moyens mis en œuvre pour réaliser la fonction.

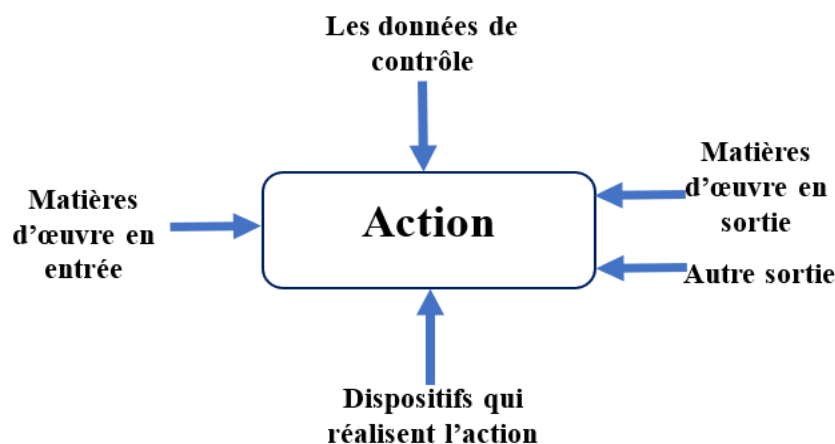


Figure 4. 1 : Représentation graphique d'un actigramme d'une SADT.

4.3 Présentation de la méthode AMDEC :

4.3.1 Historique :

AMDEC (Analyse des **M**odes de **D**éfaillances, leurs **E**ffets et leur **C**riticité) s'agit d'une méthode qui nous permet de détecter et d'analyser tous les modes de défaillance potentiels des différentes composantes d'un processus, d'une installation ou d'un système, ainsi que les conséquences que ces défaillances peuvent entraîner.

Cette méthode a été initialement utilisée par l'armée américaine en 1949, et elle est aujourd'hui la technique d'analyse de fiabilité la plus couramment employée dans les premières phases de développement d'un produit ou d'un système.

4.3.2 But de AMDEC :

La méthode AMDEC a pour but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement des équipements industriels en termes de fiabilité, disponibilité, sécurité et maintenabilité. Cette approche nous permettra d'identifier systématiquement les défaillances potentielles des équipements, d'estimer les risques associés à la survenance de ces défaillances, et afin d'identifier des actions correctives ou préventives sur les équipements. [12]

4.3.3 Objectif de AMDEC :

AMDEC permet de : [12]

1. Identifier les différents modes de défaillance potentiel d'un procédé ou d'un moyen de production ou d'un système.
2. Analyser les causes et les effets de chaque mode de défaillance.
3. Évaluer chaque mode de défaillance et établir un classement selon leur criticité.
4. Identifier des actions correctives ou préventives peuvent élimine ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes.

4.3.4 Type de AMDEC : [13]

Il existe plusieurs types d'AMDEC, dont les plus importantes sont :

1. **AMDEC-Produit** : Permet d'étudier en détail la phase de conception d'un produit. Si le produit se compose de plusieurs composants, le composant AMDEC s'applique. Cet AMDEC est rédigé sous la responsabilité du bureau d'études.
2. **AMDEC-Process** : s'applique aux procédés de fabrication. Il est utilisé pour analyser et évaluer la gravité de toutes les défaillances potentielles du produit causées par son processus. Cette AMDEC est rédigé sous la responsabilité du bureau des méthodes de fabrication
3. **AMDEC moyen de production** : on identifie les défaillances du moyen de production dont les effets agissent directement sur la productivité de l'entreprise, Il s'agit donc de l'analyse des pannes et de l'optimisation de la maintenance. Cet AMDEC est rédigé sous la responsabilité du service de maintenance.

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

Dans notre étude on s'y intéressé par le type d'AMDEC **moyen de production**.

4.3.5 La Méthodologie de l'AMDEC : [12]

Pour mettre en œuvre l'AMDEC, il est nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- **Définir et analyser le système étudié (Initialisation)** : Cette première partie consiste à analyser et collecter toutes les informations disponibles sur le système étudié (description, son rôle, ses fonctions, son fonctionnement, ces conditions, schéma...etc.).

- **Analyse fonctionnelle** : Une fois que le système étudié a été défini et analysé, l'étape suivante consiste à réaliser une analyse fonctionnelle de celui-ci. Cette analyse implique l'identification des éléments à étudier en divisant le système en plusieurs niveaux, généralement des éléments fonctionnels. Il est important de mener cette analyse à un niveau de détail suffisant pour identifier les modes de défaillance et leurs causes spécifiques à ces niveaux. Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode SADT pour effectuer la décomposition fonctionnelle du système.

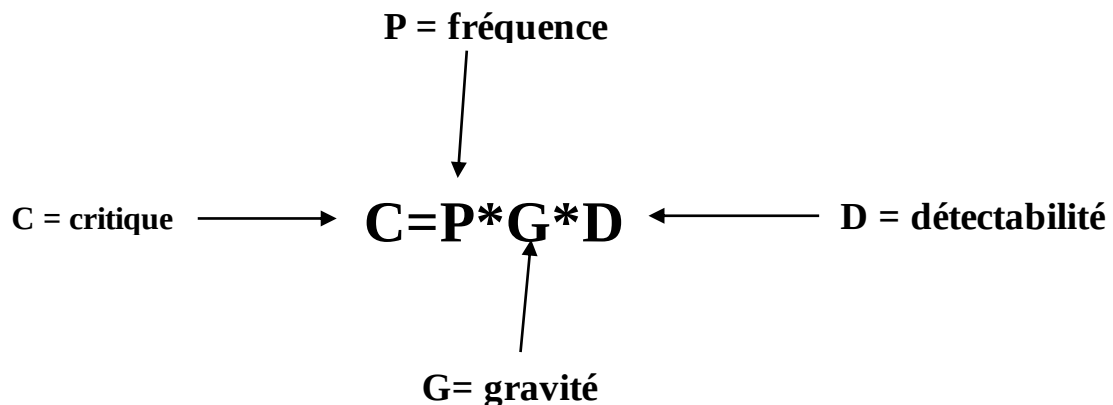
- **Analyse des défaillances** : Cette étape contient :

1. L'identification de tous les modes de défaillance possibles pour chaque sous-système et en fonction de son état de fonctionnement,
 2. Détermination des causes possibles potentielles associées à chaque mode de défaillance.
 3. Ainsi que les effets relatifs à chaque mode de défaillance sur le système,
- **Le mode de défaillance** : se réfère à une fonction qui cesse de remplir son objectif initial. L'analyse fonctionnelle identifie ces fonctions, tandis que l'AMDEC examine les différentes manières dont elles peuvent ne plus fonctionner correctement.
 - **La cause** : est l'exception ou l'anomalie qui entraîne le mode de défaillance.
 - **Les effets** : représentent les conséquences concrètes découlant du mode de défaillance.
 - **La synthèse (Grille de l'AMDEC)** : la synthèse se présente sous la forme d'une grille (Tableau explicatif). Cette grille constitue à la fois un outil de discussion pour le groupe et un document rédigé par l'animateur.

- **Evaluation des modes de défaillance et détermination de leur criticité** :

L'évaluation des modes de défaillance identifiés se fait selon trois critères : La gravité, probabilité et la détectabilité.

1. **La probabilité** : La probabilité d'occurrence évalue la fréquence estimée à laquelle la défaillance en question peut se produire dans l'espace-temps.
2. **La gravité** : La gravité représente le degré de sévérité qui influe sur le temps nécessaire pour réparer la défaillance.
3. **La détectabilité** : La détectabilité de la défaillance est un paramètre qui évalue la probabilité que les activités d'inspection et de maintenance puissent détecter le mode de défaillance avant qu'il ne provoque un dysfonctionnement.
4. **La criticité** : Lorsque 3 critères sont évalués dans une ligne de synthèse AMDEC, le produit des 3 valeurs obtenues est calculé pour calculer la criticité :



- **Définir et planifier des actions** : Après avoir identifié les défaillances critiques, la finalité de l'analyse AMDEC est de proposer des actions afin de résoudre le problème détecté.

- **Hiérarchisations des résultats** : hiérarchisations des défaillances selon les niveaux par les critères de criticité.

4.4 Application de la méthode AMDEC sur le BOP :

4.4.1 Collecte des données :

Dans les chapitres précédant, nous avons rassemblé et analysé toutes les données et informations et mis une carte d'identifié concernant le BOP (description, son rôle, ses types, ses fonctions, son fonctionnement...). Dans cette étape nous pouvons fournir des informations supplémentaires sur la maintenance, les inspections et les tests de BOP.

4.4.2 Tests et maintenance du BOP :

La réalisation de tests et la maintenance du BOP sont des aspects cruciaux pour assurer son bon fonctionnement. Ces activités comprennent la planification, l'exécution et le suivi de différentes procédures. Les tests du BOP sont réalisés périodiquement pour vérifier sa performance, son étanchéité et son bon état de fonctionnement.

- **Type de tests :**

Les tests du BOP peuvent être regroupés en plusieurs catégories, chacune visant à évaluer différents aspects du fonctionnement et de la performance de l'équipement. Nous nous souvenons :

1. **Test de fonctionnement** : Les tests effectués évaluent le bon fonctionnement des vannes du BOP, en vérifiant leur capacité à s'ouvrir et se fermer en réponse aux commandes. Cela permet de s'assurer que les vannes peuvent être manipulées de manière adéquate et réactive en cas de situation d'urgence. Il est recommandé de tester tous les composants du BOP au moins une fois par semaine. Il convient de noter que les tests de fonctionnement ne comprennent généralement pas les tests de pression.
2. **Les tests de réaction** : en cas d'urgence consistent à simuler des situations d'urgence afin d'évaluer la réactivité du BOP dans ces conditions. Ils comprennent des essais de déclenchement automatique, de déploiement des éléments de contrôle et de

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

coordination avec d'autres équipements de sécurité. Ces tests visent à vérifier la capacité du BOP à répondre efficacement et rapidement lors de scénarios critiques, garantissant ainsi la sécurité et la protection des opérations en cas d'urgence.

3. Tests de pression hydraulique : C'est la pressurisation du BOP pour vérifier sa capacité à contenir du choc. Tous les composants doivent être testés, tester en amont et lors de diverses opérations [7] :

- Avant chaque installation en tête du nouveau puits.
- après chaque opération de maintenance liée à une perte d'intégrité assemblée.
- en fonctionnement continu et aux fréquences suivantes :
 - * Au moins tous les 21 jours pour tester l'annulaire et les BOP à rams sauf le Shear rams.
 - * Shear rams pendant au moins 1 mois.

