

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA

*FACULTE DES HYDROCARBURES ET DE LA CHIMIE*



*DEPARTEMENT  
GENIE DES PROCÉDES CHIMIQUES ET PHARMACEUTIQUE*

*MEMOIRE DE FIN D'ETUDES*

*En vue de l'obtention du diplôme*

*De MASTER*

*Filière : Hydrocarbures*

*Spécialité : Génie des procédés*

*Option :Hygiène, sécurité, environnement*

## **Thème**

**Evaluation des risques majeurs par la méthode nœud papillon, et l'importance de la fiabilité humaine.**

**(Cas zone de stockage des GPL au niveau de la raffinerie d'Alger).**

Promoteur :

Mme H. Bouchemel

par :

Ziane Youcef

année universitaire : 2020/2021

## SOMMAIRE.

<b>Introduction Générale</b> .....	01
<b><u>CHAPITRE 01</u></b> : Présentation de l'activité raffinage et sa fonction Hygiène, Sécurité et Environnement.....	02
<b>PARTIE 01</b> : La place de l'activité raffinage au sein de Sonatrach.....	02
1 Généralité sur les hydrocarbures.....	02
2 Le raffinage pétrolier.....	02
3 La raffinerie d'Alger au sein de la Division Raffinage.....	03
<b>PARTIE 02</b> : L'industrie du raffinage /cas raffinerie d'Alger.....	06
1. Procédés de la raffinerie.....	06
2. Les produits pétroliers.....	08
3. Le stockage.....	10
<b>PARTIE 03</b> : Présentation de la fonction Hygiène Sécurité Environnement.....	22
1. Mission de la direction Hygiène Sécurité Environnement au niveau de Sonatrach....	22
2. Politique HSE au niveau de la Division Raffinage.....	22
3. Organisation de la fonction sécurité dans la raffinerie d'Alger.....	23
<b><u>CHAPITRE 02</u></b> : Risques majeurs. Raffinerie d'Alger / Sphère de stockage des GPL.....	26
<b>PARTIE 01</b> : Raffinage pétrolier et risques majeurs.....	27
1. Différents risques majeurs.....	28
2. Les phénomènes des risques majeurs.....	32
3. Les effets des risques majeurs.....	37
<b>PARTIE 02</b> : Présentation de la zone GPL.....	39
1. Généralité sur les GPL.....	39
2. Le circuit du GPL au niveau de RA1G.....	40
3. Description de la sphère de stockage des GPL (S5).....	42
<b><u>CHAPITRE 03</u></b> : Analyse des risques par la méthode nœud papillon. Application à la sphère des GPL.....	50
<b>PARTIE 01</b> : Analyse des risques par la méthode nœud papillon.....	50
1. Présentation de la méthode.....	50
<b>PARTIE 02</b> : Application de la méthode sur la sphère (S5).....	62
<b>Conclusion Générale</b> .....	102
<b>Annexes</b> .....	103

## **REMERCIEMENTS.**

**Il est toujours difficile de remercier tous ceux qui ont contribué à cette réalisation qui est l'aboutissement du travail de mémoire.**

**Cependant , Je remercie ma famille pour les sacrifices qu'ils ont faits pour terminer mes études. J'exprime ma profonde gratitude à ma promotrice, Mme H. Bouchemel, pour ces conseils, son suivi, et sa présence pendant la période de réalisation de ce travail.**

**J'adresse mes sincères remerciements au chef du département et aux honorables professeurs, ainsi qu'à tous les employés de notre département qui ont tenu à cœur le bon déroulement de notre enseignement.**

**Je remercie également tous mes amis pour leur aide, leur patience, leur compréhension et leurs encouragements.**

**Merci à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.**

## LISTE DES TABLEAUX.

<b>Tableau N° 1 :</b> Stockage des GPL .....	11
<b>Tableau N° 2 :</b> Stockage du pétrole brut .....	12
<b>Tableau N° 3 :</b> Stockage des produits intermédiaires .....	12
<b>Tableau N° 4 :</b> Stockage des produits finis .....	13
<b>Tableau N° 5 :</b> Stockage des produits après réhabilitation .....	14
<b>Tableau N° 6 :</b> Réservoirs à toit flottant, leurs capacités et type de produits stockés.....	18
<b>Tableau N° 7 :</b> Réservoirs à toit fixe, leurs capacités et type de produits stockés.....	20
<b>Tableau N° 8 :</b> Réservoirs et leurs capacités dans le parc de stockage GPL.....	21
<b>Tableau N° 9 :</b> Flux et effet thermique.. .....	37
<b>Tableau N° 10 :</b> Effet de surpression.....	38
<b>Tableau N° 11 :</b> Nomenclature des sections constituant la sphère (S5) .. .....	43
<b>Tableau N° 12 :</b> Evénements redoutés centraux des zones GPL.....	54
<b>Tableau N° 13 :</b> Phénomène dangereux selon l'emplacement géographique. ....	60
<b>Tableau N° 14 :</b> Principales sources d'ignition.....	61
<b>Tableau N° 15 :</b> Niveau de gravité.....	63
<b>Tableau N° 16 :</b> Critères d'évaluation des niveaux de probabilités .....	64
<b>Tableau N° 17 :</b> Cotation de la fréquence .. .....	65
<b>Tableau N° 18 :</b> Estimation de probabilité de défaillance d'équipements classiques... ..	66
<b>Tableau N° 19 :</b> Estimation des probabilités des événements indésirables. ....	67
<b>Tableau N° 20 :</b> Estimation des probabilités d'erreurs humaines.....	67
<b>Tableau N° 21 :</b> Barrières techniques existantes .....	68
<b>Tableau N° 22 :</b> Barrières organisationnelles existantes .....	68
<b>Tableau N° 23 :</b> Barrières humaines existantes .....	68
<b>Tableau N° 24 :</b> Barrières à renforcer .....	69
<b>Tableau N° 25 :</b> Niveau de confiance des barrières techniques .....	70
<b>Tableau N° 26 :</b> Niveau de confiance des barrières organisationnelles .....	70
<b>Tableau N° 27 :</b> Niveau de confiance des barrières humaines .....	70
<b>Tableau N° 28 :</b> Indice de probabilité de l'évènement redouté central.....	71
<b>Tableau N° 29 :</b> Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'évènement redouté central « fuite des GPL ».....	83
<b>Tableau N° 30 :</b> Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'évènement redouté central « fuite des GPL ».....	84
<b>Tableau N° 31 :</b> Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'évènement redouté central « fuite des GPL » (suite) .....	85
<b>Tableau N° 32 :</b> Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'évènement redouté central « fuite des GPL » (suite) .....	86
<b>Tableau N° 33 :</b> Cause de défaillance des matériels suivant la période de vie.....	87
<b>Tableau N° 34 :</b> Estimation de probabilité de défaillance des barrières.....	91
<b>Tableau N° 35 :</b> Lien entre phénomènes dangereux et événements majeurs.....	91
<b>Tableau N° 36 :</b> Barrières techniques.....	92
<b>Tableau N° 37 :</b> Barrières organisationnelles.....	92
<b>Tableau N° 38 :</b> Barrières humaines.....	92
<b>Tableau N° 39 :</b> Evènements apparents lors de défaillance des barrières de sécurité.....	93
<b>Tableau N° 40 :</b> Probabilités d'occurrences des accidents.....	97
<b>Tableau N° 41 :</b> Estimation grossière des classes de gravité par phénomène dangereux.....	98
<b>Tableau N° 42 :</b> Estimation de gravité des phénomènes dangereux.....	99

.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure N°1</b> : L'industrie pétrolière .....	02
<b>Figure N°2</b> : Organigramme de la Raffinerie d'Alger/Activite aval/Division raffinage.....	05
<b>Figure N°3</b> : Schéma de fabrication des produits commerciaux .....	09
<b>Figure N°4</b> : zone stockage des GPL .....	11
<b>Figure N°5</b> : zone de stockage des liquides inflammables .....	11
<b>Figure N°6</b> : Bac - B6 – de stockage à toit flottant .....	17
<b>Figure N°7</b> : Toit du Bac –B6- de stockage à toit flottant .....	17
<b>Figure N°8</b> : Toit du bac de stockage à toit fixe .....	19
<b>Figure N°9</b> : Schéma organisationnel du département HSE .....	25
<b>Figure N°10</b> : Le risque.....	26
<b>Figure N°11</b> : Exagone de l'explosion... ..	27
<b>Figure N°12</b> : Les deux formes de l'explosion .....	28
<b>Figure N°13</b> : Limite d'explosivité .....	29
<b>Figure N°14</b> : Triangle de feu.....	30
<b>Figure N°15</b> : Phénomène UVCE .....	32
<b>Figure N°16</b> : Phénomène du Boil Over .....	33
<b>Figure N°17</b> : Phénomène du BLEVE.....	35
<b>Figure N°18</b> : Différentes étapes de l'explosion .....	36
<b>Figure N°19</b> : Vue de haut de RA1G zone de stockage des GPL .....	40
<b>Figure N°20</b> : Circuit des GPL .. ..	41
<b>Figure N°21</b> : Zone de stockage des GPL.....	41
<b>Figure N°22</b> : Schéma présentant les sections de la sphère (S5) .....	43
<b>Figure N°23</b> : Equipements de la sphère (S5) partie inferieure.....	44
<b>Figure N°24</b> : Equipements de la sphère (S5) partie supérieure .....	44
<b>Figure N°25</b> : Equipements de la sphère (S5) vue de face .....	44
<b>Figure N°26</b> : Schéma descriptif des équipements de la sphère (S5) .....	45
<b>Figure N°27</b> : Dispositifs de refroidissement de la sphère (S5) des GPL.....	47
<b>Figure N°28</b> : L'emplacement des détecteurs de gaz.....	49
<b>Figure N°29</b> : Détecteur de gaz.. ..	49
<b>Figure N°30</b> : Schématisation des séquences accidentelles.. ..	53
<b>Figure N°31</b> : Arbre nœud papillon .....	55
<b>Figure N°32</b> : Schéma conceptuel d'un nœud papillon .....	58
<b>Figure N°33</b> : Sources d'ignition.....	62
<b>Figure N°34</b> : Estimation du niveau de confiance .. ..	70
<b>Figure N°35</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture de la ligne de remplissage (EIn).....	73
<b>Figure N°36</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une fuite dans la ligne de vidange (EIn).....	74
<b>Figure N°37</b> : Scénario d'apparition d'une fuite de GPL (ERC), engendré par une fuite de trou d'homme (EIn).....	75
<b>Figure N°38</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par le dysfonctionnement de la soupape (EIn).....	76
<b>Figure N°39</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture d'instrumentation (EIn).....	77

---

<b>Figure N°40</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une fuite de la bride (EIn).....	78
<b>Figure N°41</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture de la ligne de la purge basse (EIn).....	79
<b>Figure N°42</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture de l'enveloppe de la sphère (EIn).....	80
<b>Figure N°43</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture par augmentation de pression dans le circuit (EIn).....	81
<b>Figure N°44</b> : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une fuite dans la ligne de prise d'échantillon (EIn).....	82
<b>Figure N°45</b> : Porte logique « ET » .....	88
<b>Figure N°46</b> : Porte logique « OU » .....	88
<b>Figure N°47</b> : Arbre de défaillance : fuite des GPL .....	89
<b>Figure N°48</b> : Arbre d'évènement d'une fuite des GPL (ERC).....	94
<b>Figure N°49</b> : Calcul des arbres d'évènements .....	95
<b>Figure N°50</b> : Calcul par arbre d'évènement : fuite des GPL .....	96
<b>Figure N°51</b> : Répartition des fréquences d'accidents .....	97
<b>Figure N°52</b> : Matrice de criticité des phénomènes dangereux .....	98

## **ACRONYMES.**

**EI** : Événement **I**nitiateur.

**Ei** : Événement **i**ntermédiaire.

**EM** : Événement **M**ajeur.

**ERC** : Événement **R**edouté **C**entral.

**ERS** : Événement **R**edouté **S**econdaire.

**IFP** : Institut **F**rançais du **P**étrole.

**INERIS** : Institut National de l'**E**nvironnement Industriel et des **R**isques.

**NC** : Niveau de **C**onfiance.

**PhD** : **P**hénomène **D**angereux.

**TC** : **T**empérature **C**ritique.

**TLS** : **T**empérature **L**imite de **S**urchauffe.

**UFIP** : Union **F**rançaise des **I**ndustries **P**étrolières.

## **INTRODUCTION GENERALE.**

Le risque industriel est un problème d'origine anthropique (résultat de l'action humaine) dont la maîtrise totale et définitive reste à rechercher. En effet, les effets des risques résultants de la modernisation et du progrès industriel ne se limitent pas à leurs seuls sites d'implantation mais touchent et menacent les lieux environnants.

La politique de prévention des risques majeurs adoptée suite aux différentes catastrophes survenues, n'a pas eu de résultats escomptés, puisque l'urbanisation continue son étalement vers les installations industrielles. La proximité de l'habitat avec l'industrie génère des dangers qui sont dans la majorité des cas ignorés par la plupart des habitants.

L'implantation de la raffinerie d'Alger dans un tissu à urbanisation rapide et anarchique, est un exemple concret du risque industriel majeur.

Du fait du caractère très inflammable des GPL, leur stockage génère des risques qui, dans le cas de ce type d'industrie (selon la nature et la quantité des produits stockés) peuvent avoir des conséquences très néfastes en cas d'incendie et surtout d'explosion. Ces accidents ont tous une cinétique rapide, c'est à dire qu'ils surviennent et se développent instantanément et ciblent l'Homme, l'Installation et l'Environnement : on parle alors de Risques Majeurs.

Pour cette raison et afin d'obtenir une meilleure gestion des risques, et maîtrise complète des accidents majeurs, l'Etat impose à l'exploitant dès la mise en place d'un système de maîtrise et de gestion des risques et d'une organisation proportionnée aux risques inhérents aux installations. Cette obligation repose sur deux principes fondamentaux : La surveillance des installations dangereuses tant par l'exploitant que par l'autorité publique locale. En ce qui concerne le principe de prévention ainsi que la mise en œuvre des mesures d'urgences en cas d'accidents.

Dans ce cadre, j'ai procédé à une analyse de la sphère (S5). Ceci afin d'évaluer qualitativement et quantitativement les différentes causes possibles des événements indésirables. A la suite de quoi j'ai élaboré des scénarios d'accidents en terme de probabilité d'occurrence et de gravité des conséquences, et enfin la sécurité de cette sphère vis-à-vis de ces scénarios d'accidents.

## **Partie 01 : La place de l'activité raffinage au sein de Sonatrach.**

### **1. Généralité sur les hydrocarbures**

Les sources d'énergie conventionnelles ou commerciales les plus utilisées aujourd'hui dans le monde, sont le charbon, le pétrole brut, le gaz naturel et l'énergie nucléaire.

Les hydrocarbures présentent une grande importance commerciale, ils sont utilisés comme : carburant, combustible, huile, lubrifiant et comme produits de base en synthèse pétrochimique.

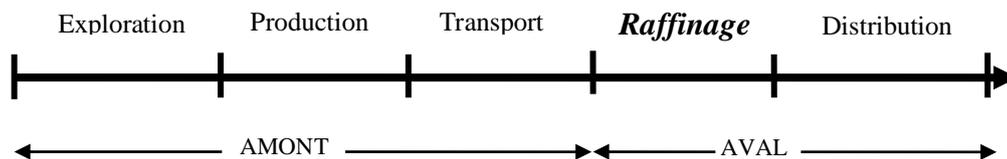
Par définition, les hydrocarbures sont, comme l'indique leur nom, des composés binaires de carbone et d'hydrogène. La composition selon laquelle ces deux matières peuvent s'unir, est très variable. Elle varie en fonction des dosages de carbone et d'hydrogène. Les hydrocarbures peuvent être gazeux, liquides, ou solides, suivant leurs températures et la grosseur de leurs molécules.

Le pétrole brut et le gaz naturel, demeurent néanmoins la source d'énergie la plus utilisée, ils ont couvert en 2007 jusqu'à 60% de la consommation mondiale d'énergies.

Le terme pétrole, du latin *petra oleum*, signifie huile de roche. Formé de carbone et d'hydrogène, il s'est formé au cours des grands bouleversements géologiques, il y a plus de 500 millions d'années. La profondeur moyenne de ces gisements en Algérie avoisine les 3 000 mètres.

### **2. Le raffinage pétrolier**

Pour illustrer les principales activités nécessaires à la mise à disposition de nombreux produits pétroliers sur le marché, les différentes techniques de la filière pétrolière sont présentées de la manière suivante :



**Figure N°1 :L'industrie pétrolière.**

L'activité Aval est l'un des métiers de base de l'entreprise, elle s'articule au tour des activités principales suivantes :

- La liquéfaction du gaz naturel.
- La séparation des GPL.
- Le raffinage du pétrole brut et du condensat présentation de l'activité raffinage.
- La pétrochimie.
- La valorisation des gaz industriels.

Sonatrach dispose à travers l'activité Aval de :

- Quatre (04) complexes de GNL, trois (03) à Arzew et un (01) à Skikda, d'une capacité totale de production de 44 milliards m<sup>3</sup> de GNL/an.
- Deux (02) complexes de GPL à Arzew, deux (02) complexes de GPL à Arzew, d'une capacité totale de production de 9 millions de Tonnes / an.
- Deux (02) complexes pétrochimiques, l'un à Arzew et le second à Skikda.
- Une (01) unité de PEHD (polyéthylène haute densité) appartenant à la filiale ENIP.
- Deux (02) unités d'extraction d'hélium : une à Arzew et l'autre à Skikda.

A son tour l'activité raffinage possède cinq (05) raffineries :

- ✓ Une (01) à Alger avec une capacité de traitement de pétrole brut de 2,7 millions de tonnes par an.
- ✓ Une (01) à Skikda avec une capacité de traitement de pétrole brut de 7,5 millions de tonnes par an.
- ✓ Une (01) à Arzew avec une capacité de traitement de pétrole brut de 2,5 millions de tonnes par an.
- ✓ Une (01) à Hassi Messaoud avec une capacité de traitement de pétrole brut de 1,1 million de tonnes par an.
- ✓ Une (01) à Adrar en partenariat avec une capacité de traitement de pétrole brut de 600 000 tonnes par an.

### **3. La raffinerie d'Alger au sein de la Division Raffinage**

En Algérie, l'industrie de raffinage est née avec la découverte et la production du pétrole brut de Hassi Messaoud. La première unité fut construite sur les lieux même de la découverte (1<sup>er</sup> raffinerie à Hassi Messaoud en 1962).

Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à construire une 2<sup>ème</sup> raffinerie, celle d'Alger.

Ce renforcement de développement d'activités se poursuivra par la construction d'une raffinerie en 1973, à Arzew, une à In Amenas en 1980 et l'autre à Skikda, en 1982.

A l'origine, le raffinage était une activité assurée par la division commercialisation des hydrocarbures de Sonatrach. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers sont à la charge de l'Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP). En 1988, le raffinage, est à son tour, séparé de l'activité distribution, et érigé en Entreprise nationale de raffinage de pétrole (NAFTEC). Puis en avril 1998, l'Entreprise

devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le Holding raffinage et chimie du Groupe Sonatrach, dénommée Société nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Spa.

En 2007, L'activité raffinage a été reprise en charge par l'entreprise mère, d'où l'intégration de l'ex-entreprise national NAFTEC dans l'activité Aval, sous forme d'une division « Division Raffinage ».

La raffinerie d'Alger, ou s'est effectué notre application, est située dans la zone industrielle Sidi-Arcine – Baraki à l'Est d'Alger, sur une superficie de 182 hectares. Les études techniques relatives à sa construction ont été effectuées par :

- La société Foster Wheeler France (FWF) pour les unités de production, en association avec UOP pour la section reforming.
- La compagnie française d'études et de construction TECHNIP, pour les installations générales.
- La société CEGELERG pour les installations de production d'énergie.

Elle a été mise en service en février 1964 :

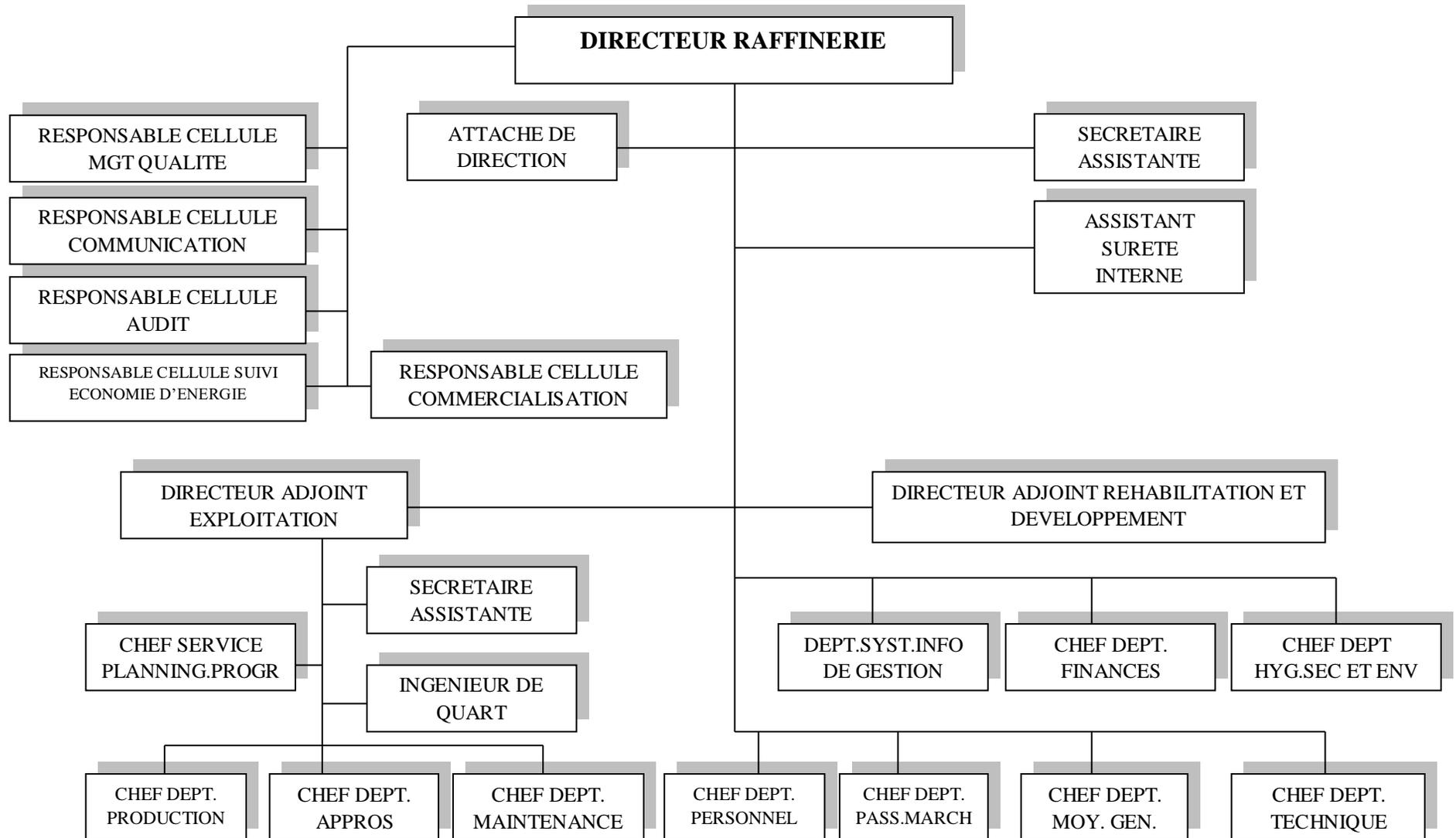
- Démarrage en février de l'Unité Topping d'une capacité de deux millions vingt cinq mille tonnes (2 025 000), soit 75% de la capacité nominale. L'approvisionnement en pétrole brut se faisait par bateaux à partir du port pétrolier d'Alger.
- Démarrage en mars de l'Unité reforming.

Depuis sa construction jusqu'en 1971, la raffinerie d'Alger était alimentée par le port pétrolier de Bejaia via le port pétrolier d'Alger, et puis par pipe de diamètre 26" jusqu'au parc de stockage dont la capacité a été élargie suite à une extension du parc de stockage (un bac de brut, divers bacs de produits finis et semi-finis et une sphère de butane). En 2005, un pipe s'ajoute. Donc, elle est approvisionnée en pétrole brut de Hassi- Messaoud qui est caractérisé par une faible teneur en soufre et une grande richesse en hydrocarbures légers.

En 1972, une extension a été réalisée pour atteindre 2,7 millions de tonnes de traitement et satisfaire la demande du marché par:

- L'extension du parc de stockage : un bac de brut de 35 000 m<sup>3</sup>, divers bacs de produits finis et semi-finis d'une capacité de 55 000 m<sup>3</sup>, une sphère de butane de 3 000 m<sup>3</sup>.
- l'augmentation de la capacité de réfrigération de certains équipements.

Avec un effectif de 800 personnes, aujourd'hui elle est organisée comme suit :



**Figure N°2 :** Organigramme de la raffinerie d'Alger Division Raffinage / Activité Aval / Sonatrach.

## **Partie 02 : L'industrie du Raffinage / Cas Raffinerie d'Alger.**

### **1. Procédés de la raffinerie**

Les moyens mis en œuvre lors du traitement des produits pétroliers sont de deux types :

- Les procédés de séparation,
- Les procédés de transformation.

Au niveau de la raffinerie d'Alger, plusieurs installations sont mises en place pour traiter une tonne de produits pétroliers à savoir :

- Unité de distillation atmosphérique.
- Unité Gaz plant pour la séparation et traitement des GPL.
- Une unité de reforming catalytique de 2500 m<sup>3</sup>/j.
- Unité de mélange (éthylation) pour la fabrication des essences (Normal et Super).
- Une unité de pomperie pour les expéditions de produits par pipes aux dépôts El-Harrach, du Port pétrolier, de l'Aéroport d'Alger au dépôt Chiffa (Blida).
- D'un port pétrolier équipé de trois postes de chargement et déchargement ainsi qu'une station de déballastage et d'écumage d'hydrocarbures.
- Une centrale thermoélectrique constituée d'un groupe turboalternateur.
- Deux chaudières vapeur de 47 T/h chacune.
- Deux stations de traitement des eaux.
- D'un laboratoire de contrôle de la qualité des produits.
- D'un poste de commandement d'intervention (PCI) en 24/24h.
- Plusieurs ateliers de maintenance et de magasins.
- D'une rampe de chargement GPL alimentant les régions du centre du pays.
- Un parc de stockage pour le pétrole brut et pour les produits finis et semi-finis.

Ces installations sont réparties en trois familles :

#### **1.1. Procédés de transformation et de séparation**

- Unité de distillation atmosphérique (U100).
- Unité reforming (U200).
- Unité gas- plant (U300).

#### **1.2. Les utilités**

- Vapeur : produite par deux chaudières de 47t/h à une pression de 35bars et 410°C.
- Electricité : l'énergie électrique est fournie par un groupe turboalternateur de puissance 6MW. La raffinerie est également raccordée au réseau SONELGAZ.
- Air comprimé : sa production (air service et air instrument) est assurée par un électro-compresseur en service normal et un turbocompresseur en secours ; la capacité de production est de 1800 m<sup>3</sup>/h chacun à une pression de 8 bars.

- Gaz combustible : la raffinerie utilise essentiellement du combustible gazeux obtenu à partir des sources suivantes :
  - Production de ses unités (fuel-gas),
  - Gaz naturel de Hassi R'mel.
- Eau : la raffinerie est alimentée en eau par ses propres forages. Cette eau est destinée pour les utilisations suivantes :
  - Eau de refroidissement après conditionnement,
  - Eau d'alimentation des chaudières après un traitement au préalable.

### **1.3. Off-sites**

- Un parc de stockage de 32 bacs de différents types, d'une capacité globale de 292 100 m<sup>3</sup> dont 105 000 m<sup>3</sup> pour le pétrole brut et de (05) sphères de 7 500 m<sup>3</sup> pour le stockage du GPL.
- Un laboratoire de contrôle de qualité où sont effectuées sur les différents produits intermédiaires ou finis, un certain nombre de tests qui ont pour but de vérifier que le réglage des unités de production est correct et de s'assurer que la qualité des produits finis correspond aux normes. L'appareillage et le mode opératoire sont normalisés.
- Une station de mélange et éthylation pour la fabrication des carburants automobiles.
- Une pomperie expédition pour l'acheminement des produits finis vers les différents dépôts de Naftal, et vers le port pétrolier à travers une nappe de pipes.
- Une rampe de chargements camions GPL.
- Un port pétrolier équipé de 03 postes de chargement et déchargement, ainsi qu'une station de déballastage et d'écémage d'hydrocarbures.

## **2. Les produits pétroliers**

La raffinerie d'Alger traite un pétrole brut spécifique aux procédés adoptés, Ces quantités de pétrole sont caractérisées par la teneur en soufre.

Les produits pétroliers obtenus de la raffinerie sont classés généralement en trois groupes selon l'état de traitement :

- Les produits finis livrés directement à la consommation : Gaz liquéfié, essence, gas-oil.
- Les produits semi-finis : qui servent de base à des mélanges ultérieurs pour parfaire leurs qualités. Bases lubrifiants pour fabrication d'huiles.
- Des sous produits qui servent de base ou de matière à l'industrie pétrochimique résidus, gaz non sature.

Les principaux produits pétroliers obtenus, à usage énergétique, sont :

- Les Gaz de Pétrole Liquéfiés « GPL»,
- Le kérosène,
- Solvant léger et lourd
- Les essences,
- Résidu atmosphérique
- Gas-oil,
- Distillat

Ces produits répondent aux spécifications de la norme algérienne en vigueur, cette norme enregistre un écart par rapports aux normes internationales sur le plan environnemental.

Les produits finis sont soumis à des spécifications de plus en plus contraignantes, notamment les carburants. L'écart pour les essences se situe au niveau des teneurs en plomb, aromatiques et benzène, et au niveau du soufre pour le diesel.

En synthèse, la figure 1.2.1 présente le schéma des différents procédés de la raffinerie d'Alger et les produits commerciaux issus de l'industrie :



### 3. Le stockage

De la raffinerie au consommateur, les hydrocarbures sont distribués grâce à divers modes de transport. En attendant leur livraison, ils sont stockés dans des dépôts soumis à des règles de gestion précises. Ces règles garantissent des conditions de sécurité strictes et visent à la protection des sols, de l'eau et de l'air ambiant.

Les produits pétroliers sont des produits dangereux, auxquels sont associés des **risques d'incendie ou d'explosion**. La sécurité des dépôts et de la chaîne de distribution est donc cruciale, une réglementation très stricte s'applique aux raffineries et aux dépôts de stockage.

- Par conséquent, les dépôts de stockage sont sécurisés par un grand nombre de dispositifs : des **souppes de sécurité** sont installées sur chaque réservoir et on place à l'intérieur des cuves des **écrans flottants**, sortes de couvercles protégeant les produits volatils pour limiter leur dispersion dans l'atmosphère ;
- des **alarmes**, des **détecteurs d'hydrocarbures** et des **vannes de fermeture automatique**, équipent les cuves et les canalisations pour détecter et stopper toute fuite ;
- des **systèmes anti-incendie fixes** (couronnes d'arrosage, rideaux d'eau) et **mobiles** (canons à eau et à mousse) sont installés dans les dépôts pour éteindre un éventuel incendie.

En outre, des **exercices anti-incendie** ont lieu chaque mois et des manœuvres de simulation avec les pompiers ont lieu chaque année.

Tous ces équipements de sécurité sont mis en place, au service des deux parcs de stockages de la raffinerie.

La raffinerie d'Alger possède deux parcs de stockages distincts :

- Une zone de stockage GPL issus des unités de fabrication
- Une zone de stockage de tous les autres produits liquides, du brut aux produits finis

#### 3.1. Stockage des GPL

Le parc est constitué de sphères et ballons de butane et propane, provenant de l'unité gas plant (U300) avant l'expédition par pipe ou camion. D'une capacité de 8 217 m<sup>3</sup> répartie en cinq (5) sphères (S1, S2, S3, S4, S5) et deux ballons ou cigares (H3, H4), le système de téléjaugeage fait circuler les GPL au niveau des sphères à partir de la salle de contrôle indiquant le niveau et la température interne.



