

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

## École Nationale Polytechnique



Département de Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux (MRIE)  
Filière : QHSE - GRI

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

---

### **Étude et dimensionnement d'un réseau anti-incendie dans un centre de stockage de GPL au sein de la Raffinerie d'Alger (Sidi Arcine).**

---

CHETOUI Zineddine & FERDJANI Racim Rifaat

Sous la direction de :

M. Mohamed BOULASSAL

M. Mohamed BOUBAKEUR

M. Bouzid BENKOUSSAS

Ingénieur HSE à la RFCC

Maître Assistant à l'ENP

Professeur à l'ENP

Présenté et soutenue publiquement le 09/09/2021 devant le jury composé de :

Président

Examineur

Examineur

M. Hamid YOUSFI

M. Aboubaker KERTOUS

M. Mohamed ATTOUCHI

Professeur, ENP

Maitre-Assistant à l'ENP

Maitre-Assistant à l'ENP



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

École Nationale Polytechnique



Département de Maîtrise des Risques Industriels et Environnementaux (MRIE)  
Filière : QHSE - GRI

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

---

**Étude et dimensionnement d'un réseau anti-incendie dans un  
centre de stockage de GPL au sein de la Raffinerie d'Alger (Sidi  
Arcine).**

---

CHETOUI Zineddine & FERDJANI Racim Rifaat

Sous la direction de :

M. Mohamed BOULASSAL  
M. Mohamed BOUBAKEUR  
M. Bouzid BENKOUSSAS

Ingénieur HSE à la RFCC  
Maître Assistant à l'ENP  
Professeur à l'ENP

Présenté et soutenue publiquement le 09/09/2021 devant le jury composé de :

Président  
Examineur  
Examineur

M. Hamid YOUSFI  
M. Aboubaker KERTOUS  
M. Mohamed ATTOUCHI

Professeur, ENP  
Maitre-Assistant à l'ENP  
Maitre-Assistant à l'ENP

# Remerciement

Nous tenons, tout d'abord, à remercier le bon dieu, tout puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Notre gratitude s'adresse à Mr. BOULASSAL Mohamed qui, sans sa disponibilité et son encadrement, ce travail n'aurait jamais vu le jour.

Nous remercions également nos promoteurs Mr. BOUBAKEUR et Mr. BENKOUSSAS pour leur précieuse contribution à la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons notre reconnaissance aussi à Mr. YOUSFI qui a accepté volontiers de présider ce jury, ainsi qu'à Mr. KERTOUS et Mr. ATOUCHI d'avoir bien voulu examiner ce travail.

Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à Reda BOURDJOU, ainsi qu'à toute la promotion QHSE-GRI de l'École Nationale Polytechnique d'Alger qui nous ont toujours encouragés.

Enfin, nous présentons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont soutenus tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

À toutes ces personnes, nous présentons notre respect et notre gratitude.

# DÉDICACES

Je tiens à dédier ce modeste travail  
à mes chers parents, eux qui m'ont toujours soutenu et cru en moi, particulièrement  
durant ces dernières années d'étude,  
à mes frères, qui sont toujours prêts à m'aider,  
à mes chères sœurs, que j'aime tellement et qui sont toujours présentes pour moi,  
à mes neveux et nièces, qui me donnent chaque jour le sourire,  
à mes amis proches qui m'encouragent chaque jour,  
et enfin, à mes précieux chiens Prince et Enzo.

**CHETOUI Zineddine**

*À mon père, à ma mère,  
À mon frère et à ma petite sœur,  
À Méma et Nacer,  
À toute ma famille,  
À mes amis les plus chers,  
Et à tous ceux que je garde dans mon cœur*

*Racim*

## المخلص:

تعد منطقة تخزين غاز البترول المسال إحدى المناطق حيث توجد أكثر السيناريوهات الكارثية مثل الحرائق والانفجارات. فمن الضروري وضع حواجز السلامة وقائية لديها مستوى عال من الموثوقية والتوافر الهدف من هذه الدراسة هو، اولاً، تصميم شبكة مكافحة الحرائق في مركز تخزين غاز البترول المسال داخل مصفاة الجزائر وفقاً لمعايير NFPA ثانياً، هي التحقق من توافر شبكتنا طوال عمرها باستخدام شجرة الأعطال AdD

**الكلمات المفتاحية :** الكلمات المفتاحية : غاز البترول المسال، الحرائق، التوافر، شبكة مكافحة الحرائق شجرة الأعطال NFPA,

## Abstract :

The liquefied petroleum gas is one area where catastrophic release scenarios are omnipresent such as fires and explosions. It is therefore essential that these areas are equipped with preventive safety barriers with a high level of reliability and availability.

The initial objective of this submission is to design a fire-fighting network in an LPG storage center at the Algiers refinery in accordance with NFPA standards.

The second step is to check the availability of our network throughout its service life using a fault tree (FTA).

**Key words:** LPG, Fires, Availability, Fire-fighting network, NFPA, FTA.

## Résumé :

La zone de stockage de gaz de pétrole liquéfié (GPL) est l'une des unités de procédés où les scénarios les plus catastrophiques sont omniprésents tels que les incendies et les explosions. Il est donc primordial que ces zones soient munies de barrières de sécurité préventives avec un haut niveau de fiabilité et de disponibilité.

Ce mémoire a pour objectif, dans un premier temps, le dimensionnement d'un réseau de lutte contre l'incendie dans un centre de stockage de GPL au sein de la raffinerie d'Alger selon les normes NFPA.

Dans un deuxième temps, il s'agit de vérifier la disponibilité de notre réseau durant toute sa durée de vie en utilisant un arbre de défaillance (AdD).

**Mots clés :** GPL, Incendies, Disponibilité, Réseau de lutte contre l'incendie, NFPA, AdD.

# Table des matières

## *Liste des figures*

## *Liste des tableaux*

## **Introduction Générale.....10**

## **Chapitre 1: Présentation de l'entreprise .....13**

1.1	Historique.....	14
1.2	Présentation de la raffinerie d'Alger.....	14
1.2.1	Situation géographique de la raffinerie d'Alger.....	14
1.2.2	Produits de la raffinerie d'Alger.....	15
1.2.3	L'organigramme de la raffinerie d'Alger.....	16
1.2.4	Organisation du département Sécurité Industrielle.....	17
1.2.4.1	Service intervention.....	17
1.2.4.2	Service prévention.....	17
1.2.4.3	Service télésurveillance et contrôle d'accès.....	17
1.2.4.4	Service protection de l'environnement.....	18
1.3	Présentation de l'unité 910.....	18

## **Chapitre 2: Généralités sur la protection anti incendie .....21**

2.1	Les types de protection anti-incendie.....	22
2.1.1	La protection feu passive.....	22
2.1.2	La protection feu active.....	22
2.2	Différents systèmes d'extinction [2].....	22
2.3	Caractéristiques principales des différents éléments d'une installation fixe [2].....	24
2.3.1	La réserve d'eau incendie et pomperie.....	25
2.3.1.1	La réserve d'eau.....	25
2.3.1.2	Pompes principales.....	25
2.3.1.3	Pompes Jockey.....	27
2.3.1.4	Configuration classique d'une pomperie.....	27
2.3.2	Configuration des réseaux hydrauliques.....	28
2.3.2.1	Le réseau ramifié (ou étoilé).....	28
2.3.2.2	Le réseau maillé.....	29
2.3.3	SYSTEME DE DETECTION.....	30
2.3.4	Les systèmes de traitement de l'information.....	30
2.3.5	Les consommateurs.....	30
2.3.5.1	Le système déluge.....	30
2.3.5.2	Lance monitors à eau.....	39
2.3.5.3	Les hydrants.....	40
2.4	Notions hydrauliques dans les réseaux de lutte incendie.....	40
2.4.1	La vitesse d'écoulement.....	40
2.4.2	Le débit d'écoulement.....	40
2.4.3	La pression d'écoulement.....	40
2.4.4	Coefficient de rugosité.....	40

2.4.5	Les pertes de charge .....	41
2.4.6	Formule de Hazen-Williams .....	42
2.4.7	Nombre de Reynolds.....	43
2.4.8	Équation de Bernoulli.....	43
2.5	Normes de référence .....	44
<b>Chapitre 3: Dimensionnement du réseau anti-incendie .....</b>		<b>45</b>
3.1	Scénario de référence pour le dimensionnement du réseau.....	46
3.2	Dimensionnement du réseau anti-incendie .....	46
3.2.1	Calcul des surfaces des sphères et des cigares .....	46
3.2.2	Plan et caractéristiques du réseau .....	48
3.2.2.1	Plan du réseau.....	48
3.2.2.2	Système déluge .....	48
3.2.2.3	Les lances monitors et les hydrants .....	59
3.2.2.4	Système de détection.....	59
3.2.2.4	Système de pompage .....	62
<b>Chapitre 4: Étude la disponibilité du système déluge.....</b>		<b>73</b>
4.1	Description du système déluge .....	74
4.2	Analyse du système déluge .....	75
4.2.1	Définition d'un Arbre de Défaillances (AdD).....	75
4.2.2	Construction de l'AdD .....	76
4.2.3	Simulation et résultats .....	80
<b>Conclusion générale.....</b>		<b>87</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>		<b>90</b>



# Liste des figures

Figure 1-1 : Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger .....	15
Figure 1-2 : Organigramme de la raffinerie SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE d'Alger .....	16
Figure 1-3 : Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de l'unité 910..	18
Figure 1-4 : Schématisation de l'alimentation des sphères. ....	19
Figure 2-1 : Lance monitor connectée sur le réseau maillé enterré [3] .....	23
Figure 2-2 : Poteaux incendie, avec son établissement, et lance incendie [3].....	23
Figure 2-3 : Canons portables, en position replié pour le transport [3] .....	23
Figure 2-4 : Schéma simplifié d'un réseau incendie. [4].....	25
Figure 2-5 : Pompe diesel incendie.[3].....	26
Figure 2-6 : Pompe électrique incendie [3] .....	26
Figure 2-7 : Courbe de pompe incendie selon NFPA 20 [5] .....	27
Figure 2-8 : Configuration classique d'une pomperie incendie. ....	28
Figure 2-9 : Réseau ramifié .....	29
Figure 2-10 : Réseau maillé.....	29
Figure 2-11 : Déluge par quadrillage (gauche), Déluge zénithal (droite) [2].....	31
Figure 2-12 : Schéma type d'un système déluge [2] .....	32
Figure 2-13 : Alimentation par deux vannes automatiques [2] .....	33
Figure 2-14 : Alimentation par une vanne déluge automatique et une vanne manuelle [2] .....	33
.....	33
Figure 2-15 : Filtre en Té, amont vanne déluge à membrane (gauche). Piège à cailloux, aval vanne déluge papillon (droite) [3] .....	34
Figure 2-16 : Vanne à membrane [3].....	35
Figure 2-17 : Vanne papillon (avec motorisation pneumatique) .....	35
Figure 2-18 : : 3 vannes déluge avec déclenchement électropneumatique et réarmement local .....	36
Figure 2-19 : Vannes déluge et de sectionnement manuelles protégées par un mur coupe-feu [3] .....	36
Figure 2-20 : Différents types de pulvérisateurs [6].....	37
Figure 2-21 : Différents types de jet .....	38
Figure 2-22 : Courbes de fonctionnement des pulvérisateurs d'eau [11].....	39
Figure 2-23 : Pertes de charges linéaires et singulières .....	42
Figure 3-1 : Plan du réseau sur AutoCAD.....	48
Figure 3-2 : Entrée des paramètres (Sphère S5) .....	50
Figure 3-3 : Résultats simulation PIPENET (Sphère S5).....	51
Figure 3-4 : Spray Diagram (Sphère S5) .....	51
Figure 3-5 : Edge detect diagram (Sphère S5).....	52
Figure 3-6 : Résultats simulation PIPENET (Sphères S1 et S2) .....	53
Figure 3-7 : Spray Diagram (Sphères S1 et S2) .....	53
Figure 3-8 : Résultats simulation PIPENET (Sphères S3 et S4) .....	54
Figure 3-9 : Spray Diagram (Sphères S3 et S4) .....	55

Figure 3-10 : Résultats simulation PIPENET (Le cigare de butane H3).....	56
Figure 3-11 : Spray Diagram (Le cigare de butane H3).....	56
Figure 3-12 : Résultats simulation PIPENET (Le cigare de propane H4).....	57
Figure 3-13 : Spray Diagram (Le cigare de propane H4).....	58
Figure 3-14 : tableau des paramètres .....	63
Figure 3-15 : Interface de EPANET .....	63
Figure 3-16 : Barre a outils .....	64
Figure 3-17 : Données d'entrée des jonctions. ....	64
Figure 3-18 : Données d'entrée des tuyaux .....	65
Figure 3-19 : Données d'entrée de la pompe.....	66
Figure 3-20 : Données d'entrée du réservoir .....	67
Figure 3-21 : Le tracé du réseau .....	67
Figure 3-22 : Lancer la simulation.....	68
Figure 3-23 : Résultats de simulation (la pression aux nœuds et débits des conduites)...	69
Figure 3-24 : La sélection du type de tableau pour les tuyaux (gauche) et les jonctions (droite).....	69
Figure 3-25 : Table des débits et vitesses dans chaque conduite.....	70
Figure 3-26 : Table des pressions et charges dans chaque nœud .....	71
Figure 4-1 : Schéma simplifié des composants du système déluge.....	75
Figure 4-2 : Indisponibilité du système déluge.....	76
Figure 4-3 : Défaillance dans le système déluge .....	77
Figure 4-4 : Défaillance dans le système logique et de détection.....	77
Figure 4-5 : Défaillance du système de pompage.....	78
Figure 4-6 : Arbre de défaillance de l'indisponibilité du système déluge sur GRIF .....	81
Figure 4-7 : Entrée des données pour la défaillance du capteur de pression (TPS) .....	81
Figure 4-8 : Entrée des données pour la défaillance du moteur électrique (TPE).....	82
Figure 4-9 : Entrée des données pour la défaillance de la vanne déluge (CST).....	82
Figure 4-10 : Résultats de la simulation de la disponibilité du système déluge sur GRIF83	
Figure 4-11 : Indisponibilité du nouveau système de pompage .....	85

## Liste des tableaux

Tableau 2-1 : Caractéristiques des différents agents extincteurs. [3] .....	24
Tableau 2-2 : Volume requis selon différentes réglementations .....	25
Tableau 2-3 : Comparaison entre le déluge par quadrillage et le déluge zénithal .....	31
Tableau 2-4 : Coefficient de rugosité 'C', pour différents types de tuyau [14].....	41
Tableau 3-1 : Principaux avantages et limites des détecteurs de flammes par catégorie .	60
Tableau 3-2 : Températures selon couleur de l'ampoule.....	61
Tableau 4-1 : Données sur la disponibilité des sprinklers [17] .....	74
Tableau 4-2 : Données de fiabilité des composants du système.....	79
Tableau 4-3 : Résultats de la disponibilité des sous systèmes.....	84
Tableau 4-4 : Résultats de la disponibilité des sous-systèmes avec le nouveau système de pompage .....	86

# **Introduction Générale**

## Introduction générale

Les incendies et les explosions sont des accidents majeurs pouvant être à l'origine de dommages inacceptables tant sur le plan matériel qu'humain, en causant des blessures graves voire des pertes humaines. Par conséquent, les entreprises consacrent un budget considérable, afin de prévenir et de lutter contre la survenue de ce phénomène et ses répercussions gravissimes.

Ce défi permanent impose que tout établissement soit muni d'un dispositif permettant, d'une part, la lutte contre le départ et la propagation d'un feu et d'autre part, la facilitation de l'évacuation et l'intervention des secours.

En cas de déclenchement d'un feu, les agents extincteurs tels que l'eau et la mousse sont transportés des zones de stockage jusqu'aux zones atteintes par le biais du réseau de lutte incendie. L'eau est le premier agent utilisé pour refroidir les équipements et les structures exposées au feu (l'eau est appliquée directement sur la surface à protéger). Elle permet de réduire les dégâts causés au matériel par l'augmentation de la chaleur ou la surpression issue de la surchauffe du contenu des capacités et de permettre d'échapper aux effets dominos. Elle peut également être utilisée pour protéger le personnel opérateur pendant les manœuvres incendie.

La Raffinerie d'Alger, étant à haut risque, nécessite un réseau de lutte incendie performant, qui répond aux exigences des normes internationales de nos jours. Mais au sein de cette raffinerie se trouve l'unité des sphères de stockage de GPL (U910) qui date de 1958. L'unité est équipée d'un réseau anti incendie dégradé. Par conséquent, elle nécessite un nouveau réseau plus efficace et qui se soumet aux nouvelles exigences. De ce fait, l'entreprise nous a confié l'étude du réseau incendie de l'unité 910 à travers le thème qui s'intitule : « Étude et dimensionnement d'un réseau anti-incendie d'un centre de stockage de GPL au sein de la Raffinerie d'Alger ».

Pour mener à bien notre étude nous adapterons la démarche suivante :

- Validation des scénarios de références, qui sont généralement les plus contraignants ;
- Détermination des besoins ;
- Élaboration du plan de notre réseau selon les normes internationales ;
- Calculs des débits ;
- Détermination du système de pompage requis ;
- Étude de la disponibilité du système déluge.

Notre travail sera réparti en cinq chapitres qui se présentent comme suit :

**Dans le premier chapitre**, nous présenterons l'historique d'évolution et les différents services liés à notre spécialité de la raffinerie d'Alger, ainsi que, la description de l'unité concernée par l'étude.

**Dans le deuxième chapitre**, nous aborderons les caractéristiques principales des différents éléments d'une installation fixe, les notions hydrauliques dans le réseau de lutte incendie, ainsi que les normes de référence qui nous permettront de dimensionner le réseau.

**Dans le troisième chapitre**, nous choisirons les scénarios de référence sur lesquels se basera notre dimensionnement du réseau anti incendie. Nous utiliserons les logiciels PIPENET et EPANET, afin de simuler et vérifier les indicateurs de performances du réseau qui sont la vitesse et la pression.

**Dans le quatrième chapitre**, nous étudierons la disponibilité du système déluge, par la méthode AdD (arbre de défaillances). Ensuite, nous procéderons à des changements, si nécessaire, afin d'assurer un haut niveau de disponibilité.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui passera en revue tout ce qui a été abordé dans ce mémoire.

## **Chapitre 1: Présentation de l'entreprise**

En Algérie, la découverte et la production du pétrole à l'état brut de Hassi Messaoud a nécessité la création d'une industrie de raffinage, et on a construit la première unité sur les mêmes lieux de la découverte.

Aussitôt l'indépendance acquise, l'Algérie s'est attachée à l'idée d'accéder au développement économique en avantageant la mise en place d'une industrie pétrolière par la transformation systématique de ses hydrocarbures.

## **1.1 Historique**

La Raffinerie d'Alger (appelée NAFTEC) est une filiale de SONATRACH qui se spécialise dans le raffinage et la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien. Elle a été mise en service en février 1964.

A l'origine, le raffinage était une activité intégrée dans SONATRACH. En 1982, le raffinage et la distribution des produits pétroliers ont été séparés des prérogatives de SONATRACH, en créant l'Entreprise nationale de raffinage et de distribution des produits pétroliers (ERDP-NAFTAL). En 1988, le raffinage, s'est à son tour, séparé de l'activité distribution, en créant l'Entreprise nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Algérie.

En avril 1998, l'Entreprise NAFTEC Algérie devient une filiale dont les actions sont détenues à 100% par le Holding raffinage et chimie du Groupe SONATRACH avec un capital social de 12 000 000 000 de DA dénommée Société nationale de raffinage de pétrole NAFTEC Spa.

En 2009, la société NAFTEC a été dissoute et a été récupéré par la société mère SONATRACH., sous la dénomination de **SONATRACH Activité LRP Division Raffinage**.

Depuis le 10 Janvier 1964 jusqu'à 1971 la raffinerie d'Alger était alimentée par des Tankers du port pétrolier de Bejaia au port pétrolier d'Alger, et puis par pipe jusqu'au parc de stockage. En 1971, un piquage a été effectué au niveau de Beni-Mansour à partir du pipe reliant Hassi-Massoud par un oléoduc alimentant la raffinerie de pétrole brut ainsi que l'extension du parc de stockage (un bac de brut, divers bacs de produits finis et semi-finis et une sphère de butane).

La raffinerie d'Alger est donc approvisionnée en pétrole en continu par pipe, à partir du site de production de Hassi- Massoud, caractérisé par une faible teneur en soufre et une grande richesse en hydrocarbures légers.

## **1.2 Présentation de la raffinerie d'Alger**

### **1.2.1 Situation géographique de la raffinerie d'Alger**

La raffinerie d'Alger est située à Sidi Arcine sur la commune de Baraki à 20km à l'est d'Alger et se trouve à une altitude de 20 m.

Le site de la raffinerie d'Alger occupe une superficie totale de 182 hectares (bâti et clôturé 96 Hectares) et est délimitée au :

Au Nord-Ouest par le dépôt NAFTAL GPL et le centre vrac

Au Nord par les habitants d'El Harrach

Au Sud par les habitations de Baraki



Au Sud Est par la Direction Générale de SONATRACH/ACTIVITÉ LRP/Pôle Raffinage et le siège de Sonatrach/TRC

Au Nord, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Est par des terrains agricoles.

La raffinerie d'Alger est liée au port pétrolier par une nappe de pipes d'une longueur de 14km.

Le port pétrolier se trouve dans l'enceinte du port d'Alger du côté Est, appelé aussi Quai 37.



Figure 1-1 : Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger contient des installations qui se composent d'unités de production et d'installation générale à savoir :

- **Unités de productions** : Distillation atmosphérique, Reforming catalytique et Gaz Plant
- **Installations générales** : Centrale thermoélectrique pour la production des utilités (électricité, vapeur, air, eau traitée), Un parc de stockage pour les produits finis et semi-finis, Des ateliers d'entretien (mécanique, tuyauterie chaudronnerie, électricité contrôle et instrumentation), Un laboratoire de contrôle de qualité des produits (pour la conformité).

## 1.2.2 Produits de la raffinerie d'Alger

La raffinerie d'Alger traite 2,7 millions de tonnes par an de pétrole brut.

Elle produit des GPL (butane et propane) et des carburants (essence normale et super, kérosène et gas-oil) pour l'approvisionnement du marché intérieur. Le fuel et les excédents de naphta sont exportés.

De plus, la raffinerie possède des moyens de stockage et d'expédition par pipes, par bateaux et par route.

### 1.2.3 L'organigramme de la raffinerie d'Alger

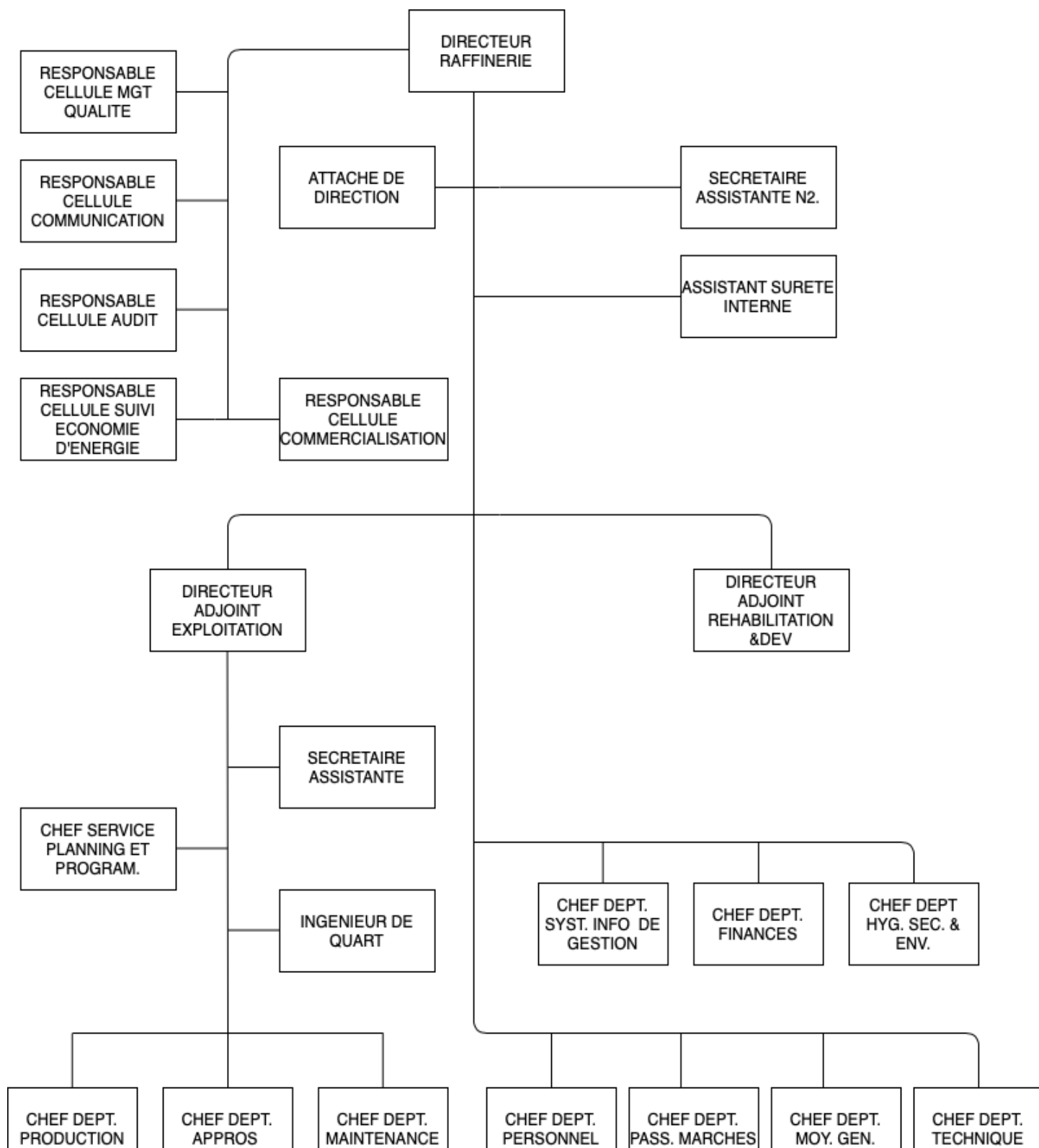


Figure 1-2 : Organigramme de la raffinerie SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE d'Alger

## **1.2.4 Organisation du département Sécurité Industrielle**

La politique de sécurité mise en place par SONATRACH/ACTIVITÉ AVAL/DIVISION RAFFINAGE est répercutée au niveau des différents sites par le département Sécurité Industrielle qui veille à sa bonne application. Le département est composé de 4 services :

- Service intervention
- Service prévention
- Service télésurveillance et contrôle d'accès
- Service protection de l'environnement

### **1.2.4.1 Service intervention**

Ce service, composé de 52 agents assure d'une manière continue, la surveillance et les interventions sur les installations. Le service intervention 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.

