

# Table des matières

Intitulé	P
Dédicace	ii
Remerciements	v
Tables de matières	vi
Liste de figures	viii
Liste de tableaux	ix
<b>Introduction Générale</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Evaluation de la sureté de fonctionnement des chaines logistiques</b>	<b>4</b>
<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>1. Incertitudes dans les chaines logistiques</b>	<b>5</b>
<i>1.1. Définition</i>	5
<b>A. Risques</b>	5
<i>A.1. Mesure de risque</i>	6
<i>A.2. Classification des risques</i>	8
<i>A.3. Grille de criticité</i>	9
<i>A.4. Risque acceptable</i>	9
<i>A.5. Risque majeur</i>	10
<i>A.6. Risque industriel</i>	10
<b>B. Incertitudes</b>	10
<i>2.2. Gestion des risques et décision sous risques/ incertitudes</i>	12
<b>A. Modèle d'optimisation des risques</b>	12
<b>B. Démarche générale de gestion des risques</b>	13
<b>C. Classification des sources d'incertitudes</b>	15
<b>2. Méthodes d'analyse des risques</b>	17
<i>2.1. Méthodes qualitatives</i>	18
<b>A. Analyse préliminaire des risques (APR)</b>	18
<b>B. Hazard and Operability Study (HAZOP)</b>	18
<i>2.2. Méthodes semi-quantitatives</i>	19
<b>A. Analyse des couches de protection (LOPA)</b>	19
<b>B. Graphe de risque étalonné</b>	20
<i>2.3. Méthodes quantitatives</i>	21
<b>A. Arbre des événements (AdE)</b>	21
<b>B. Arbre de défaillances (AdD)</b>	22
<b>Conclusion</b>	23
<b>Chapitre II : A propos des puits pétro-gaziers</b>	<b>24</b>
<b>Introduction</b>	25
<b>1. Intégrité des puits</b>	25
<i>1.1. La construction d'un puits</i>	25
<i>1.2. Equipements fond</i>	26
<b>A. Coffrage (casing)</b>	26
<b>B. La cimentation des coffrages</b>	27
<i>1.3. Equipements surface</i>	28
<b>A. Tête de puits</b>	28
<b>2. Moyens de modernisation des puits</b>	30
<i>2.1. La modernisation préventive</i>	31
<b>A. COILED-TUBING</b>	31
<i>A.1. Domaine d'application</i>	31

A.2. <i>Avantages et inconvénients</i>	32
<b>B. SNUBBING</b>	33
B.1. <i>Domaine d'application</i>	33
B.2. <i>Avantages et inconvénients</i>	34
<b>C. WIRE-LINE</b>	35
C.1. <i>Domaine d'application</i>	36
C.2. <i>Avantages et inconvénients</i>	36
2.2. <i>La modernisation corrective</i>	37
<b>A. WORK-OVER</b>	37
A.1. <i>Domaine d'application</i>	37
A.2. <i>Avantages et inconvénients</i>	38
<b>3. Partie réglementaire et normative</b>	38
3.1. <i>Réglementation algérienne</i>	38
3.2. <i>Norme ISO/TS 16530</i>	39
<b>4. Accidentologie vs Modernisation des puits</b>	40
4.1. <i>Historique au niveau mondial</i>	40
4.2. <i>Historique au niveau d'Algérie</i>	42
<b>Conclusion</b>	42
<b>Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits</b>	<b>43</b>
<b>Introduction</b>	44
<b>1. Présentation de l'entreprise ENTP</b>	44
1.1. <i>Historique</i>	44
1.2. <i>Domaine d'activité</i>	45
<b>2. Présentation de puits RB 53 (Champ d'étude)</b>	45
<b>3. Application méthodologique</b>	46
3.1. <i>Analyse préliminaire des risques</i>	46
3.2. <i>Identification des risques</i>	55
<b>A. Risques professionnels</b>	55
A.1. <i>Risque de glissade et chute</i>	55
A.2. <i>Risques ergonomiques</i>	55
A.3. <i>Risques liés aux levages et manutention</i>	55
A.4. <i>Risques d'origine électrique</i>	55
A.5. <i>Risques chimiques</i>	56
A.6. <i>Risque de pression</i>	57
A.7. <i>Risques mécaniques</i>	57
A.8. <i>Risque d'incendie-explosion</i>	58
<b>B. Risques industriels (majeur)</b>	59
B.1. <i>Définition d'éruption</i>	59
B.2. <i>Causes des venues</i>	59
B.3. <i>Densité requise</i>	59
B.4. <i>Détection d'une venue en cours de forage</i>	59
B.5. <i>Avancement rapide</i>	60
B.6. <i>Diminution de la pression de circulation</i>	60
B.7. <i>Indices de gaz, d'huile ou d'eau dans la boue</i>	60
3.3. <i>Analyse détaillée de risque</i>	61
<b>Conclusion</b>	63
<b>Conclusion générale</b>	<b>64</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>66</b>
<b>Résumé</b>	<b>68</b>

## Liste des figures

<b>Introduction générale</b>	
<b>Figure 1</b> : <i>Architecture du présent mémoire et articulation des travaux</i>	<b>2</b>
<b>Chapitre I</b>	
<b>Figure 2</b> : <i>Vision générale du risque</i>	<b>6</b>
<b>Figure 3</b> : <i>Courbe de Farmer</i>	<b>7</b>
<b>Figure 4</b> : <i>Caractérisation du risque</i>	<b>8</b>
<b>Figure 5</b> : <i>Supply Chain Risk Management steps</i>	<b>14</b>
<b>Figure 6</b> : <i>Catégories de risques de la chaîne logistique</i>	<b>16</b>
<b>Figure 7</b> : <i>Graphe de risque avec une description qualitative</i>	<b>21</b>
<b>Figure 8</b> : <i>Schéma d'un AdE avec des barrières de sécurité</i>	<b>22</b>
<b>Chapitre II</b>	
<b>Figure 9</b> : <i>Composition du puits</i>	<b>26</b>
<b>Figure 10</b> : <i>Evolution de la mise en place des coffrages dans un puits</i>	<b>27</b>
<b>Figure 11</b> : <i>Tête de puits et Arbre de Noël</i>	<b>29</b>
<b>Figure 12</b> : <i>Equipment d'une unité de COILED-TUBING</i>	<b>33</b>
<b>Figure 13</b> : <i>Installation de Snubbing</i>	<b>35</b>
<b>Figure 14</b> : <i>Equipements de Wire-Line</i>	<b>36</b>
<b>Figure 15</b> : <i>L'appareil de forage en lien avec Work Over</i>	<b>37</b>
<b>Figure 16</b> : <i>Fréquences d'éruptions pour différents opération de modernisation</i>	<b>40</b>
<b>Figure 17</b> : <i>Eruption du puit Nezla 19 en 2006</i>	<b>42</b>
<b>Chapitre III</b>	
<b>Figure 18</b> : <i>Le Champ de GHOURDE EL BAGUEL</i>	<b>45</b>
<b>Figure 19</b> : <i>AdD lié au risque d'éruption du puit RB53</i>	<b>61</b>
<b>Figure 20</b> : <i>Exemple d'identification des fonctions (cahier des charges) que doivent remplir des barrières de sécurité</i>	<b>62</b>
<b>Figure 21</b> : <i>Les principes généraux de prévention</i>	<b>63</b>

## Liste des tableaux

<b>Chapitre I</b>	
<b>Tableau 1</b> : <i>Table d'estimation du risque</i>	<b>6</b>
<b>Tableau 2</b> : <i>Exemple de sources de risques</i>	<b>17</b>
<b>Chapitre II</b>	
<b>Tableau 3</b> : <i>Liste des accidents offshore ayant causé 10 morts ou plus, sur la période 1985-2007</i>	<b>41</b>
<b>Chapitre III</b>	
<b>Tableau 4</b> : <i>Analyse préliminaire des risques APR liée à l'opération WORK OVER RB 53</i>	<b>54</b>

## Introduction générale

### 1. Problématique

Le domaine d'exploitation **pétro-gazier** est d'une dimension stratégique en **Algérie**. Etant donnée qu'il fait parti des **chaines logistiques (Supply Chain)**, il requiert une meilleure gestion des gisements relative à ce patrimoine. Ce dernier se pousse vers la surface après avoir installé des équipements de surface et de fond constituant **les puits**. A l'instar des autres installations, ils avaient besoin d'un suivi et contrôle, durant leur cycle de vie, et ceci dans le cadre de la **modernisation**. Dans cette rubrique, **l'accidentologie récente** nous a indiqué qu'il y avait plusieurs accidents survenus durant les opérations de modernisation de ces installations. Conséquemment, un enjeu en matière de sécurité des biens, l'être humain et de l'environnement va constituer des **incertitudes** majeurs.

C'est dans ce contexte que met en exergue notre travail l'intérêt de proposer une **méthodologie**<sup>1</sup> en lien avec la prévention des accidents industriels des puits en se basant sur :

- ✚ *L'approche réglementaire et normative,*
- ✚ *Le retour d'expérience REX,*
- ✚ *Les méthodes de la sureté de fonctionnement liées à la gestion des risques,*
- ✚ *L'approche dite barrières de sécurité.*

---

<sup>1</sup> Voir l'explication dans la page suivante (**Figure 1**).

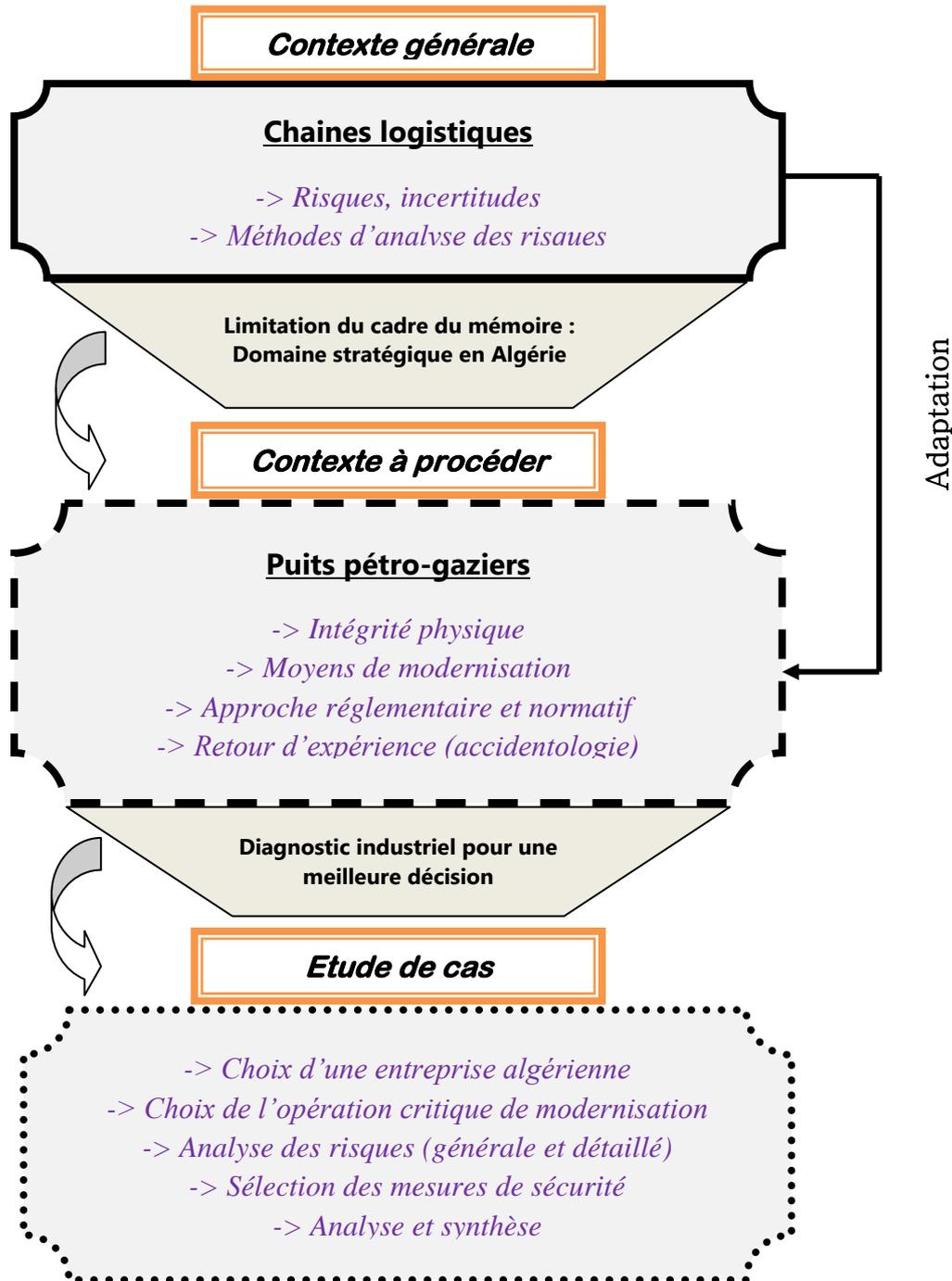


Figure 1 : Architecture du présent mémoire et articulation des travaux

## 2. Objectif

Sur la base de ce qui précède, le but essentiel de ce mémoire est d'adopter une méthodologie liée à la prévention des risques industriels des puits durant leur modernisation.

### 3. Organisation du mémoire

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire, développé en trois parties, s'organise de la façon suivante :

- *Le premier chapitre, intitulé "Evaluation de la sûreté de fonctionnement des chaînes logistiques" débute par une présentation de différents aspects liée aux termes « Risque, Incertitudes » en lien avec les chaînes logistiques. Ensuite, nous procédons à l'explication de la démarche liée à la gestion des risques. Cette dernière se base sur différentes méthodes d'analyse dont leur explication a été l'ultime étape du présent chapitre. Nous rappelons que ce chapitre a pour but de positionner le cadre générale du mémoire.*
- *Le chapitre II "A propos des puits pétro-gaziers" limite le cadre générale et procède au secteur stratégique liés aux chaînes logistiques en Algérie dont l'hydrocarbure. Il consiste à décrire l'intégrité physique des puits et les différentes opérations de leur modernisation. Puis, les aspects règlementaires et normatifs de la sécurité des puits seront consacrés pour connaître les clauses concrètes de prévention pendant le cycle de vie. Enfin, nous examinons la répartition des accidents célèbres tant au niveau mondial que national pour attirer l'attention du lecteur sur l'importance du présent sujet en matière de sécurité industrielle d'une part et le satisfaire sur le choix du dernier chapitre d'une autre part.*
- *Le dernier chapitre relatif à l'adoption de la problématique à résoudre en Algérie vu les chapitres précédents dans le but d'illustrer le niveau d'appropriation.*

Nous concluons notre travail en dressant un bilan provisoire de nos contributions ainsi que les perspectives envisageables.

**Mots-clés :** *Pétro-gazier – Algérie - Chaînes logistiques - Puits - Accidentologie récente – Méthodologie – Incertitudes - Modernisation*

## **Chapitre I :**

# Evaluation de la sureté de fonctionnement des chaines logistiques- Cadre générale de la présente recherche

---

### Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>5</b>
<b>1. Incertitudes dans les chaines logistiques</b>	<b>5</b>
<i>1.1. Définition</i>	<i>5</i>
<b>A. Risques</b>	<b>5</b>
<i>A.1. Mesure de risque</i>	<i>6</i>
<i>A.2. Classification des risques</i>	<i>8</i>
<i>A.3. Grille de criticité</i>	<i>9</i>
<i>A.4. Risque acceptable</i>	<i>9</i>
<i>A.5. Risque majeur</i>	<i>10</i>
<i>A.6. Risque industriel</i>	<i>10</i>
<b>B. Incertitudes</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Gestion des risques et décision sous risques/ incertitudes</b>	<b>12</b>
<b>A. Modèle d'optimisation des risques</b>	<b>12</b>
<b>B. Démarche générale de gestion des risques</b>	<b>13</b>
<b>C. Classification des sources d'incertitudes</b>	<b>15</b>
<b>2. Méthodes d'analyse des risques</b>	<b>17</b>
<i>2.1. Méthodes qualitatives</i>	<i>18</i>
<b>A. Analyse préliminaire des risques (APR)</b>	<b>18</b>
<b>B. Hazard and Operability Study (HAZOP)</b>	<b>18</b>
<i>2.2. Méthodes semi-quantitatives</i>	<i>19</i>
<b>A. Analyse des couches de protection (LOPA)</b>	<b>19</b>
<b>B. Graphe de risque étalonné</b>	<b>20</b>
<i>2.3. Méthodes quantitatives</i>	<i>21</i>
<b>A. Arbre des événements (AdE)</b>	<b>21</b>
<b>B. Arbre de défaillances (Add)</b>	<b>22</b>
<b>Conclusion</b>	<b>23</b>

## **Introduction**

En industries, la sécurité est une notion plus ou moins bien perçue selon le secteur industriel et la taille des industries considérées (**Bernier, 2007**). A titre d'exemple, en pétrochimie, les opérateurs sont conscients de la dangerosité des situations de travail dans lesquelles se trouvent. Conséquemment, ils sont bien sensibilisés à la notion de sécurité industrielle étant souvent associés d'autres vocables tels que le travail et le système. Ce dernier est nommé, dans la littérature, la sûreté de fonctionnement qui, au sens large, définie comme la science des défaillances.

Le but ce chapitre est de présenter l'évaluation de la sureté de fonctionnement en lien avec les chaines logistique.

### **1. Incertitudes dans les chaines logistiques**

L'incertitude dans les chaînes logistiques est un sujet très large. De ce fait, nous allons donc dans un premier temps définir les concepts de risque, incertitude, gestion des risques afin de mieux positionner notre étude.

#### **1.1. Définition**

Depuis quelques années, les problématiques liées aux risques et à l'incertitude dans les chaînes logistiques sont devenues un sujet de recherche important et vaste, allant de la gestion des risques à la décision sous risque ou incertitudes. Il convient donc dans un premier temps de bien définir les concepts de risque et d'incertitude dans ce contexte.

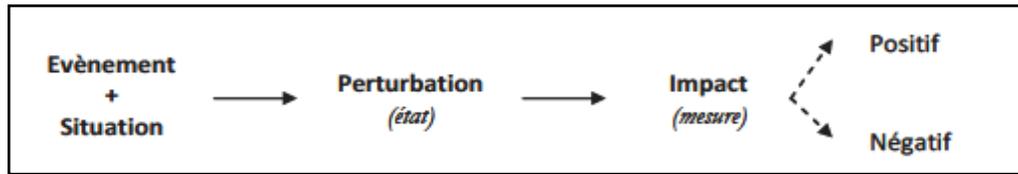
#### **A. Risques**

Parmi un ensemble de définitions, le Guide 73 de l'ISO/IEC peut être considéré comme une référence couramment utilisée. En 2002, le risque était défini comme « la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences ». De ce point de vue, un risque était donc caractérisé par le produit « **probabilité** × **impact** ». Cette définition a été depuis modifiée mais nous pouvons nous appuyer sur elle et sur les travaux de recherche en théorie de la décision pour différencier (**Jeantet, 2010**) :

1. La décision sous risque (on connaît les probabilités sur les événements)
2. La décision sous incertitude (on ne connaît pas les probabilités sur les événements)

## Chapitre I : Evaluation de la sureté de fonctionnement des chaines logistiques – Cadre générale de la présente recherche

Cette définition a depuis été remise à jour en tenant compte de l'évolution des outils de représentation de l'incertain. Le risque peut en effet être aussi défini comme l'« effet de l'incertitude sur l'atteinte des objectifs» (**International Organization for Standardization, 2009**). Le modèle de représentation de l'incertitude n'est dans ce cas plus cité. Le risque peut donc être représenté par le schéma de la **Figure (2)** : un évènement provoque une perturbation de l'état du système qui a un impact négatif ou positif sur sa performance (**Gourc, 2006**).



**Figure 2 : Vision générale du risque (Gourc, 2006)**

Dans la suite, le terme risque est lié sans ambiguïté aux risques encourus dans la conduite des systèmes et sont abordés par les études de sûreté de fonctionnement.

