

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE

\*\*\*\*\*

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie  
Département de Génie Électrique

**Mémoire de Fin d'étude**

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en  
Electromécanique

Option : Electromécanique.

*Thème*

*Etude, dimensionnement et conception du Réseau Anti-  
Incendie Au Terminal Marin de Bejaia.*

Réalisé Par :

Melle : AGGOUN Thiziri Celia

Encadré Par :

Mr : ATROUNE Salah

Mr : TOULOUM Nadire

Année Universitaire 2023/2024

## *Remerciements*

*Je souhaite exprimer mes sincères remerciements à Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la santé, la volonté et la persévérance nécessaires pour entreprendre et achever ce mémoire.*

*En premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers M. ATROUNE SALAH, dont l'encadrement exceptionnel, la patience, la rigueur et la disponibilité ont été des éléments déterminants dans la réalisation de ce travail. Sa guidance précieuse a été une source d'inspiration et d'apprentissage tout au long de mon parcours académique. Ses conseils avisés et son soutien infaillible ont été des atouts précieux dans la conduite de ce projet de recherche.*

*J'adresse également mes remerciements à M. TOULOUM NADIRE et à M. ATTIL FAYCEL, ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont soutenu de près ou de loin au sein de l'entreprise SONATRACH BEJAIA durant mon stage. Leur assistance et leur expertise ont grandement enrichi mon expérience professionnelle. Leur partage de connaissances et leur accompagnement dans les défis rencontrés ont été d'une valeur inestimable dans mon développement professionnel.*

*Mes remerciements s'étendent également à mes professeurs pour leur générosité et leur patience lors de nos échanges académiques et professionnels. Leur enseignement rigoureux et leur disponibilité pour répondre à mes questions ont été des éléments clés dans l'acquisition de connaissances et de compétences tout au long de mon parcours d'études.*

*Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers les membres du jury d'avoir accepté de juger et d'évaluer mon travail avec impartialité et rigueur. Leurs commentaires constructifs et leurs suggestions ont contribué à améliorer la qualité et la pertinence de ce mémoire.*

*Chaque personne mentionnée a joué un rôle crucial dans la réalisation de ce mémoire, et je leur en suis profondément reconnaissante.*

## *Dédicaces*

*À ma mère, source infinie d'inspiration et de dévouement. Tes encouragements constants, ta force inébranlable et ton amour sans bornes ont été les piliers de mon parcours académique. Ce mémoire est dédié à toi, pour ta présence réconfortante à chaque étape de ma vie et pour ton soutien inconditionnel qui m'a permis d'atteindre l'un de mes objectifs les plus ambitieux.*

*À mon père, modèle de persévérance et de sagesse. Ton dévouement sans faille envers ma réussite a été une source constante de motivation. Je te suis infiniment reconnaissante pour tes conseils éclairés, ta patience inlassable et ta confiance en moi. Ce mémoire est un témoignage de gratitude envers toi, pour tout ce que tu as sacrifié pour que je puisse réaliser mes rêves.*

*À mes sœurs bien-aimées, Kahina et Warda, compagnes de route précieuses. Votre présence joyeuse, vos encouragements sincères et votre amour indéfectible ont été mes plus grands atouts. Ce mémoire est dédié à vous, pour les moments partagés, les rires partagés et les défis surmontés ensemble. Vous êtes mes plus grandes inspirations.*

*À mes beaux-frères, Lahlou et Abdelhak, véritables frères d'âme. Votre soutien inconditionnel, vos conseils avisés et votre présence réconfortante ont été d'une valeur inestimable. Ce mémoire est dédié à vous deux, pour votre générosité, votre bienveillance et votre soutien indéfectible à chaque étape de ma vie.*

*À mes chers petits neveux, Axel, Helena et Eva, étoiles lumineuses dans ma vie. Votre innocence, votre joie de vivre et votre amour inconditionnel ont été mes sources de motivation les plus pures. Ce mémoire est dédié à vous trois, pour les sourires que vous avez suscités dans les moments les plus sombres et pour les rêves que vous m'avez inspirés à poursuivre.*

*À mes amis chers et précieux, Walid, Mouna, Sabrina, Loucif, Youva, Nadine et Anis, compagnons de route fidèles. Votre soutien inébranlable, vos encouragements constants et vos moments de détente ont été essentiels pour maintenir mon équilibre pendant la réalisation de ce mémoire. Ce travail est dédié à vous, pour les rires partagés, les moments de complicité et les défis surmontés ensemble. Votre amitié a été un véritable cadeau dans ce parcours.*

*À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse ma profonde gratitude. Votre soutien, vos conseils et votre collaboration ont été des éléments essentiels dans la concrétisation de ce travail. Ce mémoire est le fruit d'un effort collectif, et je suis reconnaissante envers chacun d'entre vous pour votre contribution.*

**LISTE DES ACRONYMES ET  
DES ABREVIATION**

## Liste des acronymes et des abréviations :

- **NFPA** - National Fire Protection Association
- **NFPA 11** : Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam
- **NFPA 13** : Standard for the Installation of Sprinkler Systems
- **NFPA 15** : Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection
- **NFPA 16** : Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems
- **NFPA 20** : Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection
- **API** : American Petroleum Institute
- **TMB** : Terminal Marin de Bejaia
- **GNL** : Gaz Naturel Liquéfié
- **GPL** : Gaz de Pétrole Liquéfié
- **RTC** : Transport par Canalisation
- **STC** : Systèmes de Transport par Canalisation
- **SOPEG** : Société Pétrolière de Gérance
- **DRGB** : Direction Régionale de Bejaia
- **TMN** : Terminal Marin Nord
- **TMS** : Terminal Marin Sud
- **USD** : Unité de Stockage et de Dosage d'Émulseur
- **S7-300** : Automate Programmable Industriel de la Gamme Siemens
- **S7-400** : Automate Programmable Industriel de la Gamme Siemens
- **TP** : Transmetteur de Pression
- **PS** : Pressostat
- **Al** : Signal d'Alarme
- **D** : Débitmètre
- **AUTO** : Sélecteur en Position Automatique
- **ART** : Sélecteur en Position Arrêt
- **PL3** : Contacteur de Perte Tension Électrique
- **VF** : Voyant Détectant la Fermeture des Vannes
- **KM** : Contacteur d'Activation de la Pompe
- **RD** : Contacteur d'Activation de la Motopompe
- **Ri** : Relais
- **MOV** : Vanne Motorisée
- **MOT** : Démarrage du Moteur de la Pompe
- **AP300/400** : Centrale d'Alarme d'Incendie (Carte Électronique)
- **API** : Automate Programmable Industriel
- **Grafcet** : Graphe Fonctionnel de Commande Étapes et Transitions
- **R** : Réceptivité
- **IA** : Intelligence Artificielle

- **CPU** : Unité Centrale de Traitement des Données
- **S7** : Gamme Siemens
- **ST** : Structured Text
- **SFC** : Sequence Function Chart
- **LD** : Ladder Diagram
- **IL** : Instruction List
- **FBD** : Function Block Diagram
- **PS** : Partie de Supervision
- **IHM** : Interface Homme Machine
- **PO** : Partie Opérative
- **PC** : Partie Commande
- **IR3** : Détecteur Infrarouge à Multiples Fréquences
- **IR** : Détecteur Infrarouge
- **UV** : Détecteur Ultraviolet
- **LSE** : Limite Supérieure d'Explosion
- **LIE** : Limite Inférieure d'Explosion
- **GEP** : Groupe Électropompe
- **d** : Diamètre Intérieur du Tuyau
- **Leq** : Longueur Équivalente
- **LALL** : Niveau Minimal à l'Intérieur du Bac
- **Hs** : Perte de Charge Singulière
- **Hv** : Perte de Charge Linéaire
- **Ht** : Perte de Charge Totale
- **Chw** : Coefficient de Hazen-Williams
- **FFFP** : Type d'Émulseur Utilisé avec une concentration de 3%
- **HMT** : Hauteur Manométrique Totale
- **EDD** : Étude des Dangers
- **APR** : Analyse Préliminaire des Risques
- **C** : Coefficient de Rugosité
- **NPSHd** : Net Positive Suction Head Disponible
- **NPSHr** : Net Positive Suction Head Requis
- **Hgeo** : Hauteur Géométrique
- **DN** : Diamètre Nominal du Tuyau
- **A30** : Classe de Tuyauterie du Pré mélange
- **A13** : Classe de Tuyauterie d'Eau

## LISTE DES FIGURES

# Liste des figures :

## Chapitre I : Description de l'entreprise et du projet étudié

<b>Figure I.1:</b> La structure hiérarchique fonctionnelle de la (RTC) de Bejaia .....	7
<b>Figure I.2:</b> TMB vue du ciel.....	8
<b>Figure I.3:</b> Bac de stockage du pétrole.....	8
<b>Figure I.4:</b> Une gare racleur .....	9
<b>Figure I.5:</b> Un manifold arrivée/départ et une pomperie de chargement .....	10
<b>Figure I.6:</b> Phénomène simplifiée de BOIL-OVER.....	13
<b>Figure I.7:</b> Départ d'incendie au centre stockage de pétrole.....	15
<b>Figure I.8:</b> Bac de stockage a toit flottant .....	18
<b>Figure I.9:</b> Le moniteur Hose Stream.....	21
<b>Figure I.10:</b> Unité de Stockage et de Dosage d'Émulseur (USD).....	24
<b>Figure I.11:</b> Circuit de refroidissement.....	25

## Chapitre II : Principes et règles de conception d'un réseau anti-incendie

<b>Figure II.1:</b> Types de jet des buses.....	30
<b>Figure II.2:</b> La courbe de pompe selon la NFPA 20 .....	34
<b>Figure II.3:</b> Courbe hauteur-débit ( $H, Q_v$ ).....	35
<b>Figure II.4:</b> Courbe Puissance-débit ( $P_a, Q_v$ ).....	35
<b>Figure II.5:</b> Courbe rendement-débit ( $\eta, Q_v$ ).....	36
<b>Figure II.6:</b> Courbe NPSH-débit ( $NPSH, Q_v$ ) .....	36
<b>Figure II.7:</b> Courbe caractéristique de la pompe centrifuge .....	37
<b>Figure II.8:</b> Courbe caractéristique du réseau .....	41
<b>Figure II.9:</b> Exemple de détermination du NPSH requis .....	42
<b>Figure II.10:</b> La Détermination du point de fonctionnement d'une pompe .....	43
<b>Figure II.11:</b> Les types d'écoulement .....	45
<b>Figure II.12:</b> Types de perte de charge .....	47
<b>Figure II.13:</b> Types des réseaux hydrauliques .....	50
<b>Figure II.14:</b> Exemple de l'application de Hardy-cross.....	51
<b>Figure II.15:</b> Etapes de dimensionnement d'une installation fixe de lutte contre l'incendie....	57



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

<b>Figure III.1:</b> Soupape de décharge de pompe anti-incendie.....	93
--	----

### **Chapitre IV : Automatisation et analyse fonctionnelle du système anti-incendie**

<b>Figure IV.1:</b> Architecture d'un système de détection F&G.....	95
<b>Figure IV.2:</b> les limites inférieures et supérieures d'explosion.....	95
<b>Figure IV.3:</b> Détecteur de chaleur linéaire de type câble thermosensible.....	96
<b>Figure IV.4:</b> chaîne des fonctions techniques d'un système automatisé.....	99
<b>Figure IV.5:</b> Pupitre d'un système automatisé.....	100
<b>Figure IV.6:</b> Partie commande d'un système automatisé.....	100
<b>Figure IV.7:</b> Partie opérative d'un système automatisé.....	100
<b>Figure IV.8:</b> Les sous-ensembles de la partie opérative.....	101
<b>Figure IV.9:</b> Cycle de fonctionnement d'un API.....	101

# **LISTE DES TABLEUX**

# Liste des tableaux :

## Chapitre I : Description de l'entreprise et du projet étudié

<b>Tableau I.1:</b> Caractéristiques des Oléoducs de RTC .....	6
<b>Tableau I.2:</b> Caractéristiques des gazoducs de RTC.....	6
<b>Tableau I.3:</b> Caractéristiques des réservoirs de stockage au TMB .....	17
<b>Tableau I.4:</b> Caractéristiques dimensionnelles des différents bacs de stockage de la TMB....	18
<b>Tableau I.5 :</b> les nouvelles normes et réglementations à respecter .....	25

## Chapitre II : Principes et règles de conception d'un réseau anti-incendie

<b>Tableau II.1:</b> Données des tuyaux A13 du réseau d'eau classe.....	28
<b>Tableau II.2:</b> Données des tuyaux A30 du réseau pré mélange.....	29
<b>Tableau II.3:</b> vitesse maximale admissible d'après les services .....	29
<b>Tableau II.4:</b> Nombre de déversoir à installer en fonction du diamètre du bac.....	31
<b>Tableau II.5:</b> Volume requis de la réserve d'eau .....	31
<b>Tableau II.6:</b> coefficient de rugosité(C).....	46
<b>Tableau II.7:</b> Les effets du rayonnement thermique .....	55
<b>Tableau II.8:</b> Les feus analysés.....	56

## Chapitre III : Dimensionnement du réseau anti-incendie

<b>Tableau III.1:</b> Base de calcul selon les normes NFPA .....	59
<b>Tableau III.2:</b> Scénarios de feu identifiés au TMB .....	59
<b>Tableau III.3:</b> Le choix du nombre de tuyaux selon la NFPA 11.....	65
<b>Tableau III.4:</b> Calcul du besoin d'eau pour le premier scénario de feu .....	66
<b>Tableau III.5:</b> Calcul du besoin d'eau pour le deuxième scénario de feu .....	68
<b>Tableau III.6:</b> Calcul du besoin d'eau pour le troisième scénario de feu .....	69
<b>Tableau III.7:</b> résultats de calculs des paramètres pour le cas (B) et (C) .....	69
<b>Tableau III.8:</b> Calcul du besoin d'eau pour le quatrième scénario de feu.....	71
<b>Tableau III.9:</b> Les caractéristiques de la réserve d'eau incendie.....	73
<b>Tableau III.10:</b> Les capacités des USD .....	75
<b>Tableau III.11:</b> Les caractéristiques géométriques des Tronçons .....	77
<b>Tableau III.12:</b> Répartition arbitraire des débits initiaux du réseau TMS.....	78
<b>Tableau III.13:</b> Ajustement de la vitesse après le réglage du diamètre des tronçons.....	80
<b>Tableau III.14:</b> Les longueurs équivalentes selon la norme NFPA 15.....	84

<b>Tableau III.15:</b> Longueur équivalente totale des singularités (fittings) .....	85
<b>Tableau III.16:</b> Les longueurs équivalentes selon la norme NFPA 15.....	85
<b>Tableau III.17:</b> Longueur équivalente totale des singularités (fittings) .....	86
<b>Tableau III.18:</b> Longueur équivalente totale des singularités (fittings) .....	86
<b>Tableau III.19:</b> Longueur équivalente totale des singularités (fittings) .....	87
<b>Tableau III.20:</b> Longueur équivalente totale des singularités (fittings) .....	88
<b>Tableau III.21:</b> Longueur équivalente totale des singularités (fittings) .....	89
<b>Tableau III.22:</b> Les caractéristiques des moteurs électriques des pompes .....	90
<b>Tableau III.23:</b> Caractéristiques des pompes principales .....	91
<b>Tableau III.24:</b> Caractéristiques des pompes jockey .....	91
<b>Tableau III.25:</b> Caractéristiques de la motopompe.....	91

#### **Chapitre IV : Automatisation et analyse fonctionnelle du système anti-incendie**

<b>Tableau IV.1:</b> Les entrées du système.....	113
<b>Tableau IV.2:</b> Les sorties du système.....	114

# **SOMMAIRE**

# Sommaire

Liste des abréviations et acronymes	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1

## **Chapitre I : Présentation de l'entreprise et du projet étudié**

I.1. Introduction.....	3
I.2. Introduction à la norme NFPA et à la norme API.....	3
I.2.1. Normes NFPA.....	3
I.2.2. Normes API.....	4
I.3. Présentation de l'entreprise.....	4
I.3.1. Historique.....	5
I.3.2. Activité de transport par canalisation (RTC).....	5
I.3.2.1. SONATRACH RTC-Bejaia.....	6
I.3.2.4. Structure de la RTC-Bejaia.....	7
I.3.2.5. Situation géographique de la DRGB.....	7
I.3.2.6. Terminal Marin de Bejaia (TMB).....	7
I.3.2.6.1. Dépôt Nord (Terminal marin nord (TMN)).....	8
I.3.2.6.2. Dépôt sud (Terminal marin sud (TMS)).....	10
I.3.2.6.3. Réexpédition des produits pétroliers.....	10
I.4. Risques présentés par les produits pétroliers.....	11
I.4.1. Risques physiologiques.....	11
I.4.1.1. Toxicité.....	11
I.4.1.2. Asphyxie.....	11
I.4.2. Risques de pollution.....	11
I.4.2.1. Pollution du sol.....	11
I.4.2.2. Pollution de l'air.....	11

I.4.2.3. Pollution de l'eau .....	12
I.4.3. Risque d'incendie .....	12
I.4.3.1. Explosion.....	12
I.5. Scénarios d'incendie dans les centres de stockage des liquides inflammables....	12
I.5.1. Phénomène Boil-over.....	12
I.5.2. Phénomène de feu de nappe .....	13
I.6. Présentation du projet (Les éventuelles voies à explorer) .....	14
I.7. Risque d'incendie lié au stockage de pétrole.....	14
I.7.1. Nature Inflammable du Pétrole .....	15
I.7.2. Stockage des produits pétroliers.....	16
I.7.2.1. Bac à toit flottant .....	17
I.7.2.2. Bac à toit fixe.....	18
I.7.3. Hydrocarbures stockés au TMB.....	18
I.7.4. Causes directes des feux de bac .....	18
I.7.5. Protection des bacs de stockage .....	19
I.7.5.1. Système fixe.....	19
I.7.5.2. Système semi-fixe .....	19
I.7.5.3. Types de sorties de décharge de mousse .....	19
I.8. Description de système de lutte contre l'incendie .....	20
I.8.1. Différents systèmes d'extinction d'incendie à la DRGB .....	21
I.8.1.1. Extinction sprinkler .....	21
I.8.1.2. Agent extincteur FM 200.....	21
I.8.1.3. Extincteur au halon.....	21
I.8.1.4. Extincteurs à mousse expansive .....	22
I.9. Protection active .....	22
I.9.1. Protection de l'exposition (refroidissement) .....	22
I.9.2. Contrôle de la combustion.....	22

I.9.3. Extinction de l'incendie.....	22
I.10. Réseau d'eau anti-incendie.....	23
I.10.1. Système de stockage.....	23
I.10.2. Station de pompage.....	23
I.10.3. Réseau de distribution (eau/mousse).....	23
I.11. Normes et réglementations à respecter.....	25
I.12. Scénarios de référence pour notre étude.....	25
I.13. Démarche à suivre.....	26
I.14. Conclusion.....	27

## **Chapitre II : Principes et règles de conception d'un réseau anti-incendie**

II.1. Introduction.....	28
II.2. Critères de conception des parties constituant le réseau anti-incendie.....	28
II.2.1. Réseau de tuyauterie.....	28
II.2.1.1. Vitesse maximale d'écoulement.....	29
II.2.2. Vannes et clapet anti-retour.....	29
II.2.3. Buses (diffuseurs).....	30
II.2.4. Déversoirs.....	30
II.2.5. Réserve d'eau.....	31
II.2.6. Réserve de carburant diesel.....	31
II.2.7. Refroidissement par eau.....	31
II.2.8. Extinction par mousse.....	31
II.2.9. Stockage d'émulseur.....	32
II.2.10. Pompe anti-incendie.....	32
II.2.10.1. Pompes principales.....	33
II.2.10.2. Pompe de maintien de pression de type JOCKEY.....	34
II.2.11. Caractéristiques des pompes anti-incendie.....	34



II.2.11.1. Débit de refoulement ( $Q_v$ ).....	34
II.2.11.2. Courbes caractéristiques d'une pompe.....	34
II.2.11.3. Puissance absorbée Pa au niveau de l'arbre de la pompe .....	35
II.2.11.4. Caractéristique du rendement $\eta$ à vitesse constante.....	37
II.2.11.5. Vitesse de rotation (N) et la vitesse spécifique (Ns) .....	37
III.2.11.5.1. Vitesse de rotation (N).....	38
II.2.11.5.2. Vitesse spécifique (Ns).....	38
II.2.11.6. Caractéristiques de l'installation .....	38
II.2.11.6.1. Hauteur totale Ha de l'installation.....	38
II.2.11.6.2. Courbe caractéristique du réseau.....	39
II.2.11.6.3. NPSH <sub>disp</sub> d'une pompe fonctionnant en aspiration.....	40
II.2.11.6.4. Valeur NPSH requis de la pompe (NPSHr) .....	40
II.2.11.6.5. Point de fonctionnement.....	41
II.2.11.8. Motorisation .....	42
II.3. Concepts d'hydraulique appliqués aux systèmes de lutte contre-incendie .....	42
II.3.1. Généralités .....	42
II.3.2. Vitesse d'écoulement.....	43
II.3.3. Régime d'écoulement .....	43
III.3.4. Nombre de Reynold .....	43
II.3.5. Viscosité .....	44
II.3.6. Coefficient de rugosité.....	44
II.3.7. Equation de Bernoulli .....	45
II.3.8. Perte de charge .....	45
II.3.9. Equation expérimentale de Hazen-Williams .....	47
II.3.10. Type des réseaux hydrauliques.....	48
II.3.11. Analyse du réseau.....	49
II.3.11.1. Méthode de Hardy-Cross .....	49

II.3.11.2. Principe de Hardy-Cross .....	49
II.3.11.3. Correction du débit dans une maille après une itération .....	51
II.3.11.4. Etapes de la méthode Hardy-Cross .....	52
II.4. Etude du rayonnement thermique .....	53
II.4.1. Feu de Joint Annulaire des Bacs.....	54
II.5. Processus global du dimensionnement du réseau anti-incendie.....	55
II.5.1. Logigramme de dimensionnement.....	55
II.5.2. Analyse Préliminaire des Risques (APR) et Etude De Dangers (EDD).....	55
II.6. Conclusion.....	56

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

III.1. Introduction.....	58
III.2. Définitions mots techniques utilisés .....	58
III.2.1. Zone de Feu.....	58
III.2.2. Zone ou équipement voisin au feu.....	58
III.2.3. Système d’extinction et de refroidissement.....	58
III.3. Paramètres exigés par les normes NFPA .....	58
III.4. Différents scénarios du feu identifiés.....	59
III.5. Analyse de la consommation d'eau .....	60
III.6. Processus de calcul du besoin en eau et en mousse .....	61
III.6.1. Méthode de détermination des débits requis pour l’extinction de feu.....	61
III.6.2. Méthode de détermination de volume de mousse requis par l’unité de stockage et de dosage (USD).....	62
III.6.3. Détermination des débits requis pour le refroidissement du bac en feu .....	63
III.6.4. Détermination des débits requis pour le refroidissement des bacs avoisinants .....	63
III.6.5. Détermination du débit total d’eau pour le refroidissement .....	64
III.6.6. Détermination du débit total d’eau .....	64
III.6.7. Détermination du volume d’eau requis .....	64

III.7. Débit de marge de sécurité.....	64
III.8. Calcul du besoin d'eau .....	65
III.8.1.Cas -A- : scénario de feu de joint annulaire du toit flottant du bac 4F5 du TMN ..	65
III.8.2.Cas -B- : scénario de feu du toit fixe du bac 4Y1 du TMN.....	68
III.8.3.Cas -C- : scénario de feu du joint annulaire du bac (N14) du TMS .....	68
III.8.4.Cas -D- : scénario des pompes anti-incendie .....	70
III.9. Analyse des calculs du besoin d'eau.....	71
III.10. Réserve d'eau anti-incendie .....	73
III.10.1. Recommandations .....	74
III.11. Système d'appoint en eau de mer .....	74
III.12. Réserve stratégique d'émulseur .....	74
III.13. Nourrices.....	75
III.14. Répartition des débits et équilibrage du réseau.....	76
III.14.1.Calcul hydraulique du réseau de distribution .....	77
III.14.2.Analyse des résultats obtenus.....	78
III.14.3.Analyse des résultats de la première itération .....	79
III.14.4.Analyse des résultats de la deuxième et troisième itération .....	79
III.14.5.Interprétation des résultats.....	81
III.15. Calcul des pertes de charge.....	81
III.16. Calcul de la hauteur manométrique total $H_A$ du réseau.....	82
III.17. Calcul de la NPSH disponible des pompes (hauteur d'aspiration positive nette).....	82
III.17.1.Calcul du NPSH <sub>a</sub> des pompes principales à 100% du débit nominal .....	83
III.17.2.Calcul du NPSH <sub>a</sub> des pompes principales à 150% du débit nominal .....	86
III.17.3.Calcul du NPSH <sub>a</sub> de la motopompe à 100% du débit nominal.....	87
III.17.4.Calcul du NPSH <sub>a</sub> de la motopompe à 150% du débit nominal.....	88
III.17.5 Analyse des calculs obtenus .....	88

III.18. Choix des pompes .....	89
III.18.1.1 Station de pompage .....	89
III.18.1.2. Motorisation .....	90
III.18.1.3. Moteur diesel de la motopompe .....	90
III.18.2. Caractéristiques requises pour l’installation .....	90
III.18.3. Sélection des pompes .....	91
III.18.4. Soupape de décharge .....	92
III.19. Conclusion .....	92

## **Chapitre IV : Automatisation et analyse fonctionnelle du système anti-incendie**

IV.1. Introduction.....	94
IV.2. Description du système de détection et d’extinction de l’installation du Terminal Marin de Bejaia (TMB).....	94
IV.2.1. Système de détection (Feu et Gaz) (F&G).....	94
VI.2.2. Centrale d’alarme AFP/400 .....	97
IV.2.3. Aperçu de fonctionnement du système de détection et d’extinction du feu.....	98
IV.3. Automatisation.....	99
IV.3.1. Système automatisé.....	99
IV.3.2. Architecture d’un système automatisé .....	99
IV.3.3. Automate programmable industriel (API) .....	101
IV.4. Grafcet .....	101
IV.4.1. Conception d’un grafcet.....	101
IV.4.2. Règles d’évolution .....	103
IV.4.3. Niveaux de grafcet .....	104
IV.4.4. Structure de base .....	104
IV.4.5. Cahier des charges .....	107
IV.4.6. Elaboration des différents grafcets.....	111
IV.5. Conclusion.....	115

Conclusion générale ..... 116

# **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction générale

La sécurité incendie revêt une importance capitale dans toutes les industries où les risques d'incendie sont inhérents aux opérations, visant à prévenir les pertes matérielles, protéger la vie humaine et préserver l'environnement. La Société nationale SONATRACH, pilier du secteur énergétique en Algérie, confrontée à des défis uniques en matière de sécurité incendie, notamment dans ses installations maritimes telles que le terminal marin de Bejaia, nécessite une approche proactive et stratégique pour garantir la sûreté de ses opérations [3].