**Figure N°4 : Zone de stockage des GPL.**

**Tableau N°1 : Stockage des GPL .[1]**

<b>Produits</b>	<b>Réservoirs</b>
Butane	S1, S2, S5, H3
Propane	S3, S4, H4

### **3.2. Stockage des liquides inflammables**

Le parc est constitué des bacs de stockages des liquides inflammables à divers états de produit :

- Pétrole brut alimenté de H.M ou Beni Mansour par pipe.
- Produits inflammables issus des unités de fabrication tels que (solvant, essence SR, plat formats et naphta).
- Les produits finis destinés à l'expédition (essence normale et super, gasoil, kérosène, fuel).
- Les slops, constitués des résidus indésirables qui ne répondent pas aux spécifications.



**Figure N°5 : Zone de stockage des liquides inflammables.**

**3.2.1. Réception et stockage du pétrole brut :**

Le pétrole brut ou le mélange de brut de Hassi Messaoud et condensats de Hassi R'mel est reçu à partir de l'oléoduc de Beni Mansour (OBM) dans les trois réservoirs de stockage (A301, A302 et A303).

Le débit de réception du pétrole brut est en fonction de la pression de refoulement des pompes.

Le mouvement de ces trois bacs se fait de la manière suivante :

- 1<sup>er</sup> bac en réception,
- 2<sup>eme</sup> bac en décantation,
- 3<sup>eme</sup> bac vers l'unité de distillation atmosphérique.

Le pétrole brut est stocké dans trois réservoirs à toits flottants de 35.000 m<sup>3</sup> chacun.

**Tableau N°2 : Stockage du pétrole brut .[1]**

<b>Produits</b>	<b>Réservoirs</b>
Pétrole brut	A301, A302, A303.

**3.2.2. Stockage des produits finis et intermédiaires :**

Le nombre et la capacité des réservoirs ont été déterminés en fonction de la production et des enlèvements.

❖ **Stockage des produits intermédiaires :**

❖ **Tableau N°3 : Stockage des produits intermédiaires.**

<b>Produits</b>	<b>Réservoirs</b>
Essence S.R	C3. B4. B10.
Solvant léger	A102.
Solvant lourd	A104.
Solvant total	A103.
Platformat	C2. C8.
Slops	D2. D1.
Huiles récupérées	D3.

**N.B** : Les bacs D1, D2 et D3 sont munis d'un circuit de réchauffage à la vapeur.

❖ **Stockage des produits finis :**

❖ **Tableau N°4 : Stockage des produits finis .[1]**

<b>Produits</b>	<b>Réservoirs</b>
Carburant auto (CA 90) & (SP 96)	C1. B2. A101. A105. A106. A107.
Jet A1	C6. C7. B6. B1.
Gas oil moteur	A201. A202. B7.
Fuel BTS	C4. C5.
Fuel BTS	B3. B8. B9.
Naphta	A305.

**N.B :** Les bacs B3, B9, C4 & C5 sont munis d'un circuit de réchauffage à la vapeur.

Les 33 réservoirs énumérés jusqu'ici (brut, produits intermédiaires et finis), représentent une capacité globale de 322 100 m<sup>3</sup>.

**Autres stockages :**

En supplément des réservoirs de stockage décrits ci-dessus sont installés :

- 2 bacs d'eau incendie de 5 000 m<sup>3</sup> chacun,
- d'autres réservoirs de petites capacités comprenant des bacs d'eau déminéralisée, de gas-oil et de fuel-oil, des bacs d'eau à usage domestique (300 m<sup>3</sup>).

**Zone de stockage après réhabilitation**

Le projet de réhabilitation prévoyant la construction de plusieurs unités supplémentaires, et la modification des unités existantes aura un impact sur la zone de stockage de la raffinerie. De nouveaux bacs de stockages seront installés, afin de recevoir les produits issus des nouvelles unités, et certains bacs existants subiront des modifications et stockeront des produits différents de ceux stockés à ce jour.

Le plan de développement de ces réservoirs est présenté dans le tableau 1.2.5 [2]:

**Tableau N°5 : Stockage après réhabilitation.**

<b>Désignation</b>	<b>Type de réservoir</b>	<b>Capacité m<sup>3</sup></b>	<b>Produit stocké</b>
S6	Sphère	2 500	Butane
S7	Sphère	2 500	Butane
S8	Sphère	1 000	Propane
S9	Sphère	1 000	Propane
H5	Ballon horizontal	-	Hydrogène
-	Ballon horizontal	300	GPL hors spécifications
A401	Bac à toit flottant	40 000	Pétrole brut
A108	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	10 000	Naphta hydrotraité
A109	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	10 000	Naphta hydrotraité
C9	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	2 500	Isomerat
C10	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	2 500	Isomerat
A205	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	25 000	Charge Unité RFCC
A206	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	25000	Charge Unité RFCC
A207	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	20 000	MTBE
A208	Bac à toit fixe Inertage à l'azote	20 000	MTBE
A111	Bac à toit flottant	10 000	Essence (Premium)
A112	Bac à toit flottant	10 000	Essence (Premium)
A113	Bac à toit flottant	10 000	Essence (Premium)
B5	Bac à toit fixe avec écran flottant	5 000	Jet A1
A203	Bac à toit flottant	20 000	Gasoil
A204	Bac à toit flottant	20 000	Gasoil
B11	Bac à toit fixe	5 000	Fuel interne à la raffinerie
B12	Bac à toit fixe	5 000	Fuel interne à la raffinerie

### **Classification des hydrocarbures et leur type de réservoirs**

Les produits inflammables seront entreposés dans différents types de réservoirs, ils sont classés en fonction de leur point d'éclair.

Ce classement des liquides inflammables est régi par la loi du 19 juillet 1976 et le décret du 21 septembre 1977 comme suit :

- **Catégorie A**, liquides dont le point éclair est inférieur à 0°C.
- **Catégorie B**, liquides  $0^{\circ}\text{C} < \text{PE} < 55^{\circ}\text{C}$ .
- **Catégorie C**, liquides  $55^{\circ}\text{C} < \text{PE} < 100^{\circ}\text{C}$ .
- **Catégorie D**, liquides dont le point éclair est  $> 100^{\circ}\text{C}$ .

Donc :

- Les hydrocarbures liquéfiés seront stockés dans des bacs spéciaux ou dans des sphères (catégorie A)
- Les hydrocarbures liquides (catégorie B), dont le point éclair est inférieur à 55°C, dans des réservoirs à toit flottant.
- Les hydrocarbures liquides (catégorie C), dont le point éclair est compris entre 55 et 100°C, dans des réservoirs à toit fixe.
- Les hydrocarbures liquides (catégorie D), dont le point éclair est supérieur à 100°C, seront stockés dans des réservoirs à toit fixe munis d'un réchauffage.

### **Types de Stockage au niveau de RA1G**

#### **1. Les bacs de stockage**

Les produits inflammables de catégorie B, C et D sont stockés dans des réservoirs aériens qui représentent la très grande majorité du parc de réservoirs de grande capacité, ils sont le plus souvent métalliques (leurs fonds, leurs robes et leurs toits sont en acier) et verticaux (leur axe de symétrie est vertical).

Le dimensionnement de chaque cuvette de rétention doit être conforme à la règle suivante :

- ✓ Pour les catégories B et C :
  - 100 % de la capacité maximale d'exploitation du plus gros réservoir.
  - 50 % de la capacité maximale d'exploitation des réservoirs contenus.
- ✓ Pour la catégorie D :
  - 20 % de la capacité maximale d'exploitation des réservoirs contenus.

#### **a. Les réservoirs à toit flottant :**

Ce sont toujours des réservoirs aériens de grande taille, avec une capacité qui atteint les 35000 m<sup>3</sup>. Leur particularité réside dans le fait que ce type de réservoir est constitué de deux éléments indépendants, d'une part la robe et le fond du réservoir qui sont soudés l'un à

l'autre, et d'autre part, le toit qui flotte sur la surface libre du produit, l'étanchéité entre le toit et la robe étant assurée par un joint. Dans ce cas, le toit du réservoir monte et descend à l'intérieur de la robe en suivant les variations de volume du produit.

Les réservoirs de ce type ont pour inconvénient d'être déformables mais présente l'avantage de réduire les pertes par évaporation et annule les risques de surpression ou dépression.

- **Accessoires du bac à toit flottant :**

Les produits stockés dans les bacs à toit flottant sont de catégories B tels que : le pétrole brut, essence SR, plat format, super carburant SP96 et carburant auto CA89, le Jet A1, gasoil et naphta.

Ces réservoirs sont munis des accessoires suivants (Figure 1.2.3, Figure1.2.4) :

- ✚ (1) La robe,
- ✚ (2) Le toit flottant,
- ✚ (3) Joint : assure l'étanchéité entre la robe et le toit,
- ✚ (4) Porte de visite boulonnée et/ou un trou d'homme afin d'accéder à l'intérieur du bac,
- ✚ Mise à la terre,
- ✚ Purge d'eau/purge basse,
- ✚ Purge de toit permet l'évacuation des eaux pluviales du toit,
- ✚ Indicateur de niveau ou télé jaugeur avec lecture au sommet du bac et transmission à la salle de contrôle,
- ✚ Indicateur de température avec lecture au micro-ordinateur de la salle de contrôle,
- ✚ Le bac est équipé de deux échelles :
  - (5) Une hélicoïdale soude à l'extérieur de la robe permet l'accès au toit,
  - (6) L'autre raillée permet l'accès sur le toit,
- ✚ (7) Les béquilles sont des supports de toit dimensionnés pour retenir le toit en plus d'une charge accidentelle, ils permettent le positionnement à son niveau bas,
- ✚ (8) Caissons : permettent de déterminer les fuites au niveau du toit inférieur,
- ✚ Les événements : leur rôle est d'évacuer les vapeurs intérieures,
- ✚ (9) Prises d'échantillons,
- ✚ Regard d'évacuation : l'évacuation des eaux de purge et de drainage,
- ✚ (10) Cuvette de rétention : doit contenir 50% du volume des bacs ou bien 100% du plus grand bac,
- ✚ (11) Un dispositif d'arrosage : couronne de refroidissement, déversoirs de mousse haut et bas,
- ✚ (12) Piège à mousse,
- ✚ (13) Hélico-agitateurs ou malaxeurs,
- ✚ Les vannes :
  - (14) Vanne d'aspiration : sortie du produit,
  - (15) Vanne de refoulement : entrée du produit,
  - (16) Vanne de purge basse : décantation des eaux,
  - Vanne de purge de toit,
- ✚ (17) Couronne de refroidissement.



Figure N°6 : Bac -B6- de stockage à toit flottant.



Figure N°7 : Le toit d'un bac -B6- à toit flottant.

Les réservoirs à toit flottant existants dans la raffinerie d'Alger :

**Tableau N°6 : Réservoirs à toit flottant, leurs capacités, et types des produits stockés**

<b>Réservoirs à toit flottants</b>			
<b>Items</b>	<b>Désignation</b>	<b>Services</b>	<b>Capacité (m<sup>3</sup>)</b>
1	A301	Stockage de brut	35 000
2	A302		35 000
3	A303		35 000
4	B10	Stockage essence SR stabilisée	5 000
5	B4		5 000
6	C3		2 900
7	C2	Stockage de platformat	2 500
8	C8		2 500
9	A101	Stockage de supercarburant SP96 et carburant auto CA89	10 000
10	A105		10 000
11	A106		12 500
12	A107		10 000
13	C1		2 900
14	B2		5 000
15	B1	Stockage de Jet A1	5 000
16	B6		5 000
17	C6		2 500
18	C7		2 500
19	B7	Stockage de gasoil	5 000
20	A201		20 000
21	A202		20 000
22	A305	Stockage du naphta	35 000

**b. Les réservoirs à toit fixe (sans écran interne) :**

Ce sont des réservoirs aériens constitués d'un seul ensemble soudé, comprenant le fond, la robe et le toit. Les capacités de ce type de réservoirs atteint une dizaine de milliers de mètres cube. Les produits stockés dans les bacs à toit fixe sont des produits de catégorie C et D tels que les solvants, les huiles récupérées (slops) et les fuels BTS.

La zone entre le toit et la surface du liquide forme un volume où peut s'accumuler de l'air carburé. Cette situation entraîne des pertes par évaporation, très sensibles aux produits dont la tension de vapeurs est élevée.

- **Accessoires du bac à toit fixe :**

Les produits stockés dans les bacs à toit fixe sont : slops, solvant, huiles récupérées et les BTS. Ces réservoirs sont munis des accessoires suivants :

1. Mise à la terre,
2. Trou d'homme,
3. Purge d'eau,
4. Indicateur et transmetteur de niveau et de température,
5. Réchauffeur alimente en vapeur pour certain réservoirs,
6. Un manomètre,
7. Une seule échelle,
8. Hélico-agitateurs ou malaxeurs,
9. Caissons : permettent de déterminer les fuites au niveau de toit inferieur,
10. Les événements : leurs rôle est d'évacuer les vapeurs intérieurs,
11. Prise d'échantillon,
12. Regard d'évacuation,
13. Cuvette de rétention,
14. Un dispositif d'arrosage,
15. Les vannes :
  - Vanne d'aspiration : sortie du produit,
  - Vanne de refoulement : entrée du produit,
  - Vanne de purge basse : décantation des eaux.

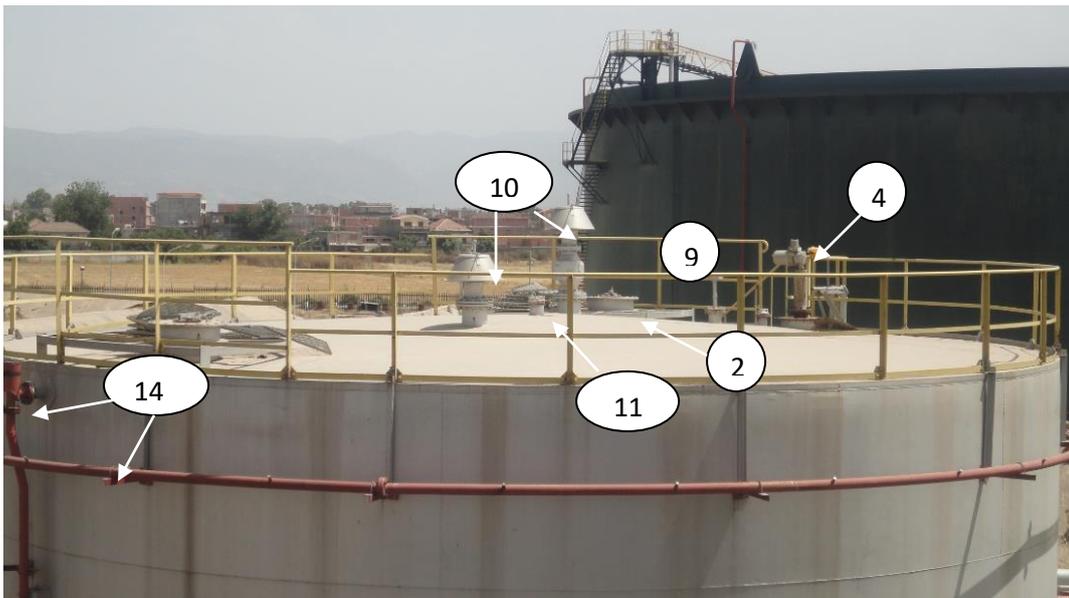


Figure N°8 : Le toit du bac de stockage à toit fixe.

Les réservoirs à toit fixe existants dans la raffinerie d'Alger :

**Tableau N°7 : Les réservoirs à toit fixe, leurs capacités et types de produits stockés .[2]**

<b>Réservoirs à toit fixe</b>			
<b>Items</b>	<b>Désignation</b>	<b>Services</b>	<b>Capacité ( m<sup>3</sup>)</b>
1	A102	Stockage solvant	10 000
2	A103		10 000
3	A104		10 000
4	D1	Stockage slops	1 000
5	D2		1 000
6	D3	Huiles récupérées	1 000
7	C4	Stockage ful BTS	2 900
8	C5		2 900
9	B3		5 000
10	B8		5 000
11	B9		5 000

**Remarque : Autres types de réservoirs inexistant au niveau de RA1G**

- **Les réservoirs à toit fixe et écran interne flottant** : Sont principalement destinés au stockage des produits à faible point éclair dont le PE < 55°C, la présence de l'écran limitant fortement l'évaporation du produit a pour objectif de supprimer la phase gazeuse. Par conséquent, les pertes en évaporation sont réduites.  
Ces types de réservoirs conviennent parfaitement pour le stockage des essences en réservoir de grandes capacités.
- **Réservoirs à toit sphérique** : Réservoirs étudiés pour supporter des pressions importantes. Il est donc possible dans ces capacités, de stocker des hydrocarbures de catégorie B et d'en limiter les effets de pertes par évaporation.
- **Réservoirs sous talus** : La mise sous talus des réservoirs contenant des matières dangereuses est une pratique courante, notamment pour les réservoirs de petite capacité. Pour des capacités de mille mètres cubes et plus.  
La mise sous talus permet d'améliorer la protection des réservoirs vis à vis des agressions thermiques et mécaniques. La mise en place d'une couche de terre ou d'un matériau équivalent assure une isolation thermique très importante telle, que la proximité d'un feu nourri sur le talus de protection n'a pas d'effet direct sur le réservoir. L'efficacité de cette mise sous talus peut être mesurée lors d'essais.
- **Réservoirs « recouverts »** : Trois types de réservoirs « recouverts » peuvent être identifiés :

- Réservoirs souterrains en caverne,
- Réservoirs en enrochement,
- Réservoirs enterrés.
- **Réservoirs cryogéniques** : Protégés par le calorifuge froid lorsqu'ils sont métalliques et par l'enveloppe extérieure en béton.

## 2. Sphère et cylindre :

Les produits stockés dans les sphères et les cylindres sont des produits de catégorie A et D. Une zone de stockage est réservée pour ce type de réservoir, un parc constitué de sphères et de cylindres est spécifique pour le Butane et de Propane.

- Les cylindres horizontaux: leur capacités est limitée jusqu'à 300 m<sup>3</sup>.
- Les sphères : leur capacité est limitée jusqu'à 3 000 m<sup>3</sup>.

Le tableau ci- dessous présente les différentes sphères et cylindres existant dans la raffinerie d'Alger et leurs capacités :

**Tableau N°8: Les réservoirs et leurs capacités dans le parc de stockage des GPL.[2]**

Items	Désignation	Type de réservoir	Capacité m <sup>3</sup>	Produit stocké
1	S1	Sphères	1 509	Butane
2	S2		1 509	Butane
3	S3		996	Propane
4	S4		996	Propane
5	S5		2 900	Butane
6	H3	Cylindre horizontal	173	Butane
7	H4	Cylindre horizontal	134	Propane

**Partie 03 : Présentation de la fonction Hygiène Sécurité Environnement « HSE » : Mission et attribution.**

**1. Mission de la Direction Hygiène Sécurité Environnement « HSE » au niveau de Sonatrach**

L'engagement du Groupe Sonatrach à préserver la santé et la sécurité des travailleurs, l'intégrité du patrimoine et la préservation de l'environnement est marqué par la déclaration de la Politique Santé, Sécurité et Environnement (HSE).

Ces engagements visent la conformité des activités de Sonatrach aux exigences légales et réglementaires en matière de HSE ; le développement d'une démarche préventive de gestion des risques d'accidents, d'incidents, de la santé au travail et de la protection de l'environnement ; l'amélioration des performances HSE par la mise en place d'un Système de Management Santé, Sécurité et Environnement (HSE-MS) ; l'amélioration des capacités de réaction des unités en situation d'urgence et de crise ; le renforcement et la généralisation de la formation et la sensibilisation en matière de HSE et le développement de l'information et de la communication dans les domaines de HSE.

Prenant les principaux axes d'engagements pris par le groupe :

- La mise en place d'un système de management intégré qui couvre toutes les activités du groupe,
- La maîtrise des risques,
- La gestion de situations de crises et de catastrophes,
- Formation et sensibilisation,
- Réduction des impacts sur l'environnement : le principal axe de développement est la réduction des gaz torches. Les quantités de gaz torches sont passées de 80% en 1970 à près de 7% en 2007.

**2. La politique HSE au niveau de la Division Raffinage**

La politique de Sonatrach / Activité Aval / Division Raffinage en matière de maîtrise de la qualité, de la santé et de la sécurité au travail ainsi que de la protection de l'environnement, est fondée sur le principe de l'amélioration continue, avec notamment comme objectifs la réduction des nuisances et des pollutions.

Dans le cadre de la préservation et de la protection dans la raffinerie d'Alger, la Division Raffinage continue et maintient ses efforts pour minimiser :

- Les risques d'accident,
- Les maladies professionnelles,
- Les atteintes à l'environnement.

La Division Raffinage veille à ce que le personnel soit bien informé et formé, à ce que leurs rôles et leurs responsabilités soient définis et connus afin de réaliser leurs tâches dans les meilleures conditions.

La politique HSE du service prévention se fixe comme objectif prioritaire la sécurité et la préservation de la santé et l'intégrité physique de tous ses travailleurs. La politique du service prévention vise à éliminer les sources de danger qui peuvent porter préjudice à la sécurité des installations, la santé des travailleurs et à l'environnement.

Le service prévention a pour objectif de s'occuper particulièrement de :

- L'induction, la formation, l'information, la sensibilisation du personnel de la Raffinerie, sous traitant et stagiaires en matière d'Hygiène Sécurité Environnement.
- L'analyse sur les presque accidents, accidents et incidents proposant les recommandations et les corrections nécessaires.

Chaque inspecteur de prévention gère sa zone d'affectation en matière d'Hygiène Sécurité Environnement « HSE » en coordination avec le chef de zone d'exploitation

- Inspections et contrôles systématiques des installations d'exploitation et des équipements de première intervention.
- La gestion des autorisations de travail.
- Veiller au respect et l'application stricte des normes et procédures de sécurité.
- Assure la sensibilisation et la formation sur site.
- Agir sur les anomalies en matière d'HSE par des recommandations et des propositions dans l'objectif d'améliorer les conditions de travail...etc.

### **3. Organisation de la fonction Sécurité au niveau de la raffinerie d'Alger**

La politique de sécurité mise en place par Sonatrach / Activité Aval / Division Raffinage est répercutée au niveau des différents sites par le département Hygiène Sécurité et Environnement « HSE » qui veille à sa bonne application. La politique est, en outre, reprise au niveau d'un manuel HSE. Ce dernier renferme des mesures de sécurité appliquées au niveau des sites. La problématique de la sécurité est aussi traitée dans les manuels opératoires puisque pour chaque unité de l'installation, les procédures, propres au procédé, y sont formalisées. Ces dernières permettent, pour les différents opérateurs, la maîtrise des procédés et de l'exploitation.

Comme cela a déjà été mentionné ci-dessus, en cas d'incident, la raffinerie peut toujours compter sur des moyens d'intervention appropriés. Ces moyens consistent dans des moyens fixes et mobiles d'intervention mais aussi dans un personnel convenablement formé.

Un manuel de sécurité remis à chaque membre du personnel reprend les consignes générales pour la lutte contre l'incendie.

La raffinerie et le port pétrolier disposent d'un Plan d'Organisation Interne (POI) Incendie/Explosion.

Pour la mise en place de cette politique au niveau de la raffinerie d'Alger le département Hygiène, Sécurité et Environnement est structuré de la manière suivante :

### **3.1. Service intervention**

Ce service, composé de 52 agents assure d'une manière continue, la surveillance et les interventions sur les installations. Il a pour tâches principales :

- Protéger et sauvegarder le personnel ainsi que le patrimoine de l'entreprise.
- Mener, en cas d'urgence, les actions conformément aux différents plans d'organisation des secours : POI, Plan ORSEC....
- S'intégrer aux opérations d'intervention dans le cadre de l'assistance mutuelle.
- Gérer les installations et les équipements d'intervention et de secours.
- Concrétiser les programmes de formation et d'exercices de lutte contre l'incendie.

### **3.2. Service prévention**

Ce service est composé de 9 personnes et assure :

- La supervision et le contrôle des installations.
- La gestion des risques liés aux travaux.
- La préservation de la santé des travailleurs.
- Le contrôle de la conformité des pratiques par rapport aux normes et aux règles du manuel HSE.

Le service prévention a pour tâches principales :

- Prévoir les risques d'accident et d'incident au sein des installations de l'entreprise.
- Garantir le respect des normes et réglementations de sécurité.
- Assister et contrôler tous les organes et structures d'exploitation en matière de sécurité.
- Promouvoir et développer l'organisation globale en matière d'hygiène et de sécurité.
- Diffuser les consignes de sécurité.
- Sensibiliser l'ensemble du personnel aux règles en matière de sécurité et d'hygiène.
- Contrôler les installations techniques et assurer le suivi des travaux.
- Réaliser les enquêtes et les statistiques des accidents du travail.

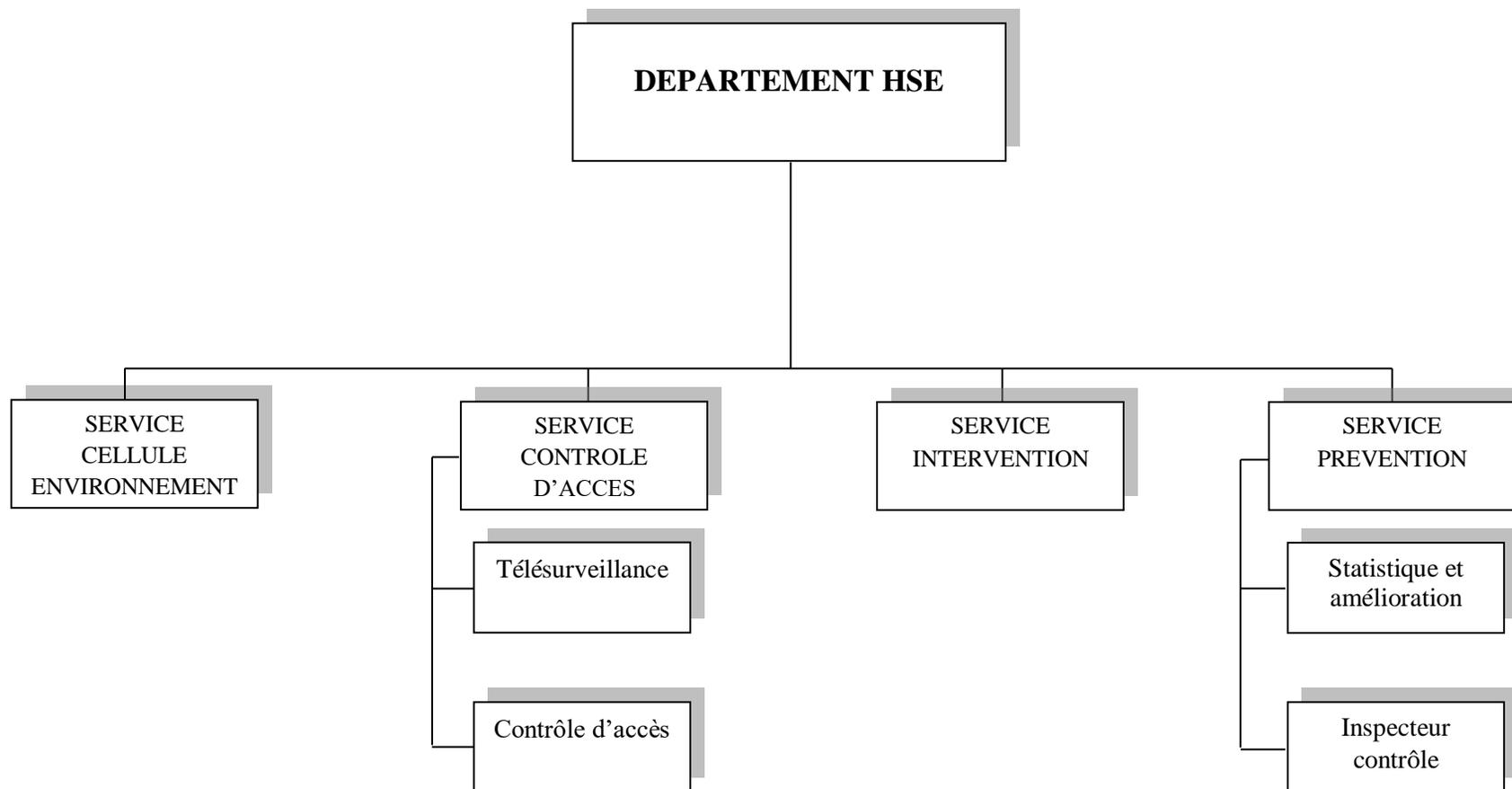
### **3.3. Service télésurveillance et contrôle d'accès**

Ce service accueil a pour mission :

- Le contrôle des accès et des sorties des personnes et des véhicules.
- L'accueil et l'orientation des visiteurs en veillant à la bonne application des règles de sécurité.
- L'exploitation des systèmes de surveillance (vidéosurveillance, contrôle d'accès anti intrusion)

### **3.4. Cellule environnement**

Elle est constituée par 2 personnes chargées des inspections et du contrôle environnemental sur les différents types de rejet.



**Figure N°9** : Schéma organisationnel du département Hygiène, Sécurité et Environnement « HSE ».

**Partie 01 : Raffinage pétrolier et risques majeurs.**

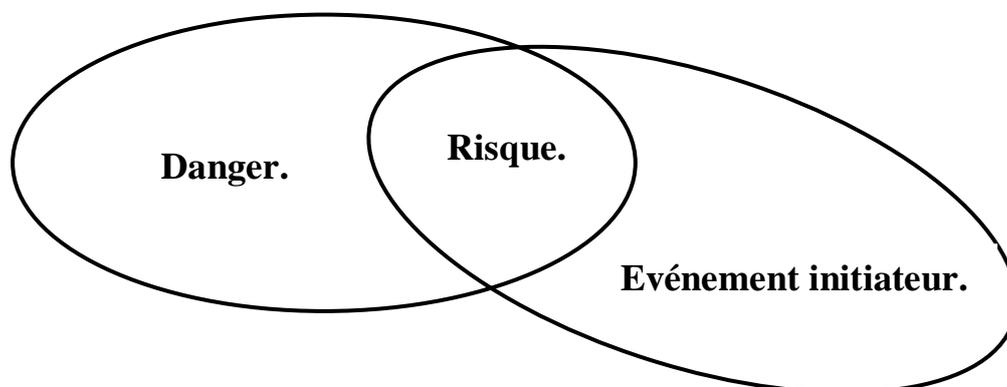
**Notion du risque**

Les installations pétrolières présentent de part leurs activités de nombreux dangers comme le caractère explosif de ses produits et la complexité de ses systèmes, il est donc nécessaire d'évaluer les risques afin de pouvoir se prononcer sur leurs acceptabilités. Les notions de danger et de risque sont très souvent confondues, le risque étant toujours lié à l'existence d'un danger, ou d'une situation dangereuse.

**Définition du risque [3]**: combinaison de la probabilité de la survenue d'un ou plusieurs événements dangereux ou expositions à un ou à de tels événements et de la gravité du préjudice personnel ou de l'atteinte à la santé que cette/ces expositions peuvent causer.

Une source de risque est généralement caractérisée par :[4]

- **La présence d'un ou plusieurs dangers potentiels**, ou une situation réunissant tous les facteurs pouvant entraîner un accident potentiel ou engendrer un événement indésirable et compromettre la sécurité des personnes, la sûreté des installations, l'environnement :
  - produits dangereux : inflammables, explosifs, toxiques, polluants,
  - réactions chimiques dangereuses : incompatibilité, corrosion, emballement, dégagement de produits toxiques, ...
  - conditions opératoires : pression, température, électricité, rayonnement,
  
- **Un événement initiateur exposant à ce danger** :
  - modification des conditions opératoires,
  - défaillances techniques, organisationnelles ou humaines,
  - événements extérieurs inattendus.