4. Test d'étanchéité : Une fois la pression maximale atteinte, maintenez cette pression pendant une période spécifiée (généralement plusieurs minutes) pour vérifier l'étanchéité du système. Vérifiez qu'il n'y a pas de fuites visibles au niveau des raccords, des joints ou des vannes. Surveillez également les jauges de pression pour vous assurer qu'il n'y a pas de chute de pression. [9]

• Tests de pression :

Test de pression en fond de trou avec de l'eau. Avant d'exposer tous les composants du BOP à la pression de fond, ils sont progressivement testés à des pressions basses entre 200 psi et 300 psi, puis augmentés à des pressions élevées (supérieures à 3000 psi). Ce test est maintenu pendant au moins 10 minutes.

Les bonnes pratiques à respecter lors du test de pression sont résumées dans les tableaux suivants : [14]

Tableau 4. 1: Les bonnes pratiques pour le test de pression (Avant le débit des opérations de forage).

Composant	Test de pression	
	Basse pression	Haute pression
Annular preventer	200 - 300	Au moins 70% de la pression de travail du BOP (classe de pression du BOP)
Pipe ram	200 - 300	Pression de travail du BOP
Variable bore ram	200 - 300	Pression de travail des rams
Shear ram	200 - 300	Pression de travail des rams
Blind ram	200 - 300	Pression de travail des rams
Choke line	200 - 300	Pression de travail des rams
Kill line	200 - 300	Pression de travail des rams

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

Tableau 4. 2 : Les bonnes pratiques pour le test de pression : Contrôle durant les opérations de Forage.

Composant	Test de pression	
	Basse pression	Haute pression
Annular preventer	200 - 300	Au moins 70% de la pression de travail du BOP (classe de pression du BOP)
Pipe ram	200 - 300	Pression de travail du BOP
Variable bore ram	200 - 300	Supérieur au MASP
Shear ram	200 - 300	Supérieur au MASP
Blind ram	200 - 300	Supérieur au MASP
Choke line	200 - 300	Supérieur au MASP
Kill line	200 - 300	Supérieur au MASP

Remarque :

Il est impératif de consigner tous les résultats des tests de pression, en incluant les détails relatifs aux tests à basse et haute pression, la durée du test, les résultats des essais des divers composants du BOP ainsi que les problèmes constatés au cours des essais.

- **Test d'étanchéité :** Une fois la pression maximale atteinte, maintenez cette pression pendant une période spécifiée (généralement plusieurs minutes) pour vérifier l'étanchéité du système. Vérifiez qu'il n'y a pas de fuites visibles au niveau des raccords, des joints ou des vannes. Surveillez également les jauges de pression pour vous assurer qu'il n'y a pas de chute de pression.

4.4.2 Les Inspection du BOP :

Il existe de nombreux types d'inspections pour le BOP, notamment :

*** Inspection visuelle :** L'inspection visuelle implique plusieurs pièces externes d'équipement telles que des BOP annulaires, des BOP à rams, Choc line et kill line et des unités d'accumulateur. Les directives d'inspection visuelle sont fournies dans les directives d'inspection BOP de surface [15].

***Contrôle fonctionnel :** Ce contrôle vérifie que les différentes fonctions du BOP fonctionnent correctement, telles que l'actionnement des vérins, des obturateurs annulaires, des vannes de régulation, etc.

***Inspection des composants internes :** Certains BOP peuvent nécessiter une inspection plus détaillée des composants internes pour vérifier l'usure, la corrosion ou les dommages [15].

***Vérifiez les conduites et les connexions hydrauliques :** les conduites et les connexions hydrauliques doivent être inspectées pour détecter les fuites, les dommages ou les problèmes de connexion.

***Inspection de l'accumulateur et du système de contrôle :** Les accumulateurs hydrauliques et les systèmes de contrôle associés doivent être inspectés pour garantir leur bon fonctionnement et leur intégrité.

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

* il y a d'autres inspections plus spécifiques doivent être effectués à des endroits spécifiques. Ces endroits sont les plus sensibles à la corrosion et doivent être inspectées au moins tous les deux ans.

4.4.3 Analyse fonctionnelle du BOP par SADT :

Pour mieux appréhender le fonctionnement du système étudié, nous entreprendrons une analyse fonctionnelle du BOP en utilisant le diagramme SADT pour représenter l'ensemble du sous-système et les composants et le processus de maitrise de l'éruption ou Blowout lors des opérations de forage.

Le processus BOP est initié par le niveau A0 du diagramme SADT, tel qu'illustré dans la figure ci-dessous :

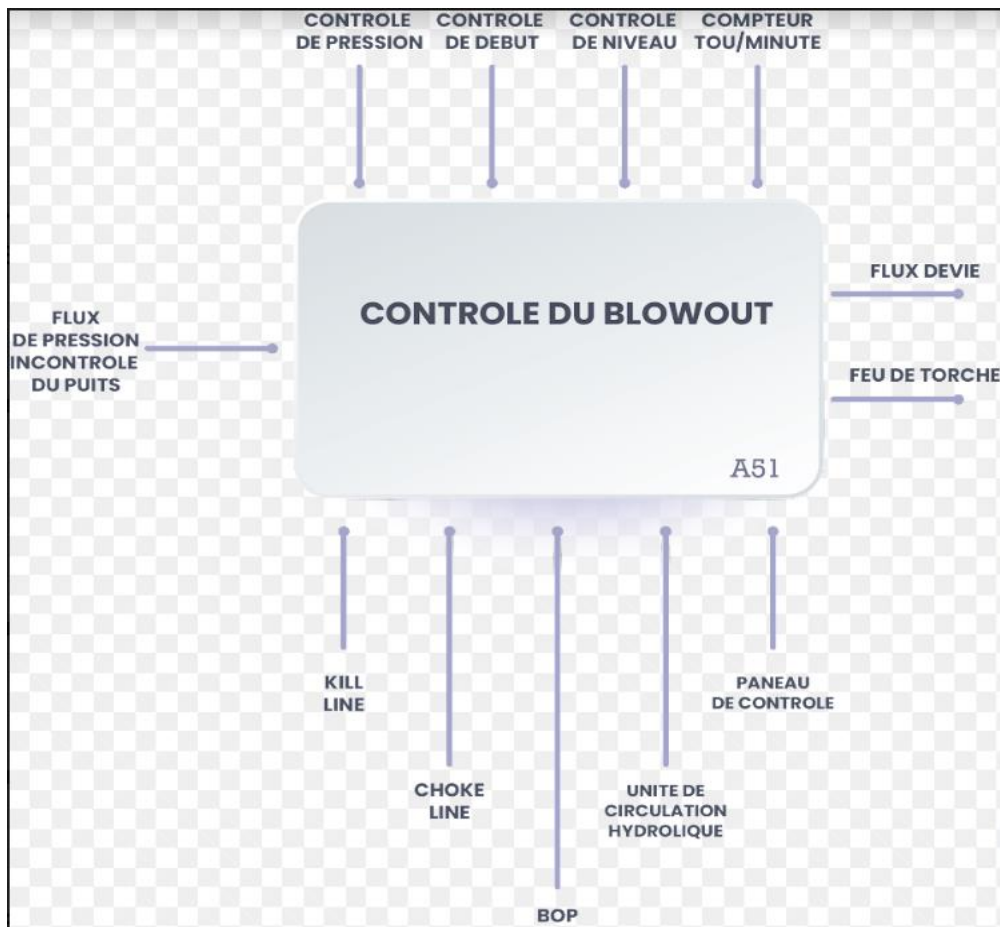


Figure 4. 3 : Diagramme SADT niveau A0

Pour mieux illustrer, le processus de contrôle de la pression implique une interaction complexe entre différents mécanismes. Voici une description détaillée du niveau A0 pour une meilleure compréhension présente dans figure suivant :

BOP

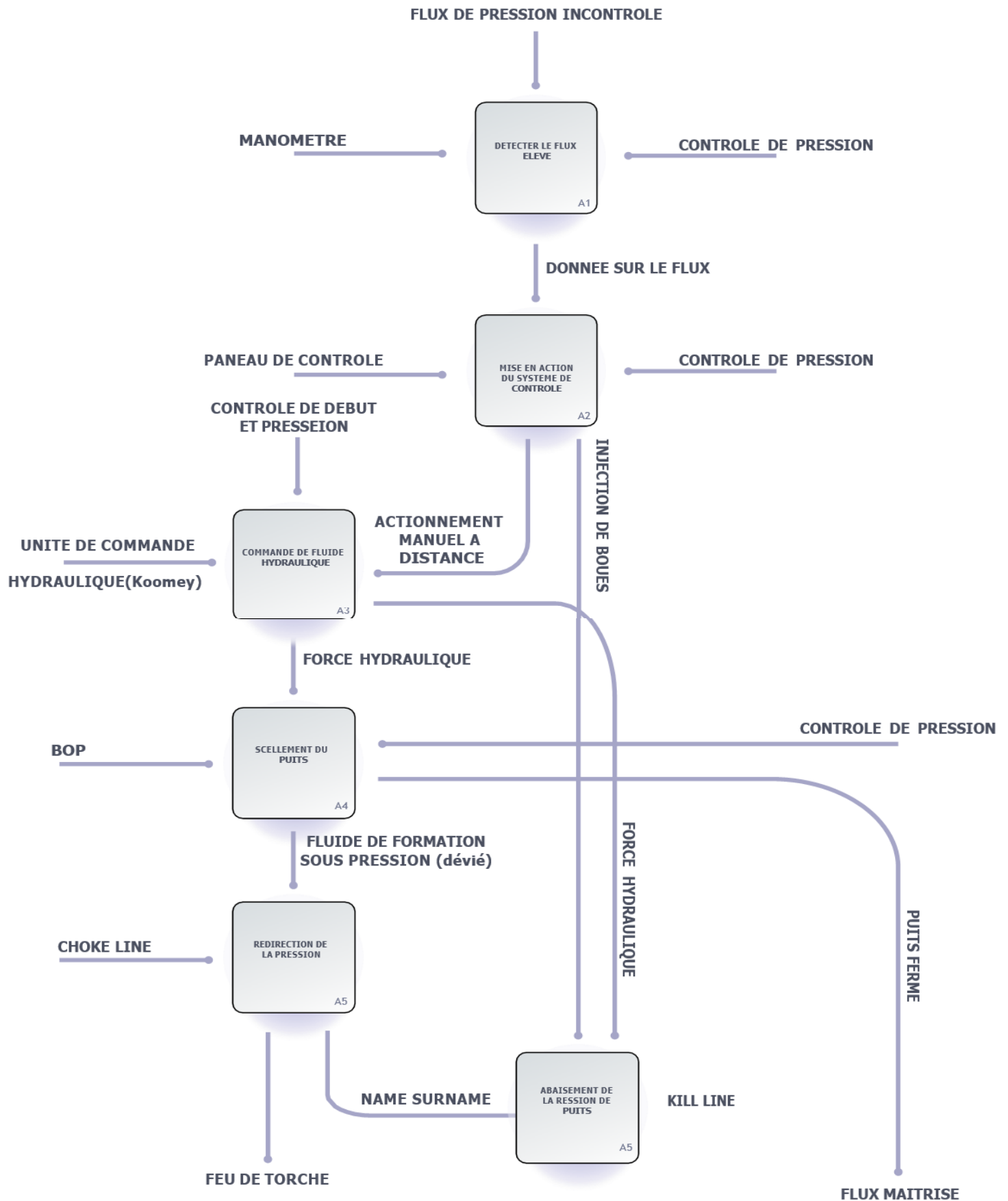


Figure 4. 4 : Diagramme SADT niveau A0 détaillé

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

À partir du schéma SADT niveau A0 détaillé, nous pouvons identifier cinq sous-systèmes principaux qui se distinguent :

- **A1. Détection du flux élevé** : Les appareils de mesure de pression détectent les augmentations anormales de pression exercées par la formation dans le puits, et cette information est traitée au niveau du panneau de contrôle [5].
- **A2. Mis en action du système de contrôle** : Dès qu'une anomalie est détectée, la procédure d'arrêt d'urgence démarre à partir de ce niveau. Le superviseur actionne le groupe hydraulique de circulation et donne l'ordre d'injection des boues [5].
- **A3. Commande de fluide hydraulique** : lorsque la boue de forage ne contrôle pas l'éruption, les signaux de commande sont envoyés depuis le panneau de contrôle, l'unité de commande interprète ces signaux et active les vannes et les actionneurs appropriés pour fournir la force hydraulique nécessaire pour effectuer les opérations nécessaires du BOP.

