

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



**Schlumberger**

Département

Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux

Filière QHSE-GRI

Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en QHSE-GRI

---

**Maîtrise des risques des opérations de Coiled Tubing lors de  
la reprise des puits pétroliers en Algérie.**

---

Réalisé par :

**Chakib GUETTOUCHE**

Sous la direction de :

Dr. BENTAALLA-KACED Souad      Maitre de conférences B à l'ENP

Dr. BOUSBAL M'hamed      Maitre de conférences B à l'ENP

M. FOUL Bilal      HSE Spécialiste à Schlumberger

Présenté et soutenu publiquement le 30-06-2019 devant le jury composé de :

---

Président	Pr. BENKOUSSAS Bouzid	Professeur, ENP
Examineur1	M. KERTOUS Aboubaker	Maitre-assistant à l'ENP
Examinatuer2	M. Mohamed BOUBAKEUR	Maitre-assistant à l'ENP

---



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Ecole Nationale Polytechnique



**Schlumberger**

Département

Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux

Filière QHSE-GRI

Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en QHSE-GRI

---

**Maîtrise des risques des opérations de Coiled Tubing lors de  
la reprise des puits pétroliers en Algérie.**

---

Réalisé par :

**Chakib GUETTOUCHE**

Sous la direction de :

Dr. BENTAALLA-KACED Souad      Maitre de conférences B à l'ENP

Dr. BOUSBAL M'hamed      Maitre de conférences B à l'ENP

M. FOUL Bilal      HSE Spécialiste à Schlumberger

Présenté et soutenu publiquement le 30-06-2019 devant le jury composé de :

---

Président	Pr. BENKOUSSAS Bouzid	Professeur, ENP
Examineur1	M. KERTOUS Aboubaker	Maitre-assistant à l'ENP
Examinatuer2	M. Mohamed BOUBAKEUR	Maitre-assistant à l'ENP

---

---

# Dédicaces

A la mémoire de mon grand-père,

A mes chers parents,

A Abdelaziz, Zineb,

A Youmna, Meriem,

A tous mes proches,

A tous mes amis,

Je dédie ce modeste travail.

G. Chakib

---

# Remerciements

Mes remerciements vont tout d'abord à mes encadreurs **Dr BENTAALLA Souad** et **Dr BOUSBAI M'hamed**, pour leur encadrement, disponibilité et leurs précieux conseils qui m'ont aidés à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux membres du jury, **Pr. BENKOUSSAS B**, Professeur à l'ENP et chef du département MRIE, qui m'a fait l'honneur d'accepter de présider ce jury, **M. KERTOUS A**, Maitre-assistant à l'ENP et **M. BOUBAKEUR M** Maitre-assistant à l'ENP qui ont bien voulu corriger ce travail.

Mes vifs remerciements s'adressent également à mon promoteur d'entreprise **M. FOUL Bilal** HSE spécialiste au sein de l'entreprise Schlumberger, pour m'avoir fait confiance et la mise à ma disposition de toutes les ressources nécessaires pour l'accomplissement de ma mission.

Je remercie également toute la jeune équipe de Schlumberger, ce fut un plaisir de travailler avec eux. Une pensée particulière à **M. FUAD Muhamed** l'ingénieur Coiled Tubing.

Ma gratitude se destine également à tous les enseignants du Département MRIE de l'Ecole Nationale Polytechnique qui ont contribué à notre formation et notre suivi durant notre passage à l'ENP.

Je n'oublie pas de remercier tous ceux qui m'ont apporté leurs appuis, particulièrement : mes parents et ceux qui ont toujours cru en moi.

Enfin mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى اقتراح حلول وتوصيات للتحكم في مخاطر عمليات الأنابيب المرنة داخل شركة Schlumberger. إن النهج الذي يعتمد على التحليل الوظيفي (SADT) وتحليل أوضاع الفشل وتأثيراتها قد أعطانا الظواهر الغير مرغوب فيها التي يمكن أن تنتج. من أجل معالجة المشكلة، تم اقتراح حلين متكاملين، إجراء لمنع المخاطر وحمايتها أثناء عمليات الأنابيب المرنة وتطبيق رقمي يسمى Coiled Tubing App

**الكلمات المفتاحية:** SADT، تحليل أوضاع الفشل وتأثيراتها، أنابيب المرنة، CT، CTApp، التحكم في المخاطر، الإجراءات.

## Abstract:

The aim of this study is to propose solutions and suggestions for the risk management of Coiled Tubing operations within Schlumberger. An approach focusing on the functional decomposition (SADT) and the analysis of failure modes and their effects (FEMA) helped us to detect the undesirable effects that can result. To address the problem, two solutions were proposed, a procedure for the prevention and protection of risks during Coiled Tubing operations based on a digital application called Coiled Tubing App.

**Keywords:** FEMA, SADT, Coiled Tubing, CT, CTApp, Risk management, Procedure.

## Résumé :

Cette étude a pour but de proposer des solutions et recommandations pour la maîtrise du risque des opérations de Coiled Tubing au sein de l'entreprise Schlumberger. Une démarche axée sur la décomposition fonctionnelle (SADT) ainsi que l'analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE) nous a permis de déceler les effets indésirables qui peuvent en résulter. Afin de répondre au problème, nous avons proposé deux solutions, une procédure pour la prévention et la protection des risques lors des opérations de Coiled Tubing et une application numérique nommée Coiled Tubing App.

**Mots clés :** AMDE, SADT, Coiled Tubing, CT, CTApp, Maîtrise du risque, Procédure.

# TABLE DES MATIERES

Listes des Tableaux .....	
Liste des Figures .....	
Abréviations.....	
INTRODUCTION GENERALE .....	13
Chapitre I : CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE.....	16
1.1. Contexte général.....	16
1.1.1. Introduction .....	16
1.1.2. Présentation de l'entreprise Schlumberger .....	16
1.2. Généralités sur les puits pétroliers .....	18
1.2.1. Puits pétroliers.....	18
1.2.2. Types d'opérations sur un puits de pétrole .....	20
1.3. Le Coiled Tubing.....	21
1.3.1. Historique de Coiled Tubing.....	21
1.3.2. Les Applications du Coiled Tubing .....	22
1.3.3. L'activité de Coiled Tubing .....	25
1.4. Accidentologie liée au Coiled Tubing.....	25
1.5. La problématique du projet de fin d'étude .....	27
1.6. Méthodologie .....	28
1.7 Conclusion .....	28
Chapitre II MAITRISE DE RISQUE : METHODES ET OUTILS .....	30
2.1. Introduction.....	30
2.2. Concept général de la maitrise de risque .....	30

2.3. Méthodes et outils d'analyse .....	30
2.3.1. Méthode Structured Analysis and Design Technics (SADT) : .....	30
2.3.2. Analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE) .....	32
2.3.3. Logiciel Ramus Educational .....	35
2.3.4. Logiciel Visual Studio .....	36
2.3.5. Langage de programmation C Sharp.....	36
2.4. Conclusion : .....	37
3. GENERALITE SUR L'UNITE DE COILED TUBING.....	39
3.1. Introduction.....	39
3.2. Unité de Coiled Tubing.....	39
3.2.1. Le Bloc d'alimentation.....	40
3.2.2. La Cabine de Contrôle/Commande.....	40
3.2.3. Bobine de Coiled Tubing.....	41
3.2.4. Tête d'injecteur.....	42
3.2.5. Équipements de contrôle de pression.....	43
3.2.6. Unité de pompage d'azote .....	46
3.2.7. Unité de pompage du fluide.....	46
3.3. Conclusion .....	46
4. APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS.....	48
4.1. Introduction.....	48
4.2. Décomposition SADT.....	48
4.2.1. Diagramme SADT de l'unité de Coiled Tubing.....	48
4.3. Application de l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets.....	55
4.3.1. Utilité de l'AMDE ? .....	55

4.3.2. Déroulement de l'AMDE : .....	55
4.4. Les résultats de l'AMDE .....	58
4.4.1. Interprétation des résultats.....	59
4.4.2. Classification des effets selon les composants.....	60
4.6. Conclusion .....	61
5. SOLUTIONS POUR LA MAITRISE DU RISQUE .....	63
5.1. Introduction.....	63
5.2. Le logiciel CTApp .....	63
5.2.1. Le schéma du fonctionnement du logiciel.....	64
5.3. Procédure de prévention et protection d'accident lors d'une opération de Coiled Tubing.....	70
5.4 Conclusion .....	71
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS .....	72
Références Bibliographiques .....	74
Annexe .....	75

## Listes des Tableaux

Tableau 1.1. Localisation des unités de SLB à travers le monde.....	30
Tableau 2.1. Tableau récapitulatif du déroulement d'une AMDE.....	39
Tableau 4.1. Découpage du système bloc d'alimentation .....	61
Tableau 4.2. Découpage du système bobine.....	61
Tableau 4.3. Découpage du système injecteur.....	62
Tableau 4.4. Découpage du système équipements de contrôle de pression.....	62
Tableau 4.5. Découpage du système équipements de contrôle de pression.....	62
Tableau 4.6. Découpage du système pompage du fluide.....	63
Tableau 4.7. Les effets recensés suite à l'AMDE et leurs pourcentages.....	63

## Liste des Figures

Figure 1.1. Les équipements de fond et de surface d'un puits.....	24
Figure 1.2. Fonctionnement d'un puits producteur.....	25
Figure 1.3. Nettoyage d'un puits pétrolier.....	28
Figure 1.4. Diagramme circulaire représentant les pourcentages des différents degrés des accidents de Coiled Tubing durant l'année 2018 selon QUEST	31
Figure 1.5. Diagramme circulaire représentant le pourcentage des incidents ou accidents lors d'une intervention : lier montage du BOP sur la tête du puits, 2ème montage du Stripper sur le BOP, Démontage des équipements de contrôle de pression, Opération du déploiement du tube à l'intérieur du forage	32
Figure 2.1. Modèle d'un diagramme d'une SADT.....	36
Figure 2.2. L'interface d'accueil du logiciel Ramus Educational.....	40
Figure 2.2. L'interface d'accueil du logiciel Visual studio 2019.....	41
Figure 3.1. Présentation d'une unité de Coiled Tubing et ses composantes	44
Figure 3.2. La bobine de Coiled Tubing. A. bobine de CT vue de face. B. bobine de CT vue de dessus. (1. système d'entraînement de bobine. 2. Assemblage de nivellement).	46
Figure 3.3. Tête d'injecteur 1. Moteur d'entraînement de l'injecteur. 2. Chaînes d'entraînement, tendeurs de chaîne intérieurs et extérieurs. 3 Arches de guidage. 4. Capteur de poids. 5. Montage du stripper	47
Figure 3.4. La disposition des trois barrières pour contrôler la pression.....	49
Figure 3.5. Les mâchoires du Quad BOP.....	50
Figure 3.6. Combi BOP.....	51
Figure 4.1. Diagramme SADT CTU Niveau A0.....	53
Figure 4.2. Diagramme SADT Niveau A0 détaillé.....	54
Figure 4.3. Diagramme SADT Niveau A1 sous-système alimentation en énergie	55
Figure 4.4. Diagramme SADT A2 sous-système déploiement du tube.....	55
Figure 4.5. Diagramme SADT A3 sous-système injection du tube.....	56
Figure 4.6. Diagramme SADT Niveau A4 sous-système étanchéisation du puits	57

Figure 4.7. Diagramme SADT Niveau A4 sous-système étanchéisation du puits (isolation du tube)	57
Figure 4.8. Diagramme SADT Niveau A4 sous-système étanchéisation du puits (arrêt d'urgence)	58
Figure 4.9. Diagramme SADT Niveau A1 sous-système alimentation en énergie (conversion de l'énergie mécanique en hydraulique)	58
Figure 4.10. Diagramme SADT niveau A0 système production de l'azote gazeux.	59
Figure 4.10. Diagramme SADT Niveau A0 système pompage du fluide.....	60
Figure 4.11. Diagramme circulaire représentant la fréquence d'occurrence des effets	64
Figure 4.12. Diagramme circulaire représentant les défaillances classées selon le composant	65
Figure 5.1. Interface de l'application CTAApp.....	69
Figure 5.2. Principe de fonctionnement de l'application.....	69
Figure 5.3. La fenêtre représentant les informations du puits à remplir.....	70
Figure 5.4. La fenêtre mentionnant le PI&D.....	72
Figure 5.5. La fenêtre mentionnant la FDS.....	72
Figure 5.6. La fenêtre représentant la configuration N°1.....	82
Figure 5.7. La fenêtre représentant la configuration N°2.....	82
Figure 5.8. La fenêtre représentant la configuration N°3.....	83
Figure 5.9. La fenêtre qui permet d'obtenir les procédures d'urgence.....	83

## **Abréviations**

**AMDE** : Analyse des modes de défaillance et leurs effets

**BOP**: Blow Out Preventer

**BP**: BRITISH PETROLEUM

**C#** : C sharp

**CT**: Coiled Tubing

**CTApp** : Coiled Tubing Application

**CTU** : Unité de coiled tubing

**DHSV** : Down Hole Safety Valve

**ECP** : Equipement de contrôle de pression

**ENP**: Ecole Nationale Polytechnique

**FFG**: Formation fluid gradient (psi/ft)

**MRIE** : Maitrise des risques industriels et environnementaux

**NAF** North africa GeoMarket

**PI&D** : Process and instrumentation diagram

**Pluto** : Pipe Lines under the Ocean

**PROS** :Société de Prospection Électrique

**SADT** :Structured Analysis and Design Technics

**SLB**: Schlumberger

**TVD** : True Vertical Depth (**ft**)

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, l'industrie du pétrole et du gaz est dominante. Elle représente la première source de revenu et le pilier de l'économie algérienne.

La production d'un gisement pétrolier comprend, généralement, plusieurs étapes. Après la récupération primaire utilisant la pression du gisement comme moteur de la production et la récupération secondaire utilisant l'injection d'eau ou de gaz pour maintenir la pression dans le gisement, la récupération améliorée du pétrole ou récupération tertiaire comprend tous les différents procédés qui peuvent être employés pour modifier la mobilité et/ou la saturation des hydrocarbures dans le gisement. Ces procédés permettent d'extraire entre 5 et 20 % supplémentaires d'huile, en plus des 30 % obtenus en moyenne après les étapes de récupérations primaire et secondaire. Ces méthodes de récupération sont regroupées sous le terme de stimulation [1].

L'une des méthodes de récupération est le Coiled Tubing qui est un terme générique qui se rapporte à l'utilisation d'une chaîne de tubes enroulés et des équipements connexes. En tant que méthode d'intervention sur les puits, cette technologie offre un avantage énorme qui se résume dans la possibilité d'intervention sur un puits, sous pression, sans altérer la production. Cependant, cette intervention, à l'instar de toute activité professionnelle, a ses propres risques qui sont souvent catastrophiques pour l'être humain, l'environnement et le système.

L'opération de Coiled Tubing est faite par des prestataires de service notamment la multinationale Schlumberger qui est le leader mondial dans ce domaine. En vue des engagements que l'entreprise Schlumberger doit tenir vis-à-vis de ses clients, elle ne peut se permettre des incidents ou accidents qui toucheraient son image de marque, ainsi que la qualité du service qu'elle dispense, surtout que cette prestation s'effectue sous la surveillance du client.

Le but de ce travail est d'étudier l'opération de Coiled Tubing dans une perspective sécuritaire afin de proposer des solutions innovantes pour maîtriser les risques de cette opération, et cela en suivant une démarche adaptée à la problématique.

Les deux premiers chapitres de ce travail comportent une mise en contexte ainsi que la problématique et la méthodologie utilisée pour la démarche. Le troisième chapitre est dédié à l'unité de Coiled Tubing tandis que le quatrième chapitre traite des risques liés à cette dernière en appliquant les méthodes SADT et AMDE, afin de recenser les effets en cas de défaillance. Enfin, le cinquième chapitre est consacré aux solutions proposées pour la maîtrise du risque

CHAPITRE 1  
CONTEXTE, PROBLEMATIQUE  
ET METHODOLOGIE

# Chapitre I : CONTEXTE, PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

## 1.1. Contexte général

### 1.1.1. Introduction

Le présent chapitre présente l'entreprise pétrolière Schlumberger ainsi que des généralités sur les puits pétroliers et les différents types d'interventions sur ces derniers. Il comprend également une description des services de Coiled Tubing délivrés par l'organisme d'accueil en incluant l'accidentologie relié à ces derniers, ce qui mettra en avant la problématique. Enfin, on définira la méthodologie du travail pour répondre à cette problématique.

### 1.1.2. Présentation de l'entreprise Schlumberger

Schlumberger est la plus grande société multinationale de services pétroliers et le premier fournisseur mondial des technologies dans le domaine de la gestion intégrée de projets et de solutions d'information pour servir les clients de l'industrie du pétrole et du gaz dans le monde entier [2].

#### – Origine et évolution de Schlumberger

La société tire son nom de Conrad et Marcel Schlumberger frères qui ont transformé l'industrie de l'énergie avec une idée révolutionnaire qui est celle d'utiliser des mesures électriques à la carte des formations rocheuses du sous-sol. C'est en 1912, que les deux frères ont effectués des mesures expérimentales sur la résistivité électrique de la « roche à huile » basées sur des formules géophysiques afin de déterminer la lithologie des sous-sols. Quinze ans plus tard, ils concrétisèrent les résultats de leur recherche sur un puits réel pétrolier pour le compte de "Pechelbronn Oil Company".

En 1926, ils ont créé la Société de Prospection Électrique "PROS" qui est le prédecesseur de la société Schlumberger. Dans un premier temps, l'entreprise a effectué

des travaux de prospection de surface pour l'industrie de l'extraction de minéraux métalliques, mais a progressivement étendu ses activités jusqu'à atteindre l'exploration des structures pétrolifères.

En Septembre 1927, Henri Doll, le fils de Conrad a enregistré le premier journal de puits de résistivité électrique à Pechelbronn (France). En 1929, les résultats des journaux sur le sous-sol ont été exécutés en Argentine, en Equateur, en Inde, au Japon, en Union soviétique, au Venezuela et aux Etats-Unis.

Aujourd'hui, la compagnie dispose de trois bureaux principaux dans trois villes différentes (Paris, Huston et La Haye) et un centre de recherche à Clamart (France). Elle emploie plus de cent trente mille personnes à travers le monde représentant plus de cent quarante nationalités et opère dans plus de quatre-vingt-cinq pays. L'entreprise englobe vingt nationalités différentes, ce qui représente la preuve de son identité multinationale. Elle fournit la plus large gamme de produits et services partant de l'exploration à la production dans l'industrie pétrolière [2].

### **-L'activité de Schlumberger**

Schlumberger est une entreprise conçue pour le développement des produits pétroliers (pétrole et gaz) et des services en collaboration avec des opérateurs producteurs comme SONATRACH, BRITISH PETROLEUM (BP), ANADARKO, TOTAL, etc. Le principal rôle de l'entreprise Schlumberger est d'exploiter les puits d'hydrocarbures en fournissant tous les équipements nécessaires utilisés par les sociétés d'hydrocarbures en plus d'un ensemble de prestations de services innovants [2].

Les produits et services de Schlumberger comprennent : la diaggraphie par câble en open-hole et cased-hole, les services de forage, le Coiled Tubing, le contrôle de sable, les services d'achèvement comprenant les essais de puits et de levage artificiel et également les services d'interprétation, de consultation ainsi que la gestion de projet intégrée.

L'entreprise fournit une large gamme de produits et services d'évaluation de la formation par le forage directionnel, la stimulation et la cimentation des puits, la gestion de l'information et des services d'infrastructure et d'informatique qui soutiennent les processus opérationnels de l'industrie de base [2].

### **-Schlumberger en Algérie**

L'Algérie fait partie des pays du North africa GeoMarket (NAF) de Schlumberger qui regroupe également le Maroc, la Tunisie, la Lybie et le Tchad et dont le siège social est localisé à Alger.

Schlumberger est présente sur le marché national algérien depuis plus de 50 ans. Elle possède plusieurs bases au sud algérien : Hassi Messaoud, In Amenas, Hassi Berkine et In Salah [2].

## **1.2. Généralités sur les puits pétroliers**

### **1.2.1. Puits pétroliers**

Un puits pétrolier est un intermédiaire entre le fond et la surface du sol. Il permet principalement de ramener l'effluent (mélange d'hydrocarbures et d'eau) du gisement aux installations de surface dans lesquelles il sera traité ultérieurement. Ce type de puits est qualifié de producteur.

Le puits peut avoir d'autres fonctions telles que l'injection. En effet, lors de l'extraction des hydrocarbures, le gisement va se dépléter d'où la chute en pression. Dans ce cas, il faudra alors réinjecter un autre effluent (eau, gaz) pour pouvoir conserver la pression de gisement ou, du moins, ralentir sa chute, afin de pouvoir récupérer un maximum d'hydrocarbures. Ceci constitue le puits injecteur.

Il existe également les puits témoins qui sont implantés en périphérie de certains réservoirs (exemple : stockage de gaz souterrain) et qui servent à contrôler le niveau de pression du réservoir ainsi que son niveau aquifère. La technologie des puits témoins est sensiblement la même que celle des puits producteurs ou injecteurs [3].

Un puits se décompose en deux compartiments qui sont les équipements de fond et de surface (Fig. 1.1.).

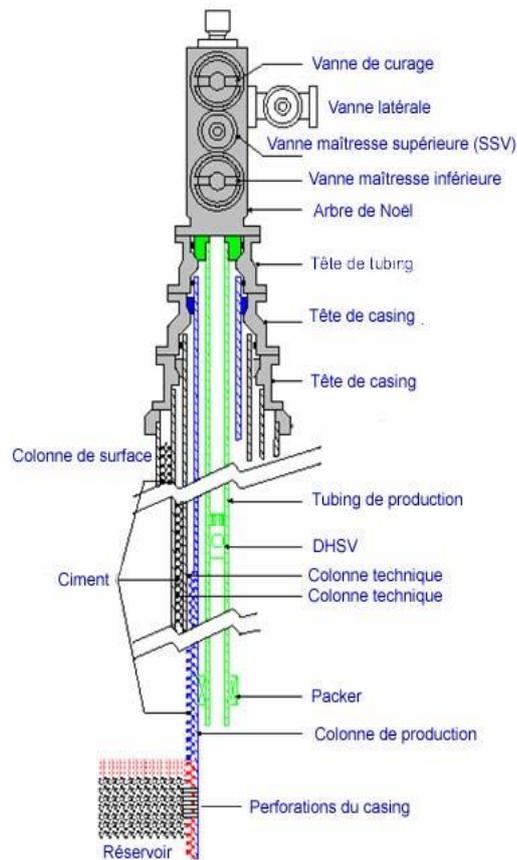


Figure 1.1. Les équipements de fond et de surface d'un puits.

### 1.2.1.1. Fonctionnement d'un puits producteur

Dans le réservoir des hydrocarbures, les fluides se séparent souvent en fonction de leur densité propre (Fig. 1.2.). C'est ainsi que le gaz s'élève au-dessus de l'huile et l'eau stagne en dessous de l'huile. L'huile, le gaz et l'eau piégés dans ces réservoirs ont subi une pression importante et une très grande température pendant des millions d'années.