**Figure N°10 : Le risque.**

## **1. Différents risques majeurs**

### **1.1 Risque d'explosion**

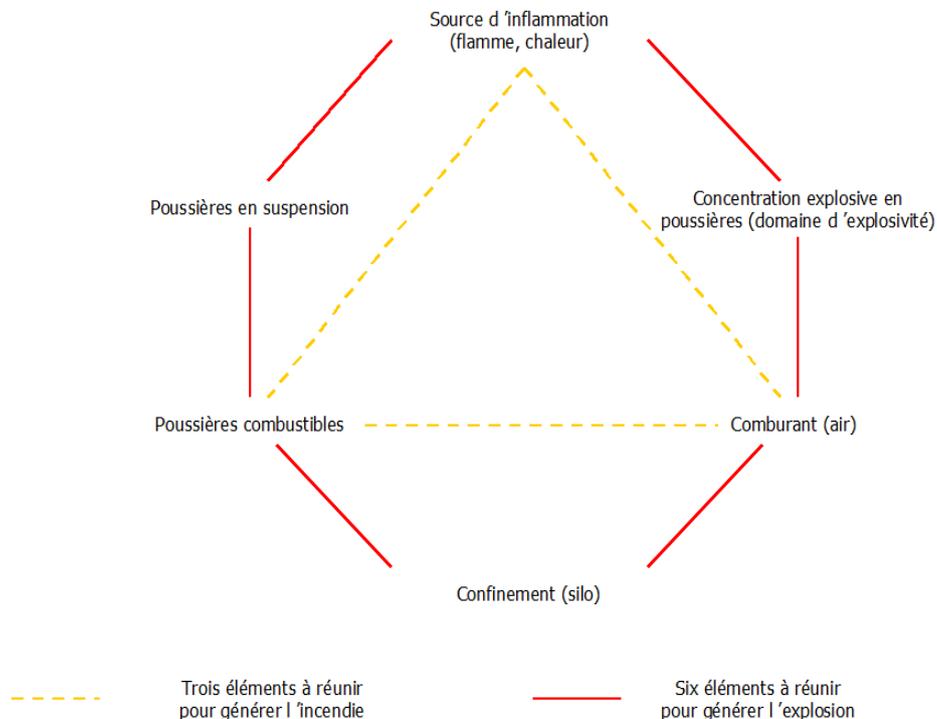
Une explosion est l'évolution rapide d'un système, avec libération d'énergie et production d'effets mécaniques et éventuellement thermiques (graves dégâts humains et matériels, formation importante de gaz et de chaleur).

Les explosions peuvent être en plusieurs natures notamment :

- Physique (par exemple, éclatement d'un réservoir dont la pression intérieure est devenu trop importante),
- Chimique (résultant d'une réaction chimique).

Les conditions, ci-dessous, doivent être réunies simultanément pour qu'une explosion soit possible :

- La présence d'un comburant (l'oxygène de l'air),
- La présence d'un combustible,
- La présence d'une source d'inflammation,
- La présence d'un combustible, sous forme gazeuse, d'aérosol ou de poussière,
- L'obtention d'un domaine d'explosivité (c'est-à-dire le domaine de concentration du combustible dans l'air à l'intérieur duquel les explosions sont possibles),
- Un confinement suffisant.



**Figure N°11 : L'hexagone de l'explosion.**

L'explosion peut prendre les deux formes principales suivantes :

- **La déflagration** (qui représente plus de 95% des explosions), caractérisée par une onde de pression se développant en avant du front de flamme à une vitesse inférieure à la vitesse du son (subsonique) dans le milieu local.

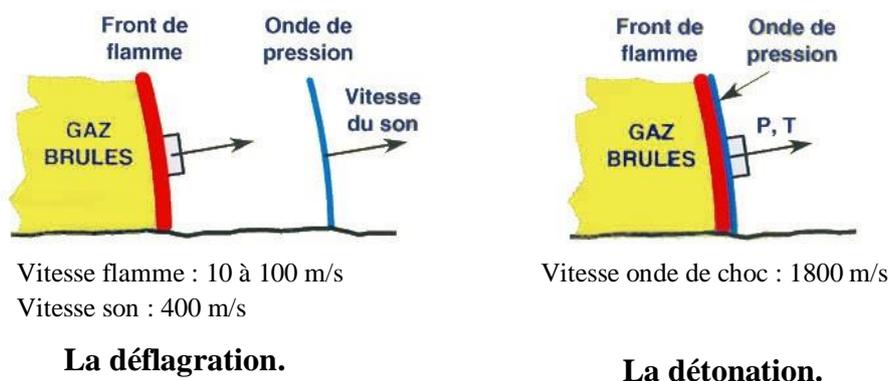
La déflagration est caractérisée par

- Explosion non confinée (UVCE) à l'air libre, sans obstacles
- Feu de nuage (Flash fire)

- **La détonation**, dans laquelle le front de flamme est lié à une onde de chocs se propageant à des vitesses élevées (supérieures à 1 000 m/s) qui dépasse la vitesse du son, la pression retombe à la même valeur que dans le cas de la déflagration.

La détonation est caractérisée par :

- Explosion confinée (VCE ou CVCE) (intérieur d'un réservoir ou d'une tuyauterie, entre bâtiments).
- Peut aussi être un UVCE.



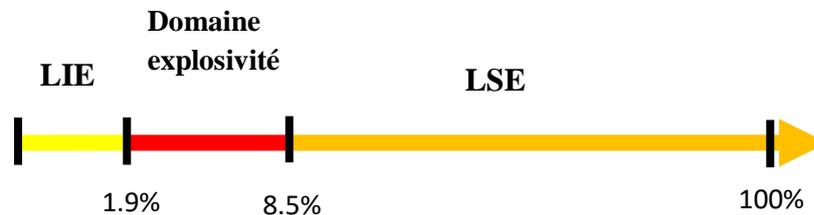
**Figure N°12 : Les deux formes de l'explosion.**

La principale manifestation d'une explosion est l'augmentation brutale de pression qui provoque un effet de souffle et une onde de pression ; la vitesse maximale de montée en pression est une des caractéristiques importantes de la violence des explosions.

Il existe pour chaque gaz ou vapeur combustible, dans des conditions normales de température et de pression données:

- Limite inférieure d'explosivité LIE : Concentration minimale dans le mélange en dessous de laquelle celui-ci ne peut être enflammé (pour un gaz, des vapeurs ou des poussières dans l'air)

- Limite supérieure d'explosivité LES : Concentration maximale dans le mélange au-dessus du quelle celui-ci ne peut être enflammé.
- **Domaine d'explosivité** : Concentrations de combustible comprises entre les limites inférieure et supérieure d'explosivité (de la LIE à la LSE).



**Figure N°13 : Limite d'explosivité (butane).**

La combustion des vapeurs d'un combustible n'est possible qu'en présence d'un certain volume de comburant oxygène de l'air. Si cette quantité de vapeurs combustibles est trop faible par rapport au volume d'oxygène dans l'air il ne peut y avoir combustion car le mélange est trop pauvre.

Si la quantité de vapeurs combustibles est trop importante par rapport au comburant, il ne peut y avoir combustion, car le mélange est trop riche.

Donc les vapeurs de combustibles ne sont inflammables qu'en proportions correctes de mélanges qui sont déterminés par la LIE et LES.

La surpression brutale a des effets dévastateurs sur l'homme et sur les constructions :

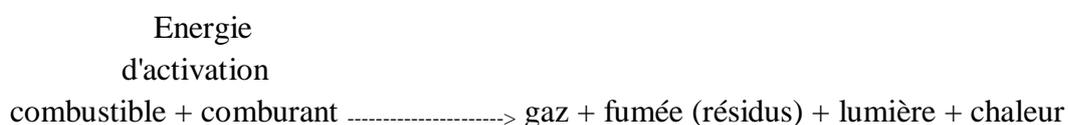
- ⊕ A partir de 0,3 bar, rupture du tympan.
- ⊕ A partir de 1bar, lésions graves aux oreilles et aux poumons.
- ⊕ A partir de 5 bars, risque de mort.

L'explosion peut se présenter sous forme d'un UVCE, un Boil Over ou encore un BLEVE.

### **1.2. Risque d'incendie**

C'est une combustion qui se développe d'une manière désordonnée et sans que l'on puisse la contrôler, cette combustion n'est autre qu'une réaction chimique exothermique rapide entre un réactif oxydant appelé comburant (oxygène, en général) et un réactif réducteur appelé combustible (hydrocarbure liquide) en présence d'une source d'énergie.

L'équation générale est :



Pour qu'un incendie se déclare, il faut les trois conditions suivantes simultanément :

- présence d'un combustible : aliment susceptible de s'oxyder (bois, charbon, produits pétrolier et le caoutchouc ...), certains produits combustibles peuvent s'enflammer en produisant des flammes. Ce sont les produits inflammables tels que l'essence, l'acétone ...
- présence d'un comburant : c'est un produit qui favorise ou active la combustion il s'agit de l'oxygène que l'on trouve dans un mélange d'air contenant 80% d'azote inerte et 20% d'oxygène, ou encore des produits chimiques oxygénés.
- initiation de la réaction de combustion : création, en une zone réduite, des conditions de pression et de température nécessaires pour démarrer la réaction (une source d'ignition ou une source d'énergie).

La source d'énergie est une source capable de produire assez de chaleur pour initier la combustion : la flamme, point chaud, étincelle électrique ou électrostatique, choc ou frottement.

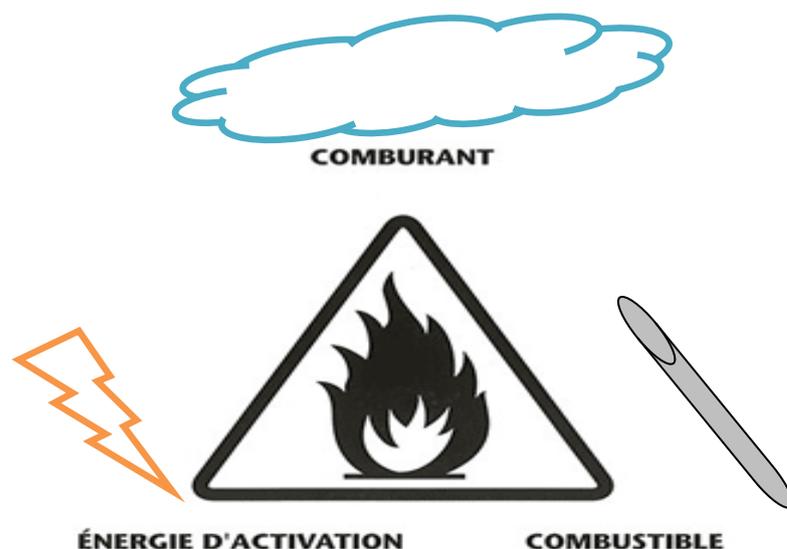


Figure N°14 : Triangle de feu.

Si l'on supprime un de ces trois facteurs, le risque d'incendie disparaît.

### ➤ Les effets de l'incendie :

Elles sont à l'origine de nombreux décès dans les incendies, généralement asphyxies par les fumées ou intoxication par les fumées.

- **La fumée** : la fumée comporte des aérosols de petites particules solides, liquides, sont très importantes. Cette micro particule est toxique, irritante, agressive... la fumée gêne l'évacuation des occupants et l'intervention des secours.

- **Les gaz de combustion** : émanation en fonction de la nature et de la qualité de la combustion. Ces gaz sont chauds et très toxiques et qui sont à l'origine de la diminution de l'oxygène
- **Les chaleurs - les flammes** : l'augmentation thermique entraîne la déformation et la destruction des matériaux avec parfois effondrement des structures.
- **Les brulures** : pouvant entraîner la mort, elles peuvent être externes ou internes par inhalation de gaz chauds.

### 1.3. La pollution

La pollution est l'introduction de polluants (des substances chimiques ou énergie sous forme de bruit, de chaleur, ou de lumière) dans un environnement à un point que ses effets deviennent nuisibles à la santé humaine, à celle des autres organismes vivants, à l'environnement ou au climat actuel.

Il y a un très grand nombre de pollutions on cite :

- **La pollution de l'air** (ou la pollution atmosphérique) est un type de pollution caractérisé par une altération des caractères de niveaux qualité de et de pureté de l'air. Elle est due à la vaporisation légère des hydrocarbures laissés ou rejetés à l'air libre. Cette pollution présente deux dangers :
  - Un danger physiologique.
  - Un danger d'incendie ou d'explosion.
- **La pollution chronique** est une pollution avec des émissions répétées de polluant, ou parfois lorsque le polluant est très rémanent.
- **La pollution du sol** d'origine industrielle, suite à une industrie polluante ne prenant pas toutes les précautions nécessaires pour éviter les fuites, avec l'utilisation massive des produits qui s'infiltrent dans les sols.
- **La pollution de l'eau** elle peut apparaître de trois manières:
  - Évènement direct dans un cours d'eau.
  - Ruissellement des eaux en contact avec les hydrocarbures.
  - Infiltration directe des hydrocarbures ou d'une eau polluée.

Les deux premières causes touchent surtout les eaux de surface. L'infiltration vise plus les nappes phréatiques.

Généralement miscible, les hydrocarbures ont un effet nuisible sur la faune, la flore et rendent les eaux impropres à la consommation.

## **2. Les phénomènes des risques majeurs**

### **2.1. UVCE**

Cet acronyme signifie "Unconfined vapor cloud explosion", ce qui signifie explosion de nuage gazeux du milieu non confiné (à l'air libre). La littérature de sécurité actuelle semble consacrer la disparition progressive du "U" transformant ainsi le mot en V.C.E.

Les différents retours d'expérience ont témoigné, en effet, de nombreux cas de "pseudo confinement" des nuages explosant librement dans l'atmosphère, liés à l'encombrement spatial (installations, bâtiments, etc.).



**Figure N°15 : Phénomène de l'UVCE.**

Dans le cas d'un gaz inflammable, tel que les GPL, cette explosion produit :

- des effets thermiques,
- des effets de pression.

La chronologie de déroulement en est relativement simple :

- ⊕ Formation d'un nuage de gaz de vapeur inflammable provoquée par une fuite, en phase liquide ou gazeuse. Ce nuage peut dériver selon des conditions météorologiques (mélange du GPL avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable).
- ⊕ Allumage de ce nuage sur un point chaud, flamme ou étincelle. La vitesse de flamme sera éminemment variable en fonction des concentrations (taux de mélange) et des obstacles. Elle pourra être extrêmement lente dans les zones de haute "concentration" en combustible, proches de la L.S.E., voire non explosive.
- ⊕ Enfin le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riche en combustible pour être inflammable.

Le vocabulaire distingue, selon les effets produits, l'**UVCE** du **Flash fire**, ou **Feu de nuage**. De manière générale, le terme UVCE s'applique lorsque des effets de pression sont observés, alors que le terme Flash fire est réservé aux situations où la combustion du nuage ne produit pas d'effets de pression. Cependant il s'agit dans les deux cas du même phénomène physique, à savoir la combustion d'un mélange gazeux inflammable.

### **2.2. Feu de jet**

Combustion d'un liquide ou d'un gaz inflammable où les flammes se propagent à une vitesse insuffisante pour causer des dommages de pression.

### **2.3. Feu de nappe**

Ce terme « feu de nappe » ou « feu de flaque », décrit un incendie résultant de la combustion d'une nappe de combustible liquide. Ce phénomène implique principalement la surface de la nappe en contact avec l'air.

Les dimensions et la géométrie de la nappe peuvent être tout à fait variables. Il convient ainsi de distinguer :

- Les feux de réservoir : le feu est alors contenu dans une enceinte dont la surface est déterminée par les dimensions du réservoir,
- Les feux de cuvette (de rétention) : l'extension de la nappe peut alors être limitée par une cuvette de rétention dont le dimensionnement est imposé notamment par les exigences réglementaires applicables au stockage,
- Les feux de flaque libre, en l'absence de moyens physiques prévus pour limiter l'extension de la nappe ou lorsque la cuvette de rétention n'est pas complètement envahie ; l'extension de la nappe est alors principalement fonction des caractéristiques du terrain, des conditions météorologiques et des conditions de rejet du combustible.

### **2.4. Le Boil Over**

Boil Over est un mot anglais qui pourrait être traduit par "bout débordement par ébullition". Ce type d'accident survient pour certains liquides inflammables, présentant une viscosité élevée.



**Figure N°16 : Phénomène du Boil Over.**

La chronologie de déclenchement simplifiée en est la suivante :

- Incendie d'un réservoir d'hydrocarbures liquides (à forte viscosité).
- Présence, en fond de bac, d'eau de provenances diverses (pluies, extinction, fuite de réchauffeur).
- Dans le temps (plusieurs heures), la combustion s'exerçant sur les fractions légères du liquide inflammable, il se crée une accumulation de fractions lourdes sous la surface enflammée. Ce qui peut être imagé par une "galette de goudrons" flottant sous la surface en feu, va en s'épaississant au fil des heures.
- Avec la consommation de combustible, le niveau s'abaisse dans le réservoir. Ce phénomène, crée une onde de chaleur progressant vers le fond.
- Lorsque cette onde de chaleur atteint l'eau résiduaire, celle-ci se transforme quasi instantanément en vapeur, multipliant ainsi son volume par 1 500 à 2 000. Ce piston vapeur est d'autant plus efficace que la "galette de fractions lourdes" assure une certaine étanchéité, un pourtour avec les parois du réservoir.
- S'en suit un débordement très violent du liquide inflammable, avec un phénomène de boule de feu, pouvant durer plusieurs dizaines de secondes.

D'autres phénomènes, ayant des cinétiques de déclenchement voisines ne doivent pas être confondus avec le phénomène de **frothover** impliquant un réservoir réchauffé et non en feu, ou un **slopover** qui est un phénomène de faible ampleur localisé à la surface de l'hydrocarbure contenu dans un bac.

### **Conditions nécessaires pour la naissance d'un Boil Over**

Pour qu'un Boil Over se produise, trois conditions doivent être réunies :

- La présence d'eau à transformer en vapeur ;
- La création d'une onde de chaleur (ou, en d'autres termes d'une zone chaude) qui entre en contact avec le fond d'eau situé sous la masse de l'hydrocarbure ;
- Un hydrocarbure suffisamment visqueux pour que la vapeur créée par le contact de la zone chaude et du fond d'eau ne puisse pas traverser l'hydrocarbure facilement depuis le bas du réservoir.

## **2.5. Le BLEVE**

### **2.5.1. Définition BLEVE :**

Le mot BLEVE est un acronyme provenant de l'anglais et signifie: « Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion».

En français, nous pourrions traduire cette expression par « une explosion due aux vapeurs en expansion d'un liquide en ébullition ».



**Figure N°17 : Phénomène du BLEVE.**

Les produits concernés par le BLEVE sont :

- Des gaz liquéfiés combustibles tels que les GPL (propane, butane).
- Des gaz liquéfiés non combustibles (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, Hélium ...), l'eau à l'équilibre liquide vapeur peut être aussi sujet au BLEVE.

Le BLEVE concerne les **équipements aériens contenant ces gaz liquéfiés sous pression** :

- ✓ stockages fixes : cisternes, sphère.
- ✓ engins de transport : camions, wagons, navires.
- ✓ tuyauteries.
- ✓ bouteilles d'échantillon, bouteilles petit vrac, ...

Un BLEVE survient lorsqu'il y a rupture des parois d'un contenant sous pression. Cette perte de confinement peut être due notamment à :

- ✓ l'impact d'un projectile ou à un choc (accident routier par exemple).
- ✓ l'exposition du réservoir à un incendie.
- ✓ la fatigue du réservoir.
- ✓ de la corrosion.
- ✓ une construction ou des équipements défectueux.

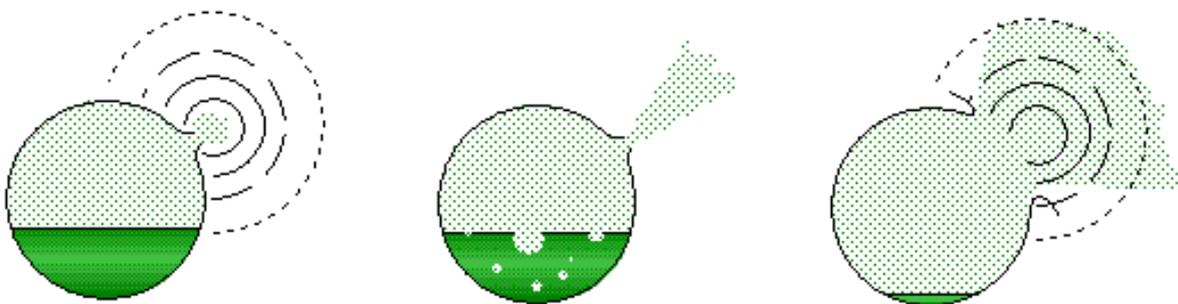
### **2.5.2. Déroulement du BLEVE :**

- L'exposition de la sphère à une chaleur.
- Incendie - Montée en pression
  - Fuite sur la sphère elle-même ou sur un équipement voisin.
  - Nuage de gaz combustibles et inflammation sur un point d'ignition.
  - Feu sous la capacité sous forme de flamme.
  - Dans la sphère, la température monte, la pression augmente.
  - La pression atteint la pression de début d'ouverture des soupapes, les gaz qui s'échappent s'enflamment ou ne s'enflamment pas.

- Le débit de chaleur dû à l'incendie apporte la chaleur latente de vaporisation au liquide dont une partie se vaporise et est évacuée aux soupapes.
  - La pression atteint au maximum 110 % de la pression de début d'ouverture.
  - La température du métal mouillé par le liquide reste à peu près constante.
  - Baisse du niveau liquide due à la vaporisation.
- Perte de la résistance mécanique - Rupture
- La température du métal non mouillé augmente rapidement.
  - La limite élastique et la résistance à la rupture du métal diminuent.
  - formation d'une boursoufflure par étirement du métal.
  - Éclatement de la boursoufflure et rupture du réservoir avec projection de fragments.
- Explosion - Boule de feu
- La soudaine décompression, jusqu'à la pression atmosphérique, entraîne :
    - des ondes de surpression,
    - la brusque vaporisation d'une partie du liquide sous forme d'aérosol qui s'enflamme et provoque une boule de feu.
  - La chaleur de vaporisation est apportée par les flammes et par le liquide restant dans la sphère dont la température atteint la température d'ébullition normale.
  - La boule de feu croît rapidement, s'élève dans les airs puis se fragmente et s'éteint après consommation du combustible.

La radiation de la boule de feu (250 à 300 kW/m<sup>2</sup>) est suffisante pour enflammer tout combustible ordinaire et causer des brûlures mortelles aux personnes par effets thermiques. Par ailleurs, du liquide enflammé, retombe au sol.

L'éclatement du réservoir entraîne la projection de fragments appelés "missiles".



**Figure N°18 : Différentes étapes de l'explosion.**

**2.5.5. Conséquence du BLEVE :**

Les conséquences associées à un BLEVE sont

- L'onde de surpression due à la détente de la phase gaz lors de la rupture du réservoir plus la capacité est remplie de liquide plus le volume de gaz est faible plus la surpression sera faible.
- L'onde de surpression due à la vaporisation explosive. Ce phénomène est celui qui est générateur des plus fortes surpressions.
- Boule de feu par inflammation du nuage gazeux. Le rayonnement de la boule dimensionne les effets de ce scénario. Effets missiles jusqu'à 1 200 m pour des « missiles » de tailles importantes.

**3. Les effets des risques majeurs**

**3.1. Les effets thermiques** Pour situer les éventuelles conséquences pour le voisinage, il convient de rappeler les effets de flux thermiques présenté dans le tableau 2.1.1 :

**Tableau N°9 : Flux et l'effet thermique**

<b>Flux reçu</b>	<b>Effets</b>
100 kW/m <sup>2</sup>	Température de 100°C dans 10 cm de béton au bout de trois heures
40 kW/m <sup>2</sup>	Ignition spontanée du bois dans les 40 s
36 kW/m <sup>2</sup>	Propagation probable du feu sur des réservoirs d'hydrocarbures refroidis à l'eau
27 kW/m <sup>2</sup>	Ignition spontanée du bois entre 5 et 15 mn
20 kW/m <sup>2</sup>	Tenue des ouvrages d'art en béton pendant plusieurs minutes
12 kW/m <sup>2</sup>	Propagation improbable du feu sur des réservoirs d'hydrocarbures refroidis à l'eau
9,5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de la douleur en 6 s - Flux minimum léthal en 30 s
8,4 kW/m <sup>2</sup>	Début de la combustion spontanée du bois et des peintures. Propagation improbable du feu sur des réservoirs d'hydrocarbures non refroidis. Intervention de personnes protégées avec des tenues ignifugées.
5 kW/m <sup>2</sup>	Bris de vitres sous l'effet thermique. Douleur après 12 s. Cloques après 30 s. Flux minimum léthal pour 60 s. Intervention rapide pour des personnes protégées (pompiers).
2,9 kW/m <sup>2</sup> (arrondis à 3 kW/m <sup>2</sup> )	Flux minimum léthal pour 120 s.
1,5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil acceptable de rayonnement continu pour des personnes non protégées, normalement habillées.
1 kW/m <sup>2</sup>	Rayonnement solaire en zone équatoriale.
0,7 kW/m <sup>2</sup>	Rougisement de la peau. Brûlure en cas d'exposition prolongée.

**Remarque :** Les valeurs retenues pour fixer des zones de protection autour des installations, en fonction du rayonnement thermique sont 8 kW/m<sup>2</sup>, 5 kW/m<sup>2</sup> et 3 kW/m<sup>2</sup>.

- **Le seuil de 8 kW/m<sup>2</sup>** correspondant aux effets létaux significatifs avec un flux thermique qui provoque la propagation improbable du feu sur des réservoirs d'hydrocarbures non refroidis, une combustion spontanée du bois et des peintures.  
L'intervention se fait par de personnes protégées avec des tenues ignifugées
- **Le seuil de 5 kW/m<sup>2</sup>** correspondant aux premiers effets significatifs sur les bâtiments et seuil léthal chez l'homme (quelques secondes). Il permet donc de déterminer une zone dans laquelle il convient impérativement de limiter l'implantation de constructions ou d'ouvrages concernant notamment des tiers.
- **Le seuil de 3 kW/m<sup>2</sup>** correspondant au flux thermique pouvant encore générer des effets graves sur l'homme (brûlure du premier degré au bout d'environ 1 minute et douleur en une vingtaine de seconde, seuil minimum léthal pour une exposition de 2 minutes).

### 3.2. Les effets de surpression

Les niveaux de surpression peuvent être comparés à l'échelle de dégâts engendrés par les surpressions et présentés dans le tableau suivant (tableau 2.1.2) :

**Tableau N°10 : Effet de surpression.**

Dégâts observés suite à une explosion	Surpression (mbar)
Eclatement des poumons chez l'homme	1000
Destruction des murs en béton armé, limite de létalité directe chez l'homme	700
Retournement des wagons de chemins de fer, destruction totale des maisons	500
Limite de létalité par projection (pour 1% de la population exposée)	140
Détérioration et destruction des cadres de fenêtre selon leur nature	100
Limite de blessures significatives à l'homme par projection	50
Dégâts légers aux structures, détérioration du tympan	30
Destruction de 10% des vitres, limite de petits dommages	20
Grand bruit	7

Dans le cadre de notre étude, compte tenu des forts effets de surpression engendrés par les explosions en milieu libre, nous relevons les limites de surpressions suivantes :

- 50 mbar : limite des blessures significatives à l'homme par projection (**effets irréversibles**).
- 140 mbar : limite de létalité par projection.
- 300 m bar : correspond à des dégâts très graves sur les constructions.

## **Partie 02 : Présentation de la zone GPL.**

### **1. Généralité sur les GPL**

#### **1.1. Origine du GPL**

Le butane et le propane, définis sous le terme général de Gaz de Pétrole Liquéfiés, sont extraits à partir de diverses sources qui peuvent être :

- du pétrole brut après raffinage comme sous produit,
- de la récupération à partir des champs gaziers,
- de la récupération à partir de la liquéfaction des gaz associés (champs pétroliers)
- comme sous produit à partir des unités de liquéfaction du gaz naturel GNL.

A titre indicatif, le raffinage de 100 tonnes de pétrole brut fournit environ 4 tonnes des GPL.

#### **1.2. Caractéristique et utilisation des GPL**

Deux caractéristiques qui différencient le butane et le propane, à la température ambiante, sont :

- ✓ La température d'ébullition,
- ✓ La tension de vapeur ou pression du gaz.

Les GPL ont la propriété d'être gazeux à la température ordinaire et à la pression atmosphérique, Plus la température est élevée à l'intérieur de la sphère, plus la pression des GPL augmente, ainsi un ciel gazeux doit être laissé pour permettre cette augmentation de volume sans risque de rupture de réservoirs. Ils sont très fluides à l'état liquide comme à l'état gazeux, beaucoup plus fluides que l'eau et l'air.

Les GPL n'ont aucune action corrosive sur les métaux des réservoirs qui les contiennent mais ils dissolvent certaines substances telles que les graisses, huiles et provoque un fort gonflement du caoutchouc naturel d'où les flexibles et joints sont en caoutchouc synthétiques de qualité appropriée.

L'expansion : à l'état liquide, ils ont un coefficient de dilatation important dont il faut tenir compte lors de leur stockage. Ils sont non toxiques et inodores à l'état naturel : d'après les spécifications officielles, ils doivent présenter une odeur caractéristique, c'est la raison pour laquelle les GPL sont odorisés d'une façon volontairement désagréable à base des mercaptans. Toute odeur révèle la présence d'une fuite.

En cas de fuite éventuelle de liquide en atmosphère calme, le gaz qui se forme se diffuse lentement et a tendance à séjourner au niveau du sol ou dans les points bas (1 Litre des GPL liquide se transforme en 250 Litres environ des GPL gazeux).

Les domaines d'utilisation du butane et de propane sont très nombreux et diversifiés :

- utilisation domestique (cuisine chauffage)
- utilisation pétrochimique (production d'oléfines)
- utilisation industrielle :
  - climatisation et refroidissement à l'échelle industrielle
  - production de carburants
  - centrale électrique : combustible pour la génération électrique

### **1.3. Les différents types de sites de GPL**

On définit trois types d'installations industrielles stockant du GPL :

- les installations non classées comprenant jusqu'à 6 tonnes des GPL,
- les installations soumises à déclaration comprenant entre 6 et 50 tonnes des GPL,
- les installations soumises à autorisation lorsqu'elles comprennent plus de 50 tonnes des GPL.

## **2. Le circuit du GPL au niveau de RA1G**

Le site GPL est composé de trois sections :

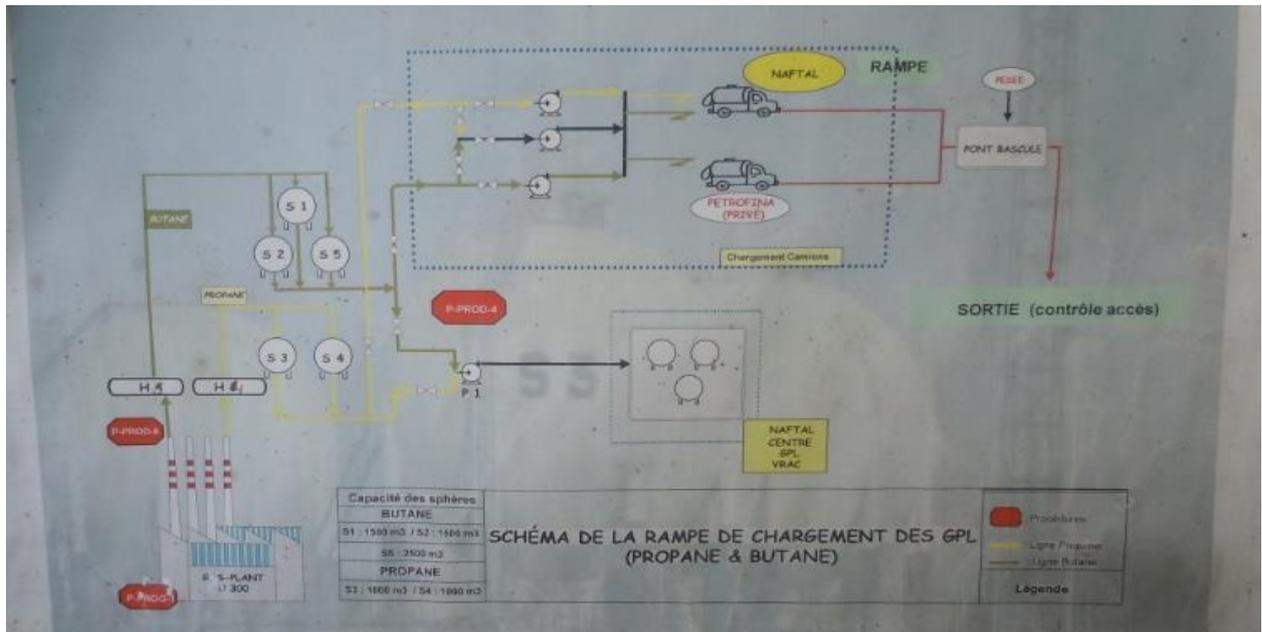
1. Section compression des GPL au niveau de l'unité 300,
2. Section stockage des GPL,
3. Section expédition des GPL.