Ce travail examine le réseau anti-incendie du terminal marin de Bejaia (TMB) et propose des solutions novatrices conformes aux normes internationales pour renforcer la sécurité et l'efficacité de ce système. Puisque le réseau anti-incendie existant ne répond plus aux nouvelles normes internationales, nous devons le remplacer complètement, tant au niveau de la conception que du dimensionnement. Le nouveau réseau devra être conforme à ces normes tout en assurant une efficacité optimale en cas d'urgence sur le site. En s'appuyant sur ces normes de référence telles que celles de la NFPA et de l'API, l'objectif est de concevoir de nouvelles améliorations appropriées et de fournir des recommandations pour une mise en œuvre efficace.

Ce mémoire est structuré en plusieurs chapitres distincts mais interconnectés, offrant une vue d'ensemble complète et détaillée du sujet.

Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'organisme SONATRACH (RTC Bejaia). Nous décrivons le terminal marin de Bejaia, son rôle crucial dans le stockage et la distribution des produits pétroliers, ainsi que les objectifs spécifiques du projet et les enjeux liés à la sécurité incendie. Une analyse des risques associés au stockage des produits inflammables sera réalisée, ainsi qu'une description du réseau anti-incendie existant au TMB, y compris les différents systèmes d'extinction et les normes suivies.

Dans le deuxième chapitre, nous décrivons les règles et directives des normes NFPA pour la conception du nouveau réseau anti-incendie, en détaillant les paramètres critiques tels que le débit de refoulement, la Hauteur Manométrique Totale (HMT) et le Net Positive Suction Head (NPSH) des pompes. Nous aborderons également les principes généraux des calculs hydrauliques nécessaires pour équilibrer le réseau d'eau anti-incendie, indispensables pour garantir une distribution optimale de l'eau.

Le troisième chapitre débute par le calcul des besoins en eau pour les terminaux nord et sud, en tenant compte des exigences en matière d'extinction et de refroidissement. Nous procéderons au dimensionnement du nouveau réservoir de stockage d'eau anti-incendie pour répondre adéquatement aux besoins des deux terminaux. Une analyse détaillée de la répartition arbitraire des débits initiaux pour le terminal maritime sud (TMS) sera effectuée, suivie d'une optimisation du réseau visant à l'équilibrer à l'aide de la méthode itérative de Hardy Cross, implémentée sur Matlab. Nous réaliserons également les calculs de la HMT et du NPSH disponibles des pompes pour sélectionner celles qui répondent le mieux aux exigences de l'installation.

Le dernier chapitre traite des systèmes de détection et de pompage automatisé, en présentant les systèmes de détection Fire & Gas (F&G) et les centrales d'alarme intelligente AFP/400. Nous détaillons les systèmes automatisés, Suivant un cahier des charges élaboré en détaille, On accompagne les Graficets associés à chaque groupe de pompes.

Cette approche servira de point d'ancrage pour évaluer le chemin parcouru tout au long de notre étude, tout en jetant les bases pour de futures recherches et initiatives visant à renforcer la sécurité incendie et à promouvoir les meilleures pratiques dans le domaine industriel.

Nous achèverons ce mémoire par une conclusion, qui aspire à répondre à la problématique initiale. Elle procédera à une synthèse des éléments saillants du document tout en proposant une analyse réfléchie des enjeux. Cette synthèse mettra en relief les découvertes majeures ainsi que les recommandations pratiques formulées pour renforcer la sécurité et l'efficacité des installations, en prenant en compte les défis rencontrés et les solutions envisagées. De surcroît, elle évaluera l'impact potentiel de ces recommandations sur ses opérations, incluant des aspects tels que la faisabilité, la viabilité économique et la conformité réglementaire. Enfin, cette conclusion jettera les bases solides tout en proposant des perspectives concrètes pour les futures recherches et initiatives visant à encourager les meilleures pratiques dans le domaine industriel, contribuant ainsi à la pérennité de la position énergétique de SONATRACH sur les marchés nationaux et internationaux.



## CHAPITRE I

Présentation de la société  
SONATRACH et du projet  
étudié

**I.1. Introduction**

La sécurité incendie est une priorité essentielle pour toutes les constructions, qu'elles soient résidentielles, commerciales ou industrielles, nécessitant des systèmes anti-incendie efficaces et conformes aux normes réglementaires. Ce chapitre examine SONATRACH, une entreprise majeure du secteur pétrolier, en se concentrant sur la sécurité incendie de ses installations, notamment au terminal de Bejaïa. Il aborde les risques d'incendie liés au pétrole, les spécificités du stockage, les conséquences potentielles, et décrit le réseau anti-incendie existant chez SONATRACH, en soulignant les défis et les normes de sécurité à respecter.

**I.2. Introduction à la norme NFPA et à la norme API**

Les normes et réglementations concernant les réseaux anti-incendie sont conçues pour établir des exigences minimales en ce qui concerne la conception, l'installation, la maintenance et l'inspection de ces systèmes. Dans cette étude sur les normes et réglementations de sécurité pour les réseaux anti-incendie, nous explorerons notamment les directives de la National Fire Protection Association (NFPA) ainsi que celles de l'American Petroleum Institute (API), deux références majeures dans ce domaine.

**I.2.1. Les Normes NFPA**

NFPA signifie National Fire Protection Association (Association Nationale de Protection contre les Incendies) est une organisation mondiale fondée en 1896 en Amérique (USA), qui vise à diffuser des informations et des connaissances pour protéger les personnes, les biens matériels et l'environnement contre les incendies. Pour mener à bien sa tâche, elle a élaboré une série de codes et de normes connus sous le nom de normes NFPA, qui sont une référence internationale en matière de protection contre les incendies [1]. Les normes NFPA couvrent un large éventail de sujets liés à la protection contre les incendies, les explosions, la sécurité chimique et électrique. Voici quelques-unes des principales normes NFPA applicables aux entreprises manufacturières [2], tels que :

NFPA 13 : Norme pour l'installation de gicleurs, Cette norme traite des approches de conception et d'installation des systèmes de gicleurs automatiques pour prévenir efficacement les blessures et pertes matérielles [3].

NFPA 14 : Norme pour les canalisations d'incendie, Cette norme définit les exigences pour la conception, l'installation et l'entretien des systèmes de canalisation d'incendie [3].

NFPA 20 : Norme pour les pompes incendie, Cette norme concerne l'installation de pompes fixes pour la protection contre les incendies, établissant des exigences pour le choix et l'installation de pompes alimentant en liquide une protection incendie privée [4].

NFPA 170 : Norme pour les pictogrammes de sécurité (raccord pompier), Cette norme définit les exigences pour les pictogrammes de sécurité utilisés dans les systèmes d'extinction et les systèmes d'alarme anti-incendie [4].

### **I.2.2. Les Normes API**

La norme API (American Petroleum Institute) est une organisation professionnelle américaine qui élabore des normes techniques pour l'industrie pétrolière et gazière. Parmi ses nombreuses normes, l'API propose des directives spécifiques pour la protection contre les incendies dans les installations pétrolières, gazières et chimiques. Ces normes sont essentielles pour garantir la sécurité des personnes, des équipements et de l'environnement dans des milieux potentiellement dangereux. L'importance de la norme API pour la protection des réseaux anti-incendie réside dans sa capacité à fournir des lignes directrices détaillées pour concevoir, installer, inspecter et entretenir des systèmes de protection contre les incendies robustes et efficaces. Ces systèmes sont vitaux dans les installations industrielles où les risques d'incendie sont élevés en raison de la présence de matières inflammables et de processus critiques.

Les normes API abordent divers aspects de la protection contre les incendies, y compris la conception des systèmes de suppression d'incendie, tels que les systèmes de sprinklers, les systèmes de détection de gaz et les systèmes de déluge. Elles définissent également les exigences pour les équipements de lutte contre l'incendie, tels que les extincteurs, les pompes d'incendie et les systèmes de récupération d'eau.

### **I.3. Présentation de l'entreprise**

Depuis de nombreuses années, le pétrole occupe une place prépondérante en tant que source d'énergie. En tant que matière première cruciale, il joue un rôle essentiel et requiert une attention particulière en raison de son omniprésence dans tous les secteurs de la société. Son importance actuelle et future demeure au centre des préoccupations [6].

### I.3.1. Historique

SONATRACH, entreprise publique algérienne, est un acteur majeur à l'échelle internationale dans le domaine des hydrocarbures. Fondée le 31 décembre 1963, elle couvre diverses activités telles que l'exploration, la production, le transport par canalisations, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle se classe au 4ème rang mondial en tant qu'exportateur de gaz naturel liquéfié (GNL), au 3ème rang en tant qu'exportateur mondial de gaz de pétrole liquéfié (GPL) et au 5ème rang en tant qu'exportateur de gaz naturel. En adoptant une stratégie de diversification, elle étend ses activités à la production d'électricité, aux énergies nouvelles et renouvelables, au dessalement de l'eau de mer, ainsi qu'à la recherche et à l'exploitation minière. Dans le cadre de sa stratégie d'internationalisation, SONATRACH est présente en Algérie ainsi que dans plusieurs régions du monde, notamment en Afrique (Mali, Niger, Libye, Égypte), en Europe (Espagne, Italie, Portugal, Royaume-Uni), en Amérique latine (Pérou) et aux États-Unis [6].

### I.3.2. Activité de transport par canalisation (RTC)

Le SONATRACH, par le biais de son activité Transport par Canalisation (RTC), dispose de 22 Systèmes de Transport par Canalisation (STC), dont 21 sont opérationnels et 01 en cours de réalisation (GR5). Ces systèmes comprennent 82 stations de pompage et de compression, dont 50 sont dédiées aux hydrocarbures liquides. De plus, elle possède plusieurs postes de chargement à quai pour le pétrole brut, le condensat, le GNL et les produits pétroliers dans les ports pétroliers d'Arzew, de Bejaia et de Skikda. Ces ports sont équipés de 5 bouées de chargement en haute mer, permettant l'accostage de tankers d'une capacité allant de 80 000 à 320 000 tonnes métriques [6].

Le réseau de transport par canalisation comprend également 16 gazoducs, avec une capacité de conception de 178 milliards de mètres cubes par an, dont 50 milliards de mètres cubes sont dédiés à l'exportation [6]. Depuis la mise en service des 03 gazoducs transcontinentaux :

- Enrico Mattei reliant l'Algérie à l'Italie via la Tunisie.
- Pedro Duran Farrel, reliant l'Algérie à l'Espagne via le Maroc.
- HassiR'Mel - Béni-Saf , reliant l'Algérie à l'Espagne via le Medgaz.

### I.3.2.1. SONATRACH RTC-Bejaia

Après la nationalisation du secteur des hydrocarbures en 1971, SONATRACH a entrepris la construction de nouveaux pipelines, ce qui a conduit à la création des Directions Régionales. La Société Pétrolière de Gérance (SOPEG) est devenue par la suite la Direction Régionale de Bejaia (DRGB), puis a évolué pour devenir la Région Transport Centre (RTC). La Région Transport Centre de Bejaia est responsable de l'exploitation de deux pipelines et d'un gazoduc [6].

### II.3.2.2. Oléoducs

Ce pipeline, construit en 1959 par la Société Pétrolière de Gérance (SOPEG), est le premier pipeline installé en Algérie. Il transporte du pétrole brut vers le port de Bejaïa en passant par plusieurs stations intermédiaires [6], comme l'illustre le tableau suivant :

	24" et 22" OB1 (Brut)	20" OG1 (Brut)
Départ	de Haoud-El-Hamra (Hassi-Messaoud)	Béni-Mansour
Arrivée à	Bejaïa	Sidi-Arsine
Diamètre (pouce)	24 sur 533 Km et 22 sur 135 Km	20
Longueur (Km)	668	145
Nombre de Stations	7	1
Capacité (MTA)	12,4	4,5
Mise en service	1959	2005

**Tableau I.1** : Caractéristiques des Oléoducs de RTC [6]

### I.3.2.3. Gazoduc

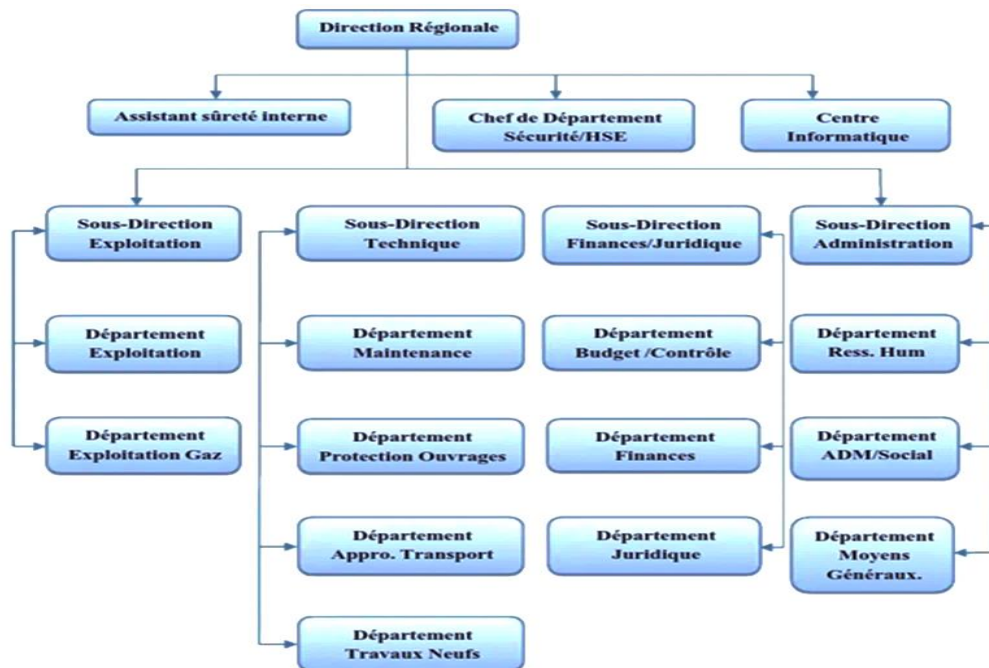
Depuis 1981, ce gazoduc approvisionne en gaz naturel toutes les villes et zones industrielles du centre du pays, avec une capacité annuelle de 11 milliards m<sup>3</sup>. Il démarre depuis le champ de HassiR'mel pour atteindre le Terminal de Bordj Menaiel [6].

	42" GG1 (Gaz)
Départ de	Hassi-R'mel
Arrivée à	Issers
Diamètre (pouce)	42
Longueur (Km)	437
Nombre de Stations	1
Capacité (109 Sm <sup>3</sup> /an)	11
Mise en service (année)	1981

**Tableau I.2** : Caractéristiques des gazoducs de RTC [6]

### I.3.2.4. Structure de la RTC-Bejaia

La région Transport Centre de Bejaia est constituée de « 04 » sous-directions, chacune divisée en plusieurs départements. L'organigramme suivant présente la structure hiérarchique fonctionnelle de la région Transport Centre de Bejaia [6].



**Figure I.1:** la structure hiérarchique fonctionnelle de la (RTC) de Bejaia [6]

Dans l'industrie pétrolière, les parcs de stockage comprennent :

- ✓ Les bacs de stockage, qui sont des réservoirs utilisés pour divers produits pétroliers. Leur forme est celle d'une grande cuve fermée, avec un toit fixe ou flottant.
- ✓ Les cuves ouvertes, qui sont des réservoirs destinés au stockage de l'eau d'incendie et ne conviennent pas pour le stockage des produits pétroliers [6].

### I.3.2.5. Situation géographique de la DRGB

La Direction Régionale de Bejaia (DRGB) de SONATRACH est située dans la zone industrielle à 02 kilomètres sud-ouest de la ville de Bejaia Elle s'étend sur une superficie d'environ 596601 m<sup>2</sup>. Son effectif est d'environ 480 travailleurs répartis sur 11 sites géographiques, la DRGB est composée d'une zone de stockage et d'un port pétrolier situés à environ 5 kilomètres au nord-est de l'entreprise et du parc de stockage [3].

### I.3.2.6. Le terminal Marin de Bejaia (TMB)

Le Terminal Marin de Bejaia (TMB) représente l'ultime étape dans la chaîne de transport des hydrocarbures liquides avant leur expédition, Mis en service en 1959 par la société française du pétrole de gérances (SOPEG). Le parc de stockage du Terminal Marin de Bejaia est constitué des deux dépôts suivants [3], comme le montre la figure suivante :



Figure I.2 : TMB vue du ciel [3]

#### I.3.2.6.1. Le dépôt Nord (Terminal marin nord (TMN))

Il est dédié essentiellement au stockage du brut et il se compose principalement de :

- Douze (12) bacs (à toits flottants) de capacité de 35000 m<sup>3</sup> chacun désignés par l'appellation 4E1, 4E2, 4B12, 4B11, 4D3, 4D10, 4C4, 4C9, 4A8, 4A7, 4F5, 4F6 [7]. Chaque bac contient une vanne, deux agitateurs, un jaugeur (transmetteur de niveau et de température) et un système anti-incendie au halon pour étouffer le feu en cas d'incendie [6].



Figure I.3 : Bac de stockage du pétrole [8]

➤ Un bac atmosphérique de détente de 2900 m<sup>3</sup> (à toit fixe) de forme conique désigné par l'appellation 4Y1, Ce dernier est destiné à recevoir les produits issus de la gare racleur en cas de décharge des soupapes mais sert également à récupérer les purges des collecteurs et manifolds (bac tampon) [6] [7].

➤ Une gare racleur arrivée/départ

Chaque station de pompage est équipée à la fois d'une gare racleur d'arrivée et d'une gare racleur de départ. Le racleur est un outil inséré à l'intérieur de l'oléoduc pour nettoyer ses parois intérieures. La gare racleur représente la destination finale du racleur [8].



**Figure I.4 :** Gare racleur [8]

➤ Un manifold arrivée/départ et une pomperie de chargement

Il s'agit d'un système comprenant des canalisations, des vannes et des pompes de chargement, utilisé pour recevoir les hydrocarbures en provenance du Sahara. Il comprend sept « 7 » pompes, chacune avec six « 6 » vannes, chacune alimentant deux réservoirs ainsi que d'autres vannes. Le manifold est conçu pour assurer tous les mouvements du produit, notamment la réception via un pipeline, le remplissage et la vidange sélective des groupes de réservoirs, ainsi que le transfert d'un groupe de réservoirs à un autre [8].

- Deux bourbiers de sloop (boues de pétrole) récupéré lors de la rénovation des bacs.
- Une station de collecte et de traitement des eaux de procédé (projetée).
- Une station de pompage.





**Figure I.5** : Un manifold arrivée/départ et une pomperie de chargement [8]

### I.3.2.6.2. Le dépôt sud (Terminal marin sud (TMS))

Le terminal sud se compose de :

- Bac de stockage

Le TMS dispose de quatre bacs de stockage (R13, N14, M20, P21), chacun ayant une capacité de 50 000 m<sup>3</sup>, tous reliés à un manifold équipé d'un jeu de vannes motorisées. De plus, il est équipé de deux motopompes de type GUINARD, datant de 1956, pour assurer le pompage et la circulation des produits entre les réservoirs et les autres installations connexes [8].

- Salle électrique

La salle est subdivisée en trois sections : haute tension, moyenne tension et basse tension. Dans la section haute tension, les deux entrées de SONALGAS sont reliées à deux disjoncteurs principaux redondants. Il y a également un disjoncteur en amont et un en aval de chaque transformateur de tension 30/5.5kV.

La section moyenne tension abrite deux transformateurs redondants de 5.5kV/380V, ainsi qu'un transformateur de 380V/380V pour isoler le neutre du secondaire. Chaque transformateur est équipé d'un disjoncteur en amont et en aval, et des disjoncteurs plus petits alimentent les moteurs et les pompes. Dans la section basse tension, on trouve des batteries rechargeables, des redresseurs de tension, des chargeurs de batterie, ainsi que des armoires renfermant les automates Allen Bradley et Siemens S7-300 et S7-400[8].

### I.3.2.6.3. Réexpédition des produits pétroliers

Les produits pétroliers sont réexpédiés :

- ✓ Vers le port de Bejaïa, via trois lignes de chargement situées dans le parc de stockage Nord de 32'' chacune, et trois lignes de chargement dans le terminal marin Sud de 32'' chacune qui se connectent aux 3 lignes du Terminal Nord à l'intérieur de ce dernier. Les produits sont expédiés grâce à 7 pompes au Nord (quatre de 2 500 m<sup>3</sup>/h, deux de 2 200 m<sup>3</sup>/h et une de 1 800 m<sup>3</sup>/h) et 4 pompes au Sud (deux de 4 000 m<sup>3</sup>/h, une de 1800 m<sup>3</sup>/h et une de 2500 m<sup>3</sup>/h) [3].
- ✓ Vers le chargement en mer, via trois pompes dont une de secours, de débit unitaire pouvant varier de 2 000 m<sup>3</sup>/h à 5 000 m<sup>3</sup>/h. Les pompes qui servent à réexpédier le pétrole servent aussi à la circulation des fluides sur le site du terminal marin [3].

#### **I.4. Risques présentés par les produits pétroliers**

Les produits pétroliers présentent divers risques en raison de leurs caractéristiques inflammables et volatiles, tels que :

##### **I.4.1. Risques physiologiques**

Certains produits pétroliers peuvent entraîner des troubles physiologiques par contact direct ou inhalation. Les vapeurs d'hydrocarbures, à l'exception des vapeurs aromatiques, ne sont généralement pas toxiques. Cependant, leur concentration dans l'air peut conduire à l'asphyxie ou à l'anesthésie en réduisant la disponibilité d'oxygène [9] [10].

##### **I.4.1.1. Toxicité**

Certains produits pétroliers peuvent causer des désordres physiologiques par contact direct ou inhalation. Cela inclut l'intoxication au benzène, appelée benzolisme, ainsi que l'intoxication au plomb, connue sous le nom de saturnisme. Des cas de cancer peuvent également résulter d'un contact répété avec la peau sur une longue période [9] [10].

##### **I.4.1.2. Asphyxie**

Une concentration élevée de vapeurs d'hydrocarbures peut réduire la proportion d'oxygène dans l'air à un niveau insuffisant pour soutenir la vie, entraînant ainsi une asphyxie. Le risque de malaise survient généralement lorsque la concentration d'oxygène dans l'air descend en dessous de 17 %. Il est impératif de contrôler le niveau d'oxygène avant d'intervenir dans une zone à risque [9] [10].

## **I.4.2. Risques de pollution**

### **I.4.2.1. Pollution du sol**

La pollution du sol varie en fonction de sa composition et de son utilisation. Par exemple, une pollution accidentelle peut rendre un terrain inutilisable pour l'agriculture ou le pâturage jusqu'à ce que le polluant soit éliminé par évaporation, infiltration ou nettoyage [9].

### **I.4.2.2. Pollution de l'air**

Elle résulte de l'évaporation légère des hydrocarbures laissés ou rejetés dans l'atmosphère. Cette évaporation est plus importante lorsque la température ambiante est élevée. L'ampleur de ces risques dépend du milieu, de l'étendue de la pollution et de la nature du polluant [9].

### **I.4.2.3. Pollution de l'eau**

La pollution de l'eau peut se produire de trois manières : par un déversement direct dans un cours d'eau, par le ruissellement des eaux en contact avec les polluants, ou par l'infiltration directe des hydrocarbures ou d'une eau déjà polluée. Les deux premières causes affectent principalement les eaux de surface, tandis que l'infiltration vise davantage les nappes phréatiques. Les hydrocarbures, généralement miscibles dans l'eau, ont des effets néfastes sur la faune, la flore et rendent l'eau impropre à la consommation [9].

## **I.4.3. Risque d'incendie**

Les hydrocarbures que contient le pétrole, ne brûlent pas sous forme liquide ou solide. Cependant, lorsque le pétrole s'évapore et libère des vapeurs, ces dernières peuvent former un mélange inflammable avec l'air dans des proportions spécifiques. Si ce mélange inflammable entre en contact avec une source de chaleur, il peut s'enflammer et brûler voire s'explorer [9].