### 1.2.1.2. Fonctionnement d'un puits injecteur :

Dans l'optique de maintenir la pression sur le réservoir des hydrocarbures, on injecte des fluides au lieu d'en produire. Deux types de fluide à injecter sont communément utilisés : le gaz et l'eau.

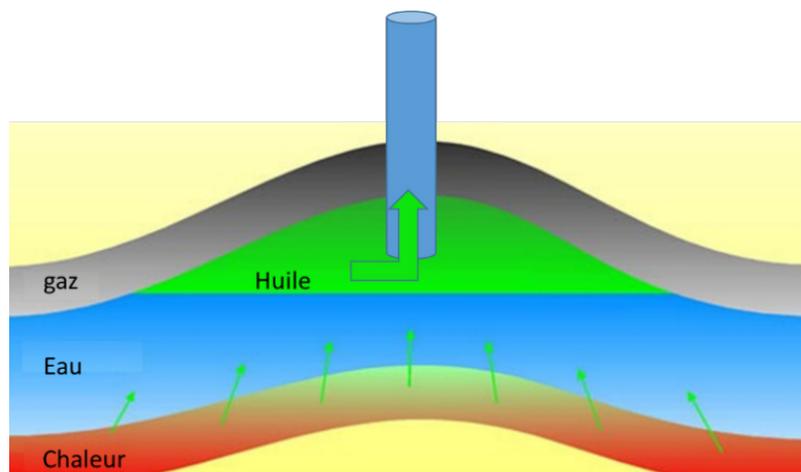


Figure 1.2. Fonctionnement d'un puits producteur

### 1.2.2. Types d'opérations sur un puits de pétrole

En dehors des caractéristiques intrinsèques du gisement, la longévité et la performance des puits dépendent de la maintenance des équipements de fond et de leur adaptabilité aux conditions de gisement et de production qui évoluent en permanence au cours de l'exploitation. Les opérations que l'on peut être amené à réaliser sur un puits vont de la prise de mesure au rééquipement complet de la colonne de production ou du puits. Les opérations de mesure sont réalisées à la demande du service exploitation et concernent principalement le suivi du gisement. Les opérations d'entretien ou de reprise s'intéressent plus à la liaison hydraulique couche-trou ou aux équipements du puits [1].

La plupart des opérations de mesures ou de simple entretien sont effectuées dans le puits sous pression avec des unités légères de travail au câble (wire-line). D'autres opérations plus conséquentes sous pression demandent l'emploi d'unités d'interventions lourdes (work-over) qui permettent la manœuvre dans le puits sous pression d'un petit tube concentrique d'un seul tenant comme le Coiled Tubing ou constitué de tubes vissés bout à bout comme le "snubbing". Enfin, les opérations nécessitant de tuer le puits et de le déséquiper partiellement ou totalement sont réalisées avec des appareils dits de "servicing" qui sont en fait des appareils de forage légers et qui permettent de remonter l'équipement après avoir contrôlé le puits.

L'intervention qui nous intéresse par la suite c'est le Coiled Tubing.

### 1.3. Le Coiled Tubing

#### 1.3.1. Historique de Coiled Tubing

Coiled Tubing (CT) est un nom générique souvent utilisé pour les services de tubes enroulés qui sont des interventions sur des puits sous pression sans modification dans la complétion de ces derniers.

L'opération de Coiled Tubing peut être définie comme la pénétration d'un tube métallique dans un puits pétrolier afin de pomper des produits spécifiques avec une grande pression sans endommager la formation ou la productivité du puits.

Vers la fin de la deuxième guerre mondiale, les ingénieurs britanniques développèrent de très longs pipelines continus pour transporter du carburant d'Angleterre vers le continent européen pour approvisionner les armées alliées. Le projet est nommé opération "Pluto", un acronyme pour "Pipe Lines under the Ocean". Le succès de la fabrication et de l'enroulement des pipelines flexibles continus a servi de base à des développements techniques supplémentaires qui ont finalement abouti aux tubes enroulés utilisées aujourd'hui par l'industrie du CT. En 1962, la "California Oil Company" et "Bowen Tools" ont développé la première unité de CT dans le but d'enlever le sable présent dans les puits.

Les premières têtes d'injecteur fonctionnaient selon le principe de deux chaînes verticales et contrarotatives. Cette conception est encore utilisée dans la majorité des unités de CT. Le "stripper" est un simple dispositif annulaire d'étanchéité qui peut être actionné hydrauliquement pour sceller le tube à des pressions relativement basses au niveau de la tête de puits.

Les premières opérations de CT ont subi de nombreuses défaillances en raison de la qualité incohérente des tubes et des nombreuses soudures nécessaires pour produire un tube d'une longueur appropriée. Cependant, à la fin des années 1960, les tubes

étaient fraisés sur des longueurs importantes avec moins de soudures. Pendant ce temps, les propriétés de l'acier ont été également améliorées. En plus, les diamètres de CT ont continué à croître pour suivre le rythme des exigences de résistance associées aux nouvelles applications du marché. Actuellement, il est possible de trouver des CT dont les diamètres peuvent atteindre jusqu'à  $2^{7/8}$  inches et qui sont disponibles pour une utilisation routinière. Ces changements et l'amélioration de la fiabilité des tubes CT ont donc grandement contribué au développement continue de l'industrie du CT [4].

### **1.3.2. Les Applications du Coiled Tubing**

Il existe une multitude d'applications du Coiled Tubing dont les plus importantes sont :

#### **1.3.2.1. Nettoyage de puits de forage (wellbore cleanout)**

Les dépôts des particules fines peuvent être produites à partir de la formation d'hydrocarbure ou résulter des opérations de stimulation. Les sources courantes des dépôts sont :

- La formation de sable
- Le propylène produit (matériau utilisé dans les opérations de fracturation hydraulique)
- Les débris des travaux

Les principales raisons d'effectuer le nettoyage du puits sont la reprise de la production, l'augmentation de la capacité du puits et surtout permettre le passage libre des câbles (Wireline et Slickline).

Les dépôts des particules fines peuvent être enlevés chimiquement ou mécaniquement. Dans la majorité des cas, ils sont éliminés en faisant circuler un fluide à travers le tubing tout en pénétrant lentement le dépôt au moyen d'un 'nozzle' (tête de nettoyage) (Fig. 1.3.). En raison de la complexité hydraulique, l'enlèvement des dépôts

des particules fines est généralement plus difficile dans les puits déviés et horizontaux [6].

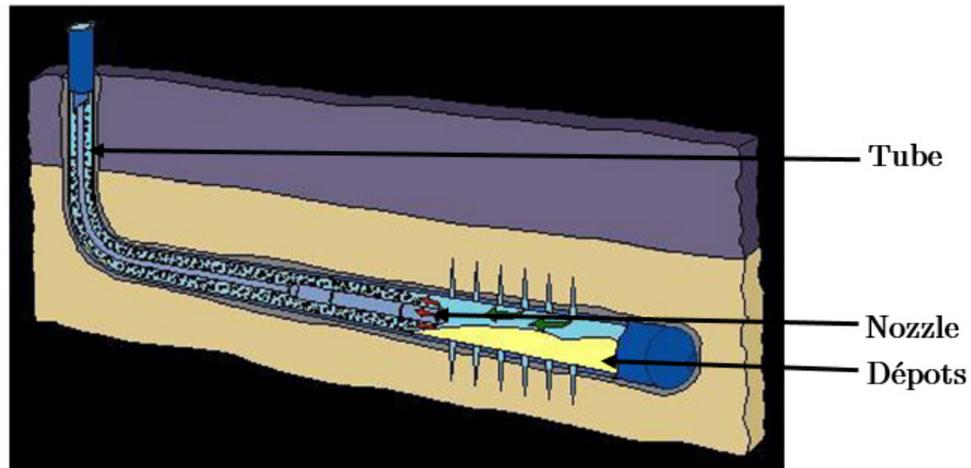


Figure 1.3. Nettoyage d'un puits pétrolier

#### 1.3.2.2. La cimentation

Le Coiled Tubing peut être utilisé pour cimenter par compression un puits de forage ou pour la pose de bouchons de ciment dans ce dernier.

La cimentation par compression est utilisée pour modifier le profil de production ou d'injection d'un puits. Elle consiste à presser une boue de ciment spécialement conçu dans les perforations existantes dans la colonne de production pour les isoler de la formation des hydrocarbures [5].

#### 1.3.2.3. La stimulation

Les dommages dans la formation d'hydrocarbures apparaissent lors du forage durant les travaux d'intervention ou pendant la production. Ces dommages sont dus à :

- L'enflure naturelle des minéraux argileux dans la formation
- La formation d'écailles ou le dépôt d'hydrocarbures lourds
- La multiplication des bactéries.

Les traitements de stimulation de la formation d'hydrocarbures sont conçus pour restaurer ou augmenter la perméabilité qui est la capacité d'un fluide à circuler dans

une formation. Il existe deux types de traitements de stimulation, la fracturation hydraulique et l'acidification matricielle [5].

#### **1.3.2.4. Le contrôle de dépôt de sable**

Le dépôt de sable est un problème majeur. Il peut avoir un effet très négatif sur la productivité, la complétion du puits et les installations de surface.

Les traitements de contrôle du sable sont conçus pour minimiser la production de ce dernier. Le contrôle de dépôt de sable peut être effectué avec le Coiled Tubing. Ce contrôle peut être effectué par trois méthodes :

- Consolidation du sable : Cette consolidation est obtenue en injectant des fluides (résines) dans une formation d'hydrocarbure proche du puits. Les résines colent les particules de sable ensemble et les consolident.
- Emballage du gravier : Cette méthode consiste à placer quelques grillages entre le puits de forage et le lieu de production de sable dans la formation et à combler l'écart entre les deux avec un gravier dont les particules ont une certaine taille. Cela introduit plusieurs barrières pour empêcher le sable d'entrer dans le puits.
- Placement des écrans : Cette méthode est similaire à la précédente sauf que dans ce cas les particules du gravier ont une taille plus petite [5].

#### **1.3.2.5. L'injection d'azote**

L'injection de l'azote dans un puits est l'une des applications les plus courantes du Coiled Tubing. Cette opération a pour but d'augmenter le facteur de récupération des hydrocarbures. Il s'agit d'un processus de deux composés (hydrocarbures et azote) non miscible dans lequel la récupération est augmentée par le gonflement des hydrocarbures [5].

### 1.3.3. L'activité de Coiled Tubing

L'opération de Coiled Tubing est très rentable donc fortement demandé par les entreprises pétrolières. La société de service Schlumberger dénombre deux cent onze unités de Coiled Tubing dans le monde dont neuf en Algérie. La localisation de ces unités est indiquée dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1. Localisation des unités de SLB à travers le monde

LOCALISATIONS	NOMBRE D'UNITES
Afrique et Méditerranée	22
Extrême-Orient	20
Amérique latine	20
Moyen-Orient	30
Amérique du Nord	80
Mer du nord	36
Centres de Recherche & développement localisés à Abu-Dhabi et USA	3

### 1.4. Accidentologie liée au Coiled Tubing

L'omniprésence des unités de Coiled Tubing partout dans le monde, ainsi que la forte sollicitation du service de Coiled Tubing induisent systématiquement un nombre important d'incidents et d'accidents. En Algérie, par exemple, une moyenne mensuelle de cent cinquante-quatre interventions est enregistrée au niveau des neuf unités existantes soit une moyenne de dix-sept interventions par unité [8]. En outre, la nature de l'opération qui est l'intervention sur un puits sous pression, nécessite le plus souvent l'utilisation de produits dangereux qui peuvent générer des effets considérables voir parfois catastrophiques.

La classification des accidents selon leur gravité a été établie à partir d'un échantillon d'accidents dans le monde durant l'année 2018. Le recensement de ces accidents a été réalisé grâce au réseau intranet de Schlumberger (QUEST). La classification de ces accidents selon le degré de leur gravité (insignifiant, sérieux, majeur et catastrophique) est indiquée par des pourcentages dans le diagramme présenté dans la figure 1.4.

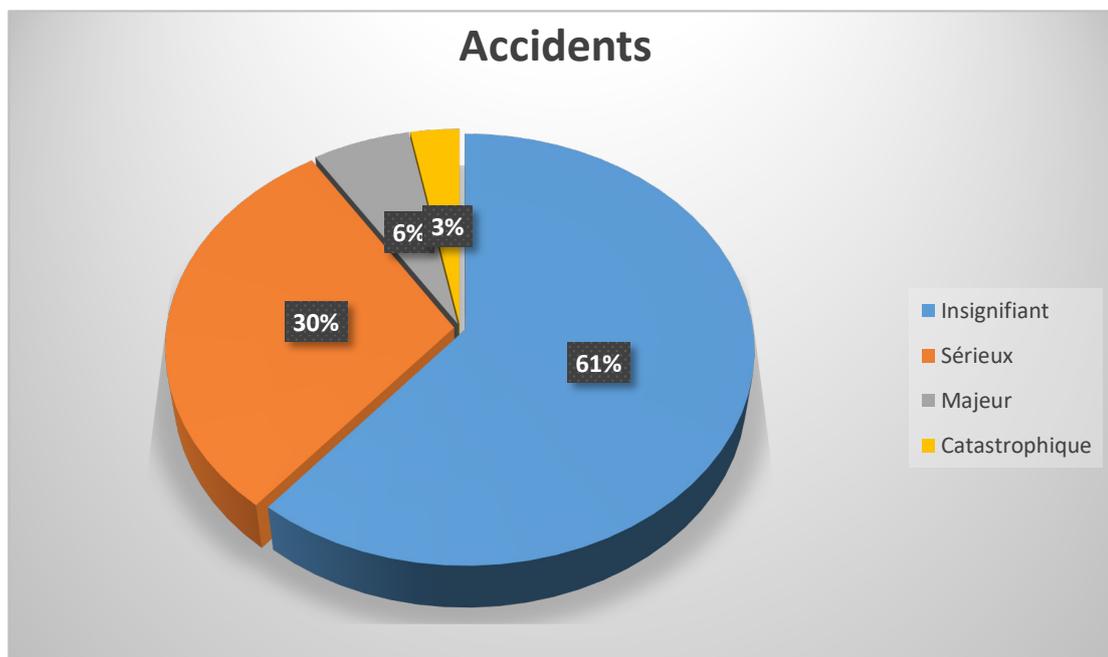


Figure 1.4. Diagramme circulaire représentant les pourcentages des différents degrés des accidents de Coiled Tubing durant l'année 2018 selon QUEST.

Dans le diagramme circulaire de la figure 1.4., on remarque que près de 61% des accidents ont été classés comme insignifiant, 30% comme sérieux, 6% comme majeur et 3% comme catastrophique dont un s'est produit en Algérie durant le mois de Mai 2018 à Hassi Berkine.

Une croissance de l'activité dans le désert algérien a induit une restriction du temps alloué à la maintenance des unités de CT. Ceci a engendré des incidents et des accidents [6]. Le diagramme circulaire indiqué dans la figure 1.5. représente les pourcentages des accidents ou incidents lors des interventions. Ce diagramme indique que la plupart des incidents et/ou accidents se produisent durant les opérations. Ceci est

dû principalement à la production par l'unité d'une grande énergie afin d'assurer le déploiement du tubing et le pompage des fluides et produits chimiques permettant l'exécution de l'intervention.

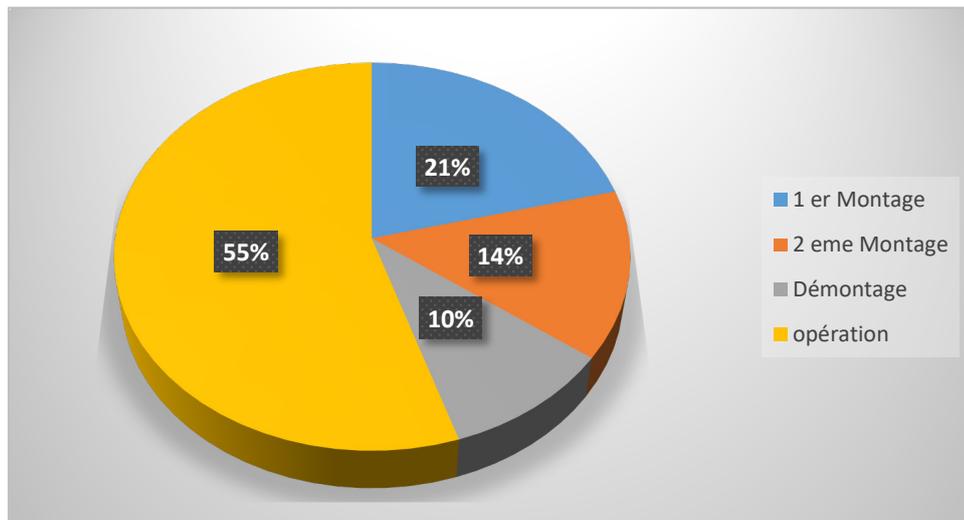


Figure 1.5. Diagramme circulaire représentant le pourcentage des incidents ou accidents lors d'une intervention : **1<sup>er</sup> montage** du BOP sur la tête du puits, **2<sup>ème</sup> montage** du Stripper sur le BOP, **Dé-montage** des équipements de contrôle de pression, **Opération** du déploiement du tube à l'intérieur du forage

### 1.5. La problématique du projet de fin d'étude

Le Coiled Tubing est une intervention très fréquente dans l'industrie du pétrole et du gaz notamment en Algérie où l'activité de l'entreprise de service Schlumberger est très importante. Cependant, le nombre important d'incidents et d'accidents lié à cette intervention a suscité l'urgence de la traiter dans une perspective sécuritaire afin de proposer des solutions rapides, moins coûteuses et applicables dans les meilleurs délais.

Le but de ce travail est de déterminer les risques liés à une opération de Coiled Tubing et cela à travers l'analyse de son unité d'intervention afin de proposer une solution informatique et une procédure organisatrice de l'opération pour la maîtrise des risques.

## 1.6. Méthodologie

Etant donné la nature de la problématique et afin de réaliser l'objectif de ce travail qui est l'amélioration de la situation sécuritaire dans le service Coiled Tubing, la démarche suivante a été utilisée :

- Présentation de l'unité de CT et de son fonctionnement.
- Présentation des outils et méthode utilisées (SADT, AMDE, Ramus Educational, Visual studio, langage de programmation C#).
- Décomposition fonctionnelle par la méthode SADT.
- Application de la méthode AMDE : Interprétation des résultats.
- Proposition d'une solution informatique et d'une procédure d'organisation.

## 1.7 Conclusion

Dans ce premier chapitre on a essayé de donner une vue globale sur l'intervention de Coiled Tubing faite par l'organisme accueillant, puis, on a mis en avant la problématique auquel fait face l'entreprise et cela en menant une recherche sur l'accidentologie liée au Coiled Tubing.

CHAPITRE 2  
MAITRISE DE RISQUE :  
METHODES ET OUTILS

## Chapitre II MAITRISE DE RISQUE : METHODES ET OUTILS

### 2.1. Introduction

L'objet de ce chapitre est de présenter les méthodes, les outils et logiciels utilisés ainsi que leurs fonctionnements, afin d'appliquer la démarche du traitement de la problématique.

### 2.2. Concept général de la maîtrise de risque

On appelle maîtrise de risques d'origine industrielle l'ensemble des démarches scientifiques, techniques, organisationnelles, financières, etc. qui partant de l'analyse des risques permet d'aboutir aux actions correctrices destinées à réduire les risques.

L'observation des milieux socioprofessionnels fait apparaître une grande diversité dans les modes d'appréhension du danger selon que l'intérêt est centré sur l'homme, sur la population, sur la nature ou sur le patrimoine.

La diversité de ces centres d'intérêt a entraîné l'apparition d'activités et de techniques d'étude et de prévention différentes (ergonomie, sécurité et hygiène industrielle, fiabilité humaine, sécurité des installations, sûreté de fonctionnement, génie sanitaire, écologie appliquée, épidémiologie, toxicologie industrielle, gestion de crise, etc.) qui coexistent entre elles.

Le défi actuel est de savoir combiner ces différentes techniques afin de les mettre au service des organisations qui ont souvent des problématiques sécuritaires avec diverses perspectives. Elles ont besoin de solutions économiques applicables dans des délais raisonnables [7].

### 2.3. Méthodes et outils d'analyse

#### 2.3.1. Méthode Structured Analysis and Design Technics (SADT) :

'Structured Analysis and Design Technics'(SADT) est une méthode d'origine américaine, développée en 1977 puis introduite en Europe à partir de 1982 par Michel

Galiner. Elle se répandit vers la fin des années 1980 comme l'un des standards de description graphique d'un système complexe par analyse fonctionnelle descendante [8]

### 2.3.1.1. Objectif de la méthode

La méthode SADT est appliquée afin d'obtenir une décomposition fonctionnelle d'un système complexe dans les buts d'appréhender des problèmes liés à ce dernier, d'en améliorer le fonctionnement ou même de concevoir un équipement, une machine ou un processus. Cette méthode a une démarche précise et suit une terminologie particulière facilitant l'élaboration et la compréhension de la décomposition fonctionnelle [12].

### 2.3.1.2. Représentation graphique

La figure 2.1. est une représentation graphique de la méthode SADT.

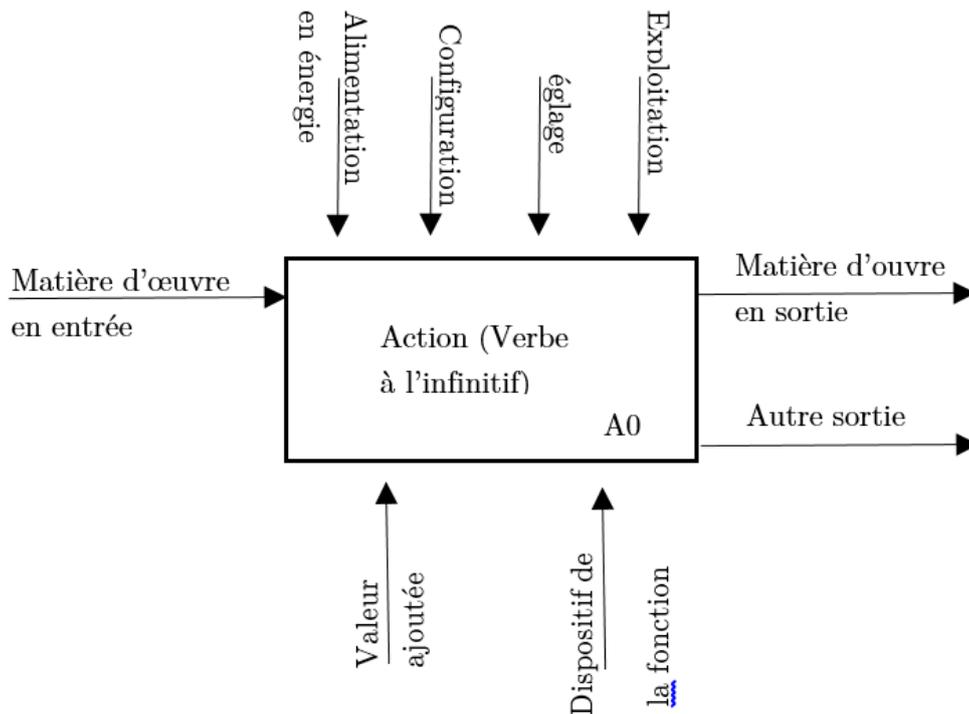


Figure 2.1. Modèle d'un diagramme d'une SADT

### 2.3.2. Analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE)

L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) est une procédure formelle d'analyse d'un système pour identifier les modes de défaillance potentiels, leurs causes et les effets sur l'aptitude à la fonction principale du système. Ici, le terme «système» représente un matériel ou un procédé.