Comme le montre la figure suivante :



**Figure N°19 : Vue de haut de la RA1G, zone de stockage GPL .[5]**

Le schéma suivant présente le circuit des GPL depuis l'unité 300 jusqu'à l'expédition vers Naftal :

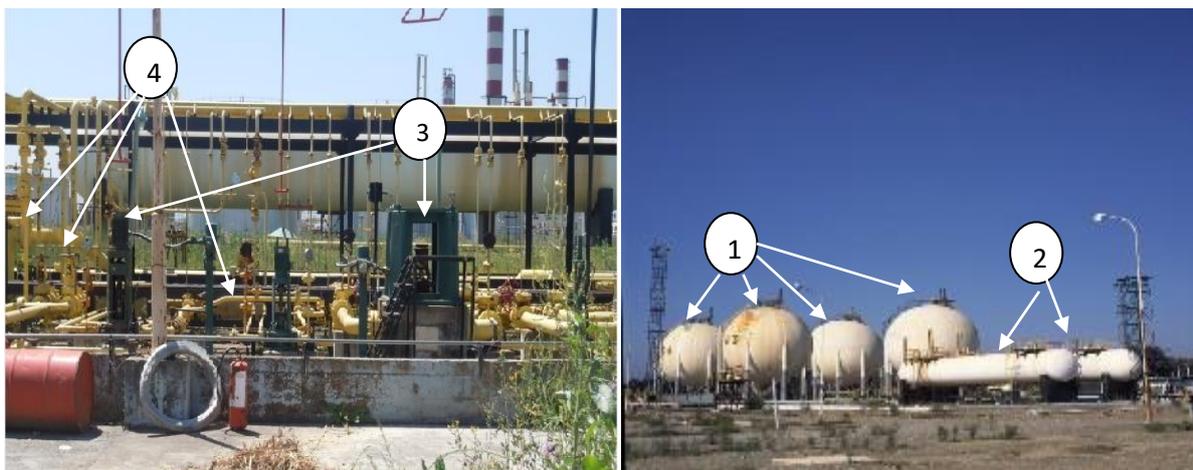


**Figure N°20 : Circuit des GPL .[6]**

### **2.1. Description du fonctionnement du site de stockage et de transfert des GPL**

Le site de stockage et de transfert de GPL est composé des installations suivantes :

1. Cinq (05) sphères d'une capacité totale de stockage de l'ordre de 7 910 m<sup>3</sup>,
2. Deux (02) cylindres d'une capacité totale de 307 m<sup>3</sup>,
3. Deux (02) pompes verticales et horizontales,
4. Tuyauterie,
5. Un (01) ballon,
6. Un (01) compresseur.



**Figure N°21 : Zone de stockage des GPL.**

## **2.2. Section de stockage et de transfert du GPL**

### **2.2.1 Fonctionnement normal :**

Lors du fonctionnement normal, le GPL sortant de l'unité 300 circule à travers le pipeline après avoir été pompé vers la zone de stockage. Une autre source de GPL est le GPL provenant du port pétrolier circulant à travers un pipeline vers les sphères de stockage passant par les cigares. Le GPL va être introduit dans la sphère à travers la ligne d'aspiration.

Les vannes de remplissage des sphères de stockage du GPL sont toujours laissées ouvertes.

La compression est une fonction nécessaire, elle a pour fonction de maintenir la pression et la température des sphères des GPL dans une gamme déterminée, le niveau est aussi un paramètre très important dans le fonctionnement normal de la section dont sa limite est de 12 à 13 m de hauteur pour la sphère (S5).

### **2.2.2 Remplissage et vidange :**

Après la remise en état du pipeline ou de la pompe, le GPL contenu dans les sphères de stockage circule vers la conduite d'aspiration de la pompe sous l'action d'un régulateur de débit, après avoir été pressurisé par la pompe surcompression à GPL.

En règle générale, on ne doit pas pomper du GPL de deux sphères de stockage simultanément au cours d'une opération de vidange. De plus, il est interdit d'effectuer simultanément le remplissage et la vidange de la même sphère.

### **2.2.3 Transfert du GPL entre les sphères de stockage :**

Lorsqu'on veut effectuer des travaux sur une sphère de stockage contenant du GPL, on fait le transfert du GPL à une autre sphère au moyen des pompes. Ce transfert peut être effectué parallèlement à d'autres opérations.

## **3. Description de la sphère de stockage des GPL (S5)**

### **3.1. Caractéristiques et Conception de la sphère (S5)**

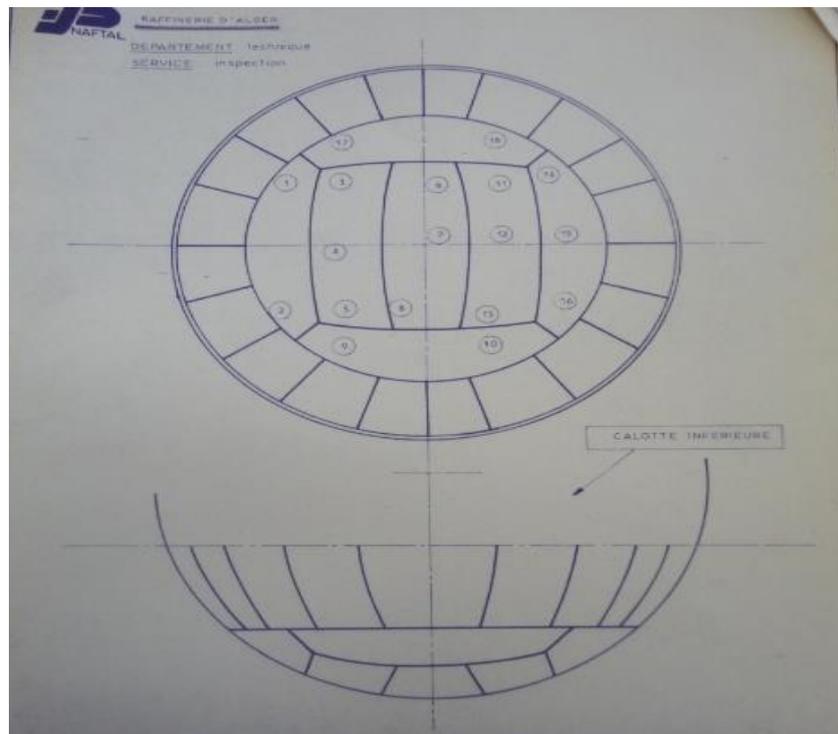
**Fiche technique de la sphère (S5) :**

- Type d'appareil : sphère S5.
- Lieu de construction : ENGLAND.
- Année de fabrication : 1971.
- Numéro de fabrication : 657.
- Date de la dernière épreuve : 11/01/2005.
- Désignation du contenu : BUTANE.
- Diamètre intérieur : D = 17 900 mm.
- Calotte inférieure : 28 mm.
- Calotte supérieure : 24 mm.
- Capacité totale : 3 003 m<sup>3</sup>.
- Capacité de service : 2 900 m<sup>3</sup>.
- Nature du métal : Acier BH36.
- Pression d'épreuve : 10.2 bars.
- Timbre : 6.8 bars.

**Tableau N°11 : Nomenclature des sections constituant la sphère (S5).**

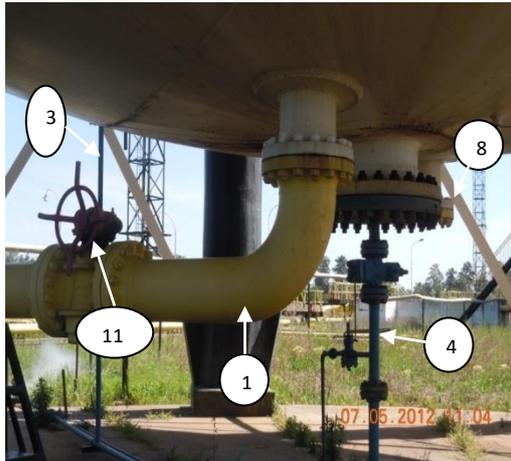
Nombre de pièces	Repère	Pièces constituant la sphère
4	1	Calotte inferieure tôle de cote
1	1A	Calotte inferieure tôle centrale
2	1B	Calotte inferieure tôle intermédiaire
10	2	Tôle équatoriale sans amorce
10	2A	Tôle équatoriale avec amorce
20	3	Tôle intermédiaire supérieure
4	4	Calotte supérieure tôle de cote
1	4A	Calotte supérieure tôle centrale
2	4B	Calotte supérieure tôle intermédiaire
10	P1	Poteaux
10		Semelles base plate disque D=1150

Les sections de la sphère (S5) présenté dans le tableau 2.2.1 et la figure 2.2.4 montre les points les plus fragiles sur la sphère en cas de surpression.

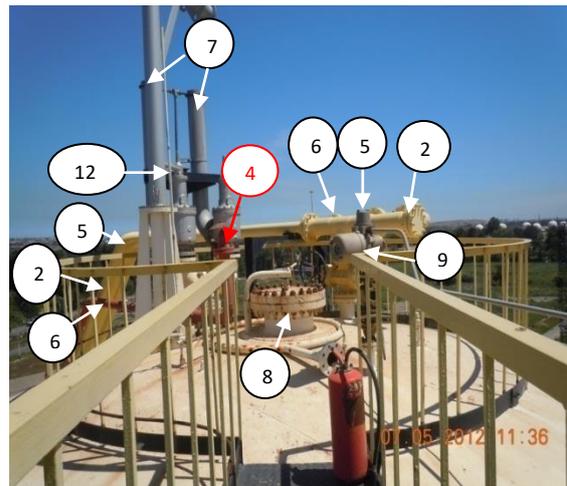


**Figure N°22 : Schéma présentant les sections de la sphère (S5).**

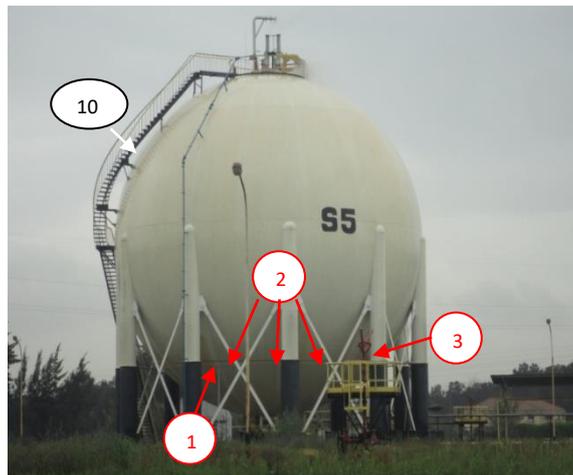
**3.2 Equipements de la sphère de stockage GPL (S5)**



**Figure N°23 : Equipements de la sphère S5 (partie inférieure)**

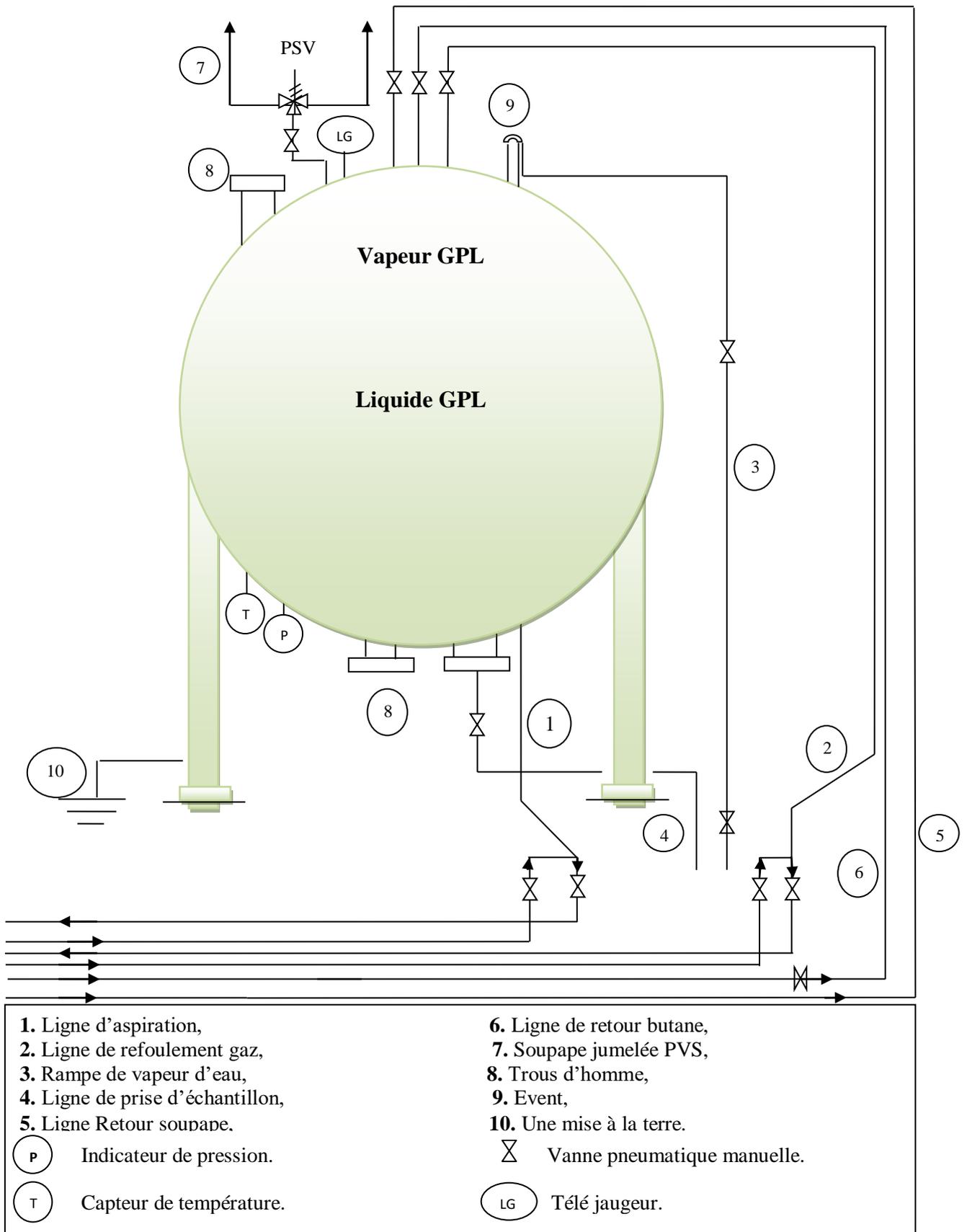


**Figure N°24 : Equipements de la sphère S5 (partie supérieure)**



**Figure N°25 : Equipement de la sphère S5 (vue de face)**

1. Ligne d'aspiration 10",
2. Ligne de refoulement gaz 4",
3. Rampe de vapeur d'eau,
4. Ligne de prise d'échantillon,
5. Ligne Retour soupape 6",
6. Ligne de retour butane 6",
7. Soupape jumelée PVS vers atmosphère,
8. Deux (02) trous d'homme : un trou en bas et l'autre en haut,
9. Télé jaugeur avec indicateur local en haut de la sphère,
10. Une passerelle d'accès au sommet de la sphère,
11. Vannes de sectionnement pneumatiques,
12. Event,
13. Indicateurs de pression en bas de la sphère,
14. Indicateurs de température en bas de la sphère,
15. Une mise à la terre.



**Figure N°26 : Schéma descriptif des équipements de la sphère.**

La sphère est raccordée aux canalisations de remplissage et de vidange suivantes :

- ✓ **Ligne d'aspiration** : une ligne de 10" pour le déchargement du butane, destiné à l'expédition ; comme elle possède un piquage de 6" pour le Coulage du butane à partir du cigare H3.
- ✓ **Ligne de refoulement gaz** : possède un piquage de 3" sert à remplir la sphère de l'extérieur, et une ligne de vidange de 4".
- ✓ **Ligne de retour butane** : c'est une ligne de refoulement du butane provenant de l'extérieur.
- ✓ **Ligne de retour soupape** : en cas de surpression au niveau des lignes, le gaz est évacué vers la sphère, donc craché par la soupape vers l'atmosphère (dans le cas de surpression).

### **3.3 Principe de sécurité appliqué à la sphère de stockage des GPL (S5)**

#### **3.3.1. Eléments et dispositifs de Sécurité [7] :**

- **Soupape jumelée PSV vers atmosphère :**

Installée sur la partie haute de la sphère, cette soupape s'ouvre pour chasser les gaz vers l'atmosphère lorsque la pression à l'intérieur de la sphère augmente jusqu'à 6,8 Kg/Cm ou encore dans le cas de surpression au niveau des lignes.

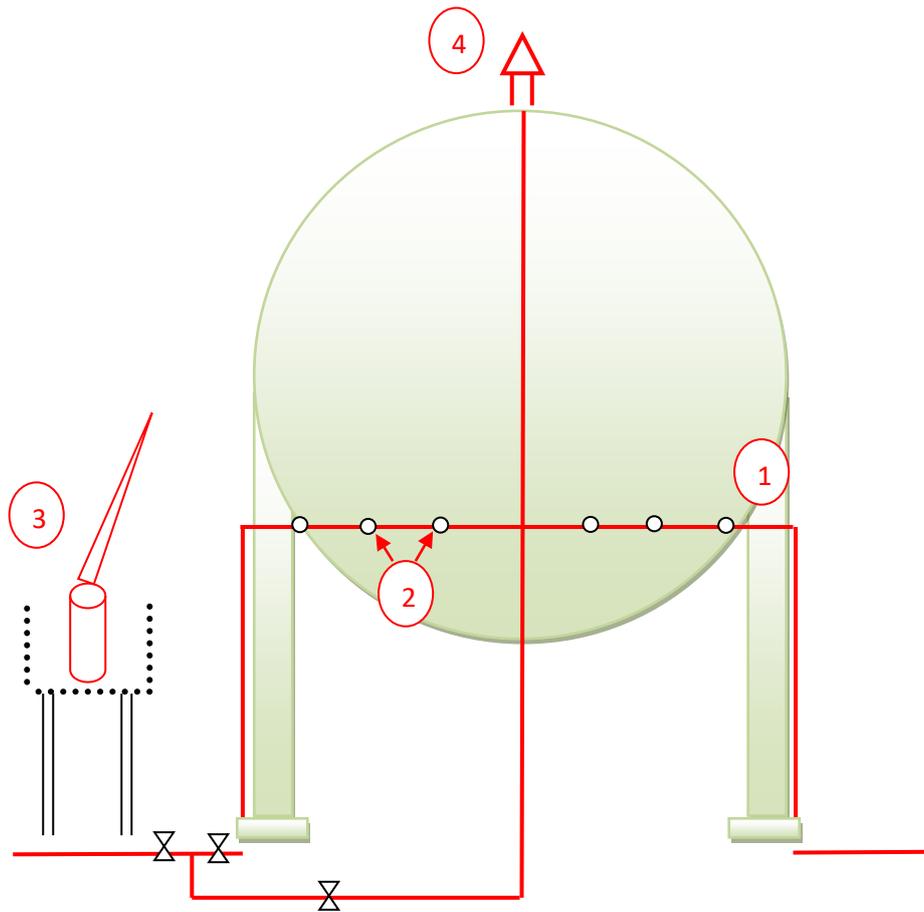
- **Système de refroidissement :**

1. Couronne de refroidissement sur la partie inférieure de la sphère,
2. Buses d'arrosage : des pulvérisateurs répartis sur la couronne d'arrosage permettent d'assurer un arrosage homogène sur la paroi basse de la sphère, assure un refroidissement par quadrillage,
3. Deux (02) lances monitors,
4. Système de déluge sur la partie supérieure de la sphère permet le refroidissement de sa partie supérieure.

Les éléments liés au système de sécurité de la sphère sont présentés dans les figures suivantes : 2.2.6 ; 2.2.7 et 2.2.9.

Il existe autres éléments de sécurité qui garantissent la protection du système tels que :

- Les prises d'eau,
- Trois (03) vannes motorisées liées à un circuit maillé (non exploitées jusqu'à maintenant),
- Les extincteurs à poudre/CO<sub>2</sub>,
- Lances monitor mobile,
- Camion de sécurité émulsif, émulsif/eau, à poudre.



- |   |  |
|---|--|
| 1 | : Couronne de refroidissement sur la partie inférieure de la sphère,         |
| 2 | : Buses d'arrosage : des pulvérisateurs répartis sur la couronne d'arrosage, |
| 3 | : Deux (02) lances monitors,   |
| 4 | : Système de déluge.   |
- X : Vanne pneumatique manuelle.

**Figure N°27 : Dispositif de refroidissement de la sphère (S5) des GPL.**

**Remarque 01:** Le système de refroidissement présenté dans le schéma 2.2.9 sert aussi à l'intervention, en plus des camions à poudre de sécurité, des différents extincteurs, rampe d'arrosage, réseau d'incendie maillé.

**Remarque 02 :** l'absence des couronnes d'arrosage en haut et au milieu de la sphère n'assure pas un arrosage homogène sur la paroi.

- **Des dispositions garantissent la sécurité des sphères :**

- **Contrôle journaliers des équipements**

Des contrôles journaliers des installations sont effectués par les inspecteurs de HSE et les inspecteurs du métal ainsi que les opérateurs en vue de vérifier le bon état des équipements et d'identifier les défaillances éventuelles.

- **Maintenance décennale des sphères GPL [8] :**

La maintenance décennale se réalise conformément aux exigences réglementaires régissant l'exploitation des appareils à pression de gaz (**Décret exécutif N° 90-245 du 18/08/1990 portant réglementation des appareils à pression de gaz**).

Les sphères des GPL de par leur rôle prépondérant dans le stockage des hydrocarbures et leurs paramètres opératoires (volume pression), sont soumises à la réglementation en vigueur en matière d'inspection et de test hydrostatique.

L'inspection a été réalisée par un organisme externe spécialisé :

- ✓ en 1971 comme première inspection effectuée avant le démarrage du fonctionnement de la sphère (S5),
- ✓ la deuxième inspection s'est déroulée en 1984,
- ✓ la dernière inspection a été réalisée en 06/2005 avec une pression d'épreuve de 10.2 bars,
- ✓ l'épreuve est à rééprouver avant 10/2014.

L'entretien décennal des sphères répond aux objectifs de :

- Sécurité du personnel.
- Préservation des installations.
- Continuité de production.

- **Contrôle des paramètres de fonctionnement :**

En règle générale, tous les paramètres de fonctionnement dont la dérive est susceptible d'engendrer un risque sont :

- mesurés.
- enregistrés dans un registre spécial.
- contrôlés par la présence d'alarmes dans la salle de contrôle et éventuellement de dispositifs de sécurité installés sur place.

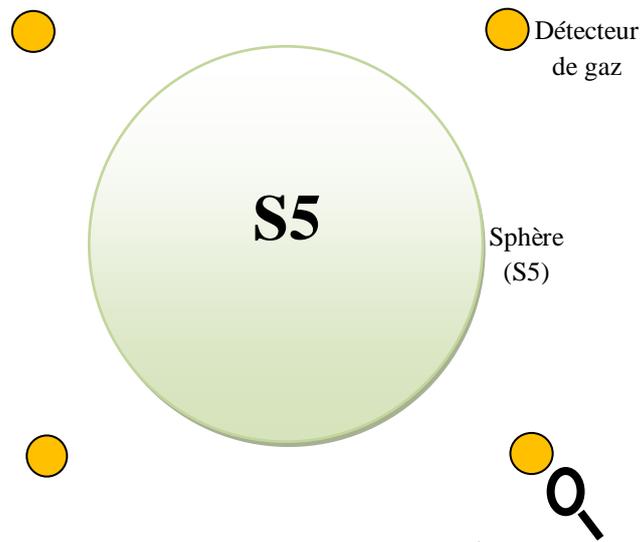
### **3.3.2. Alarmes et mise en sécurité de la zone de stockage GPL [7] :**

- Un réseau d'alarme permet à toute personne apercevant une situation anormale de déclencher l'alarme pour actionner le système de refroidissement des sphères.
  - ✓ 03 coups de sirène de 30 Secondes espacés de 3 secs : alarme incident.
  - ✓ 06 coups de sirène de 30 secondes espacés de 3 sec alertes : accident de grande ampleur, le directeur enclenche le PII.
  - ✓ 1 coup de sirène de continu de 60 secondes : fin d'alerte situation maîtrisée.

- Les 16 détecteurs de gaz, installés dans la zone de stockage des GPL dont 4 autour de la sphère (S5) sont capables de détecter très tôt une fuite des GPL. Ces détecteurs permet de détecter et d'agir au même temps (l'action d'agir n'est pas mise en œuvre à cause de l'inadéquation du système de fonctionnement des détecteurs et du système), ils sont reliés à la salle de contrôle et au système de surveillance de la centrale de sécurité.

Les indications des détecteurs de gaz sont comme suit [9] :

- ✓ 18 % LIE : première alarme
- ✓ 25 % LIE : deuxième alarme
- ✓ 30% LIE : troisième alarme



**Figure N°28 : Emplacement des détecteurs de gaz.**

Un zoom sur le détecteur de gaz -3- est présenté dans la figure suivante :



**Figure N°29 : Détecteur de gaz.**

## **Partie 01 : Analyse des risques par la méthode nœud papillon.**

### **1. Présentation de la méthode**

Le risque est une notion complexe, souvent explicitée sous la forme du couple probabilité/gravité.

Dans de nombreux secteurs d'activité, tels que l'industrie pétrolière, il est nécessaire d'évaluer les risques afin de pouvoir se prononcer sur leurs acceptabilités. Les notions de danger et de risque sont très souvent confondues, le risque étant toujours lié à l'existence d'un danger, ou d'une situation dangereuse. Pour les différencier, **il est possible de considérer que le danger est « réel » et le risque « potentiel ».**

Les installations pétrolières présentent, de par leurs activités, de nombreux dangers ; Citons par exemple, l'utilisation ou la synthèse de produits inflammables ou toxiques. Une de ses conséquences dangereuses est la perte de confinement qui peut, dans certains cas, aboutir à un accident se manifestant, respectivement, par l'incendie et/ou l'explosion, dans le cas d'un produit inflammable, et par la dispersion atmosphérique.

L'évaluation d'un risque nécessite de pouvoir estimer les deux composantes du couple probabilité/gravité. La gravité est habituellement estimée à l'aide de modélisation des phénomènes. C'est, entre autre, le cas pour les dispersions atmosphériques toxiques, les incendies, ou encore les explosions. L'estimation de la probabilité d'occurrence, pour les risques liés au raffinage, nécessite aujourd'hui d'avoir recours à des méthodologies utilisées depuis de nombreuses années.

L'objectif est de présenter une méthodologie d'analyse de risque quantifiée, dite méthode du « nœud papillon », qui résulte de la combinaison d'un arbre de défaillances et d'un arbre d'événements, centré sur un même événement redouté.

#### **Objectif**

Il est de visualiser concrètement des scénarios d'accidents qui pourraient survenir en partant des causes initiales de l'accident jusqu'aux conséquences au niveau des cibles identifiées. Le « nœud papillon » est une approche de type arborescente. Elle est utilisée dans différents secteurs industriels par des entreprises qui ont été à l'origine du développement ce type d'outils.

### **1.1 Généralités sur l'analyse des risques**

L'objectif de l'analyse des risques générique sert à guider dans la réalisation de l'analyse mais aucunement d'imposer des scénarios, des probabilités de phénomènes dangereux, ni d'en procurer une liste préétablie susceptibles de conduire à un accident majeur.

L'analyse des risques se compose de 3 étapes clés [10] :

**Première étape** : Identification des potentiels de dangers. Cette première phase a pour objectifs :

- d'identifier les produits présents à un moment donné sur le site, qui de part leurs caractéristiques physico-chimiques et leur mode de stockage ou de transfert, sont susceptibles de générer un accident majeur,
- d'identifier les équipements (réservoirs, canalisations...) susceptibles de contenir à un instant donné ces produits, et de caractériser la nature du risque associé,
- de positionner ces potentiels de dangers sur un plan du site.

**Deuxième étape** : Evaluation Préliminaire des Risques (EPR). Cette évaluation a pour objectif la construction des séquences accidentelles. L'identification de ces séquences nécessite au préalable l'analyse :

- de l'accidentologie,
- des risques liés à l'environnement du site (naturel, industriel, voies de communication..),
- et des risques d'origine interne au site, liés aux pertes d'utilité et aux phases de travaux et de maintenance.

**Troisième étape** : Analyse Détaillée des Risques (ADR) comprenant :

- l'évaluation de la performance des mesures de maîtrise des risques,
- la quantification de la probabilité et la gravité des différents phénomènes dangereux identifiés lors de l'EPR, en considérant les mesures de maîtrise des risques dans un deuxième temps,
- la détermination de la cinétique des phénomènes dangereux.

Un objectif majeur du travail est l'aide à démontrer la maîtrise du risque par la mise en œuvre de barrières de sécurité performantes et adaptées aux accidents majeurs potentiels identifiés.

Cette maîtrise doit assurer :

- La réduction du risque à la source,
- L'atteinte d'un niveau de risque acceptable,
- Mais aussi l'engagement d'un processus d'amélioration continue du niveau de maîtrise du risque.

Elle est obtenue en choisissant les barrières adaptées et en garantissant leur bon fonctionnement dans le temps.

## **1.2. La démarche de la méthode nœud papillon**

### **1.2.1 Construction des séquences accidentelles :**

A partir de l'identification et du positionnement des potentiels des dangers, un découpage fonctionnel et géographique des installations est effectué. Toutes les zones d'activité où des produits dangereux sont potentiellement présents sont indiquées. L'identification de l'ensemble des séquences accidentelles pouvant survenir au sein de la zone de stockage des GPL doit être réalisée.

Cette identification se déroule de la façon suivante [10] :

- Définition des événements redoutés centraux (ERC) en tenant compte, entre autre :
  - de l'accidentologie,
  - des agressions d'origine externe, des agressions d'origine interne.
  
- Définition, pour chaque événement redouté central (ERC), de ses causes et de ses conséquences par l'identification et description qualitative de toutes les mesures de prévention, de limitation et de protection qui sont mises en place.

Les éléments principaux présentés dans cette analyse générique sont les suivants :

- l'événement redouté central (ERC), cet événement étant pour l'essentiel, de perte de confinement (fuite des GPL).
- Un arbre des causes, un arbre d'événements.
- Un inventaire des phénomènes dangereux susceptibles d'être identifiés lors de l'analyse de risques.
- Des éléments permettant d'estimer une probabilité d'occurrence associée à l'événement redouté central et phénomènes dangereux.