La figure suivant montre le niveau **A3** détaillé :

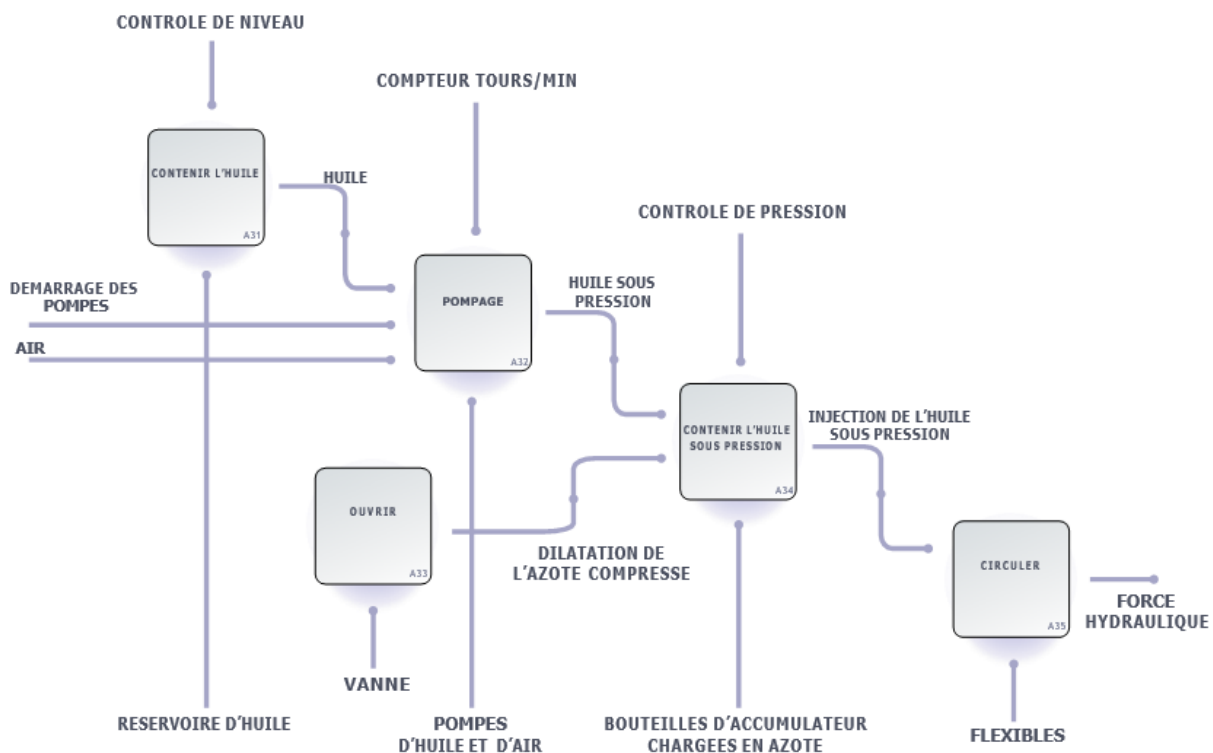


Figure 4. 5 : Diagramme SADT niveau A3 détaillé.

Dans ce sous-système, on peut distinguer les composants suivants :

– **Le réservoir d'huile** : Le réservoir fournit du fluide hydraulique à pression atmosphérique à la pompe à air et à la pompe hydraulique, qui à leur tour remplissent l'accumulateur. Une fois que le fluide est utilisé pour actionner le BOP, il retourne dans le réservoir, démontrant ainsi que le BOP fonctionne selon un système en boucle fermée.

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

– **Pompe à huile et pompe électrique** : Ces pompes sont employées dans le but de pressuriser le fluide hydraulique, qui est aspiré depuis le réservoir et ensuite refoulé vers l'accumulateur.

– **Accumulateur** : Ces unités sont conçues pour accumuler l'huile hydraulique sous pression qui provenant du réservoir et des pompes afin d'utiliser cette force hydraulique selon les besoins. L'accumulation se fait grâce à des systèmes comprenant une chambre à air et un flotteur dans les bouteilles d'accumulation.

•A4. Scellement du puits :

Au niveau A4, nous sommes entrés dans la phase de fermeture où les rams et le mécanisme de fermeture annulaire ont été activés pour sceller le puits. La figure suivante montre une représentation détaillée de cette étape :

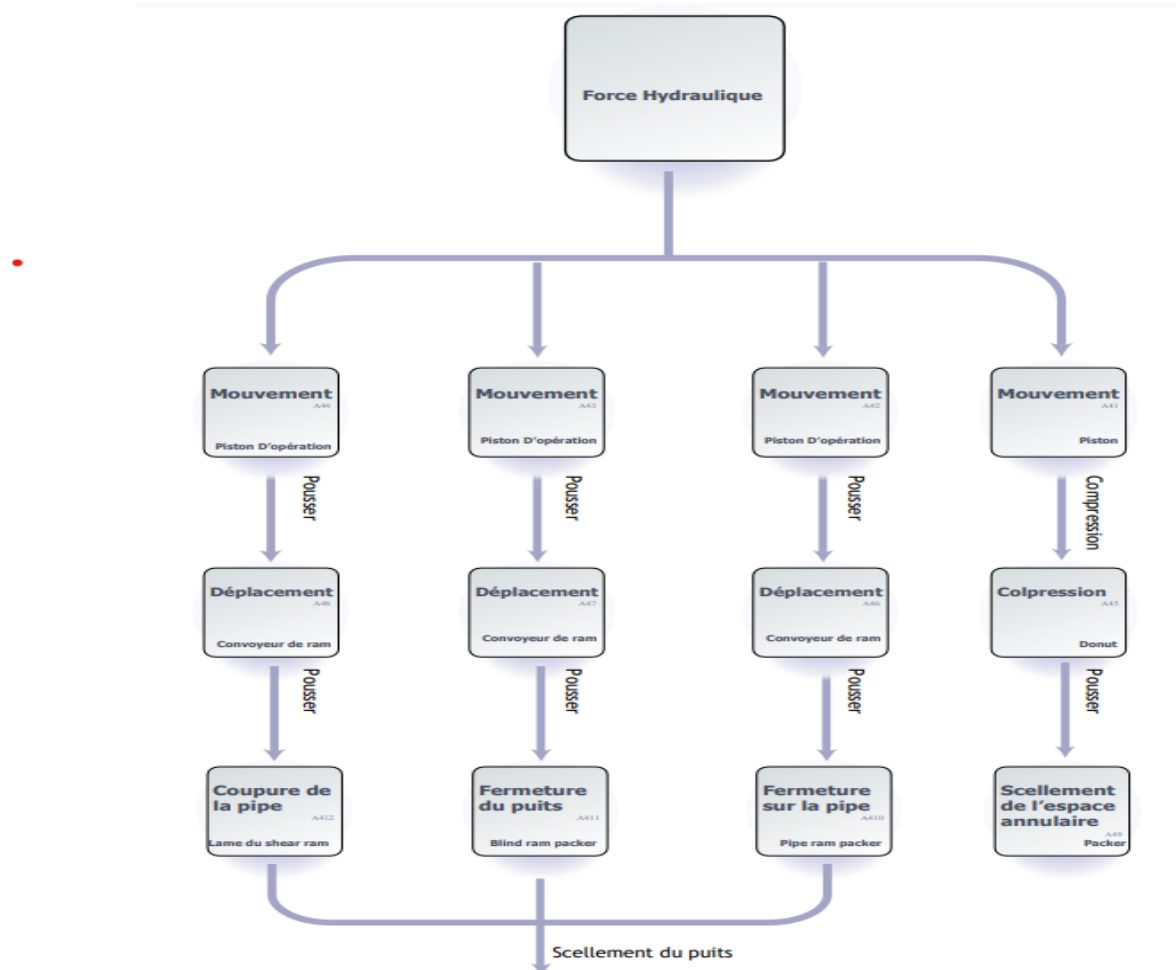


Figure 4. 6 : Diagramme SADT niveau A4.

Dans ce sous-système, on peut distinguer :

* **Fermeture de l'annulaire** : Le Fermeture de l'annulaire preventer est utilisé pour assurer l'étanchéité autour de divers équipements (tubing, tubage ...) utilisés dans les opérations de puits, quelle que soit leur taille ou leur forme. Le mécanisme de fermeture repose sur l'application d'une force hydraulique qui venait d'unité de commande d'après des flexible sur un piston situé dans la chambre de fermeture. La force exercée sur le piston par le fluide

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

dans les deux chambres d'opérations (chambre de fermeture et d'ouverture) entraîne le déplacement d'un anneau métallique appelé donut. Le donut exerce une pression sur l'unité packer, qui est un dispositif en caoutchouc conçu pour assurer l'étanchéité. L'unité packer vient ainsi fermer l'espace annulaire entre l'équipement utilisé et la paroi du puits, garantissant une fermeture hermétique et sécurisée.

*** Fermeture des rams :** Le mécanisme de scellement des rams fonctionne selon le même principe que celui de l'annulaire. La force exercée par le fluide hydraulique dans les chambres d'opération des deux côtés pousse le piston à se déplacer à l'intérieur du cylindre, ce qui à son tour pousse le convoyeur de ram. L'élément responsable de l'étanchéité lors de la fermeture autour du tuyau dans la pipe ram et le VRB ram est le packer. En revanche, le blind ram ne contient pas de packer, mais il est équipé de lames de cisaillement permettant de couper le tuyau. Ainsi, grâce à ce mécanisme, les rams assurent une fermeture étanche et sécurisée autour des différentes configurations de tuyaux utilisées lors des opérations de puits. Le top seal assure l'étanchéité à l'intérieur de la cavité afin de prévenir toute infiltration de fluides dans le système hydraulique en cas de défaillance du packer ou de corrosion du métal de la cavité. Son rôle est de maintenir l'intégrité du système en empêchant toute fuite indésirable qui pourrait compromettre le bon fonctionnement du BOP.