Une AMDE, menée rigoureusement, est le résultat obtenu par une équipe composée d'individus qualifiés pour identifier et évaluer les causes et les conséquences de types variés d'inadéquations dans la conception ou le fonctionnement du produit qui peuvent conduire à des défaillances [9].

L'AMDE est considérée comme une méthode pour identifier les effets d'une défaillance potentiels et pour introduire des mesures pour réduire les risques. L'application de l'AMDE est précédée d'une décomposition fonctionnelle du système (matériel ou un procédé) dans ses moindres éléments de base c'est-à-dire l'utilisation de la méthode SADT [12].

#### 2.3.2.1. But et objectif de l'analyse

Les raisons d'entreprendre l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) sont les suivantes :

- Identifier les défaillances qui ont des effets non souhaités sur le fonctionnement du système, exemple : empêcher ou dégrader significativement le fonctionnement ou affecter la sécurité de l'opérateur.
- Satisfaire les exigences contractuelles d'un client, si applicable.
- Permettre des améliorations de la fiabilité ou de la sécurité du système, exemple : les modifications de la conception ou les actions d'assurance-qualité.
- Permettre des améliorations de la maintenabilité du système en mettant en évidence les zones de risque ou de non-conformité pour la maintenabilité.

Compte tenu des raisons données ci-dessus pour entreprendre une AMDE, les objectifs de celle-ci sont les suivants

- Une évaluation et une identification détaillées de tous les effets indésirables dans les limites du système sous analyse et les séquences d'événements amenés par chaque mode de défaillance du dispositif identifié, quelle que soit la cause, à divers niveaux de la hiérarchie fonctionnelle du système
- La détermination de la priorité pour traiter/atténuer chaque mode de défaillance par rapport à la fonction correcte du système ou aptitude et l'impact sur le processus concerné
- Une classification des modes de défaillance identifiés d'après les caractéristiques en question, comprenant l'aptitude à la détection, au diagnostic, aux essais, au remplacement du dispositif et aux provisions de fonctionnement
- L'identification des défaillances fonctionnelles du système ;
- Le soutien du développement d'un plan de maintenance effectif pour atténuer ou réduire la probabilité de défaillance [9].

#### **2.3.2.2. Les étapes d'application de l'AMDE**

- Établissement des règles de bases pour l'AMDE, à travers la planification et la programmation pour s'assurer que le temps et l'expertise sont disponibles pour mener l'analyse.
- Réaliser l'AMDE en se servant des documents appropriés ou de tout autre moyen tel qu'un diagramme logique ou un arbre de panne.
- Résumer et établir un rapport de l'analyse incluant les conclusions et recommandations faites.
- Mettre à jour l'AMDE au fur et à mesure de la progression de l'activité de développement.

### 2.3.2.3. Déroulement de l'AMDE

D'une manière globale, le déroulement d'une AMDE se déroule selon le tableau 2.1. [9].

Tableau 2.1. Tableau récapitulatif du déroulement d'une AMDE

AMDE									
Système <sup>1</sup>	Sous système <sup>1</sup>	Équipement repéré <sup>1</sup>	Fonctions, États <sup>2</sup>	Mode de défaillance <sup>3</sup>	Causes de défaillance <sup>4</sup>	Effet local <sup>5</sup>	Effet Final <sup>5</sup>	Moyens de détection <sup>6</sup>	Dispositions Compensatoires <sup>7</sup>

- <sup>1</sup> **Système/ sous-système /équipement Repéré** : c'est le repérage hiérarchique de l'entité traitée. Cette manière de division permet de mieux cerner le mode de défaillance. Elle est généralement issue d'une décomposition fonctionnelle (SADT).
- <sup>2</sup> **Fonctions, États** : pour chacun des équipements, il s'agit de lister ses fonctions et états de fonctionnement.
- <sup>3</sup> **Mode de défaillance** : pour chaque équipement et en fonction de l'état de fonctionnement, le groupe de travail doit envisager de manière systématique les modes de défaillance possibles.
- <sup>4</sup> **Cause de défaillance** : Pour chaque mode de défaillance, le groupe de travail doit ensuite identifier les causes potentielles conduisant à ce mode de défaillance. Un mode de défaillance peut résulter de plusieurs causes.
- <sup>5</sup> **Effet local/final** : c'est les répercussions des modes de défaillance sur l'intégrité du système aux deux niveaux local et global.
- <sup>6</sup> **Moyen de détection** : pour le mode de défaillance envisagé, le groupe de travail examine et consigne ensuite les moyens prévus pour détecter ce mode de défaillance
- <sup>7</sup> **Dispositions compensatoires** : toutes les dispositions prises, par exemple au niveau de la conception de l'installation, en vue de prévenir ou d'atténuer l'effet du mode de défaillance doivent alors être examinées.

L'AMDE s'avère très efficace lorsque elle est mise en œuvre pour l'analyse de défaillance simple d'éléments conduisant à la défaillance globale du système.

De par son caractère systémique et sa maille d'étude généralement fine, elle constitue un outil précieux pour l'identification de défaillances potentielles et les moyens d'en limiter les effets ou d'en prévenir l'occurrence.

Comme elle consiste à examiner chaque mode de défaillance, ses causes et ses effets pour les différents états de fonctionnement du système, l'AMDE permet d'identifier les modes communs de défaillance pouvant affecter le système étudié.

Les pertes d'utilités ou des agressions externes majeurs constituent, en règle générale, des modes communs de défaillance.

Le choix de l'AMDE est fait en concertation avec les ingénieurs de Coiled Tubing. Nous avons conclu que le classement par criticité ne servira pas l'étude, donc nous avons opté pour l'AMDE.

### 2.3.3. Logiciel Ramus Educational

C'est un logiciel open source développé par une boîte russe dont le but est de faciliter la construction de diagramme de type IDEF0 (Icam DEFinition for Function Modeling) ou ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing). Il est utilisé pour une construction simple et rapide d'un diagramme SADT. Aussi, il propose des fonctions pour le développement graduel d'un niveau à un autre. Son interface se caractérise par la simplicité et il se présente comme il suit (Fig. 2.1.).

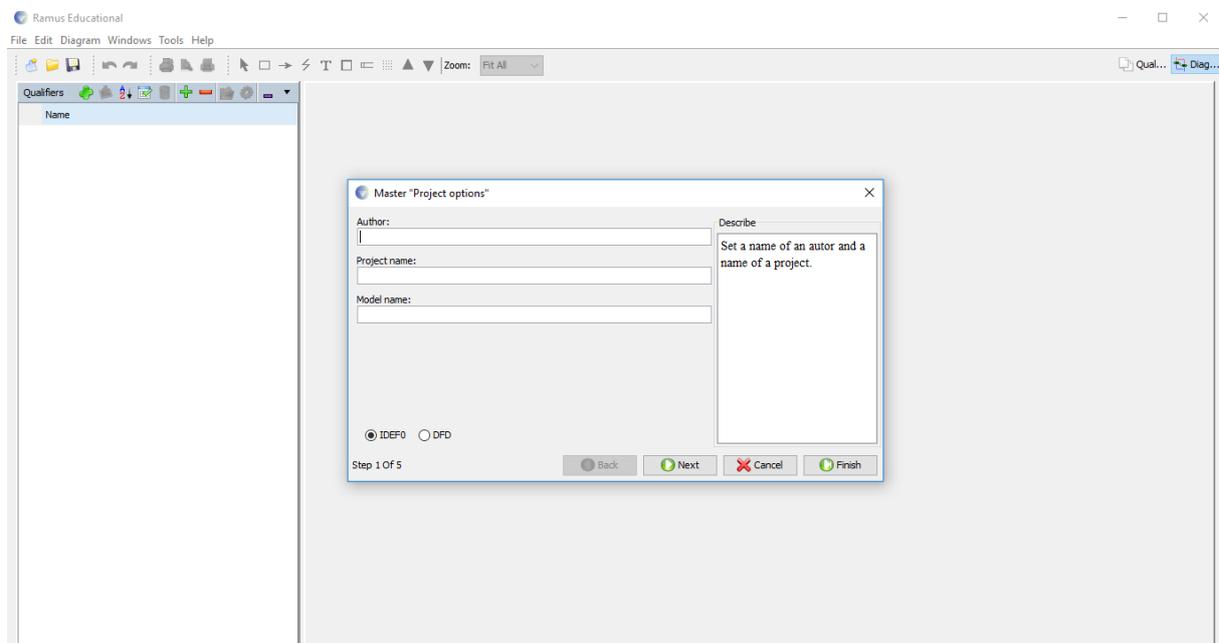


Figure 2.2. L'interface d'accueil du logiciel Ramus Educational

### 2.3.4. Logiciel Visual Studio

Microsoft Visual Studio est une suite de logiciels de développement pour Windows et mac OS conçue par Microsoft. La dernière version s'appelle Visual Studio 2019 (Fig. 2.2.)

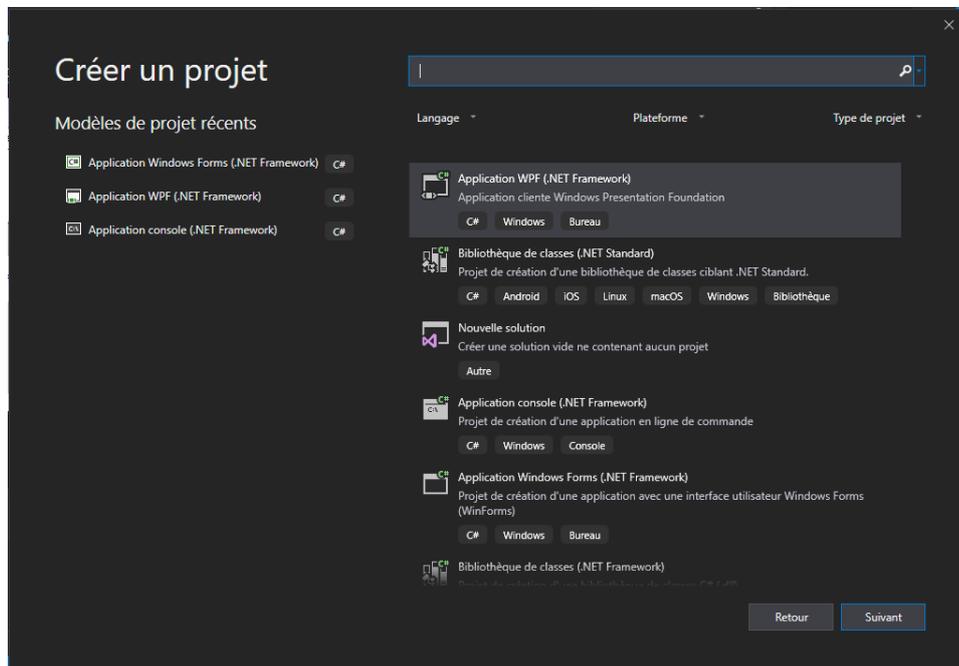


Figure 2.2. L'interface d'accueil du logiciel Visual studio 2019

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications web ASP.NET, des services web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# utilisent tous le même environnement de développement intégré (IDE), qui leur permet de partager des outils et facilite la création de solutions faisant appel à plusieurs langages [10].

### 2.3.5. Langage de programmation C Sharp

C# est un langage de programmation orientée objet, fortement typé, dérivé de C et de C++, ressemblant au langage Java. Il est utilisé pour développer des applications web, ainsi que des applications de bureau, des services web, des commandes, des widgets ou des bibliothèques de classes. En C#, une application est un lot de classes où une des classes comporte une méthode. C# est destiné à développer sur la plateforme .NET, une pile technologique créée par Microsoft.

Ce langage, certes, intuitif, simple et puissant, est choisi pour ce projet surtout pour sa polyvalence qui permet de réaliser des projets pertinents de qualité !

#### **2.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre les outils et méthodes utilisés pour la démarche de la résolution de la problématique ont été expliqués. Dans le chapitre suivant, les caractéristiques techniques de l'unité de Coiled Tubing seront détaillées afin d'appliquer les méthodes et outils.

CHAPITRE 3  
GENERALITE SUR L'UNITE DE  
COILED TUBING

### 3. GENERALITE SUR L'UNITE DE COILED TUBING

#### 3.1. Introduction

Le présent chapitre comprendra une présentation détaillé de l'unité de Coiled Tubing afin de pouvoir appliquer convenablement les méthodes de résolution de la problématique.

#### 3.2. Unité de Coiled Tubing

Une unité de Coiled Tubing est constituée d'un tube métallique continu de  $\frac{3}{4}$ " à  $2 \frac{7}{8}$ " enroulé sur une bobine qui peut être descendu ou remonté dans un puits sous pression (Fig.3.1.). Pour cela le tube est généralement muni dans son extrémité d'un clapet anti-retour manœuvré par un injecteur à travers un système d'étanchéité appelé équipements de contrôle de pression. La fin du tube de CT est raccordée à un joint pivotant sur la bobine pour que les fluides puissent être pompés à haute pression et en continu si nécessaire [11].



Figure 3.1. Présentation d'une unité de Coiled Tubing et ses composantes

### 3.2.1. Le Bloc d'alimentation

Le bloc d'alimentation se compose essentiellement d'un moteur diesel qui entraîne des pompes hydrauliques fournissant la pression et le débit nécessaire aux circuits hydrauliques qui vont opérer les autres composants de l'unité de Coiled Tubing [7]. Les principaux composants du bloc d'alimentation sont les suivantes :

- Moteur diesel
- Pompes hydrauliques
- Vannes de régulation de la pression
- Réservoir hydraulique
- Accumulateurs
- Filtres et crépines
- Échangeurs de chaleur
- Fluide hydraulique.

### 3.2.2. La Cabine de Contrôle/Commande

La cabine est située derrière la bobine CT en ligne avec les têtes de puits et de l'injecteur. La cabine de commande contient toutes les commandes et instruments nécessaires pour permettre le fonctionnement de la CTU [12].

Les instruments et les systèmes de commande dans la cabine sont classés comme suit :

- Instruments et commandes primaires : indicateur de poids, circulation et pression de la tête de puits
- Instruments et commandes secondaires : profondeur/vitesse, tendeur de chaîne, pressions, pression du stripper.

- Instruments et commandes de soutien : pressions du système d'entraînement, système BOP, pression, régime du moteur, pression d'air, etc.

### 3.2.3. Bobine de Coiled Tubing

La fonction principale de la bobine CT est de stocker et de protéger le tube enroulé. La bobine comprend également des équipements qui exécutent plusieurs fonctions qui sont primordiales pour le bon fonctionnement de l'unité de Coiled Tubing [11]. Ces équipements sont :

- Système d'entraînement de bobine : il maintient la tension appropriée entre la bobine et la tête d'injecteur (Figs. 3.2.A et B).
- Assemblage de nivellement : il assure un enroulement du tube de CT dans la bobine (Figs. 3.2. A et B).
- Joint pivotant : il permet de pomper le liquide à travers la bobine même en rotation.
- Système de lubrification de la tuyauterie : application d'un inhibiteur ou d'un revêtement protecteur.
- Compteur mécanique.

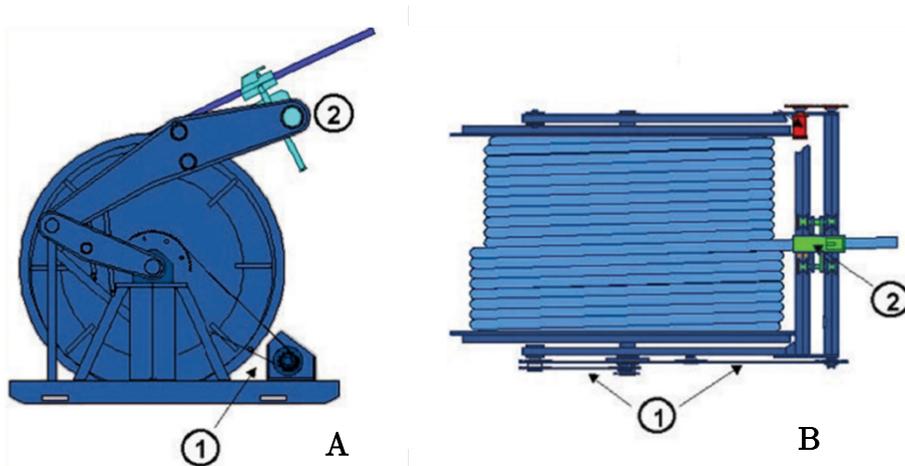


Figure 3.2. La bobine de Coiled Tubing. **A.** bobine de CT vue de face. **B.** bobine de CT vue de dessus. (1. système d'entraînement de bobine. 2. Assemblage de nivellement).

### 3.2.4. Tête d'injecteur

La tête de l'injecteur guide, injecte et ressorte le tube à l'intérieur du puits (Fig. 3.3.). Les tendeurs et les pistons de la tête d'injecteur tirent deux chaînes opposés sur lesquels une série de préhenseurs est monté. Ces derniers sont pressés ensemble avec le tube maintenu entre eux grâce à la friction, cela permet de contrôler la charge totale du CT. Ces préhenseurs sont formés selon la taille du tube et les chaînes utilisés. Les moteurs hydrauliques tournent les chaînes permettant ainsi au tube d'entrer dans le puits ou d'en sortir [12]. Les principaux composants de la tête d'injecteur comprennent :

- Moteur d'entraînement de l'injecteur (1)
- Chaînes d'entraînement, tendeurs de chaîne intérieurs et extérieurs (2)
- Arche de guidage (3)
- Capteur de poids (4)
- Montage du stripper (5).

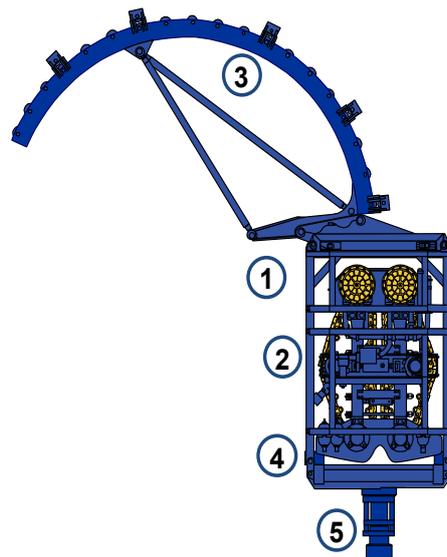


Figure 3.3. Tête d'injecteur 1. Moteur d'entraînement de l'injecteur. 2. Chaînes d'entraînement, tendeurs de chaîne intérieurs et extérieurs. 3 Arches de guidage. 4. Capteur de poids. 5. Montage du stripper

### 3.2.5. Équipements de contrôle de pression

Les équipements de contrôle de la pression peuvent être décrits comme étant des barrières ou des équipements nécessaires pour préserver l'intégrité du puits c'est à dire sa pression confinée. La figure 3.7. montre la disposition des équipements de contrôle de pression. Selon la pression de tête de puits rencontrée, ces barrières sont classées selon trois catégories comme suit :

**Barrière primaire** : le stripper est la principale barrière mise en service pendant une opération de CT.

**Barrière secondaire** : Le BOP est la barrière secondaire, il est mise en service si la barrière primaire est compromise.

**Barrière tertiaire** : Le cisaillement du tubing est la barrière tertiaire, elle est mise en service en tant que dernière solution en cas d'urgence extrême.

**Le stripper** : Le stripper est un joint dynamique autour du tube obtenu en appliquant une pression hydraulique sur un ensemble d'éléments élastomères, il fournit une étanchéité annulaire entre le tube et le puits en contenant la pression de la tête de ce dernier, cela garantit que le tube CT peut être inséré et extrait en toute sécurité. Le stripper est monté sur la tête d'injecteur juste en dessous des chaînes d'entraînement, mais peut également être monté individuellement comme un stripper de secours (ou deuxième) dans la cheminée de contrôle de pression [12].

**BOP** : Le Bloc Obturateur de Puits 'Blow Out Preventer' est actionné à partir de la cabine de commande à l'aide d'un circuit hydraulique ou un accumulateur. Ce dernier fournit une réserve d'énergie permettant l'actionnement du BOP pour un nombre limité de fonctions suite à un arrêt du moteur ou d'une panne dans le circuit hydraulique. Il existe aussi des pompes pneumatique et manuelle qui permettent l'actionnement du BOP. [12].

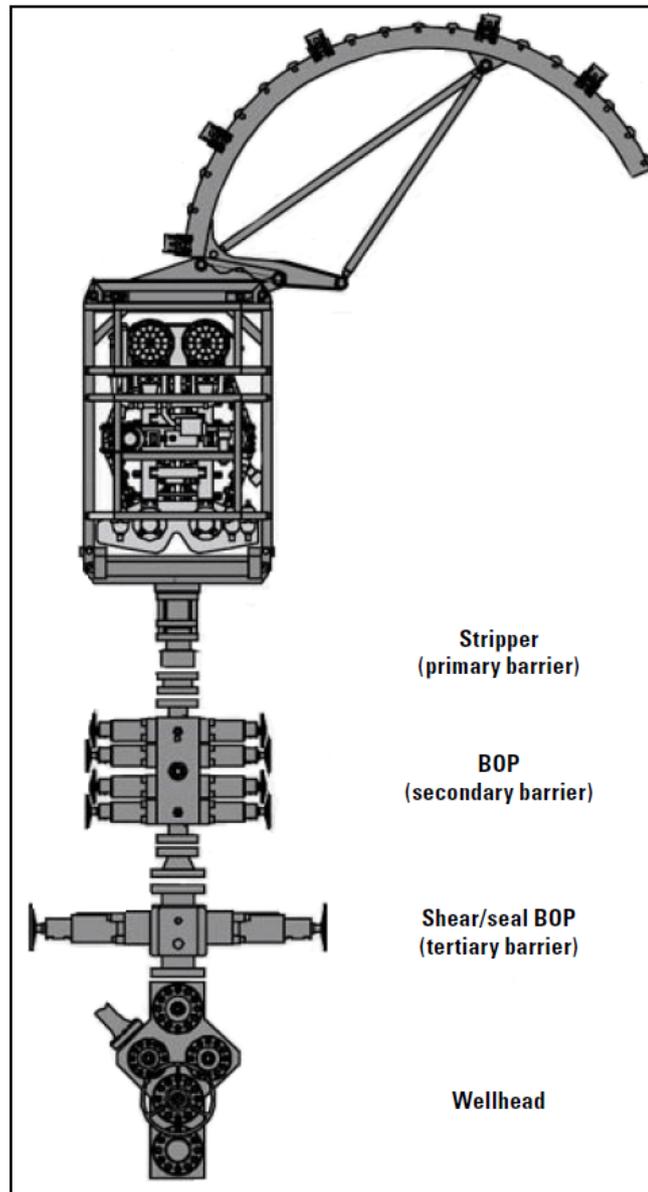


Figure 3.4. La disposition des trois barrières de contrôle de pression

### -Type de BOPs

Plusieurs types de BOP sont utilisés dans les opérations de CT, les plus courants sont les suivants :

**Quad BOP** : Il est utilisé comme barrière secondaire durant une opération de CT, quad se réfère aux quatre ensembles de mâchoires empilés. Ces dernières sont montrées dans la figure 3.5. et peuvent être des mâchoires à fermeture :

- **Totale ‘Blind rams’** : utilisé pour fermer le puits et le sceller quand le tube est retiré.
- **Cisillante ‘Shear rams’** : elle se referme complètement tout en cisillant le tube.
- **Annulaire ‘Slip rams’** : se ferme pour maintenir mécaniquement tout mouvement du tube vers le haut ou bas.
- **Sur un diamètre donné ‘Pipe rams’** : elle se referme selon de diamètre du tube.