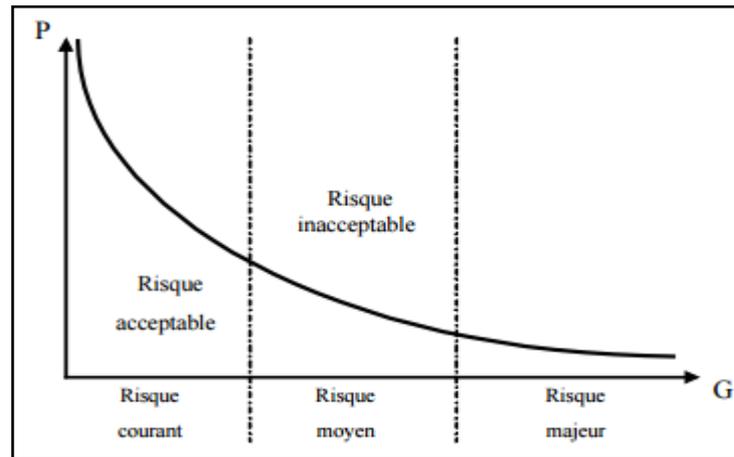
### A.1. Mesure de risque

Qualitativement, le risque se caractérise par :

- L'ampleur des dommages, suite à un évènement redouté, selon un critère de gravité (critique, marginal, mineur, insignifiant, etc.). Ce critère tient compte de l'appréciation des conséquences en terme de pertes humaines (morts, blessures) ou en termes économiques (coût liés aux dégradations, etc.).

Fréquence d'évènement	Gravité du dommage				
	Catastrophique	Majeure	Mineure	Minime	Négligeable
Fréquent	H	H	H	H	I
Probable	H	H	H	I	I
Occasionnel	H	H	I	I	L
Rare	H	I	I	L	T
Improbable	I	I	L	T	T
Invraisemblable	I	L	T	T	T

**Tableau 1 : Table d'estimation du risque (Guiochet, 2003)**



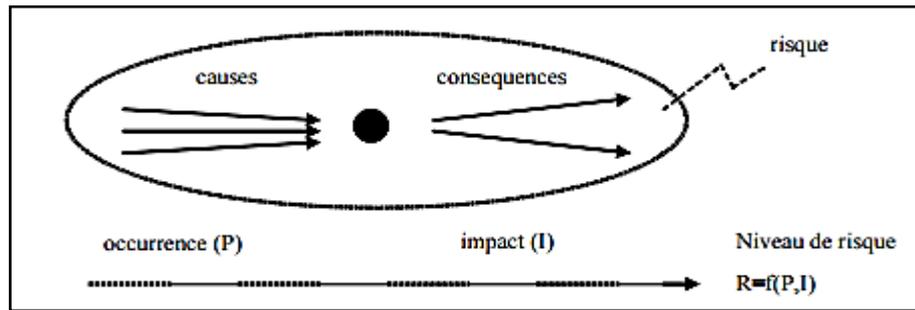
**Figure 3 :** *Courbe de Farmer (Farmer, 1967)*

- Le caractère incertain lié à l'apparition d'un événement redouté provoquant le dommage, depuis une situation dangereuse déterminée (fréquent, rare, improbable, etc.).

**Le tableau 1** représente un exemple de table d'estimation du risque. La lettre H représente le risque élevé, la lettre I représente le risque intermédiaire, la lettre L représente le risque faible et la lettre T représente le risque insignifiant. Les couples (fréquence, gravité) résultant en un risque élevé (H) sont mis en valeur car ils représentent les risques les moins tolérables. Il est clair qu'un risque de niveau H fera sans aucun doute l'objet d'un travail de réduction.

En général, le risque se rapporte au couple (gravité, probabilité), le plus souvent cela quantifie le produit de la gravité d'un accident par sa probabilité d'occurrence. Farmer a montré que la gravité et la probabilité d'apparition étaient reliées de façon à peu près linéaire. En effet, si nous représentons les accidents sur une grille (gravité (G), probabilité (P)), nous obtenons la courbe représentée dans la **figure 3**. Tous les risques classés sous la courbe sont considérés comme acceptables, à l'inverse, ils sont considérés comme inacceptables s'ils sont placés au-dessus de la courbe.

Selon Gouriveau (**Gouriveau, 2003**), le risque peut être défini par l'association d'événements causes et conséquences d'une situation donnée. Les événements causes peuvent être caractérisés par leur occurrence (P) et les événements effets par leur impact (I) (cf. **figure 4**). La corrélation de ces grandeurs permet de construire un indicateur de risque  $R = f(\text{occurrence, impact})$ .



**Figure 4 : Caractérisation du risque (Gouriveau, 2003)**

### **A.2. Classification des risques**

Dans la littérature, on trouve plusieurs classifications des risques. Selon **(Tanzi and Delmer, 2003)**, l'analyse des risques permet de les classer en cinq grandes familles :

- *Les risques naturels* : inondation, feu de forêt, avalanche, tempête, séisme, etc.
- *Les risques technologiques* : d'origine anthropique, ils regroupent les risques industriels, nucléaires, biologiques, ruptures de barrage, etc. ; les risques de transports collectifs (personnes, matières dangereuses) sont aussi considérés comme des risques technologiques.
- *Les risques de la vie quotidienne*: accidents domestiques, accidents de la route, etc.
- *Les risques liés aux conflits*.

Une des classifications les plus répandue est de classer les risques en deux catégories : les risques naturels et les risques liés à l'activité (ouvrage) d'origine humaine.

Selon cette classification, les risques peuvent être naturels dans le sens où ils ont trait à un événement sans cause humaine directe avérée. Les causes directes supposées ou indirectes ne doivent pas modifier cette distinction.

Les risques liés à l'activité humaine recouvrent un ensemble de catégories de risques divers :

- Les risques techniques, technologiques, industriels, nucléaires
- Les risques liés aux transports
- Les risques sanitaires
- Les risques économiques, financiers, managériaux
- Les risques médiatiques
- Les risques professionnels

Finalement, nous pouvons caractériser l'opération de classification des risques par les deux types de classement suivants :

- Classement "subjectif" fait par des individus à partir de l'idée qu'ils se font du risque en se fondant sur leur expérience et leurs connaissances ou "objectif" fait à partir de données statistiques, d'enquêtes, etc.
- Classement "qualitatif" caractérisé par l'établissement d'un système d'ordre comparatif ou quantitatif" basé sur le calcul de probabilités

### ***A.3. Grille de criticité***

Cette notion est définie comme le résultat d'agrégation des deux dimensions, gravité et probabilité d'occurrence. Elle permet d'estimer l'ampleur d'un risque. L'ensemble des niveaux de risque sont ajustés et classés proportionnellement en fonction de l'importance des deux dimensions (gravité et probabilité) dans une grille appelée grille de criticité. Cette dernière est considérée comme une balance qui nous permet de peser le risque et de décider s'il est acceptable ou inacceptable. A l'issue d'un tel résultat qu'on décide de l'opportunité des mesures nécessaires pour maîtriser ce risque.

### ***A.4. Risque acceptable***

La notion de risque est essentielle pour caractériser la confiance attribuée à un système. En effet, si nous admettons souvent comme potentiels des dommages sévères, seule leur faible probabilité d'occurrence nous les font accepter (**Lamy et al., 2006; Simon et al., 2007**). Par exemple, nous prenons l'avion malgré les accidents possibles du fait que la probabilité d'un écrasement conduisant aux décès des passagers est extrêmement faible. Nous établissons généralement cet arbitrage en fonction des risques que nous encourront par ailleurs, comme ceux induit par des phénomènes naturels : tremblements de terre, avalanches, inondations, etc.

Selon (**OHSAS18001, 1999**), le risque acceptable est un risque quia été réduit à un niveau tolérable pour un organisme en regard de ses obligations légales et de sa propre politique de santé et de sécurité au travail.

Selon le Guide 51 ISO/IEC (**ISO, 1999**), le risque acceptable est un risque accepté dans un contexte donné basé sur des valeurs courantes de notre société.

Notons que l'acceptabilité concerne le risque et non la gravité du dommage ou sa probabilité d'occurrence considérée séparément. Ces définitions soulignent également le fait que l'acceptabilité dépend de valeurs courantes de notre société souvent fondées sur des données associées à des phénomènes naturels. Ainsi, nous acceptons de prendre le risque de mourir en prenant l'avion si la probabilité de ce décès par cette cause est identique voire inférieure à la probabilité de décès induit par un séisme ou une crise cardiaque (pour un corps sain) (Beugin, 2006).

#### **A.5. Risque majeur**

D'une manière générale, le risque majeur se caractérise par ses nombreuses victimes, un coût de dégâts matériels, des impacts sur l'environnement (Tanzi and Delmer, 2003). Le risque majeur est caractérisé par deux critères qui définissent sa fréquence et sa gravité :

- Une faible fréquence
- Une énorme gravité (nombreux morts et blessés)

#### **A.6. Risque industriel**

Le risque industriel se caractérise par un accident se produisant sur un site industriel et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les populations, les biens, l'environnement ou le milieu naturel.

Les actions de prévention des risques industriels majeurs s'appuient sur la connaissance des phénomènes redoutés notamment au travers de l'étude de dangers. Cette prévention s'articule autour de quatre axes principaux :

- La maîtrise du risque à la source
- La maîtrise de l'urbanisation
- L'organisation des secours
- L'information préventive et la concertation

### **B. Incertitudes**

Jusqu'ici, nous avons utilisé le terme « incertitude » au sens large. Si on cherche à intégrer les incertitudes dans le modèle de **planification**<sup>1</sup>, il est nécessaire de bien

---

<sup>1</sup> On choisit ici la planification car elle est la phase critique dans le cycle de vie des systèmes/ produits.

différencier différents types d'incertitudes. Conséquemment, différentes notions (imperfection, incertitude, imprécision, incomplétude) ont été distinguées, par exemple dans **(Bouchon-Meunier, 1995)** ou **(Dubois et Prade, 2006)** :

*Définition 1.* L'incertitude dénote un doute sur la validité d'une connaissance.

*Définition 2.* L'imprécision découle de l'impossibilité d'énoncer une connaissance précise sûre.

*Définition 3.* L'incomplétude est une absence de connaissances, ou une connaissance partielle sur certaines caractéristiques du système.

*Définition 4.* L'imperfection est une notion qui englobe l'incertitude, l'imprécision et l'incomplétude.

On remarque que le terme « **imperfection** » peut être utilisé comme terme générique dans ces travaux, alors que c'est généralement le cas pour le terme « incertitude » dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique.

Les imperfections mentionnées dans les définitions peuvent être la conséquence de plusieurs facteurs. Nous citons ci-dessous une énumération non exhaustive de différentes causes d'incertitude, puis d'imprécision.

**L'incertitude** peut venir de :

- La fiabilité de la source de l'information (un inconnu me dit que la demande va être de 30 pièces pour le mois de janvier),
- Une difficulté d'obtention ou de vérification (la dimension d'une pièce au dixième de micron près)
- La qualité d'une prévision (la demande sera de 20 pièces par mois dans 2 ans),
- Sa nature aléatoire (avoir un 6 quand je lance un dé),
- Une imprécision et une incomplétude.

Les **imprécisions** peuvent être dues :

- A une approximation (« environ dix pièces »),
- A une définition "floue" des bornes d'une catégorie (« vieux », « grand »),
- Au passage progressif entre deux propriétés (« à côté de », « loin »).

Les **incomplétudes** ne sont pas prises en compte séparément, car elles conduisent à de l'incertitude et de l'imprécision. Par exemple, supposons que l'on ait une connaissance incomplète sur la configuration d'un produit. On sait qu'il est composé de quatre composants de type 1 ou 2 et qu'il a au moins un composant de type 1. On a donc une imprécision sur le nombre de composants de type 1 (entre 1 et 4) et une incertitude sur le fait que le composant de type 2 intervienne dans la composition du produit. On voit ainsi qu'une incomplétude sur la connaissance de la configuration d'un produit entraîne des incertitudes et / ou des imprécisions sur ses attributs : nombre de composants de type 1 et utilisation du composant de type 2 par exemple.

## **2.2. Gestion des risques et décision sous risques/ incertitudes**

Nous allons maintenant décrire des **méthodes de gestion des risques dans les chaînes logistiques**. Nous regarderons tout d'abord comment sont gérés les risques en optimisation; nous recenserons pour cela les critères utilisés dans les modèles d'optimisation visant une minimisation du risque. De plus, ces dernières années, une démarche de gestion des risques dans les chaînes logistiques appelée **Supply Chain Risk Management (SCRM)** s'intéresse à la proposition d'un processus général de gestion des risques, allant de l'analyse du système au traitement du risque.

### **A. Modèle d'optimisation des risques**

Avec une vision "optimisation", la minimisation des risques est modélisée par deux types de fonction objectif (**Liu, 2002**):

1. L'une basée sur la minimisation de la probabilité d'apparition d'une conséquence critique
2. L'autre sur la notion de minimisation de la moyenne des conséquences

De façons plus formelle, la première cherche à minimiser la probabilité que la fonction coût soit supérieure à un coût jugé trop important par le décideur (**Equation (1)**), cette approche est appelé « **risk minimization** ». La deuxième, quant à elle, cherche à minimiser l'espérance mathématique du coût (**Equation (2)**).

$$\begin{array}{l} \text{minimiser } \alpha \\ \text{s.t. } \Pr\{CX \geq \beta\} \leq \alpha \end{array} \quad (1)$$

$$\text{minimiser } E[CX] \quad (2)$$

Ces deux fonctions objectives correspondent à des contextes différents :

1. Il existe des conséquences redoutées par le décideur qui peuvent apparaître suite à un aléa<sup>2</sup>. Le but est bien de minimiser le risque (probabilité\*conséquence) en minimisant la probabilité d'occurrence de la conséquence crainte
2. Il n'existe pas de conséquence que le décideur souhaite éviter au maximum, mais toutes les conséquences sont négatives pour le décideur qui souhaite donc minimiser en moyenne les conséquences

En optimisation, la conséquence est modélisée par une fonction de coût, ce qui peut paraître restrictif car elle ne tient pas compte des impacts sociaux comme les rapports entre les clients et les fournisseurs. De plus, cette approche ne cherche pas à réduire les sources d'aléa, mais à réduire la ou les conséquences pour un aléa donné. Il faut noter que l'objectif « risk minimization » est minimal si la probabilité d'avoir un coût supérieur à une valeur critique est minimale. En revanche l'objectif de la minimisation de l'espérance mathématique est minimal si la conséquence moyenne sur l'ensemble des aléas est minimale.

Dans la partie suivante, nous allons voir que la gestion des risques dans les chaînes logistiques est une démarche beaucoup plus globale et "continue", c'est-à-dire répétée perpétuellement.

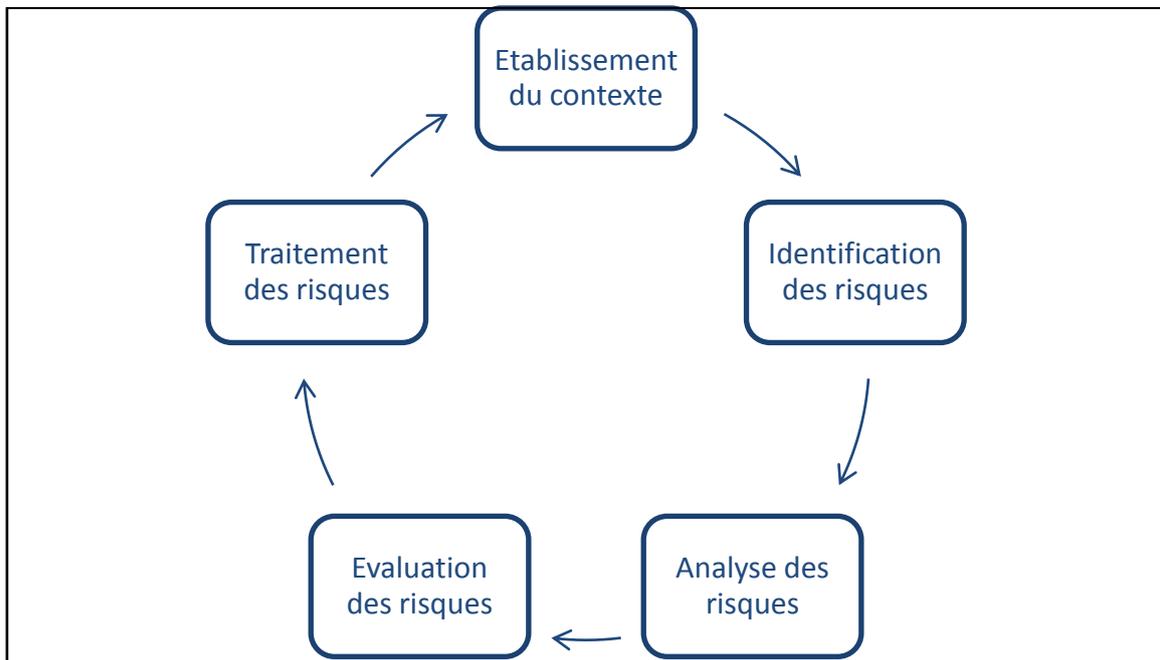
### **B. Démarche générale de gestion des risques**

La gestion des risques et la gestion des incertitudes au sein d'une chaîne logistique sont souvent regroupées dans le concept de Supply Chain Risk Management (SCRM). Le SCRM est une démarche de gestion des risques appliquée à la chaîne logistique. Selon la norme ISO (**International Organization for Standardization, 2008, 2009**), le management des risques est composé d'un ensemble d'« activités coordonnées dans le but de diriger et piloter un organisme (dans ce cas la chaîne logistique) vis-à-vis du risque ».

---

<sup>2</sup> Aléa = Intensité \* Probabilité

La démarche est basée sur cinq processus principaux intégrés dans une démarche continue (figure 5):



**Figure 5:** Supply Chain Risk Management steps

- **L'établissement du contexte (*Establishing the context*)** permet de définir l'ensemble des paramètres externes ou internes au système qu'il faut prendre en compte, ainsi que les méthodes qui seront utilisées pour l'identification et l'évaluation ;
- **L'identification des risques (*Risk identification*)** est un « processus de recherche, de reconnaissance et description » des sources de risques, de leur(s) zone(s) d'impact, des événements potentiels, de leurs causes et de leurs conséquences possibles. Le but est de construire une liste des risques potentiels. L'identification des risques peut faire appel à des outils classiques tels que des données historiques, des analyses théoriques, des avis d'experts et autres personnes compétentes, des brainstormings... ;
- **L'analyse des risques (*Risk analysis*)** est un « processus mis en œuvre pour comprendre la nature d'un risque ». Il permet d'exprimer quantitativement ou qualitativement l'occurrence et les conséquences de chacun des risques préalablement identifiés. Classiquement, cette étape consiste à établir le niveau de risque, c'est-à-dire l'importance du risque « exprimée en termes de combinaison des conséquences et de leur vraisemblance » (par un produit le plus souvent) ce qui,

dans le cas ou la vraisemblance est exprimée par une probabilité, revient à la définition du risque comme la conséquence multipliée par la probabilité;

- **L'évaluation des risques (*Risk evaluation*)** est un processus dont le but est de proposer un cadre permettant de comparer les risques et de distinguer ceux qui devront être traités de ceux qui ne le seront pas, sur la base de critères définis lors de l'établissement du contexte. Une matrice des risques peut également être utilisée, qui fait figurer les conséquences et la vraisemblance (croyance en l'apparition de l'aléa) sur ces deux dimensions. Elle permet d'aider à classer et à visualiser des catégories de risques. C'est aussi à ce niveau que doit être prise en compte l'attitude de l'entité face au risque : goût, tolérance, aversion. Dans la norme, ces trois attitudes sont graduelles : « importance et type d'opportunité qu'elle est prête à saisir » (goût), « disposition à supporter le risque » (tolérance) et « attitude de rejet du risque » (aversion) ;
- **Le traitement des risques (*Risk treatment*)** consiste à choisir une solution pour traiter le risque et à l'implémenter. Il est aussi défini comme un « processus destiné à modifier un risque ». La norme cite plusieurs exemples d'options possibles :
  - ✚ Eviter le risque : en ne s'engageant pas ou en stoppant la ou les activités associées. Il s'agit typiquement de la décision de ne pas aller à la plage avec une météo incertaine (go, no go ?) ;
  - ✚ Supprimer la source de risque : ne pas emmener le jouet préféré pour éviter de le perdre ;
  - ✚ Modifier la vraisemblance d'un évènement potentiel : tout type de maintenance préventive, telle que la vidange de la voiture ;
  - ✚ Modifier la conséquence : faire voter une loi qui interdit ou limite le nombre d'habitations en zone inondable ;
  - ✚ Partager le risque avec une autre partie : répartition consentie du risque avec d'autres parties (assurances, contrats...);
  - ✚ Accepter le risque : « maintien du risque fondé sur un choix argumenté ».