### **1.2.4.2 Service prévention**

Ce service est composé de 9 personnes assure d'une manière continue, la supervision et le contrôle des installations, la gestion des risques liés aux travaux, la préservation de la santé des travailleurs et 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 des enquêtes et des statistiques des accidents du travail.

### **1.2.4.3 Service télésurveillance et contrôle d'accès**

Le 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)

#### 1.2.4.4 Service protection de l'environnement

Ce service est constitué par (02) ingénieurs en environnement chargés des inspections et du contrôle environnemental sur les différents types de rejet.

Le rôle du Service Protection de l'Environnement consiste en la gestion, le contrôle et l'élimination des différents déchets.

### 1.3 Présentation de l'unité 910

La zone des sphères est prévue pour stocker séparément le propane et le butane produits dans l'usine de gaz GP (U-300) et l'unité de craquage catalytique des fluides résiduels RFCC (U-530).



Figure 1-3 : Vue aérienne avec Google Earth présentant l'emplacement de l'unité 910.

L'assiette de stockage en sphères comprend deux zones, La zone des sphères appelée unité 910 et la nouvelle zone des sphères, unité 911. L'unité 910 comprend les équipements suivants :

- Deux sphères pour propane (910-S-3, 910-S-4).
- Trois sphères pour butane (910-S-1, 910-S-2, 910-S-5)
- Un réservoir cylindrique pour propane hors spécifications (910-H-4).
- Un réservoir cylindrique pour butane hors spécifications (910-H-3).
- Pompes pour l'exportation (910-P-1, 910-P-2).
- Pompes pour le retraitement hors spécification (910-P-3, 910-P-011).
- Pompes pour le mélange en C4 (910-G-113).
- Compresseur (910-P-4).
- Séparateur (910-D-406).

Le schéma ci-après s'applique à la fois à l'alimentation des sphères de butane et de propane :

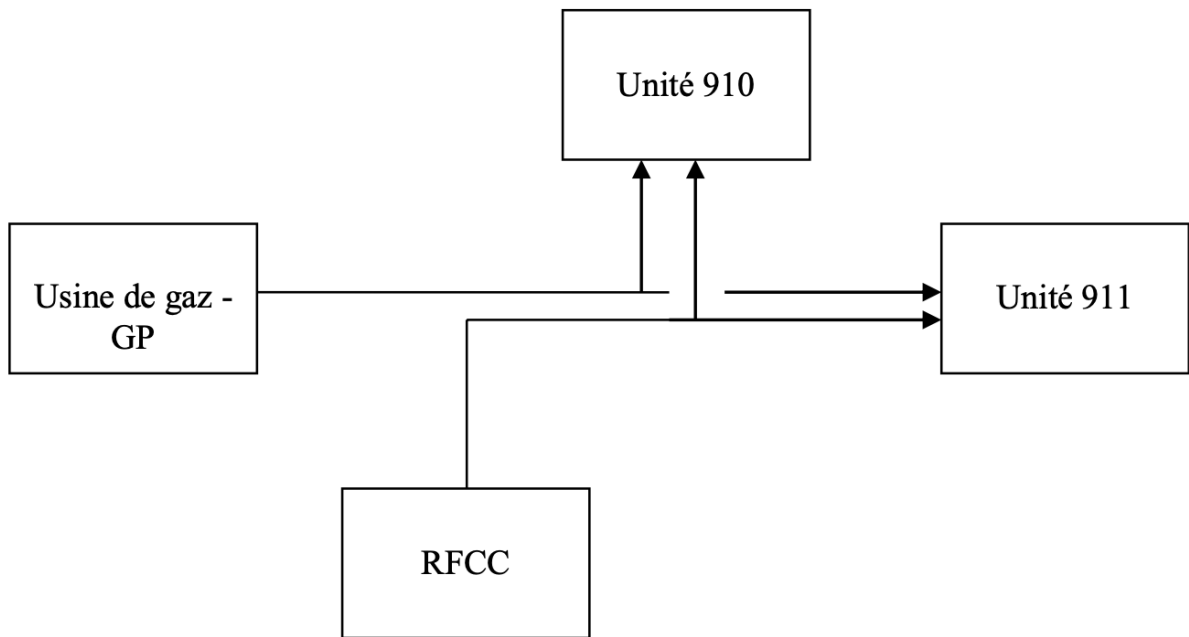


Figure 1-4 : Schématisation de l'alimentation des sphères.

Le stockage du propane existant comprend deux sphères 910-S-3/S-4, chacune d'une capacité de 1022 m<sup>3</sup>.

Le stockage du butane existant comprend trois sphères S1/S2/S5, chacune d'une capacité de 1531/1531/3000 m<sup>3</sup>.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la raffinerie d'Alger et le département de sécurité industrielle de manière générale. Nous avons procédé à la description de l'unité 910. Nous étudierons, dans le prochain chapitre, les caractéristiques des différents composants d'une installation fixe anti incendie ainsi que les exigences des normes internationales afin de pouvoir passer au dimensionnement.

## **Chapitre 2: Généralités sur la protection anti incendie**

Le réseau incendie doit être conçu de telle manière à protéger les emplacements sensibles d'un site, un des aspects essentiels lors du design du réseau incendie est la détermination de ces emplacements

## **2.1 Les types de protection anti-incendie**

On distingue deux (2) types de protection anti-incendie, la Protection Feu Passive (PFP) et la Protection Feu Active (PFA).

### **2.1.1 La protection feu passive**

La protection feu passive PFP joue un rôle préventif, elle représente l'ensemble des mesures constructives permettant à un ouvrage de résister à un incendie pendant un temps donné. Ces mesures sont appelées passives car elles fonctionnent sans aucune intervention humaine ni apport extérieur d'énergie. Elles visent à permettre l'évacuation des personnes et l'intervention des services de secours, en confinant le plus longtemps possible le feu dans le seul espace où il s'est déclaré. On peut citer comme exemple : l'ignifugeâge, les murs coupe-feu, les murs anti-explosion... etc. [1]

### **2.1.2 La protection feu active**

La protection feu active PFA quant à elle joue un rôle curatif et représente l'ensemble des systèmes de détection et extinction d'un incendie (détecteurs, sprinklers, extincteurs...). Elle a donc pour but d'avertir les usagers d'un espace du déclenchement d'un feu, et d'agir sur celui-ci via une intervention automatique ou humaine. [1]

## **2.2 Différents systèmes d'extinction [2]**

Les installations utilisent généralement trois types de systèmes de lutte incendie :  
Systèmes fixes : système de protection installé en permanence et connecté à une source d'agent extincteur.





Figure 2-1 : Lance monitor connectée sur le réseau maillé enterré [3]

Systèmes semi-fixes : système de protection installé en permanence non connecté à une source d'agent extincteur (connexion effectuée par du personnel entraîné).



Figure 2-2 : Poteaux incendie, avec son établissement, et lance incendie [3]

Équipements mobiles portables : équipements amenés sur le lieu de l'incident et mis en œuvre manuellement.

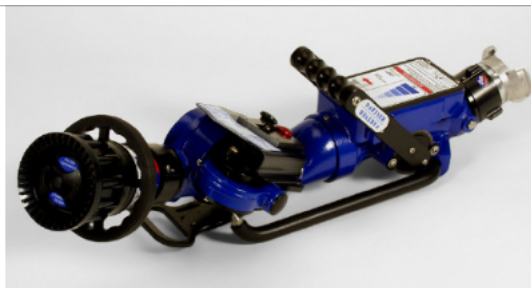


Figure 2-3 : Canons portables, en position replié pour le transport [3]

Selon le type de combustible impliqué, le mode d'application envisagé, les moyens à disposition de l'exploitant, etc, différents agents extincteurs peuvent être utilisés : l'eau, la

mousse, la poudre, les gaz inertes / inhibiteurs. Chaque agent agit selon des modes d'action qui lui sont propres (refroidissement, étouffement, etc.).

Tableau 2-1 : Caractéristiques des différents agents extincteurs. [3]

Agent	Eau	Mousse	Poudre	Gaz inerte / inhibiteur
Caractéristiques	Utilisée à température ambiante entre 4 et 10 bar de pression (réseau incendie) Disponible facilement	Fonction du type d'émulseur, de sa concentration et du foisonnement	Poudre BC Poudre ABC Poudre D	Gaz inerte (argon, CO <sub>2</sub> , azote, ...) Gaz inhibiteur (FM200, NOVEC, SAPPHIRE, ..)
Application	Projection (lances monitor ou lance à main) Application douce (déluge / sprinkler)	Projection (lances monitor ou lance à main) Application douce (déluge / sprinkler)	Sélection poudre selon le type de feu Projection (extincteurs / systèmes fixes)	Sélection gaz selon le type de feu Projection (extincteurs / systèmes fixes) Lieux clos ou confinés
Mode d'action	Refroidissement Noyage (feux de classe A) Étouffement : eau convertie en vapeur remplaçant oxygène de l'air Agent de déplacement pour éloigner du point de fuite un produit inflammable (sauf LPG)	<b>Essentiellement par étouffement</b> Refroidissement grâce à la vaporisation de l'eau de constitution de la mousse.	<b>Poudre BC - ABC sur flammes</b> Inhibition de la réaction de combustion Absorption de chaleur lors de la réaction de décomposition de la poudre par la flamme <b>Poudre ABC sur braises</b> Étouffement par formation d'un laque à la surface du foyer <b>Poudre D</b> isolement du métal de l'oxygène de l'air par formation d'une croûte (chlorures)	<b>Gaz inertes</b> Dilution de l'oxygène de l'air + Etouffement <b>Cas du CO<sub>2</sub></b> : En plus des actions ci-dessus : refroidissement (neige carbonique à -78°C) + abattage mécanique de la flamme par effet de souffle <b>Gaz inhibiteurs</b> Blocage de la réaction chimique de combustion Refroidissement important lors de la détente
Autre mode d'utilisation	Avec additifs mouillants Brouillard d'eau (refroidissement / étouffement) Vapeur (étouffement)		Possibilité de mixer avec système mousse (twin agent)	

Quel que soit le type de système, ce dernier est constitué de trois éléments :

- La source d'agent extincteur (eau, mousse, gaz inerte ou inhibiteur, poudre...etc.)
- Le réseau permettant d'acheminer l'agent extincteur au plus près de la zone ou élément à protéger
- Les consommateurs (réseau sprinkler, réseau déluge, hydrant...etc.)

## 2.3 Caractéristiques principales des différents éléments d'une installation fixe [2]

Une installation de protection fixe comprend classiquement :

- La réserve d'eau incendie.
- La pomperie (pompes principales et pompes jockey).
- Les systèmes de détection et d'alarme.
- Les systèmes de traitement de l'information.
- La configuration du réseau, (réseau maillé sectionnable d'eau incendie et de solution moussante).
- Les consommateurs (déluge, rideaux, hydrants/ poteaux incendie, lance monitors).

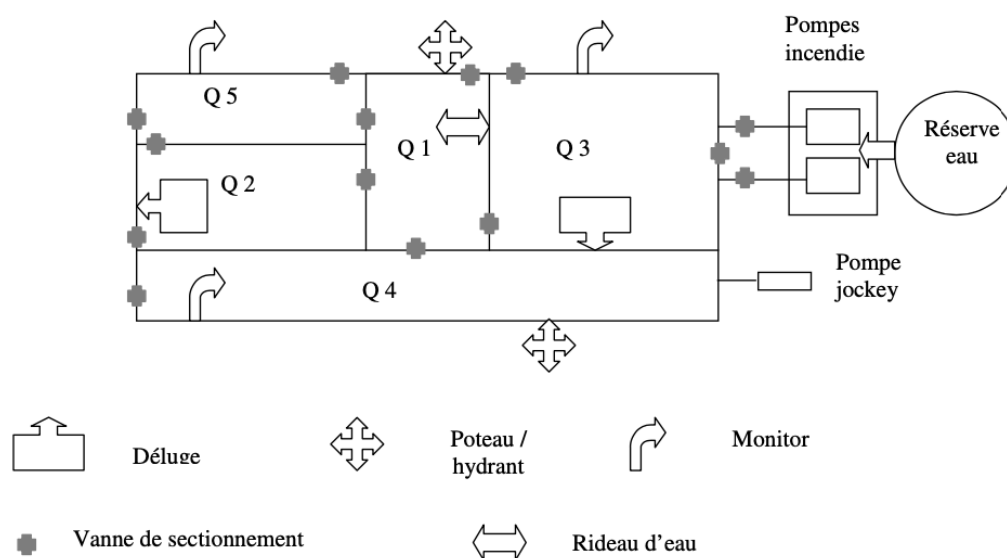


Figure 2-4 : Schéma simplifié d'un réseau incendie. [4]

### 2.3.1 La réserve d'eau incendie et pomperie

#### 2.3.1.1 La réserve d'eau

La réserve d'eau (bassin, réservoir) doit être disponible, calculée sur la base du plus grand besoin en eau dans l'usine. [2]

Selon les réglementations, on a les valeurs dans le tableau suivant :

Tableau 2-2 : Volume requis selon différentes réglementations

Réglementation	Volume (m <sup>3</sup> )
Française	Q requis (max) (m <sup>3</sup> /h) x 12 heures
Américaine	Q requis (max) (m <sup>3</sup> /h) x 4 à 6 heures
Anglaise	Q requis (max) (m <sup>3</sup> /h) x 10 heures

#### 2.3.1.2 Pompes principales

Les pompes incendie couvrent 100% de la demande maximale, à la pression requise en tous points du réseau. Le nombre de pompes installées est au moins égal au nombre de pompes nécessaires pour fournir le débit requis (100%) + 1, dans le cas où une pompe serait indisponible (pour cause de maintenance par exemple). On peut retrouver les combinaisons suivantes :

- 3 x 50% (3 pompes), c'est la combinaison la plus fréquente.
- 2 x 100% (2 pompes).
- 2 x (2 x 50%) (4 pompes).

Le nombre de pompes installées est au moins égal au nombre de pompes nécessaires + 1, pour couvrir le cas où une pompe serait indisponible (maintenance).

Ces pompes devraient être localisées de part et d'autre de l'installation, pour pouvoir alimenter le réseau maillé par au moins deux voies différentes. Elles sont à positionner de façon à être protégées des risques de feu et d'explosion de l'installation ou d'un incendie sur une pompe incendie voisine (mur coupe-feu et anti-explosion, distance à l'installation en accord avec l'étude de dangers). De plus, elles devraient être entraînées par des sources d'énergie indépendantes (électricité, moteur diesel, etc.). [2]



Figure 2-5 : Pompe diesel incendie.[3]



Figure 2-6 : Pompe électrique incendie [3]

La courbe caractéristique des pompes (débit / pression) doit répondre aux critères énoncés dans le NFPA 20 :

- Pression maximale à débit nul  $\leq 140\%$  pression nominale
- Pression minimale à 150% du débit nominal  $\geq 65\%$  pression nominale. [5]

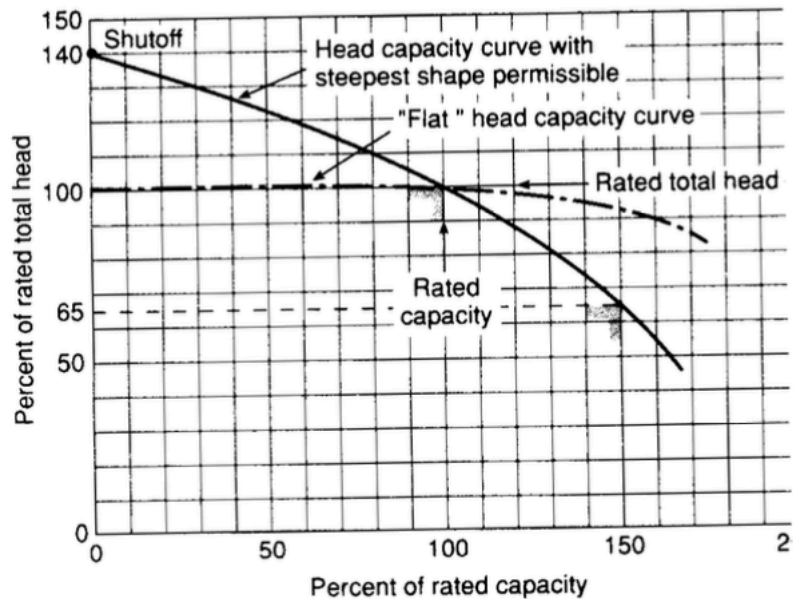


Figure 2-7 : Courbe de pompe incendie selon NFPA 20 [5]

### 2.3.1.3 Pompes Jockey

Les pompes jockey, électriques et au nombre d'une ou deux, sont prévues pour maintenir un débit de 20 à 50 m<sup>3</sup>/h dans le réseau incendie, à une pression d'environ 6 à 8 bars pour compenser le taux normal de fuite sur le réseau. Les pompes principales ne peuvent pas être utilisées comme pompes jockey. Lorsqu'il y a deux pompes jockey, la deuxième pompe peut être démarrée :

- Automatiquement en cas d'insuffisance de la première ;
- De façon ponctuelle en cas d'opérations de maintenance sur la première ;
- De façon plus régulière afin d'équilibrer l'utilisation des deux pompes. [5]

### 2.3.1.4 Configuration classique d'une pomperie

On peut voir le schéma d'une configuration classique d'une pomperie dans la figure ci-dessous :

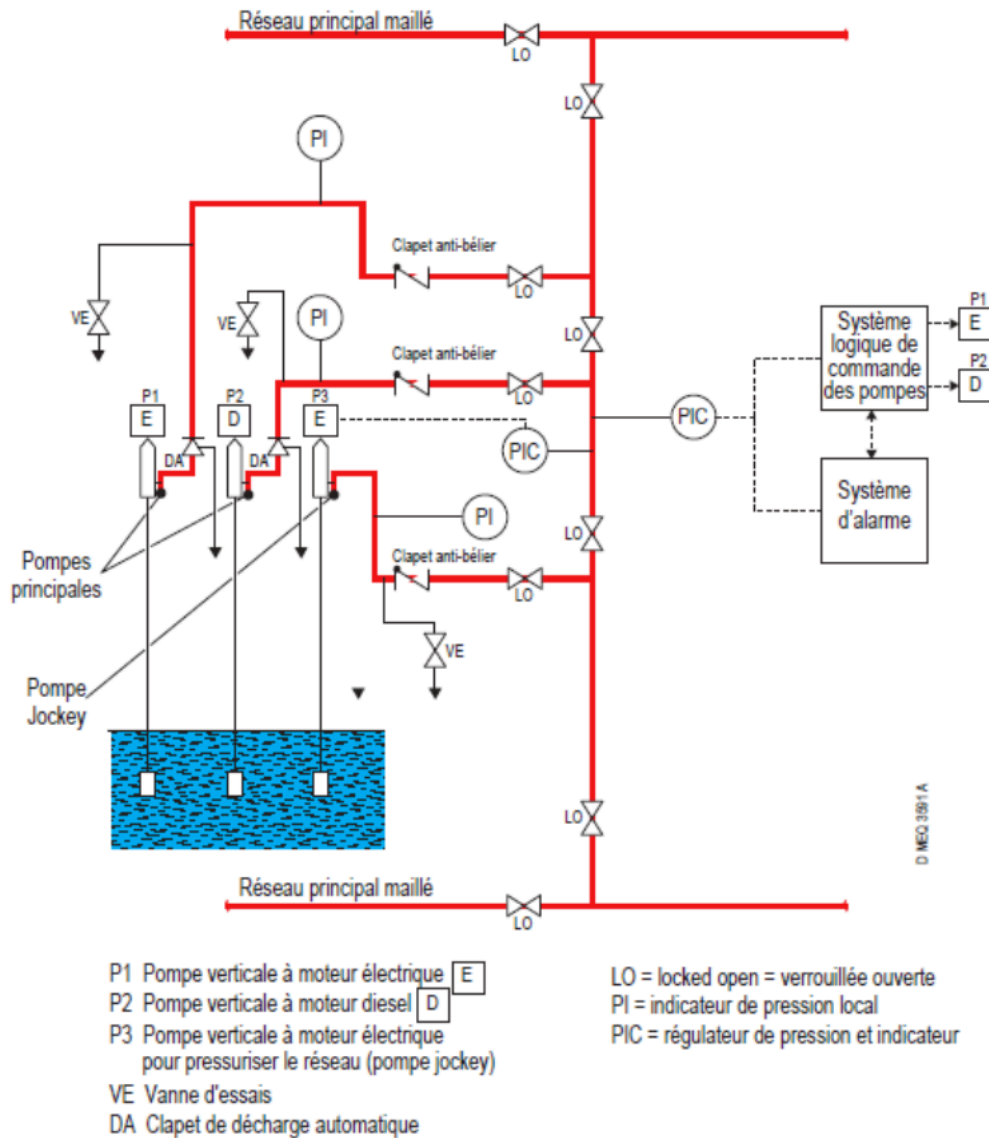


Figure 2-8 : Configuration classique d'une pomperie incendie.

### 2.3.2 Configuration des réseaux hydrauliques

On distingue deux types de réseaux hydrauliques : le réseau ramifié ou étoilé et le réseau maillé.

#### 2.3.2.1 Le réseau ramifié (ou étoilé)

Une seule canalisation principale alimente toutes les canalisations secondaires :

- Il y a un seul sens d'écoulement.

Les inconvénients sont :

- Une coupure entraîne l'arrêt total en aval
- Les pertes de charges augmentent avec les extrémités
- La conformité en débit et pression de l'hydrant (poteau d'incendie ou bouche d'incendie) n'est pas garantie
- Des dépôts se forment en bout de la ramification (difficulté pour nettoyer)

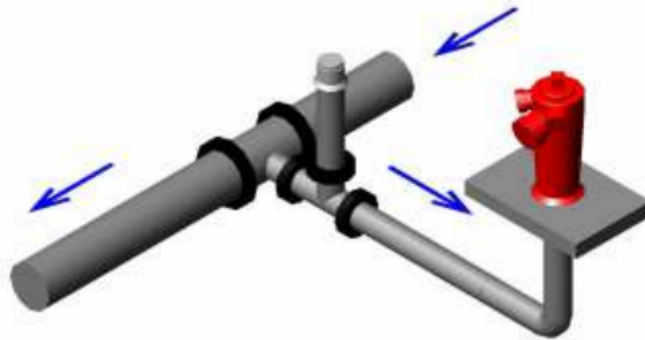


Figure 2-9 : Réseau ramifié

### 2.3.2.2 Le réseau maillé

Le réseau maillé lie entre les consommateurs d'eau au niveau des bac et cuves de rétention, et la réserve et pomperie d'eau. La réglementation exige que le réseau anti incendie soit maillé pour qu'il puisse transporter l'agent extincteur par différentes voies. Il est constitué de vannes d'isolement situées à chaque intersection du circuit principal et permet d'isoler manuellement une branche du réseau, permettant ainsi l'approvisionnement en eau des consommateurs malgré les interruptions ou les opérations de maintenance sur une partie du réseau.

La pression dans le réseau est contrôlée par des capteurs de pression à des points clés (par exemple, à proximité de la station de pompage ou au point le plus éloigné).

Les canalisations secondaires sont reliées à au moins deux canalisations principales :

- Deux sens d'écoulement (addition des débits).
- Possibilité de coupure partielle.

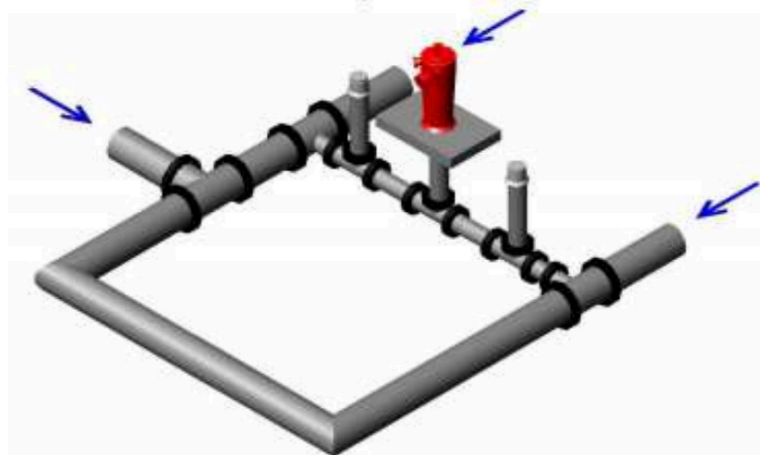


Figure 2-10 : Réseau maillé

### 2.3.3 SYSTEME DE DETECTION

Les phénomènes détectables liés à un incendie sont très variables, on trouve notamment :

- Une élévation de température ;
- Des fumées composées de particules en suspension dans l'air ;
- Des flammes ;
- Des odeurs de brûlé.

Ces phénomènes-là sont en particulier liés à la nature du combustible, à l'approvisionnement en comburant, au type d'inflammation et beaucoup d'autres paramètres tels que la hauteur sous le plafond ...etc.