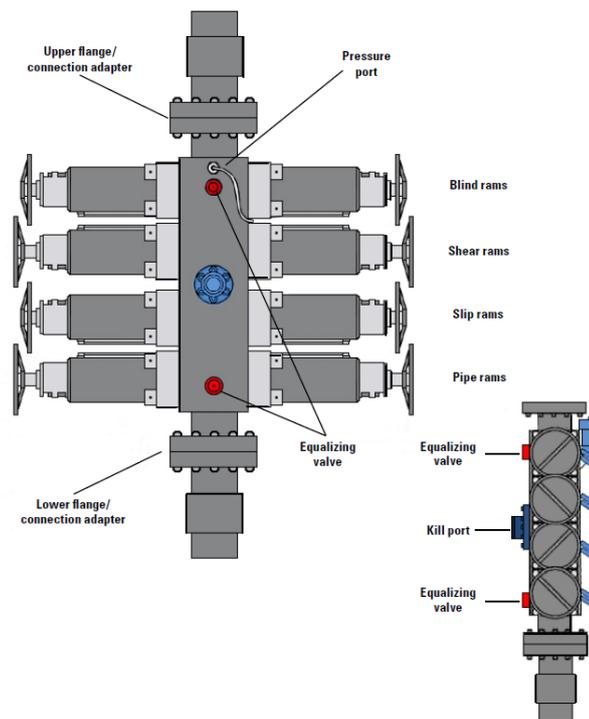


Figure 3.5. Les mâchoires du Quad BOP

**Combi BOP** : Ce type est utilisé comme barrière secondaire ou tertiaire, il est appelé ainsi parce qu’il a deux ensembles de mâchoires, chaque paire (Blind/Shear) et (Pipe/Slip) effectue une double fonction. La configuration la plus courante est montrée dans la figure 3.6

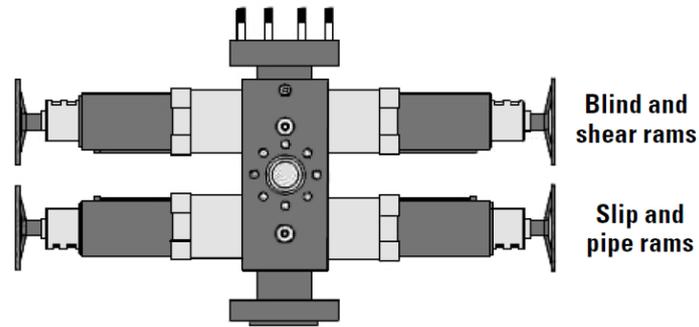


Figure 3.6. Combi BOP

**Shear/seal BOP** : Ce type est utilisé comme barrière tertiaire, il contient une seule paire de mâchoire (Blind/Shear).

### 3.2.6. Unité de pompage d'azote

Une unité de pompage d'azote produit le diazote à partir d'azote liquide, la chaleur nécessaire à la conversion liquide-gaz provient de liquide de refroidissement du moteur, gaz d'échappement du moteur ou autres sources existantes de chaleur à l'intérieur du système de pompage. Ce dernier contient des pompes afin de pressuriser l'azote pour l'injecter dans le puits.

### 3.2.7. Unité de pompage du fluide

Une unité de pompage du fluide est constituée d'un réservoir de fluide et des pompes permettant son transport à l'intérieur du puits sous des pressions importantes.

## 3.3. Conclusion

Dans ce chapitre on a donné les détails techniques de l'unité de Coiled Tubing en présentant les composants de l'unité en plus des deux unités secondaires de pompage du fluide et l'azote

CHAPITRE 4  
APPLICATION DES METHODES  
D'ANALYSE ET INTERPRETATION  
DES RESULTATS

## 4. APPLICATION DES METHODES D'ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

### 4.1. Introduction

Après avoir présenté les méthodes qui vont être utilisés ainsi que les détails techniques de l'unité de Coiled Tubing, on va procéder à l'application de ces méthodes sur cette dernière.

### 4.2. Décomposition SADT

La décomposition fonctionnelle SADT est une étape préalable et nécessaire pour l'application de l'AMDE, elle permet de comprendre et de situer les équipements et leurs fonctions dans les systèmes et les sous-systèmes. Ceci nous conduit à déterminer les effets à prévoir si toutefois un équipement ne remplit plus sa mission convenablement.

#### 4.2.1. Diagramme SADT de l'unité de Coiled Tubing

Pour cette décomposition, le nettoyage de puits comme application de CT a été choisie. Cette dernière est la plus commune dans le marché.

La figure 4.1. montre le niveau A0 qui définit la fonction générale de l'unité de Coiled Tubing ainsi que les paramètres qui régissent son fonctionnement :

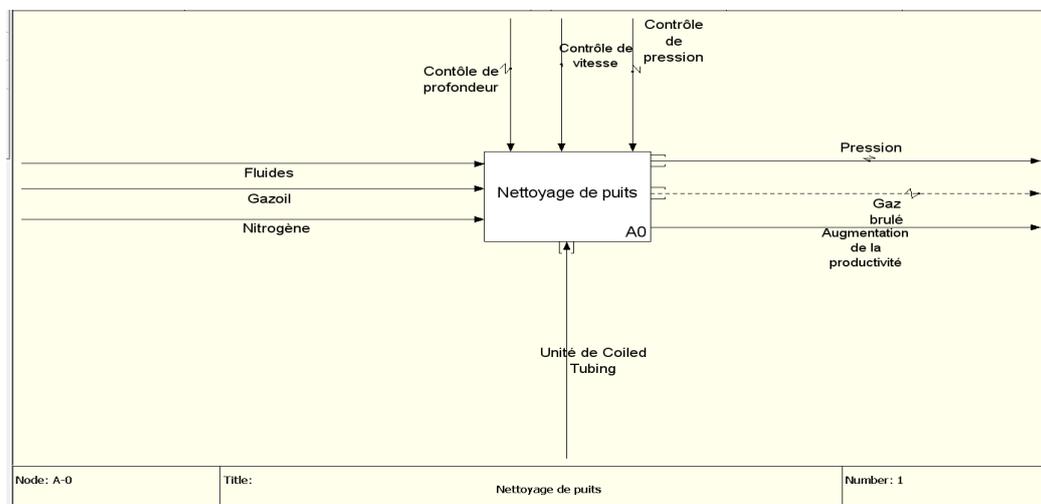


Figure 4.1. Diagramme SADT CTU niveau A0

Afin de mieux comprendre les principaux systèmes et les sous-systèmes, la figure 4.2. illustre le niveau A0 détaillé.

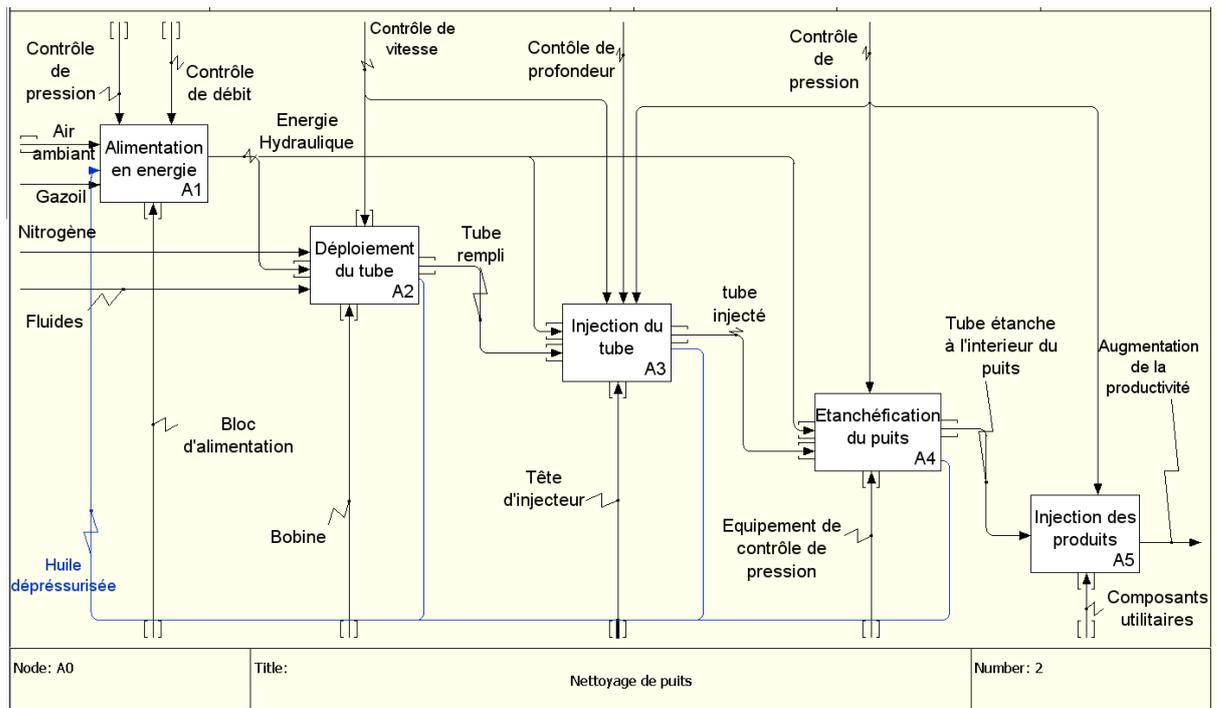


Figure 4.2. Diagramme SADT niveau A0 détaillé

## -Les Systèmes principaux

six sous-systèmes principaux peuvent être distingués à partir du diagramme SADT niveau A0 détaillé.

- **Sous-système Alimentation en énergie** : son rôle consiste à utiliser l'énergie mécanique d'un moteur diesel et la convertir en énergie hydraulique. Cette dernière entrainera des pompes hydrauliques qui fournissent la pression et le débit nécessaire aux circuits hydrauliques qui vont mettre en marche les autres sous-systèmes. La figure 4.3. représente le diagramme SADT du sous-système alimentation en énergie.
- **Sous-système déploiement du tube** : son rôle consiste à connecter les unités auxiliaires de pompage d'azote et des fluides avec le tube à travers un joint pivotant, ainsi que le déploiement du tube contrôlé grâce à un moteur et un

frein hydraulique. La figure 4.4. représente le diagramme SADT du sous-système déploiement du tube

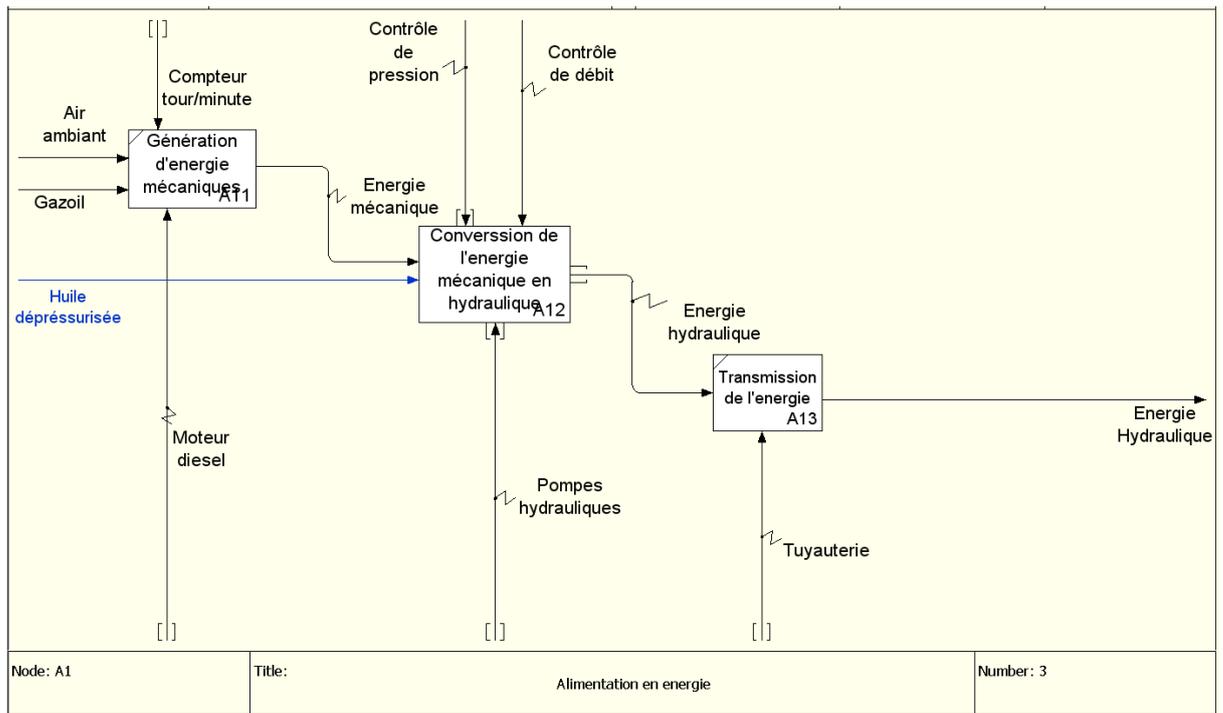


Figure 4.3. Diagramme SADT niveau A1 sous-système alimentation en énergie

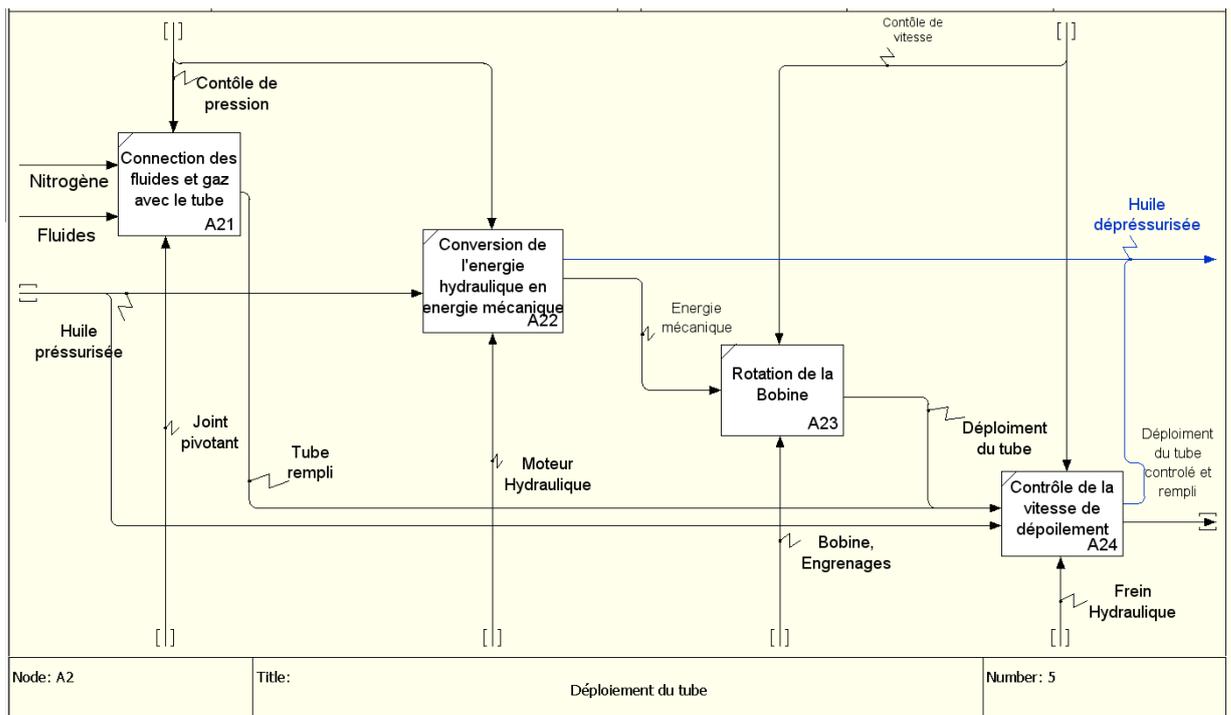


Figure 4.4. Diagramme SADT niveau A2 sous-système déploiement du tube

- **Sous-système injection du tube** : son rôle est de guider, d'injecter et de tirer le tube dans le puits. La figure 4.5. représente le diagramme SADT du sous-système injection du tube.

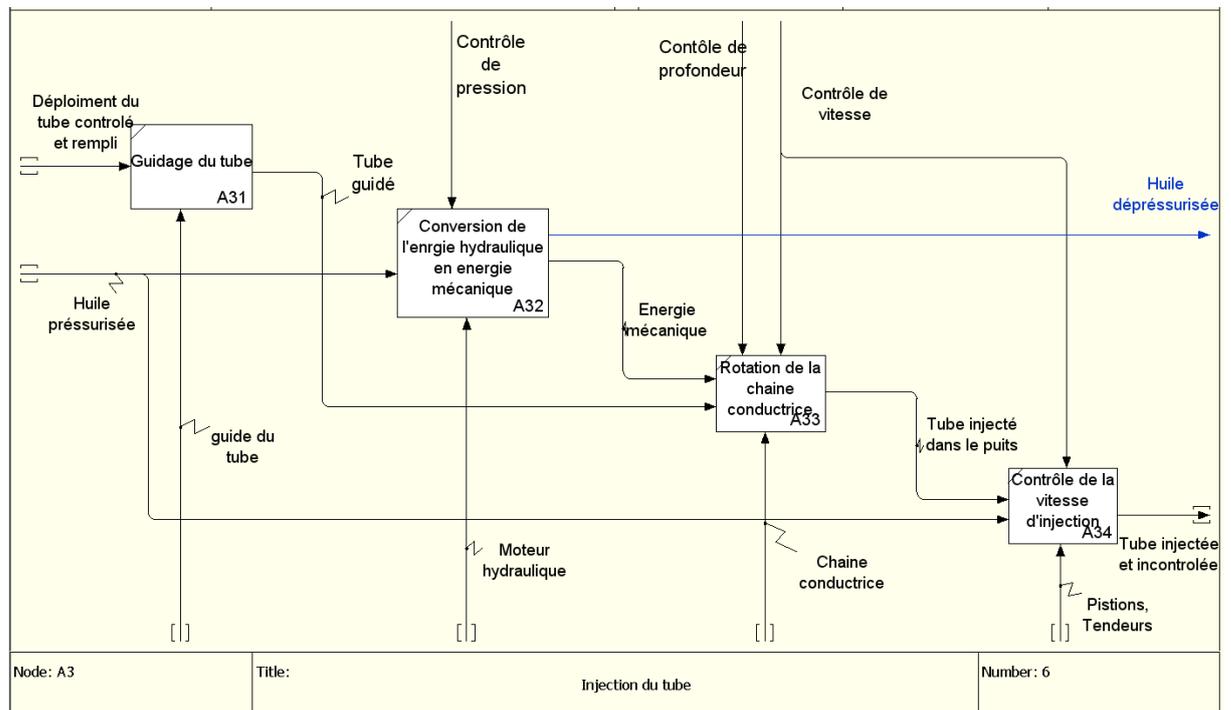


Figure 4.5. Diagramme SADT niveau A3 sous-système injection du tube

- **Sous-système étanchéisation du puits** : son rôle est d'étanchéifier le puits grâce au stripper ainsi que la protection du puits en cas de venue ou éruption et cela avec le BOP. La figure 4.6. représente le diagramme SADT du sous-système étanchéisation du puits. Ce sous-système est encore détaillé dans les figures 4.7. et 4.8. pour une meilleure compréhension.
- **Sous-système conversion de l'énergie mécanique en énergie hydraulique** : le circuit hydraulique est le circuit principal qui actionne l'unité de Coiled Tubing. Il fonctionne selon le diagramme indiqué dans la figure 4.9. :

**Sous-système injection des produits** : ce sous-système n'a pas été inclus dans l'étude car il ne peut pas compromettre tout le système en cas de défaillance