Une **séquence accidentelle** peut être schématisée de façon élémentaire comme suit :

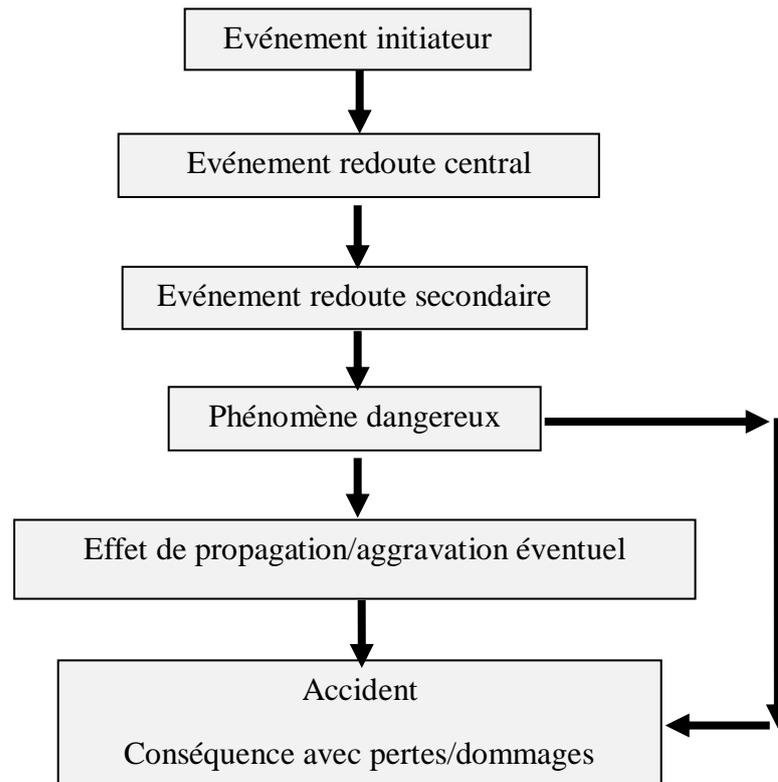


Figure N°30 : Schématisation des séquences accidentelles [10].

### 1.2.2 Approche quantitative via les événements redoutés centraux (ERC) :

La fréquence d'une séquence accidentelle est estimée à partir de la fréquence de l'événement redouté central (ERC) et non à partir de chacune des causes de l'ERC.

Ces probabilités sont issues :

- de bases de données,
- de groupes de travail internationaux,
- du retour d'expérience des installations similaires.

#### 1.2.2.1. Liste des événements redoutés centraux :

L'analyse accidentologique met également en évidence les événements redoutés centraux, consécutifs ci-après aux événements initiateurs décrits au paragraphe précédent :

- les fuites sur les canalisations (tuyauteries, brides, vannes, etc.),
- les fuites sur pompe,
- les pertes de confinement des sphères,
- les ruptures des sphères,
- les épandages au poste de chargement,
- ...

Ces événements redoutés centraux (ERC), peuvent se résumer en deux grandes catégories : fuite/débordement ou rupture.

**Tableau N°12 : Les événements redoutés centraux dans la zone GPL.**

<b>Fonction/emplacements géographique</b>	<b>Principaux équipements</b>	<b>Événement redoute central</b>
Poste de livraison (aval vanne d'interface dépôt-transporteur, y compris livraison inter-établissement)	Tuyauterie & accessoires	Fuite sur tuyauterie et accessoires (brides, vannes...).
Cheminement des canalisations hors cuvette de rétention	Tuyauterie & accessoires Bride Vanne	Fuite sur tuyauterie et accessoires (brides, vannes...).
Zone de stockage	Sphère Tuyauterie & accessoires Pompe	Fuite sur le réservoir et accessoires, perte de confinement de GPL. Fuite sur tuyauterie et accessoires (brides, vanne...). Fuite sur pompe.
Sphère de stockage	Réservoir Accessoires	Fuite sur de GPL (en liquide : partie inférieure, en vapeur partie supérieure). Fuite de GPL (liquide /vapeur).
Poste de chargement /camion	Camion Bras fixe	Fuite / débordement, Rupture ou désaccouplement, fuite.

**1.2.2.2. Analyse par arbre :**

Combinées entres-elles, les séquences accidentelles permettent d'élaborer une représentation arborescente des faits qui conduisent à l'accident.

Cette construction dont le point focal est l'événement redouté central utilise le principe de « nœud papillon ».

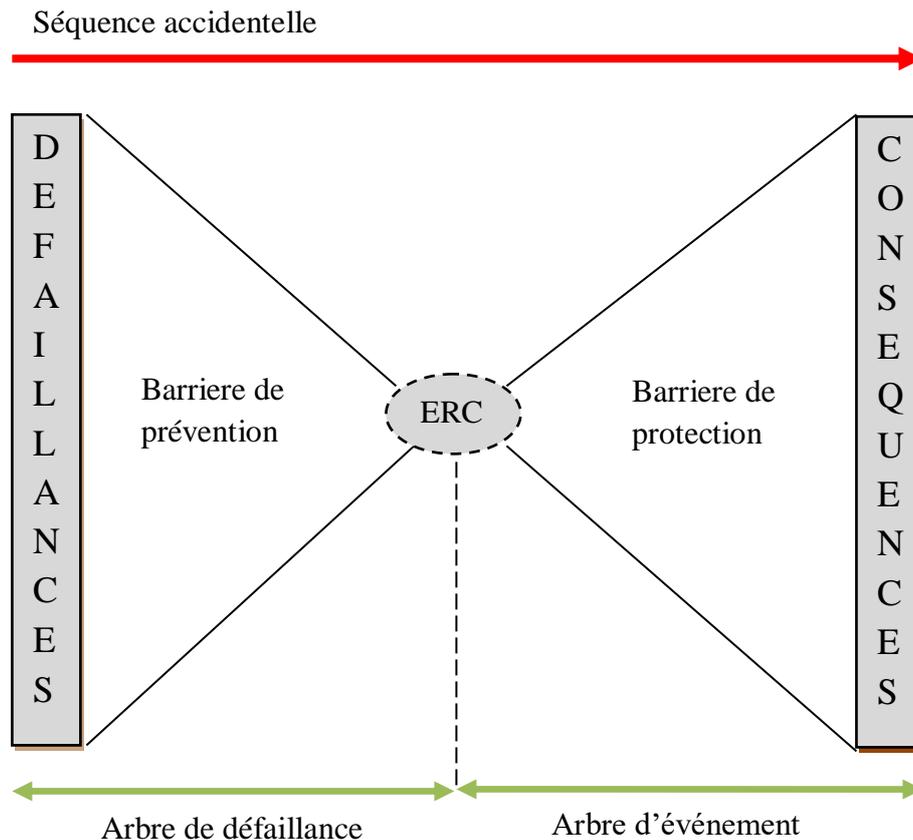


Figure N°31 : Arbre nœud papillon [10].

A partir de l'événement redouté central (ERC), une perte de confinement (liquide et/ou vapeur), nous distinguons :

⊕ **A gauche : un arbre des défaillances.** Il rassemble les événements initiateurs (EI) ou causes qui dans certaines conditions produisent l'événement redouté central. Ces causes sont multiples, mais conduisent toujours à la libération d'un danger ou d'une énergie. Elles peuvent être intrinsèques comme, par exemple, la corrosion ou l'érosion ; liées au procédé comme la surpression ou la dépression; en relation avec le facteur humain comme une erreur de manipulation ou une mauvaise utilisation ou imputable à une agression externe comme les conditions climatiques (neige, vent, séisme) ou un choc (collision).

L'arbre générique figure en application de la méthode sous l'appellation « arbres des défaillances ».

⊕ **A droite : un arbre des événements.** Il regroupe les conséquences auxquelles peut conduire un événement redouté central en fonction des conditions dans lesquelles il se produit et en fonction du taux de fiabilité ou de défaillance des barrières. Les événements

- ⊕ redoutés secondaires (ERS) comme les épandages (liquide) ou les nuages (gaz volatil) et les phénomènes dangereux associés (incendie, explosion, pollution, ...) avec leurs effets (flux thermique, surpression,...) font partie de cet arbre.

L'arbre générique figure en l'application de la méthode sous l'appellation « arbre d'événements ».

- ⊕ **Le Nœud Papillon** est un outil qui combine un arbre de défaillance et un arbre d'événement, dont il est présenté dans le schéma précédent.

Le nœud papillon s'inspirant directement des arbres des défaillances et d'évènement, il doit être élaboré avec les mêmes précautions. S'agissant d'un outil relativement lourd à mettre en place, son utilisation est généralement réservée à des évènements jugés particulièrement critiques.

Le chemin qui mène d'une cause à un phénomène dangereux (et ses effets associés) constitue une séquence accidentelle.

A chaque étape de la séquence accidentelle, des fonctions de sécurité (fig3.1.2) assurées par des barrières doivent être recherchées. Ces fonctions ont pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité.

Pour caractériser une fonction de sécurité, cinq verbes sont préférentiellement utilisés [11] :

■ **Eviter.**

Il s'agit de rendre un événement impossible. Cette fonction désigne généralement des (modifications profondes des installations, procédés intrinsèquement plus sûrs).

Autres verbes également utilisés : supprimer, empêcher.

■ **Prévenir.**

Il s'agit cette fois de limiter la probabilité d'occurrence d'un événement, sans toutefois pouvoir le rendre impossible.

■ **Détecter.**

Il s'agit de détecter un événement. Cette fonction seule ne suffit généralement pas à assurer la maîtrise de l'accident et doit être associée à d'autres fonctions comme contrôler ou limiter notamment.

■ **Contrôler.**

Il s'agit de maîtriser le déroulement d'une dérive afin de ramener le système dans un état opérationnel en sécurité.

Autres verbes également employés : traiter, contenir, maîtriser, récupérer.

■ **Limiter.**

La fonction « limiter » ou « réduire » consiste à agir sur les conséquences d'un évènement afin d'en réduire la gravité. Cette fonction s'applique au terme source de l'accident, autres verbes employés : protéger.

Les barrières positionnées sur les différentes branches sont placées de manière à empêcher que l'événement étudié ait les conséquences maximales redoutées.

Les barrières situées en amont de l'événement évitent ou réduisent son occurrence.

Les barrières situées en aval de l'événement redouté central en limitent les conséquences.

A gauche de l'évènement redouté central (ERC) les barrières sont dites de prévention, et à droite, de limitation ou de protection.

La sécurité repose sur trois (03) catégories de barrières de sécurité :

- Humaines,
- Techniques,
- Organisationnelles.

Les caractéristiques des barrières humaines et techniques sont le plus souvent indissociables des barrières organisationnelles qui, par nature, les régissent.

- **Les barrières humaines [12] :**

« Les barrières humaines de sécurité sont constituées d'une activité humaine qui s'oppose à l'enchaînement d'événements susceptibles d'aboutir à un accident. Lorsque la barrière est composée d'éléments techniques de sécurité entrant dans une chaîne de sécurité.

On distingue :

- Les barrières humaines directement associées aux actions réalisées par les exploitants des dépôts Pétroliers (ronde opérateur).
- Les systèmes à action manuelle de sécurité impliquant une intervention humaine sur des éléments techniques (opérateur qui agit sur un bouton d'urgence).

- **Les barrières techniques :**

Les barrières techniques de sécurité peuvent être de nature différente. Il peut s'agir de dispositifs de sécurité ou de systèmes instrumentés de sécurité :

- Les dispositifs de sécurité, classés en deux catégories :
  - 1) dispositif de sécurité passif : ne met en jeu aucun système mécanique pour remplir sa fonction (cuvette de rétention, mur coupe-feu...).
  - 2) dispositif de sécurité actif : met en jeu un système mécanique pour remplir seul sa fonction (soupape de décharge, clapet anti-retour, ...).
- Les systèmes instrumentés de sécurité qui sont des combinaisons d'éléments de détecteurs, de traitement, et d'actionneur ayant pour objectif de remplir une fonction ou une sous fonction de sécurité. Il nécessite une énergie extérieure.

Ils peuvent être :

- ✓ Simple, comme un détecteur d'alarme en liaison directe avec une vanne de sécurité.
- ✓ Complexe, comme un ensemble de détection passant par un automate (de sécurité) et générant une alarme.

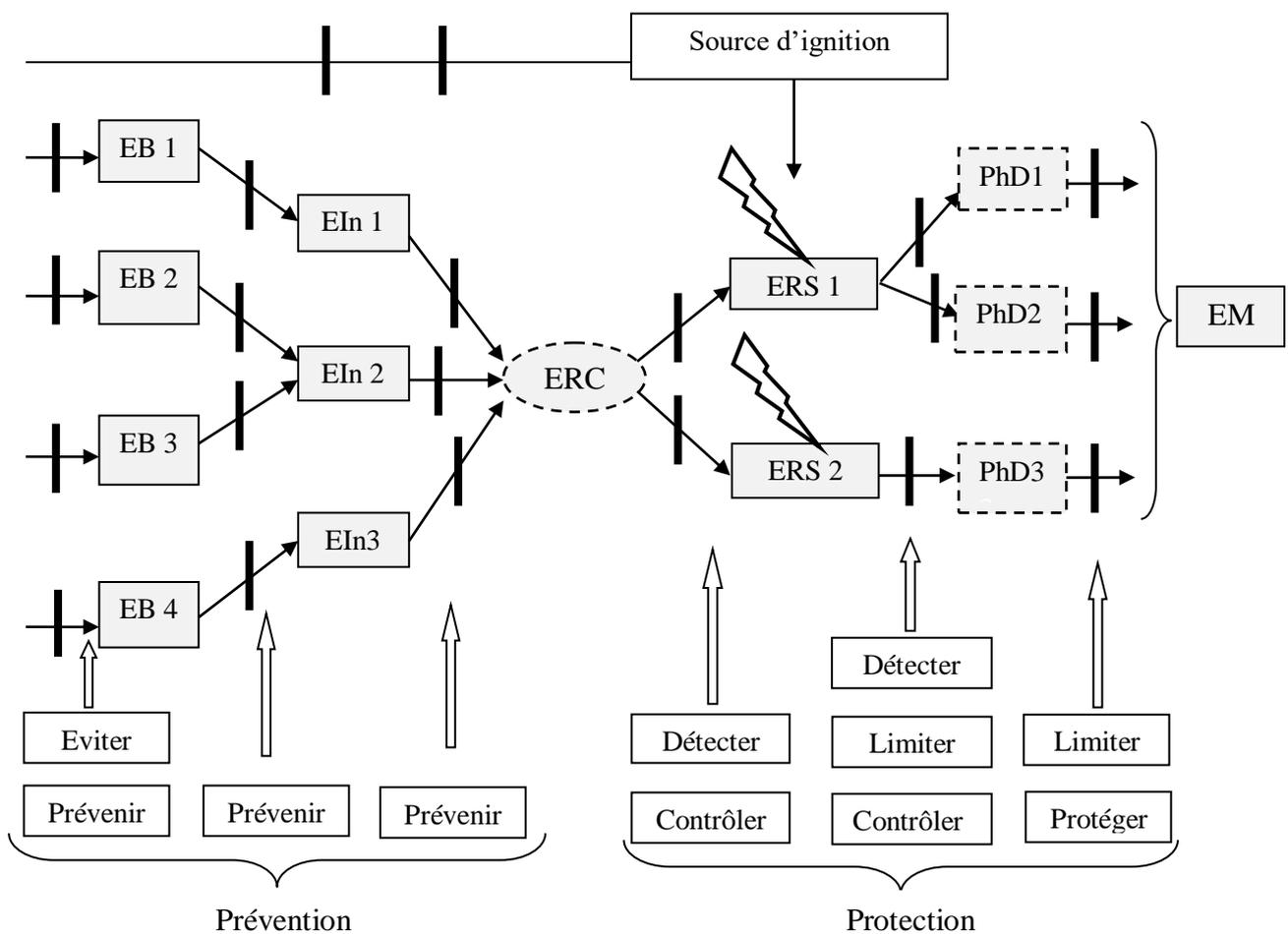
• **Les barrières organisationnelles :**

Les mesures organisationnelles permettent d'apprécier la performance des moyens techniques et humains à destination du processus et à destination de la sécurité.

Une mesure de maîtrise des risques est une barrière qui remplit une fonction de sécurité en respectant des critères de performance.

Le niveau de confiance (NC), permettant d'attribuer une fréquence de défaillance de la barrière, doit prendre en compte le maintien dans le temps de la performance initiale.

Le schéma ci dessous, présente et illustre un positionnement possible des différentes fonctions de sécurité par rapport à un Evénement Redouté Central (ERC), suivant le schéma conceptuel connu sous le nom de « nœud papillon ».



EB : Événement de Base.	EIn : Événement Intermédiaire.
ERC : Évènement Redouté Central.	ERS : Évènement Redouté Secondaire.
PhD : Phénomène Dangereux.	EM : Évènement Majeur.
: Barrière de défense	⊂ : Porte « ET ».
	⊃ : Porte « OU ».

Figure N°32 : Schéma conceptuel d'un nœud papillon.

**Fonctions de sécurité type :**

- Eviter ou prévenir une cause (EI).
- Prévenir une fuite, un débordement ou une rupture (ERC).
- Détecter et Contrôler un épandage, un nuage (ERS).
- Détecter, Limiter et Contrôler un phénomène dangereux (PhD).
- Protéger des effets et/ou limiter les effets liés au phénomène dangereux (PhD).

**Définitions :**

**Événement Initiateur (EI)** « Événement, courant ou anormal, interne ou externe au système, situé en amont de l'événement redouté central dans l'enchaînement causal et qui constitue une cause directe dans les cas simples ou une combinaison d'événements à l'origine de cette cause directe. Dans la représentation en « nœud papillon » cet événement est situé à l'extrémité gauche. »

Pour mémoire, les événements initiateurs peuvent être des événements dits indésirables (dysfonctionnements, dérives internes ou agressions externes) ou des événements courants.

**Événement Redouté Central (ERC)** « Événement conventionnellement défini, dans le cadre d'une analyse de risques, au centre de l'enchaînement accidentel. Généralement, il s'agit d'une perte de confinement pour les fluides et d'une perte d'intégrité physique pour les solides. »

L'événement redouté central (ERC) est à ce titre le plus souvent au centre de la représentation dite du « nœud papillon ».

**Événement Intermédiaire (EIn)** Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.

**Événement de Base (EB)** Événement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.

**Événement Redouté Secondaire (ERS)** Conséquence directe de l'événement redouté central, l'événement redouté secondaire caractérise le terme source de l'accident

**Phénomène Dangereux (PhD)** Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs

**Événement Majeur (EM)** Dommages occasionnés au niveau des cibles (personnes, environnement ou biens) par les effets d'un phénomène dangereux

**Niveau de confiance (NC)** Le niveau de confiance est la classe de probabilité pour qu'une barrière, dans son environnement d'utilisation, n'assure plus la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie. Cette classe de probabilité est déterminée pour une efficacité et un temps de réponse donnés.

**Barrière de prévention** Barrières ou mesures visant à prévenir ou de limiter l’occurrence de l’événement redouté.

**Barrière de protection** Barrières ou mesures visant à diminuer les conséquences des événements redouté.

**1.2.2.3 Inventaire des phénomènes dangereux :**

Le tableau ci-dessous présente pour chaque emplacement les phénomènes dangereux à prendre en compte dans une analyse/évaluation du risque. La prise en compte des caractéristiques propres aux produits détermine les phénomènes dangereux à considérer (tableaux dans la partie ci-après consacrée à la modélisation des phénomènes). Ces derniers sont toujours à examiner en fonction du contexte local et font l'objet des arbres « causes-événements ».

**Tableau N°13 : Les phénomènes dangereux selon l’emplacement géographique.**

<b>Emplacements géographique</b>	<b>Phénomènes dangereux</b>
Poste de livraison par canalisation.	Fuite enflammée. Feu de nappe. Flash fire. UVCE. Pollution.
Poste de déchargement/camion.	Fuite enflammée. Feu de nappe. Flash fire. UVCE. explosion de ciel gazeux. Pollution.
Cheminement des canalisations/tuyauteries hors-cuvette.	Fuite enflammée. Feu de nappe. Flash fire. UVCE. Pollution.
Cuvette.	Feu de nappe. Pollution. Flash fire. UVCE.
Sphères.	Feu de nappe. UVCE. Flash fire. Fuite non enflammée. Feu localise. BLEVE. Fuite contrôlée.

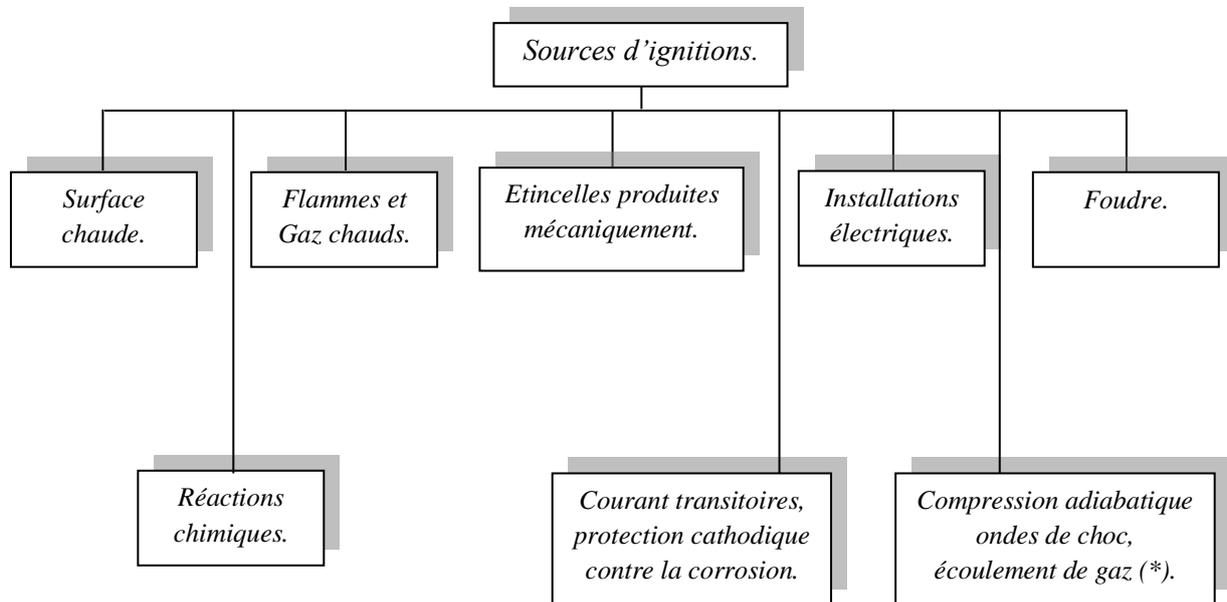
**1.2.2.4 Identification des sources d'ignition des GPL :**

On distingue 13 types de source d'inflammation :

- ◆ Surface chaude,
- ◆ Flamme et gaz chaud,
- ◆ Etincelles produites mécaniquement,
- ◆ Installations électriques,
- ◆ Courant transitoire, protection cathodique contre la corrosion,
- ◆ Electricité statique,
- ◆ Foudre,
- ◆ Ondes électromagnétiques,
- ◆ Rayonnement ionisant,
- ◆ Ultrasons,
- ◆ Compression adiabatique, onde de choc, écoulement de gaz,
- ◆ Réaction chimique.

**Tableau N°14 : de principales sources d'ignition.**

Type	Sources d'ignition
Installations électriques	- Défaillance des câbles électriques. - Défaillance dans l'instrumentation. - Perte de propriété ATEX des détecteurs de gaz. - Perte de propriété ATEX de l'éclairage. - Défaillance de la mise à la terre.
Surface chaude	- Echappement de la turbine à gaz. - Aéro-réfrigérants de l'huile de graissage turbocompresseur. - Circulation d'engin et de véhicules de travail.
Flamme et gaz chaud	- Gaz brûlée d'échappement de la turbine à gaz. - Gaz chaud d'échappement des engins et véhicules de travail.
Etincelles produites mécaniquement	- Chute accidentelle des outillages mécaniques. - Desserrage par l'utilisation de marteau. - Utilisation des matériaux non anti-étincelants.
Electricité statique	- Décharge d'un composant de la sphère et défaillance de la mise à la terre.
Foudre	- Foudre pendant les orages.
Ondes électromagnétiques	- Utilisation du portable pendant les rondes « erreur humaine ».



**Figures N°33 : Sources d'ignitions.**

### **Partie 02 : Application de la méthode sur la sphère (S5)**

La méthode nœud papillon utilisée dans notre travail, est une petite étude réalisée après une consultation et participation des exploitants de la zone GPL du site RA1G.

Les résultats de l'analyse sont présentés sous forme de tableaux relatifs à chaque dérive.

L'application de la méthode nœud papillon sur la sphère de stockage GPL (S5), est réalisée en considérant les paramètres d'exploitation suivants:

- Niveau.
- Pression.
- Température.

Donc, il est primordial d'évaluer les risques liés à ces paramètres pour maîtriser les risques liés au stockage GPL.

**2.1 Détermination du niveau de risque [13]**

Le niveau de risque est défini de longue date par une grandeur à deux dimensions associée à une phase précise de l'activité de l'installation à étudier et caractérisant un événement indésirable par :

- **Le niveau de gravité :** évaluation des dommages potentiels aux personnes (léthalité, blessures irréversibles) et des dégâts aux équipements (biens internes et externes à l'entreprise).
- **Le niveau de probabilité :** estimation de sa probabilité d'occurrence.

Les critères de définition des niveaux de risque sont établis par l'UFIP (Union Française des Industries Pétrolière).

**2.1.1 Détermination du niveau de gravité :**

L'analyse des risques peut être réalisée :

- au niveau de la conception des installations
- lors de la modification d'une installation existante
- lors de la définition de programmes de maintenance
- dans l'analyse des conséquences potentielles d'un accident

Plusieurs niveaux de gravité peuvent être définis, ils évoluent :

- suivant les pays, les sociétés.
- avec le temps et l'évolution des technologies.

Ainsi, le niveau de gravité peut varier d'une analyse de risque à l'autre, d'une industrie à l'autre.

- Niveau de gravité :

**Tableau N°15 : Niveau de gravité .[13]**

Niveau de gravité des conséquences	Effets létaux significatifs	Effets létaux	Effets irréversibles sur humain
Désastreux	Plus de 10 personnes	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personnes exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Pas de zone de léthalité		Présence humaine exposée a des effets irréversibles sur la vie humaine

**2.1.2 Détermination du niveau de probabilité :**

Les sources de probabilités d'occurrence d'un événement peuvent être déterminées de différentes manières (qualitatives, quantitatives, semi-quantitatives) en faisant appel à :

- l'expérience de l'industriel, d'un grand groupe, d'unions patronales, etc.
- des banques de données.
- l'avis d'expert.
- la réglementation.
- la combinaison entre ces sources.

- Niveau de probabilité :

L'événement redouté central (ERC) considéré est caractérisé par des niveaux de probabilité répartis sur une échelle de 1 à 5, basés sur une évaluation de l'occurrence, établis à partir de références accidentologiques.

**Tableau N°16 : Critères d'évaluation des niveaux de probabilité .[13]**

<b>Indice de fréquence</b>	<b>Définition</b>	<b>Probabilité d'occurrence</b>
1	Événement très peu probable	- Inférieur a $10^{-10}$ /h. - Moins d'une fois tous les 1 141 millénaires.
2	Événement extrêmement rare	- Comprise entre $10^{-10}$ /h et $10^{-8}$ /h. - Au plus une fois tous les 114 siècles.
3	Événement rare	- Comprise entre $10^{-8}$ /h et $10^{-6}$ /h. - Au plus une fois tous les 114 ans.
4	Événement possible mais peu fréquent	- Comprise entre $10^{-6}$ /h et $10^{-4}$ /h. - Au plus une fois tous les 14 mois.
5	Événement fréquent	- Supérieure a $10^{-4}$ /h. - Plus d'une fois tous les 14 mois.

- Probabilité des phénomènes dangereux :

La probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et accidents potentiels, est positionnée sur une échelle de cinq (05) classes.

Tableau N°17 : Cotation de la fréquence .[14]

Classe de probabilité / Type d'appréciation	E	D	C	B	A
<b>Qualitative</b>	Événement possible mais extrêmement peu probable	Événement très improbable	Événement improbable	Événement probable	Événement courant
<b>Semi-quantitative classe de probabilité (de 1 à 5)</b>	5 $10^{-9}h$	4 $10^{-8}h$	3 $10^{-7}h$	2 $10^{-6}h$	1
<b>Quantitative (par unité et par heure)</b>	$10^{-9}/h$	$10^{-8}/h$	$10^{-7}/h$	$10^{-6}/h$	

Les risques considérés vont être caractérisés par un niveau de probabilité quantitatif.

**Niveau 1 : événement courant :** Il y correspond en termes quantifiés une probabilité d'occurrence comprise entre  $10^{-5}$  et  $10^{-6}$  par heure.

**Niveau 2 : événement probable :** Il y correspond en termes quantifiés une probabilité d'occurrence comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-7}$  par heure.

**Niveau 3 : événement improbable :** Il y correspond en termes quantifiés une probabilité d'occurrence comprise entre  $10^{-7}$  et  $10^{-8}$  par heure.

**Niveau 4 : événement très improbable :** Il y correspond en termes quantifiés une probabilité d'occurrence comprise entre  $10^{-8}$  et  $10^{-9}$  par heure.

**Niveau 5 : événement possible mais extrêmement peut probable :** Il y correspond en termes quantifiés une probabilité d'occurrence inférieure à  $10^{-9}$  par heure.

**2.2 Evaluation quantitative des causes et des conséquences de l'évènement redouté central (ERC)**

L'analyse est appliquée sur la sphère (S5), située dans la zone de stockage sous pression GPL au niveau de RA1G considéré comme le point le plus sensible à risque majorant. L'étude est axée sur la sphère de stockage GPL (S5) pour laquelle les déviations significatives des paramètres d'exploitation (niveau, pression, et température) génèrent des risques altérant la sécurité de l'installation.

**2.2.1 Evaluation quantitative de l'arbre de défaillance :**

L'évènement redouté centrale (ERC) retenu est une fuite des GPL. La caractérisation et la quantification de cet évènement constitue l'une des difficultés de l'étude.

L'analyse par l'arbre de défaillance a permis de recenser les points faibles susceptibles de conduire à une fuite de GPL (conduites, piquages, brides, vannes...) et les fréquences d'occurrence des causes possibles en se basant sur les événements initiateurs et les barrières de défenses mises en place pour la réduction de l'évènement redouté central (ERC) basées sur des données, issus des retours d'expériences internationalement reconnus.

**• Banque de donnée :**

Il existe différentes banques disponibles dans la littérature et/ou établies par des groupes de travail, les plus connus :

- La base de données OREDA (Offshore Reliability Database) distribuée par Det Norske Veritas (DNV) : Philips, Statoil, Norsk Hydro, Total, BP, Exxon, etc.
- L'UFIP (Union Française des Industries Pétrolières),
- L'INERIS (Institut national de l'environnement industriel et des risques).

**Tableaux d'évaluation des taux et des probabilités de défaillance :**

**Tableau N°18 : Estimation des probabilités de défaillance d'équipements classiques.**

<b>Défaillance des équipements</b>	<b>Taux de défaillance /heure</b>	<b>Indice de fréquence</b>
Rupture dans la conduite	$5 \times 10^{-5}$	4
Echec de pompe	1	5
Défaillance de vanne	$1 \times 10^{-8}$	3
Rupture du joint de vannes	$1 \times 10^{-8}$	3
Soupape ne s'ouvre pas	$1 \times 10^{-5}$	4
Soupape ne se ferme pas	$1 \times 10^{-5}$	4
Défaillance de capteur de niveau	$1.5 \times 10^{-5}$	4
Défaillance de l'alarme	$10^{-5}$	4
Défaillance de la bride	$1 \times 10^{-8}$	3
Rupture de la ligne de prise d'échantillon	$5 \times 10^{-9}$	2
Fatigue du métal	$10^{-5}/h$ à $10^{-4}$	4
Défaillance de compresseur	$3.6 \times 10^{-5}$	4
Défaillance de capteur de pression	$1.1 \times 10^{-5}$	4

Taux de défaillance = Nombre de défaillance / heure.