• **A5. Redirection de la pression :** Une fois que le puits est scellé par le BOP, la pression de puit générée doit être dirigée vers le choke manifold par le choke line.

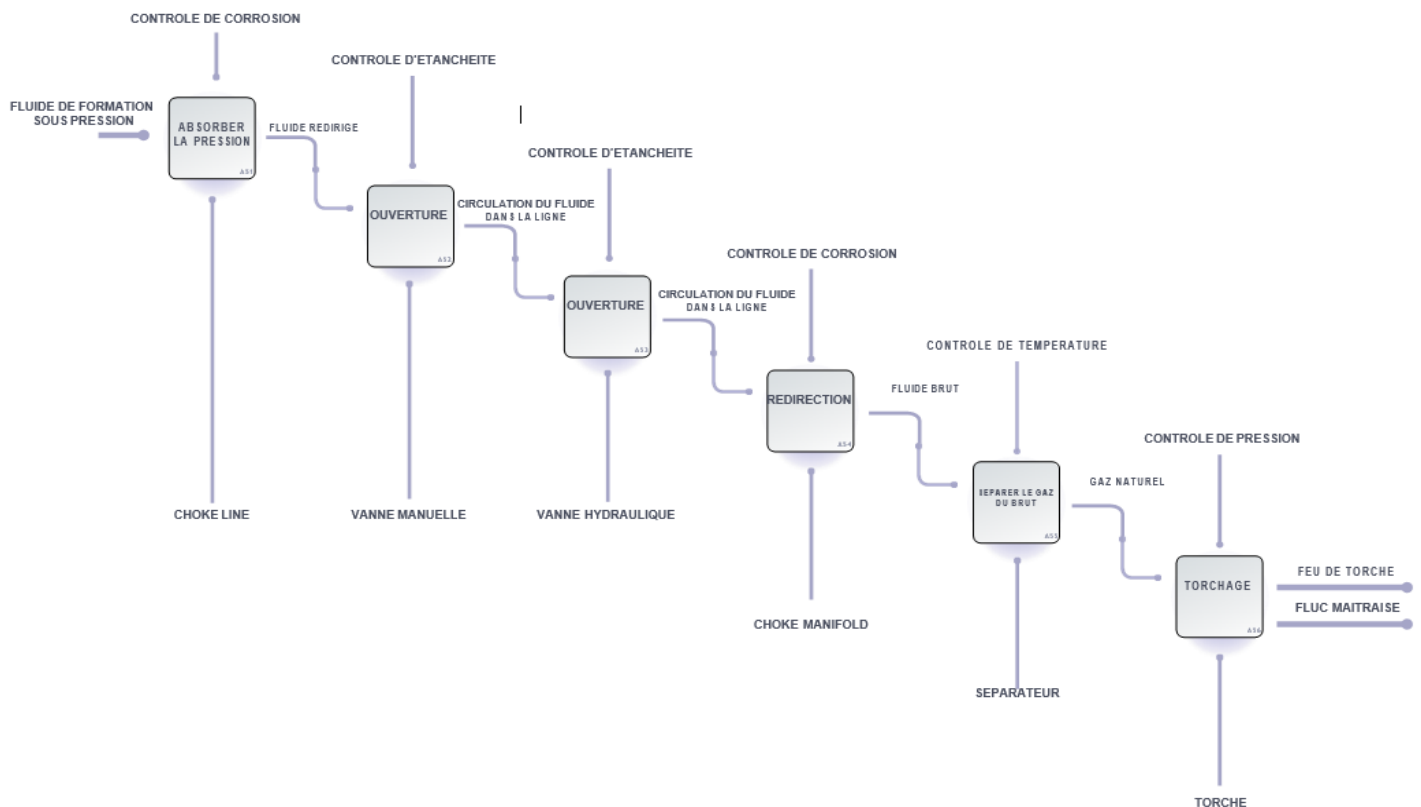


Figure 4. 7 : Diagramme SADT niveau A5.

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

Le niveau **A5** du processus représente cette étape de déviation de la pression :

* **Redirection** : Lors de la redirection de la pression provenant du BOP vers la ligne de "choke line" vers le séparateur, on utilise, par mesure de sécurité, une vanne manuelle et une vanne hydraulique montées en série [7]. La vanne hydraulique est celle qui est normalement utilisée pour les opérations, tandis que la vanne manuelle est maintenue en position ouverte en permanence et n'est actionnée que si nécessaire.

* **Séparer le gaz** : Le séparateur est un grand récipient cylindrique ou sphérique utilisé pour séparer les fluides de formation provenant du fond de puits en pétrole, gaz et eau. Les séparateurs peuvent être de type horizontal ou vertical, et ils peuvent être classés en tant que séparateurs biphasés ou triphasés.

* **Torchage** : C'est la combustion contrôlée de gaz naturel qu'est séparé par le séparateur au moyen d'une cheminée de torche située à une distance sécuritaire des installations de surface et du personnel. Le gaz naturel est brûlé dans le but d'éliminer les vapeurs potentiellement dangereuses et inflammables.

V.4.4 Analyse des défaillances :

Sur la base des informations collectées précédemment et de l'analyse fonctionnelle, nous identifierons les modes de défaillance pour chaque sous-système. Plusieurs composants peuvent avoir le même mode de défaillance, mais la cause et l'effet de la défaillance peuvent varier d'un composant à l'autre. Chaque mode de défaillance et leur effet et cause se voit attribuer un numéro d'identification unique conformément à la présentation du tableau AMDEC.

4.4.4.1 Evaluation des modes de défaillance et détermination leur criticité :

On évalue les modes de défaillance selon la criticité par la multiplication de les trois factures : la probabilité, la gravité et la détectabilité. [12]

$$C=P*G*D$$

4.4.4.2 Choix de l'échelle de cotation :

Pour mener notre étude, nous employons les échelles suivants :

Echelle de probabilité :

Tableau 4. 3 : Echelle de probabilité d'occurrence de la défaillance.

Niveau	Indice	Probabilité
Improbable	1	1 défaillance par 25 ans ou moins
Très faible	2	Maximum de 10 défaillance par 20ans
Modéré	3	Entre 1et 5 défaillance par 10ans
Elevé	4	Minimum de 5défaillances par 10 ans
Très élevé	5	Plus d'une défaillance par ans

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

Echelle de gravité :

Tableau 4. 4 : Echelle de gravité de la défaillance.

Niveau	Indice	Gravité
Gravité négligeable	1	N'a aucun effet sur la fonction principale du BOP, mais une maintenance est nécessaire une fois l'opération terminée.
Gravité très faible (mineure)	2	Perte partielle de la fonction BOP primaire et arrêt temporaire sur site de quelques heures à une journée.
Gravité faible (significative)	3	Perte partielle des principales fonctions de l'obturateur et arrêt temporaire entre 2 jours et 7 jours.
Gravité critique	4	perte partielle d'une fonction majeure Le BOP est compris entre 8 jours et un mois.
Gravité catastrophiques	5	Perte complète de la fonction BOP de base, révision exigences d'usine du fabricant, pas de délai (plusieurs mois)

Echelle de détectabilité :

Tableau 4. 5 : Echelle de détectabilité de la défaillance.

Niveau	Indice	Détectabilité
Détection très élevée	1	Détection lors d'une simple évaluation visuelle
Détection élevée	2	Détection possible avec des détecteurs (pression, niveau...)
Détection modérée	3	Défaut constaté par inspection Hebdomadaire (liste, échantillonnage)
Détection faible	4	Défaut détecté lors de la maintenance préventive
Détection très faible	5	Les pannes sont détectées par des tests périodiques (Essais de pression hydrostatique et hydrostatique)

4.4.4.3 Grille d'AMDEC :

Une fois que l'échelle de cotation des trois paramètres (gravité, fréquence, non détection) a été sélectionnée, nous procédons au remplissage de notre tableau AMDEC, en répartissant les informations sur les sous-systèmes principales étudiés d'après SADT, comme illustré ci-dessous :

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

Tableau 4. 6 : Tableau d'application la méthode AMDEC sur le BOP

Sous-Système duBOP	Composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de la Défaillance sur lesystème	Calcul du Risque				code	Informations et Recommandation sadditionnels
						P	G	D	C		
1 - Annular Prevenir	1.1 - Body/ corps		- Rayures des gorges (Grooves)	-Particules de sable et de roche provenant du puits sous haute pression -Choc	-Fuite provenant du puits	3	4	4	48		
			- Corrosion des gorges (grooves)	- Nature corrosive des fluides provenant du puits -Détérioration du BOP en raison d'un mauvais stockage à long terme et de facteurs externes	-Fuite des fluides et liquides provenant du puits	2	4	4	32		
			- Fissure externe	-Choc excessif pendant le transport et sur le chantier ou lors de l'installation	- Fuite provenant du puits	1	5	1	5		

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

			- Endommagement des zones d'étanchéité	- Contact entre le piston et les particules de sable provoquant un frottement contre la surface du corps.	-Pénétration de l'huile de son chemin	3	4	4	48		
	1.2 - Packer	Scellement de l'espace annulaire	-Déformation, Usure, Vieillissement, Détérioration	- Usure, fonctionne à long temps -Rupture	- Le packer ne se ferme pas complètement autour du tuyau. - Fuite provenant du puit -puits non sécurisé	3	4	3	36		- Renouvellement automatique du packer après un certain nombre d'opérations et directement lorsque la défaillance du packer
			- Blocage	- Blocage du mécanisme de fonctionnement du packer en raison de la présence de débris de cimentation durcis.	- Le packer ne se ferme pas complètement autour du tuyau.	2	4	4	32		-Supervision des travaux de cimentation surtout s'ils sont fournis par un prestataire externe

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

	1.3 - Composants hydrauliques	Convertir la force hydraulique en force mécanique	- Corrosion du piston	- Propriétés agressives du fluide provenant du puits. -Qualité de l'huile du système hydraulique utilisée.	-Réduction de la puissance mécanique. -Mauvaise ouverture/fermeture de l'annulaire.	2	4	4	32		
			- Défaillance du piston	-Vieillessement, Détérioration au fil du temps -Usage abusif -Actionnement excessive	- perte de l'intensité de la force mécanique. -Non ouverture/fermeture de l'annulaire	2	4	4	32		
			- Déformation et déchirure des joints	-Usure	-Perte de pression -Fuite d'huile entre les chambres d'ouverture et fermeture.	3	4	4	48		
2 - BOP A RAMS	2.1 - Système hydraulique	Actionnement des rams (Ouverture et fermeture)	- Rupture des joints du système hydraulique	-Usure	-Pénétration de l'huile hors son chemin dans le circuit inverse	3	4	5	60		
			- Corrosion des composants (piston Operating, Pistons Ram changes, Cylindres...)	-Propriétés agressives du fluide provenant du puits et qualité de l'huile du système hydraulique utilisée	- Réduction de la puissance mécanique. - Non-ouverture/fermeture correcte de la ram	2	4	4	32		
			- Rayures sur cylindres et sur les pistons	- Infiltration des particules présentes dans l'huile.	-Diminution de la performance du piston.	3	4	5	60		