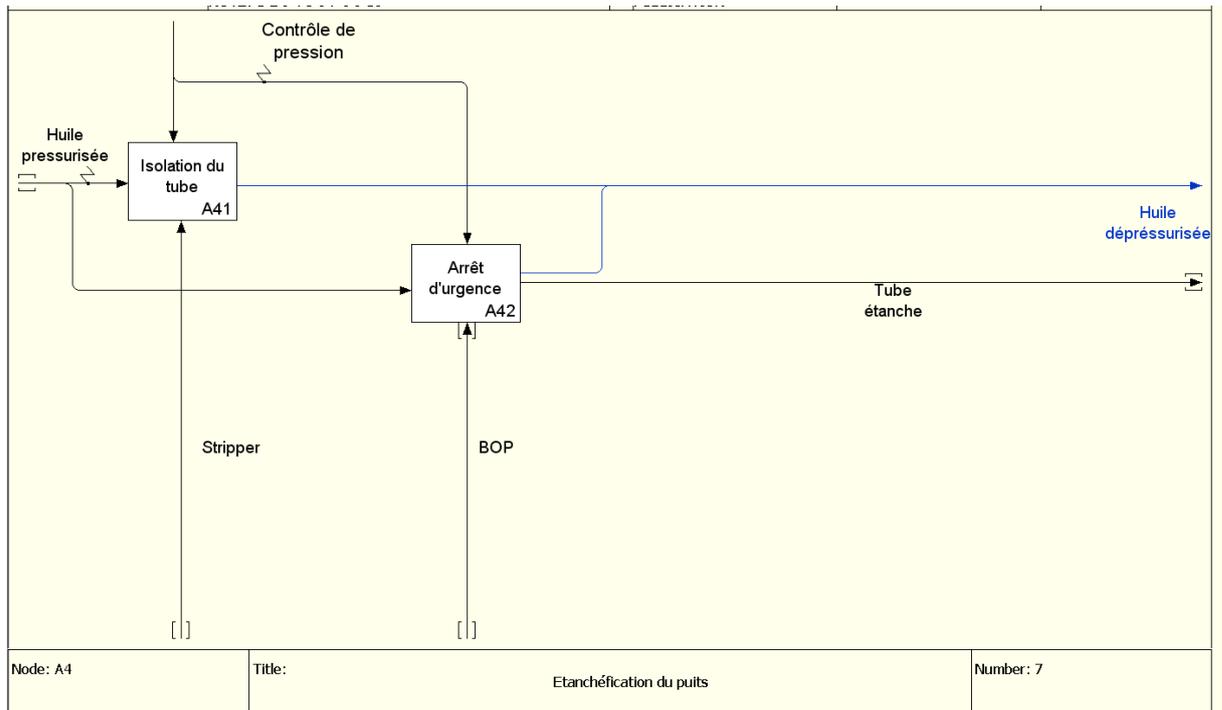


Figure 4.6. Diagramme SADT niveau A4 sous-système étanchéisation du puits

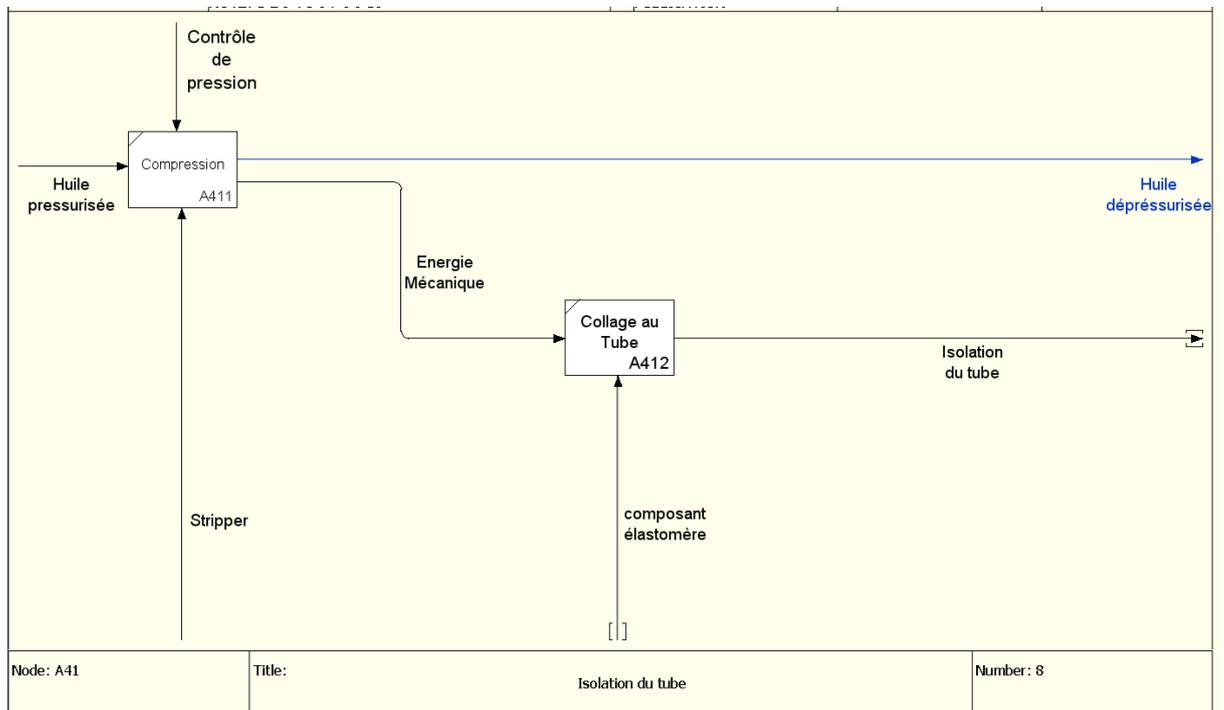


Figure 4.7. Diagramme SADT niveau A4 sous-système étanchéisation du puits (isolation du tube)

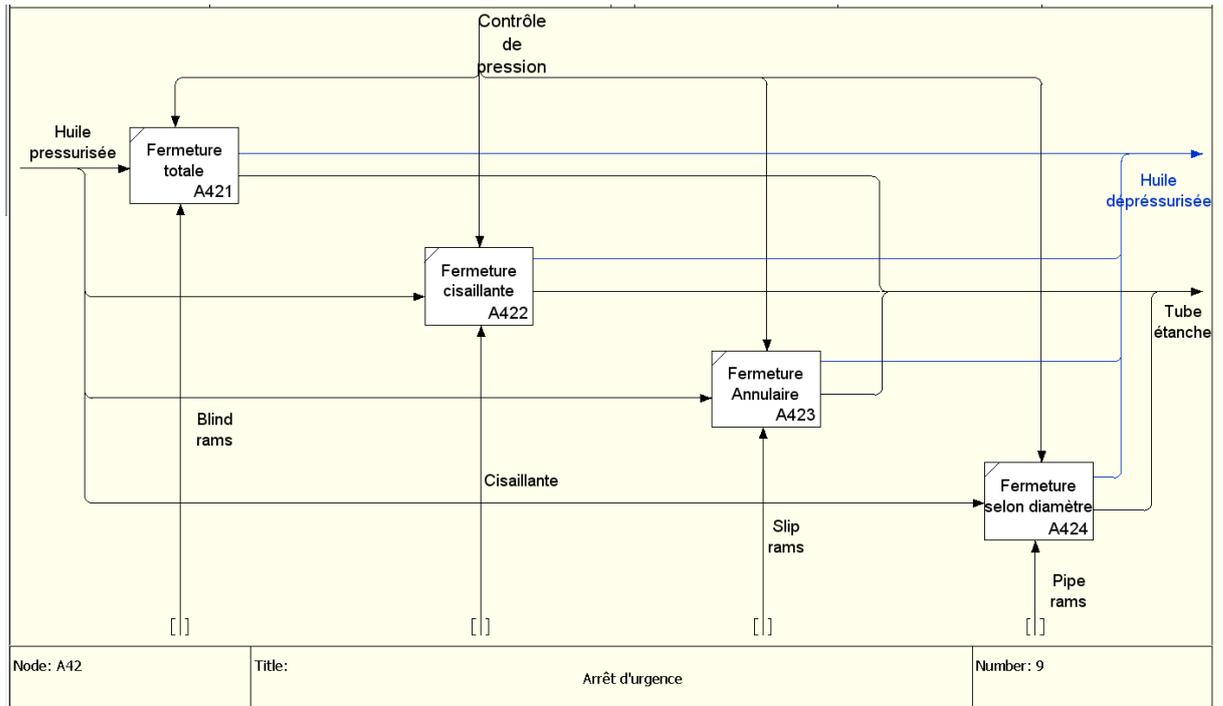


Figure 4.8. Diagramme SADT niveau A4 sous-système étanchéisation du puits (arrêt d'urgence)

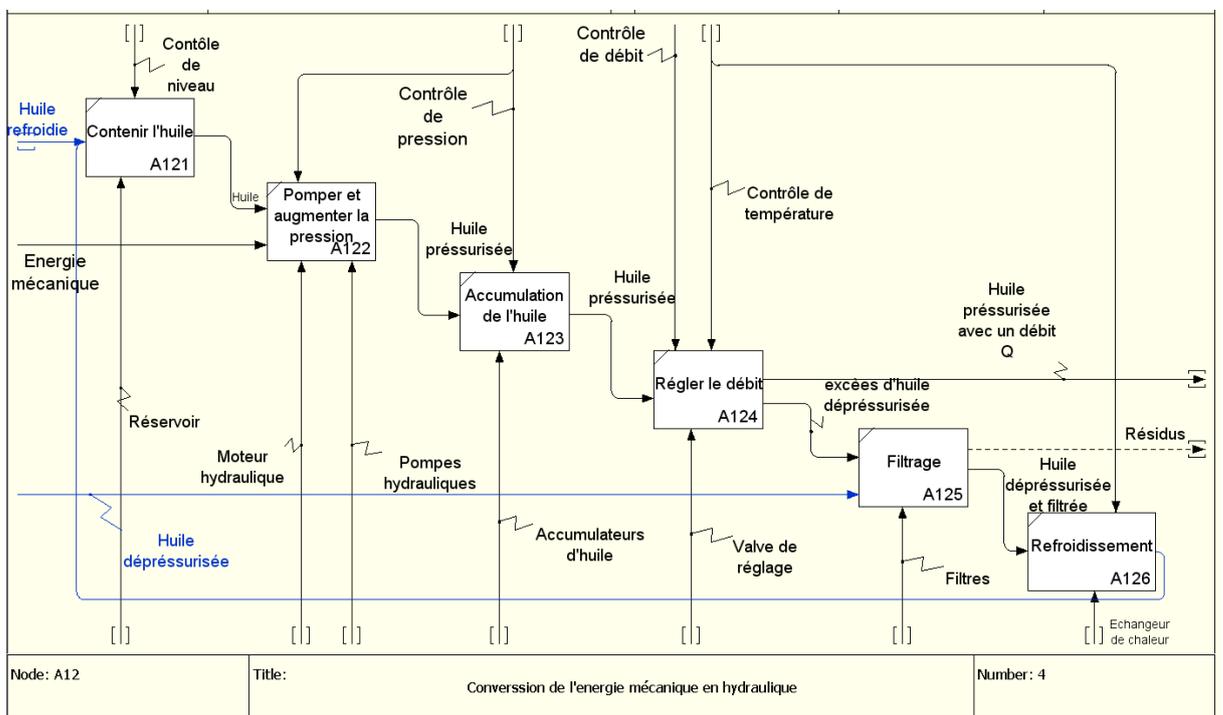


Figure 4.9. Diagramme SADT niveau A1 sous-système alimentation en énergie (conversion de l'énergie mécanique en hydraulique)

## . –Systèmes secondaires

Les systèmes secondaires ne font pas partie de l'unité de Coiled Tubing, cepen-

dant ils jouent un rôle crucial dans son fonctionnement et peuvent être à l'origine de défaillances contraignantes, c'est pourquoi qu'ils ne sont pas ignorés dans la résolution de la problématique, ces systèmes assurent des tâches primordiales pour le bon fonctionnement de l'unité.

Système **production de l'azote** : le rôle de ce système consiste à produire de l'azote gazeux à partir de l'azote liquide. En plus, il assure le pompage de l'azote gazeux vers l'unité de CT pour l'injecter à l'intérieur du puits. Ce système fonctionne selon le diagramme indiqué par la figure 4.10

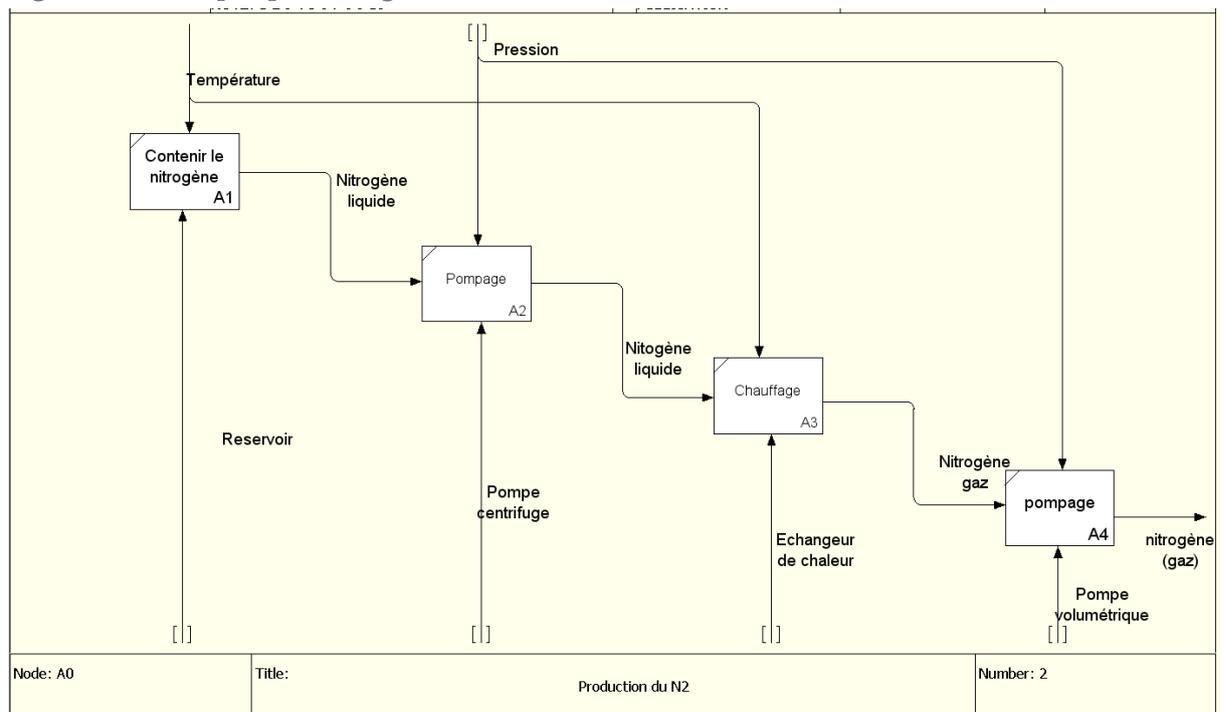


Figure 4.10. Diagramme SADT niveau A0 système production de l'azote gazeux.

Système **pompage du fluide** : son rôle est de pomper les fluides nécessaires et spécifiques pour chaque opération. Il fonctionne selon le diagramme indiqué par la figure 4.11.

Après avoir présenté ci-dessus la décomposition fonctionnelle SADT de l'unité Coiled Tubing ainsi que les systèmes secondaires, l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets peut être entamée.

### 4.3. Application de l'analyse des modes de défaillances et de leurs effets

L'AMDE est une étape centrale dans la résolution de la problématique, car elle

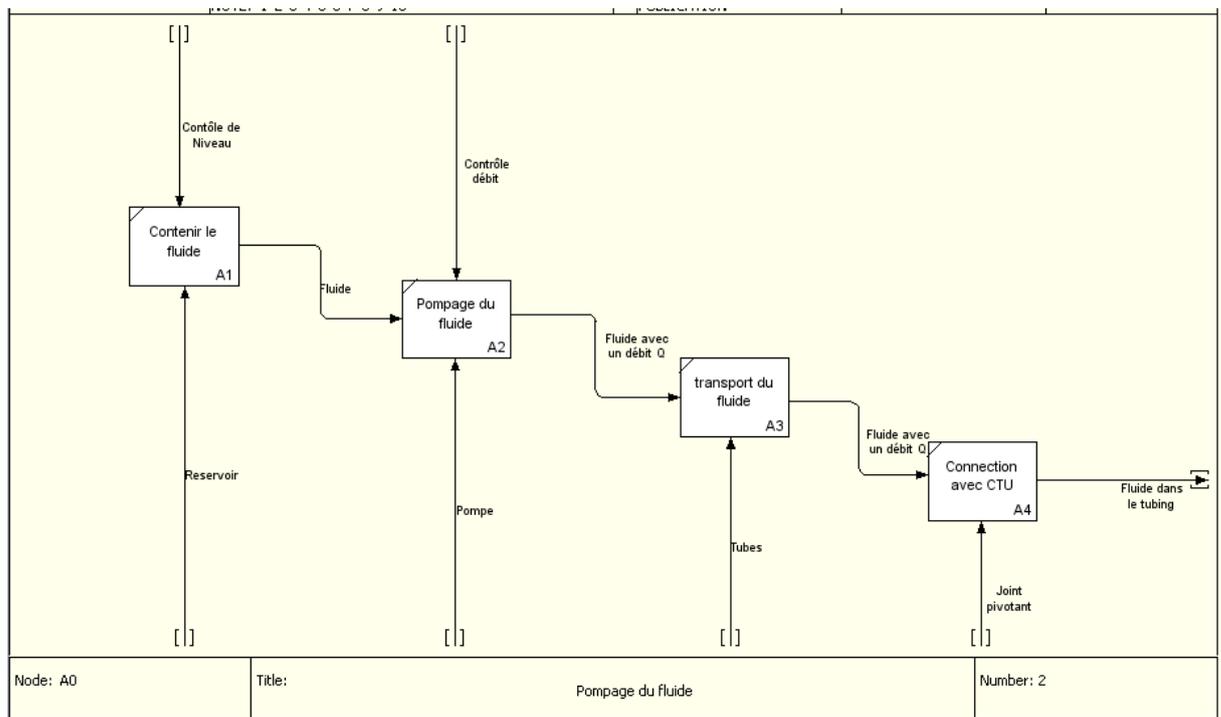


Figure 4.11. Diagramme SADT Niveau A0 système pompage du fluide

permet de recenser les possibles défaillances qui peuvent arriver ainsi que les effets et les phénomènes engendrés par ces défaillances.

#### 4.3.1. Utilité de l'AMDE ?

L'approche suivie pour résoudre la problématique est de recenser les phénomènes qui peuvent survenir et ce loin de la criticité car la gravité de chaque effet est considérable étant donné la spécificité de l'opération de Coiled Tubing qui est une intervention sur un puits sous pression.

#### 4.3.2. Déroulement de l'AMDE :

Les systèmes et les sous-systèmes ainsi que les équipements ont été identifiés grâce à la méthode SADT. Le découpage des systèmes bloc d'alimentation, bobine, tête d'injecteur, équipement de contrôle de pression, pompage de l'azote et pompage des fluides sont respectivement indiqués dans les tableaux 4.1., 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 et 4.6.

Tableau 4.1. Découpage du système bloc d'alimentation

Sous-système	Equipement
système de combustion	réservoir gasoil
	Moteur à combustion
Système hydraulique	réservoir d'huile
	Pompes
	Accumulateur
	Vanne de réglage
	Filtres
	Echangeur de chaleur
Tuyauterie	Tuyauterie
Admission d'air	/

Tableau 4.2. Découpage du système bobine

Sous-système	Equipement
Moteur	Moteur hydraulique
	Engrenage/ chaines
	Frein hydraulique
contrôle de niveau de vent	tête pivotante
	Joint pivotant
Tube	Tube

Tableau 4.3. Découpage du système injecteur

Sous-système	Equipement
Tête d'injecteur	Moteur hydraulique
	Engrenage/ chaines
	Frein hydraulique
	Piston hydraulique

Tableau 4.4. Découpage du système équipements de contrôle de pression

Sous-système	Equipement
Stripper	Composant élastomère
	Stripper
BOP	Blind rams
	Shear Rams
	Slip rams
	Pipe rams

Tableau 4.5. Découpage du système équipements de contrôle de pression

Sous-système	Equipement
Production N2	réservoir Nitrogène
	Pompes
	Echangeur de chaleur

Tableau 4.6. Découpage du système pompage du fluide

Sous-système	Equipement
Pompage fluide	réservoir Fluide
	Pompes
	Tubes
	Joint pivotant

#### 4.4. Les résultats de l'AMDE

L'application de l'AMDE sur l'unité de coiled tubing est indiquée dans l'annexe I. Une fois l'AMDE appliquée, il est important d'en tirer les effets et les phénomènes dangereux à prioriser. Pour cela, les effets sont recensés ainsi que leurs répétitions (Tableau 4.7).

Les effets ont été regroupés d'une manière globale pour simplifier les chiffres, exemple : la surpression du fluide, de l'azote, et de l'huile dans le circuit ont été regroupés dans la case surpression.

Tableau 4.7. Les effets recensés et leurs pourcentages suite à l'AMDE

<b>EFFETS</b>	<b>NOMBRES</b>	<b>POURCENTAGES (%)</b>
Fuite d'huile	10	21.7
Déploiement incontrôlé	9	19.5
Perturbation de la combustion	8	17.4
Surpression	5	10.8
Arrêt de pompage	2	4.4
Dépression	3	6.5
Ecrasement du tube	2	4.4
Venue	3	6.5
Eruption	2	4.4
Perte de chauffage/refroidissement	2	4.4
Totale	46	100

#### 4.4.1. Interprétation des résultats

Les fréquences d'occurrence des effets sont représentées dans la figure 4.11. selon un diagramme circulaire. Dans ce dernier, on constate que les fuites d'huile, le déploiement incontrôlé du tube, la perturbation de la combustion et la surpression représentent 71% des effets qui peuvent survenir.

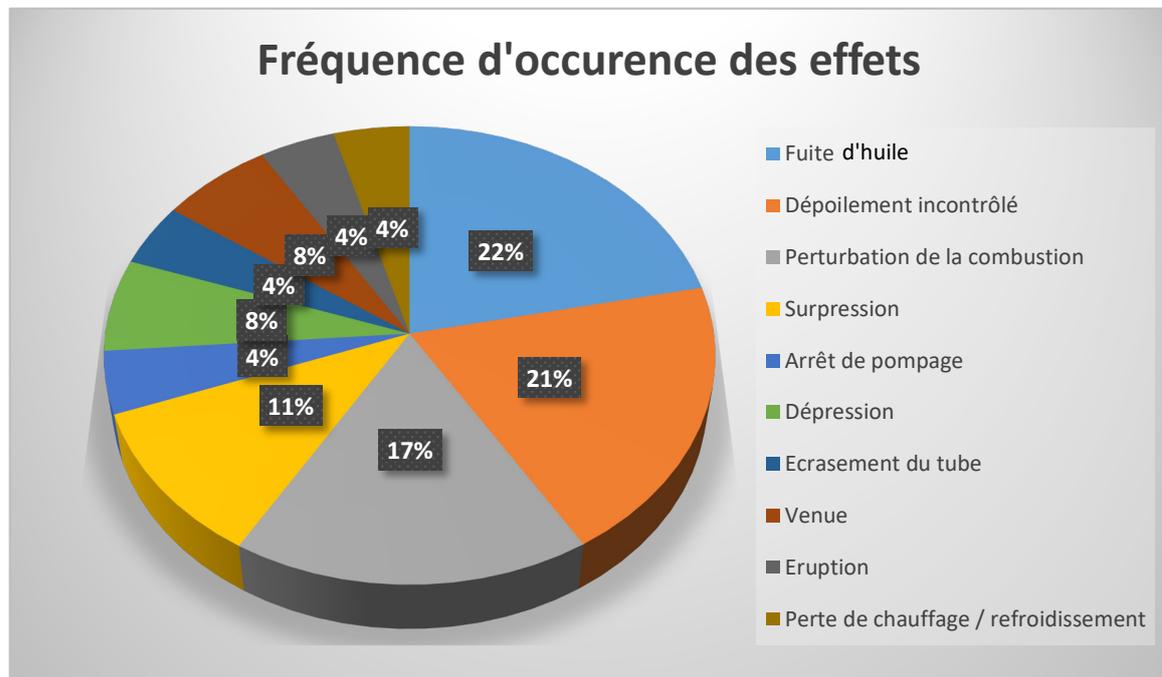


Figure 4.11. Diagramme circulaire représentant la fréquence d'occurrence des effets.

Les fuites peuvent apparaître dans n'importe quel composant de l'unité notamment le tube. Le déploiement incontrôlé du tube est défini comme étant la perte de contrôle de l'injection ou le retraitement du tube. L'effet de la perturbation de la combustion peut apparaître dans le bloc d'alimentation et il est dû aux problèmes mécaniques du moteur diesel qui alimente l'unité. La surpression est l'augmentation de la pression dans l'un des circuits hydrauliques ou de pompage des fluides.

Lors d'une opération de Coiled Tubing si l'un de ces effets surgit, le temps devient un élément clé pour contrôler la situation afin d'éviter les deux événements majeurs à savoir une venue ou une éruption.

#### 4.4.2. Classification des effets selon les composants

Durant l'année 2018 plusieurs défaillances ont été enregistrées dans le réseau Quest de l'entreprise. Le chiffre exact de ces défaillances ne peut être divulgué pour des raisons de confidentialité. Les pourcentages des défaillances classées selon le composant (bloc d'alimentation, tête d'injecteur, bobine et ECP) sont indiqués dans le diagramme en bâton de la figure 4.12.