### **I.4.3.1. Une explosion**

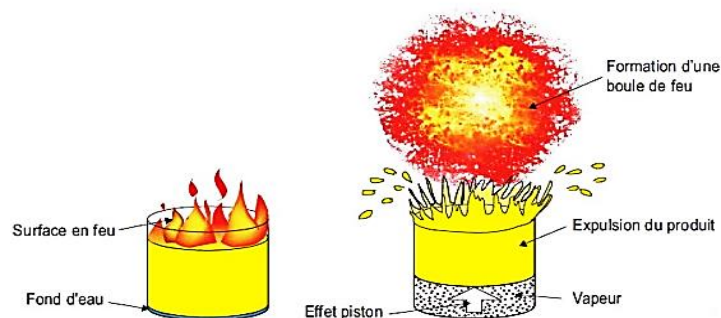
C'est une réaction de combustion soudaine et très rapide de vapeurs inflammables, libérant une grande quantité d'énergie en un court laps de temps. Elle peut entraîner un incendie. Pour qu'une explosion se produise, il faut un mélange explosif de substances inflammables en présence d'une source d'énergie suffisante pour amorcer la combustion [9].

## **I.5. Scénarios d'incendie dans les centres de stockage des liquides inflammables**

Les scénarios d'incendie dans les centres de stockage de liquides inflammables peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment la nature des liquides, les conditions environnementales et les pratiques de sécurité en place.

### I.5.1. Le Phénomène Boil-over

Le phénomène de l'explosion par vaporisation, également connue sous le nom de Boil-over, peut survenir lors de la lutte contre les incendies impliquant des Hydrocarbures. La boule de feu qui se forme est la manifestation visible de ce processus. Les accidents liés au phénomène du boil-over illustrent clairement la gravité et l'importance de ce phénomène [9]. Le boil-over se produit généralement uniquement en cas d'incendie de réservoir. Dans le cas des pétroles bruts, principalement stockés dans des réservoirs à toit flottant, il existe un risque accru de boil-over si le toit n'est pas hermétique ou s'il y a une fuite. En revanche, pour les réservoirs à toit fixe couramment utilisés pour le stockage des fiouls lourds, le toit est généralement conique. Pour déclencher un incendie de réservoir, il faut d'abord que le toit soit endommagé (par exemple, lors d'un incendie de cuvette de grande envergure entraînant une explosion du gaz du ciel du réservoir). Ainsi, le risque de boil-over est moins élevé pour ce type de réservoir [11].



**Figure I.6** : Phénomène simplifiée de BOIL-OVER [12]

### I.5.2. Phénomène de feu de nappe

Le terme "feu de nappe", également connu sous le nom de "feu de flaque", désigne un incendie provoqué par la combustion d'une couche de combustible liquide à l'air libre. Ce phénomène se concentre principalement sur la surface de la nappe en contact avec l'air [13]. Les dimensions et la forme de la nappe de combustible peuvent varier considérablement. Ainsi, on distingue généralement :

- Les feux de réservoir : où le feu reste confiné dans une enceinte déterminée par les dimensions du réservoir ;

- Les feux de cuvette (ou de rétention) : où la propagation de la nappe est limitée par une cuvette de rétention dont les dimensions sont souvent dictées par des réglementations concernant le stockage ;
- Les feux de flaque libre : qui se produisent lorsque la propagation de la nappe n'est pas contenue par des dispositifs physiques ou lorsque la cuvette de rétention n'est pas totalement remplie. Dans ce cas, la propagation de la nappe dépend principalement des caractéristiques du terrain, des conditions météorologiques et des modalités de dispersion du combustible [13].

### **I.6. Présentation du projet (Les éventuelles voies à explorer)**

En tant que gestionnaire des stocks pétroliers de Bejaïa, la DRGB a une lourde responsabilité d'assurer la sécurité de ses réserves de pétrole, principalement contre le risque d'incendie. Actuellement, le réseau anti-incendie existant s'est dégradé et ne répond plus aux normes internationales en vigueur. Ainsi, une nouvelle conception et un nouveau dimensionnement doit être assuré afin de concevoir un nouveau réseau anti incendie qui répond d'une manière efficace et rapide aux exigences des nouvelles directives des normes NFPA et API, ainsi que pour garantir une préparation adéquate face aux scénarios les plus contraignants en matière d'incendie. C'est dans ce contexte que l'entreprise nous a confié l'étude de ce projet intitulé : « Etude, dimensionnement et conception du réseau anti-incendie au terminal marin de Bejaia ».

Ce projet vise donc à remplacer intégralement, en termes de conception et de dimensionnement, le réseau anti-incendie pour répondre aux besoins actuels et futurs en matière de sécurité incendie et de gestion des urgences, Conforme aux réglementations en vigueur, notamment pour les dépôts aériens de liquides inflammables dépassant les 10 000 Tonnes. Les objectifs incluent la mise à jour des équipements de détection et d'extinction, l'amélioration de la réserve d'eau anti-incendie, et l'optimisation des stratégies de lutte contre l'incendie. Une Analyse approfondie des besoins en sécurité incendie sera menée

Pour concevoir des solutions adaptées, intégrant des technologies de pointe afin d'assurer une réponse rapide et efficace en cas d'urgence. Une brève étude sur le rayonnement thermique permettra également d'identifier les zones critiques pour minimiser les risques de propagation du feu. Un dernier point crucial à étudier sera l'automatisation du démarrage du système de pompage. Cette automatisation visera à garantir une réponse immédiate en cas d'incident,

Permettant ainsi de réduire au maximum le temps de réaction et d'assurer une extinction et un refroidissement efficace dès la détection du feu.

Cette approche proactive contribuera à protéger les infrastructures critiques contre les dommages causés par le feu et à garantir un environnement de travail sûr pour le personnel du Terminal Marin de Bejaïa.

### **I.7. Risque d'incendie lié au stockage de pétrole**

Le stockage de grandes quantités de pétrole présente un risque d'incendie en raison de la nature inflammable du pétrole. Les zones de stockage du pétrole sont exposées à divers risques, tels que l'accumulation de matériaux hautement combustibles dans les réservoirs de stockage. Les incendies dans l'industrie pétrolière peuvent avoir des conséquences graves, notamment des dommages matériels, des pertes financières et des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs [9].



**Figure I.7** : Départ d'incendie au centre stockage de pétrole [14]

#### **I.7.1. Nature Inflammable du Pétrole**

Le pétrole est le liquide émettant des vapeurs, qui peut s'enflammer momentanément en présence d'une flamme dans des conditions de température et de pression normales. Cette température minimale est désignée comme le point d'éclair [15].

➤ Le point éclair : C'est la température la plus basse à laquelle le pétrole émet assez de vapeurs pour créer un éclair en présence d'une source de chaleur Le point d'éclair du Brut en condensât est généralement inférieur à 55°C, bien qu'il puisse occasionnellement dépasser cette valeur [15].

- ❖ Point d'inflammation : C'est la température à laquelle un liquide inflammable commence à émettre suffisamment de vapeurs pour qu'une combustion, une fois enclenchée, puisse se maintenir d'elle-même pendant au moins 5S [9] [15].
- ❖ Point d'auto-inflammation : Il s'agit de la température à laquelle un produit chauffé commence à émettre des vapeurs. À cette température, le combustible s'enflamme spontanément au contact de l'air et continue de brûler [9] [15].
- ❖ Point d'ébullition : C'est la température à laquelle, sous une pression atmosphérique donnée, un liquide commence à se vaporiser dans son ensemble [9] [15].
- ❖ Tension de vapeur : C'est la pression constante, déterminée pour chaque température. Cette pression augmente rapidement avec la température. Lorsqu'elle atteint un niveau stable, l'évaporation du liquide cesse dès que la tension de vapeur est atteinte [9] [15].

### **I.7.2. Stockage des produits pétroliers**

Le stockage en grande quantité de liquides, qu'il s'agisse des divers produits utilisés dans l'industrie pétrolière, pétrochimique ou chimique, est principalement effectué dans des réservoirs métalliques à toit conique construits en plaques d'acier rivetées et le toit était souvent construit avec du bois et du papier revêtu de goudron. Les feux de char étaient courants surtout après un orage [3]. Cette expérience coûteuse a progressivement mené à l'amélioration de codes et des lignes directrices plus efficaces pour la gestion des feux de stockage. Les réservoirs à toit flottant ont été adoptés pour les produits pétroliers à bas point d'éclair, et se sont avérés être une méthode de protection les plus fiables contre les pertes dues aux incendies. Les produits moins volatiles avec des points d'éclair plus élevés continuent d'être stockés dans des réservoirs à toit conique en acier soudé [3]. Leur capacité peut varier considérablement en fonction des besoins spécifiques.

Dans le terminal de Bejaia (TMB) il existe des réservoirs d'une capacité de 50 000 et 35 000 m<sup>3</sup>. Les produits stockés sont nombreux et différents. Pour chacun d'eux existe une capacité de stockage fonctionnellement et économiquement adaptée aux caractéristiques du stock envisagé. Dans TMB La plupart de ces bacs de stockage d'hydrocarbures sont équipés de toits flottants [3], les caractéristiques des réservoirs de stockage du pétrole au TMB sont montrées dans la figure ci-dessous :

	Volume nominal (m <sup>3</sup> )	Volume utile	Produit	Hauteur (m)	Diamètre (m)	Toit	Hauteur d'exploitation minimale (m)	Hauteur d'exploitation maximale	Date de construction
Terminal nord	35000	27500	Pétrole brut	14,4	56	Flottant	2	12	1959
Terminal sud	50000	41000	Pétrole brut	14,65	68	Flottant	2	12	1959

**Tableau I.3** : Caractéristiques des réservoirs de stockage au TMB [3]

### I.7.2.1. Bac à toit flottant

Un toit flottant est un dispositif mobile en forme de disque qui repose sur la surface du liquide à l'intérieur du réservoir et qui suit les mouvements de descente et de montée du produit stocké. Pour permettre ces mouvements, il existe un espace annulaire libre entre le toit flottant et la paroi du réservoir. Cet espace est généralement fermé hermétiquement par un système d'étanchéité déformable, ce qui permet au toit de se déplacer librement à l'intérieur du réservoir sans rencontrer d'obstacle [3].



**Figure I.8** : Bac de stockage a toit flottant [3]

Dans le tableau suivant, on trouve les caractéristiques dimensionnelles des différents bacs de stockage de la TMB :



N Bac	Diamètre nominal (m)	Surface de la cuvette (m <sup>2</sup> )	Hauteur du bac (m)	Volume nominal (m <sup>3</sup> )	Type du toit	Type du joint	Hauteur d'exploitation minimale (m)	Hauteur d'exploitation maximale (m)
<b>Parc de stockage Nord : Capacité totale : 420 000 m<sup>3</sup>, capacité utile : 324 000 m<sup>3</sup>.</b>								
4Y1	16	3150	14.40	2900	Fixe	-	-	-
4F6	56	12500	14.40	35000	Flottant	Simple	2	13
4A7	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4A8	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4C9	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4D10	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4B11	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4B12	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4E1	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4F5	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4C4	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4D3	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
4E2	56	12500	14.40	35000	Flottant	"	2	13
<b>Parc de stockage Sud : Capacité totale : 200 000 m<sup>3</sup>, capacité utile : 162 000 m<sup>3</sup>.</b>								
R13	68	18000	14.65	50000	Flottant	joint liquide avec écran de protection	2	13
N14	68	18000	14.65	50000	Flottant	"	2	13
M20	68	18000	14.65	50000	Flottant	"	2	13
P21	68	18000	14.65	50000	Flottant	"	2	13

**Tableau I.4 :** Caractéristiques dimensionnelles des différents bacs de stockage de la TMB.

Chaque réservoir est entouré d'une cuvette de rétention comme c'est montré dans la figure précédente il est formé par un merlon de terre. Les flux d'hydrocarbures sont régulés par une vanne située à la base du réservoir, tandis que des vannes de purge sont utilisées pour éliminer et évacuer l'eau accumulée au fond du réservoir. La fonction principale de la cuvette de rétention est de recueillir et de contenir les produits en cas de déversement Accidentel, réduisant ainsi les risques de pollution [9].

En fonction du scénario d'accident envisagé, la cuvette de rétention peut être équipée d'autres dispositifs de sécurité tels que des détecteurs de gaz ou de liquide, ainsi que des systèmes d'arrosage à l'eau ou à la mousse [9].

#### I.7.2.2. Bac à toit fixe

Un bac de stockage de pétrole à toit fixe est une structure de stockage conçue pour contenir et sécuriser des volumes importants de pétrole brut ou de produits pétroliers, tel que le bac du TMN (4Y1), Utilisés pour stocker des produits moins volatils, Ils Peuvent avoir une forme conique ou sphérique.

### I.7.3. Les hydrocarbures stockés au TMB

Les hydrocarbures stockés dans le terminal marin de Bejaia sont principalement de deux types :

✓ Le pétrole brut : également appelé huile de pierre, est un liquide inflammable dont la couleur varie du vert au noir. Il est composé d'une grande variété d'hydrocarbures et est extrait des couches sédimentaires de l'écorce terrestre dans sa forme brute, c'est-à-dire associé à des composés oxygénés, azotés et à des métaux particuliers [9].

✓ Le condensat : qui est produit par la liquéfaction du gaz naturel à des températures extrêmement basses (environ  $-160^{\circ}\text{C}$ ), permet de réduire considérablement son volume pour faciliter le transport et le stockage. Cependant, pour des raisons de sécurité, le stockage de condensat est actuellement interrompu et remplacé par le pétrole brut [9].

### I.7.4. Causes directes des feux de bac

Les principales causes de déclenchement des feux au niveau des bacs sont les suivantes :

- Foudre : D'après les statistiques, elle est la cause principale dans la majorité des feux de bac.
- Electricité statique : due aux opérations de vidange et remplissage de bac.
- Travaux à chaud : des travaux de maintenance à proximité des bacs de stockage.
- Etincelle d'origine mécanique : un toit bloqué restant suspendu et descendant en biais.
- Erreur opératoire : due dysfonctionnement de l'instrumentation, su remplissage.
- Produits non stabilisés : fuite des hydrocarbures légers et formation des nuages gazeux [7].

Les stratégies d'intervention en cas d'incendie consistent à refroidir les équipements à proximité du feu pour restreindre sa propagation et le contenir, en limitant ainsi les effets thermiques et, ultimement, en l'éteignant [9].

### I.7.5. Protection des bacs de stockage

Une méthode pratique pour protéger les réservoirs de stockage de liquides inflammables contre l'incendie consiste à utiliser un système de protection contre l'incendie en mousse fixe ou semi-fixe. Lorsqu'ils sont conçus, installés et entretenus correctement, ces systèmes offriront de nombreuses années de service fiable. Le système de mousse peut être utilisé pour la prévention des incendies, le contrôle ou l'extinction directe de tout feu liquide inflammable ou combustible dans le réservoir [3], Pour choisir le système de mousse approprié, il est important de comprendre les types suivants :

**I.7.5.1. Le système fixe**

C'est un système complet de distribution de mousse, alimenté à partir d'une station centrale et se déclenchant via des dispositifs fixes sur le risque à protéger. Les dispositifs de dosage de la mousse sont installés en permanence [3].

**I.7.5.2. Le système semi-fixe**

C'est une configuration où le risque est équipé d'un ou plusieurs dispositifs de décharge fixes qui sont reliés à une canalisation située à une distance sécuritaire du risque, généralement à l'extérieur d'une enceinte de confinement. Les agents moussants sont acheminés sur place après le début de l'incendie et raccordés à la canalisation [3].

**I.7.5.3. Types de sorties de décharge de mousse**

Il existe deux types de sorties de décharge de mousse :

❖ Sortie de décharge de type II :

Ce type de sortie consiste en un dispositif fixe qui projette de la mousse sur le liquide en feu, submergeant partiellement la mousse et provoquant une Agitation limitée de la surface. Des exemples de ce type de dispositif comprennent les déversoirs à mousse et les machines à mousse [3].

❖ Sortie de décharge de type III :

Il s'agit d'un appareil fixe ou portable qui distribue de la mousse de manière à ce qu'elle tombe directement sur la surface du liquide en feu, provoquant une agitation générale. Des exemples de cet appareil incluent les buses et les lances moniteurs Hose Stream [3].

❖ Les moniteurs Hose Stream

Ils sont des équipements utilisés pour des tests de résistance au feu. Ils sont principalement utilisés pour évaluer la résistance des matériaux et des structures aux jets d'eau à haute pression, simulant ainsi les conditions d'extinction d'un incendie. Ces tests permettent de garantir la sécurité et la fiabilité des matériaux et des constructions en cas d'incendie [16].



**Figure I.9** : Le moniteur Hose Stream [16]

### **I.8. Description de système de lutte contre l'incendie**

Le système de lutte contre l'incendie installé au TMB vise à garantir la gestion et la maîtrise des scénarios d'incendie, ainsi qu'à réduire la probabilité d'une escalade de la situation. Il repose sur les principes suivants :

- ❖ Détection rapide : Il s'agit de détecter rapidement tout début d'incendie afin d'intervenir rapidement et efficacement.
- ❖ Isolement de la source d'hydrocarbure : Une fois l'incendie est détecté, il est crucial d'isoler la source d'hydrocarbures pour empêcher la propagation du feu.
- ❖ Activation des systèmes d'atténuation disponibles : Les systèmes d'atténuation, tels que les dispositifs d'extinction automatique ou manuelle, doivent être activés dès que possible pour contenir et maîtriser l'incendie.
- ❖ Extinction automatique ou manuelle : En fonction de la localisation et de l'ampleur de l'incendie, le système doit être capable d'effectuer une extinction automatique ou de permettre une intervention manuelle pour éteindre le feu de manière efficace.
- ❖ La lutte contre l'incendie dans les zones à protéger est assurée principalement via deux systèmes (réseaux) de distribution d'eaux (eau douce et eau de mer), montés en parallèle.

#### **I.8.1. Les différents systèmes d'extinction d'incendie à la DRGB**

Pour assurer la sécurité de son site en cas d'incendie, la DRGB a choisi d'installer deux types de systèmes d'extinction différents sur ses deux terminaux, adaptés aux installations à protéger. Ces systèmes comprennent :

### **I.8.1.1. L'extinction sprinkler**

Les dispositifs sprinkler sont principalement conçus pour refroidir les transformateurs, en cas de détection d'une élévation de température signalée par un capteur de chaleur (protectowire) [17].

### **I.8.1.2. L'agent extincteur FM 200**

Ce système est mis en place dans la salle de contrôle et la salle électrique. Il se déclenche automatiquement dès que le capteur de flamme détecte un signal physique (flamme), agissant ainsi pour réduire la concentration en oxygène dans les salles [17].

### **I.8.1.3. Extincteur au halon**

Un système de détection et d'extinction de feu est installé sur le toit d'un réservoir. Il comprend une couronne de détection avec des fusibles disposés à 3 mètres de distance, reliés par des câbles en acier inoxydable et maintenus par des crochets sur un support contrepoids. Chaque secteur de la couronne est associé à un contrepoids de 25 kg pour maintenir la tension. En cas de feu détecté, un fusible éclate, déclenchant un contrepoids relié à une vanne automatique de bouteille d'azote. L'azote est alors libéré à une pression de 125 bars pour activer les vannes d'extinction du Halon 1211 sur toute la périphérie du réservoir, éteignant ainsi le feu et empêchant toute ré inflammation [17].

### **I.8.1.4. Les extincteurs à mousse expansive**

Ces extincteurs contiennent des produits chimiques qui, au contact de l'eau et pulvérisés dans l'air, forment une mousse étouffante pour éteindre les feux. Cependant, cette mousse n'a aucun effet sur les braises. Ce type d'extincteur peut être utilisé dans ces environnements pour protéger les collections en cas d'incendie [17].

## **I.9. La protection active**

En se concentrant sur la protection active, on assure une réponse rapide et efficace aux incendies, ce qui contribue à limiter leur propagation et à réduire les dommages potentiels aux installations et à l'environnement. La protection passive, qui comprend des mesures telles que l'espacement adéquat entre les équipements et l'installation de revêtements de protection sur les structures, n'est pas prise en compte dans ce projet. Les objectifs du système de protection active d'incendie sont décrits ci-dessous :

### **I.9.1. Protection de l'exposition (refroidissement)**

La protection de l'exposition doit être réalisée par absorption de la chaleur à travers l'application des agents extincteurs qui suppriment ou réduisent la chaleur transférée à des structures ou des équipements exposés à un incendie. Généralement, l'eau est utilisée pour le refroidissement.

### **I.9.2. Contrôle de la combustion**

Le contrôle de la combustion doit être réalisé en limitant la dimension de l'incendie à travers :

- Distribution appropriée des agents extincteurs ;
- Refroidissement des combustibles adjacents ;
- Confinement.

### **I.9.3. Extinction de l'incendie**

L'extinction de l'incendie doit être atteint à travers :

- Refroidissement afin de réduire la chaleur émis par l'incendie et prévenir le flashback;
- Séparation des vapeurs inflammables de l'oxygène (étouffement) ;
- Inhibition des réactions chimiques.

## **I.10. Réseau d'eau anti-incendie**

Le réseau d'eau incendie est complètement indépendant des autres réseaux d'eau, il est toujours pressurisé, il est composé de deux réseaux (un pour TMN et un pour TMS) connectés et alimentés par la même station de pompage. Le système eau anti-incendie est essentiellement constitué d'un système de stockage, d'une station de pompage et d'un réseau de distribution de l'eau anti-incendie.

### **I.10.1. Système de stockage**

L'eau incendie est contenue dans un bac d'eau incendie afin de garantir le débit d'eau incendie pendant 12h, en accord a la norme NFPA 22 et API STD 650.

### **I.10.2. Station de pompage**

La station de pompage est conçue en accord à la norme NFPA 20, et se compose de :

- Deux pompes de pressurisation (pompes jockey) actionnées par des moteurs électriques pour maintenir la pression dans le réseau d'eau d'incendie ;
- Deux pompes anti-incendie principales actionnées par un moteur électrique capables de garantir le 50% du débit nécessaire pour l'extinction du scénario de feu dimensionnant ;
- Une motopompe anti-incendie de réserve (de secours) actionnée par un moteur diesel capable de satisfaire le besoin d'eau pour l'extinction du scénario de feu dimensionnant, équipée avec sa réserve dédiée de gasoil, cette dernière est aussi conçue en accord à la norme NFPA 20.

### I.10.3. Réseau de distribution (eau/mousse)

Le réseau de distribution d'eau incendie est conçu en accord à la norme NFPA 24 et comprend les éléments suivants :

- Bouches d'incendie : nourrices avec trois sorties
- Canons d'incendie à eau / mousse
- Vannes de sectionnement : sont conforment à la norme NFPA 24.
- Unité de Stockage et de Dosage d'Émulseur (USD), On distingue 7 unités de stockage d'émulseur (USD) dont 04 USD au TMN et 03 USD au TMS d'une capacité de 1500 l pour chacune avec une autonomie de 30min.



**Figure I.10** : Unité de Stockage et de Dosage d'Émulseur (USD) [7]

- Réserve stratégique d'émulseur pour le réarmement des camions incendie [7].
- Circuit de pré mélange dont les composants du circuit de pré mélange comprennent des conduites de diamètre variables (3'' et 4''). Chaque réservoir est équipé de deux couronnes en fibre de verre qui alimentent 6 colonnes montantes desservant les 12 générateurs déversoirs.
- Couronnes (circuit) de refroidissement des bacs de stockage. Chaque bac est équipé d'une rampe de refroidissement en acier, monocellulaire, de 4'' reliée au réseau anti-incendie

(Pulvérisateurs bouchés). Ces couronnes sont en accord avec les directives de la norme NFPA 15 [7].



**Figure I.11** : circuit de refroidissement [7]

- Système à déluge à eau (Sprinkler) pour la protection des pompes anti-incendie, en accord avec les directives de la norme NFPA 15.
- Déversoirs / Chambres à mousse pour les toits des bacs (Alimenté par la USD).
- Véhicules de lutte contre l'incendie mixte eau/mousse. Ils combinent l'utilisation d'eau et de mousse, dont les moyens mobiles sont reliés aux nourrices. Ils sont élaborés suivant les exigences aux normes NFPA 15 et API 2030 [7].

**I.11. Normes et réglementations à respecter**

Les nouvelles normes et réglementations qui rentrent en vigueur dans ce projet sont résumées de manière exhaustive dans le tableau ci-dessous [3].

<b>NFPA 10:</b> Standard for Portable Fire Extinguishers
<b>NFPA 11:</b> Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam
<b>NFPA 12:</b> Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems
<b>NFPA 13:</b> Standard for the Installation of Sprinkler Systems
<b>NFPA 15:</b> Water Spray Fixed Systems for Fire Protection
<b>NFPA 16:</b> Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems
<b>NFPA 20:</b> Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection
<b>NFPA 22:</b> Standard for Water Tanks for Private Fire Protection
<b>NFPA 24:</b> Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances
<b>NFPA 25:</b> Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems
<b>NFPA 30:</b> Flammable and Combustible Liquids Code
<b>NFPA 70:</b> National Electrical Code
<b>NFPA 72:</b> National Fire Alarm and Signaling Code
<b>API 2030:</b> Application of Fixed Water Spray Systems for Fire Protection in the Petroleum and Petrochemical Industries

**Tableau I.5** : les nouvelles normes et réglementations à respecter [3]



### I.12. Les scénarios de référence pour notre étude

Voici quelques scénarios possibles dans un dépôt de stockage de pétrole :

- Feu de cuvette : un incendie se déclenche dans la cuvette de rétention où le pétrole est stocké.
- Feu d'évent : un incendie se produit au niveau de l'évent, la sortie permettant l'aération des réservoirs.
- Feu de joint : un incendie se déclare au niveau des joints ou des raccords des équipements de stockage.
- Feu de surface pleine : un incendie se propage à la surface du pétrole stocké.
- Feu de surface obstruée : un incendie se développe sur une surface de pétrole qui est partiellement obstruée par des débris ou des obstacles [7].