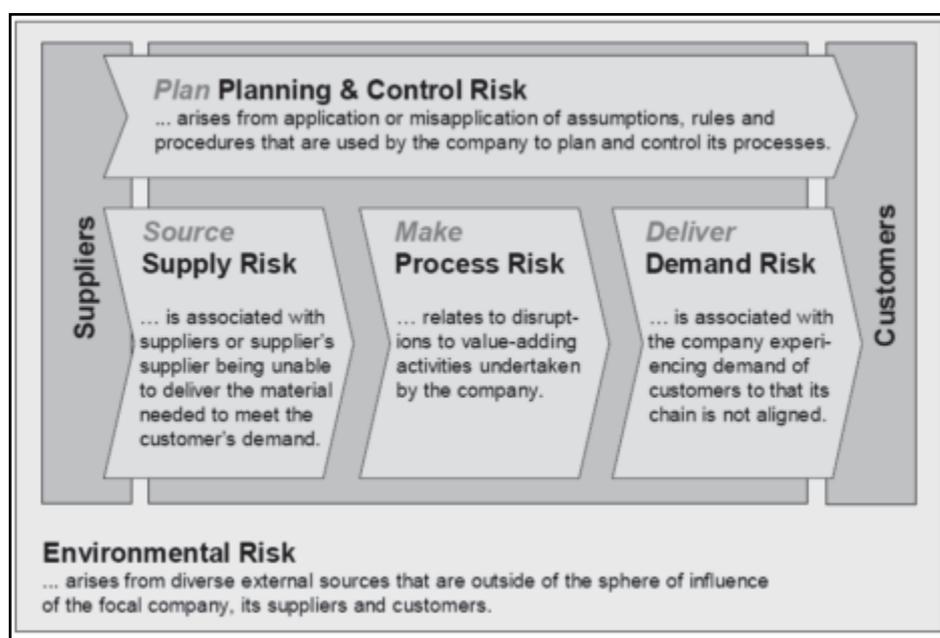
### C. Classification des sources d'incertitudes

Chaque processus de la chaîne logistique est source de risque, que ce soit le processus de planification ou ceux de pilotage, d'approvisionnement, de production et de prévision de la demande. A cela s'ajoutent des risques externes à la chaîne logistique.

## Chapitre I : Evaluation de la sureté de fonctionnement des chaines logistiques – Cadre générale de la présente recherche

(Ziegenbein et Nienhaus, 2004) classent les risques suivant les sources précédemment énoncées (Figure 6) :

- **Les risques de planification et de pilotage** (*Planning and control risks*) sont issus de l'application (bonne ou mauvaise) des hypothèses, règles et procédures utilisées par l'entreprise pour planifier et piloter ses processus
- **Les risques d'approvisionnement** (*Supply risks*) sont associés aux fournisseurs et fournisseurs des fournisseurs lorsqu'ils sont incapables de livrer les composants pour respecter la demande
- **Les risques de production** (*Process risks*) sont liés aux interruptions des activités à valeur ajoutée effectuées par l'entreprise
- **Les risques sur la demande** (*Demand risks*) sont associés à la connaissance de la demande des clients sur laquelle s'aligne la chaîne logistique
- **Les risques environnementaux** (*Environmental Risk*) viennent de différentes sources externes qui sont en dehors de la sphère d'influence de l'entreprise, de ses clients et de ses fournisseurs



**Figure 6 :** Catégories de risques de la chaîne logistique (Ziegenbein et Nienhaus, 2004)

Les sources de risque diffèrent suivant le niveau de décision (stratégique : disparition d'un acteur de la chaîne, tactique : variations des prévisions de la demande, opérationnel : pannes/ rebut machines).

## Chapitre I : Evaluation de la sureté de fonctionnement des chaines logistiques – Cadre générale de la présente recherche

(Gaonkar et Viswanadharn, 2007) classe les risques suivant deux axes : le premier est le niveau de décision, le second traduit l'impact du risque (rupture dans la chaîne logistique ou variation des paramètres). Il distingue :

- **Rupture ou perturbation** : concerne une rupture de flux, telle qu'une perturbation physique dans les activités de production, stockage ou transport ;
- **Déviation** : il s'agit d'une variation de la demande, du temps de cycle ou des coûts de transport ou de production ;
- **Désastre** : peut être interprété comme une forme de rupture à caractère exceptionnel (« *catastrophic* ») concernant son apparition ainsi que son impact (« *temporary irrecoverable* »). Par exemple : attaque terroriste, catastrophe naturelle...

Différents exemples de croisement de ces deux dimensions sont présentés dans le **Tableau 2**.

	<b>Opérationnel</b>	<b>Tactique</b>	<b>Stratégique</b>
<b>Déviation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Variation de délai d'obtention</li> <li>➤ Variation de la demande</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Variation de la demande prévue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Variation de la capacité de production</li> <li>➤ Changement du marché</li> </ul>
<b>Rupture/ Perturbation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pannes/ Rebut Machines</li> <li>➤ Panne transport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Grève d'un acteur</li> <li>➤ Blocage d'un port</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Disparition d'un acteur</li> </ul>

**Tableau 2 : Exemple de sources de risques (Gaonkar et Viswanadharn, 2007)**

Après ce détail, on se trouve, maintenant, dans l'obligation de se passer aux méthodes utilisés dans chaque type d'analyse afin de bien cadrer le contexte du présent mémoire. La partie suivante fera l'objet de cette explication.

### 2. Méthodes d'analyse des risques

Dans cette partie nous allons décrire brièvement les principales méthodes utilisées dans une démarche d'analyse des risques. Ces méthodes seront classées dans trois principales catégories:

- Méthodes qualitatives
- Méthodes semi-quantitatives
- Méthodes quantitatives

## **2.1. Méthodes qualitatives**

L'analyse qualitative des risques constitue un préalable à toutes autres analyses. En effet elle permet la bonne compréhension et connaissance systématique du système étudié et de ses composants (Villemeur, 1988). Pour une bonne évaluation qualitative du risque cette approche ne s'appuie pas explicitement sur des données chiffrées, mais elle se réfère à des observations pertinentes sur l'état du système et surtout sur le retour d'expérience et les jugements d'experts (Kirchsteiger, 1999). Cette approche nécessite alors une très bonne connaissance des différents paramètres et causes liés au système étudié.

De nombreuses outils d'analyse et d'évaluation des risques à caractère qualitatif existent citons:

### **A. Analyse préliminaire des risques (APR)**

L'analyse préliminaire des risques est un outil à caractère qualitatif utilisé et appliqué jusqu'à l'heure actuelle dans de nombreuses industries surtout quand il s'agit de connaître et d'évaluer les différents éléments et situations dangereuses dans un système ou installation en phase de conception (Villemeur, 1988). Les étapes de cette méthode peuvent être résumées comme suit:

Dans un premier temps, cette méthode permet d'identifier et de lister les éléments du système et les événements pouvant conduire à des situations dangereuses et des accidents. A ce niveau, on analyse des séquences d'événements qui conduisent à un simple incident ou à accident grave.

Dans un second temps, il s'agit d'évaluer la gravité des conséquences liées aux situations dangereuses et aux accidents potentiels. Enfin, on doit prévoir toutes les mesures préventives permettant de maîtriser ou d'éliminer les situations dangereuses et les événements causant les accidents potentiels.

### **B. Hazard and Operability Study (HAZOP)**

La méthode HAZOP est un outil qualitatif très utilisé en particulier dans l'industrie pétrochimique. Généralement HAZOP représente une extension de l'analyse des modes de défaillance et leurs effets (AMDE). Elle consiste à détecter des problèmes potentiels qui peuvent causer un écart par rapport à la conception d'origine et à voir les causes et les conséquences de ces écarts. Cette méthode est mise en œuvre à la fin de phase de

conception et précisement au début de phase de réalisation des systèmes industriels puisqu'elle s'appuie sur les plans de circulation des fluides et les schémas détaillés PID (Piping and instrumentation diagram) du système étudié (INERIS, 2003). Son déroulement est comme suit: Après avoir décomposé le système en parties (lignes de circulation), tous les paramètres associés au fonctionnement du système doivent être identifiés, généralement les paramètres rencontrés concernent la température, la pression, le débit et le temps (INERIS, 2003). Ces derniers peuvent subir des contraintes intrinsèques ou extrinsèques qui vont rendre anormal le fonctionnement du système. Citons par exemple:

- Augmentation / diminution de débit.
- Diminution / élévation de la température ou de pression.
- Dépassement du temps...etc.

Ces variations (dérives potentiels) des paramètres engendrent des conséquences potentielles et pour prévenir ces conséquences, HAZOP identifie pour chaque dérive les moyens de détection et les différentes barrières de sécurité prévues pour réduire l'occurrence des accidents.

## **2.2. Méthodes semi-quantitatives**

L'analyse semi-quantitative des risques est une approche qui n'est ni purement qualitative ni purement quantitative (Desroches, 1995). Cette démarche a pour but d'enlever l'aspect hautement subjectif de l'information utilisée dans l'approche qualitative en lui donnant plus de précision et d'exactitude, et en même temps pour assouplir et combler le manque de la robustesse des données de l'approche quantitative.

De nombreuses méthodes et outils d'analyse et d'évaluation à caractère semi-quantitatif ont été développés. Dans ce qui suit on présentera certaines méthodes parmi les plus utilisées dans l'évaluation des risques.

### **A. Analyse des couches de protection (LOPA)**

La méthode LOPA fut historiquement l'une des méthodes récentes qui a été développée à la fin des années 1990 par le CCPS (Center for Chemical Process Safety) (CCPS, 2001). LOPA est un acronyme qui signifie "LAYERS OF PRETECTION ANALYSIS" (analyse des couches de protection). Cette méthode fut expérimentée pour

l'évaluation de la sécurité des systèmes et des procédés industriels chimiques, pétrochimiques et nucléaires (IEC61511, 2003).

### **B. Graphe de risque étalonné**

Le graphe de risque étalonné est une méthode semi-quantitative utilisée en sûreté de fonctionnement et appliquée largement dans de nombreux domaines, pétrolier, chimique, nucléaire...etc. (IEC61511, 2003).

Cette méthode a pour but de déterminer le niveau d'intégrité de sécurité (SIL) d'une fonction instrumentée de sécurité caractérisant un système instrumenté de sécurité (SIS) (IEC61511, 2003) en se basant sur l'équation de risque:

$$\mathbf{R = F * C}$$

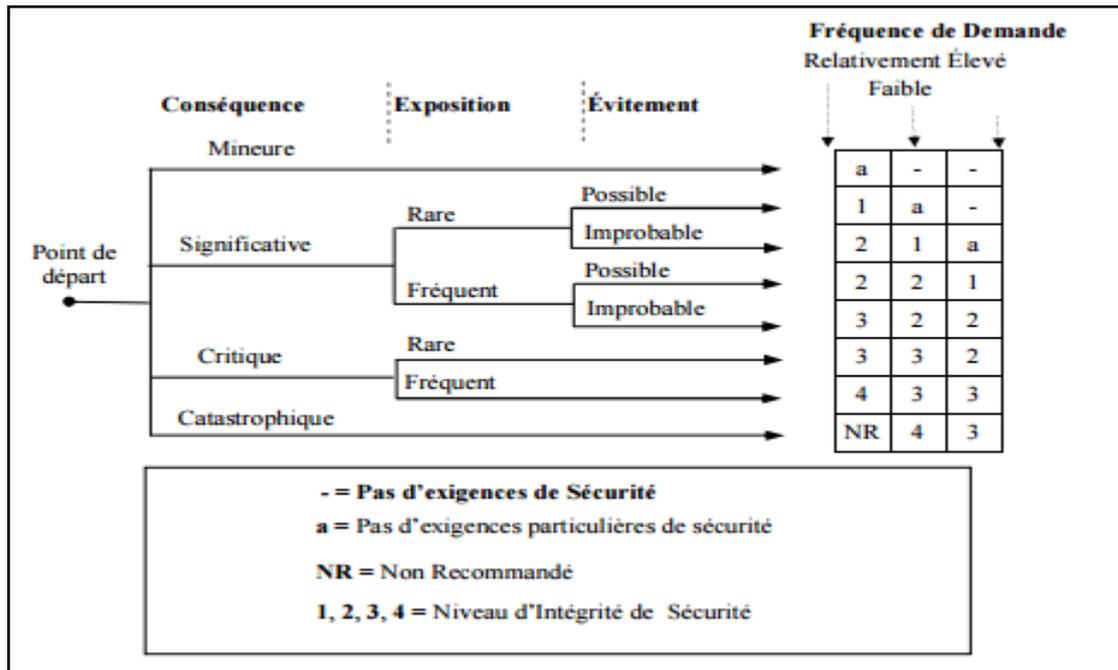
D'où :

- R : Risque en l'absence de systèmes de sécurité
- F : Fréquence d'occurrence de l'événement dangereux
- C : Conséquence de l'événement dangereux

Il est supposé que la fréquence de l'événement dangereux définie en fonction de:

- La fréquence et durée d'exposition dans une zone industrielle (F)
- La possibilité d'éviter l'événement dangereux (P)
- La probabilité que l'événement dangereux se produise en l'absence des systèmes relatifs à la sécurité (W)

Et par conséquent le risque est défini en fonction de quatre paramètres qui sont : C, F, P, W. Tous ces paramètres doivent être identifiés et estimés en leurs affectant des valeurs numériques. L'affectation de ces valeurs est faite de sorte qu'une fois les valeurs sont combinées l'évaluation est classée par ordre de l'importance de risque. Tous ces paramètres seront combinés ensemble et représentés par un diagramme appelé graphe de risque étalonné (Figure 7).



**Figure 7 :** *Graphe de risque avec une description qualitative*

### 2.3. Méthodes quantitatives

L'analyse quantitative des risques est considérée comme l'approche la plus retenue pour une bonne prise de décision sur les risques. Cette approche consiste à caractériser les différents paramètres d'analyse des risques par des mesures probabilistes (Desroches, 1995).

L'obtention de ces mesures passe généralement par un traitement mathématique (Villemeur, 1988) en prenant en compte les données relatives aux différents paramètres évalués et aussi aux informations qui sont de nature quantitative.

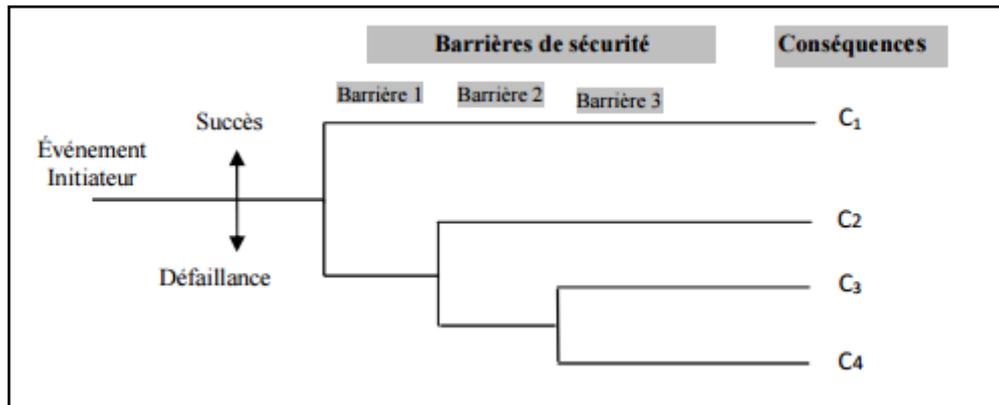
À l'égard de l'application de cette démarche, une attention particulière aux données utilisées, à leur origine et à leur adéquation aux cas étudiés doit être portée car une simple erreur remettra l'étude en cause.

Nous présentons deux méthodes quantitatives parmi les plus utilisées, en l'occurrence l'arbre des événements et l'arbre de défaillances.

#### A. Arbre des événements (AdE)

L'arbre des événements est une méthode déductive (Villemeur, 1988) qui consiste à partir de l'événement initiateur conduisant à un événement indésirable à envisager l'échec ou le succès des fonctions de sécurité puis définir les événements susceptibles de se

produire en aval de l'événement initiateur, les barrières de sécurité et leurs fonctions doivent être identifiées en leurs affectant des probabilités de défaillance. Comme il est montré dans la **figure (8)**, l'AdE construit permet temporellement d'identifier les différentes séquences d'événements susceptibles de conduire ou non à des conséquences aux limites et les chemins les plus dangereux conduisant à des conséquences catastrophiques sont ensuite analysés en détail.



**Figure 8 :** Schéma d'un AdE avec des barrières de sécurité

La probabilité d'occurrence de l'événement initiateur par celles des barrières de sécurité existantes et pouvant empêcher le scénario d'accident. Les étapes de la méthode sont:

- Définition de l'élément initiateur
- Identification des barrières de sécurité et leurs fonctions
- Construction de l'arbre
- Traitement de l'arbre

## **B. Arbre de défaillances (AdD)**

L'arbre de défaillances, appelé également arbre des causes, arbre des défauts où encore arbre des fautes, est une méthode purement quantitative qui est utilisée largement dans le domaine de la sûreté de fonctionnement (**Villemeur, 1988**).

C'est une démarche d'analyse arborescente et probabiliste (**Desroches, 1995**). Partant d'un événement indésirable bien défini, il s'agit d'identifier les combinaisons d'événements (événements intermédiaires et élémentaires) pouvant conduire à la réalisation de cet événement. Tous les événements identifiés doivent être représentés et hiérarchisés graphiquement sous forme d'un arbre en commençant par représenter au sommet l'événement indésirable puis les événements intermédiaires et élémentaires. Tous ces

événements sont liés par des portes logiques caractérisant la logique de défaillance du système. Les étapes de cette méthode sont les suivantes:

- La définition de l'événement indésirable (événement de sommet)
- Recensement de tous les événements intermédiaires et élémentaires
- La construction de l'arbre (du sommet vers la base)
- Traitement de l'arbre

Dans le domaine d'analyse et d'évaluation des risques, ces méthodes et autres ont des avantages et des limites, l'application de l'une de ces méthodes présentées est en fonction des objectifs de l'étude.

### **Conclusion**

Dans le domaine de la gestion des risques lié aux chaines logistiques, il est nécessaire d'adopter les étapes de SCRM moyennant les méthodes d'analyse et leur contexte (données d'entrées...etc). Ainsi, ces étapes s'introduisent dans le survol de la sureté de fonctionnement qui s'intéresse par l'étude de système et son influence sur l'environnement.

Etant donné que les puits pétro-gaziers font partis des chaines logistique, le chapitre suivant sera basé sur la description de plusieurs rubriques en lien avec ceux-là afin de cerner le cadre générale du mémoire d'une part, et explorer le domaine stratégique en Algérie d'une autre part.

**Chapitre II :**

A propos des puits pétro-gazièrs-  
Etat de l’art- Etat des lieux

---

**Sommaire**

<b>Introduction</b>	<b>25</b>
<b>1. Intégrité des puits</b>	<b>25</b>
<i>1.1. La construction d’un puits</i>	<i>25</i>
<i>1.2. Equipements fond</i>	<i>26</i>
<b>A. Coffrage (casing)</b>	<b>26</b>
<b>B. La cimentation des coffrages</b>	<b>27</b>
<i>1.3. Equipements surface</i>	<i>28</i>
<b>A. Tête de puits</b>	<b>28</b>
<b>2. Moyens de modernisation des puits</b>	<b>30</b>
<i>2.1. La modernisation préventive</i>	<i>31</i>
<b>A. COILED-TUBING</b>	<b>31</b>
<i>A.1. Domaine d'application</i>	<i>31</i>
<i>A.2. Avantages et inconvénients</i>	<i>32</i>
<b>B. SNUBBING</b>	<b>33</b>
<i>B.1. Domaine d'application</i>	<i>33</i>
<i>B.2. Avantages et inconvénients</i>	<i>34</i>
<b>C. WIRE-LINE</b>	<b>35</b>
<i>C.1. Domaine d'application</i>	<i>36</i>
<i>C.2. Avantages et inconvénients</i>	<i>36</i>
<i>2.2. La modernisation corrective</i>	<i>37</i>
<b>A. WORK-OVER</b>	<b>37</b>
<i>A.1. Domaine d'application</i>	<i>37</i>
<i>A.2. Avantages et inconvénients</i>	<i>38</i>
<b>3. Partie réglementaire et normative</b>	<b>38</b>
<i>3.1. Réglementation algérienne</i>	<i>38</i>
<i>3.2. Norme ISO/TS 16530</i>	<i>39</i>
<b>4. Accidentologie vs Modernisation des puits</b>	<b>40</b>
<i>4.1. Historique au niveau mondial</i>	<i>40</i>
<i>4.2. Historique au niveau d’Algérie</i>	<i>42</i>
<b>Conclusion</b>	<b>42</b>

## **Introduction**

Un puits sert à mettre en liaison le fond à la surface. Il permet, principalement, de ramener l'effluent du gisement aux installations de surface dans lesquelles il sera traité ultérieurement pour répondre aux spécifications commerciales. Ainsi et dans le cadre de la continuité, plusieurs opérations d'interventions peuvent être réalisées durant le cycle de vie des puits afin d'optimiser leur durée de vie. C'était le cadre réglementaire et normatif qui édicte celles-là toute en considérant la sécurité des biens, les êtres humains et l'environnement.