On distingue trois principaux types de détection incendie :

- Les détecteurs de fumées : ionique ou optique ;
- Les détecteurs de flammes : infrarouge ou ultraviolet ;
- Les détecteurs de chaleur/température : thermostatique ou thermo-vélocimétrique.

### 2.3.4 Les systèmes de traitement de l'information

Pour le traitement de l'information, on utilise un automate programmable industriel, ou API, qui est un dispositif électronique numérique programmable destiné à la commande de processus industriels par un traitement séquentiel. Il envoie des ordres vers les pré-actionneurs (partie opérative) à partir de données d'entrées (partie commande), de consignes et d'un programme informatique.

Cette partie ne sera pas traitée plus en détails dans ce document.

### 2.3.5 Les consommateurs

Une installation est protégée par un ensemble de consommateurs parmi lesquels on retrouve :

- Le système déluge ;
- Les rideaux d'eau ;
- Les lances monitors ;
- Les hydrants (poteaux incendie). [2]

#### 2.3.5.1 Le système déluge

Le système déluge est une installation fixe destinée au refroidissement des réservoirs du dépôt. Il est constitué d'un ensemble de couronnes fixées autour des réservoirs. Il est constitué de filtres, de vannes déluge et de buses de déluge (aussi appelés pulvérisateurs).

Comme son nom l'indique, le système déluge a pour objectif de délivrer une grande quantité d'eau. Pour cela, nous utilisons des pulvérisateurs à « tête ouverte », c'est-à-dire que l'orifice est libre. Lorsque le système se déclenche, une vanne s'ouvre et libère l'eau qui parcourt le réseau de tuyauterie. Ainsi, tous les pulvérisateurs du réseau fonctionnent en même temps afin de déverser une grande quantité d'eau sur une zone ciblée. Donc chaque réservoir a son propre système de tuyauterie de refroidissement et sa propre vanne de déclenchement, aussi appelée « poste déluge ».



Le déclenchement peut être manuel ou automatique avec une détection de nature hydraulique (réseau pilote équipé de sprinklers) ou électrique (sonde de température, sonde de pression, caméra thermique...). [2]

On distingue deux types (2) de systèmes déluge applicables sur les stockages de gaz inflammables liquéfiés :

- Déluge par un ensemble de buses quadrillant la surface de la sphère ou du cigare, minimisant les effets du vent
- Déluge zénithal, appliqué en haut de la sphère ou du cigare



Figure 2-11 : Déluge par quadrillage (gauche), Déluge zénithal (droite) [2]

Chacun de ces systèmes présente des avantages et des inconvénients résumés ci-dessous :

Tableau 2-3 : Comparaison entre le déluge par quadrillage et le déluge zénithal

	Déluge par quadrillage	Déluge zénithal
Avantages	Activation rapide et automatique Bonne homogénéité de mouillage	Activation rapide et automatique Moins vulnérable aux explosions Moins de risque de bouchage
Inconvénients	Vulnérable en cas d'explosion Risque de bouchage Demande en eau importante	Peu efficace contre les feux de torches Problème d'homogénéité de mouillage

#### a) Le réseau déluge

Il est dimensionné pour permettre le fonctionnement de toutes les buses dans les 30 secondes après l'ouverture de la vanne déluge. On peut le déclencher manuellement à partir

d'un tableau de commande déporté ou localement, ou de façon automatique par des détecteurs pneumatiques ou électriques.

Le calcul hydraulique du système est nécessaire, et est souvent effectué par un installateur, l'ingénierie effectuant un pré-dimensionnement uniquement. [2]

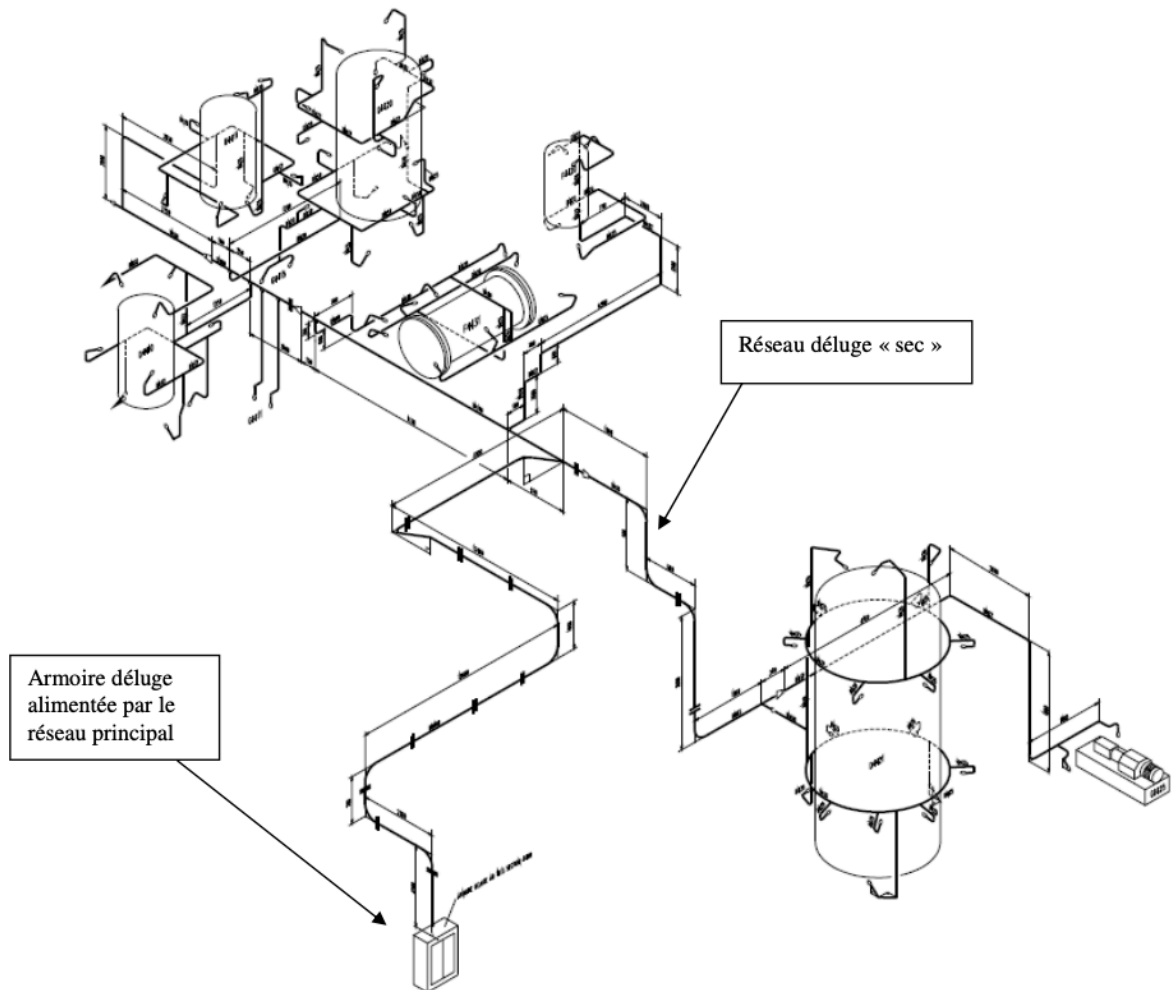


Figure 2-12 : Schéma type d'un système déluge [2]

De préférence, on alimente le réseau par 2 points localisés sur des mailles différentes. Ces deux points sont : soit 2 vannes déluge automatiques, soit une vanne automatique et une vanne manuelle.

On illustre les 2 cas dans les figures suivantes :

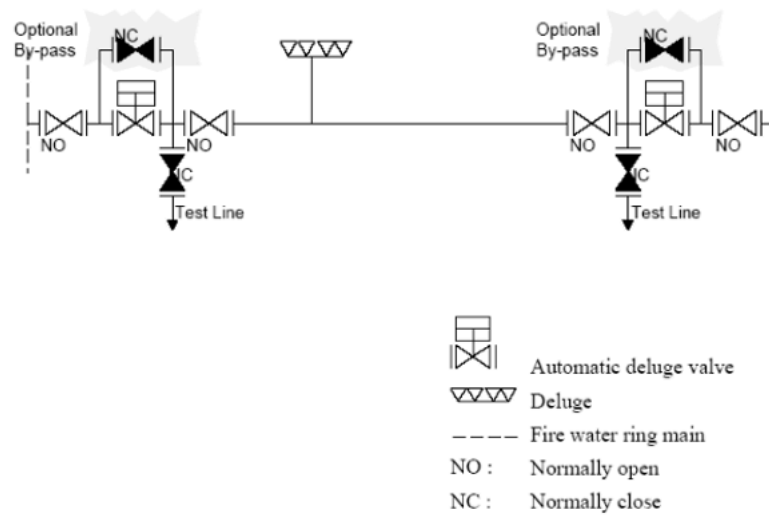


Figure 2-13 : Alimentation par deux vannes automatiques [2]

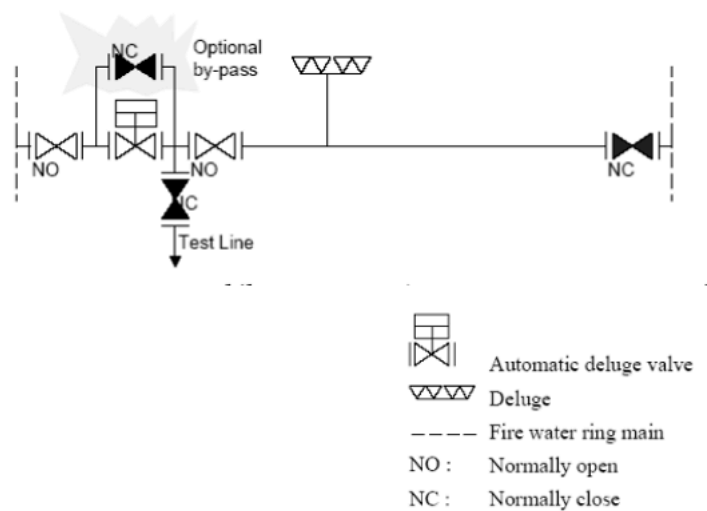


Figure 2-14 : Alimentation par une vanne déluge automatique et une vanne manuelle [2]

## b) Filtres

Les filtres doivent :

- Séparer les particules solides pouvant obturer les buses (de l'ordre de 3 mm), ou même endommager la vanne déluge.
- Être placés en amont de la vanne déluge.
- Avoir une connexion pour le rinçage

- Pouvoir être utilisés sur de longues périodes (contrôle annuel au minimum, nettoyage
- Après chaque utilisation / test) sans que soit notée une augmentation significative de la perte de charge.

*Remarque : Certains industriels utilisent un filtre dit « piège à cailloux », placé après la vanne déluge type papillon, et dont l'efficacité est plus ou moins prouvée.*



Figure 2-15 : Filtre en Té, amont vanne déluge à membrane (gauche). Piège à cailloux, aval vanne déluge papillon (droite) [3]

### c) Vannes déluge

La vanne déluge est : une vanne spéciale à ouverture « rapide », aujourd'hui, maintenue en position fermée par la pression de l'eau incendie à passage direct pour éviter toute obstruction en cours de fonctionnement.



Figure 2-16 : Vanne à membrane [3]



Figure 2-17 : Vanne papillon (avec motorisation pneumatique)

La vanne déluge peut être activée de plusieurs façons : pneumatique (réseau sprinkler sec, bouchons fusibles) et / ou électrique (électrovanne actionnée par bouton poussoir, détection gaz, détection feu) et / ou manuelle.

Elle est toujours réarmée localement et manuellement.



Figure 2-18 : : 3 vannes déluge avec déclenchement électropneumatique et réarmement local

La vanne déluge couvre les équipements localisés dans une même zone, et non sur deux zones différentes. Elle est située hors de la zone protégée (hors des cuvettes entre autres), et à un emplacement où il est possible d'intervenir manuellement sur les vannes en cas d'incendie.

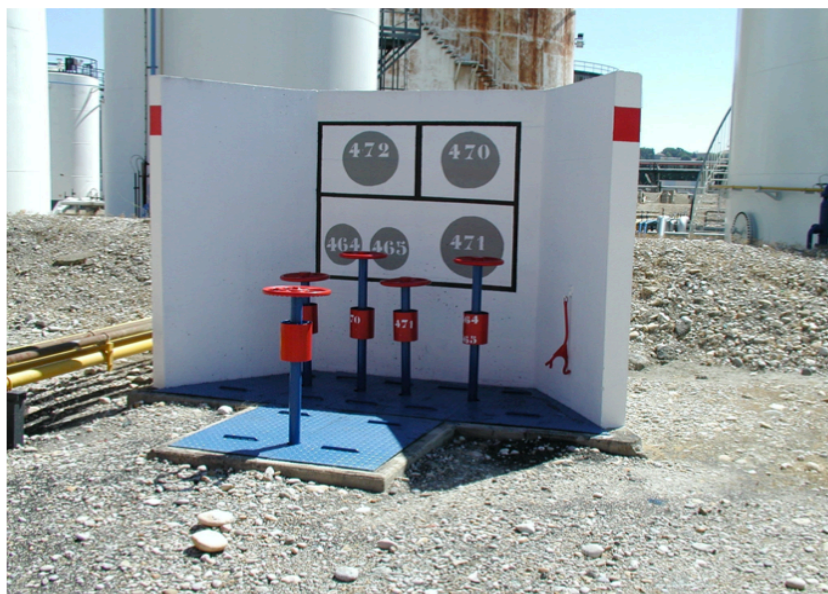


Figure 2-19 : Vannes déluge et de sectionnement manuelles protégées par un mur coupe-feu [3]

#### **d) Buses de déluge (Pulvérisateurs)**

Les buses sur une installation déluge sont de type ouvert (sans fusibles) : la totalité de la zone alimentée par la vanne déluge déclenchée est arrosée simultanément. Les buses sont installées de façon à ne pas être sur la génératrice inférieure de la tuyauterie, afin d'éviter la corrosion et l'accumulation de dépôt au niveau de la buse.

Pour des raisons à la fois de dimensionnement, d'approvisionnement, et de maintenance, on homogénéise autant que possible, les types de buses sur une installation.

Le pulvérisateur à moyenne vitesse est le plus utilisé :

- L'eau est éjectée à 20m/s pour avoir une pulvérisation correcte.
- La pression de fonctionnement est de 4barg, avec un minimum de 2,5barg (les buses déluge pouvant accepter un maximum de 12barg).

Il est de type imbouchable, avec la pièce de diffusion placée à l'extérieur de la buse, et à une distance telle que le passage libre est supérieur au diamètre du jet.

Trois types de jet sont possibles :

- Pulvérisateurs écran, destiné au rideau d'eau ;
- Pulvérisateurs à jet demi-sphérique, permettant la protection générale des locaux ou autour d'appareil important ;
- Pulvérisateurs à jet conique, pour couvrir les appareils isolés.



Buse à jet écran



Buse à jet demi sphérique



Buse à jet conique

Figure 2-20 : Différents types de pulvérisateurs [6]

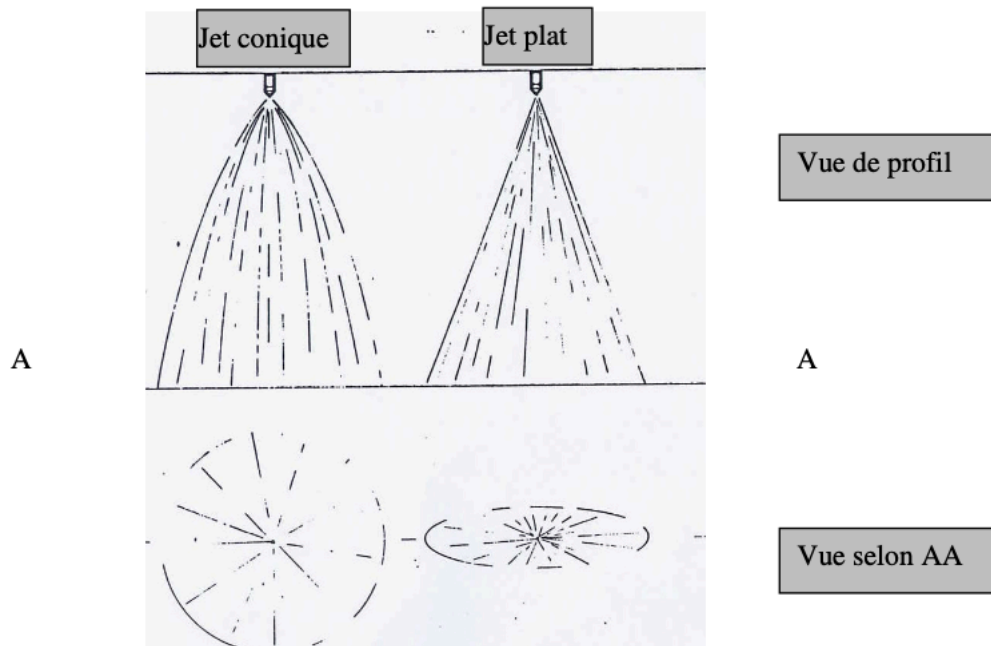


Figure 2-21 : Différents types de jet

Chaque pulvérisateur est défini par :

- Son profil de distribution (jet plat, jet conique, jet demi-sphérique) ;
- L'angle du jet ;
- Sa position de montage (orientée vers le haut / vers le bas / de profil) ;
- Le diamètre de la buse (jet) ;
- Son coefficient K, tel que  $Q=K\sqrt{P}$  ;
- La distance à la cible ;
- Les conditions atmosphériques (vent) ;
- Le matériau souhaité.



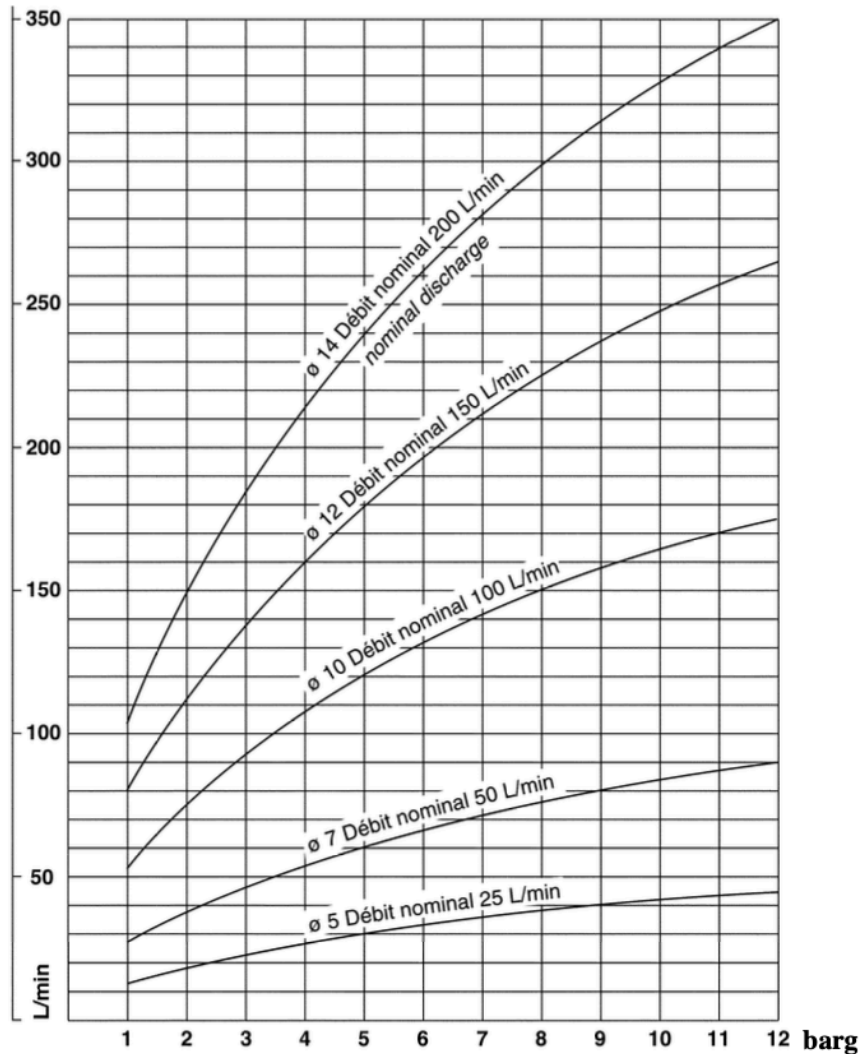


Figure 2-22 : Courbes de fonctionnement des pulvérisateurs d'eau [11]

### 2.3.5.2 Lance monitors à eau

Une lance d'incendie est un dispositif permettant de projeter de l'eau ou de la mousse pour lutter contre un feu. La lance est reliée à un tuyau qui achemine l'eau depuis sa réserve.

Les lances monitors sont conçues pour fournir l'eau pour le refroidissement des réservoirs de stockages, ou même pour l'extinction des feu bac et cuvettes. Les fournisseurs offrent plusieurs modèles, elles peuvent être fixes ou oscillantes, manuelles ou automatiques. Elles fournissent généralement un débit de 70 à 180 mètres cubes par heure à une pression de 7 à 10 bars, avec une portée horizontale moyenne de 40 m.

Le nombre des lances monitors doit être suffisant pour atteindre tous les équipements dans un rayon de 40 m, et la distance minimale entre eux et les équipements à protéger est de 15 m.

Caractéristiques principales d'un lance monitor :

- Portée horizontale moyenne : 40 mètres ;
- Débit : 120 m<sup>3</sup>/h, à 10 bar;
- Angle de rotation horizontal : 360° entre butée ;
- Angle de rotation vertical +80° (haut) - 45° (bas). [2]

### 2.3.5.3 Les hydrants

Les hydrants font partie des systèmes hydrauliques de sécurité incendie, raccordés au réseau d'eau à une pression qui varie de 1 à 16 bars, avec un débit égal à 60 m<sup>3</sup>/h ou plus. Ils doivent être accessibles en toutes circonstances. [2]

## 2.4 Notions hydrauliques dans les réseaux de lutte incendie

La performance du système de lutte incendie dépend principalement des débits et pressions disponibles dans le réseau. Il nous faut donc calculer les pertes de charges dues aux frottements et les pertes singulières dues aux accidents de parcours.

### 2.4.1 La vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement d'un fluide dans une conduite se détermine par la relation suivante :  $V = 4Q_v / \pi D^2$

Sachant que :

V : Représente la vitesse d'écoulement dans la conduite, en [m/s] ;

Q<sub>v</sub> : Représente le débit véhiculé dans la conduite, en [m<sup>3</sup>/s] ;

D : Représente le diamètre de la conduite, en [m]. [7]

### 2.4.2 Le débit d'écoulement

Il représente un volume de fluide qui circule d'un point A à un point B par unité de temps (en l/min ou m<sup>3</sup>/s)

### 2.4.3 La pression d'écoulement

La pression est une grandeur physique qui traduit les échanges de quantité de mouvement dans un système thermodynamique, et notamment au sein d'un solide ou d'un fluide. Elle est définie classiquement comme l'intensité de la force qu'exerce un fluide par unité de surface.

### 2.4.4 Coefficient de rugosité

Le coefficient 'C' est un nombre sans unité qui quantifie la rugosité des parois intérieures d'une canalisation donnée, il diminue lorsque la rugosité de la paroi augmente et vice versa. Plus il est petit, plus les parois sont rugueuses, ce qui accroît en conséquence les pertes de pression dues au frottement.

Le coefficient de rugosité varie selon le matériau qui compose la canalisation et son revêtement intérieur. Mais il faut noter qu'il varie aussi selon l'âge de la canalisation. [8]

La norme NFPA 15<sup>1</sup> recommande les coefficients C à utiliser lors des calculs hydrauliques, en accord avec la formule de Hazen-Williams, dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-4 : Coefficient de rugosité ‘C’, pour différents types de tuyau [14]

Type de tuyau (pipe)	Coefficient de rugosité
Fonte ductile	100
Acier noir	120
Galvanisé	120
Plastique (Tuyau souterrain)	150
Fonte ductile recouvert de mortier de ciment	140
Cuivre ou acier inoxydable	150

*Remarque : En raison de la marge de sécurité, les coefficients ci-dessus sont un peu plus élevés que les coefficients réels.*

### 2.4.5 Les pertes de charge

Les pertes de charge sont des chutes de pression dues à la résistance que rencontrent les fluides en écoulement : les actions de cisaillement occasionnent en effet des pertes énergétiques.

Elles peuvent être soit linéaires ou singulières.

**Les pertes de charge linéaires** correspondent aux pertes lors de l’écoulement le long des conduites causée principalement par les frottements contre la paroi de la canalisation.

L’expression adoptée est :

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{D} \rho \frac{V^2}{2} \text{ (Pascal)}$$

Où :

$\lambda$  représente le coefficient de perte de charge linéaire le long de la conduite, il est fonction du régime d’écoulement.

L et D représentent respectivement la longueur et le diamètre de la conduite.

$\rho$  et V représentent la masse volumique, et la vitesse du fluide dans la conduite.

**Les pertes de charge singulières** se manifestent sur les pièces spéciales, comme les vannes, les soupapes ou bien les raccords qui modifient la section de passage du fluide ou sa direction.

L’expression adoptée est :

---

<sup>1</sup> NFPA 15 : *Water Spray fixed systems for fire protection*, une norme qui concerne les systèmes d’arrosage à eau, de type déluge, système particulièrement utilisé en Risques Spéciaux.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \xi \cdot \rho \cdot V^2 \text{ (Pascal)}$$

Où  $\xi$  représente le coefficient de pertes de Charge singulières, il est calculé, à travers les corrélations des configurations adoptées.