**Tableau N°19 : Estimation des probabilités d'événements indésirables.**

Événement		Taux de défaillances/heure	Indice de fréquence
Enceintes sous pression	Rupture brusque	$10^{-9}$ à $10^{-8}$	2
Circuit sous pression	Rupture brusque	$10^{-8}$	3
Pompe (GPL)	Défaillance catastrophique de pompe	$10^{-8}$	3
Remplissage (GPL)	Rejet de gaz	$5 \times 10^{-8}$	3
Missiles	Création de missile après explosion	$10^{-5}$	4
Incendie	Grave incendie	$10^{-5}$	4
Incendie	Rapidement maîtrisé	$0.5 \times 10^{-4}$	5
UVCE	Explosion	$10^{-7}$	3

**Tableau N°20 : Estimation des probabilités d'erreurs humaines.**

Activité	Erreur par opération /heure	Indice de fréquence
Erreur d'observation	$5 \times 10^{-2}$	5
Erreur de maintenance (humaine)	$10^{-2}$	5
Erreur d'inspection	$5 \times 10^{-1}$	5
Non respect de l'ordre d'ouverture de vanne	$10^{-2}$	5
Perte de contrôle de pression	$3 \times 10^{-3}$	5
Opération exceptionnelle	$10^{-2}$	5
Non observation d'une alarme sonore	$3 \times 10^{-4}$	5
Tache de routine critique	$10^{-3}$	5

**Remarque :** la probabilité d'occurrence de l'erreur humaine par opération, liée à l'activité humaine représente une fréquence de plus tous les 14 mois (IF = 5).

### 2.2.1.1 Différentes barrières de préventions existantes sur le site de GPL :

Le tableau ci-dessous représente les fonctions de sécurité assurées par les barrières techniques, organisationnelles et humaines.

**Tableau N°21 : Barrières techniques existantes.**

N°	Barrière technique	Fonction de sécurité assurée
01	Alarme de niveau	Prévenir d'une montée ou diminution du niveau du produit liquide dans la sphère
02	Soupape de sécurité	Mise en sécurité automatique lors d'une montée de pression brusque
03	Maintenance des équipements préventive	Ensemble des opérations d'entretien, vérification et réparation préventive des équipements
04	Mise à la terre	Relier une prise de terre à un fil conducteur prévient des pannes électriques
05	Dispositif de refroidissement	Couronne d'arrosage sert à refroidir la partie inférieure de la sphère Un chapeau chinois sert à refroidir la partie supérieure de la sphère
06	Indicateur de pression	Prévenir d'une montée de pression dans la sphère
07	Vanne de sectionnement	Vannes d'urgence en cas de défaillance non prévue sur les vannes habituelles
08	Protection contre corrosion	Protection cathodique : canalisation enterrée etc. Revêtements de protection : peinture...
09	Les événements	Sert à l'évacuation des gaz associés à des vapeurs
10	Paratonnerre	Destiné à préserver les équipements des effets de la foudre
11	Détecteur de niveau	Prévenir la quantité du contenu dans la sphère
12	Détecteur de température	Prévenir d'une montée de température dans la sphère

**Tableau N°22 : Barrières organisationnelles existantes.**

N°	Barrière organisationnelles	Fonction de sécurité assurée
01	Procédure opératoire	Procédure de prise d'échantillon de démarrage ou d'installation, étalonnage d'un appareil.
02	Permis de travail	Document délivré par le HSE qui constitue une autorisation officielle
03	Plan d'arrêt	ajustement de paramètre sur équipements de production, de sécurité, évacuation ou appel service de secours. Réponse à une urgence non prévue

**Tableau N°23 : Barrières humaines existantes.**

N°	Barrières	Fonction de sécurité assurée
01	Formation et sensibilisation	Destiné à susciter l'intérêt et éveiller l'intention des travailleurs
02	Opération normale	Etape des processus opératoires de routine
03	Inspection préventive	opération de contrôle, de vérification ou de surveillance effectuée par les inspecteurs sur le terrain pour détecter et prévenir les corrosions les érosions, fissuration

**Tableau N°24 : Barrières à renforcer.**

N°	Barrières	Fonction de sécurité assurée
01	Formation et sensibilisation	Renforcer les formations adéquates selon le besoin.
02	Inspection préventive	Renforcer les rondes et les inspections par des agents qualifiés des procédures et des compte- rendus.
03	Opération normale	Assurer un meilleur déroulement par de meilleure formation adéquate et meilleure affectation.
04	Coordination, communication	Conjonction dans le travail et meilleure entente
05	Implication du personnel et résolution des conflits	Donner un sens à son travail pour un bon sens de responsabilité par motivation du personnel, dans un milieu sain.
06	Distribution des rôles et responsabilités	Affecter le bon poste à la bonne personne permet une meilleure hiérarchisation.
07	Suivi et contrôle	Par des évaluations des compétences du personnel et la qualité des formations.
08	Renforcement du personnel	À fin de soulever la charge et la pression sur les opérateurs.

- Visant à augmenter la sécurité des installations un renforcement de barrières est nécessaire, ce renforcement est dans le souci d'éviter que les barrières de prévention techniques ou organisationnelles soient affaiblies par des défaillances humaines qui peuvent être associés à :

- Formations inadéquates.
- Manque d'expérience.
- Non qualification liée à :
  - ✓ L'évaluation des risques faites en amont, lors de la préparation puis lors de la mise en place (réunion de préparation, contrôle des installations avant intervention).
  - ✓ L'incapacité de détection du danger et la mauvaise coopération pour une activité de récupération de la situation (évacuation, arrêt du processus, fermeture de vannes...).
- Erreur de routine (omission, inversion, répétition, inattention).
- Erreur de connaissance (simplification excessive, sur confiance).

#### **2.2.1.2 Niveau de confiance des barrières de prévention :[10]**

Selon le type de dispositif (simple ou complexe), le niveau de confiance est obtenu en fonction du taux de défaillance sûre du dispositif et sa tolérance à la défaillance (liée notamment à la redondance des éléments).

Les mesures organisationnelles permettent d'apprécier la performance des moyens techniques et humains à destination du processus et à destination de la sécurité.

Le niveau de confiance allant de « 1 à 5 et plus » indique de façon croissante la capacité et la performance des barrières à remplir leurs fonctions de sécurité.



**Figure N°34 : Estimation du niveau de confiance.**

**Remarque :** Le niveau de confiance est établi par les groupes de travail cité auparavant.

- **Tableau N°25 : Niveau de confiance des barrières Techniques.**

N°	Barrières techniques	Niveau de confiance
01	Alarme de niveau	2
02	Soupape de sécurité	2
03	Maintenance des équipements préventive	1
04	Mise à la terre	2
05	Dispositif de refroidissement	2
06	Détecteur de pression	3
07	Vanne de sécurité	1
08	Protection contre corrosion	3
09	Les événements	-
10	Paratonnerre	-
11	Détecteur de niveau	3
12	Détecteur de température	3

- **Tableau N°26 : Niveau de confiance des barrières organisationnelles.**

N°	Barrières organisationnelles	Niveau de confiance
01	Procédure opératoire	2
02	Permis de travail	3
03	Plan d'arrêt	1

- **Tableau N°27 : Barrières humaines.**

N°	Barrières humaines	Niveau de confiance
01	Formation et sensibilisation	1
02	Opération normale	2
03	Inspection préventive	2

**2.2.1.3. Evaluation des barrières de prévention au niveau de la zone de stockage des GPL :**

Les barrières de prévention modifient la probabilité d'apparition de l'événement redouté central (ERC) « fuite de GPL » dans une zone de stockage assez complexe.

L'évaluation de ces barrières de défense repose sur trois critères :

- L'efficacité : la capacité de la barrière à remplir la fonction de sécurité.
- Temps de réponse : durée nécessaire pour que la barrière de prévention accomplisse sa fonction.
- Niveau de confiance : classe de performance d'une barrière de prévention liée à sa probabilité de ne pas remplir sa fonction de sécurité.

Selon les critères définis plus haut, chaque barrière est créditée d'un niveau de confiance en fonction de sa probabilité de défaillance par unité de temps. Chaque niveau de confiance correspond à un facteur de réduction de la probabilité d'occurrence de l'événement redouté, donc du risque.

**2.2.1.4. Estimation de la probabilité de l'événement redouté central (ERC) :**

La probabilité de l'événement redouté central « fuite des GPL » est une combinaison entre la fréquence de la défaillance des équipements et le niveau de confiance des barrières de défense.

$$\text{Prob.ERC} = \text{IF}_{\text{EI}} * \sum \text{NC}$$

En suivant la logique du tableau ci-dessous :

**Tableau N°28 : Indice de probabilité de l'événement redouté central.**

$\sum \text{NC}$ \ IF <sub>EI</sub>	1	2	3	4	5
<b>5 et plus</b>	E	D	C	B	A
<b>4</b>	D	C	B	A	A
<b>3</b>	C	B	A	A	A
<b>2</b>	B	A	A	A	A
<b>1</b>	A	A	A	A	A

**IF** : indice de fréquence des événements initiateurs.

**NC** : niveau de confiance des barrières de défense.

**A** : « **Événement courant** » : s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives.

**B** : « **Événement probable** » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation.

**C** : « **Événement improbable** » : un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles

corrections intervenues depuis, apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.

**D : « Événement très improbable »** : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.

**E : « Événement possible mais extrêmement peu probable »** : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations.

#### **2.2.1.5 Imbrication des événements de l'arbre de défaillance :**

L'Analyse qualitative permet de déterminer les faiblesses du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la fiabilité du système. La recherche des éléments les plus critiques est faite en déterminant les chemins qui conduisent à l'événement redouté central (ERC). Ces chemins critiques représentent des scénarios qui sont analysés en fonction des différentes modifications qu'il est possible d'apporter au système. L'analyse des scénarios qui conduisent à l'événement redouté central (ERC) se fait à partir de l'arbre de défaillances, dont la disposition des barrières de sécurité est présentée pour appréhender le risque d'une perte de confinement.

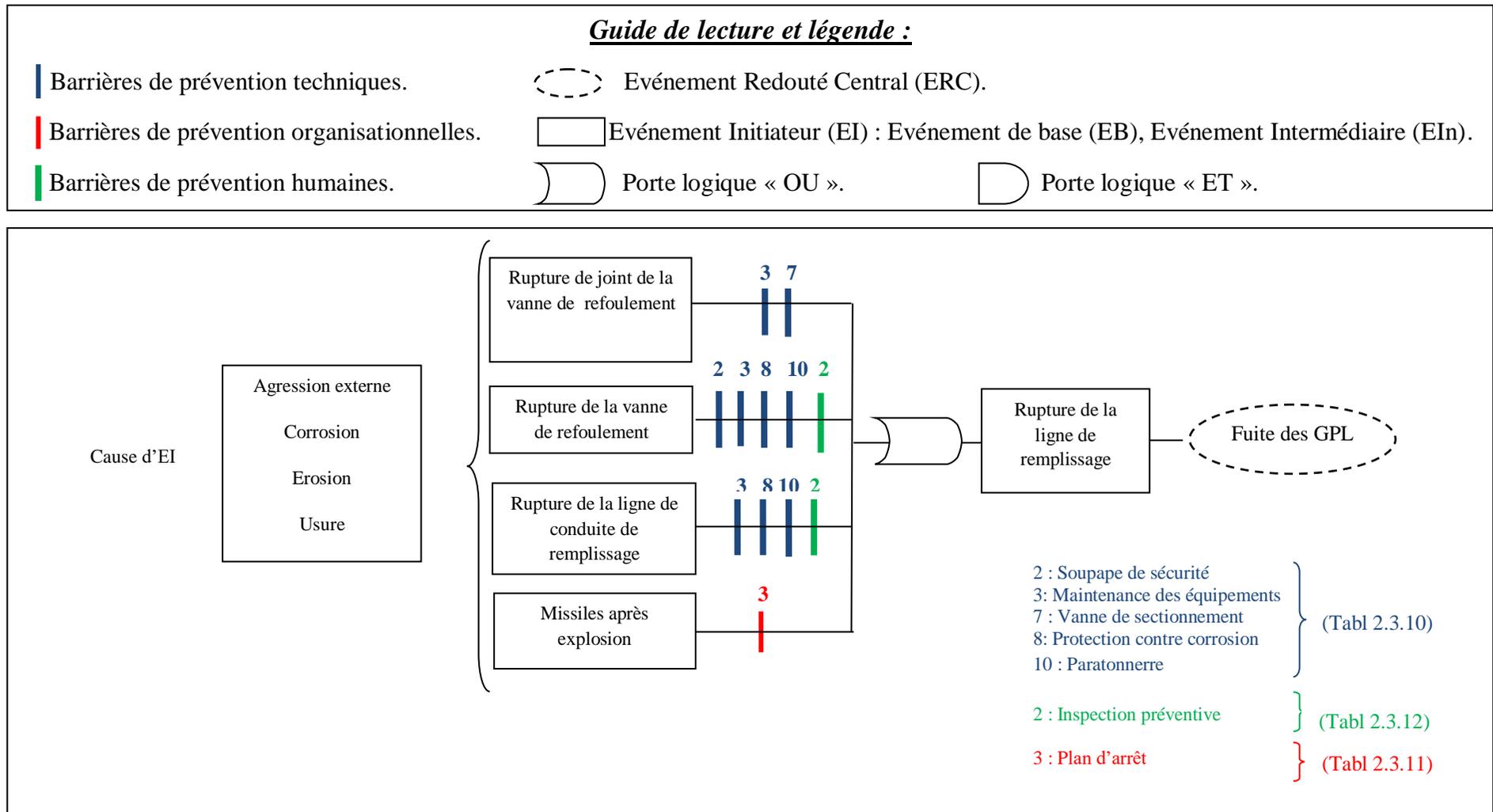
Visant à déterminer l'enchaînement et les combinaisons d'évènements pouvant conduire à une perte de confinement modélisée dans notre étude à une fuite de GPL au niveau de la sphère (S5) prise comme événement redouté central (ERC), l'arbre de défaillance est sous forme de processus décrivant l'enchaînement des événements initiateurs (EI) en amont de l'événement redouté central (ERC).

Par ailleurs, un code de couleurs a été utilisé (voir ci-dessous). Pour les barrières de sécurité, des repères numériques ont été placés. Chaque barrière placée sur la branche d'un arbre contribue à limiter la probabilité d'occurrence du ou des événements situés en amont dans la séquence d'événements.

Les chiffres apparus dans les figures : 3.1.6 (a-j) sont représentées sur la liste complète des barrières de prévention humaines, technique et organisationnelle figurant dans les tableaux suivants : 3.1.14 ; 3.1.15 et 3.1.16 (avec les références des chiffres).

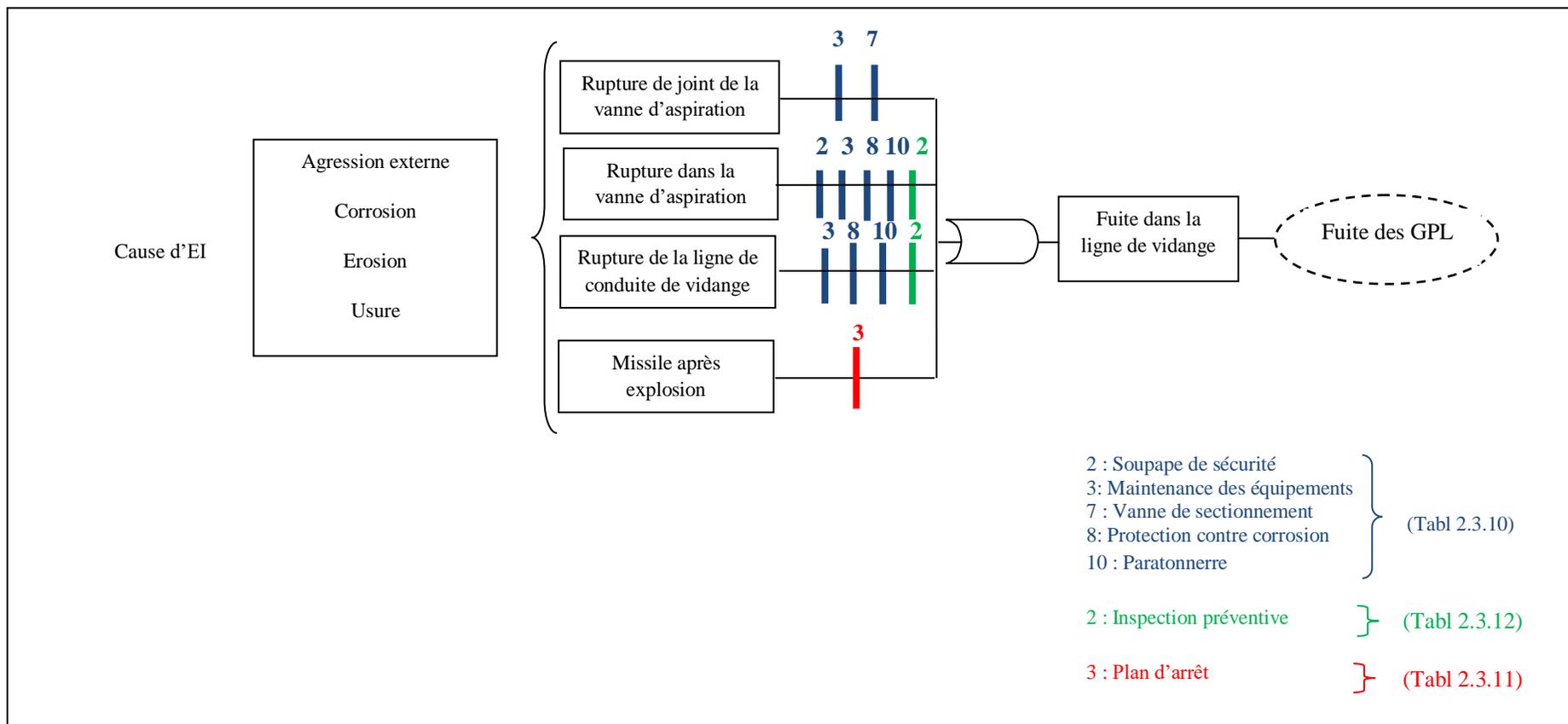
#### **3.2.1.6 Estimation de la probabilité d'apparition de l'événement redouté central :**

Les tableaux 3.1.18 (a-d) représentent l'estimation de la probabilité d'apparition de l'événement redouté central (ERC) selon la méthode de calcul représenté auparavant en partant des différents scénarios schématisé précédemment.



**Figure N°35 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture de la ligne de remplissage (EIn).**

- Des agressions externes, corrosion/érosion ou usure peuvent provoquer de rupture de ligne de remplissage, par conséquent une fuite des GPL.
- Des barrières installées sur place pour appréhender la fuite des GPL (ERC).



**Figure N°36 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une fuite dans la ligne de vidange (EIn).**

- Des agressions externes, corrosion/érosion ou usure peuvent provoquer de rupture de ligne de remplissage, par conséquent une fuite des GPL.
- Des barrières installées sur place pour appréhender la fuite des GPL.

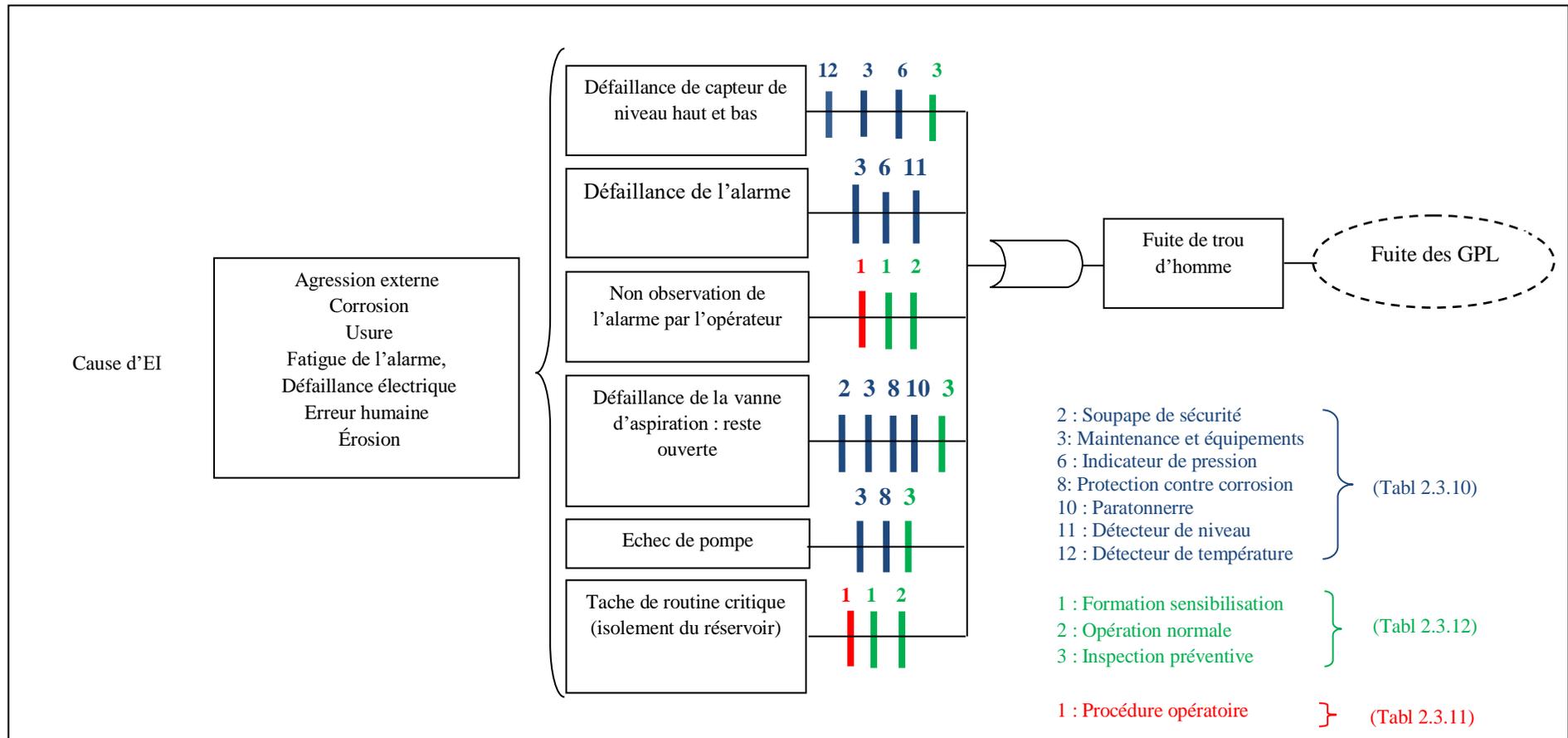
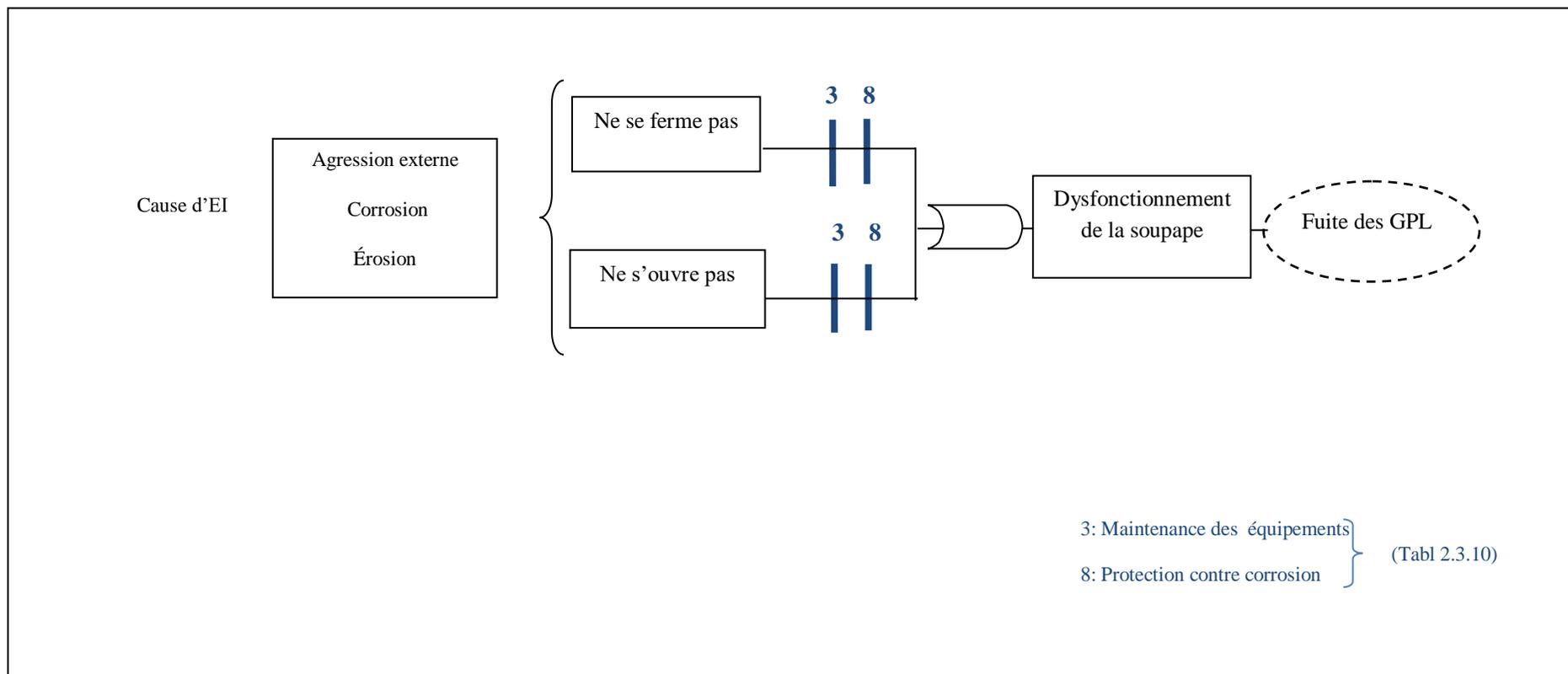


Figure N°37 : Scénario d'apparition d'une fuite de GPL (ERC), engendré par une fuite de trou d'homme (EIn).

- Des fuites de trous d'homme (EIn) peut peuvent être entraîné par diverses causes (EB) et des défaillances techniques ou humaines (EI) et conduire donc à une fuite des GPL.
- Des barrières technique, organisationnelle, et humaine sont mises en place pour appréhender l'événement redouté central.



**Figure N°38 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par le dysfonctionnement de la soupape (EIn).**

- L'agression externe, corrosion ou érosion peuvent causés un dysfonctionnement de la soupape (EIn), alors une fuite des GPL (ERC).
- Des barrières technologiques sont mises en place pour éviter l'événement redouté central (ERC).

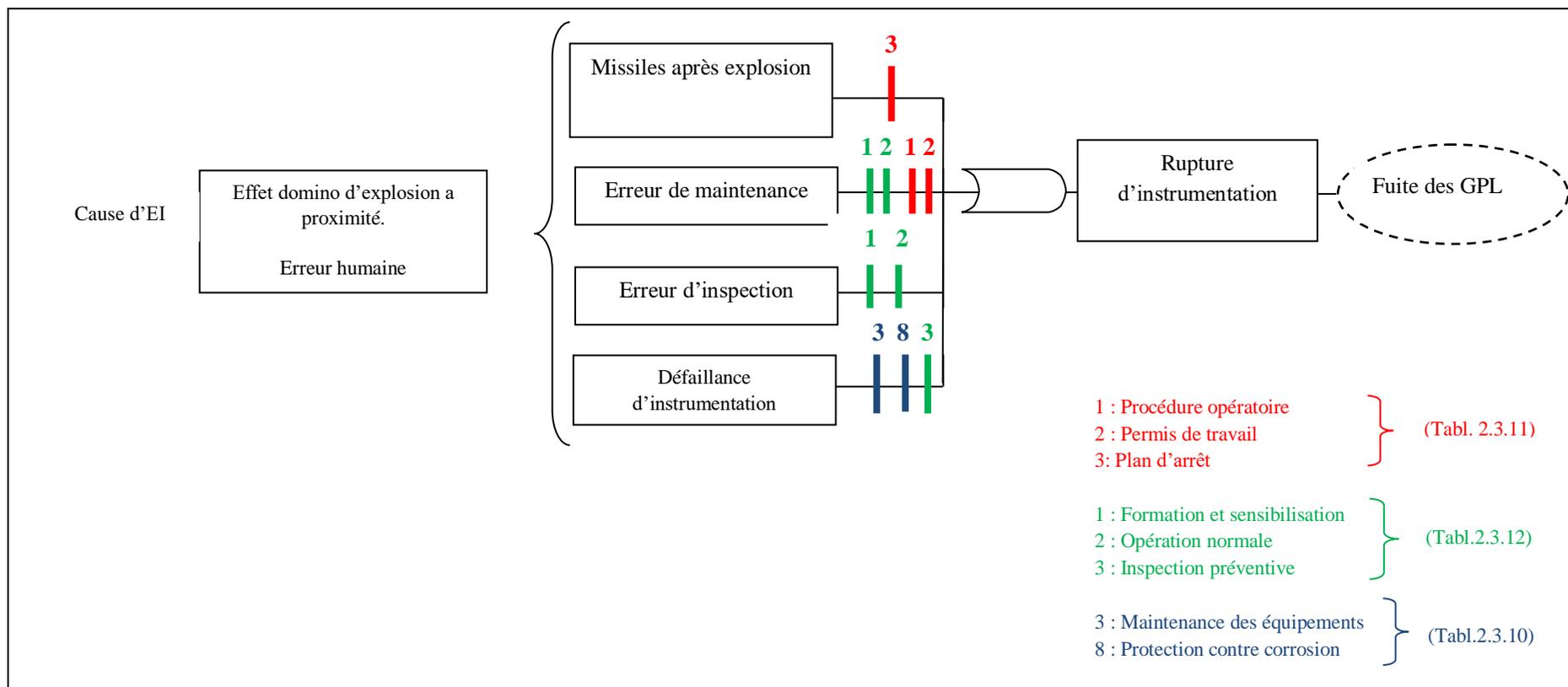
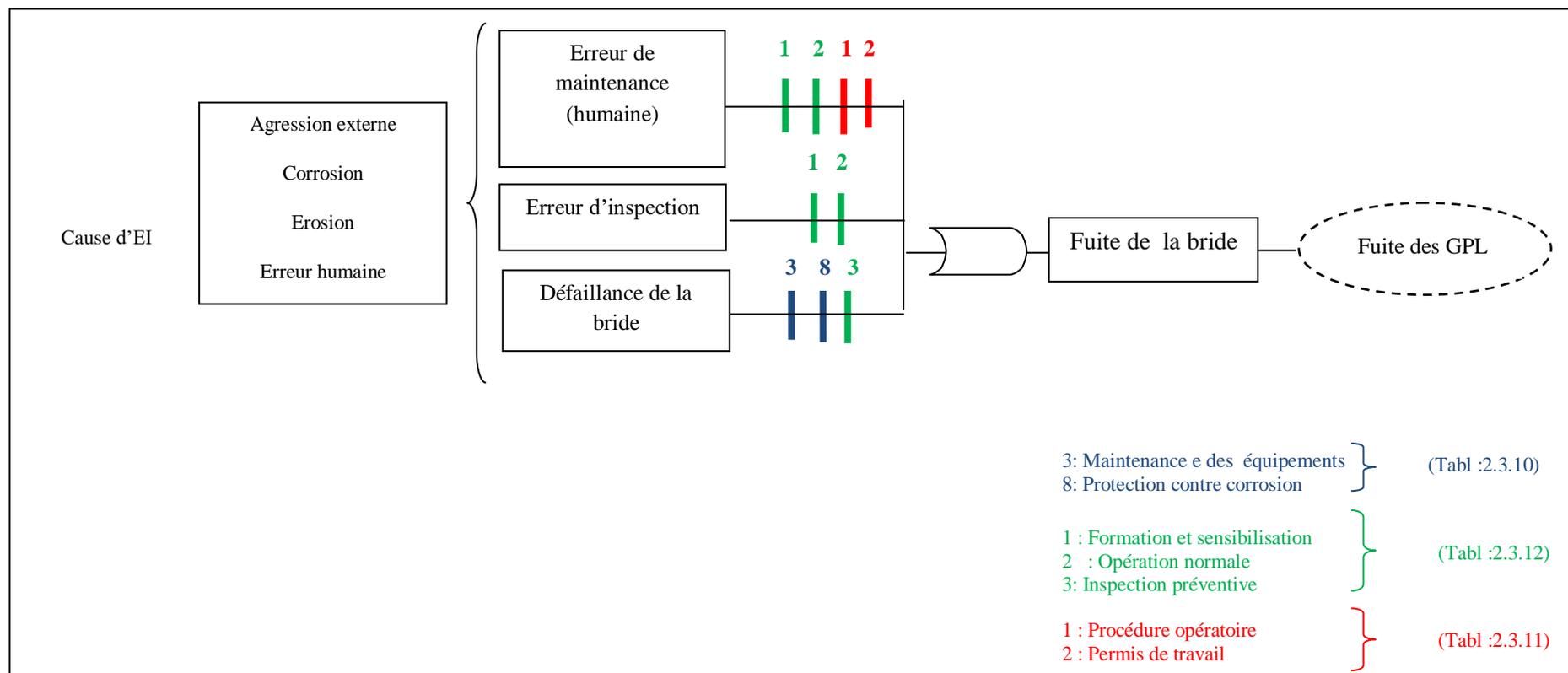


Figure N°39 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture d'instrumentation (EIn).