Conséquemment, le but de ce chapitre est de décrire l'état de l'art et celui des lieux afin d'assurer son enchaînement logique d'une part, et de toucher la problématique, plus précisément en Algérie, à solutionner d'une autre part.

### **1. Intégrité des puits**

Un puits est équipé de différents équipements de fond et de surface, il est soumis aux différents efforts de température, de pression, et parfois au caractère agressif de l'effluent qu'il véhicule (**Total, 2007**).

#### **1.1. La construction d'un puits**

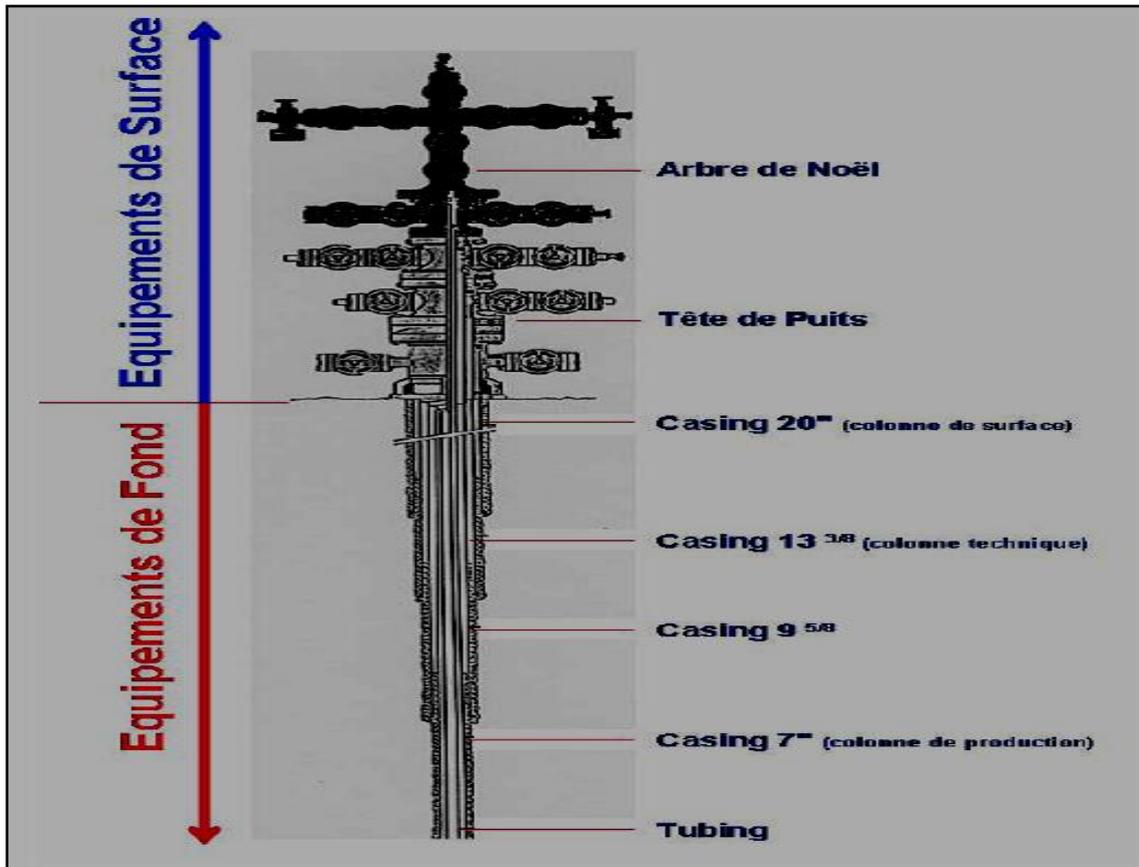
L'exploitation pétrolière et gazière nécessite la réalisation de forages d'exploration. Les parois de ces forages sont soutenues par des coffrages d'acier cimentés à la paroi rocheuse. Lorsque des indices de gaz ou de pétrole sont rencontrés, les indices sont évalués à l'aide d'essais aux tiges. Si les résultats des essais sont concluants, le puits sera complété et des essais de production seront réalisés. Le puits entre ensuite en période de production. À la fin de période de production, le puits doit être fermé avant d'être abandonné. Il en est de même si les indices de gaz ne justifient pas la complétion du puits.

Dans ce cas, le forage est fermé sans avoir été complété. Dans cette section, toutes ces étapes sont présentées de façon détaillée ainsi qu'un bref survol des matériaux utilisés dans la construction des puits. Un puits se décompose en deux sous-ensembles élémentaires qui sont :

- Les équipements du Fond (cuvelages (casings), complétion)



- Les équipements de Surface (Welland, Christmas tree). L’explication sera dans la partie suivante.



**Figure 9 : Composition du puits (Total, 2007).**

## 1.2. Equipements fond

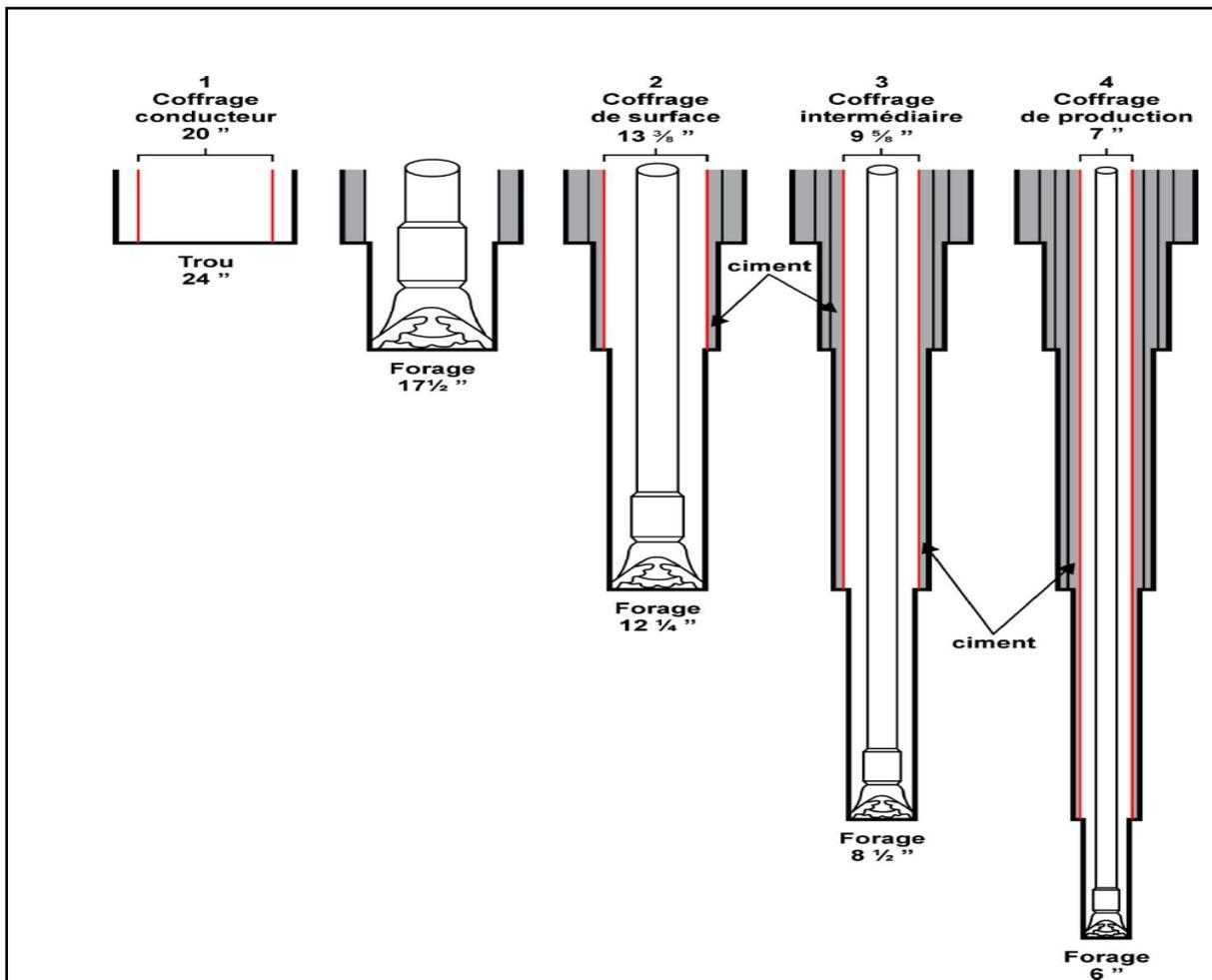
### A. Coffrage (casing)

Un coffrage est constitué de tubes d'acier vissés les uns aux autres. L'épaisseur de ces tubes varie selon le type d'acier utilisé et la pression maximale à laquelle ils sont exposés. Pour chaque grade de coffrage correspond des caractéristiques précises concernant sa résistance mécanique.

Lorsque le forage d'une section du puits est complété, ces tubes sont descendus dans le trou, puis cimentés à la paroi rocheuse. Après la mise en place du premier coffrage, le forage sera poursuivi avec un outil dont le diamètre est inférieur au diamètre intérieur du coffrage précédemment mis en place. Un forage est donc un ouvrage télescopique puisque chaque coffrage mis en place réduit le diamètre du trou qui pourra être foré ultérieurement. Les coffrages successifs permettent de protéger le puits des éboulements et d'isoler les

formations rocheuses les unes des autres, empêchant ainsi les fluides des zones poreuses de communiquer entre elles ou de remonter à la surface. Ainsi, il est généralement nécessaire d’installer plus d’une séquence de coffrage en raison des différentes fonctions propres à chaque type de coffrage qui sont comme suit (**Voir la figure 10**):

- Coffrage conducteur
- Coffrage de surface
- Coffrage intermédiaire
- Coffrage de production



**Figure 10:** Evolution de la mise en place des coffrages dans un puits

## **B. La cimentation des coffrages**

La cimentation consiste à combler l'espace entre la paroi externe du coffrage et la paroi rocheuse, appelé « l'espace annulaire ». Pour y parvenir, du ciment est injecté sous pression à l'intérieur du coffrage jusqu'au fond de la section à coffrer. Le ciment remonte

ensuite par l'espace annulaire jusqu'à la surface. Pour éviter un retour de ciment à l'intérieur du coffrage, un bouchon mécanique est installé à la base de la section de coffrage cimentée. Le retour de ciment à la surface par l'espace annulaire confirme que celui-ci est bien rempli. Les opérations sont alors suspendues entre 24 à 48 heures pour permettre au ciment de durcir. (Nowamooz et al., 2014)

### *1.3. Equipements surface*

#### **A. Tête de puits**

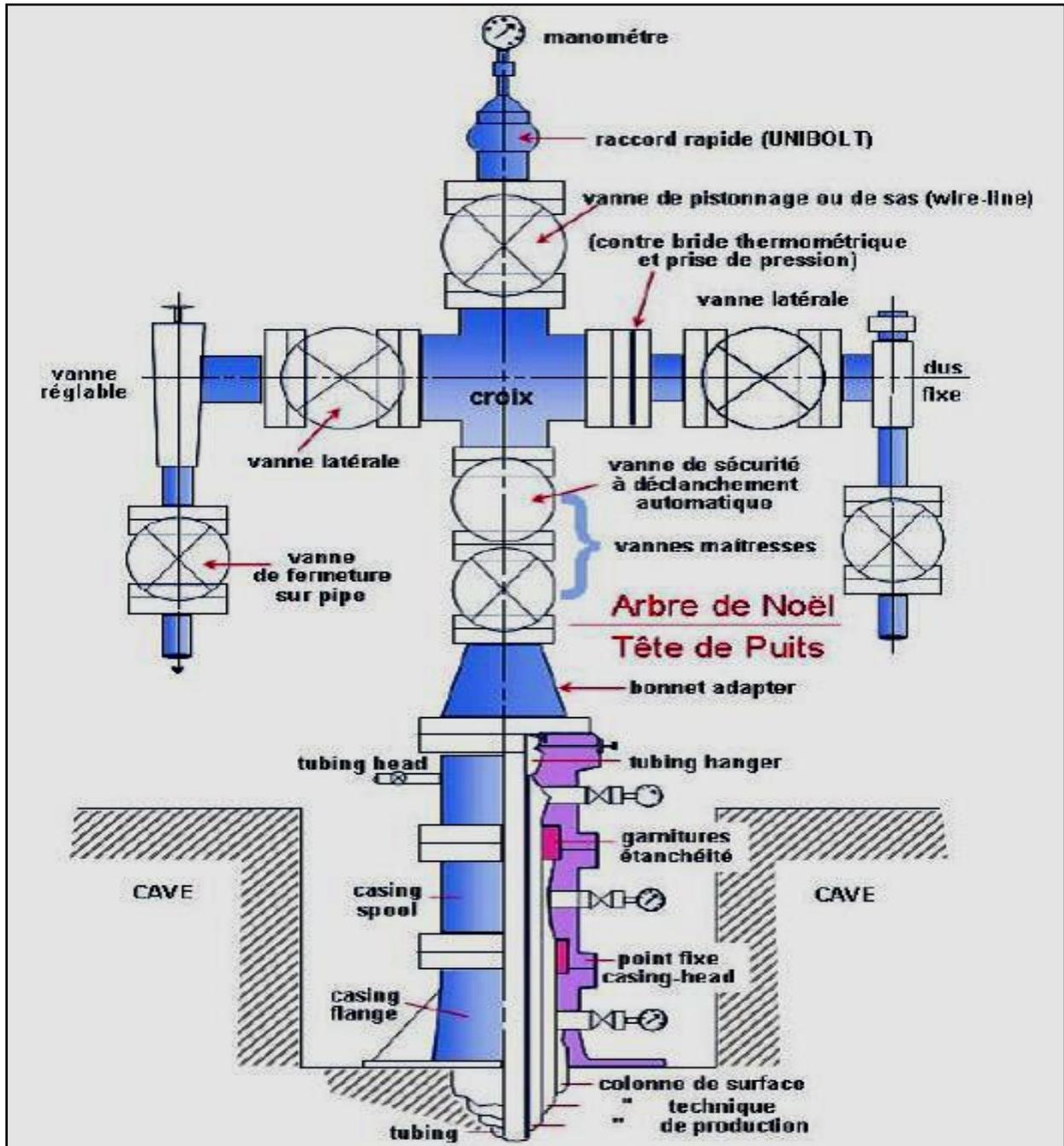
Cet équipement est l'un des composants le plus important du puits du point de vue de la sécurité. La tête de puits « Wellhead » concerne les équipements utilisés pendant le forage. Ainsi, la tête de puits se compose de trois parties principales:

- La tête de tubage (casing head, casing spool)
- La tête de tubing (tubing head)
- La tête de production (X mas tree)

Nous rappelons également que la tête de puits est utilisée comme moyen pour:

- Supporter le poids de toutes les colonnes de tubage et tubing de production
- Assurer l'étanchéité des suspensions des colonnes de tubages
- Supporter la tête de production (X mastree)
- Isoler les espaces annulaires de l'intérieur tubing
- Fournir un accès pour le contrôle des pressions dans l'espace annulaire et l'intérieur de Tubing

L'équipement d'un puits qui est utilisé pour contrôler le débit de l'effluent est appelé « Arbre de Noël » (Christmas Tree – XmasTree). Il se trouve au-dessus de la tête de puits et consiste en: Vanne maîtresse inférieure, Vanne maîtresse supérieure, Vanne de curage, Vanne latérale et Duse.



**Figure 11: Tête de puits et Arbre de Noël.**

Pour rappel, les différents types de puits sont :

- **Les puits producteurs** : ils véhiculent l'effluent du fond à la surface
- **Les puits injecteurs**: ils véhiculent l'effluent de la surface vers le fond
- **Les puits témoins**: ils permettent le contrôle de certains paramètres du réservoir

## 2. Moyens de modernisation des puits

Le vieillissement<sup>1</sup> d'un gisement conduit naturellement à une diminution de la productivité des puits. Les causes improductives de puits sont :

- ❖ *Environ un tiers du temps improductif lié au découvert*
- ❖ *Circulation pour conditionner la boue, nettoyer le trou*
- ❖ *Coincements :*
  - Collage par pression différentielle :
    - La différence de pression entre le puits et la formation (pression différentielle)
    - La présence d'une formation poreuse et perméable
    - La présence de cake sur les parois de la formation
    - L'immobilité de la garniture en contact avec la formation
      - Coincement mécanique en relation avec :
        - ✚ L'équipement de forage, les opérations en cours, le personnel
        - ✚ Les formations traversées
      - Key seat (trou de serrure)
      - Chute d'objets
      - Cimentation
      - Casing (collapse, déboîtement)
      - Trou de diamètre inférieur à celui de l'outil
      - Instabilité de la formation (fluage, éboulement)
      - Tortuosité du puits
      - Rigidité de la garniture
- ❖ *Rupture d'équipements :*
  - Train de tiges, outil, câble (logging, wire line)
  - Casing, complétion
  - Conditions de forage difficiles (forage très déviés, ..)
  - Utilisation des équipements au-delà de leur limite
  - Non respects des règles de l'art
  - Équipements en mauvais état, mal entretenus

---

<sup>1</sup> Après l'exploitation réelle des puits.

Après la description des problèmes à rencontrer durant le cycle de vie des puits pétro-gaziers, il est nécessaire qu’un plan de modernisation existe, établi par le constructeur et exécuté par le producteur. Ainsi, ces moyens de modernisation des puits sont regroupés en deux parties :

**Groupe 1 : Modernisation préventive**

- ✚ SNUBBING
- ✚ WIRE-LINE
- ✚ COILED-TUBING

**Groupe 2 : Modernisation corrective**

- ✚ WORK-OVER

**2.1. La modernisation préventive**

Ces types d’interventions nécessitent l’utilisation d’une unité légère telle que (Wire Line, Coiled Tubing ou Snubbing) et n’exigent pas la neutralisation du puits.

**A. COILED-TUBING (ICTA, 2014)**

Le coiled tubing est un tube en acier, enroulé sur un Touret de très grand diamètre. Il est déroulé et descendu en continu dans le puits. Outre le gain de temps, l’absence de connexions minimise le risque de fuite.

L’unité du coiled tubing est constituée d’un tube métallique continu de ¾ ” à ½” de diamètre environ (environ de 19 à 38 mm) enroulé sur une bobine (coil) ou tambour et qui peut être remonté ou descendu dans un puits en pression. Le tube est manœuvré par un injecteur au travers un système d’étanchéité (BOP<sup>2</sup>). Sa mise en œuvre nécessite une équipe spécialisée d’au moins trois personnes.

**A.1. Domaine d'application**

- ✓ Forage et fraisage avec des moteurs hydrauliques
- ✓ Circulation des fluides (neutralisation)
- ✓ Nettoyage du tubing (sel, paraffines, hydrates,...)
- ✓ Cimentation

---

<sup>2</sup> **Blow Out Preventer.** *En français : Bloc obturateur de puits.*

- ✓ Démarrer ou redémarrer le puits
- ✓ Nettoyage du puits (dépôts de sable,...)
- ✓ Acidification sélective ou globale
- ✓ Logging
- ✓ Repêchage des outils
- ✓ Perforation
- ✓ Fracturation hydraulique

### *A.2. Avantages et inconvénients*

#### **Avantages**

- Utilisé sur des puits sous pression
- Vitesse de manœuvre élevée
- Facile à déplacer
- Temps de montage et démontage réduit
- Economie d'argent (le puits n'est pas neutralisé)
- Impact sur l'environnement réduit
- L'opération peut être exécutée par trois personnes
- Effectuer les logging sur les puits horizontaux (limitation du wire line)

#### **Inconvénients**

- Faible résistance à la traction
- Entretien délicat
- Pression: Le travail en pression dégrade rapidement les propriétés mécaniques du tube
- Fatigue: Stocké sur un touret
- Les frictions



Figure 12: *Equipment d'une unité de COILED-TUBING*

## B. SNUBBING (Souaad et al., 2012)

Le snubbing est une technique utilisée pour manœuvrer les tubes obturés utilisant des BOPs afin d'obtenir une étanchéité tout autour dans un puits sous pression. Dans les opérations de snubbing le nombre de BOPs à utiliser peut être très grand comme dans le cas des puits à haute pression avec des colonnes de tubing mixtes où il est préférable d'avoir des obturateurs de remplacement pour chaque diamètre de tube descendu dans le puits.