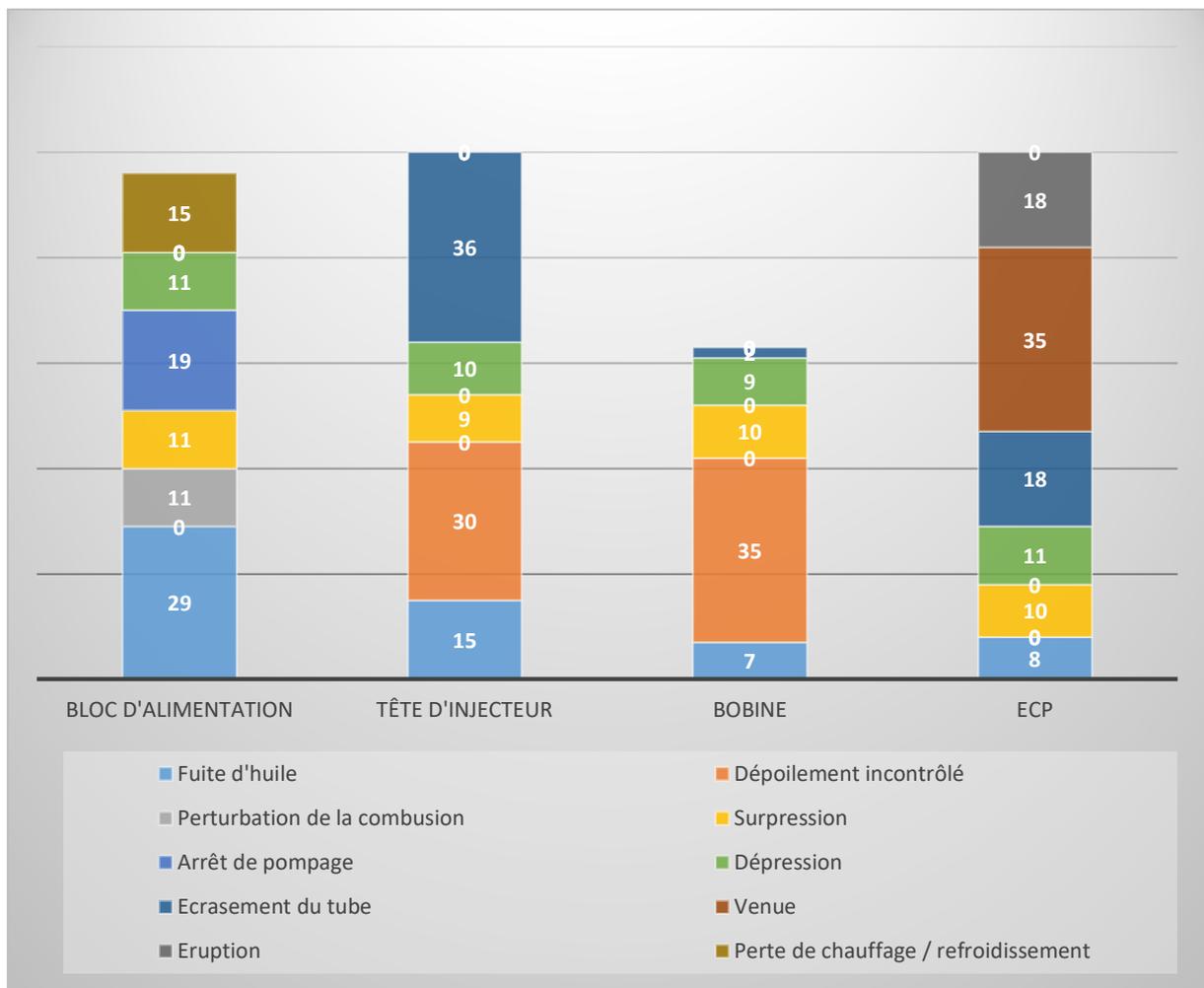


Figure 4.12. Diagramme en bâton représentant les effets classés selon le composant

On remarque que les fuites d'huile sont présentes dans tous les composants tandis que le dépoilement incontrôlé apparaît essentiellement si une défaillance dans la tête d'injecteur ou la bobine se produit.

#### **4.6. Conclusion**

Dans ce chapitre on a procédé à l'analyse du risque. Ceci a permis de déterminer les phénomènes dangereux qui peuvent survenir lors d'une opération de Coiled Tubing. Dans le cas où l'un de ces phénomènes survient, le temps nécessaire pour contrôler la situation est crucial. Une classification des effets selon les composants de l'unité de Coiled Tubing a été faite afin de mieux visualiser la source d'apparition des effets indésirables.

CHAPITRE 5  
SOLUTIONS POUR LA MAITRISE  
DU RISQUE

## 5. SOLUTIONS POUR LA MAITRISE DU RISQUE

### 5.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons une procédure de prévention et de protection d'accident lors d'une opération de Coiled Tubing. Cette procédure contient l'utilisation d'une solution informatique qui a été créée spécialement pour notre problématique.

### 5.2. Le logiciel CTApp

CTApp, Acronyme de **Coiled Tubing Application** est un logiciel qui a été créé pour répondre à la problématique. Il comporte cinq missions :

- La création d'un rapport simplifié sous format.docx (donc modifiable et imprimable) avant chaque opération qui va permettre au responsable de l'opération d'expliquer la situation aux personnels impliqués dans l'intervention.
- L'affichage des fiches de données de sécurité des produits dangereux utilisés lors des opérations de CT et ceci est dépendant de la disponibilité des FDS.
- L'affichage des PI&D de l'opération qui dépend de la disponibilité de l'information.
- L'affichage des types des ECP qui doivent être utilisés selon la pression de la tête du puits.
- L'affichage de la procédure d'urgence en cas de situation d'urgence.

La figure.5.1. représente la première interface du logiciel CTApp qui comporte LDAP qui est l'identifiant de l'employé dont la première lettre du prénom est collé au nom, GIN Number qui est le numéro identifiant chaque employé et qui contient toute les informations de la personne.

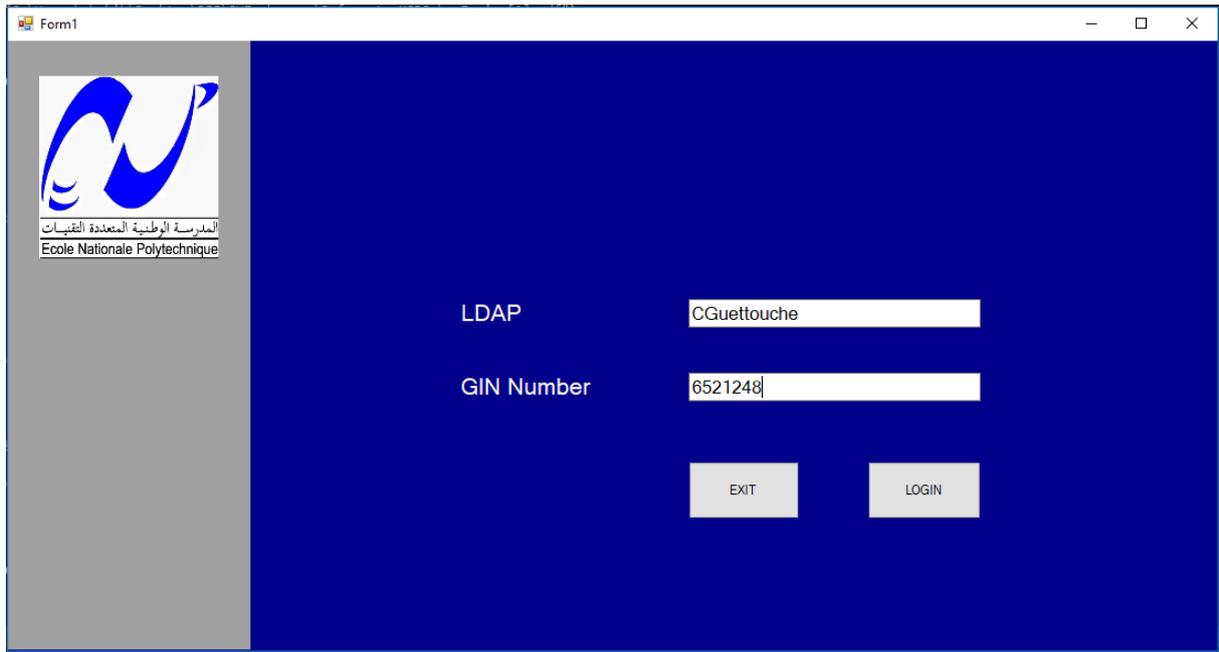


Figure 5.1. L'interface de l'application CTApp

### 5.2.1. Le schéma du fonctionnement du logiciel

Le fonctionnement de l'application CTApp est indiqué dans la figure 5.2.

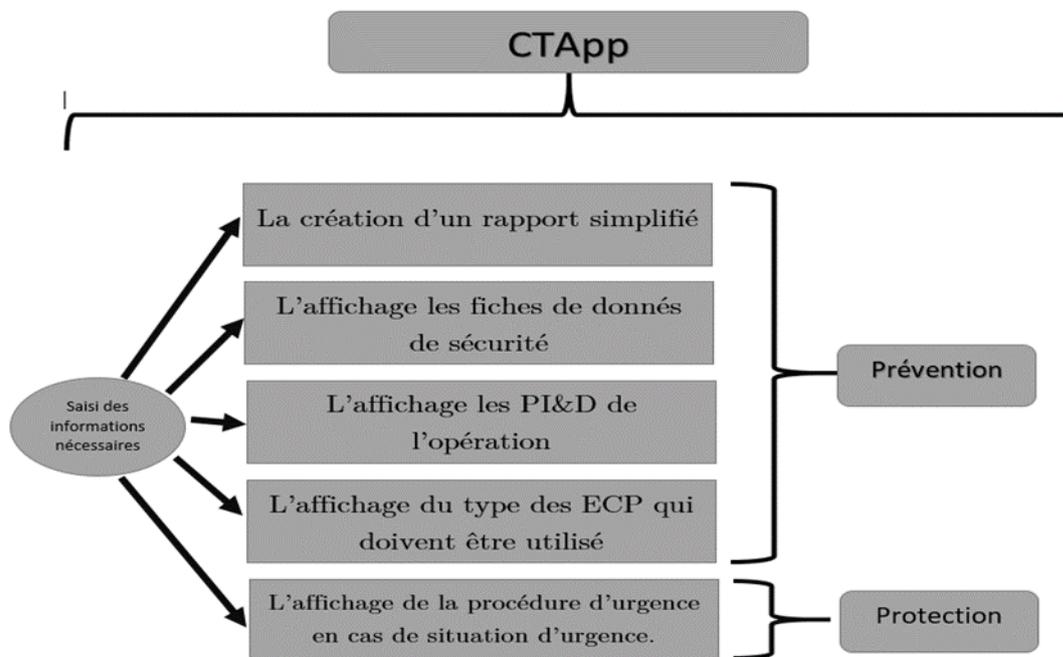


Figure 5.2 principe de fonctionnement de l'application

### 5.2.1.1. Saisi des informations

Cette étape est importante. L'opérateur du logiciel doit disposer de toutes les informations demandées. La figure 5.3. indique un exemple d'application du logiciel.

Parameter	Value
Inflow Control Devices	4 zones
True Vertical Depth (ft)	15108.27
Bottom Interval (ft)	15000
Porosity	20%
Viscosity	0.286 cP
Permeability	200 mD
Oil rate	18.5 m3/h
Gas rate	9320 m3/h
Reservoir Pressure	6969.44
Bottom Hole Temperature	132 °c
H2S	0
CO2	0

Figure 5.3. Fenêtre du logiciel représentant les informations du puits à remplir.

- **Inflow Control Devices** : Un composant passif installé dans le cadre de la complétion d'un puits pour aider à optimiser la production en étouffant partiellement le débit. Plusieurs dispositifs de contrôle peuvent être installés le long de la section de la complétion. Dans ce cas 4 zones sont équipées avec ce dispositif, donc il faudra ralentir la pénétration du tubing lors du passage par ses zones [13].
- **True Vertical Depth (TVD)** : La distance verticale entre un point du puits (habituellement la profondeur actuelle ou finale) et un point à la surface. Dans ce cas TVD est égale à 15 108.27 ft [13].
- **Buttom Interval** : La distance maximale que le tubing peut atteindre, 15 000 ft dans notre cas [13].

- **Porosity** : Le pourcentage de volume de pores ou d'espace vide ou encore le volume de liquides que peut contenir une roche, 20% dans notre cas [13].
- **Viscosity ( $\mu$ )** : Propriété des fluides et des boues qui indique leur résistance à l'écoulement. Elle est définie comme étant le rapport entre la contrainte et la vitesse de cisaillement. Son unité est le poiseuille,  $\mu = 0.286$  cP dans notre cas [13].
- **Permeability** : La capacité, ou la mesure de la capacité d'une roche de transmettre des fluides, habituellement mesurés en Darcy (symbole D), 200 mD dans notre cas [13].
- **Oil/Gas flow rate**: Le débit du pétrole ou de gaz [13].
- **Reservoir pressure** : la pression du gisement 6969.4 Psi [13].
- **Bottom Hole Temperature** : La température dans le forage à la profondeur totale au moment où elle est mesurée, 132 °C dans notre cas [13].
- **H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub>** : la quantité du sulfure d'hydrogène et du gaz carbonique présente dans le gisement, elle est nulle pour les deux gaz dans ce cas [13].

### 5.2.1.2. Les fonctionnalités de prévention

#### a. La création d'un rapport simplifié

Un rapport sous format docs sera généré une fois toutes les informations dûment remplies (Annexe II). Ce rapport permettra au responsable du chantier d'expliquer l'opération aux opérateurs avant de l'entamer.

#### b. L'affichage des fiches de données de sécurité et PI&D de l'opération

En tapant le nom de l'opération dans cette fenêtre, on obtient son schéma tuyauterie et instrumentation (PI&D) (Fig.5.4.).

De même, en tapant le nom du produit, on obtient sa fiche de données de sécurité (Fig.5.5.), exemple : le produit dangereux le plus utilisé dans ce genre d'opération est le reformate qui est un dérivé du pétrole hautement inflammable.

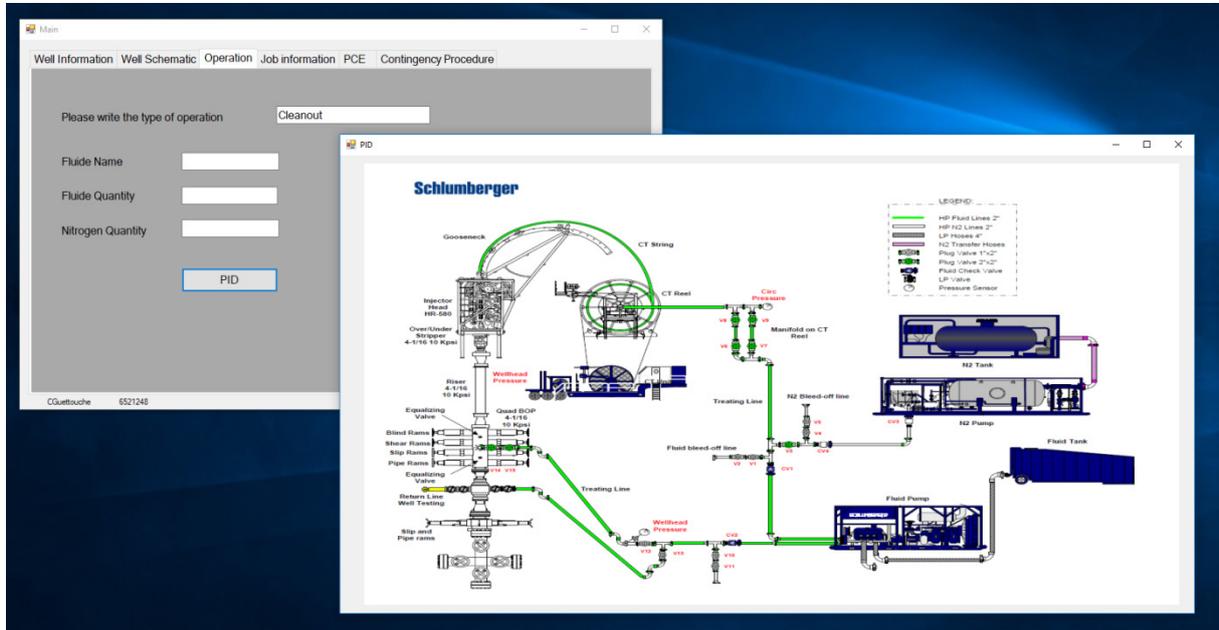


Figure 5.4. La fenêtre mentionnant le PI&D

SECTION I - PRODUCT IDENTIFICATION	
<b>Product Name:</b>	Reformate
<b>Product Use:</b>	Fuel
<b>WHMIS Class:</b>	Class B - Division 2 - Flammable Liquid, Class D - Division 2A, 2B
<b>DOT Classification:</b>	Flammable liquids, n.o.s. (BENZENE, METHYL-); Class 3; UN1993; PGI
<b>TDG Classification:</b>	FLAMMABLE LIQUID, N.O.S. (Benzene, methyl-); Class 3; UN1993; PGI
<b>Manufacturer/Supplier:</b>	Irving Oil Refining G.P. Box 1260 Saint John, NB E2L 4H6 CA Phone: (506) 202-2000 Refinery: (506) 202-3000 Emergency Phone: 1-800-424-9300 (CHEMTREC)

LEGEND HMI/S/NFPA	
Severe	4
Serious	3
Moderate	2
Slight	1
Minimal	0

Health	2
Flammability	3
Physical Hazard	0
Personal Protection	X

**SECTION II - HAZARDOUS INGREDIENTS**

Figure 5.5. La fenêtre mentionnant la FDS

c. L'affichage des équipements de contrôle de pression qui doivent être utilisé

Dans cette fonction, le logiciel va proposer le type des équipements à utiliser qui dépend de la pression maximale de la tête du puits :

$$\text{MPWHP} = \text{Pression du réservoir} - (\text{TVD} * \text{FFG})$$

**TVD** = True vertical depth (ft) : profondeur verticale réelle

**FFG** = Formation fluid gradient (psi/ft) : gradient du fluide de formation

En Algérie FFG = 0.1 psi/ft [2.26kPa/m]

Selon la valeur de MPWHP calculé il existe trois cas avec trois configurations différentes des ECP :

Si  $0 < \text{MPWHP} < 3500 \text{ Psi}$  => configuration 1

Si  $3501 < \text{MPWHP} < 8500 \text{ Psi}$  => configuration 2

Si  $8501 < \text{MPWHP} < 13500 \text{ Psi}$  => Configuration 3

Les figures ci-dessous montrent les trois configurations des ECP possibles dans l'application (Figs. 5.5, 5.6 et 5.7).

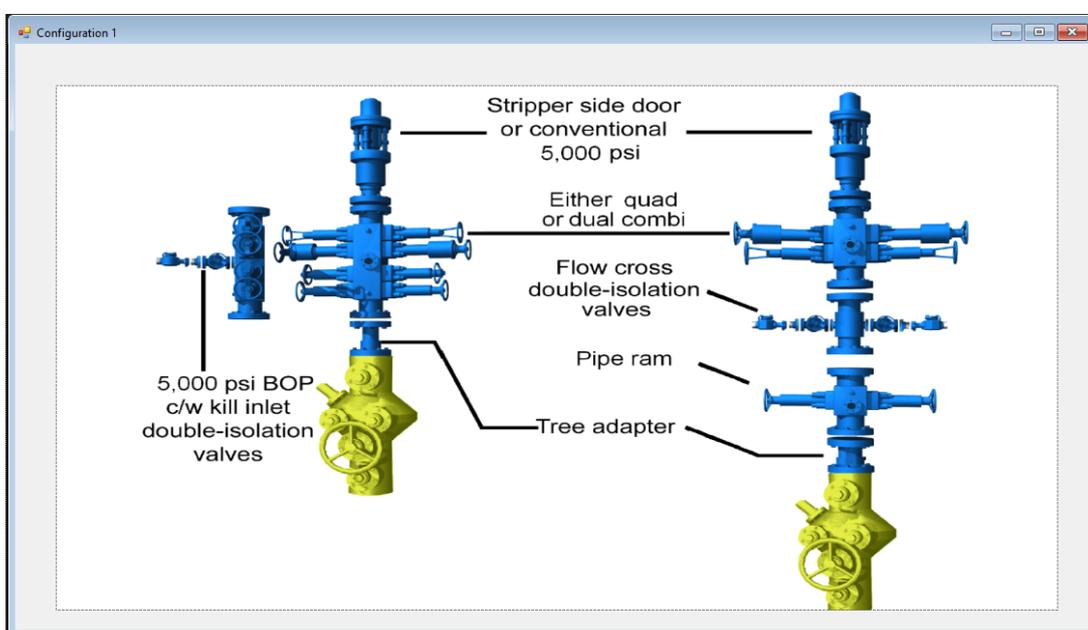


Figure 5.5. La fenêtre représentant la configuration N°1

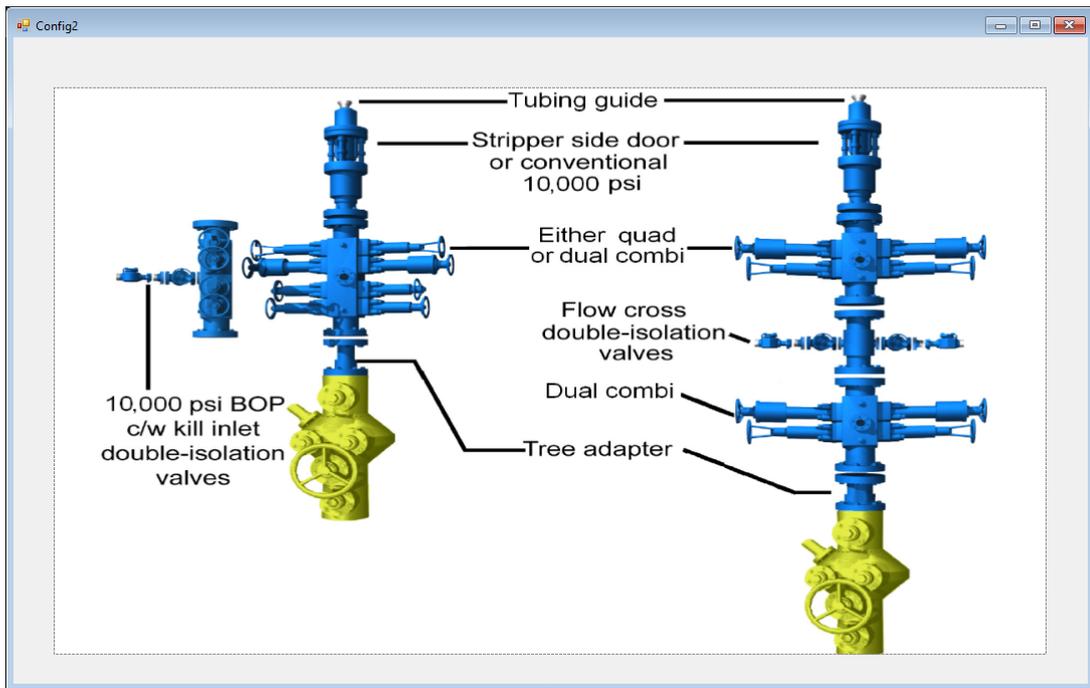


Figure 5.6. La fenêtre représentant la configuration N°2

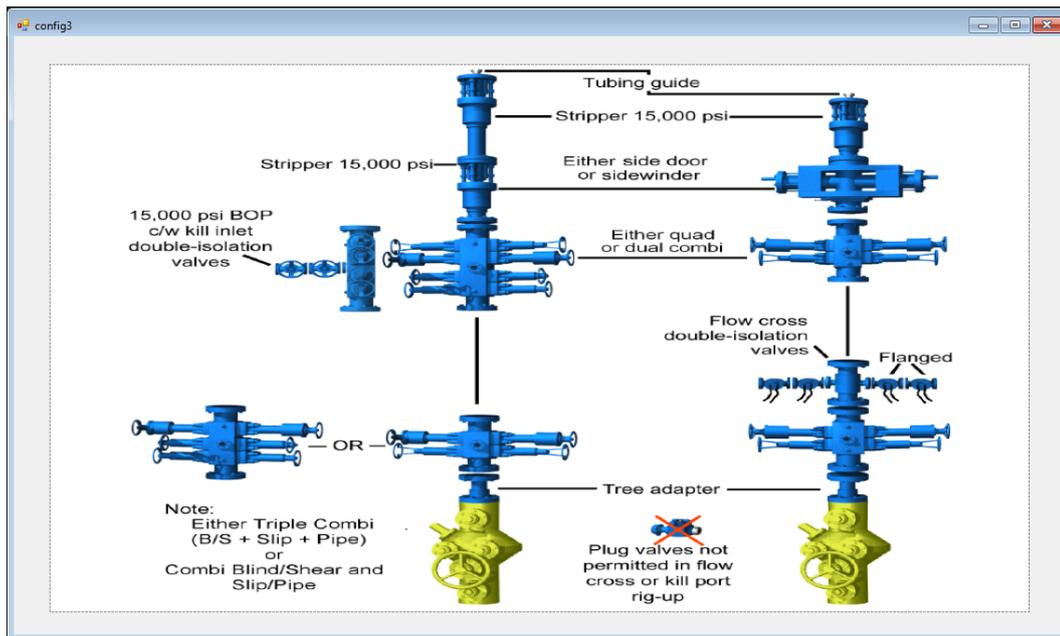


Figure 5.7. La fenêtre représentant la configuration N°3

### 5.1.2.2 Fonctionnalité de protection

En cas d'apparition d'un phénomène dangereux, l'opérateur de l'application peut consulter les procédures d'urgence associées. Ces derniers qui sont des documents confidentiels de l'entreprise sont affichés dans la fenêtre représentée par la figure 5.6.