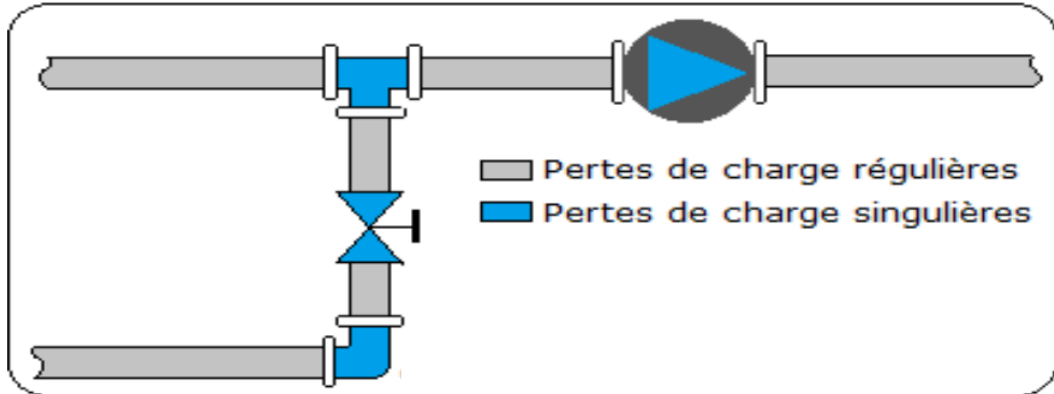


Figure 2-23 : Pertes de charges linéaires et singulières

Le calcul de ces pertes de charges est fondamental pour dimensionner les conduites d'écoulement et pour calculer les caractéristiques des pompes qui provoquent et maintiennent l'écoulement des fluides.

#### 2.4.6 Formule de Hazen-Williams

L'équation de Hazen-William est une formule empirique qui relie le débit d'eau dans une conduite, les propriétés physiques de cette dernière et la chute de pression causée par la friction, et qui est utilisée dans la conception des conduites d'eau des systèmes tels que les systèmes d'incendie et des réseaux d'approvisionnement en eau.

L'équation de Hazen-Williams a l'avantage que son coefficient de rugosité 'C' n'est pas une fonction du nombre de Reynolds, en outre elle ne tient pas compte de la température ou de la viscosité<sup>2</sup> du fluide.

La formule générale de cette équation est donnée par :

$$H = K \times Q^{1.85} \text{ (SI)}$$

Avec :

H : Perte de charge, en [m]

Q : Débit, en [m<sup>3</sup>/s]

K : Coefficient,  $K = \frac{10.679 \times L}{C^{1.85} \times D^{4.87}}$

<sup>2</sup> La viscosité du fluide est l'ensemble des phénomènes de résistance au mouvement d'un fluide pour un écoulement avec ou sans turbulence.

L : Longueur de la conduite, en [m]

C : Coefficient de rugosité de Hazen-Williams (égale a 120 pour l'Acier noir neuf pour les systèmes sous eau)

D : Diamètre de la conduite, en [m]. [10]

### 2.4.7 Nombre de Reynolds

Osborne Reynolds ingénieur britannique (1842 – 1912), réalisa des expériences de l'écoulement d'un fluide dans une conduite cylindrique rectiligne, qui ont montré l'existence de deux régimes d'écoulement : laminaire et turbulent.

Reynolds a utilisé des fluides divers (viscosité différente), en faisant varier le débit et le diamètre de la canalisation, il a montré que le paramètre qui permettait de déterminer si l'écoulement est laminaire ou turbulent est un nombre sans dimension appelé nombre de Reynolds et donné par :

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Avec :

V : La vitesse d'écoulement du fluide, en [m/s].

D : Le diamètre intérieur de la tuyauterie, en [m].

$\nu$  : La viscosité cinématique du fluide, en [m<sup>2</sup>/s].

Si  $Re < 2000$  l'écoulement est laminaire.

Si  $2000 < Re < 4000$  l'écoulement est transitoire.

Si  $Re > 4000$  l'écoulement est turbulent. [11]

### 2.4.8 Équation de Bernoulli

L'équation de Bernoulli est la base de la description des phénomènes physique d'écoulement de liquide. Elle permet d'exprimer la somme des énergies (potentiel, cinétique et énergie de pression) représentent la somme des différentes pertes de charge. La formule générale est donnée par :

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + h_a = \frac{P_b}{\rho g} + \frac{V_b^2}{2g} + h_b + \Delta H$$

Avec :

$P_a$  et  $P_b$  : La pression au point a et b, en [PA].

$V_a$  et  $V_b$  : La vitesse au point a et b, en [m/s].

$h_a$  et  $h_b$  : La hauteur au point a et b, en [m].

$\Delta H$  : La perte de charge totale, en [m].

## 2.5 Normes de référence

On trouve de nombreux standards et codes internationaux qui traitent le dimensionnement des installations fixes de lutte contre l'incendie. On peut citer notamment les normes NFPA (National Fire Protection Association) qui sont des standards utilisés principalement par des groupes transnationaux.

1. Le standard NFPA 15 concerne les systèmes d'arrosage à eau (déluge). Ce standard est particulièrement utilisé en Risques Spéciaux, pour la protection des feux à développement rapide et le refroidissement des équipements (réacteurs, réservoirs, colonnes de distillation, transformateurs, convoyeurs, etc.).
2. La règle NFPA 13 concerne les installations de systèmes sprinklers.

Cette règle présente des règles claires et précises pour les systèmes sprinklers depuis la conception jusqu'à l'installation et pour l'ensemble des risques.

Elle intègre, entre autres :

- Des critères d'installation permettant de satisfaire des besoins spéciaux en architecture ;
- Des spécifications complètes pour les stockages ;
- Une section présentant les bases de l'installation des sprinklers résidentiels ;
- Une section spéciale pour la conception de la protection des risques spécifiques ;
- Des tableaux pour le choix de sprinklers ESFR.

3. La règle NFPA 30 est le code pour les liquides inflammables et combustibles.
4. La règle NFPA 20, normes pour l'installation de pompes fixes contre l'incendie.

On a aussi les normes API (American Petroleum Institute).

5. La norme API 2510A : *"Fire protection considerations for the design and operation of liquefied petroleum gas (LPG) storage facilities"*. [12]

### Conclusion

Après avoir déterminé ce que doit contenir une installation anti-incendie fixe, comment faire les calculs hydrauliques et les normes internationales qu'on doit respecter, on peut passer au dimensionnement du réseau.

## **Chapitre 3: Dimensionnement du réseau anti-incendie**

Dans ce chapitre, on va établir le plan de notre réseau et spécifier les besoins en eau de l'unité 910 selon les normes internationales. Nous devons tout d'abord choisir un scénario de référence, puis utiliser les notions étudiées lors du chapitre précédent en vue de déterminer toutes les caractéristiques de notre réseau.

### 3.1 Scénario de référence pour le dimensionnement du réseau

« For LPG and propane storage sites, the most important type of domino accident is a fired BLEVE<sup>3</sup> of the LPG or propane pressure vessel. Initiating events are pool fire, jet fire and fire from buildings. » [19]

Pour les sites de stockages de GPL, le scénario le plus probable et le plus pénalisant est le BLEVE chaud, qui est le plus souvent causé par des feux de torche, des feux de nappe ou bien des feux voisins. C'est aussi l'accident à effets dominos le plus important.

Selon une étude sur le Centre Vrac de NAFTAL, situé à côté de la raffinerie d'Alger, 68,75% des dérives inacceptables qui découlaient des sphères de stockage GPL donnaient lieu à un BLEVE. [20]

On a ainsi décidé de prendre comme scénarios de référence pour dimensionner notre réseau anti-incendie :

- Le feu de torche
- Le BLEVE

### 3.2 Dimensionnement du réseau anti-incendie

#### 3.2.1 Calcul des surfaces des sphères et des cigares

En vue du manque de documents sur l'unité 910, on doit calculer les surfaces des sphères (910-S-1, 910-S-2, 910-S-3, 910-S-4 et 910-S-5) en nous basant leur capacité de stockage.

On commence par les sphères de propane (910-S-3 et 910-S-4).

Les nouvelles sphères de stockage de propane de l'unité 911 : 911-S008 et 911-S-009, ont un diamètre de 13,5m pour une capacité de 1000 m<sup>3</sup>.

On calcul d'abord les volumes des sphères 911-S008 et 911-S009 (V<sub>8</sub> et V<sub>9</sub>) avec l'équation suivante :

$$\text{Volume} = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{\text{diametre}}{2} \right)^3$$
$$V_9 = V_8 = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{13,5}{2} \right)^3 = 1288,25 \text{ m}^3$$

---

<sup>3</sup> BLEVE : de l'anglais (*Boiling Liquid Expanding Vapor*). C'est une explosion de gaz en expansion provenant d'un liquide en ébullition. Une augmentation de température, le plus souvent causée par un incendie, fragilise le métal de la sphère de stockage. La sphère peut éclater sous l'effet de la pression interne.



Ensuite, on calcul leurs taux de remplissage avec l'équation :

$$\text{Taux de remplissage}_{\max} = \frac{\text{Capacité de stockage max}}{\text{Volume de la sphère}} = \frac{1000}{1288,25} = 0,78$$

Les sphères de propane de l'unité 911 ont un taux de remplissage de 78%.

Sachant que les sphères de propane de l'unité 910 ont le même taux de remplissage. On peut déduire le volume des sphères 910-S3 et 910-S4 ( $V_3$  et  $V_4$ ) à partir de leur taux de remplissage et de leur capacité de stockage maximale.

Les sphères S-3 et S-4 ont une capacité de 1022 m<sup>3</sup>.

$$\text{Volume de la sphère} = \frac{\text{Capacité de stockage max}}{\text{Taux de remplissage max}}$$

$$V_3 = V_4 = \frac{1022}{0,78} = 1310,26 \text{ m}^3.$$

On peut alors calculer le diamètre des sphères 910-S3 et 910-S4 ( $D_3$  et  $D_4$ ) à partir de leur volume.

$$D_3 = D_4 = 2 * \sqrt[3]{\frac{3*1310,26}{4\pi}} = 13,58 \text{ m.}$$

La surface des deux sphères  $S_3$  et  $S_4$  est donc :

$$S_3 = S_4 = 4\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$
$$S_3 = 579,36 \text{ m}^2$$

Les sphères de butane de l'unité 910 (910-S1, 910-S2 et 910-S5), ont le même taux de remplissage que les sphères de butane de l'unité 911 (911-S006 et 911-S007).

Les sphères 911-S006 et 911-S007) ont un diamètre de 17,5m pour une capacité de 2500m<sup>3</sup>.

Suivant la même méthodologie que précédemment on trouve les résultats suivants :

$$\text{Taux de remplissage max} = 89\%$$

$$S_1 = S_2 = 693,66 \text{ m}^2$$

$$S_5 = 1086,87 \text{ m}^2$$

Le Cigare butane H3 a un diamètre de 3,25m et une longueur de 30m et donc une surface de 306,3m<sup>2</sup>.

Le Cigare propane H4 a un diamètre de 3,15m et une longueur de 23,8m et donc une surface de 235,5m<sup>2</sup>.

## 3.2.2 Plan et caractéristiques du réseau

### 3.2.2.1 Plan du réseau

On a utilisé le logiciel de dessin assisté AutoCAD<sup>4</sup> pour établir le plan du réseau.

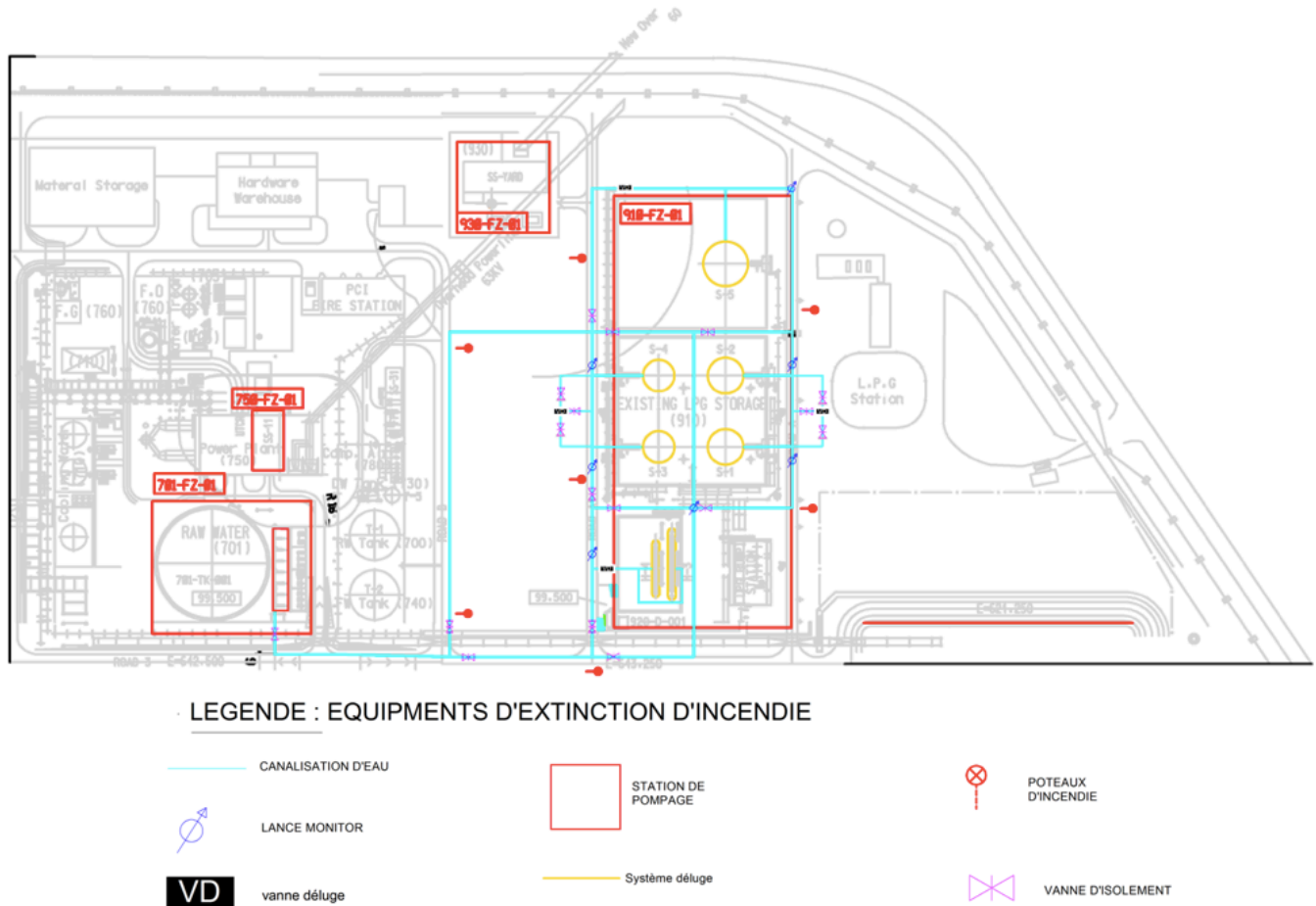


Figure 3-1 : Plan du réseau sur AutoCAD

### 3.2.2.2 Système déluge

L'enjeu d'un système déluge est d'obtenir la bonne quantité d'eau au bon endroit. La norme NFPA 15 recommande les quantités d'eau à appliquer en fonction des équipements à protéger. Pour les réservoirs de type « sphère ou cylindre horizontal », la norme recommande un taux d'application surfacique de 0.25 gpm/ft<sup>2</sup> soit 10,2 l/min/m<sup>2</sup>. [14]

Pour connaître le débit total, il suffit alors de multiplier la surface à protéger par le taux d'application surfacique.

#### 3.2.2.2.1 Calcul du débit total nécessaire pour le système déluge

Nous avons les équipements suivants :

- Deux sphères (S3 et S4),  $S_3 = S_4 = 579,36\text{m}^2$ .

<sup>4</sup> AutoCAD : logiciel de conception assistée par ordinateur créé en décembre 1982 par Autodesk.

- Deux sphères (S1 et S2)  $S_1 = S_2 = 693,66\text{m}^2$ .
- Une sphère (S5),  $S_5 = 1086,87\text{m}^2$ .
- Un cylindre,  $C_{\text{butane}} = 306,3\text{m}^2$ .
- Un cylindre,  $C_{\text{propane}} = 235,5\text{m}^2$ .

La surface totale étant égale à la somme des surfaces précédentes,  $S_{\text{TOTALE}} = 4\,174,71\text{m}^2$ .

Le débit total nécessaire pour protéger ces équipements à l'aide d'un système déluge par quadrillage est :  $Q_{\text{TOTAL}} = 4174,71 * 10,2 = 42\,582,04 \text{ l/min} = 2555 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 3.2.2.2.2 Calcul du débit total nécessaire en utilisant le logiciel PIPENET

#### PIPENET

Le programme PIPENET, créé par la société Sunrise Systems, est un logiciel utilisé pour le calcul du réseau incendie.

Ce programme est basé sur les règles NFPA et les méthodes de calcul de Bernoulli et d'Hazen- Williams pour le calcul des pertes de charge. Parmi les nombreuses fonctions complexes de ce logiciel, il permet d'analyser les systèmes déluge afin d'équilibrer de façon optimale le réseau.

#### Simulation des systèmes déluge avec PIPENET

Nous devons d'abord introduire les paramètres suivants :

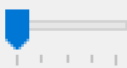
- Règles de design : NFPA
- Modèle des pertes de charge : Hazen-Williams
- Modèle Sprinkler ou Spray : Spray
- Fluide : Eau à 20°C
- Densité :  $994 \text{ kg/m}^3$
- Le matériau utilisé : *Black Steel* (Acier Noir)
- Coefficient de rugosité : 120 [NFPA 15]
- Pour les buses :
  - Pression minimale : 2,5 Bar G
  - Pression maximale : 8 Bar G
  - Angle de divergence : 120°

On commence par :

#### 1) La sphère S5

- Type de l'objet : Sphère
- Diamètre(m) : 18,6
- Nombre de tube prolongateur (Riser) : 1
- Distance entre les couronnes d'arrosage(m) : 3
- Superposition des spray minimale (m) : 0,01
- Distance entre la buse et la sphère(m) : 0,6
- Taux d'application surfacique( $\text{l/min/m}^2$ ) : 10,2

**Risers**

Number of risers  

Vertical Riser

Riser follows vessel contours

Min riser to range distance (m)

---

**Ranges**

Start from equator

Start from poles

Ranges at poles and range at equator

Separation\* (upper) (m)

Separation\* (lower) (m)

Use curved pipes       Display curved pipes

\*as measured along the vessel

---

**Nozzles**

Nozzles per range

Min spray overlap (m)

Nozzle to vessel distance (m)

Flow per nozzle (l/min)

Average flow density (l/min/m<sup>2</sup>)

Figure 3-2 : Entrée des paramètres (Sphère S5)

On obtient ainsi les résultats suivants :

Model Preview		Nozzle Selection			
Nozzle Type	No. Nozzles	Pressure	Flow/Nozzle	Total Flow	Min Overlap
		Bar G	l/min	l/min	m
Nozzle 120	160	3.004786	69.3	11094	0.0

Figure 3-3 : Résultats simulation PIPENET (Sphère S5)

- Huit couronnes de refroidissement
- 160 buses
- Un débit de 69,3 l/min par buse
- Un débit total de 11094 l/min
- Une pression de 3 Bar G

On génère le modèle de la sphère S5 :

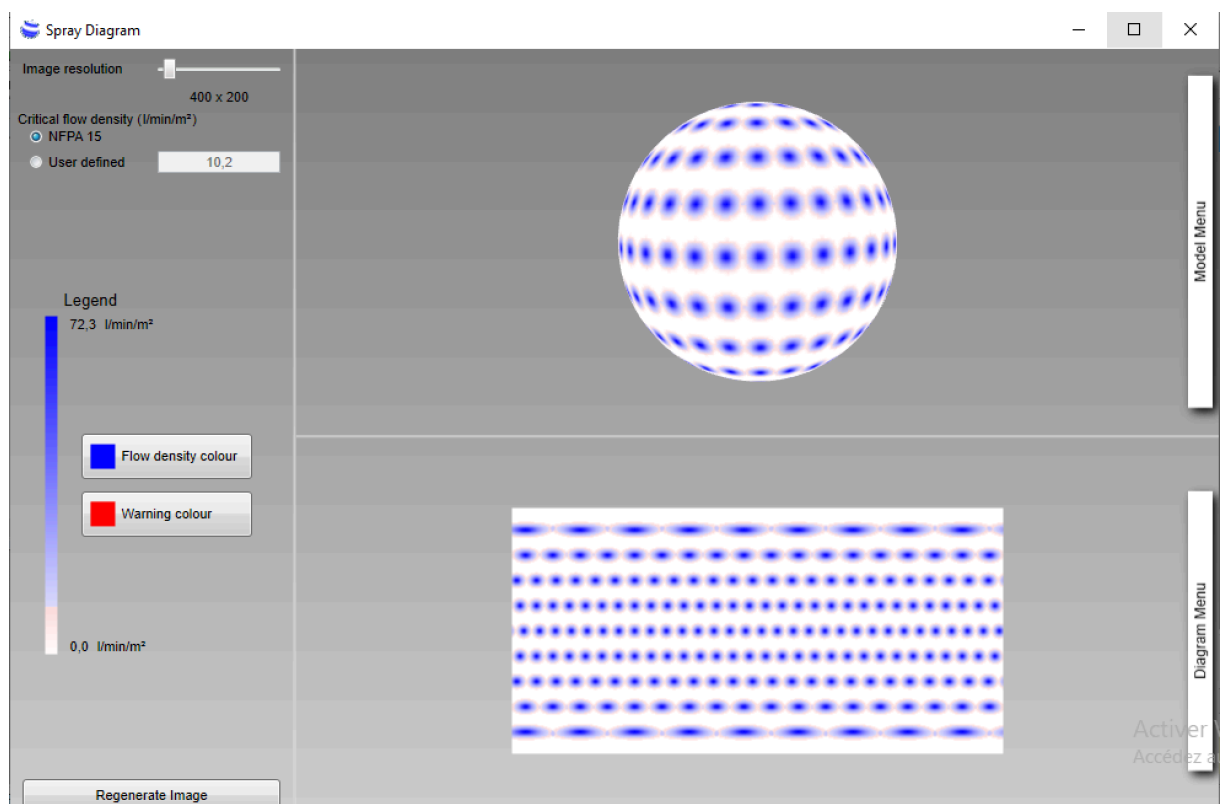


Figure 3-4 : Spray Diagram (Sphère S5)

Dans le modèle, la partie supérieure de l'image ci-dessus, on peut voir où les buses déluge vont agir exactement au niveau de la sphère. Dans le diagramme qui se trouve en bas, on peut voir la répartition du débit sur la surface de la sphère.

En activant le mode *Edge Detect*, on peut voir que le débit ne s'annule jamais quand on déplace notre curseur de manière horizontale, par contre, le débit s'annule entre chaque couronne. Les exigences de la NFPA autorisent cela.

Au lieu d'insister sur le fait d'avoir un contact direct entre l'eau qui sort de la buse et le réservoir, la NFPA prend en considération le ruissellement de l'eau de façon verticale, « *the Rundown* ».