Dans le cas des opérations de snubbing dans un puits neutralisé par isolation de la couche productrice ou par un fluide dans le puits d'une densité supérieure à la densité d'équilibre, le nombre de BOP peut être réduit.

Le WORK OVER hydraulique est normalement effectué sur des sites où il sera difficile de monter un mât pour des raisons techniques ou économiques.

L'empilage des BOPs dans ce genre d'intervention sera comme suit:

- Obturateur blindshear rams en bas
- Obturateur pipe rams au milieu
- Obturateur annulaire en haut

### B.1. *Domaine d'application*

- ✓ Descente et remontée des complétions
- ✓ Opérations de repêchage
- ✓ Circulation et nettoyage des dépôts et sédiments à l'intérieur du puits
- ✓ Acidification et nettoyage des perforations
- ✓ Opérations de fraisage

- ✓ Opérations d’abandon des puits

### ***B.2. Avantages et inconvénients***

#### **Avantages**

- Rapidité dans le démontage et le montage
- Facilité de transfert
- Réduction du risque d’endommagement de la formation par le fluide de contrôle
- Capacité de levage importante par rapport au coiled tubing
- Remplace le coiled tubing quand le torque appliqué à l’outil au fond est supérieur au couple maximum fourni par la turbine ou le moteur de fond
- Remplace le coiled tubing lorsque la pression de travail risque de dépasser la limite d’éclatement
- Remplace l’appareil work over dans le cas de l’impossibilité de monter un mât
- Perforation sans présence d’un appareil de forage
- Remplace le coiled tubing dans les travaux effectués sur des puits hautement déviés ou horizontaux
- Possibilité de descendre une complétion après déménagement de l’appareil de forage
- Possibilité d’effectuer des interventions sur une plate-forme sans mât
- Possibilité d’effectuer des opérations de forage en un derbalance
- Possibilité d’effectuer des opérations de forage de diamètre réduit comme dans le cas de forage des drains latéraux

#### **Inconvénients**

- Difficile à utiliser sur des appareils submersibles à cause des mouvements de l’appareil dus à l’effet de vagues
- Le travail sous pression augmente le taux d’erreur et d’accident
- Le temps de manœuvre est relativement très long
- Le flambage dans les opérations de snubbing est important ce qui accélère la fatigue des tubings et des tiges

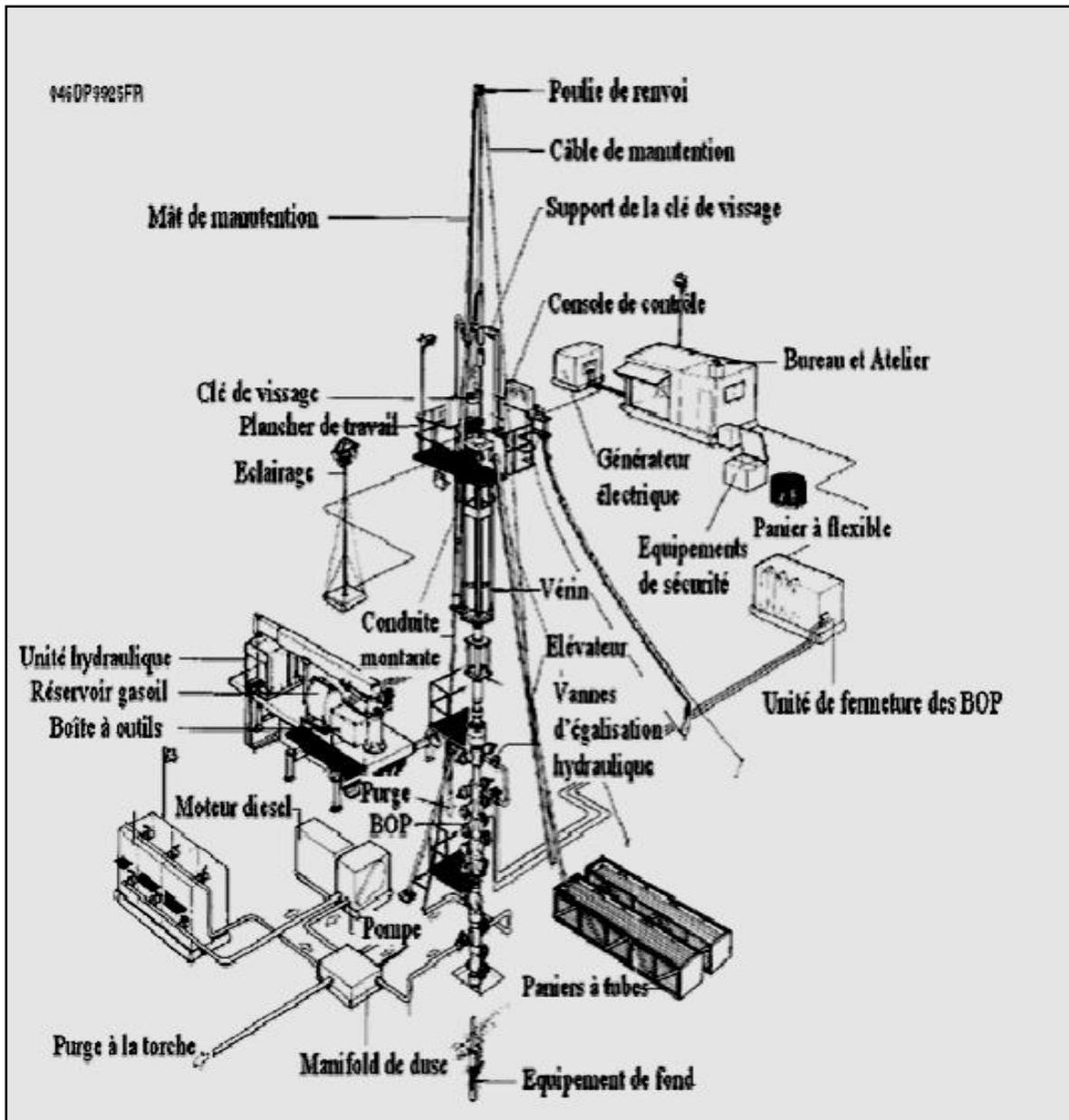


Figure 13: Installation de Snubbing.

### C. WIRE-LINE (NORSOK STANDARD, 1996)

Le travail au câble est une technique qui permet d'intervenir sur puits en utilisant une ligne de fil d'acier pour introduit, descendre, placer et repêcher, dans le tubing les outils et instruments de mesures nécessaire à une exploitation rationnelle. Le travail au câble est l'ensemble des opérations qui consiste à intervenir dans le puits sous pression. Ces opérations emploient différents types d'outils qui doivent être descendus et remontés en toute sécurité. Ces outils sont manœuvrés depuis la surface par l'intermédiaire d'un câble (lisse ou toronné) relié à un treuil.

Généralement, on utilise le câble d’acier appelé Slick line mais certains outils descendus dans le puits font appel à un câble électrique conducteur nommé WIRE-LINE.

### **C.1. Domaine d'application**

- ✓ Contrôle et nettoyage du tubing
- ✓ Opération de mesure (enregistrement de pression et température de fond, échantillonnage, diagraphie de fond)
- ✓ Pose et repêchage d’outils (pose et repêchage de la strom choke – vannes gas-lift)

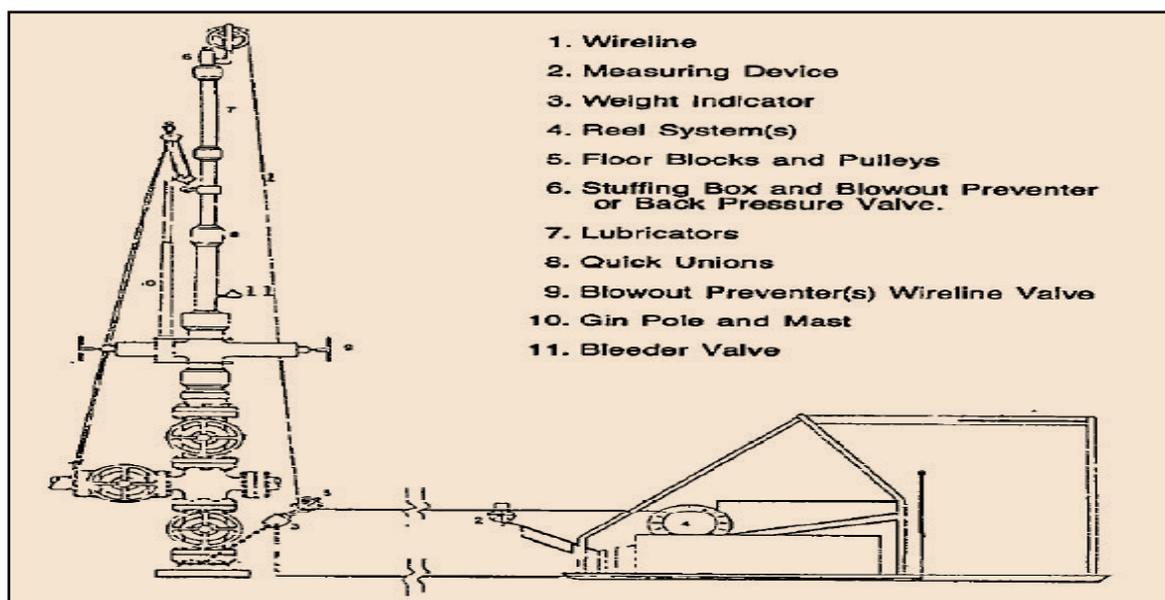
### **C.2. Avantages et inconvénients**

#### **Avantages**

- Possibilité d’intervenir dans le puits sans avoir à le tuer et arrêter la production
- Rapidité d’exécution grâce à un matériel léger, très mobile
- Economie d’argent grâce à:
  - Production non ou très peu stoppée
  - Couche productrice non endommagée par la neutralisation (puits non tué)
  - Moyens matériels et humain simples et mise en œuvre rapide

#### **Inconvénients**

- Le travail est impossible en présence de dépôts très durs
- Le travail au câble n’est pas applicable pour les puits horizontaux



**Figure 14: Equipements de Wire-Line.**

## 2.2. La modernisation corrective

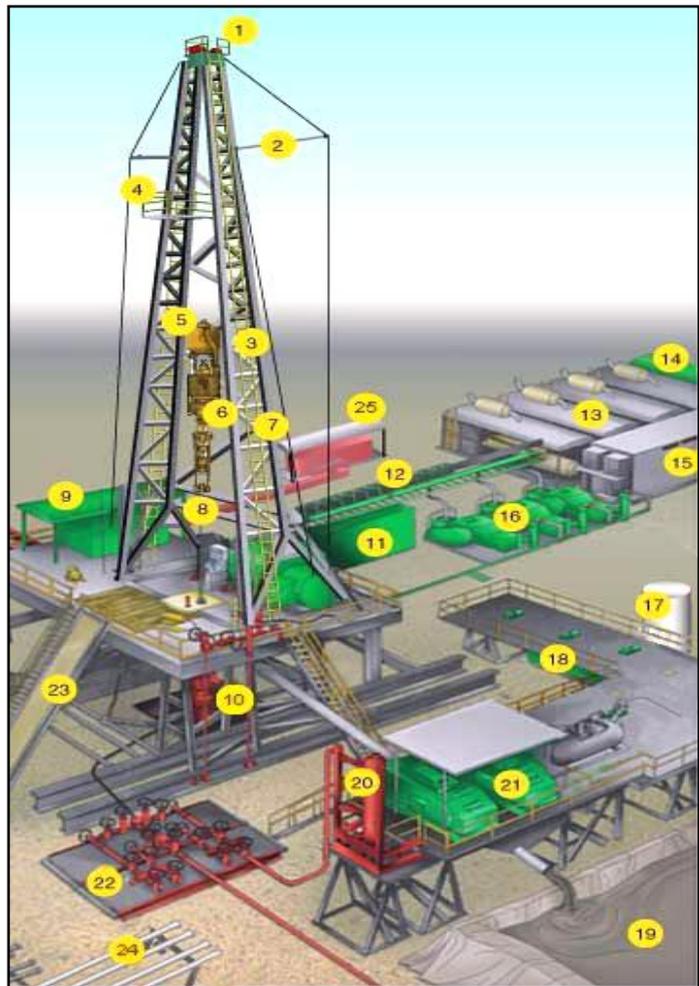
### A. WORK-OVER

Les définitions du mot “Work Over” sont nombreuses et pas toujours très claires. Cependant, on convient de qualifier ainsi toute intervention sur un puits déjà foré, tubé et mis en service.

#### A.1. Domaine d'application

- ✓ Forage et fraisage
- ✓ Cimentation
- ✓ Nettoyage du puits (dépôts de sable,...)
- ✓ Repêchage des outils
- ✓ Fracturation hydraulique

1. Crown Block and Water Table
2. Catline Boom and Hoist Line
3. Drilling Line
4. Monkeyboard
5. Traveling Block
6. Top Drive
7. Mast
8. Drill Pipe
9. Doghouse
10. Blowout Preventer
11. Water Tank
12. Electric Cable Tray
13. Engine Generator Sets
14. Fuel Tank
15. Electrical Control House
16. Mud Pumps
17. Bulk Mud Component Tanks
18. Mud Tanks (Pits)
19. Reserve Pit
20. Mud-Gas Separator
21. Shale Shakers
22. Choke Manifold
23. Pipe Ramp
24. Pipe Racks
25. Accumulator



**Figure 15:** L'appareil de forage en lien avec Work Over.

## **A.2. Avantages et inconvénients**

### **Avantages**

- Déséquiper totalement ou partiellement le puits
- Doter le puits d’un équipement neuf adopter à ses nouvelles caractéristiques de production
- Reconversion des puits (d’un puits producteur à un puits injecteur)
- Optimisation des équipements
- Contrôle des venues d’eau et de gaz
- Mettre en place ou de modifier un système artificiel de production (Gas-lift, pompage)
- Lors de la reprise, on peut effectuer différentes opérations telles que le fraisage, le repêchage, la coupe et le reforge

### **Inconvénients**

- L’opération du Work-Over nécessite l’utilisation de grands moyens matériels et financiers
- Cette intervention sur le puits nécessite sa neutralisation, donc le puits doit être arrêté afin d’intervenir en toute sécurité. Dans le langage pétrolier « arrêter un puits de produire »
- Elle peut durer quelques semaines comme elle peut se prolonger sur quelques mois, tout dépend du problème rencontré dans le puits
- L’opération du Work-Over est très chère
- La durée de montage et démontage et transport est très long

## **3. Partie réglementaire et normative**

### **3.1. Réglementation algérienne**

En ce qui concerne la réglementation algérienne en matière de la modernisation des puits pétro-gaziers, les décrets ci-après vont présenter le sujet en question :

- **Décret exécutif n°14-349** du 8 décembre 2014, fixant les conditions de mise en conformité des installations et des équipements relevant des activités hydrocarbures

- **Décret exécutif n° 15-09** du 14 janvier 2015, fixant les modalités d’approbation des études de dangers spécifiques au secteur des hydrocarbures et leur contenu. L’un des instructions données est d’adopter et mettre en œuvre des procédures et des instructions pour la gestion et la maîtrise des risques associés au vieillissement des équipements, installations et ouvrages. (Annexe relative au système de gestion de sécurité, la troisième partie : Contrôle des opérations et de l’exploitation).

### **3.2. Norme ISO/TS 16530**

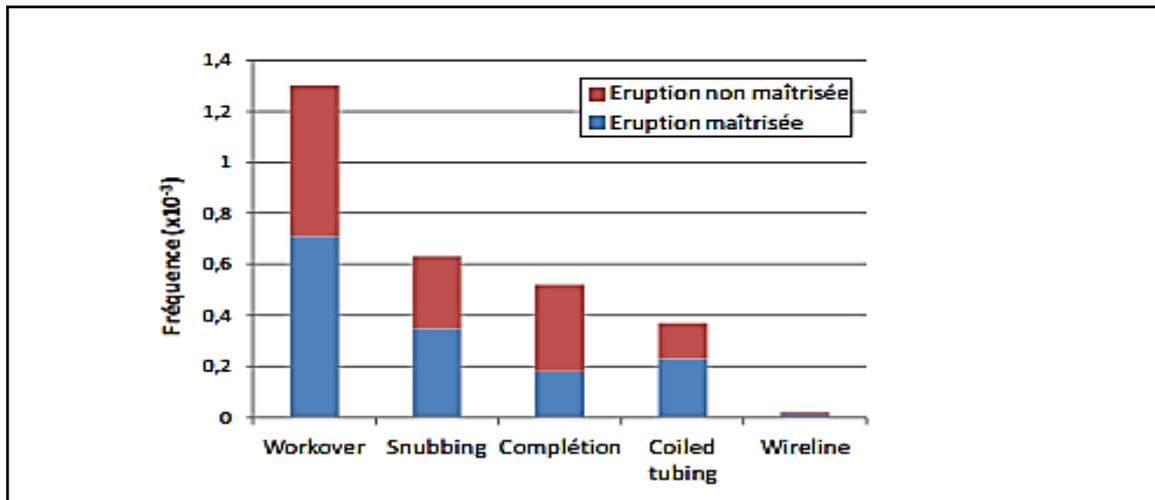
La partie normative liée à la modernisation des puits se présente dans la norme ISO/TS 16530 et plus précisément la partie-2 Well Integrity (Intégrité des puits). Les principaux axes de la présente norme sont:

1. *Système de gestion de l'intégrité des puits*
2. *Une bonne politique et une stratégie d'intégrité*
3. *Ressources, rôles, responsabilités et niveaux d'autorité*
4. *Aspects liés à l'évaluation des risques dans la gestion de l'intégrité des puits*
5. *Obstacles bien définis*
6. *Bonne performance des composants standards*
7. *Efficacité et limites des composants*
8. *Surveillance efficaces*
9. *Gestion de la pression annulaire*
10. *Bien remis*
11. *Bien entretenu*
12. *Bonne gestion de l'échec de l'intégrité*
13. *Gestion des changements*
14. *Rapports sur les puits et rapports sur l'intégrité lui-même*
15. *Surveillance du rendement des systèmes de gestion de l'intégrité*
16. *Vérification de la conformité*

#### 4. Accidentologie vs Modernisation des puits

##### 4.1. Historique au niveau mondial

A l’échelle internationale, les fréquences d’éruptions<sup>3</sup> établies à partir de la base Blowout, sont présentées dans la figure suivante (**Figure 16**), pour les différents types de modernisation des puits. Ces chiffres correspondent à une moyenne des fréquences d’éruptions observées pour les puits de gaz et pour les puits de huile.



**Figure 16 :** *Fréquences d’éruptions pour différents opération de modernisation (INERIS, 2015)*

Une analyse superficielle de cette figure indique clairement que l’opération de modernisation dit Work-Over soit jugé critique à cause des défis des incertitudes à trouver en matière de production, d’économie, réputation et de l’environnement.

Le **Tableau 3** présente également une liste exhaustive des accidents majeurs dans le domaine Offshore lié aux puits en vue de mettre en exergue l’importance de la leur gravité.

<sup>3</sup> On s’intéresse ici par l’éruption car, il est le risque industriel majeur (Voir l’explication dans le chapitre I).