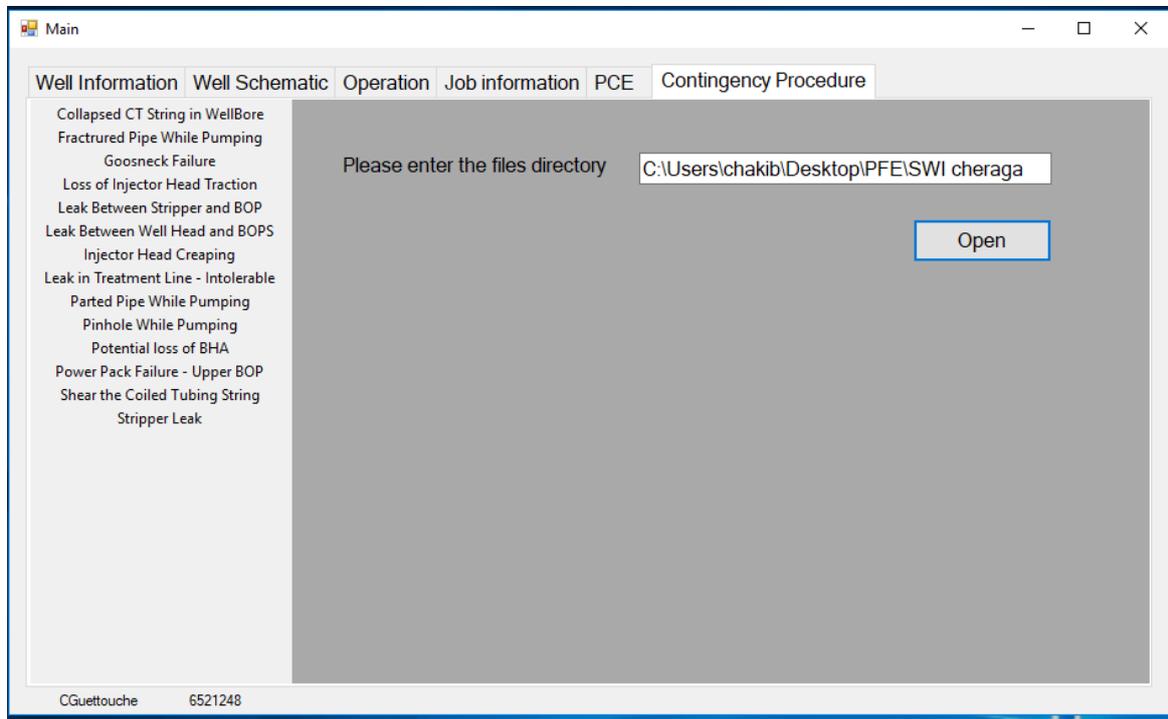


Figure 5.8. La fenêtre représentant la procédure d'urgence à utiliser

### 5.3. Procédure de prévention et protection d'accident lors d'une opération de Coiled Tubing

C'est une procédure qui est créée pour organiser une opération de CT d'un point de vue sécuritaire. Cette procédure qui repose essentiellement sur l'application CTAApp est indiquée au niveau de l'annexe III.

## **5.4 Conclusion**

A travers ce chapitre, nous avons proposé une solution pour notre problématique. La procédure organisant une opération de Coiled Tubing ainsi qu'un logiciel informatique qui facilite la tâche et qui ne peut être qu'un gain de temps considérable et une réduction du nombre de personnel exécutant ont été présentés dans ce chapitre.

## CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'objectif de ce travail vise à étudier dans une perspective sécuritaire pour l'opération de reprise des puits pétroliers, Coiled Tubing. Nous avons suivi une démarche adaptée à la problématique afin de proposer des solutions novatrices.

En premier lieu, nous avons procédé à une analyse d'accidentologie en se basant sur les bases de données de l'entreprise Schlumberger afin de cerner notre étude. Il s'est avéré que la plupart des incidents et accidents se produisent lors la phase d'opération quand l'unité de Coiled Tubing est complètement fonctionnelle.

Une décomposition fonctionnelle de l'unité de Coiled Tubing a été faite pour une analyse des modes de défaillances et leurs effets. Les effets recensés ont été classés selon leur fréquence d'occurrence. Les fuites et le déploiement incontrôlé sont les effets les plus récurrents en plus des problèmes dans le bloc d'alimentation liés au moteur à combustion. Une comparaison avec les données de l'entreprise en matière de défaillances a confirmé la fiabilité des résultats trouvés.

La dernière étape de la démarche est la proposition de moyens de maîtrise. Pour cela, une procédure de prévention et de protection a été proposée en se basant sur un logiciel informatique qui a les fonctionnalités suivantes :

– Pour la prévention :

- La création d'un rapport simplifié sous format Word avant chaque opération qui va permettre au responsable de l'opération d'expliquer la situation aux personnels impliqués dans l'intervention.
- L'affichage des fiches de données de sécurité des produits dangereux utilisés lors des opérations CT.
- L'affichage des PI&D de l'opération CT

- L’affichage des types des ECP qui doivent être utilisés selon la pression de la tête du puits.

– Pour la protection :

- Affichage de la procédure d’urgence en cas de situation d’urgence c’est-à-dire l’apparition d’un effet qui a été recensé dans l’étude AMDE. Les procédures d’urgence sont des documents confidentiels de l’entreprise qui sont intégrés dans le logiciel.

La procédure de prévention et de protection permet un gain de temps d’organisation avant l’intervention en réduisant le nombre des décideurs et en assurant la sécurité de tout le personnel.

Enfin la maîtrise des risques dans les opérations de Coiled Tubing est un processus de longue haleine nécessitant un suivi continu des opérations afin de faire des mises à jour du logiciel et des procédures.

## Références Bibliographiques

- [1] D. VEILLON. La liaison couche trou. Editions TECHNIP (2001). 582p.
- [2] myhub.slb.com, réseau intranet de Schlumberger
- [3] C. E. COHEN. Modélisation et stimulation acide des puits carbonatés. Thèse doctorat. Institut national polytechnique de Toulouse (2007). 240p
- [4] <https://www.icota.com/technical/history/> visté le 18/04/2019
- [5] B. GOMEZ. Introduction to Coiled Tubing. Document interne Schlumberger (2014). 36p
- [6] Adil A.R., Burgos R., Howell R.L., SonaHess, et Samir A. Unique Coiled-Tubing Unit Design Improves Surface Efficiency for Performing Well Interventions in Algeria, SPE 100171. Communication. The Woodlands, TX, U.S.A., 4–5 April 2006. 7p
- [7] Seddar T. et Hammouda M., Maitrise des Risques au niveau du Field Service ALGESCO BAKER HUGHES a GE Company. Mémoire d'ingéniorat. ENP.2018. 140p
- [8] Thierry, H. "Analyse statique et preuve de programmes industriels critiques" Thèse de doctorat. Paris : Université Paris XI. (2008).
- [9] Anonyme. Norme internationale, Techniques d'analyse de la fiabilité du système –Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), 60812.
- [10] Wikepidia ,visité le 15/04/2019
- [11] Wright TR Jr. & Sas-Jaworsky II A (eds):World Oil's Coiled Tubing Handbook. Houston, Texas, USA: Gulf Publishing Co. (1998): 7.
- [12] Schlumberger, Job Excutive Training Manual 31 Coiled Tubing Units (2007). 112p
- [13] [www.glossary.oilfield.slb.com/](http://www.glossary.oilfield.slb.com/) visité le 23/05/2019.

## Annexe I

AMDE (Bloc d'alimentation)									
Système	Sous Système	Equipement repéré	Fonctions ; Etat	Mode de défaillance	Causes de défaillance	Effet local	Effet final	Moyen de détection	Dispositions compensatoires
Bloc d'Alimentation	système de combustion	réservoir gasoil	Contenir le gasoil						
			Fonctionnement normal	fuite externe	usure, corrosion, choc mécanique	baisse de niveau du gasoil, arrêt du moteur, arrêt du bloc d'alimentation de l'unité de CT	Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue	Détecteur de niveau, Capteur de pression, Capteur de température	Alarme dans la cabine de contrôle, Engagement du BOP
		Moteur à combustion	Combustion gasoil						
			Arrêt	Marche intempestive	défaut de commande	perturbation de la combustion et augmentation de la pression dans le bloc d'alimentation	Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue	Capteur de puissance (compteur tours/minute)	Alarme dans la cabine de contrôle, Isolation du moteur et le laisser tourner dans le vide

				fuite externe	Usure, corrosion	perturbation de la combustion et baisse de puissance dans le bloc d'alimentation			
				ne s'arrête pas	Perte de Commande	perturbation de la combustion et augmentation de la pression dans le bloc d'alimentation			Alarme dans la cabine de contrôle, Fermeture du système d'admission d'air, isoler le moteur et le laisser tourner dans le vide, Engagement du BOP
			Marche	Ne marche pas	Défaut ou perte de Commande	pas de combustion	Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue	Capteur de puissance (compteur tours/minute)	Alarme dans la cabine de contrôle, Engagement du BOP
				Arrêt intempestif	défaut de commande	pas de combustion			

			Mauvais débit	défaut de commande	perturbation de la combustion et baisse de puissance dans le bloc d'alimentation				
Système d'admission d'air									
fermé			Fuite interne	Usure, défaut de commande	perturbation de la combustion et augmentation de la pression dans le bloc d'alimentation	Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue	Capteur de pression d'air	Alarme dans la cabine de contrôle, Arrêt de l'opération, Déclanchement du système d'urgence du BOP	
			Ouverture intempestive	défaut de commande					
			Ouvert		ne se ferme pas				Blocage mécanique, défaut de commande, obturation
					fermeture intempestive				défaut de commande
Système hydraulique	réservoir d'huile	Contenir l'huile							

			Fonctionnement normal	fuite externe	usure, corrosion, choc mécanique	Baisse de niveau d'huile, perte d'énergie,	pas de transmission d'énergie à l'unité de CT	Détecteur de niveau	Alarme dans la cabine de contrôle, Arrêt de l'opération, Déclanchement du système d'urgence du BOP
							pas de lubrification des composants mécaniques		
							pas de refroidissement des composants		
		Pompes	Augmente la pression						
			Arrêt	Ne s'arrête pas	défaut de commande	Surpression de l'huile dans le circuit, fuites	Surchauffe des composants de l'unité de CT, éclatement d'un flexible	Capteur de pression d'huile	Alarme dans la cabine de contrôle, Arrêt de l'opération, Déclanchement du système d'urgence du BOP
				Marche intempestive					
			Marche	ne marche pas	Blocage mécanique, défaut de commande, obturation	Arrêt du système hydraulique	Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue		
				Arrêt intempestif					

		Accumulateur	Accumule l'huile						
			Fonctionnement normal	Fuite externe	usure, corrosion, choc mécanique	Baisse de niveau d'huile, perte d'énergie,	Perturbation du pompage, Nappe d'huile	Capteur de pression d'huile	Alarme dans la cabine de Contrôle
		Vanne de réglage	Contrôler le débit						
			Ouvverte	ne s'ouvre pas	Blocage mécanique, défaut de commande obturation	Surpression de l'huile dans le circuit, fuites	Surchauffe des composants de l'unité de CT, éclatement d'un flexible	Capteur de pression d'huile	Alarme dans la cabine de contrôle, Arrêt de l'opération, Déclenchement du système d'urgence du BOP
				ouverture inadéquate					
				Fermeture intempestive					
			fermée	ne se ferme pas	Blocage mécanique, défaut de commande obturation	Perte de pression dans le circuit hydraulique	Perturbation du pompage		
				Ouverture intempestive					
		Fuite interne		usure, corrosion, Erosion	Baisse de niveau d'huile, perte d'énergie,	Perturbation du pompage, Nappe d'huile			
		Filtres	Filtrer l'huile						

			Fonctionnement normal	Pas de filtrage/filtrage insuffisant	Saturation ou usure des filtres	Colmatage ou obturation totale ou partielle des circuits	Détérioration des composants de l'unité de CT	N/A	N/A
	Echangeur de chaleur	Refroidir							
		Fonctionnement normal	Fuite interne	Usure, corrosion, choc mécanique	Perte de refroidissement, contamination du liquide de refroidissement	Surchauffe des composants de l'unité de CT, éclatement d'un flexible	Capture de température, Débitmètre	Alarme dans la cabine de contrôle	
			Fuite externe		Baisse de niveau de l'huile				Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue
	Tuyauterie	Transport de l'huile							
		Fonctionnement normal	Fuite	usure, corrosion, choc mécanique	Baisse de niveau d'huile, perte d'énergie,	Perturbation du pompage, Nappe d'huile	Capteur de pression d'huile	Alarme dans la cabine de Contrôle	
AMDE (Bobine)									

Bobine	Moteur	Moteur hydraulique	Transformation d'énergie							
			Arrêt	Ne s'arrête pas	défaut de commande	Surpression de l'huile dans le circuit, fuites	Surchauffe des composants de l'unité de CT, éclatement d'un flexible	Capteur de pression d'huile	Alarme dans la cabine de contrôle, Arrêt de l'opération, Déclenchement du système d'urgence du BOP	
				Marche intempestive						
			Marche	ne marche pas	Blocage mécanique, défaut de commande, obturation	Arrêt du système hydraulique	Arrêt du système hydraulique, perte d'énergie, Arrêt de l'opération de CT, une venue			
				arrêt intempestive						
			Engrenage/chaines	Transmission de l'énergie						
		Fonctionnement normal		faible ou pas de contact	Usure, Corrosion, pas de lubrification	Arrêt de Déploiement du tube	Arrêt de l'opération	N/A	N/A	
		Frein hydraulique	Réguler la vitesse de Déploiement							
			fermé en fonctionnement normal	Ne se ferme pas	Blocage mécanique, défaut de commande,	déploiement incontrôlé du tube	Arrêt de l'opération	Cellule de poids	Alarme dans la cabine de contrôle	
				ouverture intempestive						

					obturation, fuite d'huile				
système de contrôle de niveau de vent	tête pivotante	Guidage du tube							
		Fonctionne- ment normal	Ne pivote pas	Blocage mé- canique, dé- faut de commande, obturation, pas de lu- brification	Enroulement ou déroule- ment du tube incorrect	écrasement du tube	Contrôle vi- suel à partir de la cabine,	Manette pour contrôle ma- nuel	
	Joint pivo- tant	Connecter les fluides avec le tube							
		Fonctionne- ment normal	Ne pivote pas	Blocage mé- canique, ob- turation	Ecrasement du tube	Nappe de fluide	N/A	N/A	
			Fuite	usure, cor- rosion, choc mécanique	Baisse de ni- veau du fluide, Perte de pres- sion	Perturbation du pompage, Nappe de fluide	Débit de pom- page	N/A	
	Tube	Transport de l'huile							
Fonctionne- ment normal		Fuite	usure, cor- rosion, choc mécanique	Baisse de ni- veau du fluide,	Perturbation du pompage,	Débit de pom- page	Alarme dans la cabine de Contrôle		

					Perte de pression	Nappe de fluide		
AMDE (Injecteur)								
Tête d'injecteur	Moteur hydraulique	Transformation d'énergie						
		Arrêt	Ne s'arrête pas	défaut de commande	déploiement incontrôlé du tube	Arrêt de l'opération	Cellule de poids	Alarme dans la cabine de contrôle
			Marche intempestive					
		Marche	ne marche pas	Blocage mécanique, défaut de commande obturation	Arrêt de Déploiement du tube			
	arrêt intempestive							
	Engrenage/chaines	Transmission de l'énergie						
		Fonctionnement normal	faible ou pas de contact	Usure, Corrosion, pas de lubrification	Arrêt de Déploiement du tube	Arrêt de l'opération	N/A	N/A
	Frein hydraulique	Réguler la vitesse de Déploiement						
		Ne se ferme pas			Arrêt de l'opération	Cellule de poids		

		fermé en fonctionnement normal	ouverture in-tempestive	Blocage mécanique, défaut de commande, obturation, fuite d'huile	Déploiement incontrôlé du tube			Alarme dans la cabine de contrôle
	Piston hydraulique	Tendre les chaînes						
		position fermée	Ne se ferme pas	Blocage mécanique	Tension non adéquate sur les chaînes	déploiement incontrôlé du tube	Cellule de poids	Alarme dans la cabine de contrôle
		Position ouverte	ne s'ouvre pas					
	Cellule de poids	Mesurer le poids						
		Fonctionnement normal	indication erronée	Défaut électronique	Lecture erronée des données	déploiement incontrôlé du tube	CoilSaver	Alarme dans la cabine de contrôle
AMDE (Equipement de contrôle de pression)								
Equipement de contrôle de pression	Stripper	Composant élastomère	Collage au tube					
			fonctionnement normal	Faible ou pas de contact	usure, perte de pression, blocage mécanique	Venue		BOP
	Stripper	Compression du tube						

			fonctionnement normal	pas de compression	usure, perte de pression, blocage mécanique	Venue	BOP	Alarme dans la cabine
BOP	Blind rams	Fermeture totale						
		ouvert en fonctionnement normal	Ne se ferme pas	usure, perte de pression, blocage mécanique	éruption	N/A	Alarme dans la cabine	
	Shear Rams	Fermeture cisailant						
		ouvert en fonctionnement normal	Ne se ferme pas	usure, perte de pression, blocage mécanique	éruption	BOP	Alarme dans la cabine	
	Slip rams	Fermeture Annulaire						
		ouvert en fonctionnement normal	Ne se ferme pas	usure, perte de pression, blocage mécanique	Venue	BOP	Alarme dans la cabine	
	Pipe rams	Fermeture sur un diamètre donné						

			ouvert en fonctionnement normal	Ne se ferme pas	usure, perte de pression, blocage mécanique	Venue	BOP	Alarme dans la cabine
--	--	--	---------------------------------	-----------------	---	-------	-----	-----------------------

Annexe II

# National Polytechnic School



## Coiled Tubing Contingency Report

Reporter:

<Name>

<GIN>

1. Well Information:

<b>Inflow Control Devices:</b>	<InflowControlDevices>
<b>Top Interval (ft)</b>	<TopInterval>
<b>Bottom Interval (ft)</b>	<BottomInterval>
<b>Porosity</b>	<Porosity>
<b>Viscosity</b>	<Viscosity>
<b>Permeability</b>	<Permeability>
<b>Oil Rate</b>	<OilRate>
<b>Gas Rate</b>	<GasRate>
<b>Reservoir Pressure</b>	<ReservoirPressure>
<b>Bottom Hole Temperature</b>	<BottomHoleTemperature>
<b>H2S Content</b>	<H2SContent>
<b>CO2 Content</b>	<CO2Content>

2. Well Schematic:

3. Well History:

DATE	Operation
<Date1>	<Operation1>
<Date2>	<Operation2>
<Date3>	<Operation3>
<Date4>	<Operation4>
<Date5>	<Operation5>
<Date6>	<Operation6>

4. Type of the Operation: <Operation>

5. PI&D :

6. Fluid Name : <FluideName>

7. Fluid Quantity: <FluidQuantity>

8. Nitrogen Quantity: <NitrogenQuantity>

9. Job Information : <Jobinformation>

10. Target : <Target>



Services des puits : Procédure de prévention et protection d'accident lors  
d'une opération de Coiled Tubing.

Version : 1.0

Date de sortie : 18/06/2019

Propriétaire : Le manager des opérations des  
Services des puits.

Approbation :

	Rédacteur	Révisé par	Approuvé par
Nom et prénom			
Signature			

Sommaire :

1. Objet
2. Champ d'application
3. Exceptions
4. Documents de référence
5. Définitions et abréviations
6. Responsabilités
7. Formation
8. La minute sécurité
9. Implémentation
  - a. Information du puits
  - b. Schéma du puits
  - c. Opération
  - d. Information de la tâche
  - e. Equipement de pression de contrôle
  - f. Procédures d'urgence

## 1. Objet

La présente procédure a pour objet de prévenir les blessures chez les employés de Schlumberger et le personnel tiers, et de réduire au minimum les risques d'endommagement de l'unité utilisé pour les opérations de Coiled Tubing.

## 2. Champ d'application

Cette procédure s'applique à toutes les opérations de Coiled Tubing.

Le respect de cette procédure est l'exigence minimale de Schlumberger.

## 3. Exceptions

Tout écart par rapport à cette procédure doit être approuvé par le manager des opérations des services des puits si et seulement si une évaluation des risques est effectuée. Le niveau de risque de cette évaluation doit être ALARP conformément aux standards de Schlumberger.