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

	2.2 - Système mécanique		-Égratignures des cavités des rams des deux côtés	- Propriétés corrosives du fluide provenant du puits + cimentation + Boue de forage -Endommagement des Rams	-Introduction de fluides du puits dans la chambre d'opération	3	5	5	100		
			- Corrosion des cavités des rams des deux côtés	- Propriétés corrosives du fluide provenant du puits + cimentation + Boue de forage -les facteurs externe lors le mauvais stockage du BOP	-Endommagement des rams -Pénétration du fluide du puits dans l'opération	3	5	5	75		
			- Rayures des gorges (grooves)	- Particules de sable et de roche provenant du puits sous haute pression - Choc dut au mauvais stockage du BOP	-Fuite des fluides vient du puit	4	4	5	80		

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

			- Non serrage complet et correcte des bonnets sur le corps	-Erreur de l'opérateur	-Fuite de l'huile hydrostatique - Défauts dans le filetage	4	4	4	64		
			- Formation des bouchons dans les cavités de rams	- Absence de nettoyage des rams.	- Durée d'actionnement prolongée	4	3	5	60		
	2.3 - Pipe ram	Scellement du puits autour du pipe	- Déformation du joint d'étanchéité (Packer) et du joint supérieur (Top seal)	-Vieillessement - Usure, fonctionne à long temps	- Perte d'étanchéité : le packer n'est pas solidement attaché à la pipe.	4	3	3	36		- Renouvellement d'une nouvelle packer après un certain nombre d'opérations spécifié.
			- Déformation/rupture des joints	-Usure -Vieillessement	- Fuite interne/externe de fluide hydraulique	4	3	3	36		- Renouvellement automatiquement des joints
	2.4 –Shear rams, Blind rams	- Coupure à travers le tubage défini et expansion pour assurer la fermeture	- Déformation du packer et du top seal	-Vieillessement -Usure	- Perte d'étanchéité : le packer n'est pas solidement attaché à la pipe.	4	2	4	32		Renouvellement automatique du packer après un certain nombre d'opérations et directement lorsque la défaillance du packer
			- Rayure dans le corps de la ram	- Particules de sable et de roche provenant du puits à haute pression.	- Détérioration de la ram	3	3	4	36		

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

		e du puits de forage. De plus, apte à fermer un puits ouvert sans utilisation de colonne de tubage.									
			-Lame de cisaillement endommagée	-Usure	-Non coupure complète du tuyau	2	3	4	24		
			-Lame de cisaillement inopérante	-Pression hydraulique insuffisante - Ram inappropriée pour le type et la configuration du tuyau	- Échec de la coupure du tuyau	1	3	3	9		- Vérification des spécifications techniques des tuyaux pour garantir que les rams sont adaptés à la capacité de coupe.
Autres											
3- Unité de commande hydraulique (Amont du BOP)	3.1 - Réservoir	Stock le fluide hydraulique	- Rupture	-Taille inadéquate du réservoir	-Fuite du l'huile hydraulique	2	1	2	4		
			- Mauvaise indication du niveau	-Détecteur de niveau endommagé	- Incapacité d'actionner en raison d'une faible force hydraulique	3	1	3	9		-Vérification périodiques appareils de mesures

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

			- Contamination de l'huile	-Mauvaise entretien de l'huile	- Dégradation des caractéristiques de l'huile et perte de sa qualité -Endommagement rapide d'autres composants	4	1	3	12		- Les filtres seront examinés lors des opérations d'entretien périodiques afin de détecter d'éventuelles particules présentes dans le fluide hydraulique. - Une procédure d'échantillonnage régulier de l'huile sera mise en place à partir de la purge pour permettre l'analyse de sa qualité.
3.2 - Bouteilles Accumulateur	Contenir l'huile sous-pression		- Eclatement de la vessie de l'azote	-Vieillessement -Erreur lors du remplissage	-Présence du l'azote dans le circuit d'huile - Réduction du débit d'huile et de la pression hydraulique.	1	1	2	2		- Ne pas dépasser une pression de 3000 psi dans les bouteilles. -Inspection des bouteilles
			- Vanne de remplissage endommagé	-Vieillessement, usure de la bouteille -Fuite depuis la vanne de remplissage	-Fuite d'azote. - Pression de nitrogène insuffisante (diminution de la capacité de la bouteille impactée)	3	1	1	3		- Ne pas dépasser une pression de 3000 psi dans les bouteilles. -Inspection des bouteilles

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

3.3 - Pompes (à air et électriques)	Fournir l'huile pressurisé nécessaire pour contenir dans les bouteilles	-La pompe ne démarre pas lorsqu'elle est activée.	- Endommagement de courrois de transmission - Des erreurs électriques, des erreurs mécaniques et des dommages à l'entraînement de la chaîne.	-La pompe affecté n'est plus opérationnelle -Diminution de la pression	4	1	1	4		-Faire des entretiens périodiques sur les pompes
		- Dégradation de la performance de la pompe.	-Piston endommagé (fissure, déformation, fuite du joint) - Clapet anti- retour endommagé. -Vieillessement de la pompe -Filtre bouché	- Débit et pression insuffisant de la pompe affectée	4	1	3	12		- L'entretien et l'inspection du BOP comprennent des procédures spécifiques. -Parmi ces procédures de maintenance préventive, il y a la vérification régulière de l'entraînement de la chaîne.
		- Endommagement des composants internes de la pompe	-Cavitation	- Pompe en panne	4	1	4	16		En cas de défaillance, plusieurs pompes sont disponibles en tant que solution de secours.

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

			- Démarrage intempestif de la pompe	-Défaillance électrique.	-	2	1	2	4		-Vérification du niveau de pression pour savoir si la pompe démarre Lorsque non prévu.
			- Filtre d'huile bouché	-Mauvaise qualité de l'huile -Contamination de L'huile	- Réduction du débit - Possibilité de formation de cavitation	4	1	2	8		-Mettre deux filtres en filtre en parallèle pour d'accumulateur réduire la probabilité.
			-Pas de filtrage en amont de la pompe	-Rupture du filtre -Installation inadéquate - Type de filtre inadéquat	-Risque de boucher des conduites -Potentiel fuite de l'huile -contamination des bouteilles d'accumulateur	3	1	3	9		-Inspection des installations
	3.4 - Appareils de mesure de débit et de pression	Fournir des informations sur l'état (pression et débit) du système hydraulique	- Défaillance de transmetteur du niveau de pression/débit (perte de signal)	-Défaillance mécanique -Défaillance électrique	-Perte de lecture de pression/débit du transmetteur affecté	3	1	3	9		-Etalonnage périodique
			- Défaillance de transmetteur du niveau de pression/débit (signal erroné)	-Défaillance mécanique -Défaillance électrique	-Fausse lecture de pression/débit du transmetteur affecté	4	1	3	12		-Vérification journalière de fonctionnement (monitoring)

CHAPITRE V : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

	3.5 - Soupapes de sécurité (PSV)	Réduction de la pression pour éviter la surpression des équipements	- Ouvrir lorsque l'ouverture n'est pas prévue	- Erreurs humaine (erreur d'installation) - Mauvais point de placement - Erreur de calibrage	- Perte de pression dans le système hydraulique.	3	2	2	12		- Vérification des PSV lorsque la pression chute de façon répétée.
4 - Panneau de control		Initier la commande électrique pour la fonction BOP, les vannes, le débit hydraulique.	- Non émission du signal électrique pour certains vannes ou le BOP	- Câble d'alimentation électrique défectueux. - Erreur humaine lors de l'actionnement du Panneau	- Pas de déclenchement des vannes ou du BOP	1	4	3	12		
5 - Choke line et kill line		Orienter le flux de pression et injecter les boues pour son atténuation	- Fissure des conduites	- Choc externe (installation) - Surpression	- Fuite des fluides déviés du BOP	1	2	5	10		
			- Conduite bouchée	- Présence de roches et objets bloquants provenant du puits	- Incapacité de circuler les fluides du puits lors d'un kick	2	2	5	20		
			- Les internes (gate seat, seal seat) endommagés	- Rayures - Corrosion	- Fuite	2	3	4	24		

CHAPITRE 4 : APPLICATION DE LA METHODE SADT ET AMDEC SUR LE BOP

4.4.5 Interprétation :

Grâce à l'analyse AMDEC, nous avons identifié 41 modes de défaillance qui impactent les fonctions du BOP. Nous avons constaté que le vieillissement et l'usure des composants sont les causes les plus fréquentes de pannes, principalement au niveau des composants consommables tels que les joints et les packers.... Un autre facteur important à prendre en compte est l'agressivité des fluides provenant du puits, tels que le pétrole brut et les boues de forage injectées. Il est donc recommandé de nettoyer le BOP après chaque opération afin de prévenir la corrosion des cavités et les perforations.

Afin de quantifier la criticité d'un mode de défaillance mentionné dans le tableau AMDEC, on se réfère à sa valeur de criticité, et le mode de défaillance avec la valeur la plus élevée est considéré comme critique et prioritaire. En collaboration avec l'équipe de ENTP, nous avons développé une grille de cotation pour classer les défaillances, comme présenté dans le tableau suivant :

Tableau 4. 7 : Intervalle de criticité.

NIVEAU DE CRITICITE	SOUS-SYSTEME ET ORGANES	CODE COULEUR
$0 \leq C \leq 30$ Criticité négligeable	-Annulaire -Body/corps (MD03) -BOP à rams -Shear ram, Blind ram, Blind shear ram (MD 03 ET 04) -Système hydraulique (Amont du BOP) -Réservoir -Bouteilles accumulateur -Pompe hydraulique et à air - Appareils de mesure de débit et de pression - Soupapes de sécurité -Panneau de contrôle -Choke line et Kill line	VERT
$31 \leq C \leq 50$ Criticité modéré	-Annulaire -Body/corps (MD 01 et 02 et 04) -Packer -Composants hydrauliques -BOP à rams - Système hydraulique (MD 02) -Pipe ram - Shear ram, Blind ram, Blind shear ram (MD01 et 02)	JAUNE
$51 \leq C \leq 120$ Criticité élevé	-BOP à rams - Système hydraulique (MD 01 et 03)	ROUGE

	-Système mécanique	
--	--------------------	--

À partir de ce tableau et en fonction de la valeur critique, les modes de défaillance peuvent être divisés en différentes catégories de risque. Les modes de défaillance avec une valeur seuil inférieure à 31 sont considérés comme ayant un niveau de risque négligeable. Lorsque le seuil est compris entre 31 et 50, le mode de défaillance n'est pas prioritaire mais provoque un risque à long terme. En revanche, si la valeur critique dépasse 50, le mode de défaillance est considéré comme à haut risque et intolérable.