- Explosion à proximité peut provoquée des missiles (EB), et par effet domino peut engendrer une rupture d'instrumentation (EIn), alors fuite des GPL (ERC).



**Figure N°40 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une fuite de la bride (EIn).**

- Par fait de corrosion, érosion ou agression externe ou encore une erreur humaine des événements de bases (EB) peuvent apparaitre en provoquant des fuites dans les bride, donc une fuite des GPL.
- Des barrières techniques, organisationnelles et humaines sont installées pour éviter une telle fuite.

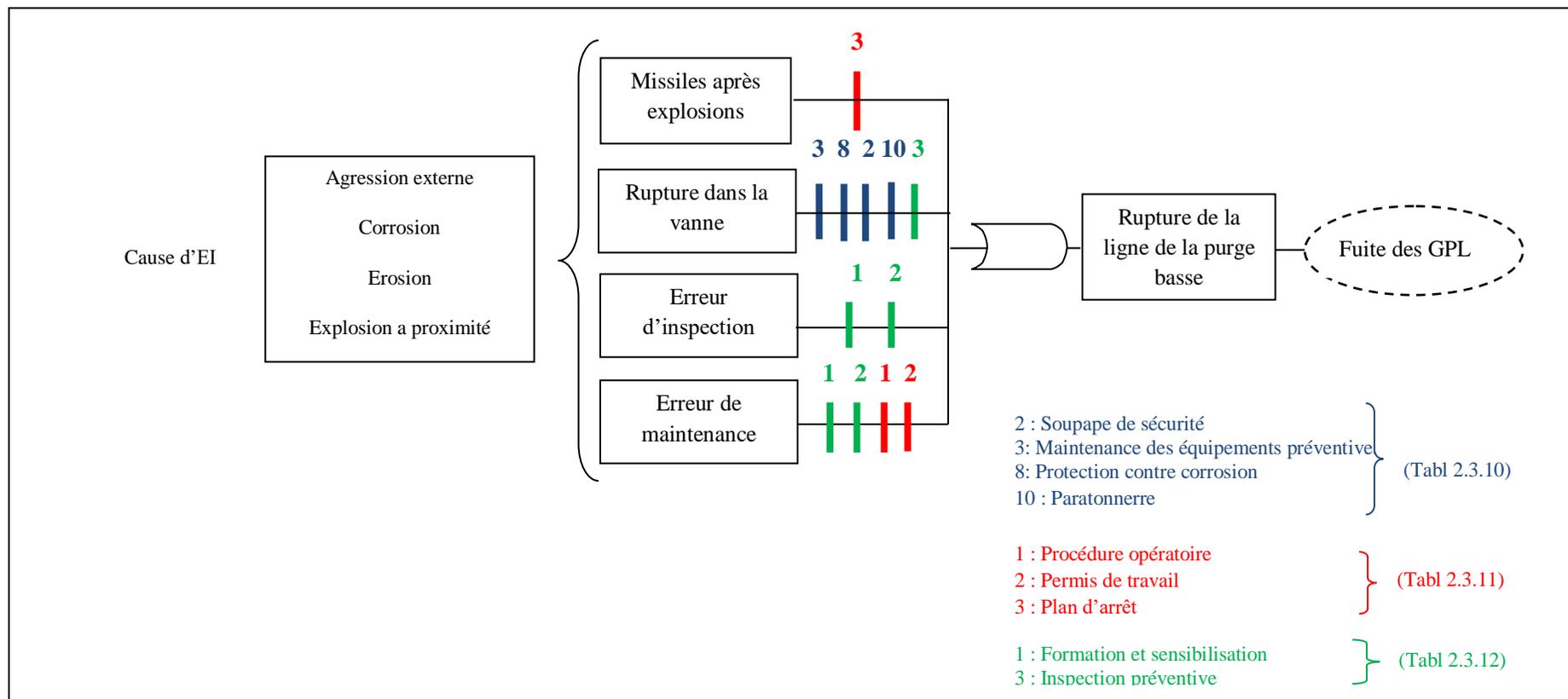


Figure N°41 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture de la ligne de la purge basse (EIn).

- Une rupture de la ligne de purge basse (EIn) peut apparaître causé par des événements de bases (EB) « agression externes, corrosion/érosion ou encore une explosion à proximité ».
- Des barrières sont mises en place pour appréhender une fuite des GPL (ERC).

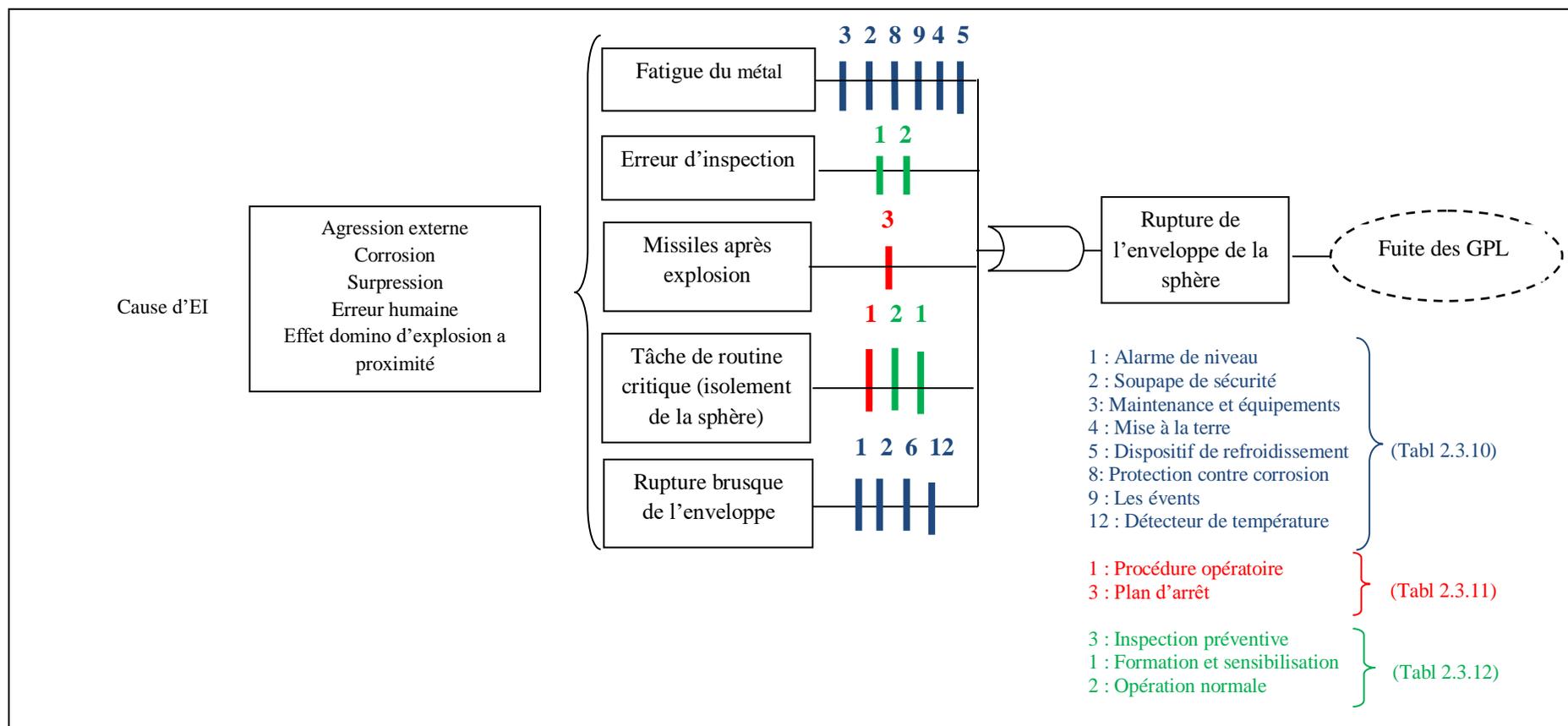


Figure N°42 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture de l'enveloppe de la sphère (EIn).

- Des (EB) : fatigue métal, erreur humaine ou missile peuvent causer des ruptures de l'enveloppe et donc des fuites de GPL.
- Des barrières de prévention sont mises en place à fin d'appréhender l'ERC.

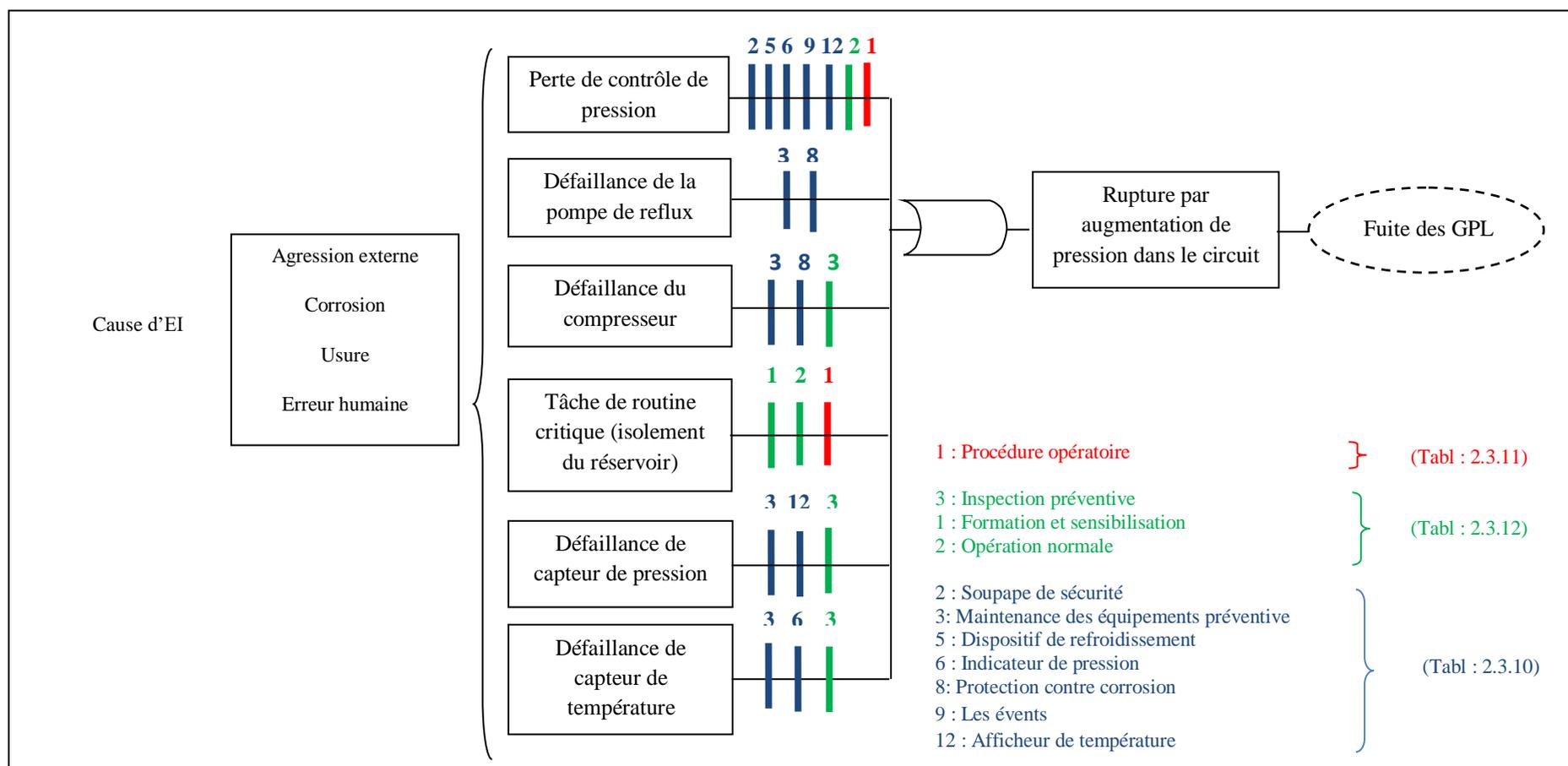
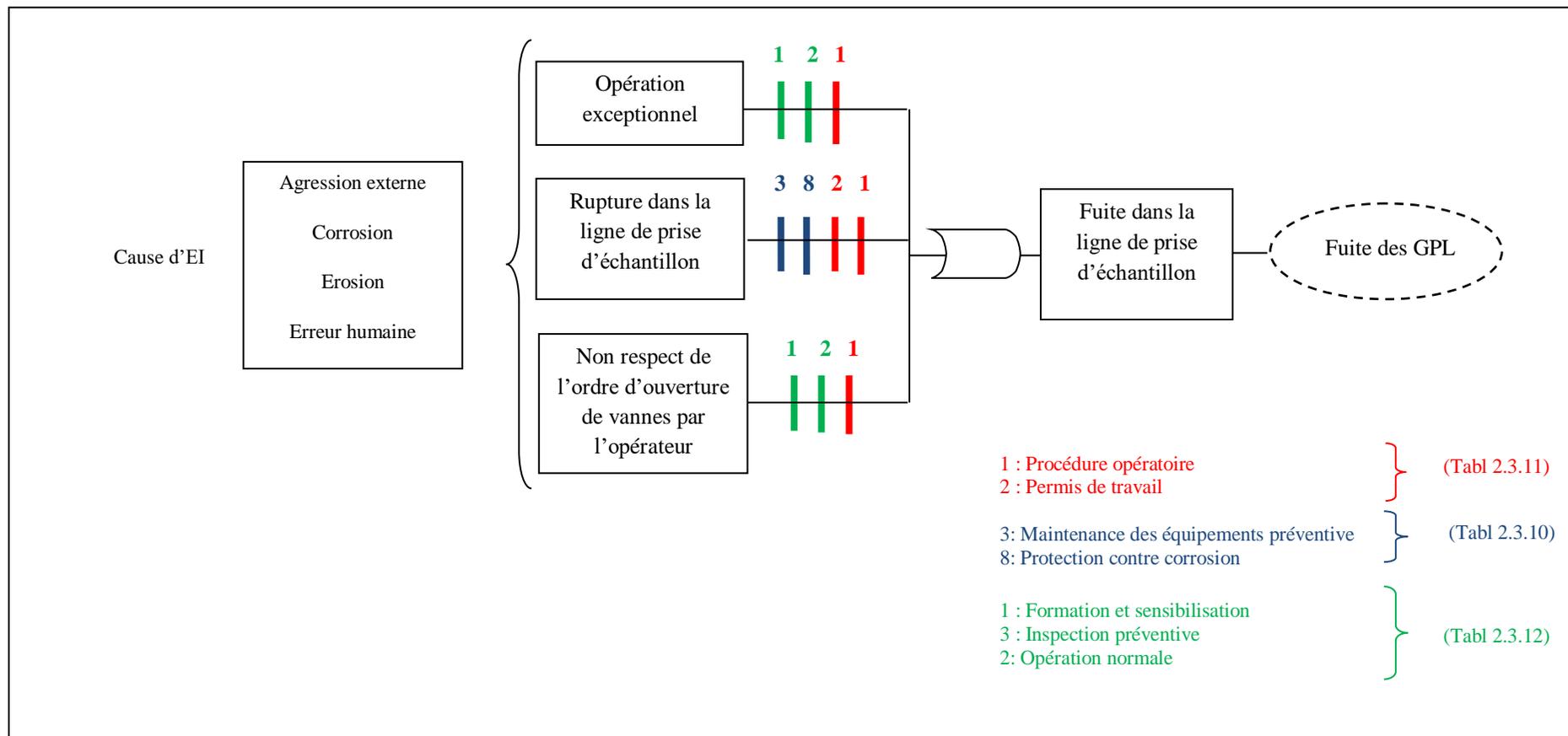


Figure N°43 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une rupture par augmentation de pression dans le circuit (EIn).

- Une rupture par augmentation de pression (EIn) peut être causées par des événements de bases (EB), et entraîne une fuite de GPL (ERC).
- Des barrières techniques, humaines et organisationnelles sont installées a fin d'éviter un tel événement.



**Figure N°44 : Scénario d'apparition d'une fuite des GPL (ERC), engendré par une fuite dans la ligne de prise d'échantillon (EI<sub>n</sub>).**

- Des agressions externes, corrosion/érosion et erreur humaine peuvent entraîner des fuites sur la ligne de prise d'échantillon alors une fuite des GPL.
- A fin d'appréhender ces événements des barrières humaines, techniques et organisationnelles sont mises en place.

**CHAPITRE 03 : Analyse des risques par la méthode nœud papillon. Application à la sphère des GPL.**

**Tableau N°29 : Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'événement redoute centrale « fuite des GPL ».**

Causes	Evénements initiateurs	Barrières de prévention	Evénement redouté central (ERC)	Fréquence de l'événement initiateur	Niveau de confiance (NC)	ΣNC	La probabilité d'ERC
Agression externe Corrosion Erosion	Rupture de conduite	Inspection préventive	Fuite des GPL	4	2	6	B
		Maintenance des équipements préventive			1		
		Protection contre corrosion			3		
		Paratonnerre			-		
Agression externe Corrosion Erosion	Défaillance des vannes	Inspection préventive	Fuite des GPL	3	2	7	C
		Maintenance des équipements préventive			1		
		Vanne de sectionnement			1		
		Protection contre corrosion			3		
		Paratonnerre			-		
Usure	Rupture de joint de vanne	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	2	1	2	A
		Vanne de sectionnement			1		
Agression externe Corrosion Erosion	Soupape ne s'ouvre pas	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	4	1	4	A
		Protection contre corrosion			3		
Agression externe Corrosion Erosion	Soupape ne se ferme pas	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	4	1	4	A
		Protection contre corrosion			3		
Fatigue Défaillance électrique	Défaillance de l'alarme	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	4	1	7	B
		Détecteur de niveau			3		
		Indicateur de pression			3		

**Tableau N°30** : Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'événement redoute centrale « fuite des GPL ».

Causes	Evénements initiateurs	Barrières de prévention	Evénement redouté central (ERC)	Fréquence de l'événement initiateur	Niveau de confiance (NC)	ΣNC	La probabilité d'ERC
Erreur humaine	Erreur d'observation	Opération normale	Fuite des GPL	5	2	7	A
		Procédure opératoire			2		
		Formation et sensibilisation			3		
Erreur humaine	Erreur de maintenance (humaine)	Opération normale	Fuite des GPL	5	2	8	A
		Procédure opératoire			2		
		Formation et sensibilisation			1		
		Permis de travail			3		
Agression externe Corrosion Erosion	Défaillance de la bride	Inspection préventive	Fuite des GPL	3	2	6	C
		Maintenance des équipements préventive			1		
		Protection contre corrosion			3		
		Paratonnerre			-		
Agression externe Corrosion Erosion	Rupture de la ligne de prise d'échantillon	Inspection préventive	Fuite des GPL	2	2	10	D
		Procédure opératoire			2		
		Maintenance des équipements préventive			1		
		Inspection préventive			2		
		Protection contre corrosion			3		
Erreur humaine	Non respect de l'ordre d'ouverture de vanne	Procédure opératoire	Fuite des GPL	5	2	5	A
		Opération normale			2		
		Formation sensibilisation			1		
Agression externe Usure	Défaillance des capteurs de pression	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	4	1	6	B
		Inspection préventive			2		
		Détecteur de température			3		

**Tableau N°31** : Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'événement redoute centrale « fuite des GPL » (suite) :

Causes	Evénements initiateurs	Barrières de prévention	Evénement redouté central (ERC)	Fréquence de l'événement initiateur (F <sub>EI</sub> )	Niveau de confiance (NC)	ΣNC	La probabilité d'ERC
Agression externe Corrosion Surpression	Fatigue du métal	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	4	1	10	B
		Soupape de sécurité			2		
		Protection contre corrosion			3		
		Event			-		
		Mise à la terre			2		
		Dispositif de refroidissement			2		
Erreur humaine	Perte de contrôle de pression	Soupape de sécurité	Fuite des GPL	5	2	14	A
		Opération normale			2		
		Procédure opératoire			2		
		Dispositif de refroidissement			2		
		Indicateur de pression			3		
		Event			-		
Détecteur de température	3						
Erreur humaine	Tache de routine critique	Procédure opératoire	Fuite des GPL	5	2	5	A
		Opération normale			2		
		Formation sensibilisation			1		
Erreur humaine	Opération exceptionnelle	Procédure opératoire	Fuite des GPL	5	2	6	A
		Opération normale			2		
		Formation sensibilisation			2		
Effet domino d'explosion à proximité	Missiles après explosion	Plan d'arrêt	Fuite des GPL	4	1	1	A

**Tableau N°32 : Tableau d'estimation des probabilités d'apparition de l'événement redoute centrale « fuite des GPL » (suite) :**

Causes	Evénements initiateurs	Barrières de prévention	Evénement redouté central (ERC)	Fréquence de l'événement initiateur (F <sub>EI</sub> )	Niveau de confiance (NC)	ΣNC	La probabilité d'ERC
Surpression Incendie (augmentation de température)	Rupture brusque de l'enveloppe	Soupape de sécurité	Fuite des GPL	2	2	10	D
		Alarme de niveau			2		
		Indicateur de pression			3		
		Détecteur de température			3		
Erreur humaine	Erreur d'inspection	Formation et sensibilisation	Fuite des GPL	5	1	3	A
		Opération normale			2		
Agression externe Corrosion Usure	Défaillance de la pompe de reflux	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	2	1	4	C
		Protection contre corrosion			3		
Agression externe Corrosion Usure	Défaillance de compresseur	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	3	1	6	C
		Protection contre corrosion			3		
		Inspection préventive			2		
Agression externe Usure	Défaillance de capteur de niveau	Maintenance des équipements préventive	Fuite des GPL	4	1	9	B
		Inspection préventive			2		
		Indicateur de pression			3		
		Détecteur de température			3		
Agression externe Usure	Défaillance de capteur de température	Maintenance équipement	Fuite des GPL	4	1	6	B
		Plan inspection			2		
		Détecteur de pression			3		

**Discussion :**

L'identification des causes et des événements initiateurs qu'il était nécessaire d'attribuer une valeur de probabilité d'occurrence de défaillance, puis affecter un niveau de confiance aux barrières de préventions figurant dans les tableaux (3.1.14 ; 15 et 16), à fin d'estimer la probabilité de l'événement redouté central (ERC) « Fuite des GPL ».

Il est à noter que les probabilités de l'évènement redouté central (ERC) constituent uniquement des valeurs moyennes et non des valeurs exactes car :

- les valeurs obtenues par quantification (IF<sub>EI</sub>, NC) sont souvent arrondies afin de prendre en compte l'erreur liée aux incertitudes sur les données d'entrée et,
- le choix approprié des barrières a une influence directe sur la probabilité de l'événement redouté central (ERC).

Cet arbre nous a permis également une hiérarchisation des événements initiateurs en termes de probabilités, et une sélection des barrières de défenses pouvant réduire la probabilité d'occurrence de l'événement redouté central (ERC).

La probabilité d'occurrence de l'événement redouté central (ERC) est assez importante due à :

- l'apparition fréquente des événements initiateurs ; liés au matériel défaillant causé probablement par sa durée de vie (Tableau 3.1.19) ; et souvent à la non fiabilité humaine,

Ou,

- l'incapacité des barrières organisationnelles et techniques.

Quand il s'agit d'une **erreur humaine**, la probabilité d'occurrence de l'événement redouté central (ERC) est de classe A, ce qui signifie que l'apparition d'une fuite de GPL devient un événement courant.

**N.B :** Malheureusement il n'y a pas de données disponibles sur site « RA1G », sur l'historique des déviations des paramètres du fonctionnement de l'installation pour évaluer leurs fréquences d'occurrences, alors la probabilité de l'événement redouté central (ERC) est évaluée à partir de données basées sur des retours d'expérience internationalement reconnues.

**Tableau N°33 : Cause de défaillance des matériels suivant la période de vie.[15]**

<b>Période</b>	<b>Cause de défaillance</b>
Jeunesse	-Défaut de conception -Défaut de fabrication -Défaut de montage
Vie utile	-Erreur humaine -Environnement
Usure	-Age -Fatigue

### **2.2.1.7 L'analyse quantitative de la probabilité de l'événement redouté central (ERC) :**

Dans le but d'évaluer la probabilité d'apparition de l'événement redouté central (ERC) connaissant la probabilité des événements élémentaires, l'analyse quantitative permet de déterminer d'une manière quantitative les caractéristiques de fiabilité du système étudié.

L'objectif est en particulier de définir la probabilité d'occurrence des événements analysés. Les calculs reposent sur : les équations logiques tirées de la structure de l'arbre de défaillance et des probabilités d'occurrence des événements élémentaires.

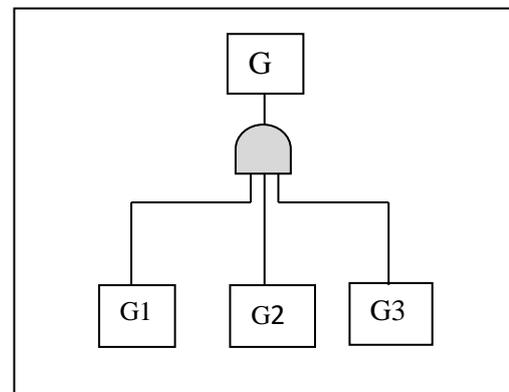
La construction de l'arbre de défaillance repose sur l'étude des événements entraînant un événement redouté central (ERC) et dans quel contexte il peut apparaître, les portes logiques permettent de spécifier le type de combinaison entre les événements intermédiaires qui conduisent à l'événement analysé. (Porte « OU » :  $G=G1+G2$  ; Porte « ET » :  $G=G1 \times G2$ )

#### **Portes logiques :**

A fin de présenter un arbre de nœud papillon des portes logiques permettent de représenter la combinaison logique des événements intermédiaires qui sont à l'origine de l'événement décomposé.

- **Porte « ET » :**

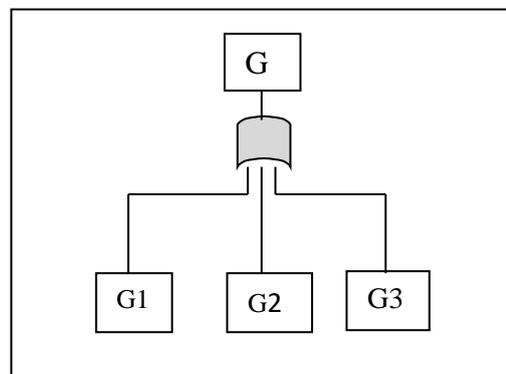
L'événement G ne se produit que si les événements élémentaires G1, G2 et G3 existent simultanément



**Figure N°45 : Porte logique « ET »**

- **Porte « OU » :**

L'événement G se produit de manière indépendante si l'un ou l'autre des événements élémentaires G1, G2 ou G3 existe.



**Figure N°46 : Porte logique**

L'application de l'arbre de défaillance pour évaluer quantitativement les causes de l'événement redouté central « Fuite des GPL » de la sphère (S5) nous a donné les résultats suivants :

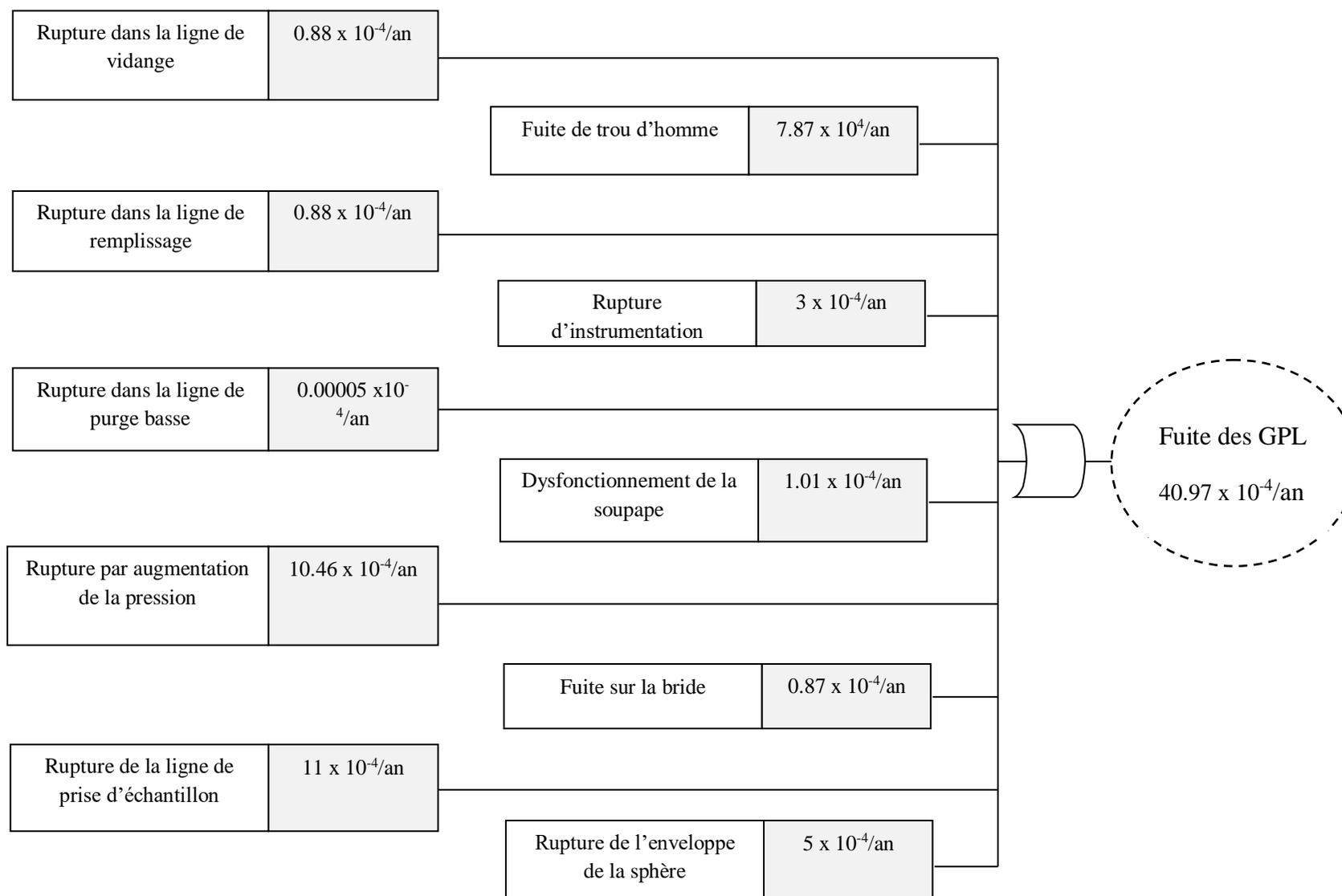


Figure N°47 : Arbre de défaillance : Fuite des GPL (ERC).

**Discussion :**

L'étude de l'estimation de la probabilité de l'événement redouté central (ERC) influencé par les événements initiateurs (EI), intermédiaires (EIn) ou de bases (EB), a montré que la probabilité diffère d'un scénario à l'autre.

Dans cette présente approche, et en prenant en considération tous les scénarios possibles en même temps, la probabilité d'occurrence d'apparition d'une fuite des GPL est quantifiée en additionnant toutes les probabilités d'occurrences de défaillances possibles, sans prendre en compte les barrières de préventions :

- Rupture de ligne de vidange ( $0.88 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- dysfonctionnement de la soupape ( $1.01 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- Rupture de ligne de remplissage ( $0.88 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- rupture de l'enveloppe de la sphère ( $5 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- Rupture de ligne de purge basse ( $0.00005 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- rupture de la ligne de prise d'échantillon ( $11 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- Rupture par augmentation de pression ( $10.46 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- Fuite dans les trous d'homme ( $7.87 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- Fuite sur la bride ( $0.87 \times 10^{-4}/\text{an}$ ),
- rupture d'instrumentation ( $3 \times 10^{-4}/\text{an}$ ).