Dans le cadre de ce projet, une décision a été prise de concentrer nos efforts sur l'extinction et le refroidissement des incendies au niveau des joints des bacs, plutôt que les incendies de cuvette, Cette décision est basée sur plusieurs facteurs clés, notamment :

1. Analyse des Risques : Une analyse approfondie des risques a été effectuée pour évaluer les dangers potentiels associés aux incendies de bac par rapport aux incendies de cuvette. Cette analyse a révélé que les incendies de bac présentent un risque plus élevé en raison de la présence d'une plus grande quantité d'hydrocarbures stockés dans les bacs par rapport aux cuvettes.
2. Impact sur les Opérations : Les incendies de bac ont un impact plus significatif sur les opérations du terminal en raison de la taille et de la capacité des bacs de stockage. Un incendie de bac peut entraîner des perturbations majeures dans les opérations portuaires et une interruption prolongée des activités de chargement et de déchargement.
3. Priorité des Ressources : Concentrer les ressources sur la prévention et l'extinction des incendies de bac permet d'optimiser l'allocation des ressources disponibles. En se concentrant sur les incendies de bac, le projet peut mettre en place des mesures de prévention et des systèmes d'extinction plus robustes pour répondre aux risques les plus critiques.

### I.13. Démarche à suivre

Pour conduire notre étude de manière efficace, nous allons mettre en œuvre l'approche suivante :

- Choix du scénario de feu de référence pour notre étude ;
- Validation du scénario choisi;

- Analyse du besoin d'eau (pour l'extinction du feu avec la mousse et le refroidissement des surfaces des bacs adjacents (voisinant) avec de l'eau) ;
- Détermination du besoin d'eau ;
- Dimensionnement de la réserve d'eau anti-incendie ;
- Dimensionnement et équilibrage du réseau d'eau anti-incendie ;
- Dimensionnement et choix de la pompe ;
- Elaboration du cahier de charges du déclenchement du système de pompage (pompes principales, pompes jockeys, pompe de secours (réserve)) ;
- Elaboration du cahier de charges pour les différentes séquences de démarrage des moteur (électrique, diesel) ;
- Etablir les différents grafcet (déclenchement du système de pompage ainsi que les démarrages des moteurs associés).

#### **I.14. Conclusion**

En conclusion, ce chapitre a permis de mettre en lumière l'importance de SONATRACH, notamment à travers des installations telles que le terminal de Bejaïa. Nous avons également examiné les risques associés au pétrole en tant que source d'incendie. Par la suite, le projet envisagé, axé sur la sécurité incendie dans les installations de SONATRACH, a été abordé en détail. Nous avons identifié les enjeux liés à la conception du réseau anti-incendie existant chez SONATRACH, en mettant en évidence les normes et réglementations spécifiques qui guident ces pratiques, ce qui nous permettra d'avoir des concepts solides afin d'immerger dans le prochain chapitre de notre exploration dimensionnelle du réseau anti-incendie de TMB.

## CHAPITRE II

Principes et Règles de  
conception d'un réseau anti-  
incendie

## II.1. Introduction

La conception du réseau anti-incendie doit impérativement respecter les normes et directives établies pour garantir son efficacité et sa fiabilité. Ces règles, élaborées par des experts et des organismes de réglementation, assurent la sécurité des personnes et des biens, tout en garantissant la conformité légale. Suivre ces normes permet d'anticiper les risques, d'éviter des erreurs coûteuses et d'assurer un fonctionnement optimal des systèmes en cas d'urgence.

## II.2. Critères de conception des parties constituant le réseau anti-incendie

Les critères de conception d'un réseau anti-incendie incluent la sélection appropriée des matériaux, la disposition stratégique des équipements, la conformité aux réglementations de sécurité incendie, comme suit :

### II.2.1. Réseau de tuyauterie

Le réseau d'eau anti-incendie doit être conçu en boucles entourant les "zones de feu", permettant l'accès à l'eau depuis deux directions distinctes pour chaque zone. Conformément à la norme NFPA15, la classe de la tuyauterie utilisée est A13 [3] (voir tableau II.1), avec un diamètre minimum de 6" à 8" qui désigne un type spécifique de tuyauterie qui assure une conception adaptée aux exigences de pression et de débit, cette dernière est fabriquée en acier noir au carbone et protégée contre la corrosion. Dans les zones à risque de gel élevé, les conduites doivent être enterrées à au moins 0,3m sous la ligne de gel pour éviter les dommages et les interruptions de service, tels que la rupture des conduites d'eau en raison de l'expansion de l'eau lorsqu'elle gèle, ce qui entraîne des fuites et des interruptions dans l'approvisionnement en eau [18].

Diamètre nominal (pouces)	4"	6"	8"	10"	12"	14"
Diamètre extérieur (mm)	114.30	168.28	219.08	273.05	323.85	355.60
Épaisseur (mm)	6.02	7.11	7.04	7.80	8.38	7.92
Diamètre intérieur (mm)	102.26	154.06	205.00	257.45	307.09	339.76
Matériel	Acier au carbone API5L Grade B					
Rugosité (mm)	0.04572					

**Tableau II.1** : Données des tuyaux A13 du réseau d'eau classe [3]

Tandis que la Classe de la tuyauterie du réseau de pré mélange (mélange d'eau+ émulseur) utilisée est A30 [3], qui garantit une performance fiable et sécurisée, les données de cette classe sont illustrées dans le tableau suivant :

Diamètre nominal (pouces)	3"	4"	6"	8"
Diamètre extérieur (mm)	86.4	106.4	156.4	208.2
Épaisseur (mm)	3.02	3.02	3.02	4.01
Diamètre intérieur (mm)	80	100	150	200
Matériel	fibre de verre			
Rugosité (mm)	0.02			

**Tableau II.2 :** Données des tuyaux A30 du réseau pré mélange [3]

### II.2.1.1. Vitesse maximale d'écoulement

C'est une grandeur qui a un caractère indicatif d'une façon générale, un léger dépassement des valeurs limites est acceptable si nécessaire pour l'optimisation de la conception de l'installation. Les valeurs limites dépendent du type de service de la ligne considérée comme c'est mentionné dans le tableau ci-dessous :

Service		Vitesse maximale admissible (m/s)
Ligne d'aspiration de pompe Liquide à le point d'ébullition	DN ≤ 4"	1.0
	DN 4"+ 8"	1.5
	DN ≥ 8"	1.8
Ligne d'aspiration de pompe Liquide sous refroidi	DN < 8"	2.0
	DN ≥ 8"	3.0
Décharge de la pompe	DN < 8"	4.0
	DN ≥ 8"	5.0

**Tableau II.3 :** vitesse maximale admissible d'après les services [3]

D'après la NFPA15, une vitesse maximale d'écoulement d'environ 3 m/s est recommandée pour prévenir les pertes de charge excessives [18].

### II.2.2. Vannes et clapet anti-retour

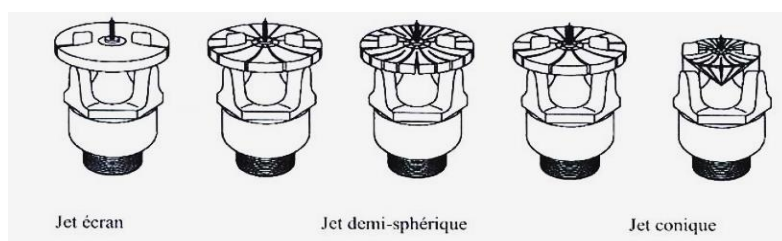
Toutes les vannes du réseau doivent être approuvées et conformes à la norme NFPA15. Les vannes d'isolement, placées à chaque intersection de la boucle principale, permettent d'isoler une branche du réseau pour les interventions. Ces vannes contrôlent efficacement La pression du réseau à des points stratégiques grâce à des transmetteurs de pression [7] [19].

Les clapets anti-retours autorisent le passage de l'eau dans un seul sens. Ils sont obligatoires aux sorties des pompes pour empêcher tout reflux indésirable dans le système [7].

### II.2.3. Les buses (diffuseurs)

Les buses sont de type à tête ouverte, ce qui signifie que lors de l'ouverture des vannes, tous les diffuseurs sont activés, et pas seulement ceux à proximité de la source de l'incendie, afin d'assurer un refroidissement complet sur tout le périmètre du bac [7] [19]. Chaque diffuseur est caractérisé par plusieurs aspects, comme suit :

- Son profil de distribution (jet plat, jet conique, jet demi-sphérique).



**Figure II.1:** Types de jet des buses [3]

- Le diamètre de la buse (jet).
- Son coefficient K (constante de pression), tels que :

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (\text{II.1})$$

### II.2.4. Les déversoirs

D'après la NFPA11, ces déversoirs en acier inoxydable sont installés pour protéger le toit flottant du réservoir. Ils sont positionnés de manière à couvrir toute la surface du joint, ils permettent à la mousse de se déplacer rapidement sur cette surface en moins de 20 min [20]. Le tableau suivant fournit le nombre de déversoirs en fonction du diamètre du bac :

Diamètre du bac D (m)	Nombre de points d'injection
D < 24	1
24 < D < 36	2
36 < D < 42	3
42 < D < 48	4
48 < D < 54	5
54 < D < 60	6 à 8

**Tableau II.4 :** Nombre de déversoir à installer en fonction du diamètre du bac [7]

### II.2.5. Réserve d'eau

La quantité d'eau requise pour garantir une capacité autonome de lutte contre l'incendie avec les moyens disponibles au sein de l'unité pendant une durée de fonctionnement requise, qui varie d'un standard à l'autre, comme l'illustre le tableau ci-dessous :

Pays	Volume de la réserve d'eau (m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>
France	$Q_{\text{requis max}} \text{ (m}^3/\text{h)} \times 4 \text{ h}$
Etats-Unis	$Q_{\text{requis max}} \text{ (m}^3/\text{h)} \times 4 \text{ à } 6 \text{ h}$
Grande Bretagne	$Q_{\text{requis max}} \text{ (m}^3/\text{h)} \times 10 \text{ h}$

Tableau II.5 : Volume requis de la réserve d'eau [3]

### II.2.6. Réserve de carburant diesel

Le réservoir de carburant diesel de la motopompe, est dimensionné pour une durée de fonctionnement similaire, soit 12 heures, conformément à la réglementation française [7].

### II.2.7. Refroidissement par eau

Face à un feu, l'application d'eau offre un avantage potentiel en termes de refroidissement des équipements, des structures et des réservoirs exposés à la chaleur. Son objectif principal est de prévenir (ou de limiter) les dommages causés au matériel par la Chaleur ou la pression résultant de la surchauffe des réservoirs de stockage. Elle est appliquée directement sur la surface à protéger et peut être utilisée pour sécuriser l'accès au personnel chargé de couper l'arrivée de combustible, facilitant ainsi l'extinction du feu. Le choix du système d'application dépend du type de réservoir, du produit stocké et de la Stratégie adoptée en cas d'incident. Quelle que soit la méthode de protection utilisée, le système doit être dimensionné pour délivrer un débit d'eau adéquat en fonction du rayonnement thermique pour refroidir efficacement les surfaces exposées. De façon conservatrice, même s'ils ne sont pas exposés à un rayonnement thermique supérieur de 12 kW/m<sup>2</sup> dû au scénario de référence d'incendie.

### II.2.8. Extinction par mousse

L'eau seule est souvent insuffisante pour éteindre un feu sur un réservoir. En pratique, l'utilisation de la mousse bas-foisonnement est généralement considérée comme la meilleure méthode pour éteindre un incendie sur un stockage d'hydrocarbures. La mousse doit être

Appliquée à l'intérieur du réservoir, tangentielle à sa paroi, par des systèmes fixes. Une méthode courante consiste à appliquer la mousse par le haut du réservoir à partir de plusieurs points d'injection via des déversoirs. D'après la NFPA 11, quelle que soit la méthode de protection utilisée, le système doit être conçu pour appliquer la mousse à un taux de 12 litres /min.m<sup>2</sup> de surface à protéger. Après l'extinction du feu avec de la mousse, il est essentiel de rester vigilant jusqu'à ce que la plupart du produit inflammable soit retiré. La dégradation naturelle de la mousse peut augmenter la charge électrostatique du liquide, ce qui pourrait entraîner une inflammation [20].

### ✓ **Domaine d'application**

La mousse est caractérisée par son foisonnement, qui représente le rapport entre le volume de mousse produit et le volume du pré mélange. Le coefficient de foisonnement est exprimé sous la forme suivante [7] :

$$f = \frac{V_{mousse}}{V_{prémelange}} \quad (\text{II.2})$$

Il existe trois types de foisonnement, déterminés par la quantité d'air introduite :

- Haut foisonnement : lorsque  $200 < f < 1000$ .
- Moyen foisonnement : lorsque  $20 < f < 200$ .
- Bas foisonnement : lorsque  $2 < f < 20$ .

Avec :

$f$  : Représente le taux d'application de la solution moussante, exprimé en (l/ (min.m<sup>2</sup>)) ;

$V_{mousse}$  : Représente le volume de la mousse produite, exprimé en (l) ;

$V_{prémelange}$  : Représente le volume du pré mélange, exprimé en (l).

### **II.2.9. Stockage d'émulseur**

Les émulseurs sont des produits stables pouvant être conservés jusqu'à 10 ans, dans des conditions normales de stockage. Ils retrouvent leurs propriétés liquides en cas de gel. Leur utilisation est possible dans une large plage de températures, de -15°C à +60°C [21] [22].

### **II.2.10. Pompe anti-incendie**

Dans la conception d'un système anti-incendie, les pompes jouent un rôle crucial. On trouve plusieurs catégories selon leurs fonctions, comme suit :



### II.2.10.1. Pompes principales

Les pompes incendie doivent assurer une couverture totale à 100 % de la demande maximale, en fournissant la pression requise à tous les points du réseau. Généralement, le nombre de pompes installées est au moins égal au nombre nécessaire pour assurer le débit requis à 100%, plus une pompe supplémentaire pour compenser toute éventuelle indisponibilité due à la maintenance, par exemple. Elles doivent être alimentées par des sources d'énergie distinctes et indépendantes les unes des autres, telles qu'un moteur électrique et un moteur Diesel. Les configurations possibles incluent :

- 3 pompes à 50% ;
- 2 pompes à 100% ;
- 4 pompes à 50% réparties en 2 groupes ;

D'après les exigences de la norme NFPA 20 la configuration de 3 pompes à 50% représente la combinaison la plus fréquente. La prise des pompes dans le bassin est positionnée à un niveau aussi bas que possible pour maximiser l'utilisation de la capacité du bassin, tout en restant toujours au-dessus du niveau de l'axe d'entrée des pompes, conformément aux recommandations de la norme NFPA 20. La courbe caractéristique de pompe (débit/pression) doit répondre aux critères énoncés par la norme NFPA 20, comme suit :

- Pression maximale à débit nul= 140% pression nominale.
- Pression minimale à 150% du débit nominal=65% pression nominale.

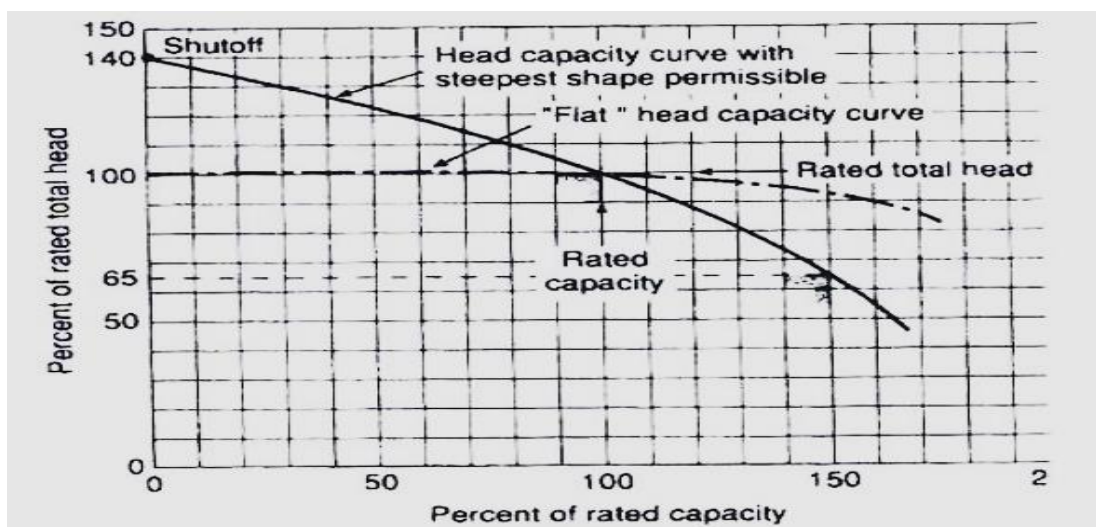


Figure II.2 : La courbe de pompe selon la NFPA 20 [3]

### II.2.10.2. Pompe de maintien de pression de type JOCKEY

Une ou deux pompes jockey sont prévues pour maintenir le réseau sous une pression d'environ 9 à 12 bars, avec un débit variant de 20 à 50 m<sup>3</sup>/h conformément à la norme NFPA 20. Ces pompes jockey sont actionnées par un moteur électrique.

### II.2.11. Les caractéristiques des pompes anti-incendie

Les pompes incendie sont caractérisées par :

- ✓ Le débit de refoulement ( $Q_v$ ) ;
- ✓ Les courbes caractéristiques ;
- ✓ La vitesse de rotation (N) et la vitesse spécifique ( $N_s$ ) [23].

#### II.2.11.1. Le débit de refoulement ( $Q_v$ )

Le débit d'une pompe représente la quantité d'eau qu'elle expulse par unité de temps. Cette mesure est généralement exprimée en (l/s) ou (m<sup>3</sup>/h). Le débit, symbolisé par  $Q_v$ , dépend à la fois de la vitesse moyenne d'écoulement du liquide (V) et du diamètre (D) de la canalisation [7], comme suit :

$$Q_v = V \times S = V \times \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (\text{II.3})$$

Avec :  $Q_v$  en [m<sup>3</sup>/s], V en [m/s] et D en [m].

#### II.2.11.2. Les courbes caractéristiques d'une pompe

Les performances d'une pompe sont généralement définies à travers quatre types de courbe :

##### ❖ La courbe hauteur-débit (H, $Q_v$ )

Elle illustre la variation de la hauteur d'élévation en fonction du débit, représentée par  $H = f(Q_v)$ . La courbe QH représente la hauteur manométrique que la pompe peut fournir à un débit spécifique. Cette hauteur est exprimée en [m]. L'avantage de cette unité de mesure pour la hauteur d'une pompe est que la courbe (Q,H) n'est pas influencée par le type de liquide que la pompe manipule [24].

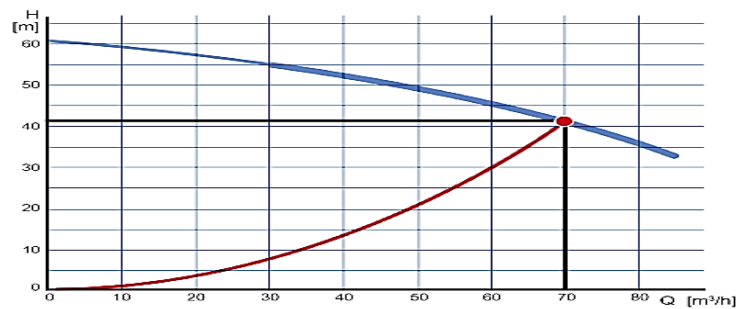


Figure II.5 : Courbe hauteur-débit (H, Qv) [24]

#### ❖ La courbe de puissance absorbée en fonction du débit

Cette courbe montre la variation de la puissance absorbée par la pompe en fonction du débit, notée  $P_a = f(Q_v)$  [24].

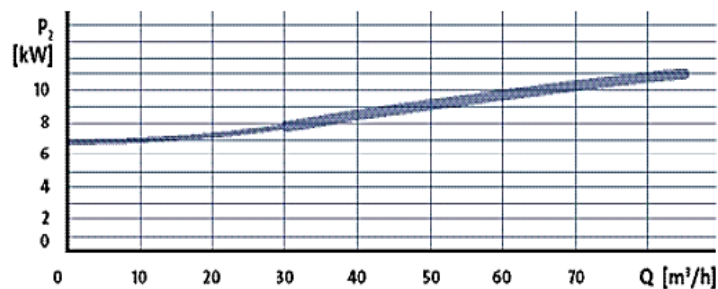


Figure II.6 : Courbe Puissance-débit ( $P_a$ ,  $Q_v$ ) [24]

#### ❖ La courbe de rendement

Elle expose la variation du rendement de la pompe en fonction du débit, exprimée par  $\eta = f(Q_v)$ . Le rendement est la relation entre la puissance fournie et la quantité de puissance réellement utilisée. Dans le monde des pompes, le rendement  $\eta$  est la relation entre la puissance fournie par la pompe à l'eau et la puissance absorbée à l'arbre [24].

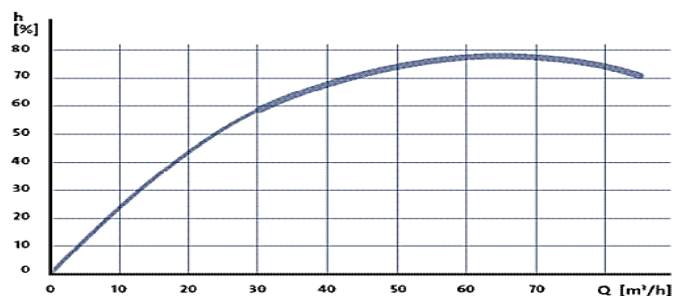
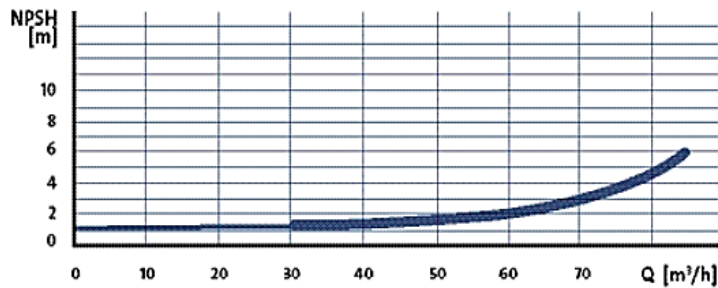


Figure II.7 : Courbe rendement-débit ( $\eta$ ,  $Q_v$ ) [24]

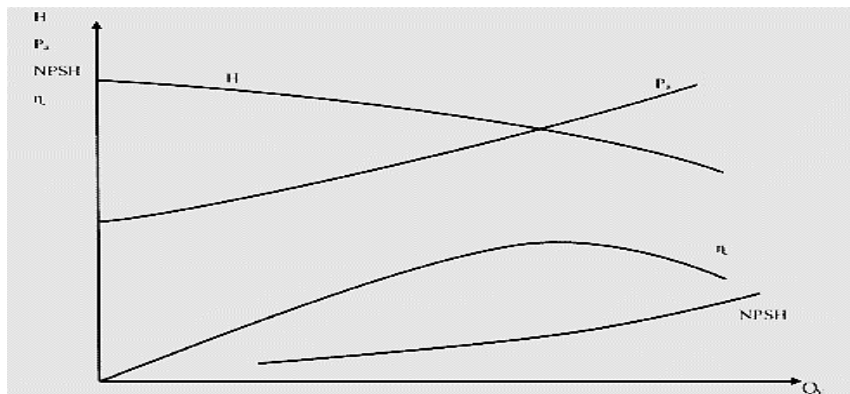
❖ **La courbe de NPSH (Net Pressure Suction Head)**

Cette courbe est utilisée pour déterminer la pression nécessaire à l'entrée de la roue de la pompe afin d'assurer un bon fonctionnement. Cette courbe est représentée par  $NPSH = f(Q_v)$  [24].



**Figure II.8** : Courbe NPSH-débit (NPSH,  $Q_v$ ) [24]

La figure ci-dessous illustre les variations des caractéristiques telles que H, NPSH,  $P_a$  et  $\eta$  de la pompe centrifuge en relation avec le débit ( $Q_v$ ) en une seule courbe :



**Figure II.9** : Courbe caractéristique de la pompe centrifuge [23]

**II.2.11.3. La puissance absorbée  $P_a$  au niveau de l'arbre de la pompe**

La puissance absorbée, notée  $P_a$ , d'une pompe est la puissance mécanique absorbée au niveau de l'arbre ou de l'accouplement de la pompe, exprimée en kilowatts (kW) ou en watts (W) [24]. Cette puissance peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$P_a = \frac{\rho g H a Q_v}{\eta} \tag{II.4}$$

Avec :

$P_a$ : Puissance absorbée, en [W];

$\rho$  : Masse volumique, en [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$Q_v$ : Débit refoulé, en [m<sup>3</sup>/s];

$g$ : Accélération de la pesanteur = 9,81 [m/s<sup>2</sup>];

$H_a$ : Hauteur manométrique totale, en [m];

$\eta$ : Rendement de la pompe, en (%).