Le mode *Edge Detect* est illustré dans la figure suivante :

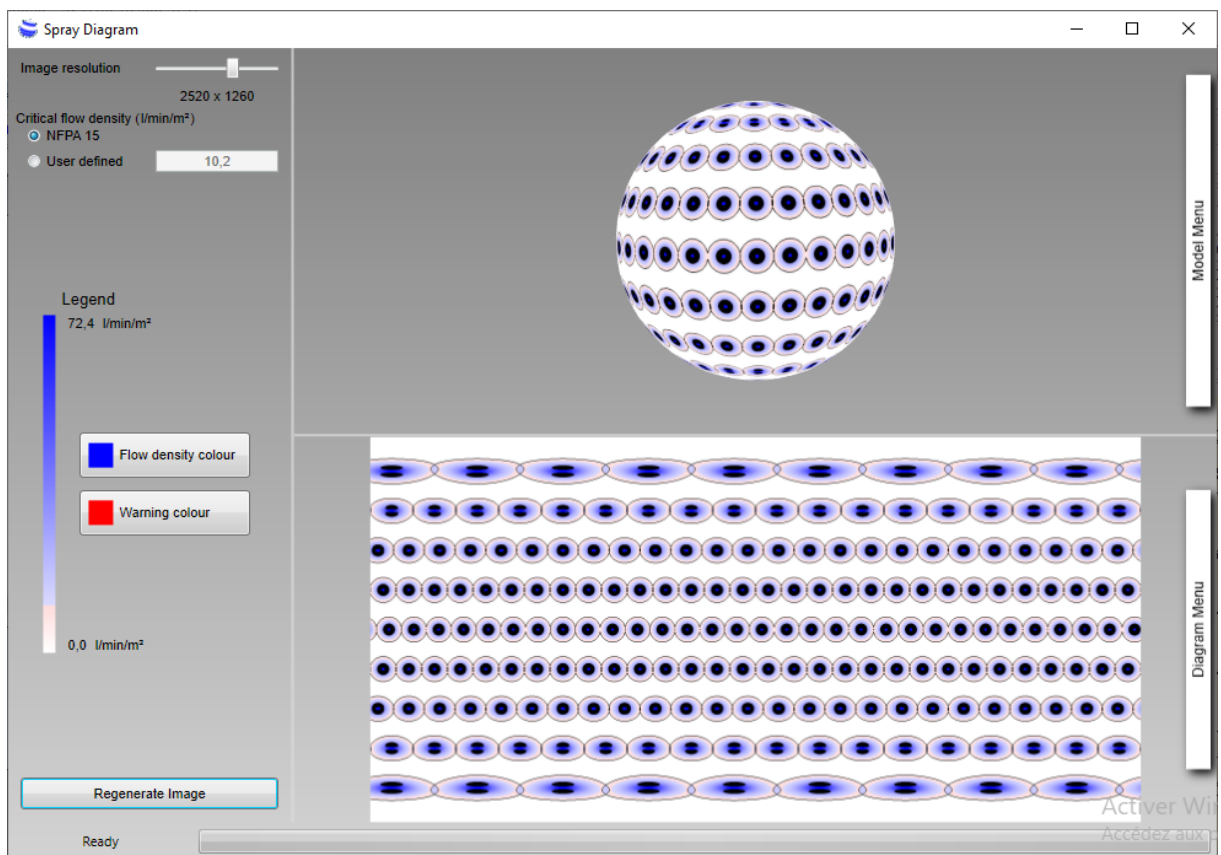


Figure 3-5 : Edge detect diagram (Sphère S5)

## 2) Les sphères 1 et 2

- Type de l'objet : Sphère
- Diamètre(m) : 14,86
- Nombre de tube prolongateur (Riser) : 1
- Distance entre les couronnes d'arrosage(m) : 3
- Superposition des spray minimale (m) : 0,01
- Distance entre la buse et la sphère(m) : 0,6
- Taux d'application surfacique(l/min/m<sup>2</sup>) : 10,2

On obtient ainsi les résultats suivants :

Model Preview		Nozzle Selection			
Nozzle Type	No. Nozzles	Pressure	Flow/Nozzle	Total Flow	Min Overlap
		Bar G	l/min	l/min	m
Nozzle 120	98	3.263059	72.3	7081.1	0.1

Figure 3-6 : Résultats simulation PIPENET (Sphères S1 et S2)

- Sept couronnes de refroidissement
- 98 buses
- Un débit de 72,3 l/min par buse
- Un débit total de 7081,1 l/min
- Une pression de 3,26 Bar G

On génère le modèle des sphères S1 et S2 :

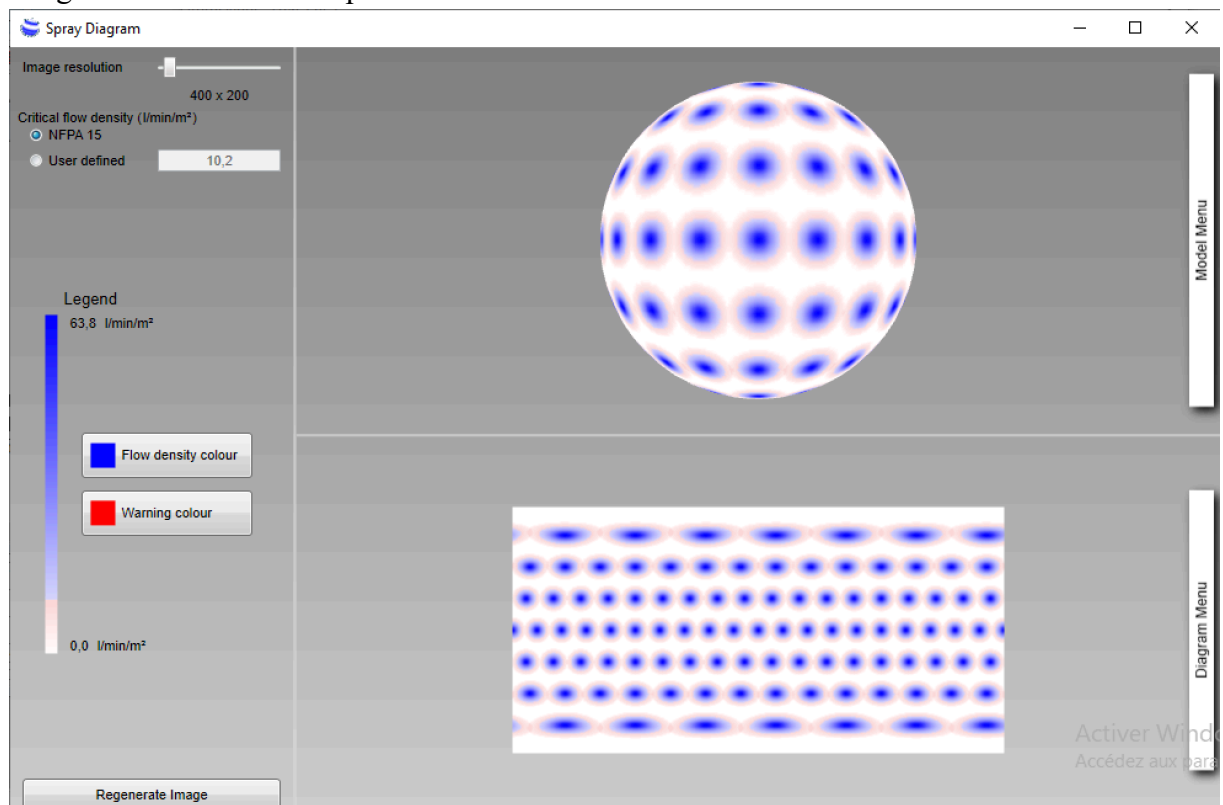
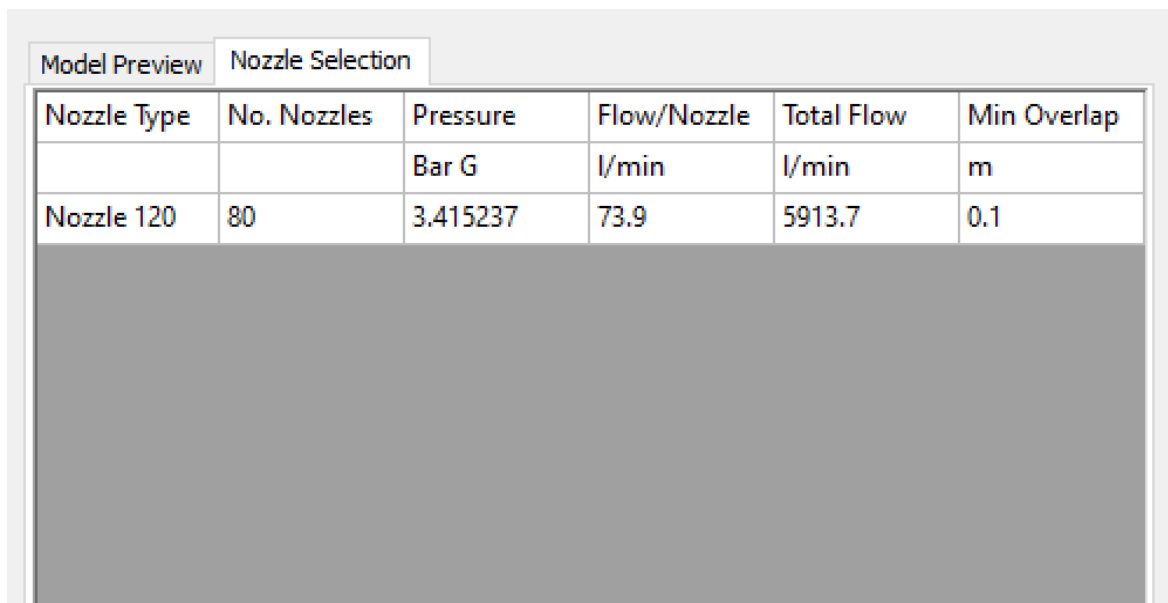


Figure 3-7 : Spray Diagram (Sphères S1 et S2)

### 3) Les sphères S3 et S4

- Type de l'objet : Sphère
- Diamètre(m) : 13,58
- Nombre de tube prolongateur (Riser) : 1
- Distance entre les couronnes d'arrosage(m) : 3
- Superposition des spray minimale (m) : 0,01
- Distance entre la buse et la sphère(m) : 0,6
- Taux d'application surfacique(l/min/m<sup>2</sup>) : 10,2

Les résultats obtenus sont :



Nozzle Type	No. Nozzles	Pressure	Flow/Nozzle	Total Flow	Min Overlap
		Bar G	l/min	l/min	m
Nozzle 120	80	3.415237	73.9	5913.7	0.1

Figure 3-8 : Résultats simulation PIPENET (Sphères S3 et S4)

- Six couronnes de refroidissement
- 80 buses
- Un débit de 73,9 l/min par buse
- Un débit total de 5913,7 l/min
- Une pression de 3,42 Bar G

On génère le modèle des sphères S3 et S4 :



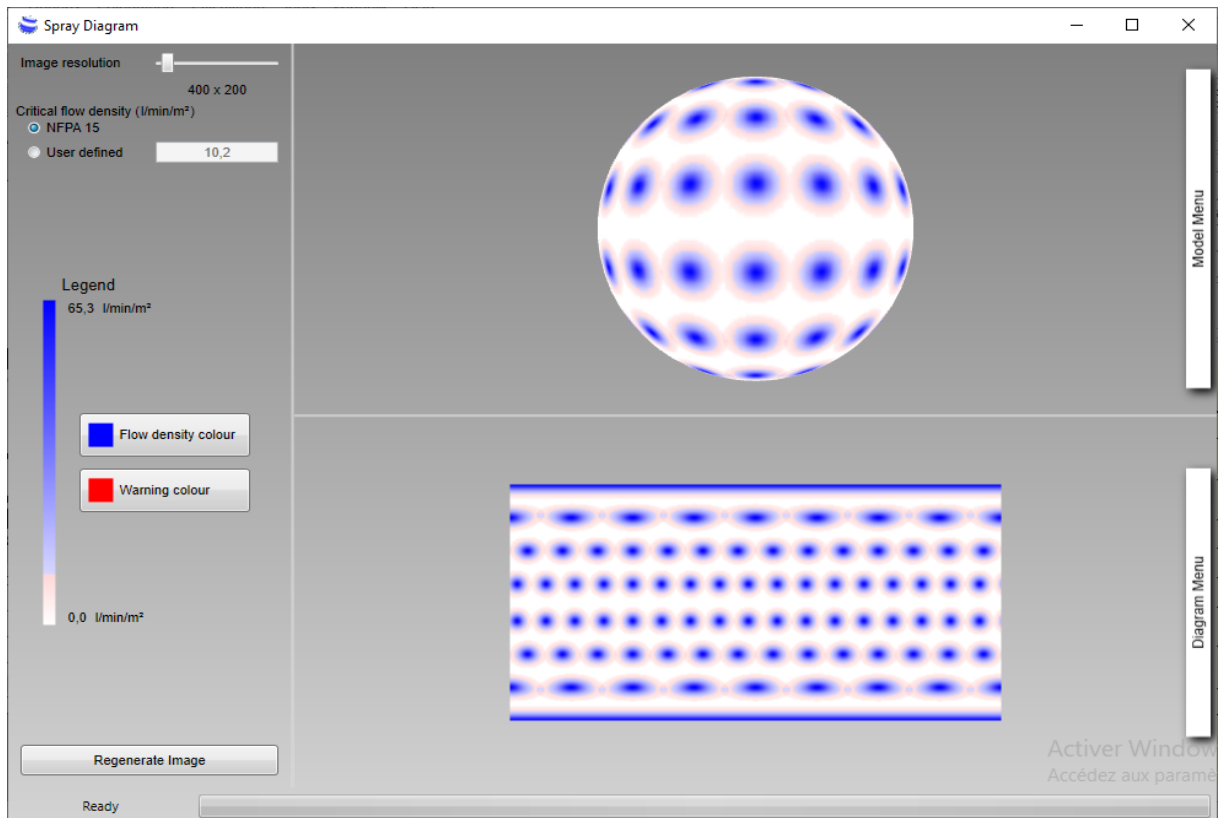


Figure 3-9 : Spray Diagram (Sphères S3 et S4)

#### 4) Le cigare de butane H3

- Type de l'objet : Cylindre horizontal
- Diamètre (m) : 3,25
- Longueur(m) : 30
- Nombre de tube prolongateur (Riser) : 3
- Distance entre les couronnes d'arrosage(m) : 3
- Superposition des spray minimale (m) : 0,01
- Distance entre la buse et la sphère(m) : 0,5
- Taux d'application surfacique(l/min/m<sup>2</sup>) : 10,2

On obtient les résultats suivants :

Model Preview		Nozzle Selection			
Nozzle Type	No. Nozzles	Pressure	Flow/Nozzle	Total Flow	Min Overlap
		Bar G	l/min	l/min	m
Nozzle 120	114	2.601641	32.3	3677.5	0.1

Figure 3-10 : Résultats simulation PIPENET (Le cigare de butane H3)

- 4 rampes de refroidissement
- 114 buses
- Un débit de 32,3 l/min par buse
- Un débit total de 3677,5 l/min
- Une pression de 2,60 Bar G

On génère le modèle du cigare de butane :

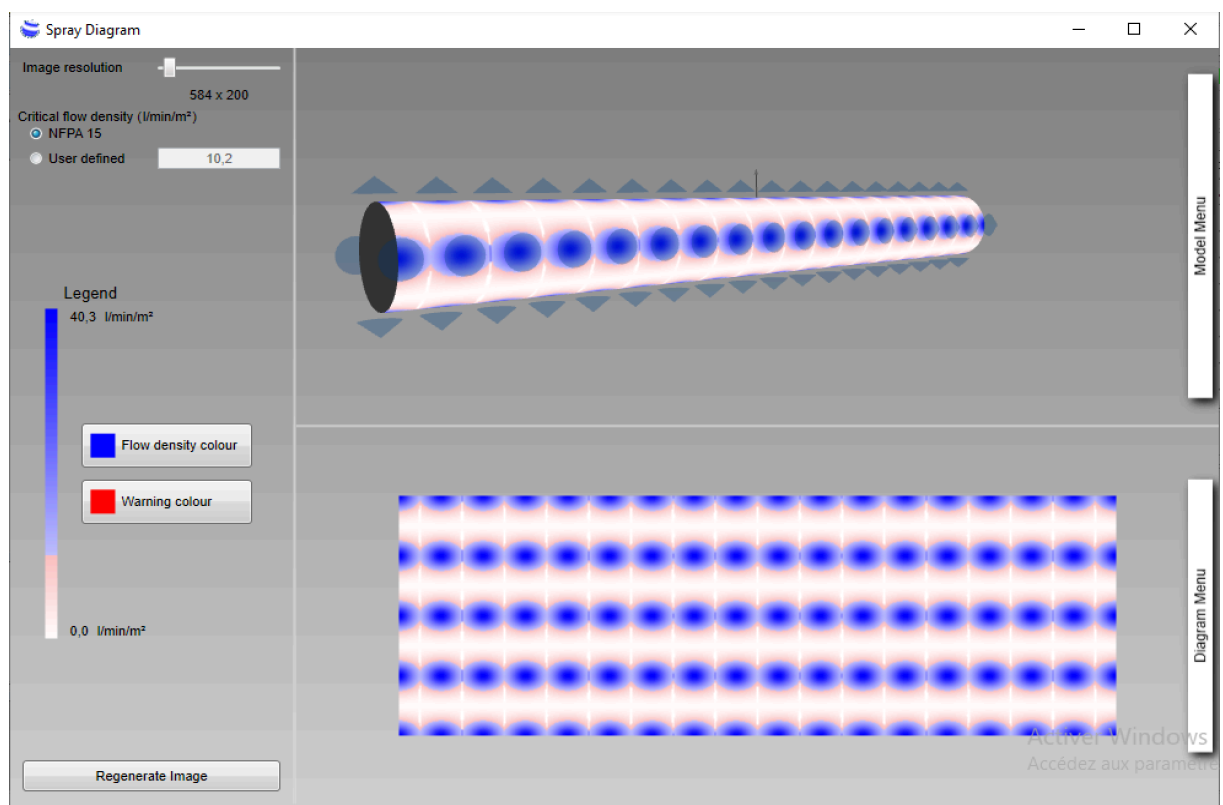
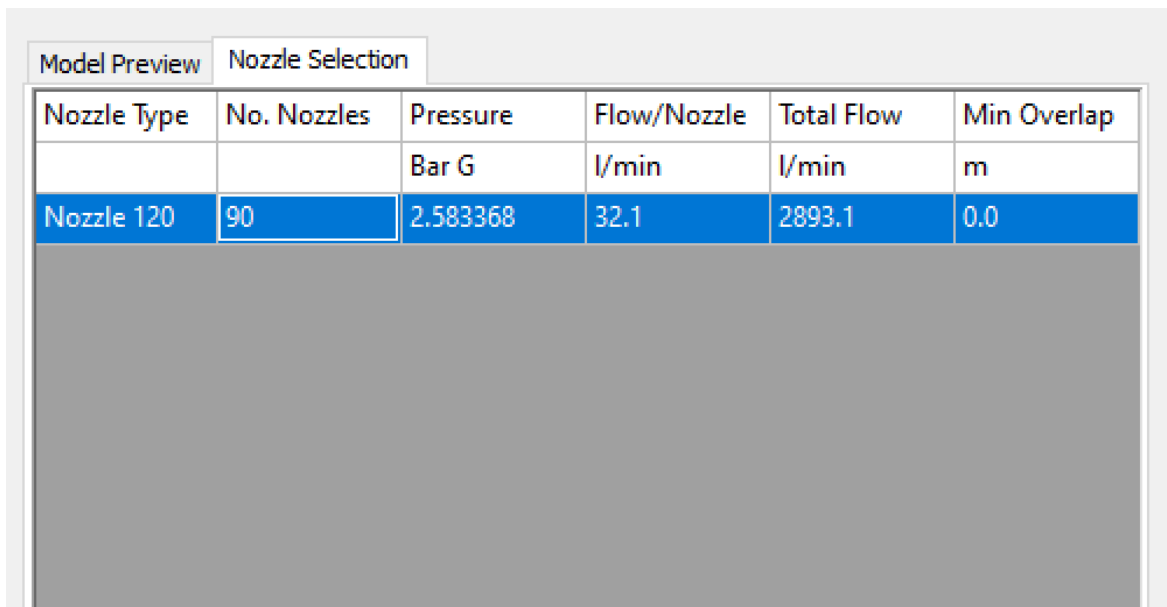


Figure 3-11 : Spray Diagram (Le cigare de butane H3)

### 5) Le cigare de propane H4

- Type de l'objet : Cylindre horizontal
- Diamètre (m) : 3,15
- Longueur(m) : 23,8
- Nombre de tube prolongateur (Riser) : 3
- Distance entre les couronnes d'arrosage(m) : 3
- Superposition des spray minimale (m) : 0,01
- Distance entre la buse et la sphère(m) : 0,5
- Taux d'application surfacique(l/min/m<sup>2</sup>) : 10,2

On obtient les résultats suivants :



Nozzle Type	No. Nozzles	Pressure	Flow/Nozzle	Total Flow	Min Overlap
		Bar G	l/min	l/min	m
Nozzle 120	90	2.583368	32.1	2893.1	0.0

Figure 3-12 : Résultats simulation PIPENET (Le cigare de propane H4)

- 4 rampes de refroidissement
- 90 buses
- Un débit de 32,1 l/min par buse
- Un débit total de 2893,1 l/min
- Une pression de 2,58 Bar G

On génère le modèle du cigare de propane :

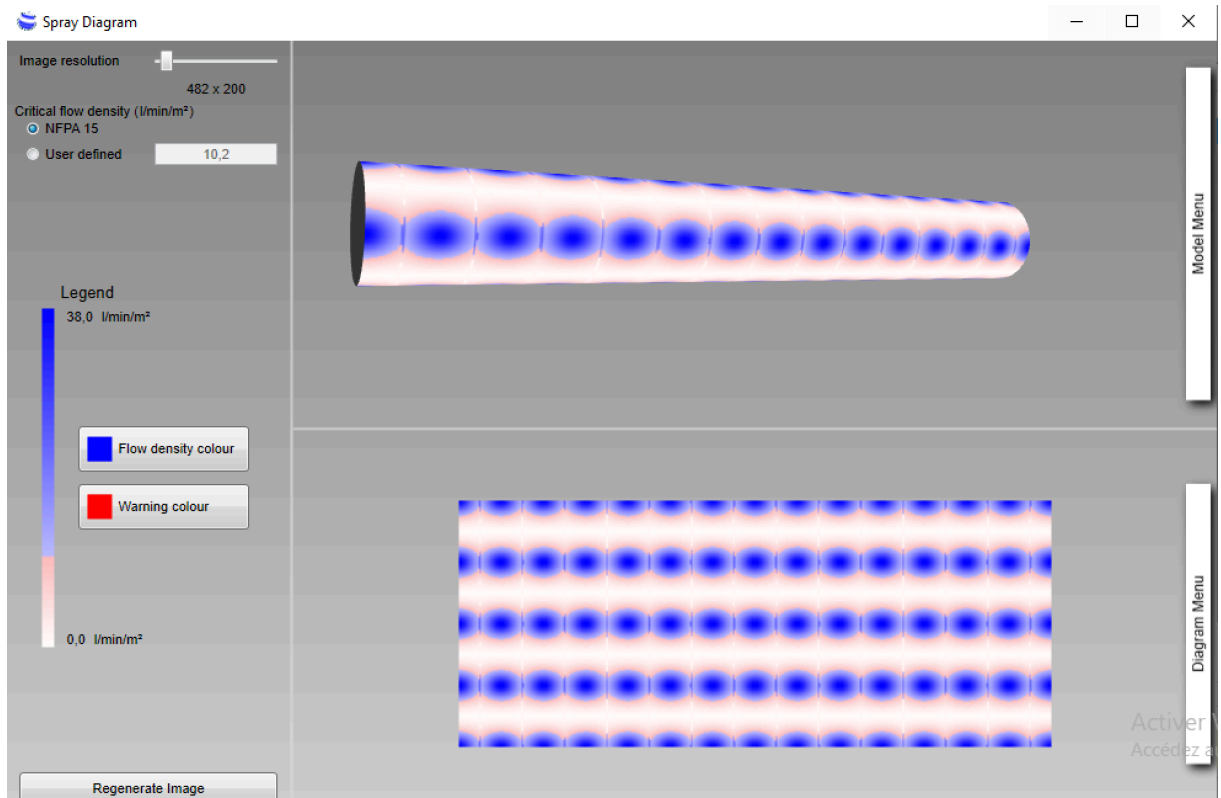


Figure 3-13 : Spray Diagram (Le cigare de propane H4)

### 3.2.2.2.3 Comparaison entre les débits calculés

Après avoir obtenu les débits nécessaires de deux manières différentes, en utilisant le logiciel PIPENET et en calculant manuellement. Nous devons vérifier si les résultats sont similaires.

Les débits totaux de chaque équipement selon les calculs à travers PIPENET sont :

- Sphère 1 :  $Q = 7081,1$  l/min
- Sphère 2 :  $Q = 7081,1$  l/min
- Sphère 3 :  $Q = 5913,7$  l/min
- Sphère 4 :  $Q = 5913,7$  l/min
- Sphère 5 :  $Q = 11094$  l/min
- Cigare de butane :  $Q = 3677,5$  l/min
- Cigare de propane :  $Q = 2893,11$  l/min

En additionnant tous les débits précédents :

$$Q_{\text{TOTAL2}} = 43\,654,2 \text{ l/min} = 2619 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{TOTAL2}} - Q_{\text{TOTAL}} = 64 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le résultat obtenu avec le logiciel PIPENET est légèrement supérieur à celui calculé manuellement, ce qui est tout à fait normal considérant qu'obtenir exactement une moyenne de  $10,2$  l/min/m<sup>2</sup> est quasiment impossible.

### 3.2.2.3 Les lances monitors et les hydrants

Nous avons également équipé notre réseau de six (6) poteaux incendie (hydrants), séparés les uns des autres par une distance de 100m, pouvant délivrer un débit de 60m<sup>3</sup>/h, et de six (6) lance-monitors caractérisés par :

- Un débit maximal de 120m<sup>3</sup>/h ;
- Un angle de rotation horizontale de 360° ;
- Un angle de rotation verticale de 125° : 80° vers le haut et 45° vers le bas ;
- Situés entre 15m et 40m des équipements à protéger et respectent une distance de 15m entre les lances ;
- Portée horizontale moyenne de 40m.

Le débit requis (max) devient alors 3699m<sup>3</sup>/h

### 3.2.2.4 Système de détection

#### 3.2.2.4.1 Le choix des détecteurs

##### Détection électrique

Les détecteurs de fumées et de chaleur étant extrêmement sensibles aux conditions environnementales (pluie, vents...etc), leur utilisation en extérieur n'est pas appropriée. Nous avons choisi donc pour des détecteurs de flammes en vue des grandes surfaces à surveiller.

Il existe trois catégories d'appareils pour détecter une flamme :

- Les détecteurs dotés de capteurs Infra-Rouge (IR)
- Les détecteurs composés de capteurs Ultra-Violet (UV)
- Les détecteurs combinant IR et UV (en général, ils sont constitués de deux capteurs IR et d'un capteur UV)

Le tableau suivant résume les avantages et limites des détecteurs de flammes par catégorie :

Tableau 3-1 : Principaux avantages et limites des détecteurs de flammes par catégorie

Catégorie	Avantages	Limites
Détecteurs mono-IR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu d'atténuation de la réponse en présence de contaminants tels que les huiles, les encrassements ou les poussières.</li> <li>- Faibles temps de réponse.</li> <li>- Insensibles au soleil, aux arcs de soudure, aux éclairs, aux étincelles et arcs électriques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limités à la détection des feux carbonés.</li> <li>- Potentiellement sensibles aux sources de rayonnements modulés IR.</li> <li>- Sensibles à la pluie, au givre et à la vapeur d'eau.</li> </ul>
Détecteurs multi-IR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu d'alarmes intempestives.</li> <li>- Sensibilité élevée et longues distances de détection.</li> <li>- Insensibles au soleil, aux arcs de soudure, aux éclairs et aux corps chauds.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incompatibles pour les feux non carbonés (excepté pour la détection basée sur le pic de H<sub>2</sub>O).</li> <li>- Longs temps de réponse en comparaison au détecteur mono-IR.</li> <li>- Sensibles au givre.</li> <li>- Distances de détection limitées pour les versions H<sub>2</sub>O.</li> </ul>
Détecteurs UV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détection de feux carbonés et non carbonés (métaux, hydrogène, ammoniac...).</li> <li>- Faibles temps de réponse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilité possible au soleil selon la gamme de détection (quelques capteurs ne sont prévus que pour l'usage intérieur).</li> <li>- Sensibles aux éclairs, aux arcs de soudure, aux étincelles et arcs électriques.</li> </ul>
Détecteurs UV/IR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible niveau d'alarmes intempestives.</li> <li>- Temps de réponse rapides.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incompatibles avec les feux non carbonés à cause des limitations de la détection IR (excepté pour la détection basée sur le pic d'émission H<sub>2</sub>O).</li> <li>- Possible inhibition par les gaz, les vapeurs ou les fumées.</li> </ul>
Imagerie visible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discrimination des feux « amis » (ex : torchère).</li> <li>- Non limitée aux feux hydrocarbonés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitations propres au domaine du visible : en cas de fumées ou de feux très peu émissifs dans le domaine du visible (hydrogène, méthanol, ...).</li> <li>- Portée de détection</li> <li>- Temps de réponse</li> </ul>
Imagerie IR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avantages liés à l'utilisation dans le domaine de l'IR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût économique.</li> <li>- En cours de développement.</li> </ul>

[INERIS]

En vue de leurs avantages et des types d'incendie pouvant avoir lieu au sein de l'unité 910 (ainsi que l'unité voisine 911), nous avons opté pour des détecteurs Multi-IR.