Donc arriver à une probabilité d'apparition moyenne sachant que les données d'entrées utilisées sont mondialement reconnues.

Alors le résultat obtenu montre que la probabilité d'apparition d'une fuite des GPL est de  $40.97 \times 10^{-4}/\text{an}$  estimé au plus d'une fois tous les 14 mois (tableau 3.1.5).[4]

Cette démarche met en valeur la fonction de sécurité des barrières de prévention nécessaires à la survie des systèmes complexes.

**2.2.2 Evaluation quantitative de l'arbre d'événement :**

Cet arbre à pour objectif, en partant d'un événement initiateur qui correspond à l'événement redouté central (ERC) déjà traité dans l'arbre de défaillance « fuite des GPL » dans notre cas, et selon son application sur la sphère de stockage sous pression (S5), de déterminer l'ensemble de séquences accidentelles susceptibles de vérifier si les barrières de protection remplissent leurs fonctions de sécurité.

**• Banques de données :**

La quantification de l'arbre nécessite de se référer à des banques de données qui permettent d'estimer la probabilité d'occurrences des conséquences, il faut alors disposer de données de fiabilité. RA1G ne dispose pas d'une organisation permettant l'exploitation des anomalies et des incidents de fonctionnement (fuite ou rupture de tuyauterie, défaillances de matériels, erreurs humaines). Alors, on a exploité les banques de données internationales disponibles, en s'assurant de leur applicabilité à l'installation choisie.

Les barrières les plus reconnues sont citées dans la base de données OREDA 4<sup>ème</sup> édition (Offshore Reliability Database) distribuée par Det Norske Veritas (DNV) : Philips, Statoil, Norsk Hydro, Total, BP, Exxon, etc.

Le tableau suivant présente la probabilité de défaillance des barrières figurant dans l'arbre d'événement.

**Tableau N°34 : Estimation des probabilités de défaillance des barrières.**

<b>Evénement</b>	<b>Probabilité de défaillance des barrières</b>
Ignition immédiate	$9 \times 10^{-1}$
Détection immédiate	$5 \times 10^{-2}$
Maitrise de la situation	$10^{-1}$
Ignition retardée	$10^{-1}$
Occurrence d'un UVCE	$10^{-1}$
Explosion de la sphère à l'incendie	$5 \times 10^{-1}$
Prévention contre le BLEVE	$4 \times 10^{-1}$

Des évènements majeurs représentent des effets engendrés par chacun des phénomènes dangereux, dont la nécessité d'effectuer une analyse. Il est à noter qu'un phénomène dangereux peut avoir plusieurs évènements majeurs associés.

Les évènements majeurs considérés sont les suivants : effets thermiques, effets de surpression, effets toxiques et effets missiles.

**Tableau N°35 : Liens entre phénomènes dangereux et évènements majeurs .[14]**

<b>Phénomènes dangereux</b>	<b>Evénement majeurs</b>			
	<b>Effet thermique</b>	<b>Effet de surpression</b>	<b>Effet missile</b>	<b>Effet toxique</b>
<b>Feu de nappe</b>	X			X
<b>UVCE</b>	X	X	X	
<b>Flash fire</b>	X			
<b>Emission de missiles</b>			X	
<b>Ondes de surpression</b>		X		
<b>Boule de feu</b>	X			
<b>Pollution environnementale</b>				X
<b>Feu de torche</b>	X			

**3.2.2.1 Les différentes barrières de protection existantes dans la zone des GPL :**

Les tableaux ci-dessous représentent les fonctions de sécurité assurées par les barrières techniques, organisationnelles et humaines.

• **Tableau N°36 : Barrières techniques.**

N°	Barrières de protection	Fonction de sécurité assurée
01	bassin de rétention	Délimite la propagation de gaz et liquide en fuite.
02	Mure de sécurité	La distance respectée pour l'isolement de la zone GPL.
03	Gicleur/lance monitor	Dispositifs de refroidissement et d'extinction.
04	Rampe d'arrosage	Rideau d'eau empêche la propagation des gaz.
05	Détecteur de gaz avec alarme	Appareil détecte la présence des fuites de gaz.
06	Paratonnerre	Dispositif protège la sphère et ses équipements de la foudre.
07	Moyen mobile d'extinction	Camion de protection, extincteur.
08	Appareils ATE	Appareil conçu selon des normes pour les zones à atmosphère explosible.

• **Tableau N°37 : Barrières organisationnelles.**

N°	Barrières de protection	Fonction de sécurité assurée
01	Plan d'urgence/conjoint avec les partenaires	Procédure de lutte contre les sinistres en partenariat avec les autres
02	Procédure d'évacuation	Procédure de mise à l'abri du personnel (point de rassemblement)

• **Tableau N°38 : Barrières humaines.**

N°	Barrières de protection	Fonction de sécurité assurée
01	Les qualifiés pour la maintenance des appareils ATEX	Des opérateurs qualifiés chargés de la maintenance des appareils ATEX à caractère explosible
02	Formation et exercice	Préparation physique et psychique par des simulations de situations dangereuses

**Tableau N°39 : Les événements apparents lors de défaillance des barrières de sécurités.**

<b>Evénement</b>	<b>Les barrières défaillantes</b>
Ignition immédiate	Paratonnerre Appareil ATEX, Mur de sécurité
Détection immédiate	Détecteurs de gaz Tache d'agent de veille Appareil ATEX
Maitrise de la situation	Plan d'urgence Formation et exercice Tache d'agent de veille
Ignition retardée	Détecteurs de gaz
Occurrence d'un UVCE	Rampe d'arrosage Procédure d'évacuation /confinement Formation et exercice Plan d'urgence
Exposition de la sphère à l'incendie	Moyen mobile d'extinction Dispositif d'arrosage (moyen fixe) Lance monitor /gicleur
Prévention contre le BLEVE	Moyen mobile d'extinction Dispositif d'arrosage (moyen fixe) Lance monitor/gicleur Mure de sécurité Rampe d'arrosage Procédure d'évacuation Plan d'urgence

**2.2.2.2. Imbrication des événements de l'arbre d'événement :**

Visant à déterminer en aval, l'ampleur de l'événement redouté central (ERC) qui cible l'homme, les installations et l'environnement ; la figure (3.1.10) présente les différents Phénomènes Dangereux (PhD) possibles.

En partant de l'événement redouté centrale (ERC), la présentation de l'ensemble des séquences accidentelles peuvent se réaliser si les barrières de protection ne remplissent pas leurs fonctions de sécurité.



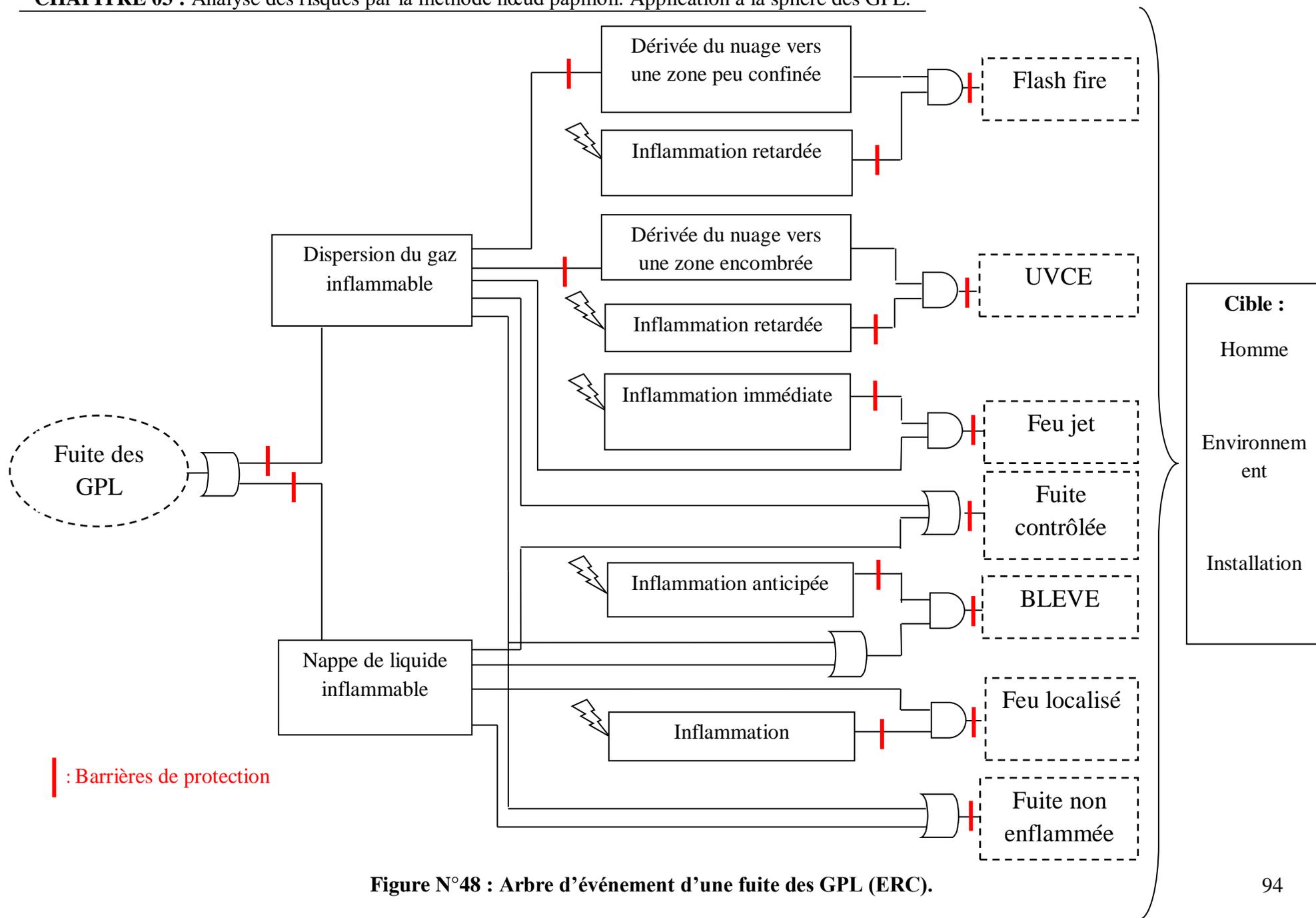
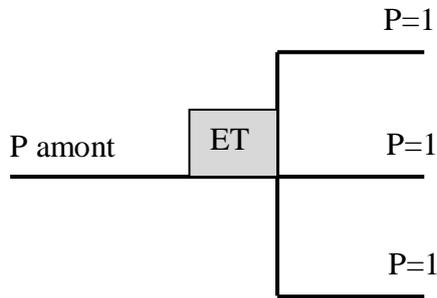


Figure N°48 : Arbre d'événement d'une fuite des GPL (ERC).

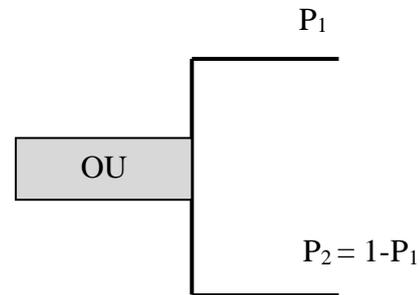
**2.2.2.3. Estimation de la probabilité des phénomènes dangereux (PhD) [14] :**

La fréquence des phénomènes dangereux est calculée à partir de celles des événements critiques et des distributions de probabilités de chaque phénomène dangereux potentiel.

Les règles de calcul dans un arbre d'événement sont résumées par la figure 3.1.11.(a-b) :



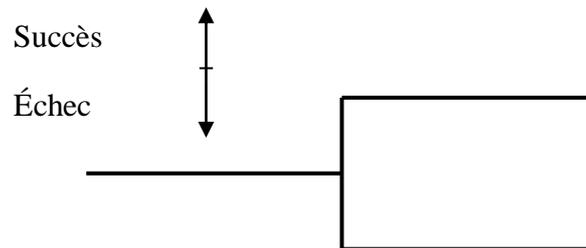
**Figure : Calcul des arbres d'évènements avec porte « ET ».**



**Figure : Calcul des arbres d'évènements avec porte « OU ».**

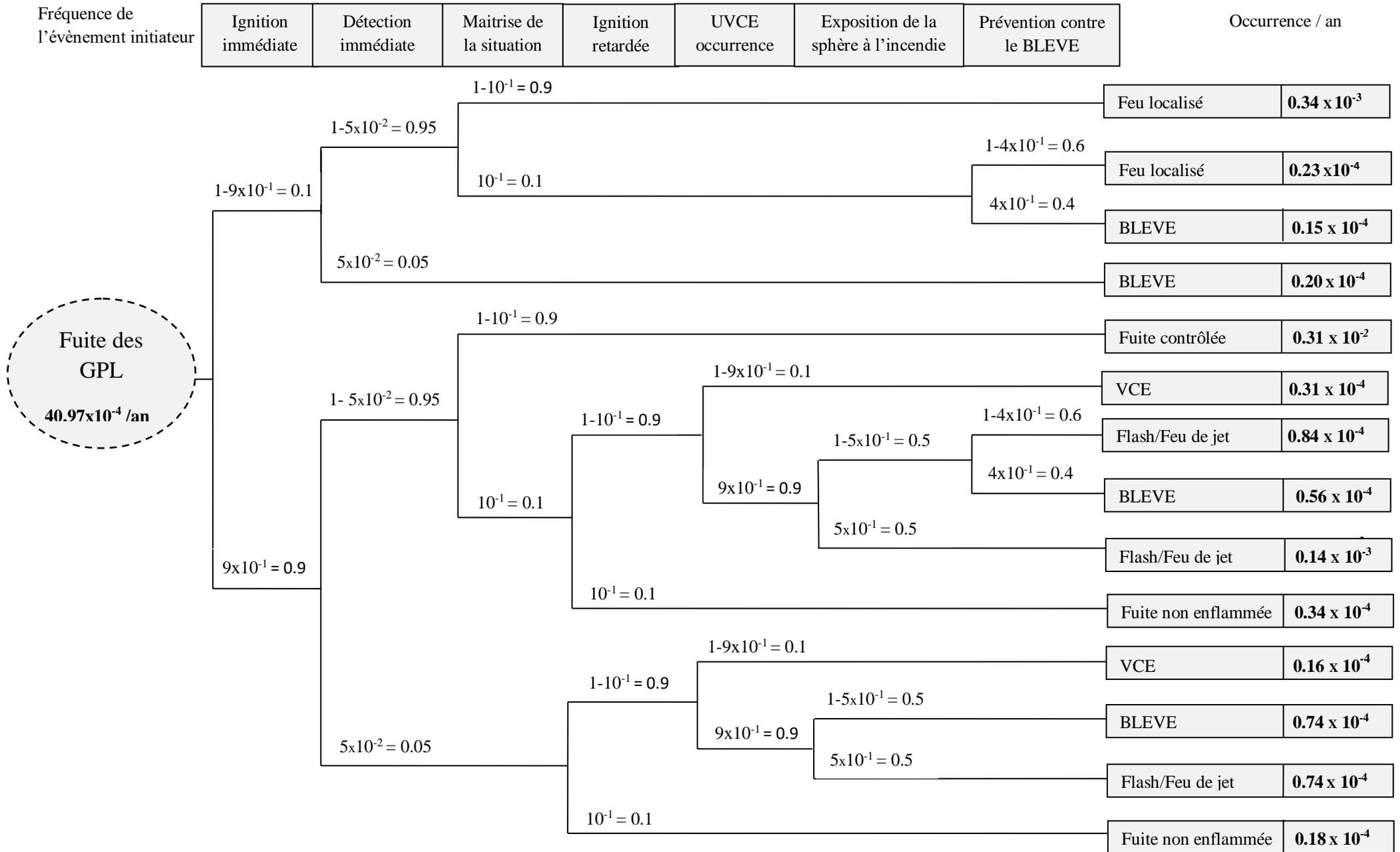
**Figure N°49 : Démarche de calcul de l'arbre d'événement.**

La construction de l'arbre consiste alors à partir de l'événement indésirable à envisager soit le bon fonctionnement soit la défaillance de la première fonction de sécurité. L'événement est représenté schématiquement par un trait horizontal. Le moment où doit survenir la première fonction de sécurité est représentée par un nœud. La branche supérieure correspond généralement au succès de la fonction de sécurité, la branche inférieure à la défaillance ou à l'échec de cette fonction.



- L'application de l'arbre des événements pour déterminer les conséquences d'une fuite catastrophique de GPL, considère la succession des événements suivants : ignition immédiate, détection immédiate, maîtrise de la situation, ignition retardée, VCE occurrence, exposition de la sphère à l'incendie et la prévention contre le BLEVE.
- En partant de l'événement redouté central (ERC), la présentation de l'ensemble des séquences accidentelles qui peuvent se réaliser si les barrières de protection ne remplissent pas leurs fonctions de sécurité sera présenté dans la figure 3.1.12.

**CHAPITRE 03 : Analyse des risques par la méthode nœud papillon. Application à la sphère des GPL.**



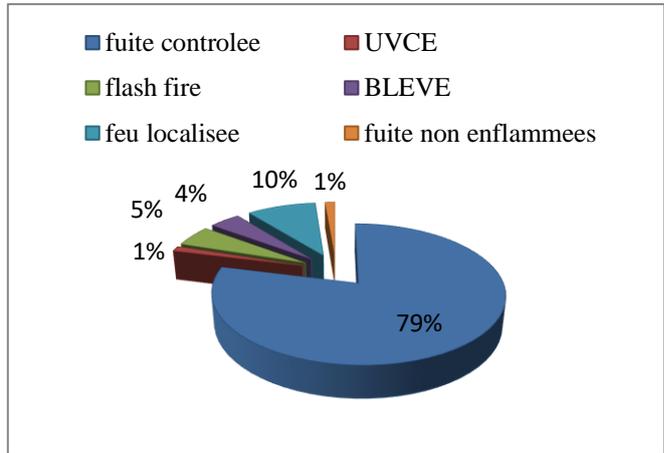
**Figure N°50 : calcul par arbre des événements : Fuite des GPL.**

**2.2.2.4. Estimation de la probabilité d’occurrence des accidents :**

L’application de l’arbre d’évènement pour identifier et évaluer quantitativement les séquences de l’Evènement Redouté Central (ERC) « Fuite des GPL de la sphère (S5) » nous a donné les résultats suivants :

**Tableau N°40 : Tableau des probabilités d’occurrence des accidents**

Conséquences	Fréquence de l’évènement/an
Fuite contrôlée	$31.25 \times 10^{-4}$
Fuite non enflammée	$0.52 \times 10^{-4}$
Feu localisé	$3.70 \times 10^{-4}$
Flash fire/feu de jet	$2.02 \times 10^{-4}$
UVCE	$0.47 \times 10^{-4}$
BLEVE	$1.65 \times 10^{-4}$



**Figure N°51 : Répartition des fréquences d’accident.**

**Discussion sur l’arbre d’évènements :**

En se basant sur l’arbre de l’évènement et en partant de l’évènement redouté central (ERC), les séquences accidentelles ont été construites en envisageant des défaillances supplémentaires (basées sur des données issues du retour d’expérience internationalement reconnu) et en considérant, de manière systématique, les phénomènes physiques en jeu, ainsi que le succès ou l’échec des systèmes de protection techniques, humains ou organisationnels nécessaires pour gérer.

Pour quantifier la probabilité des phénomènes dangereux, et d’autres scénarios, il faut alors disposer de données de fiabilité. Le site de stockage des GPL de RA1G ne disposant pas d’une organisation permettant l’exploitation des anomalies et des incidents de fonctionnement (fuite ou rupture de tuyauterie, défaillances de matériels, erreurs humaines). Alors, on a exploité les banques de données internationales disponibles, en s’assurant de leur applicabilité à l’installation choisie.

Donc, les résultats obtenus montrent qu’une fuite de GPL sur la sphère (S5), peut être contrôlée à 79% ou non maîtrisée et conduire à l’apparition d’un BLEVE à 4% ce qui présente un évènement improbable.

Il convient de rappeler que les résultats obtenus dépendent étroitement de la qualité des informations utilisées, en particulier des données de fiabilité des équipements et les fréquences des évènements initiateurs.

2.2.2.5 Matrice de criticité :

2.2.2.5.1. Choix d'une classe de gravité par type de phénomène dangereux (PhD) :

ARAMIS propose en fonction de la nature des phénomènes dangereux (PhD) et des produits impliqués une classification a priori des phénomènes .

Tableau N°41: Estimation grossière des classes de gravité par phénomène dangereux [14].

Phénomène dangereux	Classe de conséquences
Fuite contrôlée	C3
Feu de jet	C3
UVCE	C3/C4
Flash fire	C3
BLEVE	C4
Feu localisée	C2
Fuite non enflammée	C1

2.2.2.5.2. Choix des scénarios de référence par la matrice de risques :

La matrice de risques comporte en abscisse la classe de gravité des phénomènes dangereux (PhD) et en ordonnée la fréquence d'occurrence des phénomènes dangereux (PhD). Une matrice de classification a priori des phénomènes dangereux (PhD) est proposée en fonction de la nature de ces derniers. Cette matrice est adaptable à chaque site étudié.

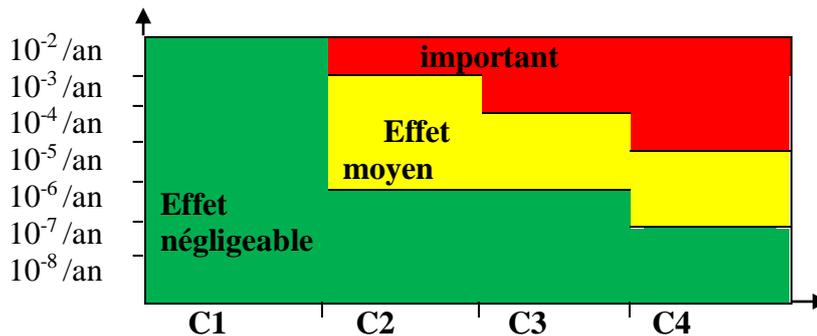


Figure N°52 : Matrice de criticité des phénomènes dangereux [14].

La zone verte (effets négligeables) correspond aux phénomènes dangereux avec une fréquence d'occurrence et/ou des conséquences suffisamment faibles pour ne pas être considérés comme représentatifs du risque d'un établissement. La zone est à risque acceptable ne justifiant pas d'action supplémentaire.

La zone jaune (effets moyens) correspond aux phénomènes dangereux (PhD) dont la probabilité est acceptable et qui représente le niveau de risque moyen d'un établissement qui

nécessite une surveillance. Les phénomènes dans cette zone sont retenus pour la modélisation et constituent les scénarios de référence.

Si la variation d'un paramètre (probabilité ou classe de gravité) seulement peut amener le niveau de risque à un niveau de gravité élevé, des actions doivent être mises en place pour réduire ce paramètre. Si non, des mesures de prévention sont mises en place afin de maintenir ce risque à ce niveau

**La zone rouge** (effets importants) correspond à des phénomènes dangereux (PhD) dont la probabilité d'occurrence n'est pas satisfaisante en l'état : des barrières complémentaires de sécurité doivent être rajoutées.

Les phénomènes dans cette zone sont retenus pour la modélisation et font également partie des scénarios de référence.

Cette zone est à risque inacceptable nécessitant la prise de mesures urgentes pour réduire ce risque à un niveau acceptable.

**Tableau N°42 : Estimation de la gravité des Phénomènes Dangereux (PhD).**

Phénomène dangereux	Classe de conséquences	Probabilités d'occurrence	La gravité
Fuite contrôlée	C3	$31.25 \times 10^{-4}$	Jaune
UVCE	C3/C4	$0.47 \times 10^{-4}$	Rouge
Flash/feu de jet	C3	$2.02 \times 10^{-4}$	Jaune
BLEVE	C4	$1.65 \times 10^{-4}$	Rouge
Feu localisé	C2	$3.70 \times 10^{-4}$	Jaune
Fuite non enflammée	C1	$0.52 \times 10^{-4}$	Verte

**Discussion :**

Tous les phénomènes dangereux définis par l'arbre d'événement et la prise en compte des barrières sont donc placés dans la matrice de risques ; les scénarios retenus comme scénarios de référence sont ceux situés dans les zones :

- Jaune (fuite contrôlée, flash fire, feu localisé) ou des mesures de prévention doivent être mises en place afin de maintenir le niveau de risque ;
- Rouge (UVCE, BLEVE) nécessite la prise de mesures urgentes pour réduire le niveau de risque ;
- Les scénarios situés dans la zone verte (fuite non enflammées) soient des scénarios à effet négligeable.

Suite à la quantification des phénomènes dangereux (PhD), la sélection des scénarios s'effectue selon des critères de probabilité et de gravité. Il est donc très important, une fois les arbres établis, que les données d'entrée sur les classes de fréquences soit fiables.

Deux difficultés se présentent :

- L'incertitude dans les chiffres de fréquences d'occurrence des événements initiateurs et les chiffres de probabilité des phénomènes dangereux.
- L'incertitude dans les niveaux de confiance des barrières de sécurité.

## **Conclusion**

Une analyse de risques par la méthode nœud papillon a été faite pour couvrir le système critique de la sphère (S5) sur la zone de stockage de RA1G (différents équipement de la sphère, et les paramètres d'exploitation comme la température, la pression et le niveau) en utilisant l'ensemble des moyens suivants :

- Analyse de documents de travail.
- Analyse d'incidents mentionnés dans des sources propres à l'entreprise.
- Analyse d'activité en situation (visites des locaux, observation de plusieurs opérations et activité du système fournissant des connaissances de situation réelles et leurs contextes, des risques réelles encourus, des moyens et des barrières de prévention et de protection effectives).
- Entretien auprès de spécialiste sécurité, sureté, les représentants de métiers de terrain (opérateurs) l'objectif est de recueillir leur point de vue sur les risques et les moyens de prévention et de protection associés.

Cette analyse de risque représentée par la méthode de nœud papillon, est une combinaison originale d'approche ergonomique et de sureté de fonctionnement par apport à une situation à multi risques.

Cette méthode se focalise sur l'événement redouté central (ERC) qui nécessite une étude plus fine, qui est la fuite de GPL, en partant d'une étude qualitative « combinaison entre évènements de bases et intermédiaires causée généralement par des agressions externes, corrosion, érosion, par des erreurs humaines... » ; visant à une représentation quantitative (les bases de données : probabilités d'occurrences des défaillances techniques ou humaines).

Une analyse des interactions entre barrières de prévention soit de l'ordre organisationnel, humain ou technique, est introduite pour la recherche des causes communes ou l'interaction qui manque aux arbres

Une analyse de dysfonctionnement de barrières de prévention est effectuée, l'influence négative sur l'événement redouté central (ERC) permet donc d'augmenter sa probabilité d'apparition

Cette interprétation nous a permis de comparer et d'identifier les situations les plus complexes à traiter.

Donc l'étude de probabilité de défaillance des éléments humains liés à leurs activités, et l'échec des barrières organisationnelles et humaines aussi dépassent toutes autres probabilités et causes, et donc à traiter en priorité.

## **Qu'est ce qu'il faut faire en cas de fuite des GPL [9] ?**

En cas de fuite de gaz non enflammée au sein d'une unité, des utilités ou de la zone de stockage des GPL, effectuer les actions suivantes :

- ✱ Isoler l'équipement impliqué, en utilisant l'eau pulvérisée pour permettre à l'opérateur et ou à l'agent d'intervention l'accès aux points d'isolement de l'équipement à défaut de la disponibilité d'un appareil respiratoire isolant.
- ✱ Appliquer les consignes d'exploitation et de sécurité en cas de fuite importante de GPL (Transvaser les produits vers des installations non touchées ou vers la torche, etc.).
- ✱ Baliser la zone en fonction des détecteurs gaz déclenchés, et des explosimètres portables.
- ✱ S'assurer que les sources potentielles d'inflammation soient éloignées, et que les vapeurs de GPL ne se dirigent pas vers des sources d'inflammation (points chauds, flammes nues, arrêt des matériels électriques susceptibles de produire des étincelles).

Mettre en place un dispositif préventif :

- ✱ Projeter de la vapeur d'eau ou de l'eau pulvérisée (si disponible) pour disperser les vapeurs inflammables et pour éviter la constitution de mélanges explosifs.
- ✱ Refroidir et protéger les équipements limitrophes au cas où la fuite s'enflammerait.

Effectuer ou non l'arrêt d'urgence selon l'évolution du sinistre.

En cas de fuite de gaz déjà enflammée au sein d'une unité, ou de la zone de stockage des GPL, effectuer les actions suivantes :

- ✱ Ne jamais essayer d'éteindre ou de souffler la flamme!!
- ✱ Isoler la fuite, à distance puis en local en utilisant de l'eau pulvérisée en jet diffus à l'aide d'une lance pour permettre à l'opérateur et/ou à l'agent d'intervention, équipés de matériel d'approche et de pénétration, l'accès aux points d'isolement de l'équipement sans être brûlé par la flamme.
- ✱ Baliser la zone en fonction de l'ampleur de la flamme.
- ✱ Laisser brûler les gaz issus de la fuite isolée, tout en refroidissant les équipements limitrophes à la fuite pour les protéger.
- ✱ Effectuer ou non l'arrêt d'urgence selon l'évolution du sinistre.

## CONCLUSION GENERALE.

Ce rapport présente successivement les étapes d'analyse qualitative des risques, d'analyse quantitative par la méthode « Nœud Papillon » puis une approche d'analyse centrée sur l'erreur humaine, afin de répondre aux exigences exprimées par la réglementation, appréhender les risques majeurs et tenter de cerner les principales lacunes du système de stockage des GPL présentée sur la sphère « S5 » au niveau de Sonatrach / Activité Aval / Division Raffinage, évidemment après une brève description de l'installation et de la zone de stockage des GPL ayant servi de référence tout au long de notre analyse.

Le principe consistait d'abord à identifier les scénarios d'accidents majeurs de l'installation, Ensuite évaluer l'efficacité des barrières de défense mise en place, selon une approche probabiliste qui a permis d'évaluer la probabilité de défaillance des barrières, puis la probabilité d'apparition de l'évènement redouté central « ERC », fuite des GPL, et enfin la probabilité des risques majeurs de l'installation.

Cette analyse a montré que l'appui sur le concept des barrières de défense représente un principe fondateur de la sécurité industrielle ; elle permet plus de transparence dans la présentation de la gestion des risques.

Cette analyse a aussi considéré l'opérateur humain dans son environnement de travail et face au système, c'est une approche qui a déterminé les facteurs déclenchant l'erreur, et d'identifier les principaux facteurs altérants la performance humaine qui peuvent influencer le processus cognitif élaboré par l'opérateur lors de son activité.

Cette expérience nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la sécurité et de marquer un intérêt pour le facteur humain qui n'est pas pris suffisamment en considération.

## **BIBLIOGRAPHIE.**

- [1] Document RA1G, 2006, « Manuel opératoire ».
- [2] Document RA1G, 2009, « Etude de danger ».
- [3] BS OHSAS 18001, 2007, « Système management SST-exigences ».
- [4] IFP training-ENSPM formation industrie, 2006, « Sécurité des systèmes –analyse de risques ».
- [5] Google Earth
- [6] Document RA1G, 2005, Sonatrach / Activité Aval / Division Raffinage
- [7] Document RA1G, 2009, « POI ».
- [8] Document RA1G/Sonatrach, 2005, « Procès-verbal d'épreuve d'appareil a gaz ».
- [9] Document RA1G, Sonatrach/Activité Aval/Division Raffinage.
- [10] Guide DLI, 10/2008, « Guide maîtrise des risques technologique dans les dépôts des liquides inflammables ».
- [11] INERIS 3, Décembre 2004, « Analyse des risques et Prévention des Accidents Majeurs ».
- [12] Rapport Oméga 20.
- [13] IFP training-ENSPM formation industrie, 2006, « Sécurité des systèmes –analyse de risques ».
- [14] INERIS, 2004, ARAMIS.
- [15] Technique de l'ingénieur, 16/05/2012, « L'expertise technique et scientifique de référence ».