4.4.6 Hiérarchisation des modes de défaillances :

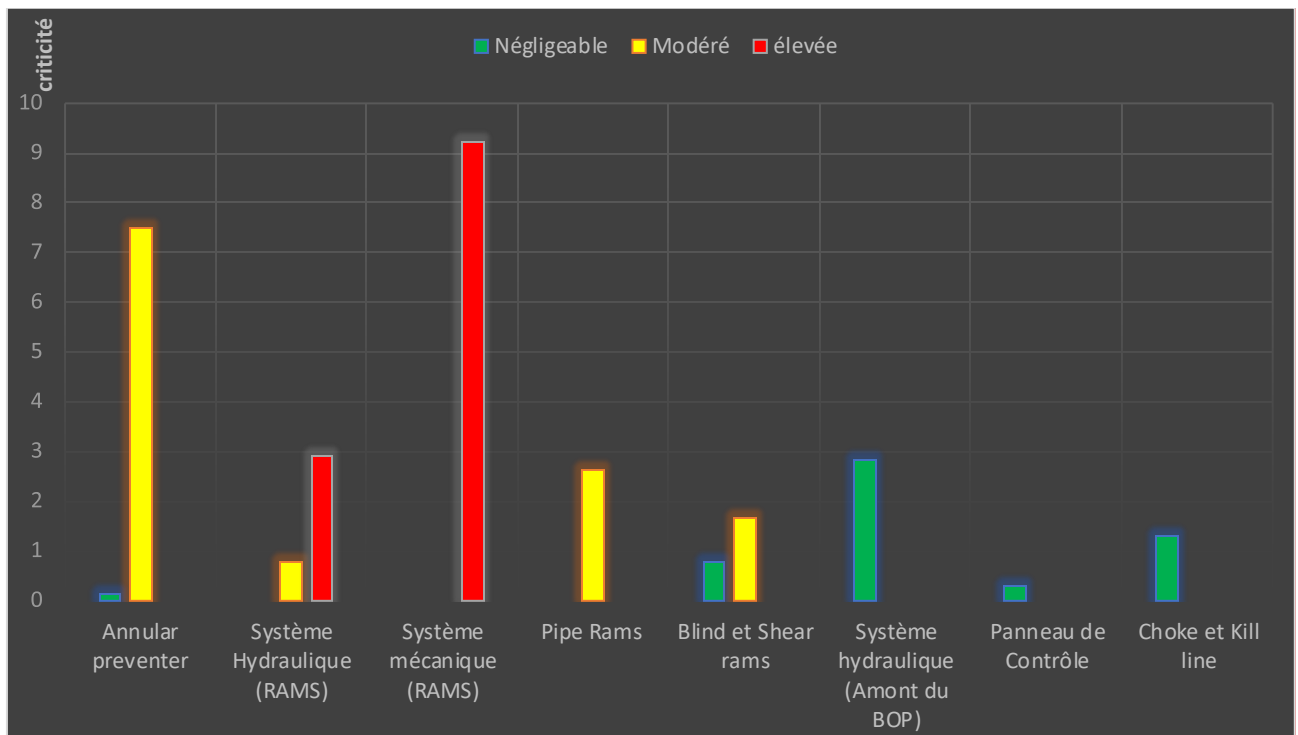


Figure 4. 8 : Hiérarchisation des modes de défaillances selon leur criticité.

À partir de ce diagramme, on observe que les modes de défaillances ayant une criticité négligeable ne représente pas un niveau de risque significatif qui affectent les sous-systèmes suivant :

- Choke line et kill line.
- Panneau de contrôle.
- Système hydraulique (Amont du BOP).

Par contre, les modes de défaillance ayant une $C \geq 31$ présente un risque élevée à long terme qui affectent les sous-système critique suivants :

- Annulaire preventer.
- Système mécanique du BOP à rams.
- Système hydraulique des rams.
- Pipe rams.

- Blind et shear rams.

En conséquence, ces sous-systèmes qui ont une criticité élevée seront pris en compte lors du calcul de la fiabilité, dans le prochain chapitre.

V.5 Conclusion :

Dans la première section du chapitre, nous avons abordé et présenté les deux méthodes d'analyse, à savoir l'AMDEC et la méthode de modélisation SADT. Grâce à la méthode SADT, nous avons été en mesure de représenter de manière schématique le fonctionnement du système du BOP, ainsi que l'interaction entre ses différents composants, aussi bien ceux situés en amont que ceux en aval. Cette analyse fonctionnelle nous a permis d'appréhender de manière détaillée les différents éléments du système et leur rôle dans son bon fonctionnement. Au cours de cette analyse, nous avons observé que le processus d'actionnement du BOP se déroule en plusieurs étapes. Tout d'abord, la détection d'un flux de surpression est effectuée, puis l'unité d'accumulateurs génère une force hydraulique. Cette énergie est ensuite convertie en énergie mécanique au niveau de la chambre d'opération du système hydraulique des rams et de l'annulaire, permettant ainsi de sceller le puits. Le flux de pression est ensuite redirigé vers la ligne de choke, où il est séparé et brûlé. Parallèlement, le kill line injecte les boues pour contrer la force de pression de la formation.

Dans la seconde partie, nous avons analysé les différents modes de défaillance potentiels identifiés du BOP et des systèmes adjacents par la méthode AMDEC. Nous avons ensuite évalué chaque mode de défaillance en fonction de trois critères : la probabilité, la gravité et la détectabilité de la panne. En utilisant ces évaluations, nous avons pu estimer la criticité associée à chaque mode de défaillance. Nous avons identifié 41 défaillances, dont 20 ont été jugées négligeables, tandis que les 21 restantes présentent un risque élevé à court ou à long terme, marquant les sous-systèmes critiques qui présentent une criticité ($C \geq 31$) qui seront pris en compte lors du calcul de la fiabilité dans le prochain chapitre.

CHAPITRE 5 : CALCUL DE FIABILITE DU BOP

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

CHAPITRE 5 : Calcul de fiabilité du BOP

5.1 Introduction :

Pour les systèmes de sécurité qui ne sont activés qu'en cas de dépassement des limites de tolérance (systèmes actionnés sur demande), nous nous sommes obligés de concentrer sur le calcul de la probabilité de défaillance sur demande (PFD).

La probabilité de défaillance à la demande fait repère à la probabilité que le système ne réponde pas lorsqu'il est invoqué. La probabilité moyenne de défaillance, appelée PFD_{moy} , quantifie la probabilité que le système ne répond pas à une requête dans un intervalle de temps donné. Un PFD_{moy} de 0,01 signifie qu'en moyenne toutes les 100 requêtes, le système sera indisponible.

On peut utiliser différentes lois de distribution pour estimer la probabilité de défaillance, telles que la loi exponentielle, la loi normale, la loi de Weibull, et autres. Dans notre étude, nous avons choisi d'utiliser la loi exponentielle, qui est une loi simple où le taux de défaillance est constant.

5.2 Calcul du PFD :

Le BOP fonctionne selon un mode de demande, ce qui rend le calcul de la probabilité moyenne de défaillance sur demande (PFD_{moy}) essentiel pour évaluer la fiabilité et la disponibilité de cette barrière de sécurité. Lorsqu'un équipement est soumis à des tests à intervalles de temps réguliers τ et présente un taux de défaillance λ , la densité de probabilité est généralement décrite par une loi exponentielle, dont l'équation est la suivante 5.1 :

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (5.1)$$

L'expression de sa fonction de fiabilité est formulée selon l'équation 5.2 comme suit :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5.2)$$

La formule du PFD est exprimée par l'équation VI.3 [16] :

$$\begin{aligned} PFD_{moy} &= 1 - \frac{1}{t} \int_0^t R(t) dt \\ &= 1 - \frac{1}{\lambda t} (1 - e^{-\lambda t}) \end{aligned} \quad (5.3)$$

En appliquant le développement limité de Taylor, on simplifie l'expression exponentielle de l'équation 5.2 : $e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} - \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \frac{(\lambda t)^4}{4!} + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!}$

Et on substitue dans l'équation (5.3) Ce qui nous donne l'équation 5.4 suivante :

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

$$\text{PFD}_{\text{moy}} = 1 - \frac{1}{\lambda t} \left(\lambda t - \frac{(t\lambda)^2}{2} + \frac{(t\lambda)^3}{3!} - \frac{(t\lambda)^4}{4!} + \dots + \frac{(t\lambda)^n}{n!} \right) \quad (5.4)$$

Si $\lambda t < 10^{-2}$ nous pouvons utiliser la simplification indiquée dans l'équation 5.5 :

$$-\frac{(t\lambda)^2}{2} + \frac{(t\lambda)^3}{3!} - \frac{(t\lambda)^4}{4!} + \dots + \frac{(t\lambda)^n}{n!} = -\frac{(t\lambda)^2}{2} \quad (5.5)$$

Après simplification de l'équation 5.3 on obtient l'équation 6.6 suivante :

$$\text{PFD}_{\text{moy}} = 1 - \frac{1}{t\lambda} \left(t\lambda - \frac{(t\lambda)^2}{2} \right) = \frac{t\lambda}{2} \quad (5.6)$$

Pour $t = \tau$:

$$\text{PFD}_{\text{moy}} = \frac{\tau\lambda}{2} \quad (5.7)$$

Pour appliquer la formule présentée dans l'équation 5.7, il est nécessaire de calculer le taux de défaillance λ associé à chaque sous-système critique identifié dans le chapitre précédent. Une fois ces calculs sont effectués, nous utiliserons le diagramme de fiabilité en bloc pour extraire la formule du PFD_{moy} du BOP.

5.3 Bloc Diagramme de fiabilité BDF :

Le bloc diagramme de fiabilité est un outil graphique utilisé pour représenter les relations entre les composants d'un système et évaluer la fiabilité globale du système. Le diagramme est construit pour représenter les différents composants du système. En utilisant le diagramme, on peut modéliser les différentes configurations de défaillance possibles du système et calculer la probabilité de chaque configuration. Cela permet d'évaluer la fiabilité globale du système en prenant en compte les défaillances individuelles de ses composants.

5.3.1 Schématisation du BDF du système :

Lors de l'analyse du diagramme SADT, nous avons effectué une analyse fonctionnelle détaillée du système BOP, en examinant les fonctions amont et aval. Ensuite, nous avons identifié les risques associés à chaque composant ainsi que leur niveau de criticité, basé sur la probabilité, la gravité et la détectabilité des défaillances.