Le principe de fonctionnement des détecteurs multi-IR repose sur :

- Une analyse spectrale et une qui identifie la signature infrarouge des feux liée à la relaxation des molécules des substances émises : signature caractéristique du CO<sub>2</sub>, dans

la bande 4.2-4.7  $\mu\text{m}$ , et/ou signature caractéristique de  $\text{H}_2\text{O}$ , dans la bande 2.7-3.0  $\mu\text{m}$ . Des bandes spectrales complémentaires (au-dessus ou en dessous de ces bandes) sont également analysées pour distinguer le bruit de fond.

- Une analyse des scintillements dans les bandes spectrales caractéristiques.

L'alarme feu n'est déclenchée que si tous les seuils des paramètres de l'analyse spectrale et de l'analyse des scintillements sont atteints.

### Détection hydraulique

Nous équiperons aussi chaque sphère et chaque cigare d'un détecteur de chaleur de type : tube fusible/ampoule (bouchons fusibles). Leur principe de fonctionnement est assez simple : une buse sprinkler, donc de type fermé, est équipé d'une ampoule. La température à laquelle les ampoules éclatent varie selon le type de l'ampoule. Une fois la température de déclenchement atteinte, l'ampoule éclate, ce qui libère l'orifice.

La chute de pression engendrée par l'ouverture de la tête ouvre le poste et fait démarrer les groupes.

La température de déclenchement d'une ampoule est repérable par la couleur du liquide qu'elle contient.

Tableau 3-2 : Températures selon couleur de l'ampoule

Températures (°C)	Couleur de l'ampoule
57	Orange
68	Rouge
79	Jaune
93-100	Vert
121-141	Bleu
163-182	Mauve
204/227/260/286/343	Noir

Dans notre installation déluge les têtes sont ouvertes et ne possèdent pas d'élément thermosensible de détection, donc l'installation est reliée à un système de détection parallèle aussi appelé réseau pilote.

#### 3.2.2.4.2 Emplacement des détecteurs

Les sprinklers équipés d'ampoules de couleur rouge seront sous chaque sphère et chaque cigare.

Les détecteurs de flammes seront au nombre de 5 :

- Un détecteur du côté du parking orienté vers les cigares.

- Trois détecteurs le long du côté « *LPG STATION* » orientés vers les sphères S1, S2 et S5.
- Le dernier détecteur faisant face aux sphères S3 et S4

#### **3.2.2.4 Système de pompage**

Afin de déterminer les pompes nécessaires au bon fonctionnement de notre réseau, on doit d'abord calculer les pertes de charges. Pour ce faire, on va simuler notre réseau avec le logiciel EPANET.

On doit trouver une pression minimale dans les nœuds de 6 à 7 bars et une vitesse maximale de 3 à 4 m/s dans les conduites.

#### **Simulation du réseau avec EPANET**

Après que les calculs des paramètres nécessaires au fonctionnement du réseau ont été effectué, nous avons procédé à la simulation de ce réseau avec EPANET afin de valider les résultats obtenus auparavant.

Le programme EPANET, créé par la société United States Environmental Protection Agency's (EPA), est un logiciel de modélisation du système de distribution d'eau.

L'objectif de ce programme est l'analyse de système de distribution d'eau potable.

L'analyse comprend la simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans les conduites. Epanet peut calculer différentes variables comme la pression à chaque nœud ou la vitesse de l'eau dans une tuyauterie.

Ce logiciel est basé sur les méthodes de calcul de Bernoulli et d'Hazen-Williams avec un retour possible vers d'autres formules.

#### **1. Sélection des paramètres**

Nous devons d'abord introduire les paramètres suivants :

L'unité des débits : litre par minute

L'unité de la vitesse : mètre par seconde

L'unité de la longueur : mètre

L'unité des diamètres : millimètre

Formule perte de charge : Hazen-Williams



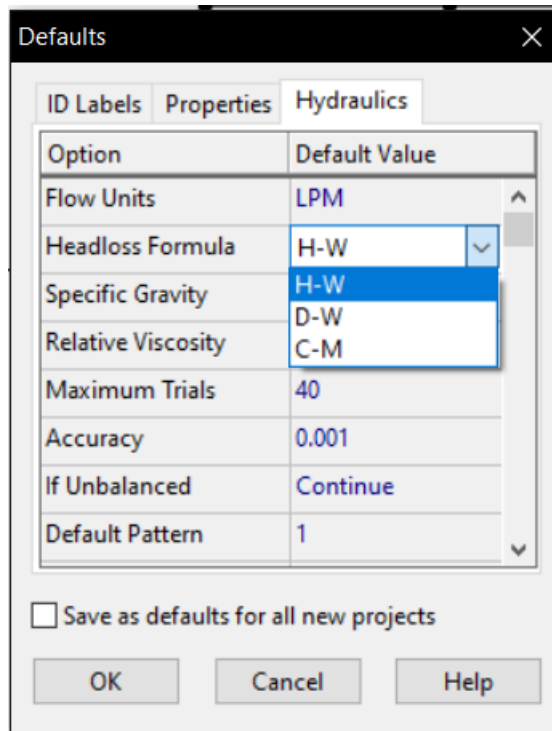


Figure 3-14 : tableau des paramètres

## 2. Dessin du réseau

EPANET a une interface assez simple et bien structurée ce qui rend l'utilisation facile. La figure représente son interface.

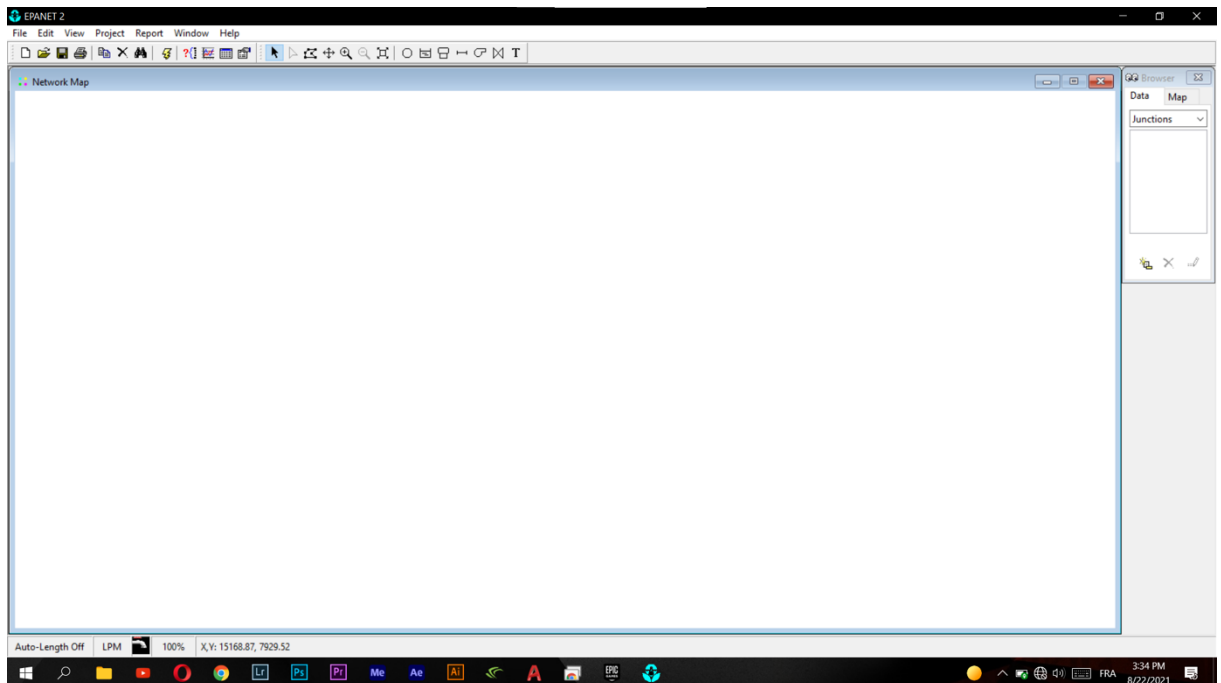


Figure 3-15 : Interface de EPANET

Cette étape consiste à Positionner les jonctions, pompe et réservoir d'eau et de les lier via des conduites en utilisant la barre à outils suivante :

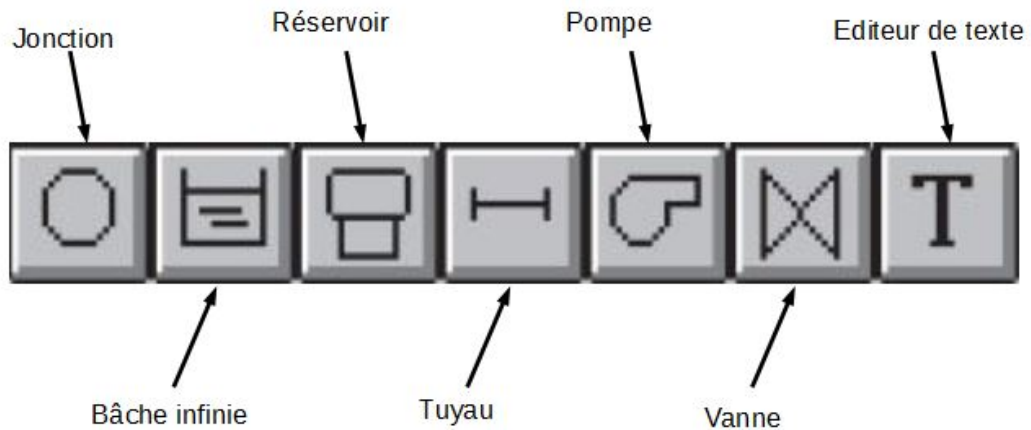


Figure 3-16 : Barre a outils

- **Jonction** : Ce sont des points du réseau où les arcs se rejoignent. Données d'entrée : position X, Y et la demande en eau.

Junction 21	
Property	Value
*Junction ID	21
X-Coordinate	214.14
Y-Coordinate	31.78
Description	
Tag	
*Elevation	0
Base Demand	1000
Demand Pattern	
Demand Categorie 1	
Emitter Coeff.	
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A

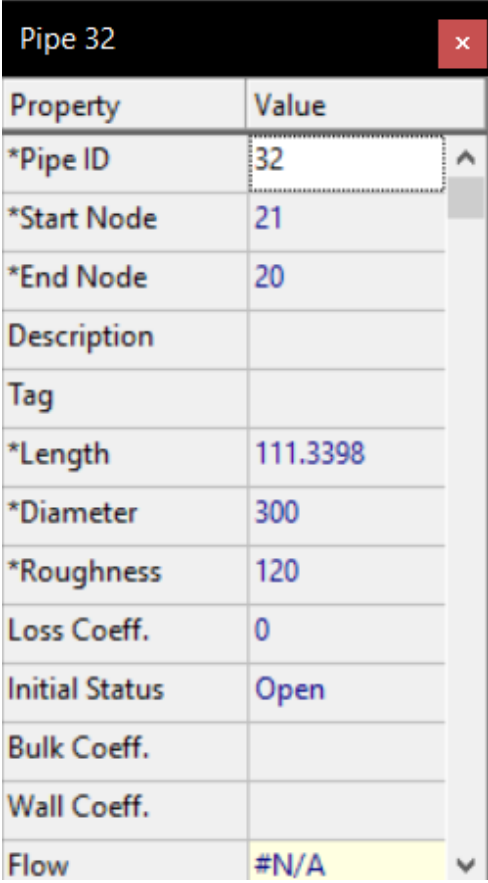
Figure 3-17 : Données d'entrée des jonctions.

- **Tuyau** : Ce sont des arcs qui transportent l'eau d'un point du réseau à un autre.

Données d'entrée : les nœuds initial et final, le diamètre, la longueur, le coefficient de rugosité et l'état (ouvert, fermé ou avec clapet anti-retour).

On suppose un diamètre de 300mm, et selon les résultats (vitesse maximale inférieure à 3,1m/s) on décidera de changer ce diamètre ou le garder.

On prend un coefficient C de 120 car on utilise l'acier noir comme matériau



Property	Value
*Pipe ID	32
*Start Node	21
*End Node	20
Description	
Tag	
*Length	111.3398
*Diameter	300
*Roughness	120
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A

Figure 3-18 : Données d'entrée des tuyaux

- **Pompe** : Ce sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique.

Données d'entrée : ses nœuds d'aspiration et de décharge et sa courbe caractéristique.

Pump 1	
Property	Value
*Pump ID	1
*Start Node	2
*End Node	3
Description	
Tag	
Pump Curve	1
Power	
Speed	
Pattern	
Initial Status	Open
Effic. Curve	
Energy Price	
Price Pattern	

Figure 3-19 : Données d'entrée de la pompe

- **Réservoir** : Ce sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau stocké peut varier au cours du temps.  
Données d'entrée : l'altitude du radier, le diamètre, le niveau initial, minimal et maximal de l'eau.

Property	Value
*Reservoir ID	1
X-Coordinate	127.36
Y-Coordinate	32.45
Description	
Tag	
*Total Head	20
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Figure 3-20 : Données d'entrée du réservoir

Grace a tous ces éléments nous avons construit notre réseau. La figure suivante représente le réseau.

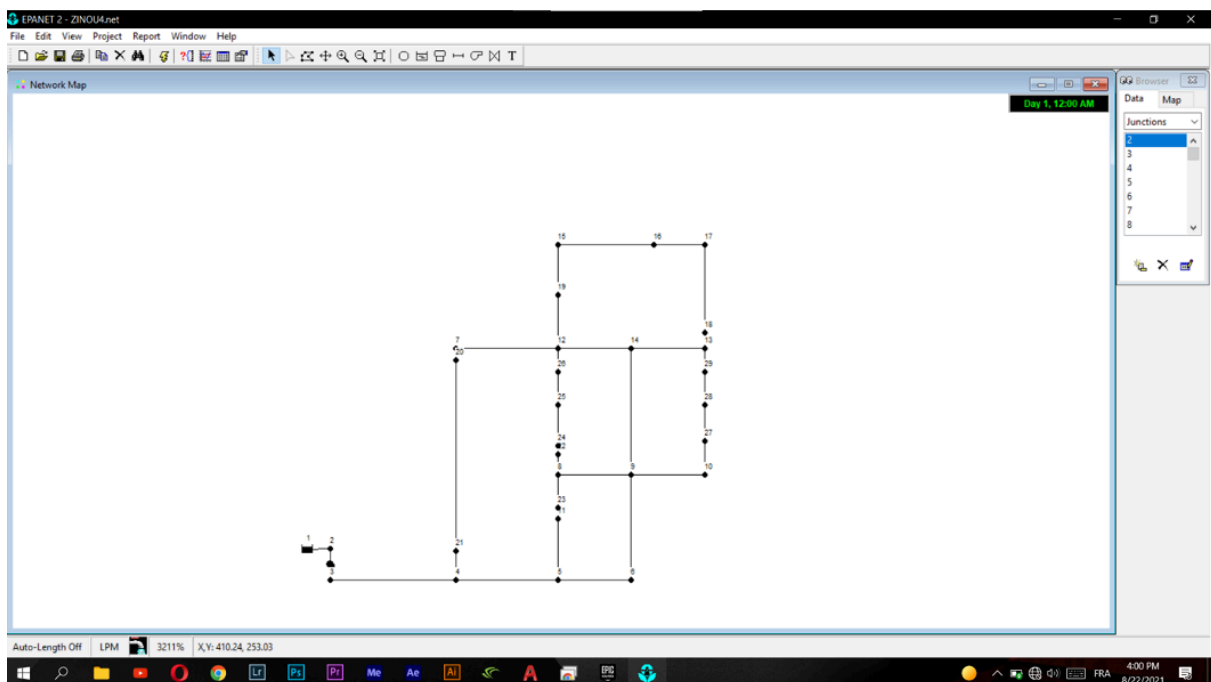


Figure 3-21 : Le tracé du réseau

### 3. Lancer une simulation hydraulique

Une fois le réseau créé et l'ensemble des informations renseignées, nous pouvons lancer la simulation. Dans le but de tester notre réseau et voir toutes ces caractéristiques.

Le logiciel permet aussi de détecter les erreurs faites lors de la saisie des informations, on doit les corriger avant de pouvoir lancer la simulation.

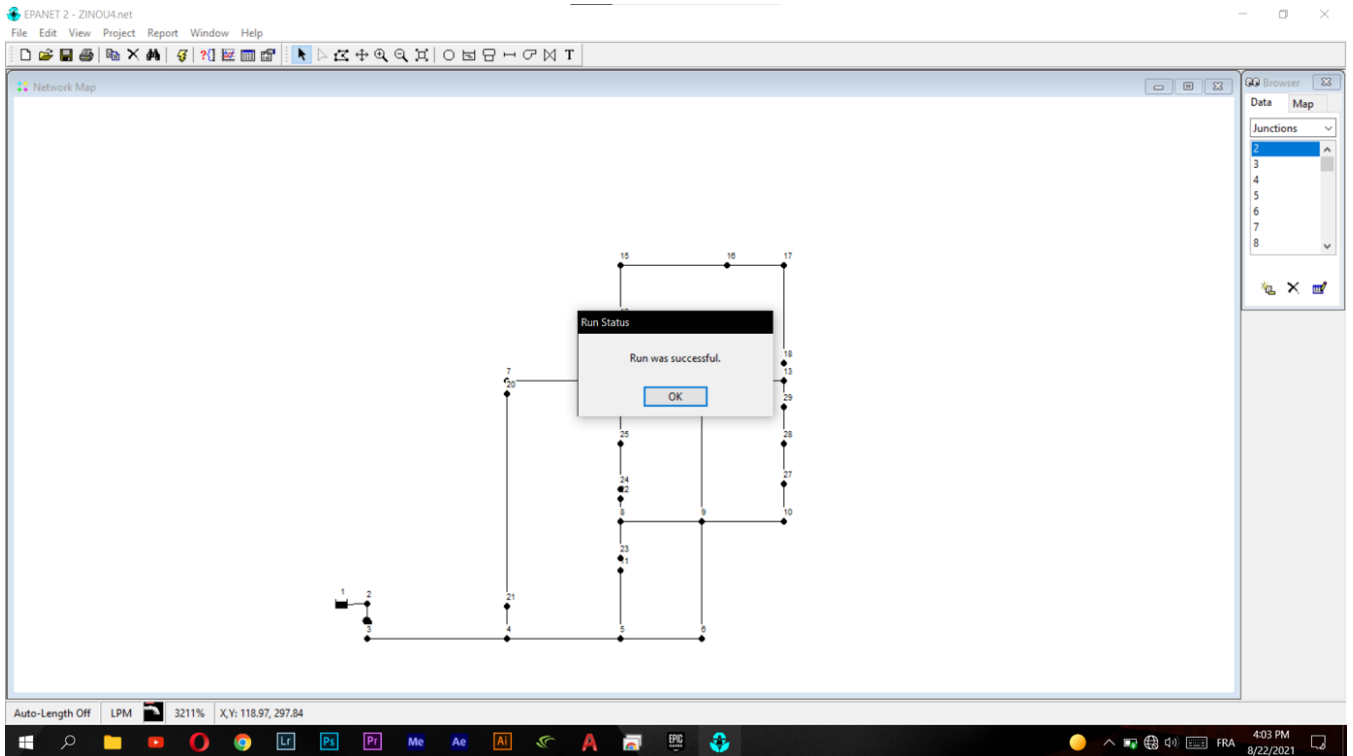


Figure 3-22 : Lancer la simulation

### 4. Les résultats

La visualisation des résultats de la simulation sur la figure Nous permet à l'aide de la légende de déterminer la gamme de la pression aux nœuds et des débits des branches.

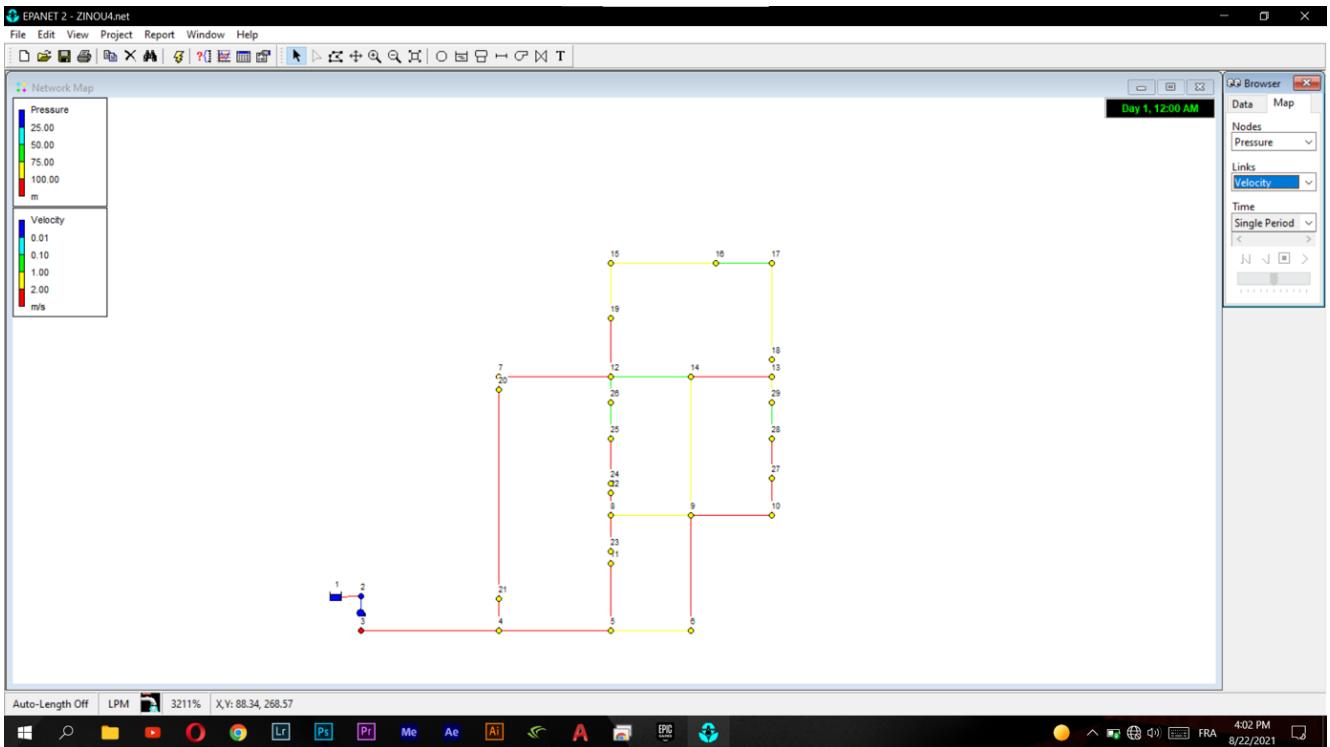


Figure 3-23 : Résultats de simulation (la pression aux nœuds et débits des conduites)

A l'aide du bouton "Table" ensuite sélectionner le type et les paramètres à mettre sur le tableau des résultats, nous pouvons visualiser l'état de chaque nœud ou/et de chaque tuyau.