#### II.2.11.4. La Caractéristique du rendement $\eta$ à vitesse constante

On se limitera à la caractéristique du rendement global qui tient en compte toutes les pertes (frottements, choc, fuites). Pratiquement le rendement global se détermine expérimentalement : on a indiqué comment pour un régime donné, on pouvait déterminer expérimentalement la hauteur noté  $H_a$  et la puissance  $P_a$  fournie à l'arbre [23], il suffit pour chaque régime, de calculer :

$$\eta = \frac{\rho g H_a Q_v}{P_a} \quad (\text{II.5})$$

Le rendement indiqué sur courbes caractéristique constructrices est le rendement hydraulique (pompe seule), ce qui est parfaitement logique pour les pompes proposées pouvant être accouplées à un moteur [23].

$$\eta = \frac{P_a}{P_u} \quad (\text{II.6})$$

En revanche, lorsque le constructeur propose une pompe associée à un moteur de son choix, sans autre possibilité de modification (groupe immergés, groupe submersible, groupe monoblocs...), il serait normal qu'il fournisse, en plus de la courbe de rendement hydraulique de la pompe, la courbe caractéristique de rendement du groupe « pompe + moteur » (l'influence du rendement du moteur n'étant pas négligeable lors du choix) [24].

$$\eta_{\text{groupe-pompage}} = \frac{P_{hyd}}{P_{mot}} \quad (\text{II.7})$$

En général, le rendement optimum des pompes centrifuges varie entre 0.6 et 0.9 se situe au voisinage de plage d'utilisation de la pompe (courbe de rendement donnée par le constructeur). En tout état de cause, il ne faut pas hésiter à demander ces informations auprès du fournisseur.

#### II.2.11.5. La vitesse de rotation (N) et la vitesse spécifique (Ns)

La vitesse de rotation (N) et la vitesse spécifique (Ns) sont deux paramètres distincts utilisés dans le contexte des pompes, comme suit :

### III.2.11.5.1. La vitesse de rotation (N)

La vitesse de rotation d'une pompe est le nombre de tours qu'effectue la roue par unité de temps. Elle est notée N et s'exprime en tr/min, tel que :

$$N = \frac{30\omega}{\pi} \quad (\text{II.8})$$

Où :  $\omega$  est la vitesse angulaire en (rad/s) ;

N : est la vitesse de rotation en (tr/min).

Les vitesses de rotation d'une pompe entraînée par un moteur triphasé, indiquées ci-dessous, sont des vitesses de référence [25].

### II.2.11.5.2. La vitesse spécifique (Ns)

La vitesse de rotation spécifique (Ns), est un nombre comparatif issu des règles de similitudes de la mécanique des fluides, qui permet de comparer des roues de différentes tailles et de classifier la forme optimale, ainsi que la forme de la courbe caractéristique correspondante en présence de différentes caractéristiques de fonctionnement, (débit  $Q_v$ , hauteur manométrique  $H_a$ , et vitesse de rotation N, d'une roue de pompe au point du meilleur rendement  $\eta_{\text{optimal}}$ ) [25].

### II.2.11.6. Les caractéristiques de l'installation

#### II.2.11.6.1. La hauteur totale $H_a$ de l'installation

L'équation de Bernoulli énonce que les différentes formes d'énergie, qu'elles soient géométriques, statiques ou dynamiques, sont équivalentes [7]. La hauteur totale, notée  $H_a$ , dans le contexte d'un écoulement supposé sans frottement, se compose de trois éléments principaux :

- Hauteur géométrique ( $H_{\text{géo}}$ ) : Cela représente la différence de niveau entre les points du fluide du côté aspiration et du côté refoulement [7].
- $\frac{(P_a - P_e)}{\rho g}$  : La différence de hauteur manométrique est la variation de niveau du fluide entre le côté aspiration et le côté refoulement. Cette différence est observée dans le cas d'un réservoir fermé au moins.

- $\frac{(Va^2 - Ve^2)}{2g}$  : La différence entre les hauteurs dynamiques dans les réservoirs correspond à la disparité des niveaux d'énergie cinétique associés aux mouvements du fluide entre différents points des réservoirs.

Dans un écoulement réel, il est nécessaire d'ajouter aux composantes précédentes les pertes par frottement, également appelées pertes de charge :

- $\sum H_v$  : Cette valeur représente la somme totale des pertes de charge linéaires et singulières, qui résultent de la résistance à l'écoulement dans les tuyauteries, les robinetteries, les raccords de tuyauteries, etc.

La hauteur totale (HA) de l'installation est alors calculée en prenant en compte ces quatre composantes :

$$H_A = H_{\text{geo}} + \frac{(Pa - Pe)}{\rho g} + \frac{(Va^2 - Ve^2)}{2g} + \sum H_v \quad (\text{II.9})$$

Avec :

$\rho$  : représentant la masse volumique (en kg/m<sup>3</sup>) et  $g$  : l'accélération de la pesanteur (en m/s<sup>2</sup>).

En pratique, la différence des hauteurs dynamiques est souvent négligée. L'équation se simplifie comme suit :

- ✓ Dans le cas d'un réservoir fermé :

$$H_A = H_{\text{geo}} + \frac{(Pa - Pe)}{\rho g} + \sum H_v \quad (\text{II.10})$$

- ✓ Dans le cas d'un réservoir ouvert :

$$H_A \approx H_{\text{geo}} + \sum H_v \quad (\text{II.11})$$

#### II.2.11.6.2. La courbe caractéristique du réseau

La courbe caractéristique de réseau représente graphiquement la hauteur manométrique totale de l'installation (HA) en fonction du débit, Q. Elle est constituée de deux composantes principales : une composante statique et une composante dynamique [24].

- La composante statique : se compose de deux parties indépendantes du débit : la hauteur géométrique ( $H_{\text{geo}}$ ), et la différence de hauteur manométrique  $[(pa - pe)/(\rho \cdot g)]$  entre les réservoirs d'entrée et de sortie de l'installation. Cette différence est nulle lorsque les deux réservoirs sont ouverts.

- La composante dynamique : inclut la perte de charge,  $H_v$ , qui augmente proportionnellement (au carré) au débit,  $Q$ , et la différence des hauteurs dynamiques  $(v_a^2 - v_e^2)/2g$  dans les sections d'entrée et de sortie de l'installation.

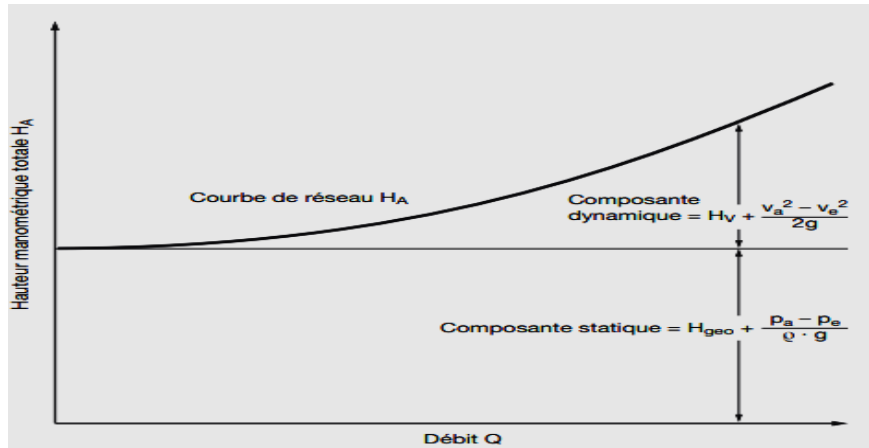


Figure II.10 : Courbe caractéristique du réseau [24]

### II.2.11.6.3. Le $NPSH_{disp}$ d'une pompe fonctionnant en aspiration

En situation d'aspiration, la pompe est positionnée au-dessus du niveau du liquide du côté aspiration. Pour calculer la valeur du  $NPSH_{disp}$  (Net Positive Suction Head disponible), on peut se référer aux informations sur l'état du réservoir, comme le décrit l'équation suivante :

$$NPSH_{disp} = \frac{(P_0 - P_v) \times 10^5}{g\rho} + \Delta Z - \Delta p_{tot} \quad (II.12)$$

Avec :

$NPSH_a$  : est la hauteur d'aspiration positive nette disponible en (m) ;

$P_0$  : est la pression de fonctionnement du bac incendie (pression d'aspiration) en (bar) ;

$P_v$  : est la pression de vaporisation de l'eau (dépend de la température de l'eau) (bar) ;

$g$  : est l'accélération de la gravité en (m/s<sup>2</sup>) ;

$\rho$  : est la densité de l'eau en (Kg/m<sup>3</sup>) ;

$\Delta Z$  : est la différence entre le niveau d'eau minimal d'eau du bac d'eau incendie (LALL) et le niveau du sol en (m) ;

$\Delta P_{tot}$  : sont les pertes de pression (de charge) de la ligne d'aspiration des pompes en (m).

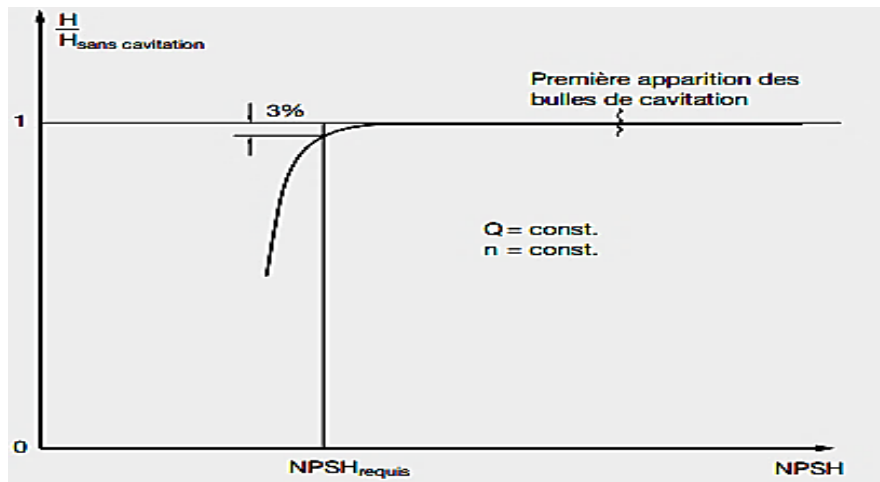
### II.2.11.6.4. La valeur NPSH requis de la pompe ( $NPSH_r$ )

La cavitation, qui se produit lorsque la pression diminue, peut entraîner une abrasion ou une baisse du rendement de la pompe. Pour limiter cela, une valeur minimale du NPSH est



Définie, indiquée dans les courbes NPSH<sub>r</sub>, pour éviter d'atteindre un tel état, Ainsi, pour ne pas dépasser la mesure indiquée de la cavitation admissible [23], il faut :

$$\text{NPSH}_{\text{disp}} > \text{NPSH}_{\text{requis}}$$



**Figure II.11** : Exemple de détermination du NPSH<sub>requis</sub> [23]

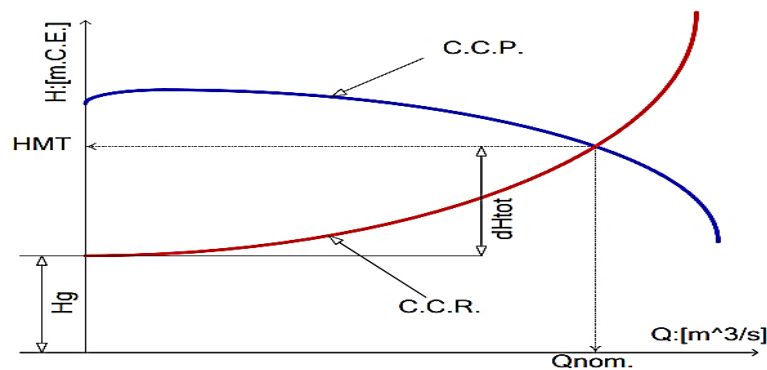
En pratique, il faut prendre :

$$\text{NPSH}_d \geq \text{NPSH}_r + 0.5 \text{ mCe} \quad (\text{II.13})$$

Les valeurs numériques de NPSH<sub>d</sub> et NPSH<sub>r</sub> sont déterminées par les dimensions de l'installation et de la pompe, lesquelles sont fixées par la conception et ne peuvent être modifiées par la suite, ainsi que par les données du point de fonctionnement. Cela entraîne des défis techniques et financiers significatifs pour améliorer ultérieurement la condition où NPSH<sub>d</sub> est supérieur à NPSH<sub>r</sub> au sein d'une installation.

#### II.2.11.6.5. Le point de fonctionnement

Le point de fonctionnement d'une pompe sur un réseau se situe à l'intersection de la courbe caractéristique du réseau, représentant les caractéristiques de l'installation, avec la courbe caractéristique de la pompe [26].



**Figure II.12** : La Détermination du point de fonctionnement d'une pompe [27]

À partir de là, Il est essentiel de vérifier que le  $NPSH_d$  est toujours supérieur au  $NPSH_r$  au point de fonctionnement pour éviter la cavitation.

#### II.2.11.7. Le choix de la pompe

La solution à ce problème d'ingénierie découle de l'analyse des caractéristiques des pompes et de leurs propriétés, telles que détaillées dans les paragraphes précédents. Les données nécessaires pour bien dimensionner la pompe afin d'effectuer un bon choix pour notre installation sont le débit ( $Q$ ) et la hauteur manométrique totale ( $HA$ ) et la  $NPSH$ . L'objectif est de choisir la pompe la plus performante tout en garantissant des conditions de fonctionnement optimales, notamment en évitant la cavitation. Les pompes peuvent toutefois fonctionner de manière satisfaisante dans une plage hydraulique à gauche (débit réduit) et à droite (débit élevé) du point de rendement maximal, appelée domaine de fonctionnement préférentiel, qui s'étend généralement de 70 à 120% du point de fonctionnement nominal.

#### II.2.11.8. La motorisation

Lors du choix du moteur pour une pompe, la puissance absorbée par la pompe détermine la puissance délivrée par le moteur, ainsi que la puissance absorbée par le réseau. Il est crucial de s'assurer que le moteur possède une puissance suffisante pour couvrir toutes les situations de fonctionnement de l'installation. Par exemple, si une pompe absorbe 8.5 kW, le moteur doit être capable de fournir cette puissance, que sa conception soit pour 7 kW ou 10 kW. Un moteur conçu pour 7 kW et fonctionnant à 40°C serait donc toujours Surchargé de 21.5 %, ce qui entraîne une augmentation de la température du bobinage. Lorsque cette température dépasse la limite prévue selon la classe d'isolation choisie pour une durée de vie acceptable

(30 000 h), la durée de vie de l'isolation diminue. Un dépassement de 8-10°C de la température limite entraîne une réduction d'environ la moitié de la durée de vie d'isolation, tandis qu'un dépassement de 20°C entraîne un raccourcissement de 75 %, Les moteurs standards sont conçus pour fonctionner à une température ambiante maximale de 40°C [28].

### II.3. Concepts d'hydraulique appliqués aux systèmes de lutte contre-incendie

#### II.3.1. Généralités

Les réseaux hydrauliques sont vitaux pour la distribution d'eau et la sécurité incendie. Les ingénieurs hydrauliciens se concentrent sur le débit, la pression et les pertes de charge lors de la conception des systèmes incendies. L'efficacité de ces systèmes dépend principalement du débit et des pertes de charge dans les conduites. L'hydrodynamique en charge qui inclut des concepts comme la charge hydrodynamique et sa résistance, est essentielle pour optimiser ces réseaux, notamment dans les réseaux anti-incendie, où une réponse rapide et efficace est cruciale en cas d'urgence.

Pour les calculs hydrauliques d'une conduite, nous disposons des paramètres suivants :

#### II.3.2. Vitesse d'écoulement

La vitesse d'écoulement désigne la vitesse à laquelle un fluide se déplace le long d'une canalisation ou d'un passage [9]. Elle se détermine par la relation suivante :

$$V = \frac{4 \times Qv}{\pi \times D^2} \quad (\text{II.14})$$

Avec:

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

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

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

#### II.3.3. Régime d'écoulement

Nous étudions l'écoulement d'un fluide dans une conduite de section constante, en négligeant sa compressibilité. La notion de conduite longue est importante pour établir un régime d'écoulement stable. Les différents régimes sont déterminés par le nombre de Reynolds [29].

#### III.3.4. Nombre de Reynold

Reynolds a expérimenté avec divers fluides et ajusté le débit et le diamètre de la canalisation [30], obtenu de la manière suivante :

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{II.15})$$

Avec :

La vitesse d'écoulement  $V$  du fluide, en [m/s];

Le diamètre intérieur de la tuyauterie  $D$ , en [m];

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

Ce nombre sans dimension compare les forces d'inertie aux forces de frottement visqueux.

Selon les expériences menées sur des conduites rugueuses :

- ✓ Si  $Re < 2000$ , l'écoulement est laminaire, avec une distribution parabolique des vitesses dans une section donnée et des lignes de courant distinctes.
- ✓ Pour  $2000 < Re < 3000$ , le régime est intermédiaire ou "transitoire".
- ✓ Si  $Re > 3000$ , l'écoulement devient turbulent, avec des lignes de courant emmêlées, un mouvement fluide dans toutes les directions et un mélange favorisé des vitesses et des transferts de quantité de mouvement, de matière et de chaleur.

La figure suivante montre les types d'écoulements :

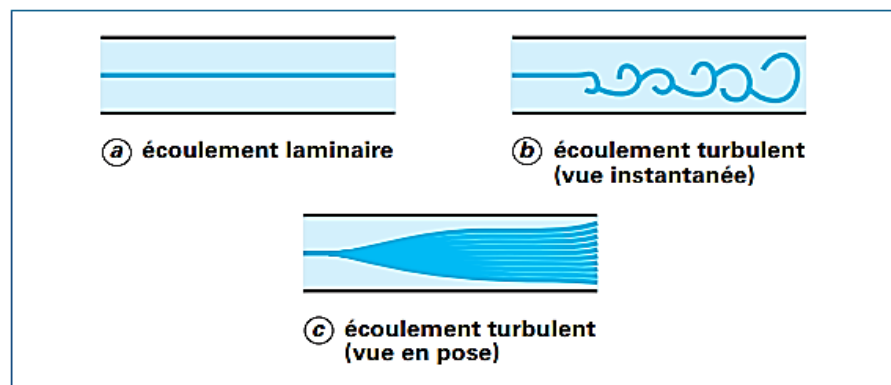


Figure II.13 : Les types d'écoulement [30].

### II.3.5. Viscosité

La viscosité est une propriété commune à tous les fluides, son évaluation dépendant de l'expérience, et il est observé qu'elle est principalement influencée par la température [31]. on distingue de type de viscosité :

- a- **Viscosité dynamique** : est la caractéristique principale d'un fluide, qui se déforme sous une contrainte de cisaillement.

- b- Viscosité cinématique :** Il s'agit de la viscosité donnée dans les fiches techniques des fluides hydrauliques.

### II.3.6. Coefficient de rugosité

Le coefficient de rugosité, également appelé coefficient de friction, est un paramètre crucial dans la conception des réseaux hydrauliques. Il caractérise la résistance qu'une conduite oppose au passage de l'eau, influençant ainsi les pertes de charge et jouant un rôle déterminant dans le calcul de la vitesse des écoulements. La norme NFPA recommande l'utilisation de coefficients C spécifiques pour différents types de tuyaux lors des calculs hydrauliques, conformément à la formule de Hazen-Williams. Ces coefficients varient en fonction du matériau de la conduite, comme c'est montré dans le tableau suivant :

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

**Tableau II.6 :** coefficient de rugosité(C) [9]

Dans notre étude la NFPA15 nous recommande d'utiliser l'acier noir neuf Pour les conduites, qui ont un facteur C de 120 [9].

### II.3.7. Equation de Bernoulli

Le théorème de Bernoulli généralisé exprime la conservation de l'énergie lors de l'écoulement d'un fluide réel entre deux points (1) et (2), En d'autres termes, ce théorème stipule que la somme des différentes formes d'énergie (potentielle, cinétique et énergie de Pression), dans un système fluide en mouvement est égale à la somme des différentes pertes de charge [7] [30]. Sa formule générale est exprimée comme suit :

$$\frac{Pa}{\rho g} + \frac{Va^2}{2g} + h_A = \frac{Pb}{\rho g} + \frac{Vb^2}{2g} + h_B + \Delta H \quad (\text{II.16})$$

Avec :

Pa et Pb: Représente la pression au point A et B, en [Pa];

Va et Vb: Représente la vitesse au point A et B, en [m/s];

$h_A$  et  $h_B$  : Représente la hauteur géométrique au point A et B, en [m];

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

### II.3.8. Perte de charge

En hydraulique, la perte de charge correspond à l'énergie dissipée par frottement visqueux lors de l'écoulement d'un fluide. Elle se manifeste dans l'équation de Bernoulli sous forme d'une hauteur de colonne d'eau. On distingue deux types de perte de charge :

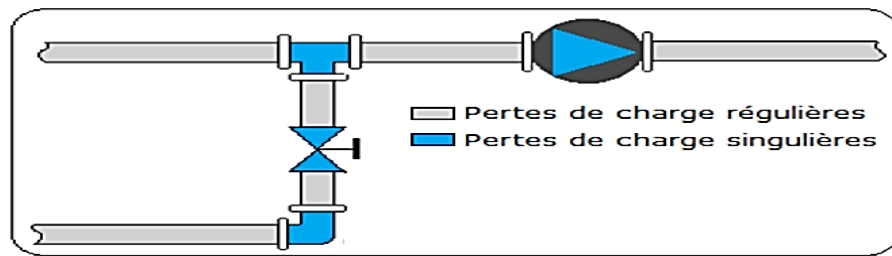


Figure II.14 : Types de perte de charge [9]

#### ✓ Perte de charge linéaire

Ce type de perte est engendré par le frottement interne se produisant dans les liquides, et il est présent tant dans les tuyaux lisses que dans les tuyaux rugueux. Entre deux points séparés par une distance  $L$  (m) dans un tuyau de diamètre  $D$  (m), une perte de pression se manifeste, exprimée par la formule suivante :

$$\text{En pression :} \quad \Delta p = \lambda \frac{\rho V^2 L}{2 D} \quad (\text{II.17})$$

$$\text{En m CE :} \quad \Delta_{HL} = \frac{\rho V^2 L}{2 g D} \quad (\text{II.18})$$

$\lambda$  : représente un coefficient sans dimension appelé coefficient de perte de charge linéaire. Le calcul des pertes de charge repose entièrement sur la détermination de ce coefficient  $\lambda$  [30].

En cas d'écoulement laminaire ( $Re < 2\,000$ ), le coefficient de perte de charge ne dépend que du nombre de Reynolds et est indépendant de l'état de surface ou de la nature de la tuyauterie, comme c'est montré dans la formule suivante

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (\text{II.19})$$

Pour les écoulements turbulents ( $Re > 3\,000$ ), la détermination du coefficient de perte de charge nécessite des mesures expérimentales.

La formule de Colebrook est largement utilisée pour les écoulements turbulents, bien qu'elle nécessite généralement des approximations successives ou l'utilisation d'abaques pour simplifier son application. En outre, pour évaluer si l'écoulement est hydrauliquement lisse ou rugueux, on examine la prédominance des termes dans l'équation de Colebrook suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \left[ -\log + \frac{2.51}{\Re\sqrt{\lambda}} \right] \quad (\text{II.20})$$

En pratique, on fait souvent appel à des formules empiriques plus simples valables pour des cas particuliers et dans un certain domaine du nombre de Reynolds, par exemple, formule de Blasius (pour des tuyaux lisses et  $Re < 10^5$ ) :

$$\lambda = 0.316 \times Re^{-0.25} \quad (\text{II.21})$$

#### ✓ Perte de charge singulière

Les pertes de charge singulières sont engendrées par la présence de diverses structures telles que des coudes, des raccords, des branchements, des vannes, etc. Ces éléments, considérés comme des singularités, agissent comme des obstacles qui ralentissent le passage du fluide et induisent des pertes de charge. Ces pertes sont quantifiées par un coefficient de pertes  $\xi$ , déterminé par la relation suivante :

$$\text{En pression :} \quad \Delta p = \varepsilon \frac{\rho V^2}{2} \quad (\text{II.22})$$

$$\text{En mCE :} \quad \Delta HS = \varepsilon \frac{V^2}{2g} \quad (\text{II.23})$$

Le coefficient de proportionnalité  $\xi$  Représente le coefficient des pertes de charge, sa valeur correspond à différents types de composants d'un circuit hydraulique.

### II.3.9. Equation expérimentale de Hazen-Williams

La formule de Hazen-Williams est souvent utilisée pour calculer les pertes d'énergie dues au frottement dans les canalisations et les réseaux d'extincteurs automatiques à eau en raison de sa facilité d'application et de sa précision. Cependant, elle est limitée à l'eau car elle ne prend pas en compte la viscosité du fluide ni sa température, ce qui la rend inadaptée à d'autres liquides. Les normes internationales de lutte contre l'incendie autorisent son Utilisation mais

Limitent la vitesse d'écoulement à 7,6 m/s en raison de la perte de précision de la formule à des vitesses plus élevées [9]. La formule générale de cette équation est donnée par l'équation suivante :

$$V = k \times C_{HW} \times R_h^{0.63} \times S^{0.54} \quad (\text{II.24})$$

Avec:

V: Représente la vitesse de l'écoulement en [m/s];

$R_h$ : Représente le rayon hydraulique,  $h = \frac{D}{4}$  en [m];

$S'$ : Représente la perte de charge par unité de longueur;

K : Représente le facteur de conversion pour le système d'unités ( $k = 0,849$  pour les unités SI);

$C_{HW}$ : Représente le coefficient de rugosité de Hazen-Williams.