Dans cette partie, nous allons représenter graphiquement la séquence logique des composants qui présentent les pannes les plus critiques, affectant la fonction du BOP, ainsi que leur redondance. Afin de construire le BDF du système, il est essentiel de commencer par déterminer le type d'empilement utilisé dans la région où notre échantillon opère (Hassi Messaoud).

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

En effet, le tableau 5.1 présente de manière résumée les différents empilements qui sont possibles selon les spécifications de l'API 53 concernant les BOP de surface pour chaque classe de pression [14]:

Tableau 5. 1: Différents empilements possibles selon les spécifications de l'API 53 concernant les BOP de surface.

Classes de pression (psi)	Nombre minimal équipements BOP à installer	Type et nombre de BOP nécessaire			
		Annular preventer	Pipe ram	Blind ram	Shear ram
2k	2	0	1	1	0
		0	1	0	1
3k	4	1	2	1	0
		1	1	1	1
5k	4	1	1	1	1
		1	2	0	1
10k	4	1	1	1	1
		1	2	1	0
		1	2	0	1
15k	4	1	1	1	1
		1	2	1	0
		1	2	0	1
20k	4	1	1	1	1
		1	2	1	0
		1	2	0	1

➤ **Caractéristiques de région de forage :**

Les données utilisées pour le calcul de PFD_{moy} proviennent principalement de la région de HMD [17].

- **Situation géographique**

La région de Hassi Messaoud (HMD), localisée dans le nord du bassin de Berkine, renferme le plus vaste gisement de pétrole en Algérie et sur tout le continent africain. Le champ de HMD se situe à environ 850 kilomètres au sud d'Alger, à 280 kilomètres au sud du champ de gaz condensat de Hassi R'Mel, et à 350 kilomètres à l'ouest de la frontière tunisienne.

- **Caractéristiques des réservoirs :**

Tableau 5. 2 : Caractéristiques des réservoirs se trouvant dans la Région de HMD

Profondeur du reservoir	3600 m
Pression lors du forage	3000 psi
Présence des reservoirs de Gaz naturel	Peu présent
Présence de H ₂ S	Non

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

Dans ce chapitre, notre objet est de mener une étude dans la région de HMD. Cette région présente des pressions pouvant atteindre jusqu'à 3000 psi ou plus (nous prenons 3000psi dans nos étude). Par conséquent, dans notre étude, nous considérerons l'utilisation d'un BOP de classe 3k, comme indiqué dans le tableau précédent qui présente différentes configurations d'empilement de BOP possibles. Nous nous concentrerons plus particulièrement sur la deuxième configuration, qui sera représentée sous forme d'un schéma BDF, comme illustré dans la figure. Le choix de l'empilement détermine la construction du BDF du système BOP, comme représenté dans la figure suivante :

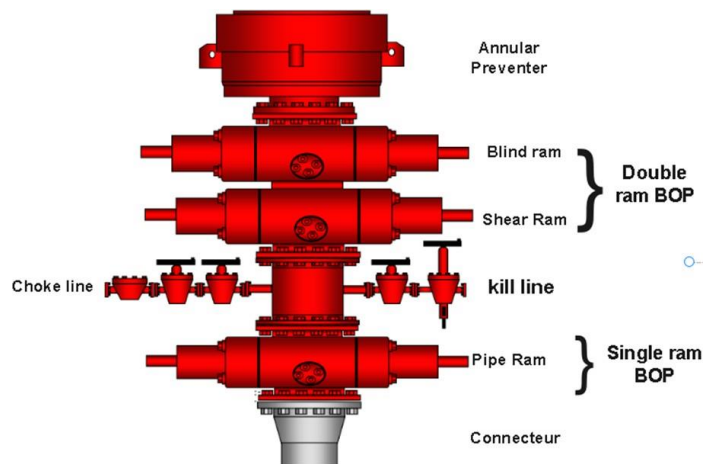


Figure 5. 2: BOP

D'après le type d'empilement choisi, le BDF du système est illustré dans la figure 5.2 :

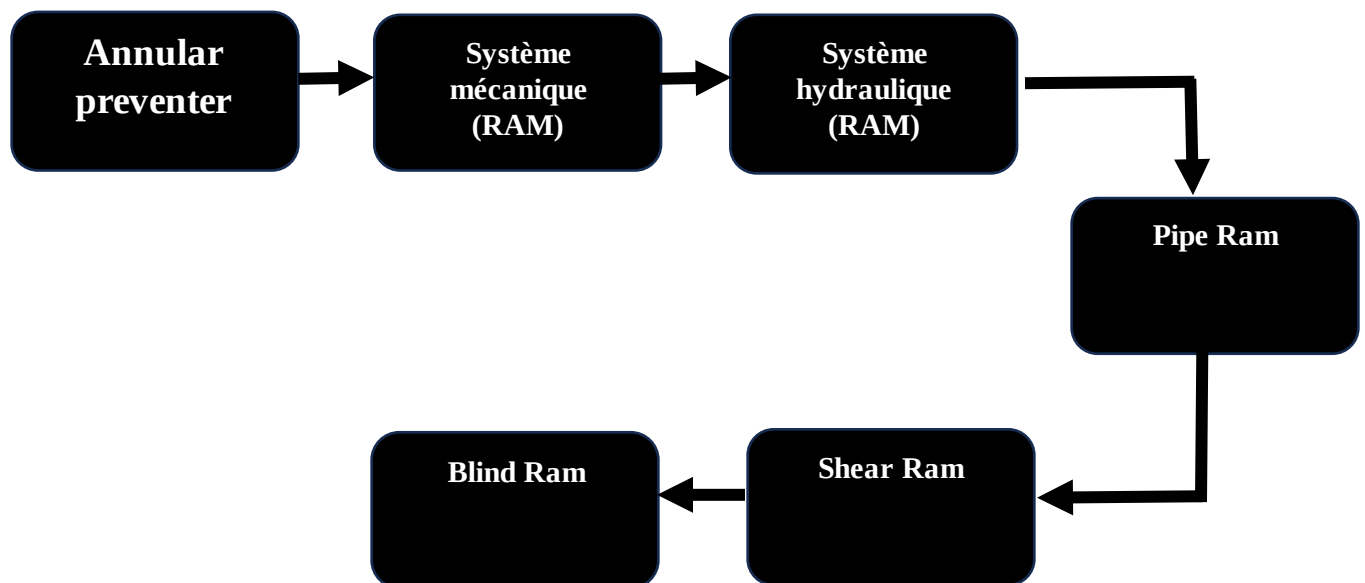


Figure 5. 3 : Schéma du BDF du BOP avec l'empilement choisi

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

5.4 Calcul :

5.4.1 Calcul du PFD_{moy} de chaque sous-système :

L'étude a été réalisée sur un ensemble de 8 BOP utilisant la configuration d'empilement mentionnée précédemment, Les données du tableau 5.3 ont été fournies par le chef mécanicien de l'ENTP, qui est le responsable des BOP sur lesquels nous avons effectué notre stage pratique.

Le tableau 5.3 ci-dessous présente les résultats des calculs des PFD pour chaque composant :

Tableau 5. 3 : les résultats des calculs des PFD pour chaque échantillons.

Composants	τ (jours)	BOP 1			BOP 2		
		MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy} *	MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy} *
Annular preventer	21	511	1,95	0,0205	487	2,05	0,0215
Sys mec (ram)	21	595	1,68	0,0176	523	1,91	0,0205
Sys Hyd (ram)	21	480	2,08	0,0218	486	2,06	0,0216
Pipe ram	21	376	2,65	0,0278	450	2,22	0,0233
Shear ram	30	870	1,14	0,0171	938	1,06	0,0159
Blind ram	21	625	1,60	0,0168	451	2,21	0,0232
Composants	τ (jours)	BOP 3			BOP 4		
		MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy}	MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy} *
Annular preventer	21	399	2,50	0,0262	219	4,57	0,0479
Sys mec (ram)	21	529	1,89	0,0198	321	3,11	0,0326
Sys hyd (ram)	21	514	1,94	0,0204	207	4,83	0,0517
Pipe ram	21	434	2,30	0,0241	448	2,23	0,0234
Shear ram	30	1016	0,98	0,0147	620	1,61	0,0215
Blind ram	21	616	1,62	0,0170	725	1.38	0,0145
Composants	τ (jours)	BOP 5			BOP 6		
		MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy}	MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy}
Annular preventer	21	717	1,39	0,0146	820	1,22	0,0128
Sys mec (ram)	21	517	1,93	0,0202	526	1,90	0,0199
Sys hyd (ram)		616	1,62	0,0170	527	1,89	0,0198
Pipe ram	21	525	1,90	0,0199	817	1,22	0,0128
Shear ram	30	1138	0,87	0,0131	925	1,08	0,0162
Blind ram	21	715	1,40	0,0147	747	1,33	0,0139
		BOP 7			BOP 8		

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

Composants	τ (jours)	MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy}	MTBF	Taux de défaillance λ 10^{-3} (Jours $^{-1}$)	PFD _{moy}
Annular preventer	21	836	1,19	0,0125	644	1,55	0,0163
Sys mec (ram)	21	625	1,6	0,0168	743	1,34	0,0141
Sys hyd (ram)	21	460	2,17	0,0228	679	1,47	0,0154
Pipe ram	21	415	2,41	0,0253	944	1,06	0,0111
Shear ram	30	719	1,39	0,0208	966	1,04	0,0156
Blind ram	21	605	1,65	0,0173	596	1,68	0,0176

Les résultats recueillis dans le tableau VI.3 confirment que la condition $\lambda\tau < 10^{-2}$ est satisfaite pour tous les composants, ce qui justifie l'utilisation de l'équation VI.7. Nous observons que les Shear ram présentent un MTBF élevé, principalement en raison de leur utilisation restreinte. En effet, la procédure de coupure de la pipe n'est utilisée qu'en cas d'urgence extrême. Cependant, ils présentent une probabilité de défaillance sur demande minimale en raison de l'intervalle de test de bon fonctionnement de 30 jours, qui est plus long que celui des autres composants fixés à 21 jours.

PFDmoy Les Composants	BOP 1	BOP 2	BOP 3	BOP 4	BOP 5	BOP 6	BOP 7	BOP 8	PFDmoy sur l'ensemble des BOP
Annulaire preventer	0,0205	0,0215	0,0262	0,0479	0,0146	0,0128	0,0125	0,0163	0,0215375
Sys méc (RAM)	0,0176	0,0205	0,0198	0,0326	0,0202	0,0199	0,0168	0,0141	0,0201875
Sys Hyd (RAM)	0,0218	0,0216	0,0204	0,0517	0,017	0,0198	0,0228	0,0154	0,0238125
Pipe ram	0,0278	0,0233	0,0241	0,0234	0,0199	0,0128	0,0253	0,0111	0,0209625
Shear ram	0,0171	0,0159	0,0147	0,0215	0,0131	0,0162	0,0208	0,0156	0,0168625
Blind ram	0,0168	0,0232	0,017	0,0145	0,0147	0,0139	0,0173	0,0176	0,016875

D'autre part, le système hydraulique affiche la probabilité de défaillance sur demande la plus élevée en moyenne. Cela s'explique par son implication dans la plupart des fonctions du BOP et la présence de composants consommables tels que les joints d'étanchéité, qui se détériorent rapidement avec une utilisation fréquente, comme indiqué dans le tableau de l'AMDEC. Par conséquent, ces défaillances peuvent entraîner des pannes nécessitant l'arrêt de la production.