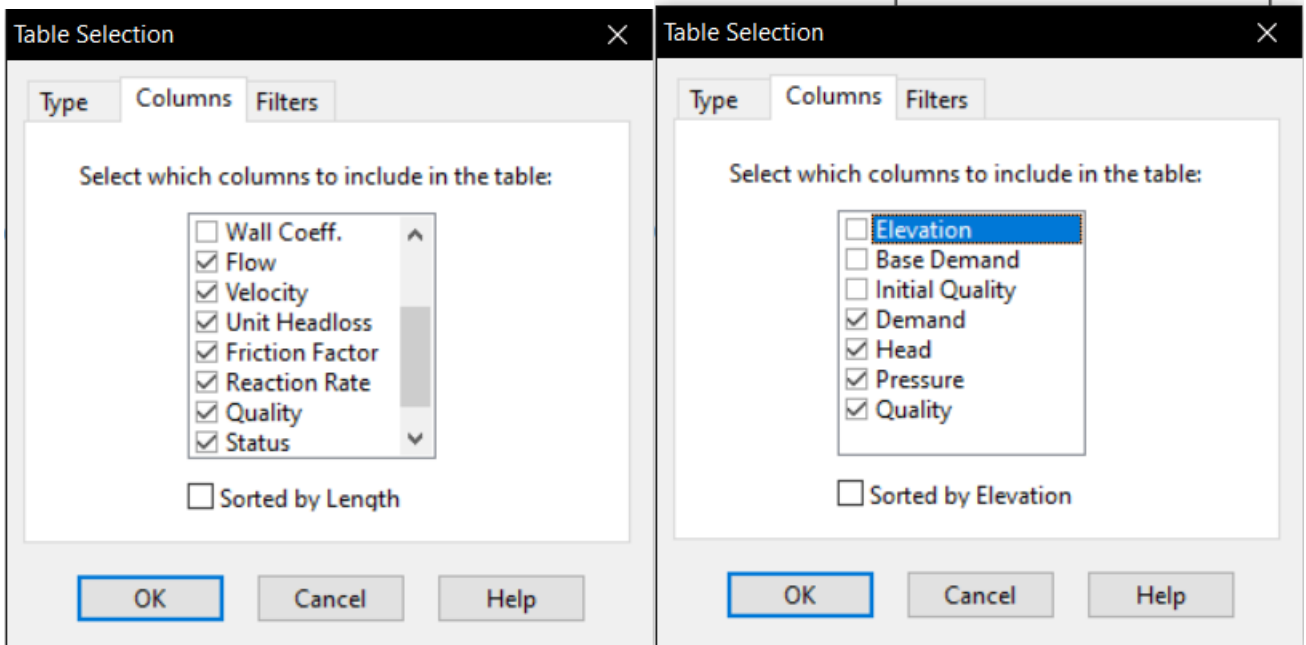


Figure 3-24 : La sélection du type de tableau pour les tuyaux (gauche) et les jonctions (droite)

On obtient les tableaux suivants :

EPANET 2 - ZINO4.net - [Network Table - Links]

File Edit View Project Report Window Help

Link ID	Diameter mm	Flow LPM	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor
Pipe 7	400	13415.09	1.78	8.15	0.020
Pipe 10	300	13415.09	3.16	33.08	0.019
Pipe 11	300	7596.59	1.79	11.54	0.021
Pipe 12	300	13011.75	3.07	31.26	0.020
Pipe 16	300	14700.23	3.47	39.18	0.019
Pipe 19	400	30537.57	4.05	37.37	0.018
Pipe 21	300	4015.76	0.95	3.54	0.023
Pipe 22	300	12015.70	2.83	26.97	0.020
Pipe 23	300	7999.94	1.89	12.70	0.021
Pipe 25	300	8228.75	1.94	13.38	0.021
Pipe 26	300	8228.75	1.94	13.38	0.021
Pipe 27	300	-2865.25	0.68	1.90	0.024
Pipe 28	300	-4865.25	1.15	5.06	0.023
Pipe 29	300	-5865.25	1.38	7.15	0.022
Pipe 30	300	9228.75	2.18	16.54	0.021
Pipe 32	300	15700.23	3.70	44.26	0.019
Pipe 33	300	14700.23	3.47	39.18	0.019
Pipe 35	300	14371.68	3.39	37.58	0.019
Pipe 37	400	23968.28	3.18	23.86	0.019
Pipe 38	400	21968.28	2.91	20.31	0.019
Pipe 39	300	14371.68	3.39	37.58	0.019
Pipe 40	300	12371.68	2.92	28.47	0.020
Pipe 41	300	544.28	0.13	0.09	0.031
Pipe 42	300	-1455.72	0.34	0.54	0.027
Pipe 43	300	12011.75	2.83	26.95	0.020
Pipe 44	300	10011.75	2.36	19.24	0.020
Pipe 45	300	-4150.45	0.98	3.77	0.023
Pipe 46	300	6150.45	1.45	7.90	0.022

Auto-Length Off LPM 3211% X,Y: 595.68, 211.90

Figure 3-25 : Table des débits et vitesses dans chaque conduite

Ces tableaux expriment le débit, la vitesse, la perte de charge unitaire, facteur de friction et le diamètre de chaque conduite.

*Remarque : On a changé le diamètre des tuyaux 7, 9, 37, 38 de 300mm a 400mm, car la vitesse dans ces derniers était élevée (supérieur à 4.5 m/s).*



La vitesse maximale qu'on a obtenu dans une tuyauterie pleine d'eau pour un acier revêtu est de 4.05 m/s.

Node ID	Base Demand LPM	Head m	Pressure m
Junc 3	0	102.53	102.53
Junc 4	0	92.50	92.50
Junc 5	1000	87.94	87.94
Junc 6	0	87.60	87.60
Junc 7	0	87.08	87.08
Junc 8	0	86.02	86.02
Junc 9	0	85.53	85.53
Junc 10	1000	84.25	84.25
Junc 11	6569.3	86.56	86.56
Junc 12	0	84.75	84.75
Junc 13	0	83.50	83.50
Junc 14	0	84.60	84.60
Junc 15	0	83.87	83.87
Junc 16	11094	83.12	83.12
Junc 17	2000	83.17	83.17
Junc 18	1000	83.43	83.43
Junc 19	1000	84.25	84.25
Junc 20	1000	87.35	87.35
Junc 21	1000	92.27	92.27
Junc 22	0	85.61	85.61
Junc 23	2000	86.41	86.41
Junc 24	2000	85.41	85.41
Junc 25	11827.4	84.75	84.75
Junc 26	2000	84.74	84.74
Junc 27	2000	83.72	83.72
Junc 28	14162.2	83.32	83.32
Junc 29	2000	83.39	83.39
Reser. 1	#N/A	70.00	0.00

Figure 3-26 : Table des pressions et charges dans chaque nœud

Ces tableaux expriment la demande et la pression de chaque nœud.

La pression minimale qu'on a obtenu dans une tuyauterie pleine d'eau pour un acier revêtu est de 8.15 Bar.

L'analyse de ces résultats nous a permis d'approuver le diamètre supposé au début, qui est de 300mm, et de dire que notre réseau d'eau est conforme, car la pression minimale est de 7 Bar et la vitesse maximale est de 4 m/s.

### **Pompes nécessaires**

Les pompes principales doivent pouvoir impulser 140% du débit nominal.

Une règle empirique qui permet de choisir les pompes Jockey est d'utiliser 1% du débit de la pompe et d'ajouter 10psi (0,7bar).

On a choisi une combinaison de 2x100% pour les pompes principales. Notre système de pompage contient :

- Deux pompes électriques d'un débit de 5000m<sup>3</sup>/h à 10barg ;
- Une pompe diesel pour assurer le fonctionnement en cas de coupure d'électricité ;
- Deux pompes jockey 50m<sup>3</sup>/h à 10,7barg pour augmenter la pression en cas de fuite ou de baisse de pression.

Des capteurs de pression seront placés dans les tuyaux du réseau les plus éloignés, du côté des sphères de butane. Les pompes jockey interviendront automatiquement en cas de basse pression.

### **Conclusion**

Maintenant qu'on a défini les débits nécessaires dans l'unité 910, les systèmes de déluge sur les sphères et les cigares avec précision (nombre de buses, de vannes et de rampes d'arrosage), le système de détection et le système de pompage adéquats. Nous devons nous assurer de sa disponibilité et, si besoin, l'améliorer.

## **Chapitre 4: Étude la disponibilité du système déluge**

Le système déluge à eau est capable de réduire la gravité des dommages causés par les accidents catastrophiques en réduisant des températures élevées et en minimisant les flux de chaleur.

Dans un complexe de GPL, le système déluge à eau installé doit être fiable et disponible pendant toute sa durée de vie à cause de la probabilité d'occurrence élevée des scénarios d'incendies et des effets dominos.

Dans ce chapitre, nous allons nous assurer de la disponibilité de notre système déluge. Pour ce faire, nous devons d'abord analyser notre système afin de mettre en évidence ses points critiques.

Selon les données recueillies sur les études de la disponibilité des systèmes déluge à eau et des systèmes de sprinkler par retour d'expérience [17]. La disponibilité varie de 38% (Finland) à 99% pour toutes les catégories d'installations (Australie et Nouvelle Zélande), mais la plupart sont au-dessus des 90%.

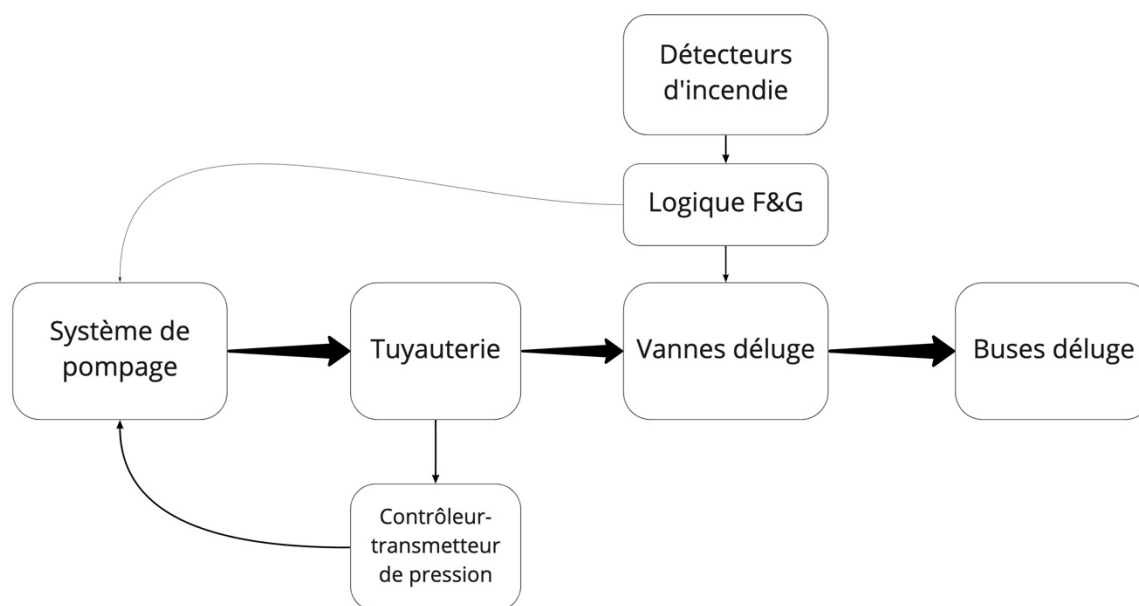
Nous fixons donc, dans la présente étude une disponibilité supérieure à 90%.

Tableau 4-1 : Données sur la disponibilité des sprinklers [17]

Country	Reference	Reliability (success rate)	Failure rate
Sweden	Malm and Pettersson (2008)	69% in from 690 fire incidents	31%
Finland		38% in from 351 fire incidents	62%
Norway		74% in from 457 fire incidents	26%
UK	Rutstein and Cooke (1979)	92...97% for various types occupancies	3...8%
		95.6% for all industrial buildings	4.4%
		97.8% (a reliability value taking into account successful sprinkler operation in fires not reported to the brigade)	2.2%
	Malm and Pettersson (2008)	85% from 163 fire incidents in London	15%
Australia and New Zealand	Marryatt (1988)	99% for all building categories	1%
New Zealand	Malm and Pettersson (2008)	96% for 483 fire incidents in 2002–2008	4%
US	Automatic sprinkler performance tables (1970)	90% for all building categories	10%
	Miller (1974)	96% (all building categories for the period 1897–1964, NFPA data)	4%
		85% (for the period 1970–1972, Factory Manual Research Corporation (FMRC) data)	15%
		95% (for the period 1966–1970, US Navy data)	5%
		86% for a wet-pipe sprinkler system	14%
		83% for a dry-pipe sprinkler system	17%
		63% for a deluge system	37%
	Budnick (2001)	81...95% from a review of 13 reliability estimates	5...19%
Koffel (2006)	91% for all building categories	9%	

## 4.1 Description du système déluge

Notre système se constitue d'un système de pompage, des détecteurs d'incendie, des vannes déluge, des buses déluge, des contrôleurs-transmetteurs de pression et d'un système logique F&G.



miro

Figure 4-1 : Schéma simplifié des composants du système déluge

*Remarque : L'eau est filtrée avant d'être stockée dans les réservoirs (Tank), afin d'éliminer le risque de bouchage.*

## 4.2 Analyse du système déluge

### 4.2.1 Définition d'un Arbre de Défaillances (AdD)

Un arbre de défaillances (*Fault Tree Method* en anglais) représente de façon synthétique l'ensemble des combinaisons d'événements qui peuvent mener vers une défaillance ou un événement redouté. Afin de construire un AdD on doit répondre à la question : « Comment une telle défaillance peut-elle survenir ? ».

Cette recherche des combinaisons de causes pouvant provoquées une défaillance se poursuit par une recherche des coupes minimales<sup>5</sup> qui constitue la partie qualitative de la méthode. On trouve aussi une partie quantitative qui vise à évaluer les probabilités d'occurrence au niveau des coupes minimales et au niveau de la défaillance à partir de la probabilité d'occurrence des événements élémentaires.

Tout d'abord on doit définir, de façon explicite, la défaillance ou l'évènement afin que l'arbre construit réponde bien aux attentes de l'étude.

---

<sup>5</sup> On appelle coupes minimales les ensembles d'événements élémentaires jugés nécessaires et suffisants à produire l'évènement redouté.

On décrit ensuite l'ensemble des événements pouvant engendrer l'événement sommet par des combinaisons logiques ET/OU. On obtiendra alors des événements intermédiaires et un connecteur logique qui les relie à l'événement sommet.

Les étapes suivantes consistent à répéter l'étape précédente jusqu'à l'obtention des événements élémentaires qu'on ne peut plus décomposer. [15]

Cette méthode repose sur une représentation graphique qui permet de présenter les résultats dans une structure arborescente développée généralement pour les structures compliquées par un algorithme du diagramme de décision binaire.

#### 4.2.2 Construction de l'AdD

L'indisponibilité de notre système déluge peut se produire si on a des défaillances :

- Dans le système de déluge proprement dit (vannes déluge et buses déluge)
- Dans le système logique ou de détection.
- Dans le système de pompage (qui inclue aussi les capteurs et transmetteurs de pression).
- Dans le système de stockage (c'est-à-dire les réservoirs d'eau).

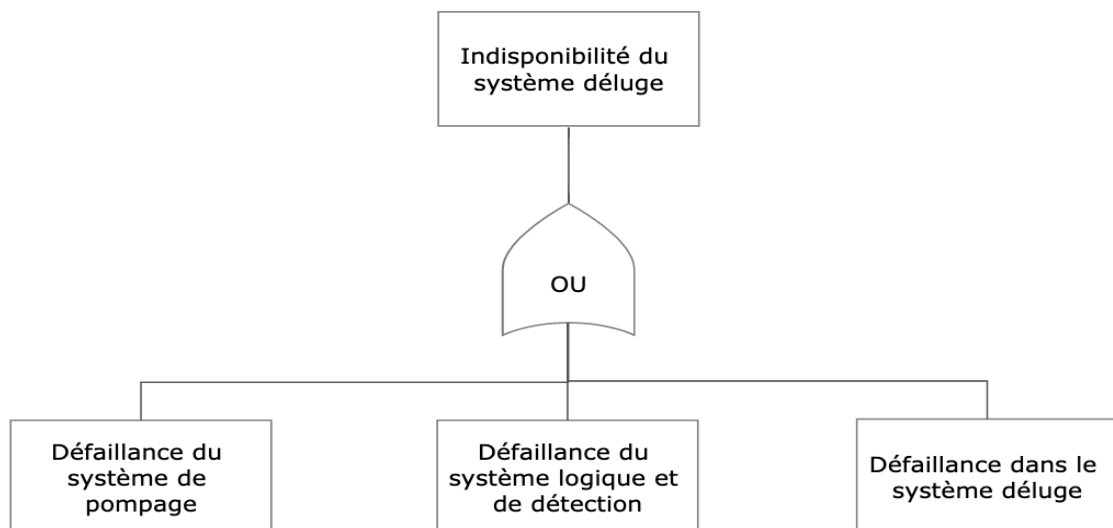


Figure 4-2 : Indisponibilité du système déluge

*Remarque : Dans un cas général, on inclut la probabilité de défaillance du système de stockage. Mais dans notre cas, les réservoirs de la Raffinerie d'Alger présentent une probabilité de défaillance trop faible pour être prise en compte.*

## Défaillance dans le système déluge

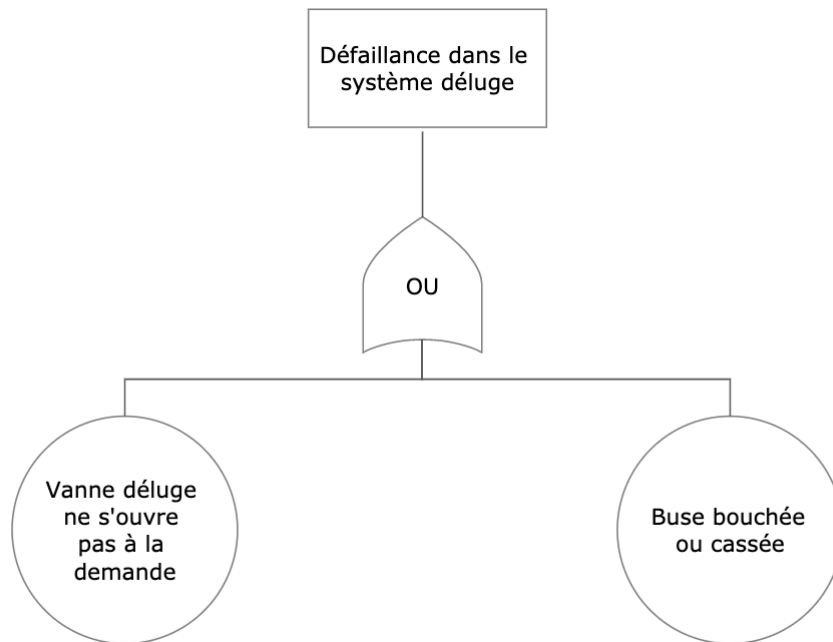


Figure 4-3 : Défaillance dans le système déluge

## Défaillance du système logique et de détection

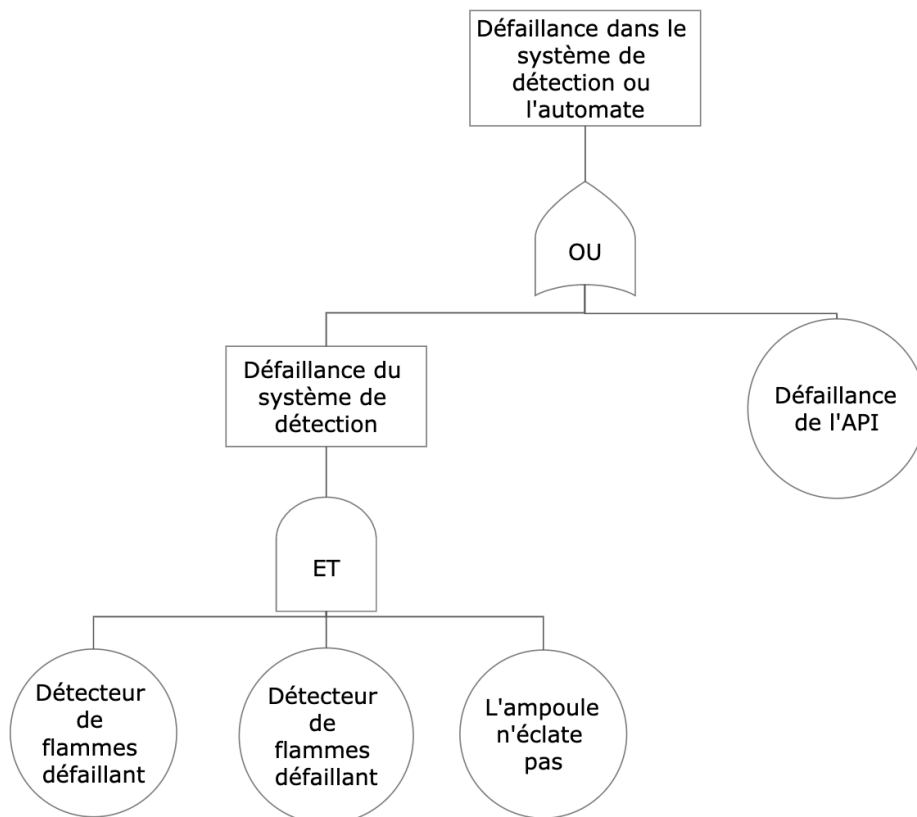


Figure 4-4 : Défaillance dans le système logique et de détection

L'API est un Automate Programmable Industriel qui active la vanne déluge et les pompes si un incendie est détecté.

### Défaillance du système de pompage

La défaillance d'une pompe Jockey ou principale implique qu'elle ne démarre pas à la demande ou ne délivre pas le débit souhaité à la pression voulue.

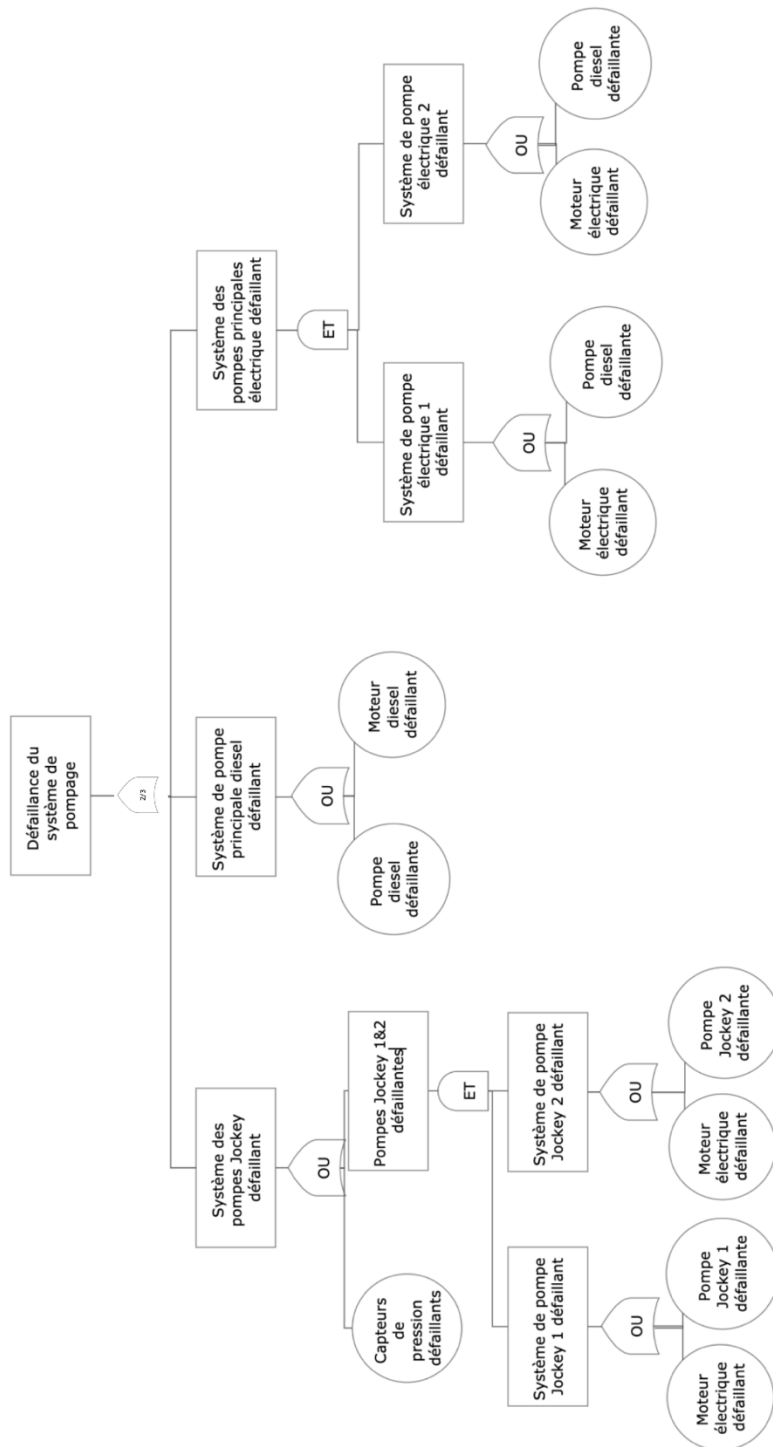


Figure 4-5 : Défaillance du système de pompage



## Les données de fiabilité des composants du système

On a sélectionné les différents paramètres des composants du système à partir de différentes thèses et bases de données. [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22].

Nous avons résumé les données de fiabilité dans le tableau suivant :

Tableau 4-2 : Données de fiabilité des composants du système

Composant	Défaillance	Paramètres
Vanne déluge	Ne s'ouvre pas à la demande	$P=5,223^{E-3}$
Buse de déluge	Bouchée ou cassée	$P=1^{E-4}$
Détecteur de flammes	Ne se déclenche pas	$\lambda=6,3^{E-5}$ ; $\tau=4,38^{E4}$
Ampoule Sprinkler	Défaillante	$P=7^{E-4}$
API	Défaillant	$P=6,4^{E-3}$
Moteur diesel	Défaillant	$\lambda=1,466^{E-5}$ ; $\mu=0,1639$ ; $\tau=1,7^{E4}$
Moteur électrique	Défaillant	$\lambda=1,6^{E-5}$ ; $\mu=1^{E-2}$ ; $\tau=2,6^{E4}$
Capteurs de pression	Défaillant	$\lambda=9,2^{E-7}$ ; $\tau=2,6^{E4}$
Pompe Jockey, électrique	Ne démarre pas à la demande	$\lambda=3,09^{E-4}$ ; $\mu=2^{E-2}$ ; $\tau=1,73^{E4}$
	Ne délivre pas le débit nécessaire	
Pompe diesel	Ne démarre pas à la demande	$\lambda=9,6^{E-5}$ ; $\mu=2^{E-2}$ ; $\tau=2,6^{E4}$
	Ne délivre pas le débit nécessaire	

Nous avons trois types de composants

### 1) Les composants à test périodique simple (TPS)

Ce sont des composants qui tombent en panne selon une loi de distribution exponentielle et dont on constate la panne lors d'un test périodique. La réparation s'effectue de manière instantanée.

L'équation générale de l'indisponibilité est :

$$U(t) = 1 - e^{-\lambda t} \text{ Si } t < t_0 ; \text{ sinon } U(t) = 1 - e^{-\lambda(t-t_0) \bmod \tau}$$

Où :

$U(t)$  : l'indisponibilité en fonction du temps

$\lambda$  : taux de défaillance

$\tau$  : période test (intervalle de temps entre deux tests consécutifs).

$T_0$  : temps du premier test

Les composants à test périodique simple dans notre système sont les capteurs de pression et les détecteurs de flammes.