#### ✓ Relation entre le débit et la perte de charge(H) dans une conduite

En utilisant l'équation de Hazen-Williams, nous pouvons exprimer la relation entre les pertes de charge H et le débit volumique Q. En prenant l'exponentielle des deux côtés de la formule générale de Hazen-Williams, par  $1/0.54$  nous aurons :

$$V = k^{1.852} \times C_{HW}^{1.852} \times R_h^{1.17} \times S \quad (\text{II.25})$$

Sachant que :  $S = \frac{H}{L}$

H: Représente la perte de charge, en [m] et L: Représente la longueur de la conduite, en [m].

La formule devient :

$$H = \frac{L \times V^{1.852}}{k^{1.852} \times C_{HW}^{1.852} \times R_h^{1.17}} \quad (\text{II.26})$$

D'autre part, nous avons le rayon hydraulique  $R = D/4$  (différent du rayon géométrique  $r$ ), et que  $Q = VA$ , avec : V représentant la vitesse de l'écoulement dans la conduite (en m/s) et A la surface de section transversale de la conduite ( $A = \frac{\pi D^2}{4}$ ).

Après la simplification, la formule de Hazen-Williams peut s'écrire comme suit :

$$H = \frac{10.679 L \times Q^{1.852}}{C_{hw}^{1.852} \times D^{4.97}} \quad (\text{II.27})$$

Enfin on peut écrire :

$$H = k \cdot Q^{1.852} = k \cdot Q^m \quad (\text{II.28})$$

Avec :  $m = 1.852$ .

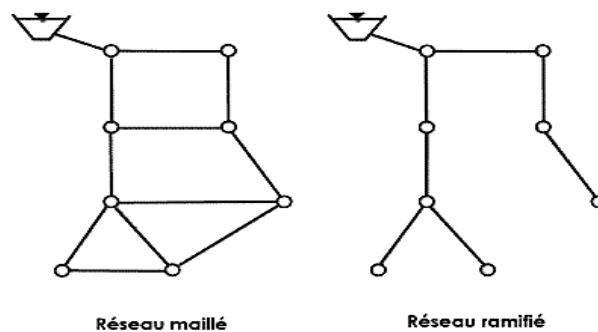


K : est un coefficient propre à chaque tronçon, puisqu'il dépend de la longueur(L), du diamètre (D), du coefficient de Hazen-Williams (CHW) et de l'exposant(m), Et :  $\beta = 10.679$

$$K = \frac{\beta L}{C_{hw}^{1.852} \times D^{4.97}} \quad (II.29)$$

### II.3.10. Type des réseaux hydrauliques

Il existe deux types principaux des réseaux hydrauliques : les réseaux ramifiés et les réseaux maillés [9].



**Figure II.15:** Types des réseaux hydrauliques [9]

Dans un réseau maillé, les canalisations sont interconnectées de manière à former un maillage, où chaque tronçon de canalisation appartient à plusieurs itinéraires possibles entre les points de départ et d'arrivée. Cette configuration offre plusieurs chemins pour le flux de fluide, améliorant ainsi la redondance et la fiabilité du système. En cas d'obstruction ou de défaillance sur l'un des itinéraires, le fluide peut contourner l'obstacle en empruntant une voie alternative, assurant ainsi la continuité du service. Cela rend les réseaux maillés particulièrement adaptés aux systèmes critiques où la disponibilité constante est essentielle, pour les réseaux de distribution d'eau dans le réseau de lutte contre les incendies.

### II.3.11. Analyse du réseau

La quantité d'eau disponible dépend directement du type et du dimensionnement du réseau. Dans notre étude étant donné qu'on dispose d'un réseau maillé, les canalisations reliées à un nœud font partie de plusieurs mailles simultanément, ce qui rend la répartition des débits inconnue à l'avance et nécessite des calculs par approximations successives. Ainsi, quatre méthodes pratiques sont couramment utilisées pour résoudre les équations impliquées dans l'analyse des réseaux : la méthode de linéarisation de Wood-Charles, la méthode de Newton-Raphson, la méthode des éléments finis et la méthode de Hardy-Cross [32].

### II.3.11.1. Méthode de Hardy-Cross

La méthode de Hardy-Cross, probablement la plus ancienne et la plus répandue pour l'analyse des réseaux de distribution d'eau, est une méthode itérative. Cette méthode permet de procéder soit par des corrections successives des débits, soit par des corrections successives des pertes de charge, en fonction de la formulation du problème et du groupe d'équations choisi. Dans ce qui suit, nous optons pour les corrections des débits [32].

### II.3.11.2. Principe de Hardy-Cross

#### 1- Loi de continuité

Pour chaque nœud, nous pouvons écrire une équation de continuité stipulant que la somme algébrique des débits à ce nœud est nulle [32]. L'équation de continuité est la suivante :

$$\sum Qi = 0 \quad (\text{II.30})$$

Où :  $Q_i$  représente le débit qui circule dans le tronçon (i).

Par convention, les débits entrants vers un nœud sont considérés positifs tandis que les débits sortants sont considérés négatifs. Ainsi, pour le nœud A représenté dans la figure suivante :

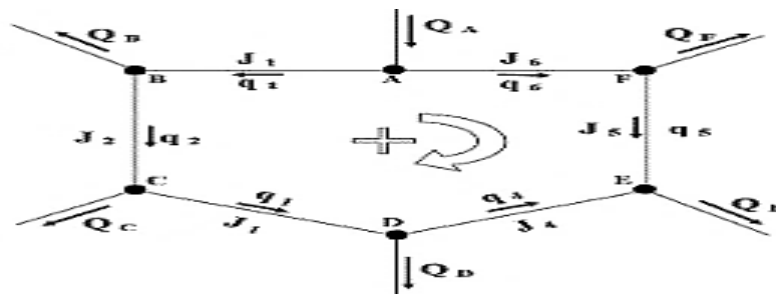


Figure III.16 : Exemple de l'application de Hardy-cross [32]

L'équation de continuité pour le nœud A peut être exprimée comme suit :

$$\sum Qi = Q_A - q_1 - q_6 = 0 \quad (\text{II.31})$$

#### 2- Loi de conservation de l'énergie

Pour chaque maille du réseau, il existe une équation non linéaire qui exprime la conservation des pertes de charge. En effet, pour chaque maille, la somme algébrique des pertes de charge est égale à zéro [32]. C'est-à-dire que :

$$\sum Hi = 0 \quad (\text{II.32})$$

Où : (Hi) représente les pertes de charge dans le tronçon(i).

Par convention, les débits circulant dans le sens des aiguilles d'une montre sont considérés positifs pour une maille, tandis que ceux allant dans le sens contraire sont considérés négatifs. De même, les pertes de charge générées dans les conduites où les débits circulent dans le sens des aiguilles d'une montre sont considérées positives, tandis que les pertes de charge correspondant à des débits s'écoulant dans le sens contraire sont considérées négatives [32].

En compte tenu l'équation de Hazen-Williams :  $H = k.Q^{1.852} = k.Q^m$

$$\text{On aura :} \quad \sum Hi = \sum ki.Qim = 0 \quad (\text{II.33})$$

Ces équations sont non linéaires car les variables  $Q_i$  sont élevés à une puissance différente de 1, en l'occurrence 1,852. Cette loi, appliquée au contour ABCDEF de La figure précédente où l'orientation positive suit le sens de rotation des aiguilles d'une montre, indique le sens d'écoulement comme suit selon les flèches :

$$J_6 + J_5 - J_4 - J_3 - J_2 - J_1 = 0 \quad (\text{II.34})$$

En résumé, pour un réseau comportant (N) nœuds et (M) mailles, on distingue :

- ✓ (N-1) équations linéaires (correspondant aux nœuds) ;
  - ✓ (M) équations non linéaires (correspondant aux mailles) ;
  - ✓ La somme totalise (D) équations, où (D) représente le nombre de conduites du réseau.
- La résolution de ces (D) équations permet de déterminer, à l'équilibre, le débit dans chacun des tronçons.

### II.3.11.3. Correction du débit dans une maille après une itération

Pour une maille donnée où les débits dans chaque tronçon ont été estimés, si  $Q_i$  représente le débit initial estimé dans l'un des tronçons et  $\Delta Q$  est la valeur de la correction à apporter à ce débit, alors le débit corrigé après la première itération est obtenu en ajoutant la correction au débit initial, soit :

$$Q = Q_i + \Delta Q \quad (\text{II.35})$$

Le débit Q représente soit le nouveau débit  $Q_i$  relatif à l'itération suivante, soit le débit final Q (débit solution). Quant à  $\Delta Q$ , il représente la correction, qu'elle soit positive ou négative, à

Apporter aux débits de chacun des tronçons de la maille. À l'itération suivante, la perte de charge dans un tronçon est calculée comme suit :

$$H = K (Q_i + \Delta Q)^m = K \times Q_i^m \left[ 1 + \frac{\Delta Q}{Q_i} \right]^m \quad (\text{II.36})$$

Le développement en série de cette équation conduit à l'expression suivante :

$$H = K Q_i^m \left[ 1 + m \frac{\Delta Q}{Q_i} + \frac{m(m-1)}{2!} \times \frac{\Delta Q^2}{Q_i^2} + \theta_i \right] \quad (\text{II.37})$$

Le terme  $\left[ \frac{m(m-1)}{2!} \times \frac{\Delta Q^2}{Q_i^2} + \theta_i \right]$  est négligeable et H devient :

$$H = K Q_i^m \left[ 1 + m \frac{\Delta Q}{Q_i} \right] \quad (\text{II.38})$$

En effectuant la somme algébrique des pertes de charge de tous les tronçons d'une maille, on obtient, en reconnaissant que la valeur absolue de  $\Delta Q$  représente la correction à apporter au débit de tous les tronçons de la maille :

$$\sum H_i = 0 = \sum K_i Q_i^m + m \Delta Q \sum K_i Q_i^{m-1} \quad (\text{II.39})$$

$$\Delta Q = \frac{-\sum H_i}{m \sum \left( \frac{H_i}{Q_i} \right)} \quad (\text{II.40})$$

Selon la convention habituelle, les débits positifs circulent dans le sens des aiguilles d'une montre, tandis que les débits négatifs vont dans le sens contraire. Les pertes de charge ont le même signe que le débit dans un tronçon. Si  $\Delta Q$  est positif, les débits positifs augmentent de  $\Delta Q$  et les débits négatifs diminuent de  $\Delta Q$ . Plusieurs itérations sont effectuées jusqu'à ce que  $\Delta Q$  soit suffisamment petit pour obtenir un résultat satisfaisant, mais cela dépend de l'estimation initiale des débits, avec une convergence rapide pour des estimations réalistes [32].

#### II.3.11.4. Les étapes de la méthode Hardy-Cross

Voici les étapes à suivre pour mettre en œuvre la méthode de Hardy-Cross :

1. Il convient d'identifier les mailles et les nœuds, puis de vérifier si la relation  $M + N - 1 = D$  est respectée, où M, N et D représentent respectivement le nombre de mailles, de nœuds et de conduites.
2. En tenant compte des signes (consommations) à chaque nœud et des estimations initiales des débits  $Q_i$  dans chaque conduite, il faut vérifier que la somme algébrique des débits à chaque nœud est nulle.

3. Calcul des pertes de charge ( $H_i$ ) relatives à chaque conduite de la première maille en utilisant la relation donnée.
4. Le calcul de la somme algébrique des pertes de charge relatives aux conduites de la première maille révèle généralement une valeur non nulle, étant donné que l'estimation initiale des débits n'est pas précise, d'où la non-nullité de la somme ( $\sum H_i \neq 0$ ).
5. Le calcul de la somme ( $\sum \frac{H_i}{Q_i}$ ) pour la première maille s'effectue en ignorant les signes algébriques, car pour chaque tronçon, les valeurs de ( $H_i$ ) et de ( $Q_i$ ) ont le même signe.
6. Détermination de la correction  $\Delta Q$  à appliquer aux débits des conduites de la première maille, à l'aide de la relation :

$$\Delta Q = \frac{-\sum \frac{H_i}{Q_i}}{m \sum \left(\frac{H_i}{Q_i}\right)} \quad (\text{II.41})$$

7. Ajustement des débits des conduites de la première maille en utilisant une correction algébrique comme suit :

$$Q' = Q_i + \Delta Q \quad (\text{II.42})$$

8. Nous répétons les étapes (c) à (g) pour toutes les mailles du réseau, en utilisant les débits corrigés d'une maille donnée comme estimations pour les conduites communes avec les mailles étudiées ultérieurement.
9. Nous continuons les étapes (c) à (h) jusqu'à ce que la précision souhaitée soit atteinte, généralement lorsque les valeurs des corrections  $\Delta Q$  deviennent inférieures à une valeur prédéterminée.
10. En utilisant les pressions connues aux nœuds dont l'élévation est connue, nous pouvons calculer les pressions à tous les nœuds en utilisant l'équation de Bernoulli et en progressant d'un nœud à l'autre. Par exemple, si nous calculons les pressions Relatives aux nœuds A et B situés aux extrémités d'une même conduite, nous obtenons :

$$\left(\frac{P_a}{\rho g} + \frac{V_a^2}{2g} + h_A\right) - \left(\frac{P_b}{\rho g} + \frac{V_b^2}{2g} + h_B\right) = H \quad (\text{II.43})$$

Si  $P_a$  et  $h_A$  sont des valeurs connues au nœud (A), que  $h_B$  est la hauteur du nœud (B) relié au nœud (A) par le tronçon de conduite (A-B) et que le diamètre de la conduite ne varie pas entre les nœuds (A) et (B), alors  $V_A = V_B$  et l'équation ci-dessus devient :

$$\left(\frac{P_a}{\rho g} + h_A\right) - \left(\frac{P_b}{\rho g} + h_B\right) = H \quad (\text{II.44})$$

Finalement, avec la possibilité de calculer les pertes de charge  $H$  en fonction du débit et des caractéristiques de la conduite reliant les nœuds  $A$  et  $B$ , nous pouvons déterminer la pression  $P_b$  au nœud  $B$  en utilisant :  $\frac{P_b}{\rho g}$  [7].

#### II.4. Etude du rayonnement thermique

Afin d'analyser les situations d'incendie dans les bacs, les étapes suivantes ont été accomplies :

- ✓ Identification des cas d'incendie à examiner (qui sera expliqué en détail dans le prochain chapitre) ;
- ✓ Évaluation des conséquences thermiques associées à ces situations.

Plus spécifiquement, les valeurs de rayonnement thermique indiquées dans le Tableau suivant ont été prises en compte pour établir les exigences du système de lutte contre l'incendie.

Effets sur les structures :	
12 kW/m <sup>2</sup>	Valeur maximale admissible pour les réservoirs voisins au réservoir en feu
8 kW/m <sup>2</sup>	Seuil de dégâts graves sur les structures ou autres installations, identifiées par l'étude de dangers comme pouvant générer un phénomène dangereux par effet domino
Effets sur l'homme :	
5 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine
3 kW/m <sup>2</sup>	Seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine

**Tableau II.7** : Les effets du rayonnement thermique [3].

##### II.4.1. Feu de Joint Annulaire des Bacs

Le diamètre de la flaque, la hauteur de la flamme et les distances d'effets liées aux valeurs de référence du rayonnement thermique (évaluées à la même hauteur que le bac en feu et à partir du centre du bac) sont répertoriés dans le Tableau suivant :

Identification des scénarios	Diamètre de la flaque (m)	Hauteur de la flaque (m)	Distance d'effet (de centre du bac) (m)			
			3 KW/m <sup>2</sup>	5 KW/m <sup>2</sup>	8 KW/m <sup>2</sup>	12 KW/m <sup>2</sup>
J01	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J02	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J03	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J04	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J05	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J06	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J07	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J08	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J09	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J10	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J11	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J12	56	19,3	52,3	47,1	42	37,1
J13	68	20,8	60,4	54,7	49,2	43,8
J14	68	20,8	60,4	54,7	49,2	43,8
J15	68	20,8	60,4	54,7	49,2	43,8
J16	68	20,8	60,4	54,7	49,2	43,8

**Tableau II.8** : Les feus analysés [3]

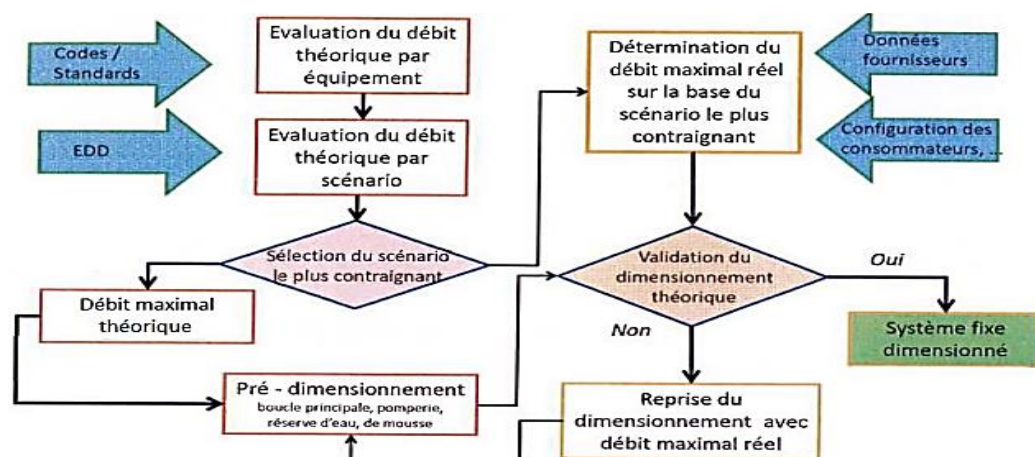
Dans les figures reportées en annexe (n°18,19), les suivantes valeurs de rayonnement thermique ont été reportées :

- 12 kW/m<sup>2</sup>, identifié avec la ligne rouge ;
- 8 kW/m<sup>2</sup>, identifié avec la ligne verte ;
- 5 kW/m<sup>2</sup>, identifié avec la ligne bleu clair ;
- 3kW/m<sup>2</sup>, identifié avec la ligne rose.

## II.5. Processus global du dimensionnement du réseau anti-incendie

### II.5.1. Logigramme de dimensionnement

Les grandes étapes pour dimensionner une installation fixe de lutte contre l'incendie sont récapitulées dans le schéma ci-dessous :



**Figure II.17** : Etapes de dimensionnement d'une installation fixe de lutte contre l'incendie [3]

Le dimensionnement d'une installation fixe de lutte contre l'incendie se base sur la demande en eau maximale déterminée à partir de la demande en eau de chaque équipement (réelle et théorique) et des scénarios de l'étude de dangers. Ce débit conditionne le dimensionnement du diamètre du réseau maillé (diamètre moyen de 8'' à 14''), en fonction de la vitesse requise dans le réseau, et le débit des pompes incendies. La prise en compte des pertes de charge générées dans le réseau, de la pression requise par le consommateur et de la hauteur statique due à l'élévation du consommateur conditionne la pression minimale requise à l'aspiration et au refoulement de la pompe incendie.

### II.5.2. Analyse Préliminaire des Risques (APR) et Etude De Dangers (EDD)

Sur un site industriel, les événements redoutés sont identifiés dès l'analyse préliminaire des risques. Chaque événement et ses conséquences forment un scénario nécessitant des Mesures de prévention, de détection et de protection. En évaluant la gravité et la probabilité des conséquences de chaque scénario, une étude de dangers est élaborée pour guider la mise en place des moyens nécessaires sur le site. Les risques sont représentés par des cercles de danger sur le plan d'implantation, identifiant les équipements touchés. Certains éléments Peuvent provoquer de nouveaux événements initiateurs, créant un effet domino à prendre en compte dans la conception des mesures de prévention [7].



**II.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons étudié en détail les principes de conception d'un réseau incendie selon les normes NFPA. Nous avons abordé l'évaluation des pertes de charge et l'équilibrage du réseau via la méthode de Hardy-Cross. Nous avons également examiné les caractéristiques des installations de pompage et les méthodes de sélection des pompes appropriées. Enfin, nous avons brièvement décrit le processus de dimensionnement du réseau anti-incendie et abordé l'étude du rayonnement thermique pour élargir notre perspective. Ces bases nous permettront d'approfondir le dimensionnement du réseau dans le prochain chapitre.

## CHAPITRE III



Dimensionnement du réseau  
anti-incendie

### III.1. Introduction

Le dimensionnement du système d'approvisionnement en eau pour la lutte contre les incendies est crucial et comprend plusieurs étapes essentielles. D'abord, on calcule les besoins en eau et on dimensionne le réservoir de stockage d'eau pour lutter contre les incendies. Ensuite, on répartit les débits, on équilibre le réseau et on analyse les pertes de charge, la hauteur manométrique totale (HMT) et la disponibilité du NPSH afin de sélectionner les pompes appropriées.

### III.2. Définitions mots techniques utilisés

Avant toute étude technique quelle qu'elle soit, il est primordial de mettre en évidence les termes techniques qui sont utilisés et de les définir, comme suit :

#### III.2.1. Zone de Feu

La zone du feu représente la zone où s'est déclenché l'incendie.

#### III.2.2. Zone ou équipement voisin au feu

Zone ou équipement à risque, adjacent à la zone en feu, susceptible d'être affecté par le rayonnement thermique.

#### III.2.3. Système d'extinction et de refroidissement

Scénario d'incendie impliquant l'activation simultanée des systèmes fixes d'extinction à eau et/ou à mousse pour combattre l'incendie dans la zone concernée, ainsi que les systèmes utilisés pour protéger les équipements adjacents (par refroidissement) potentiellement affectés par le rayonnement thermique.

### III.3. Paramètres exigés par les normes NFPA

Conformément aux normes NFPA, l'utilisation de mousses à bas foisonnement est recommandée pour combattre les incendies impliquant des liquides inflammables. Les normes spécifient des taux d'application et des durées d'extinction pour différents types de mousses. Ainsi, pour garantir la précision de nos calculs sur les besoins en eau du réseau étudié, il est crucial de consulter le tableau ci-dessous, conforme aux exigences NFPA, répertoriant les débits d'eau et de mousse recommandés ainsi que leurs durées d'application respectives.

Normes utilisées	Ddispositif de protection	Taux d'application (l/(min.m <sup>2</sup> )) / (l/(min.m))	Durée d'application (h)
NFPA 11	Déversoir à mousse	12.2 ( de la surafce du joint annulaire d bac a toit flottant)	0.3
NFPA 15	Courrone de refroidissement	15 (de la circonférence du bac en feu)	12
NFPA 11	Déversoir à mousse	4.1 ( de la surface du du joint annulaire d bac a toit fixe)	0.5
NFPA 15	Courrone de refroidissement	15 (de la circonférence des bacs avoisinants)	12
NFPA 13	16. 3 (de la surafce totale de la pmperie)		2

**Tableau III.1** : Base de calcul selon les normes NFPA.

#### III.4. Les différents scénarios du feu identifiés

Les Différents scénarios de feu identifiés sur le site sont illustrés dans le tableau qui suit, ils sont pris en compte dans les calculs qui seront développés en accord aux normes NFPA.

Identification	Scénarios	Surface (m <sup>2</sup> )	Périmètre (m)
1	Feu de joint annulaire du bac 4F6	104.40	175.90
2	Feu de joint annulaire du bac 4A7	104.40	175.90
3	Feu de joint annulaire du bac 4A8	104.40	175.90
4	Feu de joint annulaire du bac 4C9	104.40	175.90
5	Feu de joint annulaire du bac 4D10	104.40	175.90

Identification	Scénarios	Surface (m <sup>2</sup> )	Périmètre (m)
6	Feu de joint annulaire du bac 4B11	104.40	175.90
7	Feu de joint annulaire du bac 4B12	104.40	175.90
8	Feu de joint annulaire du bac 4 E1	104.40	175.90
9	Feu de joint annulaire du bac 4F5	104.40	175.90
10	Feu de joint annulaire du bac 4C4	104.40	175.90
11	Feu de joint annulaire du bac 4D3	104.40	175.90
12	Feu de joint annulaire du bac 4 E2	104.40	175.90
13	Feu de joint annulaire du bac 4Y1	201.10	50.30
14	Feu de joint annulaire du bac R13	127.10	213.60
15	Feu de joint annulaire du bac N14	127.10	213.60
16	Feu de joint annulaire du bac M20	127.10	213.60
17	Feu de joint annulaire du bac P21	127.10	213.60
18	Feu des pompes anti-incendie	210.00	–

**Tableau III.2** : Scénarios de feu identifiés au TMB.

### III.5. Analyse de la consommation d'eau

Le scénario du feu au niveau du joint de bac, implique l'évaluation des besoins en eau et en mousse pour les actions suivantes :

- ✓ La détection et l'extinction d'un feu sur le joint annulaire du bac, en utilisant des déversoirs à mousse fixes ;
- ✓ Le refroidissement complet de la surface extérieure (robe) du bac en feu ;
- ✓ Le refroidissement de la moitié de la surface de la paroi des trois bacs adjacents au maximum (seule la partie de la demi-paroi exposée à l'incendie qui sera considérée dans les calculs).