## 4. Documents de référence

Well Services QHSE Standard 02: Coiled Tubing Operations

Schlumberger QHSE Standard S020 (Hazard Analysis and Risk Control)

## 5. Définitions et abréviations

**ALARP** : As Low As Reasonably Practicable, c'est une expression utilisée pour décrire le processus permettant à la direction d'équilibrer entre le coût et avantages des mesures de contrôle des risques.

**BOP** : Bloc obturateur de pression

**Equipements de contrôle de pression** : Les composants contenant une pression à savoir le stripper et le BOP.

**EPI** : Equipement de protection individuel.

## 6. Responsabilités

Toute la hiérarchie doit assurer la pleine conformité avec la présente procédure.

L'ingénieur en charge doit utiliser l'application CTApp et la faire signer par son responsable hiérarchique.

Chaque opérateur doit prendre les mesures appropriées, y compris la sécurisation du puits, si les risques ne sont pas acceptables.

## **7. Formation**

L'ingénieur en charge doit être formé et informé sur la façon dont l'application CTApp est utilisée.

## **8. La minute sécurité**

- Informer le personnel de la façon dont les équipements vont être connectés (PI&D à consulter dans l'application CTApp).
- Informer le personnel de tous les risques de l'opération et leur présenter la fiche de données de sécurité (FDS à consulter dans l'application CTApp).
- S'assurer que le personnel a les EPIs adéquats.

## **9. Implémentation**

L'application CTApp est faite pour faciliter la tâche du responsable de l'opération de Coiled Tubing et l'ingénieur en charge. Cette application comporte 5 fonctions :

- La création d'un rapport simplifié sous format Word.
- L'affichage des fiches de données de sécurité des produits dangereux utilisés lors des opérations de CT, ceci est dépendant de la disponibilité des FDS.
- L'affichage des PI&D de l'opération qui dépend de la disponibilité de l'information.
- L'affichage des types des ECP qui doivent être utilisés selon la pression de la tête du puits.
- L'affichage de la procédure d'urgence en cas de situation d'urgence.

Se reporter à la première interface du logiciel CTAApp qui comporte le LDAP et le GIN number (Fig. 1.).

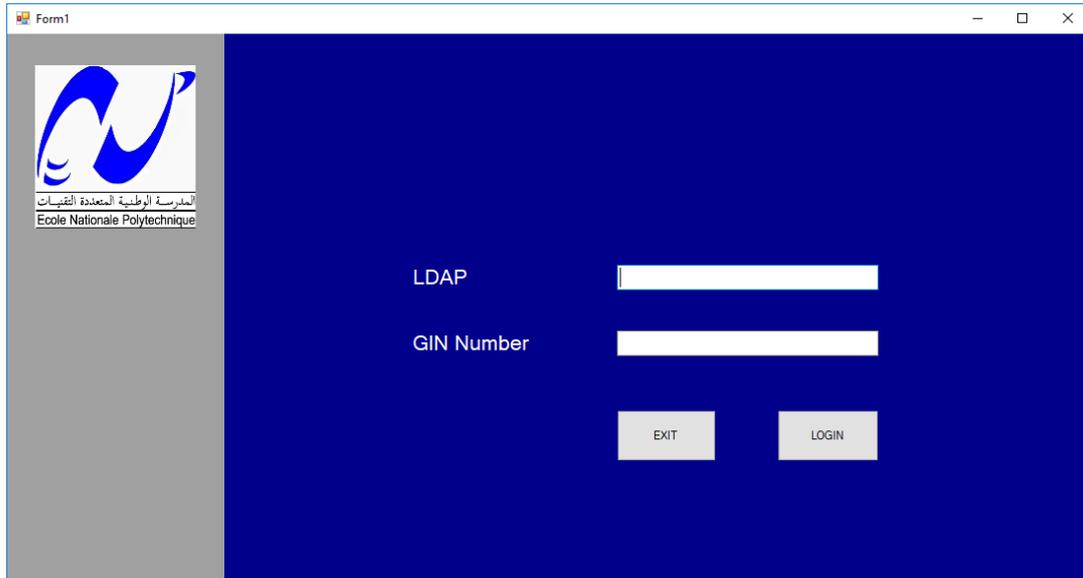


Figure 1. La fenêtre d'accueil de l'application CTAApp

#### a. Information du puits

L'opérateur du logiciel doit disposer de toutes les informations demandées. La figure 2 indique un exemple d'application du logiciel (Fig. 2)

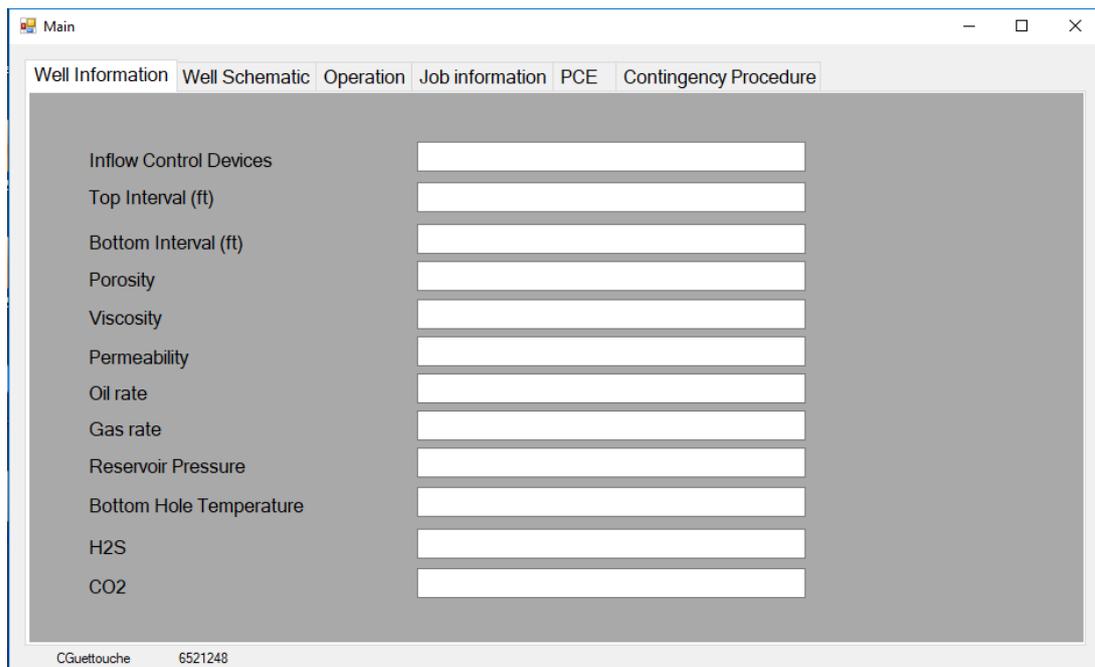


Figure 2. La fenêtre représentant les informations du puits à remplir

#### b. Schéma du puits

The screenshot shows a software window titled 'Main' with several tabs: 'Well Information', 'Well Schematic', 'Operation', 'Job information', 'PCE', and 'Contingency Procedure'. The 'Well Schematic' tab is active. It contains the following elements:

- A button labeled 'Import'.
- A text prompt: 'Please Write the Well History'.
- Two columns of input fields:
  - The first column is labeled 'DATE' and contains six empty text boxes.
  - The second column is labeled 'Operation' and contains six empty text boxes.
- A label 'Max pressure' followed by a single empty text box.
- A status bar at the bottom left with the text 'CGuettouche 6521248'.

Figure 3. La fenêtre représentant les informations qu'il faut fournir

### c. Opération

The screenshot shows the same 'Main' software window, but with the 'Operation' tab selected. It contains the following elements:

- A text prompt: 'Please write the type of operation' followed by a single empty text box.
- A label 'Fluide Name' followed by an empty text box and a button labeled 'SDS'.
- A label 'Fluide Quantity' followed by an empty text box.
- A label 'Nitrogen Quantity' followed by an empty text box.
- A button labeled 'PID'.
- A status bar at the bottom left with the text 'CGuettouche 6521248'.

Figure 4. La fenêtre représentant les informations de l'opération qu'il faut fournir

### d. Information de la tâche

Le désigne de l'opération doit être fait avec le logiciel dédié CoilCADE et les résultats doivent être approuvés par le responsable.

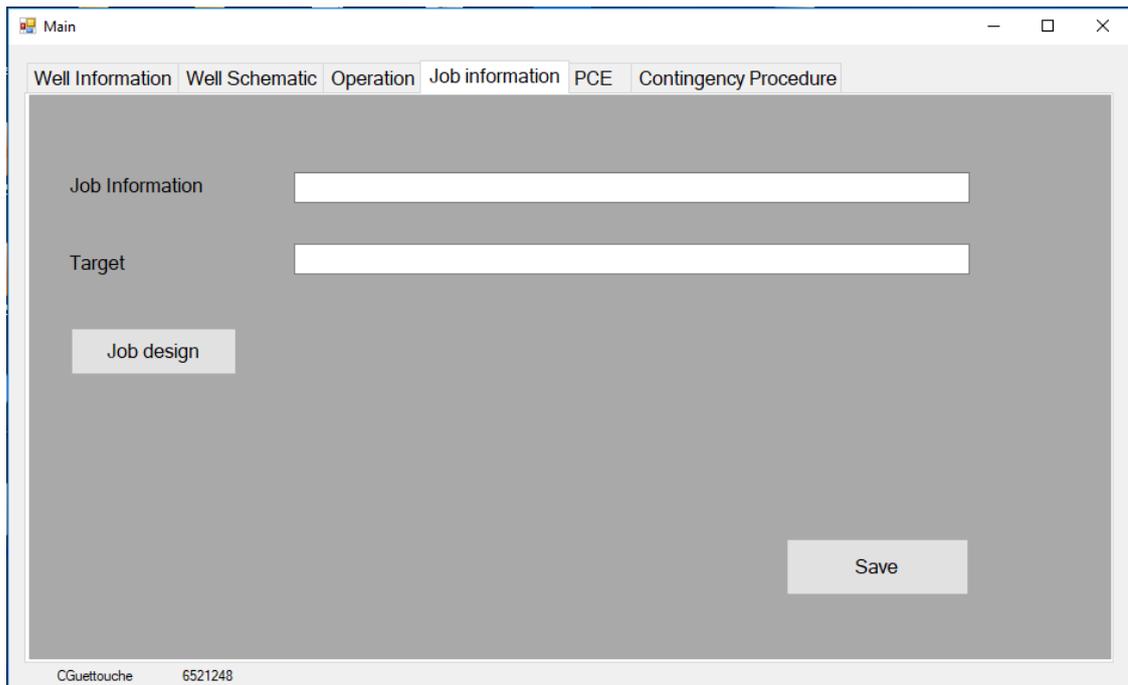


Figure 5- La fenêtre représentant les informations

e. **Equipement de contrôle de pression**

f. Dans cette fonction, le logiciel va proposer le type des équipements à utiliser qui dépend de la pression maximale de la tête du puits :

$$\text{MPWHP} = \text{Pression du réservoir} - (\text{TVD} * \text{FFG})$$

**TVD** = True vertical depth (ft) : profondeur verticale réelle

**FFG** = Formation fluid gradient (psi/ft) : gradient du fluide de formation

En Algérie **FFG = 0.1 psi/ft [2.26kPa/m]**

Selon la valeur de MPWHP calculé il existe trois cas avec trois configurations différentes des ECP :

Si **0 < MPWHP < 3500 Psi => configuration 1**

Si **3501 < MPWHP < 8500 Psi => configuration 2**

Si **8501 < MPWHP < 13500 Psi => Configuration 3**

Les figures ci-dessous montrent les trois configurations des ECP possibles dans l'application (Figs. 6, 7 et 8).

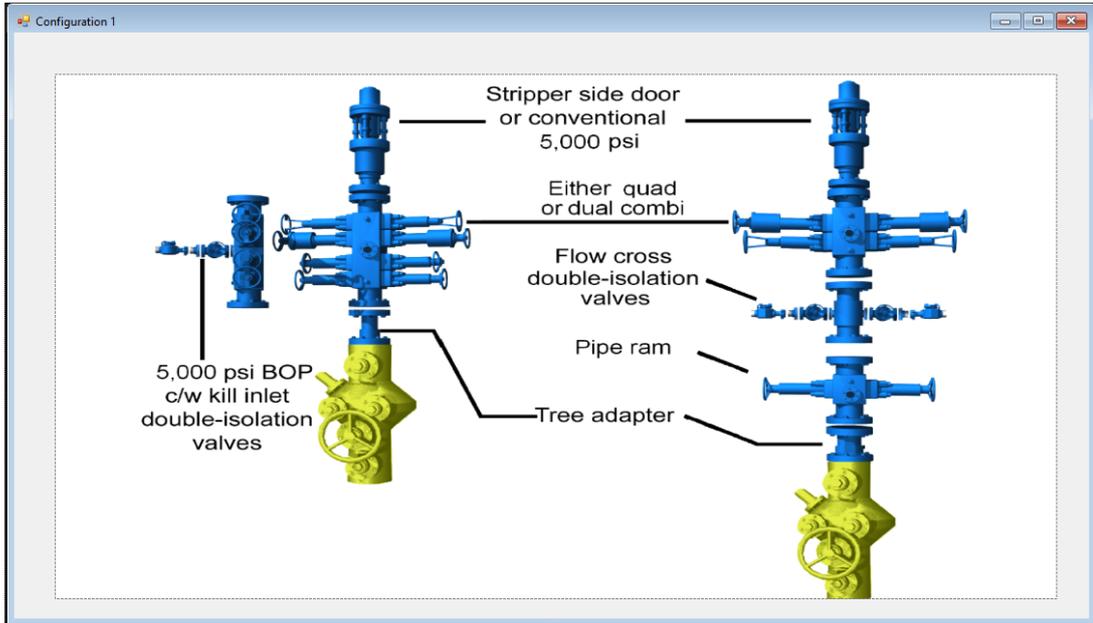


Figure 6. La fenêtre représentant la configuration N°1

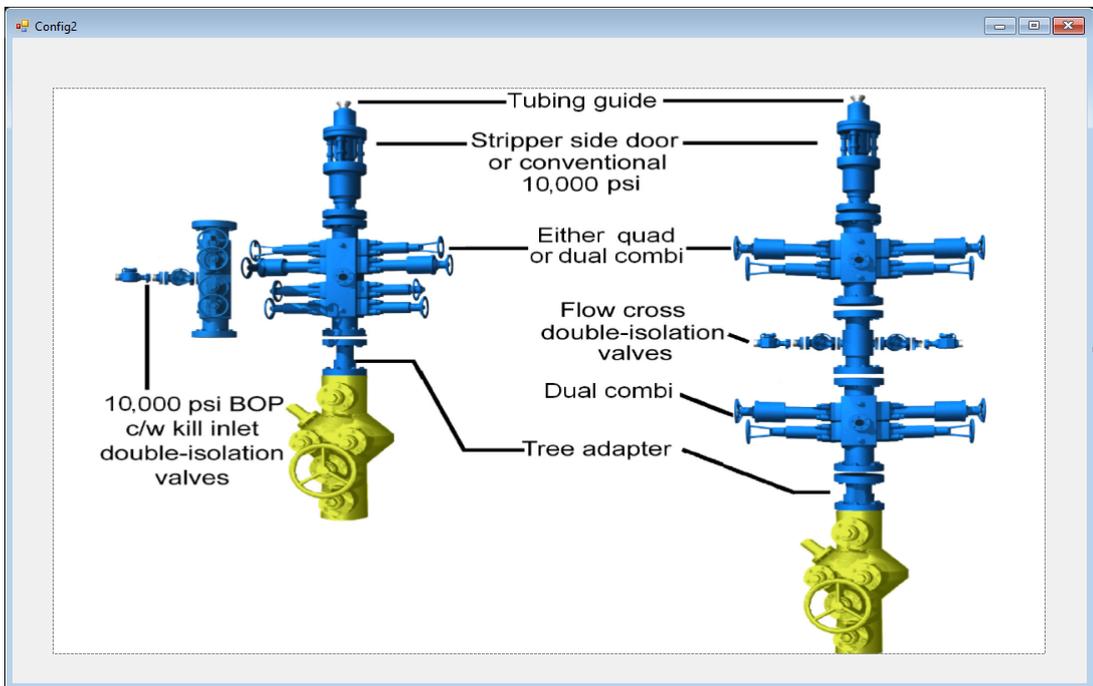


Figure 7. La fenêtre représentant la configuration N°2

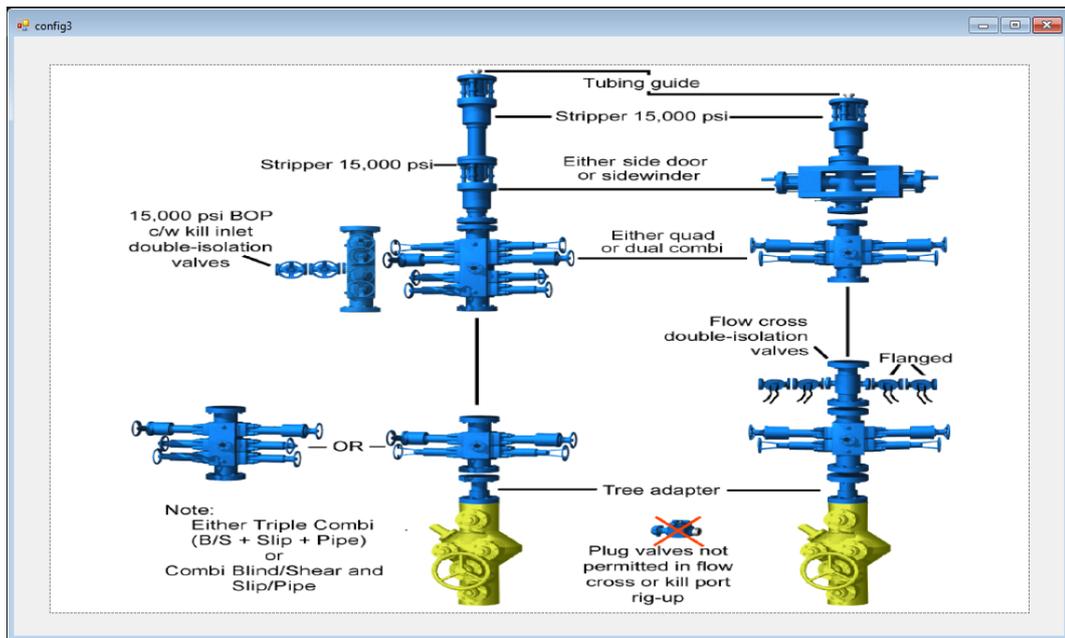


Figure 8. La fenêtre représentant la configuration N°3

### g. Procédures d'urgence

En cas de situation d'urgence, il est impératif d'utiliser la fenêtre (Contingency Procedure) dans laquelle on trouve les procédures d'urgence de chaque situation (Fig. 9).

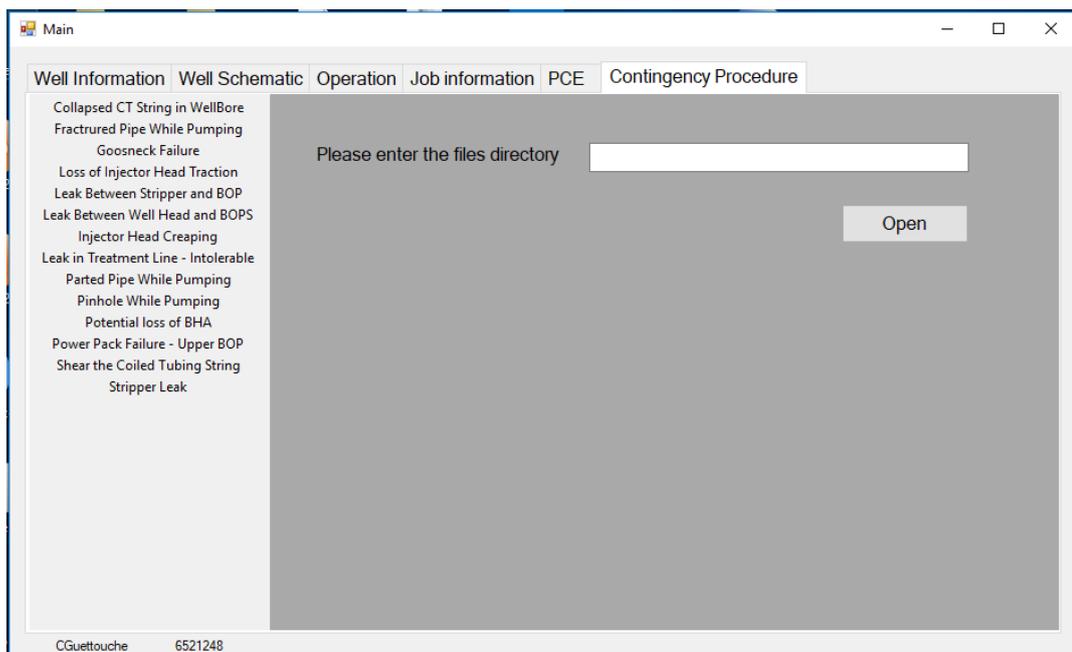


Figure 9- La fenêtre qui permet d'obtenir les procédures d'urgence

## Nomenclature

Bouchons de ciment : Un bouchon équilibré de boue de ciment placé dans le puits de forage. Les bouchons de ciment sont utilisés dans diverses applications notamment l'isolation hydraulique.

Cased-Hole : la partie du puits de forage sur laquelle une enveloppe métallique a été placée et cimentée afin de protéger le trou ouvert contre les fluides, les pressions, les problèmes de stabilité du puits.

Coiled Tubing : Tuyau continu enroulé sur une bobine.

Colonne de production : Colonne d'acier utilisée pour l'équipement d'un puits producteur et servant à acheminer les fluides exploités.

Déplétion : Diminution en quantité des hydrocarbures normalement présents dans une formation.

Forage directionnel : Trou non vertical afin de récupérer le maximum d'hydrocarbures.

Fracturation hydraulique : Une fissuration massive d'une roche au moyen d'une injection d'un liquide sous pression. Cette technique permet de récupérer plus de pétrole ou de gaz.

Gisement : une zone où est enfouie une grande quantité de pétrole ou de gaz.

Installations de surface : la tête du puits et l'arbre de Noël.

L'acidification matricielle : une technique visant l'amélioration de la productivité ou l'injectivité d'huile et de gaz de puits.

La Complétion : Ensemble des opérations de finition du puits

Liaison hydraulique Couche-Trou : la connexion entre la formation d'hydrocarbure et le puits.

Lithologie : Nature des roches.

Open-Hole: La partie non scellée d'un puits.

QUEST: un système en ligne qui fournit une consolidation immédiate des informations HSE.

Slickline: Fil simple qui est utilisé pour insérer des outils dans un puits de forage à plusieurs fins.

Snubbing: Type d'intervention lourde effectuée sur des puits de pétrole ou de gaz.

Wire-Line : Technologie de câblage utilisée par les exploitants du puits de pétrole ou de gaz pour réduire les équipements ou les appareils de mesure dans le puits.

Work-Over : Processus consistant à effectuer des travaux d'entretien ou de réparation majeurs sur un puits de pétrole ou de gaz.