## Chapitre II : A propos des puits pétro-gaziers – Etat de l’art – Etat des lieux

N°	Date de l'accident	Installation/gisement	Type de support	Phase d'opération	Conséquences matérielle	Séquence accidentelle	Nb de mort	Nb de blessés	Zone géographique
1	06/07/1988	Piper Alpha	Jacket	Production	Perte totale	Fuite > Explosion > Incendie	167	60	Mer du Nord
2	27/03/1980	Alexander L Kielland	Semi-submersible	Autre	Perte totale	Rupture ou fatigue > Inclinaison excessive > Chavirement	123	NC	Mer du Nord
3	03/11/1989	Seacrest	Navire de forage	Forage d'exploration	Dommages graves	Rupture ou fatigue > Chavirement	91	0	Asie du Sud
4	15/02/1982	Ocean Ranger	Semi-submersible	Forage d'exploration	Perte totale	Rupture ou fatigue > Fuite dans la coque > Inclinaison excessive > Chavirement	84	0	Amérique du Nord Est
5	25/10/1983	Glomar, Mer de Java	Navire de forage	Forage	Perte totale	Rupture ou fatigue > Fuite dans la coque > Inclinaison excessive > Chavirement > Naufrage	81	0	Asie de l'Est
6	25/11/1979	Bohai II	Jackup	Transfert	Perte totale	Rupture ou fatigue > Fuite dans la coque > Inclinaison excessive > Chavirement	72	0	Asie de l'Est
7	06/11/1986	Brent field	Hélipont	Autre	Perte totale	Rupture ou fatigue > Accident d'hélicoptère > Naufrage	45	2	Mer du Nord
8	16/08/1984	Enchova Central	Jacket	Forage de développement	Dommages significatifs	Eruption > Incendie > Explosion	42	19	Amérique du Sud Est
9	11/08/2003	Neelam field	Hélipont	Autre	Perte totale	Accident d'hélicoptère > Naufrage	27	0	Asie du Sud
10	15/10/1995	DLB 269	Barge	Transfert	Dommages graves	Fuite dans la coque > Inclinaison excessive > Chavirement > Naufrage	26	0	Golfe du Mexique, US
11	02/10/1997	Mer Caspienne	Hélipont	Autre	Perte totale	Accident d'hélicoptère > Naufrage	23	1	Mer Caspienne/Mer noire
12	15/08/1991	McDermot, Barge 29	Barge	Construction	Perte totale	Fuite dans la coque > Inclinaison excessive > Chavirement > Naufrage	22	NC	Asie du Sud
13	23/10/2004	Usumacinta	Jackup	Forage	Dommages graves	Collision > Rejet > Incendie	22	NC	Golfe du Mexique, US
14	02/10/1980	Ron Tappmeyer	Jackup	Forage d'exploration	Dommages mineurs	Eruption	19	19	Moyen-Orient
15	09/10/1974	Gemini	Jackup	Forage	Dommages graves	Rupture ou fatigue > Chavirement > Naufrage	18	0	Moyen-Orient
16	26/06/1978	Statfjord field	Hélipont	Autre	Perte totale	Accident d'hélicoptère > Naufrage	18	0	Mer du Nord
17	08/12/1977	South Marsh, 128A	Hélipont	Autre	Perte totale	Collision > Accident d'hélicoptère > Naufrage	17	1	Golfe du Mexique, US
18	08/12/1977	South Marsh, 128A	Jacket	Production	Dommages mineurs	Collision (hélicoptère)	17	1	Golfe du Mexique, US
19	13/10/1971	Western offshore 2	Barge de Forage	Forage d'exploration	Dommages graves	Eruption > Incendie > Explosion	16	0	Amérique du Sud Est
20	03/06/1978	Zakum Field	Hélipont	Autre	Perte totale	Accident d'hélicoptère > Naufrage	15	0	Moyen-Orient
21	17/11/1982	NC	Hélipont	Autre	Perte totale	Collision (hélicoptère)	15	0	Asie de l'Est
22	21/12/1987	Eugene Island 190	Hélipont	Autre	Perte totale	Collision > Incendie	15	0	Golfe du Mexique, US
23			Jackup	Autre	Dommages mineurs	Accident d'hélicoptère	15	0	Golfe du Mexique, US
24	20/03/1980	Macaé, Brésil	Hélipont	Autre	Perte totale	Rupture ou fatigue > Accident d'hélicoptère > Naufrage	14	0	Amérique du Sud Est
25	17/10/1985	Trintoc Atlas	Unité mobile	Construction	Dommages graves	Rejet > explosion	14	0	Amérique Centrale

**Tableau 3 : Liste des accidents offshore ayant causé 10 morts ou plus, sur la période 1985-2007 (INERIS, 2015)**

Ceci est traduit également à l'échelle nationale par les accidents survenus. Par conséquent, nous expliquons dans la suite, l'un des accidents célèbres au niveau d'Algérie qui reste un point noir dans l'histoire de production des hydrocarbures.

#### **4.2. Historique au niveau d’Algérie**

On a choisi l’accident de TP 159 au puits de gaz Nezla 19 qui a survenu le 15 septembre 2006 à Hassi Messaoud puisque c’est un cas plus catastrophique.

L’explosion a provoqué une **éruption** du puits dégageant une flamme de 50 à 60 m de hauteur, selon la Protection civile d’Ouargla. La première intervention effectuée par les services de sécurité de Sonatrach aurait permis de dégager les baraques d’habitation proches du lieu de l’incident ainsi que les citernes de carburant afin d’éviter la propagation du feu. Le périmètre de sécurité du puits est de 1600 m à la ronde. A la suite d’un "incident technique", une éruption incontrôlée avec feu est survenue le vendredi 15 septembre 2006 à 15h50 mn, dans la région de Gassi-Touil sur le puits NEZLA 19, en cours de forage, indique un communiqué de l’entreprise Sonatrach. L’incendie survenu dans la plateforme du forage gazier Nezla 159 a tué deux personnes sur le coup et a fait six blessés.



**Figure 17 : Eruption du puits Nezla 19 en 2006 (Touaher, 2013)**

#### **Conclusion**

D’après ce qui précède, on a constaté que les puits pétro-gaziers sont des installations très complexe et critique notamment durant leurs opérations de modernisation. A cet effet, les statistiques démontrent que l’opération dit Work Over a constamment attiré l’attention des producteurs et préventeurs en matière d’économie et de sécurité.

Conséquemment, le dernier chapitre va projeter la situation susdite en Algérie en suivant les étapes techniques en matière de la gestion des risques liée aux chaînes logistiques.

**Chapitre III :**

Gestion des risques durant la modernisation des  
puits – Cas du Work Over- Algérie-  
Application méthodologique

Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>44</b>
<b>1. Présentation de l'entreprise ENTP</b>	<b>44</b>
<i>1.1. Historique</i>	44
<i>1.2. Domaine d'activité</i>	45
<b>2. Présentation de puits RB 53 (Champ d'étude)</b>	<b>45</b>
<b>3. Application méthodologique</b>	<b>46</b>
<i>3.1. Analyse préliminaire des risques</i>	46
<i>3.2. Identification des risques</i>	55
<b>A. Risques professionnels</b>	<b>55</b>
<i>A.1. Risque de glissade et chute</i>	55
<i>A.2. Risques ergonomiques</i>	55
<i>A.3. Risques liés aux levages et manutention</i>	55
<i>A.4. Risques d'origine électrique</i>	55
<i>A.5. Risques chimiques</i>	56
<i>A.6. Risque de pression</i>	57
<i>A.7. Risques mécaniques</i>	57
<i>A.8. Risque d'incendie-explosion</i>	58
<b>B. Risques industriels (majeur)</b>	<b>59</b>
<i>B.1. Définition d'éruption</i>	59
<i>B.2. Causes des venues</i>	59
<i>B.3. Densité requise</i>	59
<i>B.4. Détection d'une venue en cours de forage</i>	59
<i>B.5. Avancement rapide</i>	60
<i>B.6. Diminution de la pression de circulation</i>	60
<i>B.7. Indices de gaz, d'huile ou d'eau dans la boue</i>	60
<i>3.3. Analyse détaillée de risque</i>	61
<b>Conclusion</b>	<b>63</b>

## **Introduction**

La sécurité industrielle contribue efficacement à l'amélioration de performance globale de l'entreprise (**Léger, 2009**) et donc aux performances techniques qui sont liées aux machines ainsi qu'aux installations. Pour cette raison, un plan de leurs sécurisations doit être élaboré pendant l'exécution de toutes les tâches qui peuvent engendrer des dangers parfois graves. Conséquemment, la Gestion des Risques Puits (GRP) est d'une grande utilité.

Le but de ce dernier chapitre est d'appliquer la démarche GRP présentée dans le chapitre précédent au « Puit RB53 » de l'entreprise pétrolière ENTP. Cette application sera précédée, logiquement, par sa présentation succincte. Ceci fera l'objet de la section suivante.

## **1. Présentation de l'entreprise ENTP**

### ***1.1. Historique***

ENTP (Entreprise Nationale des Travaux aux Puits) est une entreprise de forage et de Work-Over créée à la suite de la restructuration du secteur des hydrocarbures, par décret n°81-171 du 1er août 1981, et devient opérationnelle en janvier 1983. En juin 1989, ENTP se constitua en entreprise publique économique, société par action (EPE-SPA). En 1998, ENTP intègre le Groupe Services Hydrocarbures (GSH), Sonatrach – Holding – Services est son actionnaire majoritaire avec détention de 51% de son capital.

Le capital social de l'ENTP, entièrement libéré, a évolué par paliers successifs de 40 millions DA à 300, puis à 800, 1 600, 2 400 millions de DA en 2005 et 14 800 000 000,00 DA en 2007. Ces actionnaires étaient :

- Le Holding Services Para Pétroliers SPP/SPA (51%)
- La société de gestion des travaux énergétiques TRAVEN (49%)

Janvier 2005 : Transfert des actions détenues par la Société de gestion des participations TRAVEN dissoute, vers la Société de Gestion des participations dénommée « INDJAB »

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

Décembre 2005 : Cession des actions détenues par SGPINDJAB (49%) en faveur du Holding Sonatrach « SPP Spa » ENTP devient 100% Sonatrach Avec un capital d'expérience de plus de trente-cinq années d'expérience en forage et Work over, ENTP est le premier contracteur de forage en Algérie.

### 1.2. Domaine d'activité

Les activités principales dispensées par ENTP couvrent :

- Le forage des puits d'hydrocarbures
- Le Work Over
- Le forage des puits d'eau de grande profondeur pour les besoins du secteur de l'hydraulique

D'autres activités importantes, relevant du soutien logistiques y sont également dispensées:

- Maintenance
- Transport
- Hôtellerie et les moyens communs

### 2. Présentation de puits RB 53 (Champ d'étude)

Le champ de Ghourde El Baguel est situé dans la partie nord est du Sahara algérien à environ 90 Km au sud de Hassi Messaoud, sur la route d'El Bourma.

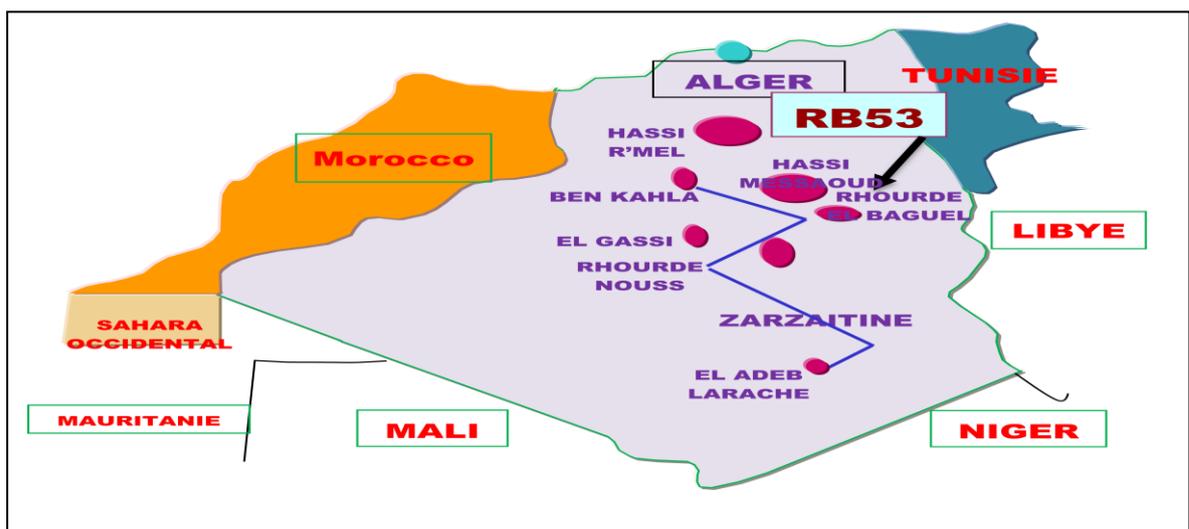


Figure 18: Le Champ de GHOURDE EL BAGUEL

**RB53** est un puits producteur d'huile situé dans le champ de Ghourde El Baguel. Il est foré dans le cadre du contrat de partage de production entre le Sonatrach et ARCO (Appareil SEDCO 49) et mis en production en Novembre 1998, il est complété par un Tubing ancré 4''1/2.

Le but de son Work Over est de remonter la complétion actuelle 4''1/2 corrodée et déboîtée à la côte 243 m/ VC et descendre une nouvelle complétion 4''1/2, 13% super chrome, ancrée muni d'un gas-lift mandrel.

### **3. Application méthodologique**

Préalablement, notre étude (analyse des risques) comprend deux grandes étapes:

- ✓ Une analyse préliminaire des risques (APR), dont en identifiant les éléments dangereux de l'installation, les situations de danger, les causes et les conséquences (phénomènes dangereux). Cette étape permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention particulière et en conséquence l'emploi de méthodes d'analyse de risques plus détaillées.
- ✓ Analyse détaillée des risques, cette deuxième étapes a consisté à :
  - Examiner profondément les accidents majeurs potentiellement identifiés lors de l'APR et les scénarios d'événements susceptibles d'y conduire
  - Mettre en place les mesures de maîtrise des risques associées
  - S'assurer de la performance et de l'adéquation des barrières de sécurité mise en place

#### **3.1. Analyse préliminaire des risques**

Voir le Tableau APR relative à l'opération du Work Over du puits RB 53 qu'on a établi (**Tab. 4**).

**Etabli par :**

- ❖ Etudiants deuxième année Master II Génie Industriel, Univ de Tlemcen
- ❖ Ingénieur Sécurité
- ❖ Ingénieur Forage

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

Activité	Risque	Causes	Conséquences	Sécurités existantes	proposition d'amélioration
<b>Reconnaissance plateforme</b>	Égarement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signalisation inexistante ou insuffisante</li> <li>- Panne de véhicule</li> <li>- Erreur coordonnées de la nouvelle plateforme</li> <li>- Moyen de communication et d'information</li> </ul>	Troubles bénins à graves pouvant entraîner plusieurs décès	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S'assurer des coordonnées de l'itinéraire à emprunter</li> <li>- Respecter le GMV (Gestion des Mouvement des Véhicules).</li> <li>- Utiliser des véhicules VLTT si nécessaire</li> </ul>	Doter l'équipe d'un appareil satellite (THURAYA) et GPS pour les régions isolées (absence de couverture de réseaux téléphoniques)
	Enlèvement / Ensablement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Piste ensablée ou inexistante</li> <li>- Terrain meuble</li> <li>- Relief</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Troubles bénins à graves pouvant entraîner un décès</li> <li>- Détérioration de matériel roulant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S'assurer des coordonnées de l'itinéraire à emprunter</li> <li>- Respecter le GMV (Gestion des Mouvement des Véhicules).</li> <li>- Utiliser des véhicules VLTT si nécessaire</li> </ul>	Doter L'équipe d'un Kit de désensablement (pelle, tole striée, Câble Avec croché d'élingue, Chaîne Anti Dérapant ...)
	Accident de circulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaut de signalisation</li> <li>- Etat des routes et pistes</li> <li>- Défaillance mécanique</li> <li>- Non respect de la réglementation routière</li> <li>- Fatigue ou somnolence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner plusieurs décès</li> <li>- Atteinte à l'image de marque de l'entreprise</li> <li>- Détérioration de matériel roulant</li> <li>- Décès de la personne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emprunter des itinéraires les plus officiellement tracés par les clients</li> <li>- Planification des déplacements</li> <li>- Compétences des chauffeurs</li> <li>- GMV (Gestion des Mouvements en sécurité des Véhicules)</li> <li>- Statistiques et retour d'expérience</li> <li>- Organisation des campagnes de sensibilisation sur les accidents de circulation</li> <li>- Information du client sur l'état de l'itinéraire</li> <li>- Véhicule maintenu en bon état (maintenance préventive et curative et contrôle technique)</li> <li>- Etablissement et respect du GMV (Gestion des Mouvement des Véhicules)</li> </ul>	Généralisation de la formation conduite défensive pour tous les conducteurs

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

	Agression	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non respect des consignes de sécurité</li> <li>- Changement d'itinéraire</li> <li>Itinéraire à risque</li> </ul>	Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner un décès	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Véhicule maintenu en bon état</li> <li>- Stationnement dans des zones réservées à cet effet lors des repos</li> <li>- Respect du GMV (Gestion des Mouvement des Véhicules).</li> </ul>	Dotation des véhicules par deux roues de secours pour les trajets éloignés, Outillages (pelles, câble de remorquage...),
<b>Réception plate forme</b>	Chute de plein pied	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glissade</li> <li>- Méconnaissance du lieu de travail</li> <li>- Charge mentale</li> </ul>	Traumatisme bénin à grave	Port des EPI (chaussures antidérapantes,...)	Balisées la zone d'activiste et libérer les voies de circulation
	Piqûre / Morsure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Défaut de port de moyen de protection</li> <li>- Présence de déchets sur le lieu de travail</li> <li>- Présence d'animaux venimeux</li> </ul>	Empoisonnement pouvant entraîner un décès	Port des EPI (chaussures antidérapantes,...)	
	Trébuchement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence de déchets sur le lieu de travail</li> <li>- Non respect de la réglementation</li> </ul>	Traumatisme bénin à grave	Port des EPI (chaussures antidérapantes,...)	Balisées la zone d'activité et libérer les voies de circulation.
<b>Démontage Transport Montage DTM</b>	Chute de hauteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travaux en hauteur</li> <li>- Défaut de port des EPI et EPC</li> <li>- Défaillance des EPC</li> <li>- Encombrement des lieux de travail</li> <li>- Lieu de travail insalubre</li> </ul>	Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner un décès	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser les équipements de protection individuelle adéquats ; (Harnais antichute, longues, cordes,...)</li> <li>- Entretenir les dispositifs antichute</li> <li>- Equipements de protection conformes aux normes.</li> <li>- Vérifier la conformité des nacelles, grue et accessoire.</li> <li>- Désigner des responsables des opérations selon nature des travaux et la compétence</li> <li>- Former et informer le personnel sur les risques lies aux travaux en hauteurs</li> <li>- Un plan d'intervention en cas d'accident</li> <li>- Visite médicale d'aptitude</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- S'assurer de la compétence des agents effectuant des travaux en hauteur.</li> <li>- Animer les JSA des opérations critiques.</li> <li>- Etablir des modes opératoires (plan DTM).</li> <li>- Assurer la mise en place des barrières de sécurité avant d'entamer toute activité (rambardes, line de vie.)</li> </ul>

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

				- Visites médicales périodiques	
Chute de plein pied	- Encombrement des lieux de travail - Glissade - Charge mentale	Traumatisme bénin à grave		- Pré Job meeting (JSA)- - Plancher couvert par les tapis antidérapant - Port des EPI (chaussures antidérapantes, ...) - Formation et information du personnel sur les risques SST - Bon éclairage, régulièrement réparti et suffisant - Application des 5S.	- Assurer un éclairage adéquat pour les travaux de nuit - Organisation du travail (planifier des pauses) - Adapter les horaires de travail selon la saison (hiver, été).
Chute d'objet	Objet mal sécurisé ou mal amarré	- Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner un décès - Détérioration de matériel		- S'assurer de l'arrimage des équipements - S'assurer de la fixation des accessoires sur le mât. - Organiser les stockages : emplacement réservé, mode de stockage adapté aux objets, largeur des allées compatible avec les moyens de manutention utilisée...; - Port des équipements de protections individuelles : casque, chaussures de sécurité ... ..	- Indiquer les points de manutention sur les organes de l'appareil et poinçonner le poids de chaque charge. - Signaler et baliser les endroits de danger (périmètre de sécurité)
Heurt	- Objet ou Engin en mouvement - Mauvaise position de la personne - Visibilité insuffisante - Précipitation dans le travail	Traumatisme benin à grave pouvant entrainer un décès		- Pré -job meeting (JSA) - Plancher couvert par les tapis antidérapant - Port des EPI (chaussures antidérapantes, ...) - Sensibilisation du personnel - Coordonner les opérations - Application des 5S.	Balisées la zone d'activité et libérer les voies de circulation.
Projection d'objet	- Chute d'outil à main en cours d'utilisation - Rupture d'outil à main ou de pièces	Traumatisme bénin à grave pouvant entrainer un décès		- Porter les équipements de protection individuelle adaptés - Sensibiliser le personnel sur les risques liés aux équipements sous pression - Contrôles et inspections des	- Assurer la maintenance préventive - Etablir des consignes relatives à la purge des équipements sous pression.