5.4.2 Calcul du PFDsys de chaque échantillon :

Selon le diagramme de fiabilité présenté dans la figure, tous les composants sont disposés en série, ce qui signifie qu'une défaillance d'un seul composant entraînera l'échec de la mission du BOP, rendant le système considéré comme défaillant.

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

Les normes CEI 61508 [18] et CD CEI 62061 [19] proposent l'utilisation de l'équation suivante (5.8) pour calculer le PFDsys des sous-systèmes disposés en série :

$$\mathbf{PFD_{sys} = \sum PFD_{moy}} \quad (5.8)$$

Les calculs des PFDsys pour chaque échantillon sont présentés dans le tableau 5.5 ci-dessous :

Tableau 5. 4 : Résultats de calcul des PFDsys des BOP étudiés.

BOP	PFD_{sys.}
1	0,1216
2	0,1260
3	0,1222
4	0,1916
5	0,0995
6	0,0954
7	0,1155
8	0,0901

5.4.3 Schématisation du BDF du BOP :

Selon les résultats du tableau 5.4, nous constatons que le BOP N° 8, utilisé dans la région d'étude, présente un PFDsys minimal de 0,0901. Le BOP N° 4, quant à lui, affiche la valeur maximale de 0,1916. Les autres échantillons ont des PFDsys de 0,1216 pour le BOP 1, 0,1260 pour le BOP 2, et 0,1222 pour le BOP 3. Les échantillons 5, 6 et 7 présentent des PFDsys de 0,0995, 0,0954 et 0,1155 respectivement. En moyenne, les 8 BOP étudiés dans la région de HMD ont un PFDsys de 0,120. Un PFDsys de 0,120 indique qu'en moyenne, le BOP a une probabilité de 12% de subir une défaillance dans l'un des composants pris en compte lors du calcul, entraînant ainsi l'incapacité d'accomplir l'une de ses fonctions principales.

Les résultats des calculs sont visualisés dans le graphique présenté dans la figure 5.4 ci-dessous :

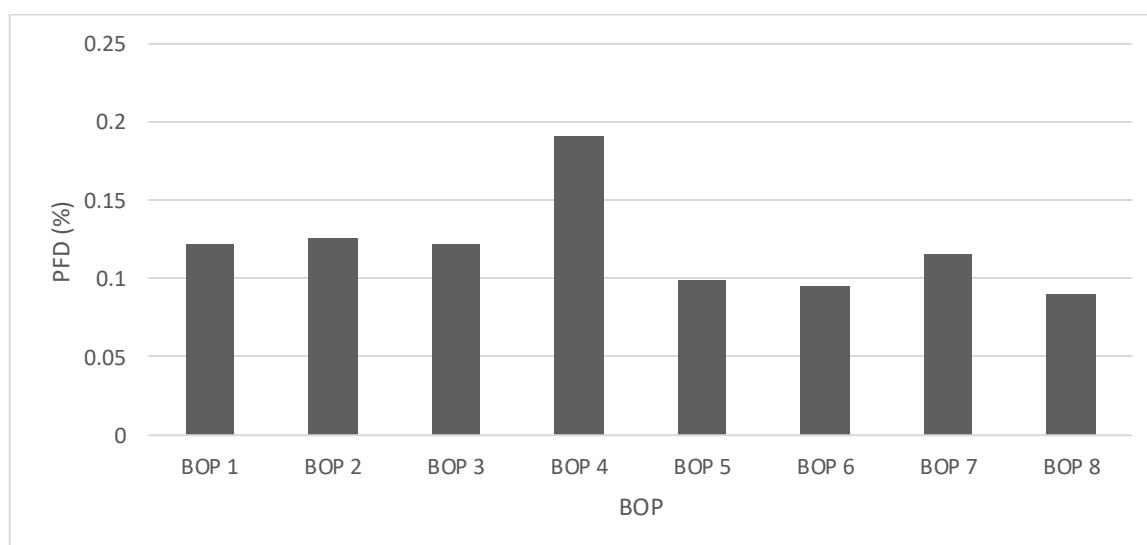


Figure 5. 4 : Schématisation du BDF (Bloc Diagramme de fiabilité) du BOP avec l'empilement choisi.

Chapitre 5 : Calcul de fiabilité du BOP

5.4.3.1 Interprétation :

En analysant le diagramme, nous pouvons observer que les quatre premiers échantillons de BOP présentent des valeurs de PFD relativement élevées, avec une valeur maximale de 0,1916 pour l'échantillon 4 et une valeur minimale de 0,1216 pour l'échantillon 1. La moyenne de ces quatre échantillons est de 0,1404. En revanche, les derniers échantillons affichent des valeurs de PFDsys plus faibles, avec une valeur maximale de 0,1155 et une valeur minimale de 0,0901. Leur moyenne est de 0,1001. Ces résultats s'expliquent par les différentes caractéristiques des emplacements des échantillons dans la région de Hassi Messaoud. En effet, la région est soumise à des pressions élevées pouvant dépasser les 3000 psi, ce qui entraîne une usure plus rapide des BOP. De plus, la profondeur des réservoirs, qui peut atteindre jusqu'à 4000 mètres, fait que chaque BOP est soumis à des conditions de forage prolongées. Une autre contrainte est la fréquence des tempêtes de sable dans la région de Hassi Messaoud, ce qui augmente le risque de pénétration de débris de sable dans les conduites lors des opérations de maintenance, entraînant ultérieurement des défaillances au niveau des joints.

En conclusion, les valeurs de PFDsys reflètent les risques de défaillance associés à chaque échantillon de BOP. Plus la valeur de PFDsys est élevée, plus le risque de défaillance du système est élevé. Ainsi, une valeur de PFDsys plus basse indique une meilleure fiabilité et une probabilité plus faible de défaillance pour le BOP correspondant.

5.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons calculé la probabilité de défaillance sur demande pour huit échantillons prélevés dans la région de Hassi Messaoud des composants susceptibles de connaître des pannes jugées critiques selon la méthode AMDEC dans le chapitre précédent.

Les résultats ont démontré que le BOP utilisé dans les opérations de forage dans la région sahariennes HMD de l'Algérie, présente un PFDsys de 0.12, ce qui indique qu'il est fiable dans 88% des cas.

Conclusion générale

En conclusion, cette étude visait à évaluer et quantifier la fiabilité de l'équipement de sécurité essentiel dans les opérations de forage dans les régions sahariennes de l'Algérie HMD (TP214), plus précisément le BOP (Blowout Preventer). Le BOP représente la dernière barrière de sécurité du puits, et son efficacité et sa fiabilité sont d'une importance cruciale.

En analysant en détail chaque composant du système de contrôle du flux de surpression, nous avons pu démontrer que le bon fonctionnement du BOP dépend de l'interaction coordonnée de plusieurs éléments en amont et en aval. Nous avons également constaté que le processus de contrôle du puits implique une interaction complexe entre plusieurs composants et équipements, avec des systèmes fonctionnant en redondance pour prévenir les pannes.

Après avoir effectué une analyse des modes de défaillance et évalué le niveau de risque pour chaque composant par la méthode AMDEC, nous avons identifié les composants critique présentant un niveau de risque élevé à long terme, tels que l'annular preventer, le système hydraulique et mécanique des rams, ainsi que les pipe rams, blind rams et shear rams.

Nous avons ensuite procédé à une étude de fiabilité approfondie en évaluant la probabilité de défaillance sur demande (PFD) du BOP, en prenant en compte la disposition en série des composants critiques dans le bloc diagramme de fiabilité. Les résultats ont révélé une fiabilité moyenne du BOP de 88% indiquant une probabilité moyenne de 12% de défaillance du BOP.

Une défaillance du BOP pourrait compromettre sa capacité à remplir ses fonctions essentielles, entraînant ainsi des risques pour la sécurité des personnes et de l'environnement. Pour cela il est recommandé de mettre en place des mesures préventives et correctives pour réduire davantage le PFDsys et renforcer la fiabilité du BOP. Cela peut impliquer la mise en œuvre de programmes de maintenance préventive rigoureux, des inspections régulières, une formation approfondie des opérateurs et l'utilisation de technologies avancées pour la surveillance en temps réel du BOP.

Bibliographie

- [1] www.entp.dz.
- [2] SH-ENTP, Présentation de l'ENTP, 2017.
- [3] M. Guebli, Cours Généralité sur appareil de forage, 2020/2021.
- [4] J. P. Nguyen, «Technique d'exploitation pétrolière – LE FORAGE –,» 1993.
- [5] ENSPM, Équipement de contrôle de venue formation industrie — ifp training, 2006.
- [6] <https://www.drillingmanual.com/annular-bop-blowout-preventer-cameron-hydril>, «Drilling Manual,».
- [7] INERS, Document de synthèse relatif à une barrière de sécurité sur les installations de forage d'hydrocarbures onshore bloc obturateur de puits (bop)., 2019.
- [8] «World Petroleum Supply,» Inc 2017-2022.
- [9] ABB offshore System OPERATION AND MAINTENANCE MANUEL & MANUFACTURING DATA BOOK for BOP Control System, Année 2003.
- [10] Drilling - Fundamentals of Exploration & Production. 1996, Editions Technip, Paris, ISBN: 978-2-7108-0689-9.
- [11] Fahim Ahmed. Using structured analysis and design technique (SADT) for simulation on conceptual modelling. PhD thesis, Loughborough University, 2016.
- [12] Halimi.D. cours AMDEC 2016/2017.
- [13] <https://www.google.dz/#q=Application+de+/'AMDEC+sur+la++-+Essounni+maria> 771.
- [14] API. Recommended practices (rp) 53 for blowout prevention equipment systems for drilling wells, 1997.
- [15] WJ Kandel and DJ Streu. A field guide for surface bop equipment inspections. In IADC/SPE Drilling Conference. OnePetro, 1992.
- [16] Marvin Rausand. Reliability of safety-critical systems : theory and applications. John Wiley & Sons, 2014.
- [17] Maghreb hydrocarbures. <https://www.populationdata.net/cartes/maghreb-hydrocarbures/>, 2017. [Consultée avril 2022].
- [18] Lefayet Sultan Lipol and Jahirul Haq. Norme cei 61508, sécurité fonctionnelle des systèmes électriques / électroniques programmables relatifs à la sécurité. Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse., page Parties 1 à 7, octobre-2010.

- [19] Pascal Lamy. Probabilité de défaillance dangereuse d'un système : explications et exemple de calcul. PhD thesis, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2002.