### 2) Les composants à test périodique étendu (TPE)

Ce sont des composants qui tombent en panne selon une loi de distribution exponentielle et dont on constate la panne lors d'un test périodique. Mais la phase de réparation est modélisée par une exponentielle de paramètre  $\mu$  ( $\mu$ ).

L'équation générale de l'indisponibilité est :

$$U(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} (1 - e^{-(\lambda+\mu)t}) \text{ Si } t < t_0 ; \text{ sinon } U(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} (1 - e^{-(\lambda+\mu)(t-t_0) \bmod \tau})$$

Où :

$U(t)$  : l'indisponibilité en fonction du temps

$\lambda$  : taux de défaillance

$\mu$  : taux de réparation

$\tau$  : période test (intervalle de temps entre deux tests consécutifs).

$T_0$  : temps du premier test

Les composants à test périodique étendue dans notre système sont les pompes principales, Jockey et diesel, les moteurs électriques et le moteur diesel.

### 3) Les composants avec une probabilité constante (CST)

Ces équipements sont des vannes déluge, des buses de déluge, des ampoules sprinkler et de l'API.

Les valeurs ont été prises à partir de certaines études car elles n'ont pas été couvertes par les bases de données.

#### 4.2.3 Simulation et résultats

Nous avons utilisé le logiciel GRIF pour obtenir les résultats d'indisponibilité du système sur une durée de dix ans (87600h). Le temps de simulation étant très important, est seulement possible grâce à la redondance des équipements, à la maintenance et aux essais périodiques.

#### GRIF

C'est une plate-forme logicielle d'analyse des systèmes qui permet de déterminer les indicateurs fondamentaux de la sûreté de fonctionnement : fiabilité, disponibilité, performance et sécurité.

GRIF laisse le choix à l'utilisateur d'opter pour la technique de modélisation la plus adéquate à la résolution du système étudié : blocs diagrammes, arbres de défaillance, graphes de Markov, réseaux de Petri.

Dans notre cas nous avons utilisé l'arbre de défaillance.

Nous avons d'abord modélisé notre AdD sur le logiciel GRIF (Fault-Tree), comme illustré dans la figure suivante :

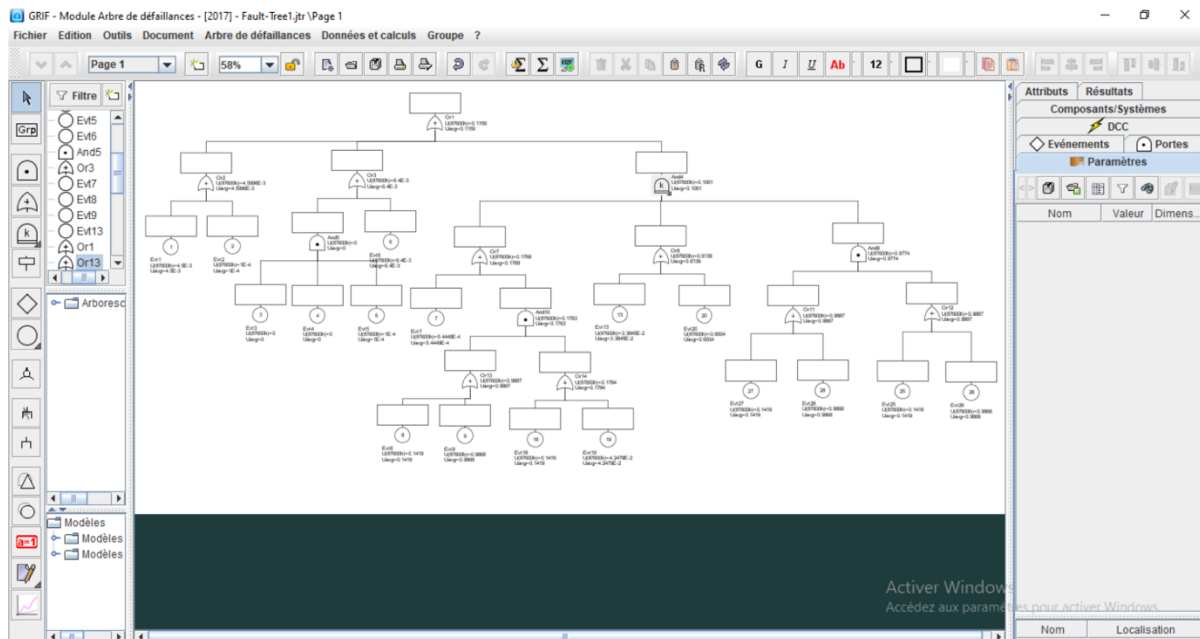


Figure 4-6 : Arbre de défaillance de l'indisponibilité du système déluge sur GRIF

Nous avons ensuite entré les paramètres nécessaires dans les événements de base pour les différents types de composants.

**Propriété des 'Evénements' - Evt7**

Numéro: 7

Nom (  Automatique ): Evt7

Description:

Loi: TPS / Test périodique simple

Cette loi permet de représenter un composant qui tombe en panne selon une loi de distribution exponentielle et dont on constate la panne lors d'un tes ...

Paramètre(s):

Lambda ( $\lambda$ )	9.2E-7	...
Tau ( $\tau$ )	2.174E4	...
T0	4.8E1	...

Appliquer un facteur

Comportement: Par défaut

Type: Evènement de base

OK Annuler Aide

Figure 4-7 : Entrée des données pour la défaillance du capteur de pression (TPS)

Propriété des 'Événements' - Evt8

Numéro: 8

Nom (  Automatique ): Evt8

Description:

Loi: TPE / Test périodique étendu

Cette loi permet de représenter un composant qui tombe en panne selon une loi de distribution exponentielle et dont on constate la panne lors d'un tes ...

Paramètre(s)

Lambda ( $\lambda$ )	1.6E-5	...
Mu ( $\mu$ )	1E-2	...
Tau ( $\tau$ )	2.6E4	...
T0	2.6E4	...

Appliquer un facteur

Comportement: Par défaut

Type: Évènement de base

OK Annuler Aide

Figure 4-8 : Entrée des données pour la défaillance du moteur électrique (TPE)

Propriété des 'Événements' - Evt1

Numéro: 1

Nom (  Automatique ): Evt1

Description:

Loi: CST / Constante

Quel que soit le temps, la probabilité d'occurrence (q) et l'intensity inconditionnelle (w) de la panne du composant sont constantes.

Paramètre(s)

Probabilité ( Q )	5.223E-3	...
Intensity inconditionnelle ( W )	0	...

Appliquer un facteur

Comportement: Par défaut

Type: Évènement de base

OK Annuler Aide

Figure 4-9 : Entrée des données pour la défaillance de la vanne déluge (CST)

On lance ensuite la simulation et on obtient le résultat de la disponibilité  $A(t)$ <sup>6</sup>  
 Et on obtient la probabilité des événements intermédiaires et de l'événement sommet.

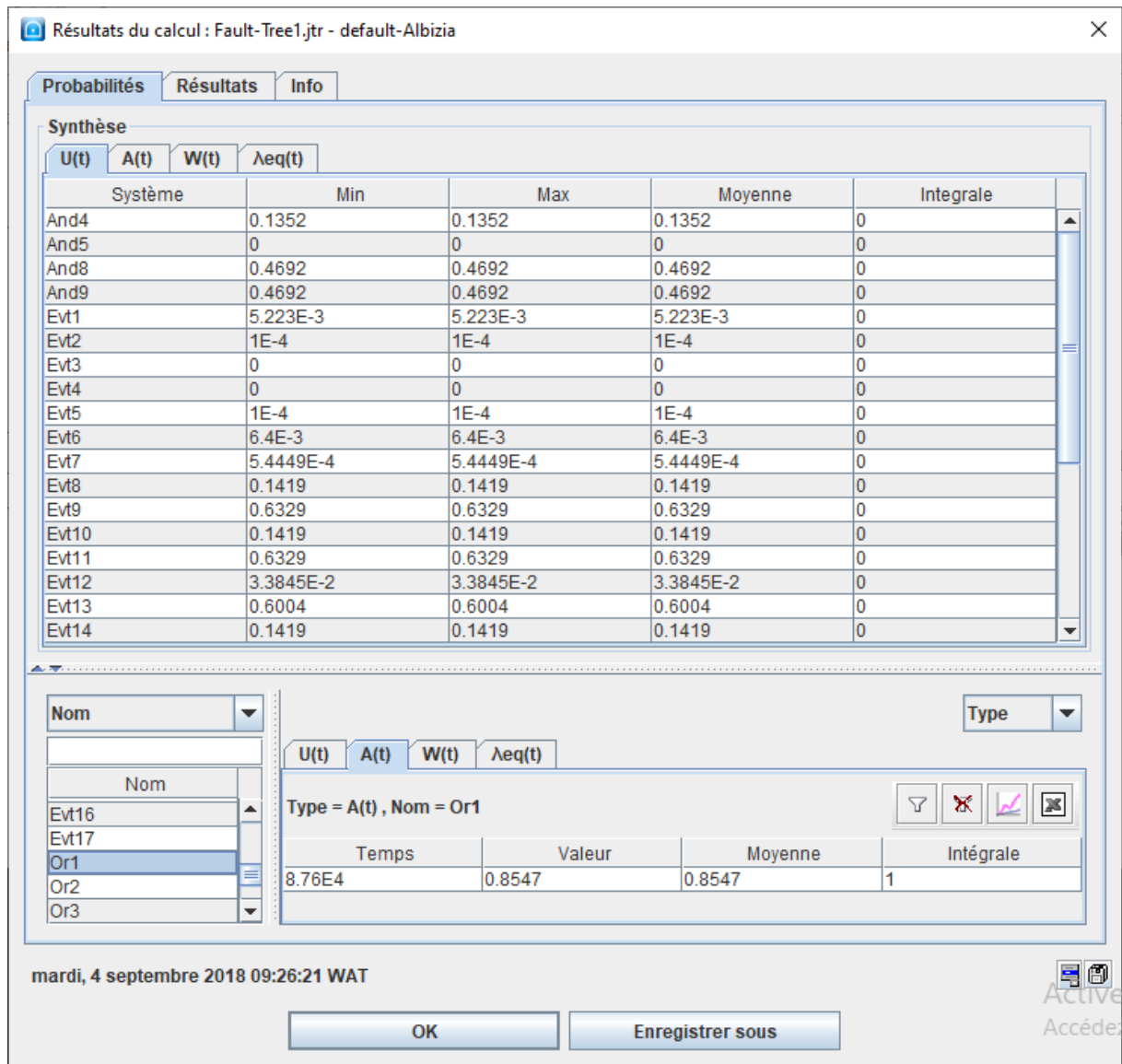


Figure 4-10 : Résultats de la simulation de la disponibilité du système déluge sur GRIF

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

<sup>6</sup>  $A(t)$  représente la disponibilité en fonction du temps, de l'anglais *Availability*.  $A(t) = 1 - U(t)$ .

Tableau 4-3 : Résultats de la disponibilité des sous systèmes

Nœud	Nom	Indisponibilité $t=87600h$	U(t),
Ou1	Indisponibilité du système déluge	0,1887225	
Ou2	Défaillance dans le système déluge	$5,3225^{E-3}$	
Ou3	Défaillance dans le système de détection ou API	$6,4^{E-3}$	
K2sur3	Défaillance du système de pompage	0,177	
Et5	Défaillance du système de détection	0	
Ou6	Système des pompes Jockey défaillant	0,1517	
Ou7	Système de la pompe principale diesel défaillant	0,6153	
Et8	Système des pompes principales électriques déf.	0,1441	
Et9	Pompes Jockey 1&2 défaillantes	0,1441	
Ou10	Système de de pompe électrique principale 1 déf.	0,3796	
Ou11	Système de de pompe électrique principale 2 déf.	0,3796	
Ou12	Système de pompe Jockey 1 défaillant	0,3796	
Ou13	Système de pompe Jockey 2 défaillant	0,3796	

Bien que la disponibilité du système de déluge soit de 81,13%, l'indisponibilité du système de pompage est trop importante. On doit dans ce cas-là changer la configuration choisie pour les pompes principales dans le chapitre précédent qui était de 2x100%. On doit utiliser une configuration de 4x50% qui nous offrira une meilleure redondance et ainsi une meilleure disponibilité. On ajoutera aussi une pompe Jockey et une pompe diesel.

Les pompes Jockey et les pompes électriques doivent subir un test périodique étendu plus fréquemment, on suggère une période de 18 mois au lieu de deux ans.

La nouvelle configuration des pompes est alors :

- Quatre (4) pompes principales électriques de 2500m<sup>3</sup> à 10barg.
- Une pompe principale à moteur diesel de 5000m<sup>3</sup> à 10barg.
- Trois (3) pompes Jockey de 50m<sup>3</sup> à 10,7barg.

On reconstruit notre arbre de défaillance selon la nouvelle configuration.

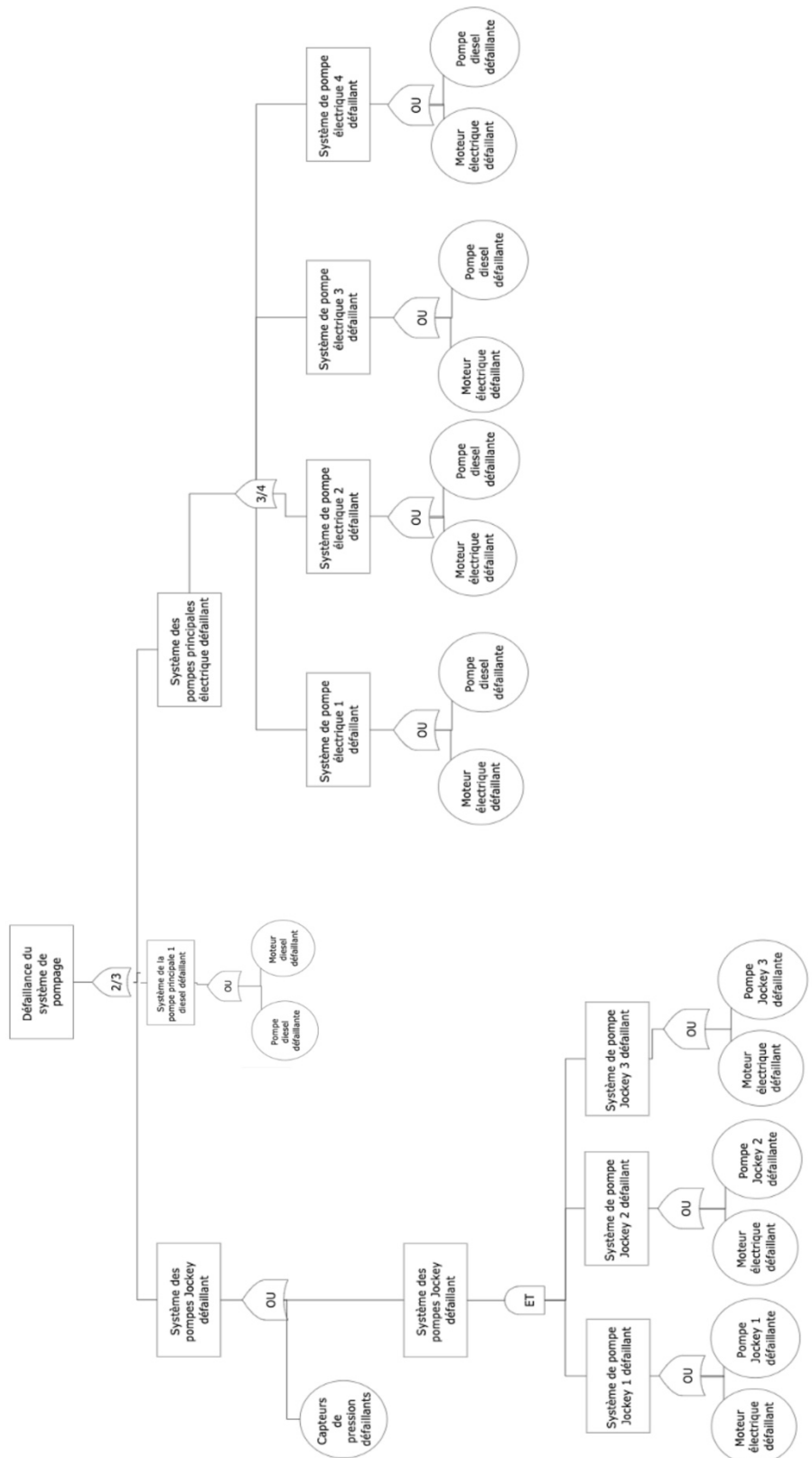


Figure 4-11 : Indisponibilité du nouveau système de pompage

On lance de nouveau la simulation avec le nouveau AdD.

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4-4 : Résultats de la disponibilité des sous-systèmes avec le nouveau système de pompage

Nœud	Nom	Indisponibilité $t=87600h$	U(t),
Ou1	Indisponibilité du système déluge	$7,0186^{E-2}$	
Ou2	Défaillance dans le système déluge	$5,3225^{E-3}$	
Ou3	Défaillance dans le système de détection ou API	$6,4^{E-3}$	
K2sur3	Défaillance du système de pompage	$5,919^{E-2}$	
Et5	Défaillance du système de détection	0	
Ou6	Système des pompes Jockey défaillant	$2,9792^{E-2}$	
Et7	Système des pompes principales diesel défaillant	0,6153	
K3sur4	Système des pompes principales électriques déf.	$6,7154^{E-2}$	
Ou17	Système de pompe électrique principale 1 déf.	0,2767	

On remarque qu'avec la nouvelle configuration, l'indisponibilité du système de pompage a baissé de 11,78%.

Notre système a une disponibilité de 92,8% sur une durée de 10 ans, à condition de respecter le planning de la maintenance et des tests périodiques ( $\tau$ ) et que le système de stockage ne soit pas défaillant.

### Conclusion

Ce chapitre nous a permis de vérifier la configuration qu'on avait choisie lors du chapitre précédent. Suite aux résultats obtenus à l'aide du logiciel GRIF, nous avons changé le système de pompage (2x100%) car il présentait une probabilité de défaillance relativement élevée. Nous avons ensuite opté pour un nouveau système de pompage (4x50%) qui donne une meilleure disponibilité, on a aussi ajouté une pompe diesel et une pompe Jockey pour augmenter la redondance.

Au final, la disponibilité du système déluge au bout de dix ans est de 92,8%, nous avons donc atteint notre objectif qui était d'avoir une disponibilité supérieure à 90%.



## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Pour pouvoir assurer la sécurité au niveau de l'unité 910 de la raffinerie d'Alger, nous avons conçu, à travers ce projet de fin d'études, un réseau de lutte incendie pour les sphères et cigares de stockage de GPL en respectant les normes internationales (NFPA 15, NFPA 13, NFPA 20, NFPA 30 et API 2510A).

Tout d'abord, nous avons vu dans le chapitre 3 qu'une installation fixe de réseau anti-incendie doit comporter une réserve d'eau, un système de pompage, des systèmes de détection et d'alarme, des systèmes de traitement de l'information ainsi que des consommateurs (déluge, rideaux d'eau, hydrants et lances monitor) qui varient selon les besoins.

Ensuite, nous sommes passés au dimensionnement de notre réseau. Après avoir pris comme scénarios de référence le BLEVE et le feu de torche. Nous avons :

- Calculé la surface totale à protéger par le système déluge.
- Simuler le système déluge par le logiciel PIPENET afin de voir si on a une bonne répartition du débit sur les sphères et cigares de stockage de GPL.
- Déterminé le débit maximal nécessaire pour le nouveau réseau de lutte incendie de l'unité 910 qui est égale à  $3700\text{m}^3/\text{h}$  et qui regroupe les hydrants, les lances monitor et le système déluge.
- Choisi un système de détection électrique et hydraulique en fonction de leurs avantages et inconvénients : cinq détecteurs de flammes multi-IR et un réseau pilote équipé de sprinklers.

Par la suite, nous avons choisi l'acier noir comme matériau de tuyauterie. On a supposé un diamètre de 12 pouces (30cm) pour les conduites. Afin de vérifier le bon fonctionnement du réseau, nous avons utilisé le logiciel EPANET, sur lequel on a lancé une simulation du réseau avec le diamètre précédemment supposé et une pompe de  $5000\text{m}^3/\text{h}$  à 10barg. Obtenant des résultats conformes aux normes internationales (vitesse maximale dans les conduites inférieure à 4m/s et une pression minimale de 7 bars au niveau des nœuds), nous avons validé la configuration du réseau et nous avons adopté un système de pompage comportant deux pompes principales électriques ( $5000\text{m}^3/\text{h}$  à 10barg), deux pompes Jockey ( $50\text{m}^3/\text{h}$  à 10,7barg) et une pompe auxiliaire diesel ( $5000\text{m}^3/\text{h}$  à 10barg).

Enfin, nous avons procédé à une étude disponibilité du système déluge. Ayant pour objectif une disponibilité supérieure à 90% sur une durée de dix ans, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Description générale de notre système déluge.
- Analyse du système par un arbre de défaillances.
- Simulation à l'aide du diagramme de décision binaire (BDD) à travers le logiciel GRIF sur une durée de 87600h en utilisant les données de fiabilité recueillies dans les bases de données.

Lors de la première simulation, on a obtenu une disponibilité de 81,13%. 17,7% de l'indisponibilité provenait du système de pompage. On a alors choisi une autre configuration (on est passé de 2x100% à 2x2x50%). Puis on a relancé une nouvelle simulation avec un nouveau système de pompage, quatre pompes électriques (2500m<sup>3</sup>/h à 10barg), 3 pompes Jockey (50m<sup>3</sup>/h à 10,7barg) et une pompe diesel (5000m<sup>3</sup>/h à 10barg).

Après une seconde simulation, nous avons diminué la probabilité de défaillance du système de pompage à 5,92% et on a atteint disponibilité du système déluge de 92,8%.

Finalement, le nouveau réseau anti incendie de l'unité 910, bien qu'il nécessite beaucoup plus de quantité d'eau (3700m<sup>3</sup>/h) que l'ancien réseau (692m<sup>3</sup>/h) à cause du système déluge par quadrillage, il répond aux exigences des normes internationales et offre une forte disponibilité.

## Références bibliographiques

- [1] Nullifire. Services Blog Protection Feu [en ligne]. Consulté le 01/06/ 2021. Disponible à l'adresse : [https://www.nullifire.com/fr\\_FR/home/](https://www.nullifire.com/fr_FR/home/)
- [2] Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.) ; Moyens fixes de lutte contre l'incendie –Stockages de liquides inflammables et de gaz inflammables liquéfiés [en ligne]. Édition Novembre 2016. Disponible avec la référence : DRA-16-156884-04985B
- [3] IFP Training. Formation professionnelle, Sécurité industrielle, évaluation quantitative et conception/dimensionnement. Hassi Messoud- Centres IAP- Juillet 2015.
- [4] TOLBA Ayyoub, MESSALAEM Essaddiq et SIBOUKEUR Hichem - Mémoire de licence : Description Le Système De Sécurité Incendie Au Niveau De Station Compression Sud. Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018
- [5] NFPA20 *Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection. 2011*
- [6] Focus Industrie. Bureau d'ingénierie industrielle. Consulté le [15/07/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.focus-industrie.fr/produits-incendie/>
- [7] Pimenov, Kh. Tagui-zade. « Hydraulique Generale ». Edition Office des publications universitaires : 08-1993.
- [8] BONNEVILLE Jean-Pierre. L'hydraulique appliquée aux installations d'extinction, troisième édition. Polytechnique de Montréal, 2006, 588p.
- [9] NFPA 15 *Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection 1996 Edition*
- [10] François G. Brière. « Distribution et collecte des eaux ». Presses Internationales Polytechnique : 2009.
- [11] Michel Roques. « Contrôle industriel et régulation automatique - Mécanique des Fluide ». BTS CIRA, 2005.
- [12] Cyrus Industrie. Référentiels APSAD. Consulté le : [15/06/2021]. Disponible sur : <https://www.cyrus-industrie.com/reglementations/apsad/>
- [13] Margreet Spoelstra n, Soedesh Mahesh, Eelke Kooi, Patrick Heezen - Domino effects at LPG and propane storage sites in the Netherlands. Centre for Environmental Safety

- and Security, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM). Juillet 2015.
- [14] DEROUAZ Djalal et MAMERI Meziane - Mémoire de fin d'études : Maîtrise des risques majeurs au niveau du "Centre Vrac GPL – CV 165" de NAFTAL à Sidi Arcine (Baraki). École Nationale Polytechnique, 2016.
- [15] Cours du professeur M. BENMOKHTAR Arbre de Défaillance. École Nationale Polytechnique. 2020.
- [16] OREDA - Offshore Reliability Data Handbook 2002 - 4th Edition (2002)
- [17] Vesa R^nty & Olavi Keski-Rahkonen - Reliability of sprinkler systems, VTT Building Technology, Décembre 2004 ,89p.
- [18] M. Guetarni Islam Hadj Mohamed – Thèse de doctorat : Analyse Quantitative des Risques : Application sur les Bacs de Stockage, Université d'Oran 2 Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle, 2019.
- [19] Dr., PE, CSP Sam Mannan (Auth.) - Lees' Loss Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control (2005, Elsevier Butterworth-Heinemann)
- [20] Krasner, L.M.; Ganti, C.S; Vincent, B.G.; Boccio, J.L. Evaluation of Available Data for Probabilistic Risk Assessments (PRA) of fire Events at Nuclear Power Plants. Brookhaven National Lab., Upton, NY (USA). 1985. 71p
- [21] H.W. Marryatt, Fire. A Century of Automatic Sprinkler Protection in Australia and New Zealand. 1886-1986, revised edition 1998, Australian Fire Protection Association
- [22] P.Guymer and G. W. Parry, "Use of Probabilistic Methods in Fire Hazards Analysis", Fire Protection and Fire Fighting in Nuclear Installations, Proceedings of an IAEA Symposium, Vienna, Austria, February 27-March 3, 1989]