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

			équipements avant d'intervenir	
Collision	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Objet ou Engin en mouvement</li> <li>- Mauvaise position de la personne</li> <li>Visibilité insuffisante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner un décès</li> <li>- Détérioration de matériel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tenue et prise en compte des registres des contrôles techniques et des rapports de vérification</li> <li>- Supervision des travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etablir des consignes relatives à la purge des équipements sous pression.</li> </ul>
Coincement	<ul style="list-style-type: none"> <li>Objet ou Engin en mouvement</li> <li>Mauvaise position de la personne</li> <li>Visibilité insuffisante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner un décès</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation des outils de travail adaptés, conformes, et maintenus en bon état</li> <li>- Utiliser un dispositif de protection des parties tranchantes des outils (étui, emplacement aménagé...) dès qu'ils ne sont plus employés.</li> <li>- Formation du personnel à la sécurité sur le poste de travail (technique d'elanguage,...)</li> <li>- Faire porter des équipements de protection individuelle</li> <li>- Renforcer l'observation préventive (stop programme) ,</li> <li>- Supervision des travaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Relancer les campagnes de sensibilisation</li> <li>- Impliquer l'équipe lors du safety meeting</li> </ul>
Bruit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engins intervenants dans le démontage (chariot, grue, Kenworth)Groupes de force appareil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effets auditifs et extra auditifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Signaler les zones bruyantes</li> <li>- Suivi et analyse du bilan des Maladies professionnelles (MP42) surdité professionnelle</li> <li>- Former et Informer le personnel sur les risques liés au bruit</li> <li>- Porter les équipements de protection individuelle : casque antibruit, bouchons d'oreille.</li> <li>- Entretien et maintenance des équipements bruyants</li> <li>- Visites médicales périodiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Évaluation de la conformité réglementaire (Mesure du niveau sonore durant le DTM)</li> <li>- Etablir une cartographie de bruit propre au DTM</li> <li>- Limiter les temps d'exposition du personnel (faire des break)</li> </ul>

**Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique**

	Intempérie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vent de sable</li> <li>- Pluie Faible visibilité</li> </ul>	Affection respiratoire et oculaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disponibilité d'eau potable (fraîche)</li> <li>- Sensibiliser et Informer le personnel sur les risques SST</li> <li>- Organiser le travail pour limiter l'exposition des travailleurs aux intempéries</li> <li>- Porter les équipements de protection individuelle</li> </ul>	
	Geste et posture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poids de la charge</li> <li>- Lieu de travail</li> <li>- Position au travail</li> </ul>	Troubles musculo-squelettiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Favoriser l'utilisation de la manutention mécanique</li> <li>- Organiser le travail pour diminuer les gestes répétitifs et les efforts de manutention.</li> <li>- Porter des équipements de protection individuelle.</li> <li>- Assurer la continuité de la formation «gestes et postures »</li> <li>- Visite médicale d'aptitude</li> <li>- Visites médicales périodiques</li> </ul>	Fournir des informations au personnel sur les caractéristiques des charges.
	Charge mentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volume et conditions de travail</li> <li>- Qualification / formation</li> <li>- Aptitude physique</li> <li>- Isolement et conditions de vie</li> </ul>	Stress et fatigue mentale	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planifier les travaux</li> <li>- Visite médicale d'aptitude</li> <li>- Visites médicales périodiques</li> </ul>	

**Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique**

	Coupure/ manipulation d'objet	Outil à main	Traumatisme bénin à grave pouvant entrainer un décès	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en conformité les outils, les machines fixes et portatives</li> <li>- Utilisation des outils de travail adaptés, conformes, et maintenus en bon état</li> <li>- Utiliser un dispositif de protection des parties tranchantes des outils (étui, emplacement aménagé...) dès qu'ils ne sont plus employés.</li> <li>- Formation du personnel à la sécurité sur le poste de travail,</li> <li>- Port des équipements de protection individuelle (lunettes, gants,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relancer les campagnes de sensibilisation</li> <li>- Impliquer l'équipe lors du safety meeting</li> </ul>
	Brûlure (thermique, électrique, chimique)	Non respect procédure de travail	Brûlure allant du 1er au 3ème degré	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Port d'Équipements de protections individuelles spécifiques à la soudure</li> <li>- Appliquer la procédure permis de travail.</li> </ul>	
	Electrisation	Mise à la terre supprimée ou défectueuse Non respect procédure de travail	Brûlure à différents degrés avec ou sans trouble cardiaque pouvant entrainer un décès	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle et maintenance des installations</li> <li>- Mise à la terre</li> <li>- Habilitier le personnel intervenant sur les installations électriques</li> <li>- Mise hors tension de tous les équipements électriques avant démontage</li> <li>- S'assurer des raccordements des installations électriques à la fin du montage</li> <li>- Equipements de protection individuelle adaptés</li> <li>- Sensibiliser le personnel sur le risque électrique</li> </ul>	

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

	Écrasement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériel non adapté</li> <li>- Mauvaise manipulation</li> <li>- Absence de communication</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Traumatisme bénin à grave pouvant entraîner un décès</li> <li>- Détérioration de matériel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equiper les charges de moyens de préhension : poignées</li> <li>- Porter des équipements de protection individuelle</li> </ul>	
	Incendie	Intervention avec sources de chaleur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Brûlures à différents degrés</li> <li>- Détérioration de matériel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilisation (Safety meetings, induction)-</li> <li>- Organiser l'alerte et l'intervention des secours                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôles périodiques et maintenance des équipements ou installations (électrique)</li> <li>- Etablir les permis de travail à chaud.</li> <li>- Respecter les interdictions de fumer à l'intérieur du périmètre de sécurité ainsi que dans les chambres.</li> </ul> </li> <li>- Vérifier et installer les MLCI</li> <li>- Identifier les équipes de lutte contre l'incendie et les entraîner à la gestion des situations d'urgence</li> <li>- Mettre à jour le plan d'intervention (consigne d'incendie, exercice évacuation)</li> <li>- Respecter les consignes de stockage des produits dangereux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réaliser des exercices de simulation d'évacuation et de lutte contre l'incendie</li> <li>- Installer des pare feux (engins et Caterpillar)</li> </ul>
	Trébuchement	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encombrement des aires de travail</li> <li>- Charge de travail</li> <li>- Temps d'exposition</li> </ul>	Traumatisme bénin à grave	<ul style="list-style-type: none"> <li>Port des équipements de protection individuelle.</li> <li>- Sensibilisation du personnel</li> <li>- Appliquer les 05 S</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Assurer un éclairage adéquat pour les travaux de nuit</li> <li>Organisation du travail (planifier des pauses)</li> </ul>

**Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie –  
Application méthodologique**

<b>Manceuvre</b>	Incendie et explosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eruption non contrôlée</li> <li>- Défaillance du matériel</li> <li>- Manque de communication</li> </ul>	<p>Brûlures à différents degrés pouvant entraîner un décès</p> <p>Atteinte à l'environnement</p> <p>Détérioration de matériel</p> <p>traumatismes bénins à graves</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Organiser l'alerte et l'intervention des secours</li> <li>- Vérifier la conformité du matériel par rapport à la classification des zones (matériel en bronze, ADF, caractéristique intrinsèque)</li> <li>- Contrôles périodiques et maintenance des équipements ou installations (électrique)</li> <li>- Affichage des diverses consignes de sécurité et des plans d'évacuation.</li> <li>- Coupures d'urgence à proximité et accessibles (Shutdown)</li> <li>- Eliminer l'électricité statique (mise à la terre)</li> <li>- Former des équipes incendie et l'entraîner à la gestion des situations d'urgence</li> <li>- Plans d'intervention (consigne d'incendie, exercice évacuation)</li> <li>- Habilitation IWCF (équipe de contrôle de venue)</li> <li>- Simulation des PMU : incendie, explosion, venue.</li> <li>- Plan intervention chantier</li> </ul>	<p>Supervision et organisation au niveau du chantier</p> <p>Supervision et organisation au niveau du chantier</p>
------------------	-----------------------	--	---	---	---

**Tableau 4** : Analyse préliminaire des risques APR liée à l'opération WORK OVER RB 53

A partir de ce tableau, on distingue deux types des risques dont leurs indentification est présentée dans la partie suivante.

### ***3.2. Identification des risques***

#### **A. Risques professionnels**

##### ***A.1. Risque de glissade et chute***

La surface du plancher de travail, des escaliers, des sols, manquent d'adhérence, de résistance et d'entretien. La manque d'adhérence entraînant des glissades a plein pieds, des chutes dues à la pression d'eau, de corps gras, de poudre fine (produits à boue) ou a la présence simultanée de plusieurs de ces éléments sur les planchers de travail ou le sol. Le manque de résistance entraînant également des chutes dues a l'usure, la présence de trous (nids de poules), la dénivellation résultant d'effondrement quelconque. Le manque d'entretien laissant subsister les défauts cités ci-dessus, et points dangereux tels que obstacles intitulent ou non signalés.

##### ***A.2. Risques ergonomiques***

Les outils a mains (surtout de fortune), qui leur utilisation entraînant des accidents graves aussi pour la manipulation que pour son une mauvaise posture de l'entourage. Une mauvaise posture de l'ouvrier pour soulever, ou transporter une charge, ou que le poids de la charge n'est pas proportionnel avec sa force physique, engendre facilement des discales ou hiatales.

##### ***A.3. Risques liés aux levages et manutention***

En ce qui concerne les appareilles de levage et de manutention utilisés lors d'un forage ou DTM d'un appareil de forage, il convient de considérer quatre principales sortes des risques, la manque de puissance des engins, Leurs mauvaises conditions d'utilisation, des défauts des appaoux et l'insuffisance d'entretint.

##### ***A.4. Risques d'origine électrique***

Les dangers d'origine électrique qui peuvent se rencontrer sur un chantier sont de trois ordres :

➤ **Electrocution**

Provoquée par le contact du personnel avec une partie d'installation sous tension, le contact est d'autant plus dangereux que la tension est plus élevée et le milieu humide et plus conducteur, les tensions courantes : 127V, 220V, 380V peuvent être mortelles (mains humides, à proximité de masses Métalliques, sol conducteur).

➤ **L'incendie**

Provoquée soit par étincelle électrique, soit par échauffement local de conducteurs détériorés ou de dimension insuffisantes, soit par fonctionnement prolongé en surcharge l'explosion : Mise à feu d'un mélange gazeux explosif par étincelle ou échauffement. Un mélange explosif peut se trouver réalisé au voisinage de toute capacité contenant du pétrole brut ou des produits pétroliers, ou encore aux environs de toutes les orifices par lesquelles se dégagent des gaz inflammables.

➤ **Les brûlures**

Les rayons émis par un arc électrique blessent les yeux, brûlent la chair.

**A.5. Risques chimiques**

Risques liées à la manipulation des produits chimiques : le contrôle de la boue de forage implique l'utilisation de produits chimiques dangereux. Les brûlures par la soude caustique (NaOH) sont les accidents les plus fréquents. La soude caustique est une base très forte qui brûle la peau en particulier quand elle est humide.

Les boues de forage très basiques brûlent également la peau soit directement, soit après imprégnation des vêtements. Le carbonate de baryum ( $BaCO_3$ ) qui est une poudre blanche parfois utilisée dans les traitements des anhydrites est un poison (indiqué sur l'emballage). Le chromate de sodium (dichromate) est également un produit irritant et un poison. La plupart des inhibiteurs de fermentation sont à base de formaldéhyde et peuvent contenir des bactéricides, ce sont des poisons pour le corps humain et les effluents, affectent sérieusement les poissons et les yeux.

Nous avons les gaz toxiques comme l'hydrogène sulfureux dégagé. L'hydrogène sulfureux ( $H_2S$ ) est un gaz incolore, inflammable ayant une odeur semblable à celle des œufs pourris

qui peut provoquer l'affaiblissement de l'adorât, en paralysant neuroleptique, H<sub>2</sub>S en grande quantité (concentration) provoque irritation des yeux.

#### **A.6. Risque de pression**

Les éléments composants le circuit de refoulement doivent être tous du type haute pression et le terrage des pompes doit être normal. Alors, il peut y avoir :

- Eclatement ou rupture de canalisation de conduites sous l'effet de la pression qui peut avoir des valeurs très importantes allant de 1000 à 10.000 psi
- Soupapes de sécurité non nettoyées
- Stationnement à proximité des conduites à la tuyauterie sous pression
- Machine à vapeur et pompes actionnées par du gaz sous pression

Donc, pour éviter qu'une explosion ou un incendie se produise, on ne doit pas dépasser les pressions de sécurité et vielle à ce que le circuit boue soit parfaitement contrôlé sans oublier les pompes.

#### **A.7. Risques mécaniques**

- a) Une grande partie des accidents de travail surviennent aux alentours de la tour de forage où se déroulent les manœuvres du train de sonde, mains coincées entre les clés de forage (clés Blocage et déblocages des tiges de forage), doigts écrasés entre les tiges et l'élévateur, gerbage des longueurs de tige nécessite des efforts physiques importants ce qui provoque des accidents au niveau de dos et de la poitrine.
- b) La manipulation du matériel tabulaire et la rupture des chaînes, et câbles provoque des accidents aux niveaux des bras jambes, genoux et chevilles.
- c) Pendant la manœuvre : la descente et la remontée du train de train de tige et la descente de tubage se fait avec une accélération remarquable afin de réduire le temps de manœuvre qui ne sont pas productifs, la mauvaise maintenance du matériel tabulaire, et les machines de forage peuvent créer des dangers réels pour le personnel travaillant sur la tour de forage ainsi que l'appareil de forage par rupture du câble et matériel usé. Effectuer une manœuvre de tige de forage ou une colonne de tubage à une profondeur de 300m nécessite beaucoup de travaux manuels qui

demandant un certain angle de rotation de la main avec des charges lourdes provoquent des accidents au niveau du poignet.

- d) Au cours de la descente la remontée peut se créer le back flow du à la différence de densité et la non homogénéité du fluide de forage, peut rejaillir en éclaboussant du haut en bas du derrick Ainsi que les alentours de la plate-forme du plancher ce qui rend les lieux glissants et dangereux créent les risques d'accidents de chute si le plancher n'est pas muni des gardes corps. En manœuvre en période des vents forts balance le moufle mobile et l'élévateur qui heurt les traverses du derrick et le Tools joint des tiges provoque des accidents. Afin de permettre l'évacuation des déblais et une bonne circulation du fluide de forage demande une pression minimale de 2000(Psi) qui vaut  $140\text{KG}/\text{cm}^2$  provoque la rupture des flexibles, des conduits, et le matériel tabulaire, et causent des accidents.
- e) Encombrement auprès de la table de rotation ou se déroule la majorité de travaux pendant la manœuvre crée des risques, ainsi que le travail sans le matériel de protection, casque, lunette et soulier de sécurité provoque des dangers d'accidents.

#### ***A.8. Risque d'incendie-explosion***

Parmi les dangers multiples que présent de nos jours l'établissement industriel, il faut faire une place très important à l'incendie et à l'explosion. Ces risques sont d'autant plus marqués et aigus. La vocation de l'établissement conduit à traiter des produits inflammables. C'est le cas notamment de toutes les activités de l'industrie du pétrole de l'exploitation à l'utilisation en passant par la transformation, le risque subsiste. Tous les stades de l'exploitation du pétrole sont menacés par l'incendie. Lors du forage d'un puits, une éruption peut se transforme en catastrophe.

L'exploitation d'un gisement est à la merci d'une fausse manœuvre, ou d'une erreur pour qu'un incendie se déclare. Les conséquences d'un incendie sont lourdes à la fois sur le plan humain et sur le plan économique, l'importance des investissements consentis explique l'importance de la sécurité dans Cette industrie. Il va de soit que les mesures arrêtées sont à la fois le fruit d'études technique et de l'expérience qui, toujours évolue, ces mesures sont prises dans les cadre légal qui est l'aboutissement, le plus souvent, de l'expérience de l'industrie pétrolier international, c'est pourquoi la légalisation et la réglementation forment le cadre de travail de sécurité.

## **B. Risques industriels (majeur)**

### ***B.1. Définition d'éruption***

C'est l'intrusion du fluide dans le puits due au déséquilibre entre la pression hydrostatique exercée par la colonne de la boue au fond et la pression de gisement  $P_f < P_g$

### ***B.2. Causes des venues***

Il y a venue quand les fluides en place dans un réservoir débitent dans le puits. Ces fluides peuvent être soit de l'eau, soit du gaz ou de l'huile, soit un mélange. La gravité de la situation dépend du volume et de la nature du fluide intrus. Les causes d'une venue peuvent être attribuées à un ou plusieurs des éléments suivants : Pression exercée par la boue inférieure à la pression de formation, effet de pistonage en manœuvre entraînant une diminution de la pression de fond, défaut de remplissage du puits pendant la remontée et perte de circulation.

### ***B.3. Densité requise***

La densité doit être telle que la pression hydrostatique exercée est au moins égale à la pression de formation. Dans le cas contraire, il y a intrusion du fluide du réservoir dans le puits.

### ***B.4. Détection d'une venue en cours de forage***

Les venues, contrôlées ou non, constituent non seulement une perte de temps et d'argent mais peuvent entraîner des pertes en vies humaines et en matériel. Seules des équipes de forage expérimentées et attentives peuvent minimiser les risques en prenant toutes les précautions nécessaires et surtout en reconnaissant immédiatement les signes précurseurs d'une venue. Les indices qui peuvent être associés à une venue sont les suivants : gain dans les bassins, débit de boue sortant du puits à circulation arrêtée.

#### **➤ Gain dans les bassins**

Un gain dans les bassins, à défaut d'être causé par un traitement mécanique ou par ajout de boue neuve, constitue l'indication essentielle d'une venue. Ce gain doit être détecté le plus tôt possible. En effet, plus l'augmentation du niveau des bassins sera grande et plus il faudra de contre pression en surface pour contenir la pression de formation, la pression

hydrostatique exercée par la colonne de boue dans le puits étant plus faible. C'est pourquoi l'appareil de forage doit être équipé d'un indicateur de niveau des bacs pour détecter rapidement les gains et les pertes. Cet indicateur, généralement couplé à un enregistreur, doit être situé devant le chef de poste. L'accrocheur est également chargé du contrôle du niveau des bacs.

➤ **Débit de boue**

Dès qu'il y a augmentation du niveau des bassins, ou même s'il y a incertitude sur ce niveau, le chef de poste doit arrêter la rotation, dégager la tige d'entraînement et arrêter la pompe. On peut ainsi vérifier si le puits débite ou non. Si le gain est confirmé, le chef de poste doit immédiatement fermer les obturateurs.

***B.5. Avancement rapide***

La vitesse d'avancement d'un outil est, entre autre, fonction de la différence existant entre la pression hydrostatique de la boue et la pression de formation. Plus cette différence est faible plus l'outil avance rapidement. Un avancement rapide peut donc indiquer une venue du fluide de formation.

***B.6. Diminution de la pression de circulation***

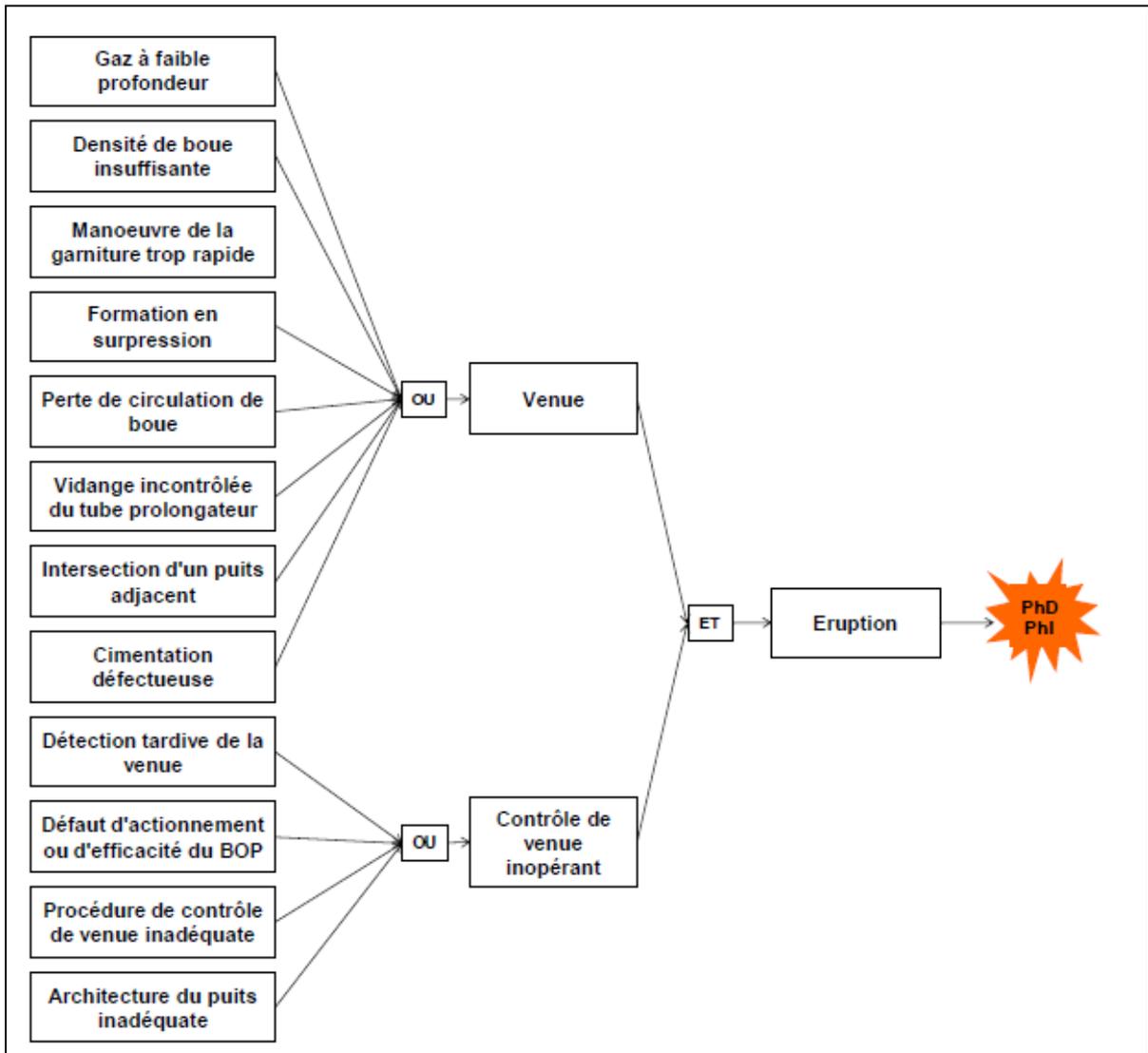
La pression de circulation lue au manomètre de la pompe de forage est la somme des Pressions dues aux pertes par frottement dans l'ensemble du circuit (pertes de charge). Si l'on rencontre du gaz ou un fluide plus léger que la boue pendant le forage, il y aura déséquilibre entre la pression hydrostatique dans les tiges et dans l'annulaire et la pression de circulation chutera. La pression de circulation étant plus faible la pompe de forage aura tendance à accélérer. Ces deux indices, chute de la pression de circulation et accélération de la pompe, peuvent donc être des signes précurseurs d'une venue.