### III.6. Processus de calcul du besoin en eau et en mousse

En se basant sur la sélection effectuée dans le tableau (III.1), pour les différents systèmes de protection de l'installation en fonction des scénarios, il est primordial de déterminer la demande maximale en eau nécessaire pour le refroidissement et l'extinction du feu. Ce paramètre, appelé débit requis, correspond au scénario le plus critique du réseau anti-incendie [7]. Le calcul est effectué cas par cas pour les scénarios préalablement identifiés dans les deux terminaux (sud et nord).

Les Paramètres utilisés pour le dimensionnement du système d'approvisionnement en eau sont comme suit :

#### ✓ Taux d'application

C'est le Débit d'eau et de mousse spécifique à appliquer sur l'équipement en feu pour éteindre l'incendie (exprimé en l/(min.m<sup>2</sup>)), conformément à la norme NFPA.

#### ✓ Besoin d'eau maximale

Le débit d'eau maximal requis pour éteindre le scénario d'incendie dimensionnant, incluant le débit d'eau nécessaire à la formation de la mousse pour l'extinction, ainsi que le débit d'eau nécessaire au refroidissement du bac en feu et les bacs avoisinants.

#### ✓ Quantité de mousse maximale

C'est la quantité de mousse nécessaire pour l'extinction du scénario d'incendie dimensionnant.

### III.6.1. Méthode de détermination des débits requis pour l'extinction de feu

Comme il est déjà notifié dans le tableau (III.1), le taux d'application de mousse requis pour le processus de l'extinction est conforme aux exigences de la norme NFPA 11, qui est fixé à  $T = 12.2$  l/(min.m<sup>2</sup>). Le calcul du débit nécessaire pour l'extinction du feu du joint annulaire du bac en feu se fait par l'équation suivante :

$$Q_{\text{ext}} = T \times S_{\text{Bac}} \quad (\text{III.1})$$

Avec :

$Q_{\text{ext}}$  : Représente le débit nécessaire pour l'extinction du bac en feu en ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ou ( $\text{l}/\text{min}$ ) ;

$T$  : Représente le taux d'application de la mousse établi selon la NFPA 11 en ( $\text{l}/(\text{min}.\text{m}^2)$ ) ;

$S_{\text{Bac}}$  : Représente la surface du joint annulaire du bac en feu en ( $\text{m}^2$ ).

### III.6.2. Méthode de détermination de volume de mousse requis par l'unité de stockage et de dosage (USD)

Les durées d'extinction pour différents types de mousses, telles que mentionnées précédemment dans le tableau (III.1), font référence au temps requis pour éteindre complètement le feu. Ces durées d'application varient en fonction de l'équipement à protéger, et sont conformes aux exigences de la norme NFPA 11.

Notre étude se base sur l'extinction des incendies impliquant des produits inflammables. Dans ce contexte, le type de foisonnement de mousse recommandé est le bas foisonnement. Il est donc conseillé d'utiliser une concentration d'émulseur de 3% avec une concentration d'eau de 97%. Par la suite, nous supposons que la mousse présente des caractéristiques similaires à celles de l'eau, étant donné que la quantité d'émulseur est très faible par rapport à l'eau, Les hypothèses que nous adoptons pour les calculs du besoin d'eau, en considérant un fluide monophasique, sont donc également applicables aux calculs du besoin de mousse, qui est bi phasique.

L'équation de calcul du volume de mousse requis par l'USD est la suivante :

$$V = Q_{\text{ext}} \times t \times C_{\text{em}} \quad (\text{III.2})$$

Avec :

$V$  : Représente volume de mousse requis par l'USD en ( $\text{m}^3$ ) ;

$Q_{\text{ext}}$  : Représente le débit nécessaire pour l'extinction du bac en feu ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ;

$t$  : Représente la durée d'application de la mousse fixée par la norme NFPA 11 en (h) ;

$C_{\text{em}}$  : représente le pourcentage d'émulseur qui est fixé à 3% pour un bas foisonnement.

### III.6.3. Détermination des débits requis pour le refroidissement du bac en feu

Comme c'est mentionné dans le tableau (III.1), le débit d'eau pour le refroidissement est conforme à la spécification de la norme NFPA 15, à raison de

$T' = 15 \text{ l}/(\text{min}.\text{m})(\text{linéaire})$ . Le débit d'eau requis pour le refroidissement complet de la robe du bac en feu est calculé comme suit :

$$Q_{\text{ref-i}} = P_{\text{bac}} \times T' \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$Q_{ref-i}$  : Représente le débit nécessaire pour le refroidissement de la robe du bac en feu en ( $m^3/h$ ) ou en ( $l/min$ ) ;

$P_{bac}$  : Représente la circonférence de la robe du bac en feu en (m) ;

$T'$  : Représente le taux d'application d'eau établi selon la NFPA 11 en ( $l/(min.m)$ ).

#### III.6.4. Détermination des débits requis pour le refroidissement des bacs avoisinants

Le taux d'application d'eau pour le refroidissement est déterminé conformément à la norme NFPA 15, avec  $T' = 15 l/(min.m)$  linéaire. Étant donné que dans la majorité des scénarios de feu les réservoirs avoisinants partagent les mêmes caractéristiques géométriques, le débit de refroidissement est le même pour chacun d'eux. Cependant, cette fois-ci, le refroidissement est appliqué uniquement sur la moitié de la circonférence du bac avoisinant, correspondante à la partie exposée au flux thermique émis par l'incendie. Ceci est ajusté en considérant l'effet du rayonnement thermique, limitant le refroidissement à la moitié de la surface de la paroi des bacs adjacents.

Voici l'équation de calcul du débit de refroidissement des bacs avoisinants :

$$Q_{ref-j} = N \times P'_{bac} \times T' \quad (III.4)$$

Avec :

$Q_{ref-j}$  : Représente le débit nécessaire pour le refroidissement des demi-circonférences des bacs avoisinants en ( $m^3/h$ ) ou en ( $l/min$ ) ;

$N$  : Représente le nombre de bacs avoisinants (ayant les mêmes caractéristiques géométriques) ;

$P'_{bac}$  : Représente la demi-circonférence du bac affecté par le rayonnement thermique :

Avec :

$$P'_{bac} = \frac{P_{bac}}{2} \quad (III.5)$$

$T'$  : Représente le taux d'application d'eau établi selon la NFPA 11 en ( $l/(min.m)$ ).

#### III.6.5. Détermination du débit total d'eau pour le refroidissement

Étant donné que la demande en eau pour le refroidissement est évaluée pour chaque scénario de feu, nous pouvons calculer le débit d'eau total requis pour le refroidissement, ceci consiste à additionner les débits de refroidissement de chaque bac comme suit :

$$Q_{ref-tot} = \sum Q_{ref(i-j)} \quad (III.6)$$

#### III.6.6. Détermination du débit total d'eau

Étant donné que la demande en eau total est déterminée pour chaque scénario, nous pouvons calculer le débit d'eau total nécessaire pour l'extinction et le refroidissement. Ceci implique la somme des débits d'extinction et de refroidissement :



$$Q_{\text{eau-tot}} = Q_{\text{ref-tot}} + Q_{\text{ext}} \quad (\text{III.7})$$

Puisque le débit maximal dimensionnant pour l'installation correspond à la valeur la plus élevée parmi tous les débits des deux zones (nord et sud).

### III.6.7. Détermination du volume d'eau requis

La détermination du volume d'eau requis fait référence à la quantité d'eau nécessaire pour la formation de la quantité de mousse pour l'extinction ainsi que le refroidissement du bac en feu et les bacs adjacents, Voici comment est calculé le volume d'eau requis pour chaque scénario de feu analysé :

$$V = (Q_{\text{ext}} \times t_{\text{ext}}) + (Q_{\text{ref-tot}} \times t_{\text{ref}}) \quad (\text{III.8})$$

Avec :

$t_{\text{ext}}$ : Représente la durée d'application de la mousse pour l'extinction complète du feu fixée par la norme NFPA 11;

$t_{\text{ref}}$ : Représente la durée d'application de l'eau pour le refroidissement complet du bac en feu ainsi que les bacs adjacents fixée par la norme NFPA 13/15.

### III.7. Débit de marge de sécurité

Le "débit de marge de sécurité" désigne un débit supplémentaire d'eau prévu au-delà du strict nécessaire pour faire face à des situations imprévues ou pour garantir une marge de sécurité dans le fonctionnement des systèmes d'extinction d'incendie. Dans ce cadre, un débit additionnel, représenté par un débit de majoration de 6000 l/min (360 m<sup>3</sup>/h), est pris en compte juste dans le scénario d'incendie le plus dimensionnant. Ceci inclus aussi le débit supplémentaire de 189 l/min pour chacun des trois (3) tuyaux d'incendie à mousse requis par la norme NFPA 11. Le choix du nombre de tuyaux (3 tuyaux) a été effectué en se basant sur les exigences du tableau requis par la norme NFPA 11 :

Diameter of largest tank		Maximum number of hose streams required
m	ft	
Up to 19.5	Up to 65	1
19.5 to 36	65 to 120	2
Over 36	Over 120	3

**Tableau III.3** : Le choix du nombre de tuyaux selon la NFPA 11[20].

Ce surplus peut être appliqué à toutes les opérations d'intervention, qu'il s'agisse de refroidissement ou d'extinction, en fonction des équipements connectés à la nourrice, comme indiqué dans le schéma de la nourrice qui sera utilisée prochainement. Ce dernier est envisagé pour pouvoir fournir divers équipements mobiles (tels que des camions, des canons, des lances

A incendie, etc.) via une nourrice installée à proximité de la zone affectée par l'incendie, si nécessaire.

**III.8. Calcul du besoin d'eau**

Pour notre analyse, nous avons décidé d'étudier « 04 » scénarios d'incendie. Le premier scénario concerne le feu du joint du bac à toit flottant (4F5) du TMN, le Deuxième scénario examine l'incendie sur le toit du bac (4Y1) à toit fixe du TMN, et enfin, le troisième scénario concerne le feu du joint du bac (N14) à toit flottant du TMS, ainsi que le feu de la pomperie anti-incendie comme dernier cas à étudié. Pour chaque cas, nous allons calculer le nombre de buses et de déversoirs à installer afin de protéger ces bacs en feu, tout en déterminant leurs débits de décharge et leurs pressions opératives associées.

**III.8.1. Cas -A- : scénario de feu de joint annulaire du toit flottant du bac 4F5 du TMN**

Ce scénario de feu implique :

- ❖ L'Application d la mousse sur le joint annulaire du bac 4F5 pour l'extinction du feu ;
- ❖ Refroidissement total de la paroi du bac en feu ;
- ❖ Refroidissement de la demi-circonférence des bacs avoisinants (4Y1, 4C4) qui sont affectés par l'effet du rayonnement thermique.

Les résultats des calculs des différents débits et volumes sont réalisés, sont illustrés dans le tableau suivant :

Système d'extinction	T (l/(min.m <sup>2</sup> ))	S4F5 (m <sup>2</sup> )	Q <sub>ext</sub> (l/min)	Q <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t(h)	C <sub>em</sub> (%)	V (m <sup>3</sup> )
	12.20	104.40	1273.68	74,42	0,3	0,03	0,66978
système de refroidissement	T' (l/(min.m))	P <sub>4F5</sub> (m)	Q <sub>ref-4F5</sub> (l/min)	Q <sub>ref-4F5</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	175,9	2638,5	158,31	12	1899,72	
	T' (l/(min.m))	P' <sub>4Y1</sub> (m)	Q <sub>ref-4Y1</sub> (l/min)	Q <sub>ref-4Y1</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	50.3	754.5	45.27	12	543,24	
	T' (l/(min.m))	P' <sub>4C4</sub> (m)	Q <sub>ref-4C4</sub> (l/min)	Q <sub>ref-4C4</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	88	1320	79.20	12	950	
			Σ	124,27	Σ	1491,24	
<b>Volume requis total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>3413,286</b>						

**Tableau III.4 :** Calcul du besoin d'eau pour le premier scénario de feu.

**III.8.1.1. Calcul du nombre de déversoirs à mousse à installer**

Le nombre de déversoirs à mousse à installer pour la protection du toit du bac 4F5 est déterminé en fonction du diamètre du bac (Voire chapitre II), en prenant compte aussi de ces paramètres suivant :

- Hauteur = 610 mm = 0.61 m
- P= 175.90 m
- Longueur qui sépare les déversoirs autours de la circonférence du bac, qui est en accord avec la norme NFPA11 : L= 24.40 m.

Le nombre de déversoirs se calcule comme suit :

$$N_D = \frac{P_{4F5}}{L} \quad (III.9)$$

$$N_D = \frac{175.90}{24.40} = 8 \text{ déversoirs}$$

Vérification : Selon le tableau (II.4) du chapitre (II) :

On a :  $D_{4F5} = 56$  m, puisque  $(54 < D_{4F5} < 60)$ , Donc :  $N_D = 8$  déversoirs.

**III.8.1.2. Calcul de la capacité de décharge (pour chaque déversoir)**

La capacité de décharge d'un déversoir, également appelée débit de décharge, représente la quantité de mousse que le déversoir est capable de délivrer par unité de temps, elle se calcule comme suit :

$$Q_{\text{Dech}} = \frac{Q_{\text{ext-4F5}}}{N_D} \quad (III.10)$$

$$Q_{\text{Dech}} = \frac{1273.68}{8} = 159.21 \text{ l/min}$$

**III.8.1.3. Calcul du nombre de buses (pulvérisateurs)**

Selon les exigences de la norme NFPA 11 le nombre de buses qui devront être installé dans les demi-couronnes de refroidissement est déterminé en fonction de la typologie des buses et de la géométrie du système (voire Chapitre II), en accord avec la norme NFPA 15 en prend en compte les paramètres suivants :

- Typologie : jet plat ;
- Angle de pulvérisation :  $140^\circ$  ;
- Angle d'inclination :  $20^\circ$  ;
- Distance entre les buses : L=2.5m (en accord avec la norme NFPA15) ;
- Distance entre la buse et la robe du bac est de :  $L' \approx 0.45$  m.

$$N_B = \frac{P_{4F5}}{L} \quad (III.11)$$

$$N_B = \frac{175.9}{2.5} = 71 \text{ buses}$$

On doit installer 71 buses pour la couronne complète, mais puisque on a fait notre calcul à base des demi-couronnes donc :  $N_B = 36$  buses (pour chaque demi-couronne).

#### III.8.1.4. Calcul du débit de décharge

Le débit de décharge de chaque buse se calcule comme suit :

$$Q_{\text{Dech}}' = \frac{Q_{\text{ref-4F5}}}{N_B} \quad (\text{III.12})$$

$$Q_{\text{Dech}}' = \frac{2638.5}{71} = 36,64 \text{ l/min}$$

#### III.8.1.5. Calcul de la pression opérative

La pression opérative se calcule de la façon suivant :

$$K = \frac{Q_{\text{Dech}}'}{\sqrt{P}} \quad (\text{III.13})$$

Sachant que :

K Représente le coefficient de pression selon la norme NFPA 15,  $K=17$ .

$$P = \frac{Q_{\text{Dech}}'^2}{K^2} \quad (\text{III.14})$$

$$P = \frac{(36.64)^2}{(17)^2} = 5 \text{ bars}$$

Cette analyse est applicable et valable pour tous les bacs à toit flottant installés dans le TMN (sauf le bac à toit fixe 4Y1 car il dispose des caractéristiques géométriques différentes).

Les évaluations pour le bac 4F5 ainsi que pour tous les autres bacs à toit flottant du TMN, nécessitent l'installation de huit (8) nouveaux déversoirs à mousse. Ces déversoirs doivent avoir une capacité de décharge de 159 l/min afin d'assurer la protection du toit du bac.

Concernant les couronnes de refroidissement pour préserver la robe du bac, il est requis d'installer trente-six (36) nouvelles buses pour chaque demi-couronne du bac. Ces buses doivent avoir un débit de décharge de 36.64 l/min à une pression opérative de 5bars.

#### III.8.2. Cas -B- : scénario de feu du toit fixe du bac 4Y1 du TMN

Ce scénario de feu implique :

- ❖ L'application de la mousse sur le toit fixe du bac 4Y1 pour l'extinction du feu ;
- ❖ Refroidissement total de la paroi du bac en feu ;
- ❖ Refroidissement de la demi-circonférence des bacs avoisinants (4F5) affecté par l'effet du rayonnement thermique.

Les résultats des calculs des différents débits et volumes sont illustrés dans le tableau suivant :

Cas-B-: Scénario de feu du toit fixe du bac (4Y1) du (TMN)							
Système d'extinction	T (l/(min.m <sup>2</sup> ))	S <sub>4Y1</sub> (m <sup>2</sup> )	Q <sub>ext</sub> (l/min)	Q <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t(h)	C <sub>em</sub> (%)	V (m <sup>3</sup> )
		4,1	201,1	824,51	49,47	0,5	0,03
système de refroidissement	T' (l/(min.m))	P <sub>4Y1</sub> (m)	Q <sub>ref-4Y1</sub> (l/min)	Q <sub>ref-4Y1</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	50,3	754,5	45,27	0,5	22,635	
	T' (l/(min.m))	P' <sub>4F5</sub> (m)	Q <sub>ref-4F5</sub> (l/min)	Q <sub>ref-4F5</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	88	1320	79,2	12	950,4	
			Σ		124,47	Σ	
Volume total (m <sup>3</sup> )	997,77						

Tableau III.5 : Calcul du besoin d'eau pour le deuxième scénario de feu.

III.8.3. Cas -C- : scénario de feu du joint annulaire du bac (N14) du TMS

Ce scénario de feu implique :

- ❖ L'application de la mousse sur le toit fixe du bac N14 pour l'extinction du feu ;
- ❖ Refroidissement total de la paroi du bac en feu ;
- ❖ Refroidissement de la demi-circonférence des bacs avoisinants (R13, P21, M20) affecté par le rayonnement thermique.

Les résultats des calculs des différents débits et volumes sont illustrés, dans le tableau suivant :

Cas-C-: Scénario de feu du joint du bac (N14) du (TMS)							
Système d'extinction	T(l/(min.m <sup>2</sup> ))	S <sub>N14</sub> (m <sup>2</sup> )	Q <sub>ext</sub> (l/min)	Q <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t(h)	C <sub>em</sub> (%)	V(m <sup>3</sup> )
		12.20	127,1	1550,05	93,03	0,3	0,03
système de refroidissement	T'(l/(min.m))	P <sub>N14</sub> (m)	Q <sub>ref-4F5</sub> (l/min)	Q <sub>ref-N14</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	213,6	3204	192,3	12	2307,6	
	T'(l/(min.m))	P' <sub>(R13,P21,M20)</sub> (m)	Q <sub>ref-</sub> (R13,P21,M20) (l/min)	Q <sub>ref-</sub> (R13,P21,M20)(m <sup>3</sup> /h)	t'(h)	V <sub>requis</sub> (m <sup>3</sup> )	
	15	106,8	4806	288,8	12	3465,6	
			Σ		481,1	Σ	
V total (m <sup>3</sup> )	5801,109						

Tableau III.6 : Calcul du besoin d'eau pour le troisième scénario de feu.

En utilisant une méthode similaire à celle appliquée précédemment dans le cas (A) pour le calcul du nombre de déversoirs et de buses, ainsi que de leurs débits de décharge et de leurs pressions opératives, les résultats pour les cas (B) et (C) étudiés sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Les paramètres	Cas (B)	Cas (C)
P (m)	50,3	213,6
L (m)	50	24,4
$N_D$	1	9
$Q_{ext}$ (l/min)	824,51	1550,62
$Q_{dech}$ (l/min)	830	172,2
L' (m)	2,5	2,5
$N_B$ (pour la couronne)	20	86
$N_B$ (pour la demi-couronne)	10	43
Q ref (l/min)	751,5	3204
Q'dech (l/min)	38	37,26
K	17	17
P (bar)	5	5

**Tableau III.7:** résultats de calculs des paramètres pour le cas (B) et (C).

Synthèse et analyse des résultats obtenus :

- Dans le cas du bac 4Y1, avec un diamètre inférieur à 24m, un seul déversoir à mousse est nécessaire, capable de décharger 830 l/min. Pour la couronne de refroidissement, 10 buses sont nécessaires pour chaque demi-couronne, chacune délivrant un débit de 38 l/min à une pression opérative de 5 bar.
- Pour le bac N14, avec un diamètre de 68m, neuf déversoirs à mousse sont requis, chacun capable de décharger 172.20 l/min. De même, 43 bus sont nécessaires pour chaque demi-couronne, avec un débit de décharge de 38 l/min à une pression opérative de 5 bars.

Cette analyse s'étend à tous les bacs à toit flottant dans le TMS, indiquant qu'il est crucial d'installer le nombre approprié de déversoirs à mousse et de buses pour assurer une protection efficace en cas d'urgence.

#### III.8.4. Cas -D- : scénario des pompes anti-incendie

Dans ce scénario, il est prévu une consommation d'eau pour répondre aux mesures de lutte contre l'incendie suivantes :

- ❖ Extinction d'un feu dans la salle des pompes anti-incendie, avec activation du système à sprinklers selon la norme NFPA 15.
- ❖ Le système à sprinklers pour la protection de la pomperie incendie est alimenté par le réseau d'eau incendie lui-même.
- ❖ Application de l'eau sur la surface de la pomperie ( $S_p=210m^2$ ).

Les résultats des calculs des différents débits et volumes sont illustrés dans le tableau suivant :

Cas-D-: scénario pompe anti-incendie					
Système à Sprinkler	T''(l/(min.m <sup>2</sup> ))	S <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> )	Q <sub>ext-p</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t''(h)	Volume total requis (m <sup>3</sup> )
	16,3	210	205,4	2	410,8

**Tableau III.8 :** Calcul du besoin d'eau pour le quatrième scénario de feu.

### III.8.4.1. Calcul du nombre de buses (pulvérisateurs)

Selon les exigences de la norme NFPA 11 le nombre de buses qui devront être installé est déterminé en fonction de la typologie des buses et de la géométrie du système (voire Chapitre II), en accord avec la norme NFPA 13 en prend en compte les paramètres suivants :

- Typologie : jet plat ;
- Angle de pulvérisation : 140° ;
- Angle d'inclinaison : 20° ;
- Distance entre les buses : L=8m (en accord avec la norme NFPA15)
- La superficie de la pomperie incendie a été estimée à :  $S_p= 21 \times 10 = 210 m^2$ .
- Selon NFPA 15 il a été considéré qu'un sprinkler peut protéger jusqu'à  $S'=8m^2$ .

Le nombre de sprinkler à installer se calcule par la méthode ci-dessous :

On a: 
$$N_s = \frac{S_p}{S'} \tag{III.15}$$

$$N_s = \frac{210}{8} \approx 26 \text{ sprinklers}$$

### III.8.4.2. Calcul du débit de décharge

On a: 
$$Q_{\text{Dech}'} = \frac{Q_{\text{req-pom}}}{N_s} \tag{III.16}$$

$$Q_{\text{Dech}'} = \frac{3423}{26} \approx 132 \text{ l/min}$$

### III.8.4.3. Calcul de la pression opérative

On a: 
$$K = \frac{Q_{\text{Dech}'}}{\sqrt{P}} \tag{III.17}$$

Sachant que :

K représente le coefficient de pression selon la norme NFPA 15 avec  $K=59$

$$P = \frac{Q_{Dech}^2}{K^2} \quad (III.18)$$

$$P = \frac{(132)^2}{(59)^2} = 5\text{bar}$$

### III.9. Analyses des calculs du besoin d'eau

Maintenant que nous avons traité le calcul du besoin d'eau pour les « 04 » cas distincts afin de déterminer les débits requis pour le refroidissement et l'extinction des incendies dans chaque zone, il s'agit du même principe de calcul qui s'applique pour les différents bacs à toit flottant du TMN ainsi que les bacs à toit flottant du TMS, nous allons résumer les différents résultats de calcul de tous les scénarios analysés.

Les Tableaux présentés en annexe (1) et (2) montrent les résultats du calcul des besoins en eau et en mousse pour l'extinction, ainsi que les débits des demi-couronnes de refroidissement pour chaque scénario de feu identifiés respectivement.

D'après les résultats illustrés dans le tableau de l'annexe (3), confirment le scénario de feu dimensionnant, il est identifié comme le feu du joint du bac N14 au TMS. Ce scénario implique l'utilisation d'eau et de mousse pour répondre aux actions de lutte contre l'incendie suivantes :

- Détection/Extinction automatique d'un feu au niveau du joint annulaire du plus grand bac (à TMS), en utilisant des déversoirs à mousse fixes ;
- Refroidissement de la surface extérieure (robe) du bac en feu ;
- Refroidissement de la moitié de la surface de la paroi des trois bacs avoisinants au maximum;
- Un débit additionnel de 189 l/min est nécessaire pour chacun des trois (3) tuyaux d'incendie à mousse conformément à la norme NFPA 11 :

$$Q_{adt-tot} = N_{ty} \times Q_{adt} \quad (III.19)$$

$$Q_{adt-tot} = 3 \times 189 = 567 \text{ l/min} = 34.02 \text{ m}^3/\text{h}$$

On doit appliquer ce débit a une durée déterminée par NFPA 11 et qui est fixé à  $t_1=30\text{min}=0.5\text{h}$ ,

Donc :

$$V_{ad} = Q_{adt-tot} \times t_1 \quad (III.20)$$

$$V_{ad} = 34.02 \times 0.5 = 17.01 \text{ m}^3$$

- Une majoration de 360 m<sup>3</sup>/h est ajoutée au débit calculé pour permettre l'utilisation éventuelle de moyens mobiles. Cela inclut le débit additionnel de 189 l/min pour chacun des



Trois (3) tuyaux d'incendie à mousse requis par la norme NFPA 11 (donc on doit soustraire le débit additionnel pour des trois (3) tuyaux d'incendie, comme suit :

$$Q' = 360 - 34.02 = 326 \text{ m}^3/\text{h} \quad (\text{III.21})$$

Cela doit être pris en compte comme une marge de sécurité pour le dimensionnement du système de lutte contre l'incendie.