***B.7. Indices de gaz, d'huile ou d'eau dans la boue***

Les trois indices, gaz, huile et eau, n'indiquent pas obligatoirement une venue du fluide de formation dans le puits. Ils peuvent correspondre tout simplement au fluide contenu dans les terrains forés. Cependant si on note ces indices à une fréquence régulière, correspondant aux ajouts de tiges en forage, on peut en conclure que la pression hydrostatique exercée par la boue est très proche de la pression de formation.

### 3.3. Analyse détaillé de risque

Etant donnée que le risque d'éruption est jugé inacceptable (Selon la grille de criticité de l'entreprise), on va s'intéresser par l'analyse de ses scénarios moyennant la méthode AdD (Arbre des défaillances). Par conséquent, la figure suivante (**Fig 19**) illustre les différents causes pouvant engendrés l'éruption dans le cas de Work Over.



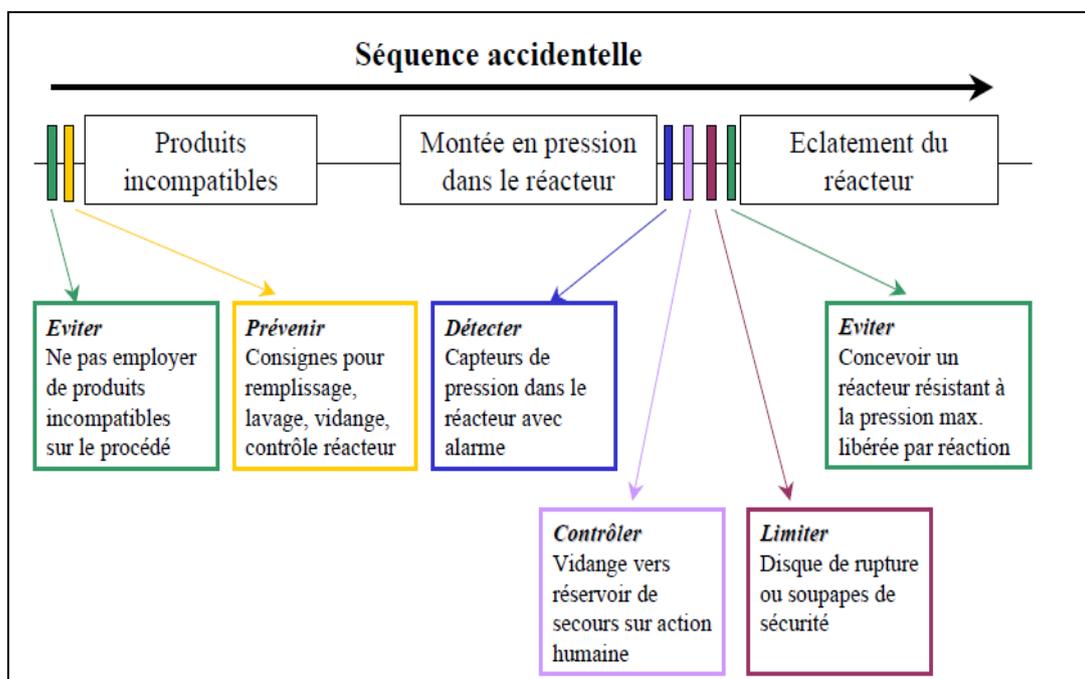
**Figure 19 : AdD lié au risque d'éruption du puit RB53**

Selon la figure susdite, nous trouvons qu'il y'a trente-deux (32) scénarios liés au risque d'éruption. Ceci nous conduit, logiquement, à l'installation des barrières de sécurité préventives car, l'AdD se base sur la diminution de l'occurrence d'évènement indésirable<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> L'évènement indésirable ici est l'éruption.

## Chapitre III : Gestion des risques durant la modernisation des puits – Cas du Work Over – Algérie – Application méthodologique

La figure suivante (**Figure 20**) décrit les différentes barrières existes en terme prévention et protection<sup>2</sup>.

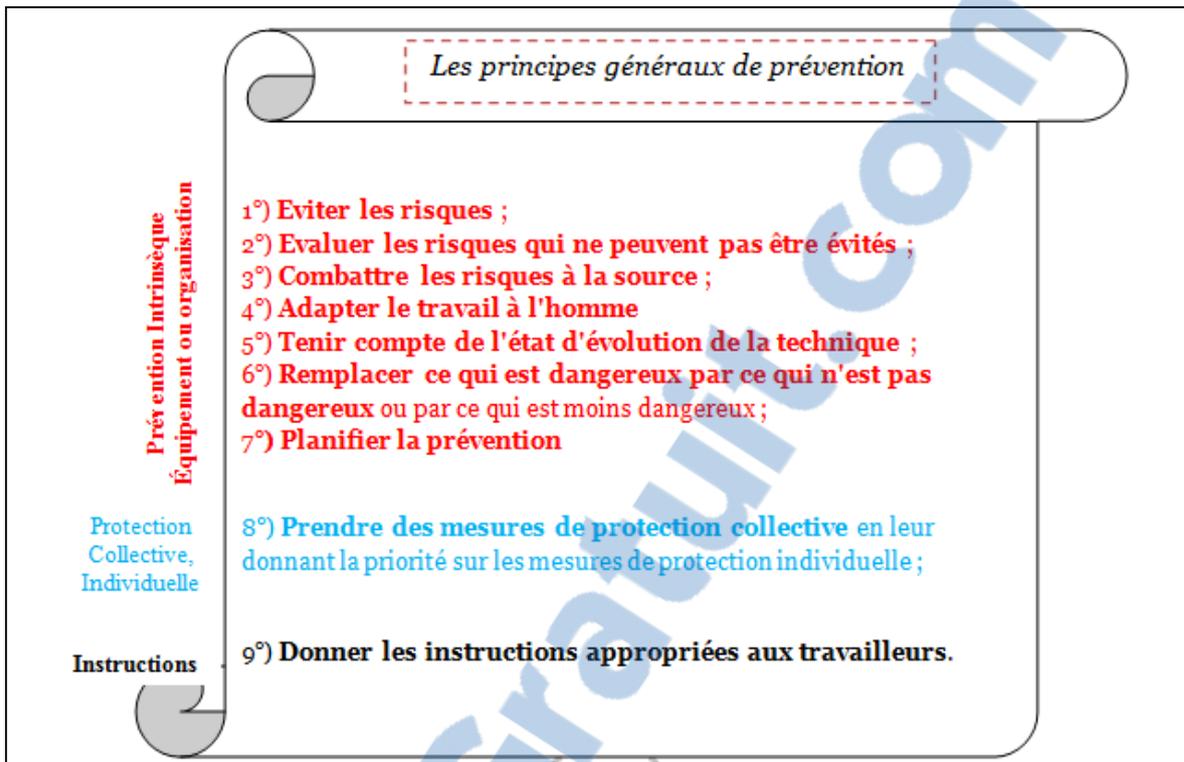


**Figure 20 :** Exemple d'identification des fonctions (cahier des charges) que doivent remplir des barrières de sécurité (INERIS, 2004)

Conséquemment, nous distinguons, à partir de ce qui précède, que la partie normative (Chpitre II) sera considéré comme un support du **cahier de charge** en vue de **concevoir les barrières de sécurité**, d'une part, et de faciliter aux producteurs et préventeurs en algérie à **prendre les décisions durant la modernisation des puits vu la réglementation algérienne**.

Nous rappelons également que la prévention des risques professionnels cités auparavant est faite selon les principes de prévention (**Figure 21**).

<sup>2</sup> Les barrières de protection sont installées dans l'AdE.



**Figure 21 :** Les principes généraux de prévention d'après (*Droit Org, 2014*)

## Conclusion

L'industrie pétro-gazier est une source de dangers permanents. De ce fait, nous avons fait dans la première partie de ce chapitre, la description de l'entreprise choisie (ENTP) pour l'étude mais également les motifs du choix vu la fréquence des accidents majeurs enregistrés dans les bases de données.

La deuxième partie de ce chapitre est réservée à l'application de la démarche de gestion des risques puits proposée (**Figure 1**) au puits RB 53. L'application de cette démarche nous a permis d'explorer les scénarios majeurs les plus redoutés.

## **Conclusion générale**

La sécurité des puits pétro-gaziers est l'aptitude qu'un puits, dans des conditions d'utilisation normales, accomplisse sa fonction, à être installée, à être mise au point, à être entretenue, à être démontée, à être mise au rebut, sans causer des accidents catastrophiques ou d'atteinte à la santé des opérateurs.

Dans le domaine de la prévention des accidents industriels liés aux puits, il est nécessaire d'adopter une stratégie (processus) de réduction des risques qui a pour but de reconnaître les accidents industriels, de les évaluer et de les maîtriser à l'aide de mesures de prévention et de protections afin qu'elles n'engendrent aucun dommage. C'est le même cas du Supply Chain Risk Management (SCRM).

C'est dans ce contexte l'optimisation de ces efforts que s'intègre notre travail qui porte essentiellement sur la gestion des risques liés aux puits durant leurs opérations (critiques) de modernisation.

### **1. Travail réalisé**

Le premier chapitre qui a pour objet principal de rappeler les notions fondamentales liées à l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des chaînes afin de mieux positionner le cadre général du présent travail. De plus, nous avons aussi procédé, dans le deuxième chapitre, à limiter l'étude sur les puits des hydrocarbures en Algérie. Conséquemment, on a

abordé le sujet autour plusieurs aspects pour explorer et évoquer la problématique en question.

Le dernier partie de ce mémoire est dédiée à la démarche de gestion des risques des puits axée sur la l'analyse détaillé des risques qu'est d'un usage très récent. L'application de la démarche proposée est réalisée sur un champ de Work-Over de l'entreprise ENTP.

Nous rappelons également que le choix de ce sujet est venu parce que les études de danger EDD<sup>1</sup> de Groupe Sonatrach<sup>2</sup> n'ont pas procédé des puits, mais elles se basent uniquement sur les autres installations qui viennent en aval des ceux-ci.

## 2. Perspectives envisageables

Nous tenons à signaler que le travail réalisé dans ce mémoire doit être considéré comme une première tentative d'approche de la gestion des risques des puits où nous avons mis en exergue l'intérêt de l'analyse générale et détaillée compte tenu des opérations de modernisation qui les cadrent.

Deux pistes sont envisageables pour notre travail :

- i- Une première à vocation de sureté de fonctionnement qui consiste à consolider l'analyse des risques, par les différents méthodes, durant les différentes opération de modernisation des puits pour maitriser les catégories des risques<sup>3</sup> des chaines logistiques (vers l'élaboration d'une cartographie des risques liés aux puits),*
- ii- Une seconde piste, dominée par des aspects de modélisation et simulation, consiste à utiliser les méthodes et logiciels nécessaire à l'étude du comportement des puits afin les sécuriser notamment dans la phase de conception (combattre le risque à la source).*

---

<sup>1</sup> Etude de danger « EDD » fait partie des documents d'exploitation d'une usine relevant de domaine des hydrocarbures.

<sup>2</sup> C'est le Groupe dominant dans le domaine des hydrocarbures en Algérie.

<sup>3</sup> Voir la **figure 5** du Chapitre I.

## Bibliographie

### -B-

**Beugin**, 2006 J. Beugin. Contribution à l'évaluation de la sécurité des systèmes complexes de transport guidé. PhD thesis, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis.

**Bouchon-Meunier**, 1995 B. Bouchon-Meunier. La logique floue et ses applications. Vie artificielle.

**Bernier** S., 2007, Perceptions des risques industriels et nucléaires : enjeux, négociations et construction sociale des seuils d'acceptation des risques. Thèse de doctorat soutenue à l'Université François-Rabelais de Tours-France.

### -C-

**CCPS**, 2001, Layer Of Protection Analysis, simplified process assessment, Center for Chemical Process Safety of the American Institute for Chemical Engineers, New York.

### -D-

**Droit Org**, 2014, Code du travail, Institut français d'information juridique, Version consolidée du code au 22 août 2014. Edition : 24-08-2014, 1788 p.

**Dubois** and H. Prade, 2003, possibility theory and its applications: a retrospective view, Fuzzy Systems, vol 1, 25-28

**Desroches** A. 1995, Concepts et méthodes probabilistes de base de la sécurité. Lavoisier, France.

### -F-

**Farmer**, 1967. Siting criteria: a new approach. Atom, 128 :152–166

### -J-

**Jeantet**, G. 2010. Algorithmes pour la décision séquentielle dans l'incertain

### -I-

**INERIS**, 2004, ARAMIS Développement d'une méthode intégrée d'analyse des risques pour la prévention des accidents majeurs. DRA-04-35132

**INERIS**, 2015, Les enseignements de l'accidentologie liée à l'exploration et l'exploitation des hydrocarbures. L'Institut national de l'environnement industriel et des risques, Rapport d'étude, DRS-15-149641-02735A.

**International coiled tubing association**, 2006. [www.ICToTa.com](http://www.ICToTa.com)

**ISO**, 1999 ISO. Aspects liés à la sécurité : Principes directeurs pour les inclure dans les normes. Organisation internationale de normalisation

**International Organization for Standardization**, 2008. Risk management - Principles and guideline son implementation, Draft International Standard

**INERIS**, 2003. Outils d'analyse des risques générés par une installation industrielle.

**International Organization for Standardization**, 2009. Risk Management - Vocabulary, **IEC 61511 Standard**, 2003. Functional safety-Safety instrumented systems for the process industry sector-, Parts 1-3, First edition

### -G-

**Gourc**, D. 2006. Vers un modèle général du risque pour le pilotage et la conduite des activités de biens et de services, Habilitation à Diriger les Recherches.

**Guiochet**, 2000 J. Guiochet. Maîtrise de la sécurité -des systèmes de la robotique de service.

**Gaonkar**, R. et N. Viswanadharn. 2007. Analytical framework for the management of risk in supply chains, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 4(2), 265-273.231

**Gouriveau**, 2003. Analyse de risques, formalisation des connaissances et structuration des données pour l'intégration des outils d'étude et de décision.

### -K-

**Kirchsteiger** C. 1999. On the use of probabilistic and deterministic methods in risk analysis, Journal of Loss Prevention in the Process Industrials 12.PP 399-419.

### -L-

**Lamy** , Levrat, and J-J.Paques. 2006. Méthodes d'estimation des risques

**Liu**, B. 2002. Theory and practice of uncertain programming.Springer.234

**Léger** A., 2009, Contribution à la formalisation unifiées des connaissances fonctionnelles et organisationnelles d'un système industriel en vue d'une évaluation quantitative des risques et de l'impact des barrières envisagées, Thèse de doctorat spécialité Automatique, Traitement du signal et Génie informatique, Université de Nancy I - France, 224 p.

### -N-

**NORSOK STANDARD**, 1996. System requirements WIRLINE equipment D-SR-008

**Nowamooz** et al., 2014. Etude de puits type représentative des puits fores au Québec au cours des 100 derniers années Univ de laval.

### -O-

**OHSAS18001**, 1999 OHSAS18001. Système de management de la santé et de la sécurité au travail - Spécification -. BSI, Afnor

### -S-

**Souad** et al., 2012. Mémoire master : contribution à l'étude des opérations d'intervention sur les puits pétroliers cas :Snubbing.

**Simon** C. Simon, M. Sallak, and J-F. Aubry. 2007. SIL allocation of SIS by aggregation of experts opinions

### -T-

**TOUAHER** B, 2013, Modélisation et simulation numérique pour la dispersion atmosphériques de polluant. Mémoire de magister soutenu à l'Université de Batna.

**TOTAL**, 2007. Equipement le puits .support de formation cours EXP –PR-EQ10 Révision 0.1

**Tanzi** and Delmer, 2003. Ingénierie du risque. Lavoisier, France

### -V-

**Villemeur** A, 1988. Sureté de fonctionnement des systèmes industriels. Eyrolles

### -Z-

**Ziegenbein**, A. et J. Nienhaus. 2004. Coping with supply chain risks on strategic, tactical and operation al level, in Proceedings of the Global Project and Manufacturing Management Symposium, pp. 165-180

**Résumé**

Le secteur d'hydrocarbure est un domaine stratégique en Algérie. De ce fait, l'exploitant de ce type d'industrie doit optimiser la disponibilité de production afin de s'assurer les objectifs déterminés par les autorités locales. Ainsi, le grand challenge en sens reste de garantir la sécurité des sources de production voir même les installations d'exploitation.

Dans ce contexte, nous nous intéressons par ces sources de production qui sont jugés utile notamment dans les dernières études qui ont signalé une grande importance aux accidents majeurs survenus avec des bilans tragiques sur la santé & sécurité des travailleurs, les biens et sur l'environnement.

Dans ce mémoire, on va contribuer efficacement et méthodologiquement à la prévention des accidents industriels liés aux puits des hydrocarbures, afin de déceler les lacunes existés d'une part, et de proposer des modèles de décision dans la prévention de ces genres d'accident d'une autre part.

**Mots-clés :**

**Sources de production, puits des hydrocarbures, accidents majeurs, modèles de décision.**

**المخلص**

يعد قطاع المحروقات مجالاً استراتيجياً في الجزائر. ونتيجة لذلك، فإن المستثمر في هذا النوع من الصناعة عليه أن يستغل توافر الانتاج أحسن استغلال من اجل ضمان تحقيق الاهداف المسطرة من قبل السلطات المحلية. وهكذا، فإن أكبر تحد بهذا المعنى يتمثل في ضمان أمن مصادر الإنتاج وكذلك مرافق الاستغلال. وفي هذا السياق، نود ان نركز على هاته المصادر التي أولت الدراسات الأخيرة لها أهمية كبيرة خاصة الحوادث الكبرى الناجمة مع نتائج مأساوية على صحة وسلامة العاملين والممتلكات والبيئة. في هذه المذكرة، سوف نسهم بفعالية ومنهجية في الوقاية من الحوادث الصناعية المرتبطة بالمحروقات، من اجل تحديد الثغرات الموجودة من جهة، وان نقترح نماذج من المقرر في الوقاية من حوادث من هذا النوع من جهة أخرى.

**Abstract**

The sector of hydrocarbons a strategic area in Algeria. Of this fact, the operator of this type of industry must optimize the availability of production in order to ensure the objectives determined by the local authorities. As well, the great challenge in meaning remains to ensure the security of the sources of production sees even the operating facilities.

In this context, we are concerned by these sources of production that are deemed useful in particular in the recent studies which have reported a great importance to the major accidents with tragic balance sheets on the health & safety of workers, goods and on the environment.

In this memory, we will contribute effectively and methodologically to the prevention of industrial accidents related to Wells of hydrocarbons, in order to identify the gaps exist on the one hand, and to propose models of decision in the prevention of these types of accident to another part.