- En tenant compte de cette augmentation de  $Q_{\text{maj}} = 360 \text{ m}^3/\text{h}$ , le débit d'eau incendie nécessaire pour répondre aux besoins en eau et en mousse pour le scénario de feu dimensionnant devient :

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{req}} + Q' \quad (\text{III.22})$$

$$Q_{\text{tot}} = 557.02 + 326 = 883.02 \text{ m}^3/\text{h}$$

### III.10. Réserve d'eau anti-incendie

La conception de la réserve d'eau incendie est conforme aux exigences des normes NFPA 22 et API 650. En accord avec les spécifications de Sonatrach afin de garantir une autonomie de lutte contre l'incendie de 12 heures, nous calculons le volume d'eau nécessaire pour l'extinction et le refroidissement comme suit : en prenant en compte la majoration de  $360 \text{ m}^3/\text{h}$  mentionnée précédemment, la capacité opérationnelle du bac d'eau incendie est calculée comme suit :

$$V'_{\text{max}} = V_{\text{max}} + (Q' \times t_1) \quad (\text{III.23})$$

$$V'_{\text{max}} = 5795.11 + (326 \times 0.5) = 5958.11 \text{ m}^3$$

Ainsi, cette capacité assure un débit d'eau incendie continu pendant 12h.

Dans le tableau suivant on résume les caractéristiques techniques de la réserve d'eau incendie :

Diamètre (m)	26.50
Hauteur (m)	14.00
Capacité opérationnelle (m <sup>3</sup> )	5958.11
Capacité nominale (m <sup>3</sup> )	7626.38
Fluide stocké	Eau
Densité (Kg/m <sup>3</sup> ) à T = 30°C	1025
Viscosité cinématique (cP)	1.25
Température AMB (°C)	Min = 20 ; Max = 40
Débit des pompes (m <sup>3</sup> /h)	In = 1408 ; Out = 883.02
Pression de fonctionnement	Atmosphérique

**Tableau III.9** : Les caractéristiques de la réserve d'eau incendie.

Vous trouverez le schéma de la réserve d'eau incendie dans l'annexe (n°4).

### III.10.1. Recommandations

- ❖ La réserve d'eau incendie est adéquate pour contenir eau douce et aussi eau de mer, dans les cas d'urgence.
- ❖ Un système est conçu pour remplir le bac d'eau incendie de manière automatique, démarrant lorsque le niveau d'eau dans le bac est trop bas et s'arrêtant une fois le bac est rempli. Ce système sera connecté à l'alimentation principale en eau douce, ainsi qu'à l'eau de puits de forage et au système d'eau de mer pour une utilisation en cas d'urgence, (voire l'annexe (4)).
- ❖ Le processus de remplissage du bac d'eau incendie devra être achevé en moins de 36 heures, conformément à la Norme européenne EN 1284.

### III.11. Système d'appoint en eau de mer

Un nouveau système semi-fixe d'appoint d'eau de mer sera intégré pour les deux terminaux, afin d'effectuer un remplissage de la réserve d'eau incendie en cas d'urgence. Le réseau aura un débit de  $Q_{mer}=500 \text{ m}^3/\text{h}$ , alimenté par une motopompe de 42". Bien qu'il ne réponde pas aux normes NFPA, ce système fournira un débit supplémentaire en cas d'incendie, aidant à réduire les risques d'escalade. Il sera connecté à des camions incendie pour les éteindre, avec suffisamment de mousse pour couvrir environ  $2000 \text{ m}^2$  de feu. En combinant les systèmes d'eau douce et d'eau de mer, le débit total atteindra :

$$Q_{final} = Q_{tot} + Q_{mer} \quad (\text{III.24})$$

$$Q_{final} = 883.02 + 500 = 1383 \text{ m}^3/\text{h}$$

### III.12. Réserve stratégique d'émulseur

La réserve stratégique d'émulseur, doit respecter les caractéristiques principales énumérées ci-dessous :

- Capacité de stockage :  $10 \text{ m}^3$  ;
- Emulseur : de type FFFP avec une concentration de 3%, de classe I pour son action filmogène ;
- Pression de fonctionnement : atmosphérique ;
- Matériau de construction : fibre de verre avec résine époxyde, Afin de prévenir tout problèmes de corrosion et de bénéficier de sa grande résistance à la chaleur.

Pour répondre aux besoins de mousse en cas d'incendie impliquant les joints de trois bacs (au TMN) et de deux bacs (au TMS), chaque USD sera dédié à cette fonction. En amont de l'USD sur le réseau d'eau incendie, une vanne est installée, et en aval de l'USD, trois ou deux vannes sont disposées selon le nombre de bacs concernés, permettant l'extinction d'un incendie

Impliquant respectivement trois ou deux bacs (un bac à la fois). Lorsqu'une centrale d'alarme indique un incendie confirmé, la vanne correspondante sera activée en fonction de l'emplacement de l'incident. Le nombre d'unités de stockage et de dosage sera ajusté en fonction de l'emplacement des bacs et des besoins en mousse spécifiques à chaque bac. Les capacités de stockage des USD à installer à la fois dans le TMN et dans le TMS sont déterminées en tenant compte de la quantité de mousse nécessaire pour différents scénarios d'incendie, comme répertorié dans le Tableau suivant :

Nombre des USD	Quantité des cuves	Capacité de chaque cuve (m <sup>3</sup> )
TMN-01-USD-001	02	1.5
TMN-01-USD-002	02	1.5
TMN-01-USD-003	02	1.5
TMN-01-USD-004	02	1.5
TMN-01-USD-005	01	1.5
TMN-01-USD-006	02	1.5
TMN-01-USD-007	02	1.5

**Tableau III.10** : Les capacités des USD.

### III.13. Les Nourrices

Les nourrices sont positionnées stratégiquement dans l'usine à une distance maximale de 80 m, être facilement accessibles et conformes à la norme NFPA 24. Elles protègent les équipements adjacents et être utilisables en situation d'urgence. Les caractéristiques principales sont les suivantes :

- ❖ Nourrices connectées au réseau d'eau incendie :
  - Connexion : 8" ;
  - Pression de design : 18 bars ;
  - Pression de fonctionnement : 7-13.7 bars ;
  - Débit : 360 m<sup>3</sup>/h à 12 bars.
- ❖ Nourrices connectées au réseau d'eau de mer :
  - Connexion : 8" ;
  - Pression de design : 14 bars ;
  - Pression de fonctionnement : 7-11.4 bars ;
  - Débit : 360 m<sup>3</sup>/h à 8 bars.

### III.14. Répartition des débits et équilibrage du réseau

L'objectif principal d'un réseau de distribution est de ramener l'eau depuis la réserve d'eau incendie jusqu'aux consommateurs tels que : les déversoirs ainsi que les buses, à des pressions opératives souhaitées et des vitesses bien déterminées. Dans cette partie on s'intéressera au dimensionnement du réseau incendie du TMS (Voir annexe n°5).

Comme nous l'avons déjà calculé, la demande d'eau s'avère être la plus élevée au TMS (Bac N14). Étant donné que nous avons également spécifié que le dimensionnement du réseau prend en compte un incendie se limitant à une seule zone de stockage, nous ajusterons en conséquence le dimensionnement du réseau selon les débits requis de cette zone prioritaire.

Le tableau ci-dessous expose les données géométriques de chaque tronçon du réseau, ainsi que leur coefficient de Hazen-Williams (CHW) :

	Tronçons(Ni-Nj)	Ltot(m)	Diamètre (m)	C <sub>HW</sub>	Maille adjacente
<b>Maille1</b>	N1-N2	493,027	0,205	120	—
	N1-N9	440,215	0,205	120	—
	N9-N10	158,209	0,205	120	M2
	N10-N2	62,109	0,205	120	M2
	Σ	1153,56			
<b>Maille2</b>	N9-N10	158,209	0,205	120	M1
	N10-N2	62,109	0,205	120	M1
	N9-N8	282,005	0,205	120	—
	N8-N7	185,904	0,205	120	—
	N2-N12	359,968	0,205	120	M3
	N12-N11	167,767	0,205	120	M3
	N11-N7	74,831	0,205	120	M3
Σ	1290,793				
<b>Maille3</b>	N2-N3	195,169	0,205	120	—
	N3-N4	195,169	0,205	120	—
	N4-N5	195,169	0,205	120	—
	N2-N12	359,968	0,205	120	M2
	N12-N11	167,767	0,205	120	M2
	N11-N7	74,831	0,205	120	M2
	N7-N6	260,73	0,205	120	—
	N6-N5	164,636	0,205	120	—
Σ	1613,439				

**Tableau III.11** : Les caractéristiques géométriques des Tronçons.

Il est à noter que, si la vitesse d'écoulement excède 3 m/s, des corrections seront apportées à ces diamètres afin de réduire au maximum les pertes de charge dans le réseau. La norme NFPA15 recommande l'utilisation d'acier noir neuf pour les Conduites, avec un facteur de Hazen-Williams C<sub>HW</sub> égale à 120 (comme c'est indiqué dans le chapitre (II)).

La détermination de la répartition arbitraire des débits initiaux dans le réseau maillé du (TMS) se fait de la manière suivante :

- ✓ Evaluation de la longueur totale de chaque tronçon de chaque maille du réseau. Notez que  $L_{tot}$  est égal à la longueur de chaque tronçon en addition aux Longueur équivalente de chaque accessoire et raccords ;
- ✓ Evaluation de la longueur totale de tout le réseau du TMS ;
- ✓ L'estimation du débit initial de chaque tronçon du réseau, nous utilisons la méthode suivante :  
Nous avons pris en compte le débit total refoulé par les deux pompes principales (ou par la motopompe) pour le cas le plus défavorable ( $Q_{tot} = 883,02 \text{ m}^3/\text{h}$ ), représentant le débit total nécessaire pour alimenter l'ensemble du réseau (débit de pointe). Puisque nous disposons des longueurs totales de chaque tronçon ainsi que celle de l'ensemble du réseau (TMS), nous calculons les débits initiaux [33], comme suit :

#### ✚ Débit spécifique

$$Q_s = \frac{Q_p}{\sum L_{i-j}} \quad (\text{III.25})$$

Avec :

$Q_p$  : représente le débit de pointe en ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ou ( $\text{l/s}$ ) ;

$L_{i-j}$  : représente la longueur totale du tronçon ( $N_{i-j}$ ) en (m) ;

$Q_s$  : représente le débit spécifique en ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ou ( $\text{l/s}$ ).

#### ✚ Débit de route :

$$Q_r = Q_{i-j} = Q_s \times L_{i-j} \quad (\text{III.26})$$

$Q_r$  : Représente le débit circulant dans un tronçon ( $N_{i-j}$ ) en ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ou ( $\text{l/s}$ ).

On remplaçant l'équation (III.25) dans l'équation (III.26) on trouve que :

$$Q_r = Q_{i-j} = \frac{Q_p}{\sum L_{i-j}} \times L_{i-j} \quad (\text{III.27})$$

Dans le tableau Ci-dessous, nous montrons les résultats de la répartition arbitraire des débits initiaux tout au long des tronçons du réseau :

	Tronçons(Ni-Nj)	Ltot(m)	Qi(m <sup>3</sup> /h)	Qi(m <sup>3</sup> /s)	Diamètre (m)	vitesse (m/s)
<b>Maille1</b>	N1-N2	493,027	466,19	0,12913463	0,205	3,91440127
	N1-N9	440,215	416,52	0,11537604	0,205	3,49734318
	N9-N10	158,209	133,33	0,03693241	0,205	1,119515908
	N10-N2	62,109	133,33	0,03693241	0,205	1,119515908
	Σ	1153,56				
<b>Maille2</b>	N9-N10	158,209	133,33	0,03693241	0,205	1,119515908
	N10-N2	62,109	133,33	0,03693241	0,205	1,119515908
	N9-N8	282,005	283,18	0,07844086	0,205	2,377743306
	N8-N7	185,904	283,18	0,07844086	0,205	2,377743306
	N2-N12	359,968	161,12	0,04463024	0,205	1,352856845
	N12-N11	167,767	161,12	0,04463024	0,205	1,352856845
	N11-N7	74,831	161,12	0,04463024	0,205	1,352856845
	Σ	1290,793				
<b>Maille3</b>	N2-N3	195,169	388,86	0,10771422	0,205	3,265093798
	N3-N4	195,169	388,86	0,10771422	0,205	3,265093798
	N4-N5	195,169	388,86	0,10771422	0,205	3,265093798
	N2-N12	359,968	161,12	0,04463024	0,205	1,352856845
	N12-N11	167,767	161,12	0,04463024	0,205	1,352856845
	N11-N7	74,831	161,12	0,04463024	0,205	1,352856845
	N7-N6	260,73	444,3	0,1230711	0,205	3,730600151
	N6-N5	164,636	444,3	0,1230711	0,205	3,730600151
Σ	1613,439					

**Tableau III.12** : Répartition arbitraire des débits initiaux du réseau TMS.

### III.14.2. Analyse des résultats obtenus

Comme nous pouvons le voir dans le tableau ci-dessous, la vitesse de certains tronçons dépasse les 3 m/s requis par la norme NFPA 15. Par conséquent, nous devons ajuster cela en corrigeant le diamètre intérieur de ces conduites.

Une fois que les débits initiaux de chaque tronçon ont été estimés, le calcul du réseau maillé devient complexe que le réseau ramifié et plusieurs méthodes ont été développées pour le réaliser. L'une des approches les plus couramment utilisées est la méthode de Hardy Cross, qui repose sur des itérations successives et qui a été bien expliquée et détaillée dans le chapitre précédent.

Pour chaque maille, on choisit initialement une répartition arbitraire des débits ainsi qu'une direction d'écoulement, tout en respectant cette première loi. Par conséquent, dans chaque boucle, l'orientation positive est déterminée par le sens contraire des aiguilles d'une montre, tandis que le sens d'écoulement de l'eau est indiqué par les flèches. Dans le cas de deux mailles adjacentes, la conduite commune sera influencée par les deux ajustements (correction) des débits calculés pour chacune des mailles, chacun portant son propre signe.

Vous trouverez les résultats de la première itération après l'application de la Méthode Hardy Cross dans l'annexe n°6.

### III.14.3. Analyse des résultats de la première itération

Après avoir terminé les calculs de la première itération du réseau (Voir annexe n°6), le débit n'a pas convergé vers la précision souhaitée, et les pertes de charge sont également importantes. Comme nous disposons d'un réseau maillé, il est impératif de respecter et de vérifier la deuxième loi de Kirchhoff dans toutes les mailles. Si cette condition n'est pas satisfaite dès la première itération, il est nécessaire d'effectuer d'autres itérations jusqu'à ce que nous obtenions la précision désirée pour le débit de correction ainsi que des pertes de charge se rapprochant de zéro, afin d'assurer l'équilibrage de l'ensemble du réseau du TMS.

Les résultats définitifs des autres itérations sont exposés dans les tableaux en annexe (voire les Annexes n° 7,8).

### III.14.4. Analyse des résultats de la deuxième et troisième itération

A partir de ces résultats, nous pouvons constater que la vitesse d'écoulement dans le tronçon (N1-N2) et (N1-N9) de la maille (I), est très élevée comparativement à ce qu'exige La norme NFPA 15. Une correction du diamètre intérieur de ces deux tronçons s'impose. Puisque la vitesse et le diamètre sont reliés par la relation suivante :

$$Q_v = v \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{III.28})$$

Donc :

$$v = \frac{4Q_v}{\pi D^2} \quad (\text{III.29})$$

Augmenter le diamètre intérieur des deux tronçons serait la solution adéquate pour remédier au problème de l'augmentation de la vitesse. Après correction du diamètre des deux tronçons concernés, c'est-à-dire en posant  $D=300\text{mm}$ , les résultats finaux sont représentés dans le tableau suivant :

Tronçon (Ni-Nj)	Ltot (m)	Diamètre (m)	Chw	Qi (m³/S)	V (m/S)
N1-N2	493,027	0,3	120	0,12660732	1,792035669
N1-N9	440,215	0,3	120	-0,117279959	-1,660013574
N9-N10	158,209	0,205	120	-0,039958546	-1,211245839
N10-N2	62,109	0,205	120	-0,039958546	-1,211245839
Σ	1153,56				
N9-N10	158,209	0,205	120	0,039958353	1,226868891
N10-N2	62,109	0,205	120	0,039958353	1,211239988
N9-N8	282,005	0,205	120	-0,076970786	-2,333181599

Tronçon (Ni-Nj)	Ltot (m)	Diamètre (m)	Chw	Qi (m <sup>3</sup> /S)	V (m/S)
N8-N7	185,904	0,205	120	-0,077053557	-2,365828543
N2-N12	359,968	0,205	120	0,045037105	1,365189965
N12-N11	167,767	0,205	120	0,045037105	1,365189965
N11-N7	74,831	0,205	120	0,045037105	1,365189965
Σ	1290,793				
N2-N3	195,169	0,205	120	0,017198227	0,521322295
N3-N4	195,169	0,205	120	0,017198227	0,521322295
N4-N5	195,169	0,205	120	0,017198227	0,521322295
N2-N12	359,968	0,205	120	-0,045037105	-1,365189965
N12-N11	167,767	0,205	120	-0,045037105	-1,365189965
N11-N7	74,831	0,205	120	-0,045037105	-1,365189965
N7-N6	260,73	0,205	120	-0,01958909	-0,593795474
N6-N5	164,636	0,205	120	-0,01958909	-0,593795474
Σ	1613,439				

**Tableau III.13** : Ajustement de la vitesse après le réglage du diamètre des tronçons.

Comme nous pouvons le constater les résultats des vitesses sont largement inférieurs aux exigences de la norme NFPA 15, indiquant ainsi que les corrections des diamètres proposés sont appropriées pour les conduites de ce réseau.

Après avoir effectué trois itérations successives de la méthode de Hardy Cross sans parvenir à une convergence vers zéro pour les pertes de charge, nous avons décidé de reprogrammer cette méthode en utilisant l'environnement Matlab. Étant donné que nous disposons d'un réseau maillé, il est donc essentiel d'assurer la connectivité des nœuds pour garantir un équilibrage efficace. Nous avons commencé par établir la connectivité des nœuds à l'aide de la matrice d'adjacence, puis visualisé le réseau dans Matlab. Vous trouverez le script détaillé en annexe (n°9), et le réseau visualisé en annexe (n°10).

Ce travail de préparation était indispensable avant de programmer la méthode de Hardy Cross. Pour améliorer la convergence, nous avons intégré la méthode de dichotomie, réduisant ainsi le nombre d'itérations nécessaires. Cette approche nous permet d'atteindre une convergence plus rapide et précise, assurant l'équilibrage optimal de notre réseau maillé, vous trouverez le programme Matlab détaillé pour cette méthode optimisée en annexe (voir annexe n°11).



### III.14.5. Interprétation des résultats

Une fois que nous avons simulé le programme, la fenêtre de commande Matlab a indiqué que la convergence de la méthode était atteinte après une seule itération. Cela démontre que l'intégration de la méthode de dichotomie dans le programme de Hardy Cross a conduit à une précision et une optimisation significativement améliorées de la convergence. Par conséquent, l'équilibrage du réseau est réalisé de manière plus efficace et fiable. Ces résultats confirment que notre approche optimisée est non seulement plus rapide mais également plus précise, garantissant ainsi un fonctionnement optimal du réseau maillé.

### III.15. Calcul des pertes de charge

Afin de calculer les pertes de charge, nous devons suivre plusieurs chemins en partant de deux pompes principales jusqu'au point le plus éloigné de la zone sud (TMS). En utilisant cette méthode, nous identifions le circuit présentant les pertes de charge les plus élevées, qui correspondent à la maille (III).

La somme des pertes de charge du circuit le plus contraignant est calculée comme suit :

$$\sum H_v = H_{N2-N5} + H_{N2-N12} + H_{N12-N1} + H_{N11-N7} + H_{N7-N6} + H_{N6-N5} \quad (\text{III.30})$$

$$\sum H_v = 5.38+3.54+1.82+0.81+6.07+3.93$$

$$\sum H_v = 21.55 \text{ m}$$

Tenant en compte de l'approximation que les ingénieurs hydrauliciens prennent en considération que les pertes de charge singulière sont calculées comme suit :

$$\sum H_s = 15\% \sum H_v \quad (\text{III.31})$$

Donc :

$$\sum H_s = 0.15 \sum H_v \quad (\text{III.32})$$

$$\sum H_s = 0.15 \times 21.55 = 3.2325 \text{ m}$$

Puisque :

$$\sum H_{\text{tot}} = \sum H_v + \sum H_s \quad (\text{III.33})$$

On remplaçant l'équation(III.30) dans l'équation (III.32), on aura :

$$\sum H_{\text{tot}} = 1.15 \sum H_v \quad (\text{III.34})$$

$$\sum H_{\text{tot}} = 1.15 \times 21.55 = 24.7825 \text{ m}$$

### III.16. Calcul de la hauteur manométrique total $H_A$ du réseau

Le calcul de la hauteur manométrique totale du réseau, nous guide dans le choix optimal de la pompe pour répondre le mieux à nos exigences.

Dans notre cas, le calcul de la (H.M.T) répond au modèle de l'équation (II.11), telle que :

$$H_A = H_{géo} + \sum H_{tot} \quad (III.35)$$

$$H_A = 114 + 24.7825 = 138.7825 \approx 139 \text{ m}$$

Cette hauteur englobe la hauteur pour les deux pompes principales, ainsi que pour la motopompe de secours. Cependant, la hauteur manométrique totale des deux pompes de maintien de la pression du réseau diffère de la hauteur géométrique des trois pompes, Tandis que Les pertes de charge restent les mêmes puisqu'il s'agit du même circuit. La hauteur géométrique des pompes de maintien est de :  $H_{géo} = 110 \text{ m}$ . Ainsi :

$$H_A = 110 + 24,7825 = 134,7825 \approx 135 \text{ m}$$

### III.17. Calcul de la NPSH disponible des pompes (hauteur d'aspiration positive nette)

Le calcul du  $NPSH_a$  des pompes est essentiel pour éviter la cavitation, un phénomène destructeur causé par une pression d'aspiration insuffisante. En garantissant un NPSH adéquat, on assure le bon fonctionnement des pompes et la fiabilité du système de pompage.

Le NPSH disponible ( $NPSH_a$ ) est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$NPSH_a = \frac{(P_0 - P_v) \times 10^5}{g\rho} + \Delta Z - \Delta p_{tot} \quad (III.36)$$

La formule de Hazen-Williams a été utilisée pour calculer les pertes de pression dues au frottement du fluide. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$\Delta p = \frac{6.05 \times Q^{1.85} \times 10^5}{C^{1.85} \times d^{4.87}} \quad (III.37)$$

Avec :

$\Delta P$  : sont les Pertes de pression du au frottement en (bar/m) ;

$Q$  : est le Débit requis par les pompes en (l/min) ;

$D$  : est le Diamètre intérieur des tuyaux en (mm) ;

$C$  : est le Coefficient de Hazen-Williams (adimensionnel), qui est fixé par la norme NFPA15 à  $C_{HW}=120$ .

- **Données et caractéristiques du fluide (l'eau)**

$$P_0 = P_{atm} = 1.013 \text{ bar} ;$$

$$P_v = 0.042 \text{ bar à une température de } T = 30^\circ\text{C} ;$$

$$g = 9.807 \text{ m/s}^2 ; \rho = 1000 \text{ Kg/m}^3.$$

- **La différence d'élévation**

Cette différence est calculée comme suit :

$$\Delta Z = LALL + \text{Fondation du bac} \quad (\text{III.38})$$

Avec :

LALL : représente le niveau minimal à l'intérieur du bac, il est fixé à 2000 mm, cette dernière est faite référence au fond du bac d'eau incendie ;

Fondation du bac incendie est fixée à : 600mm.

Donc : 
$$\Delta Z = 2000 + 600 = 2600 \text{ mm}$$

### III.17.1. Calcul du NPSH<sub>a</sub> des pompes principales à 100% du débit nominal

Les pertes de charge ( $\Delta P$ ) de la ligne d'aspiration des électropompes sont calculées comme suit :

#### III.17.1.1. $\Delta P$ du collecteur principal (vers la station de pompage)

On a :

- $Q = 14717 \text{ l/min}$  ( $883.02 \text{ m}^3/\text{h}$  représente le débit nominal des électropompes (à 100% selon NFPA 20)).
- $d = 457.2 \text{ mm}$  (représente le diamètre intérieur qui est fixé à 18'' selon la classe de la tuyauterie A13).
- $C = 120$  (selon les exigences de la norme NFPA 15).

Donc selon la formule de hazen-williams :

$$\Delta P1 = \frac{6.05 \times (14717^{1.85}) \times 10^5}{(120^{1.85}) \times (457.2^{4.87})} = 0.00049092 \text{ (bar/m)}$$

#### Calcul du $\Delta P$ en (bar)

On a :

$$\Delta P = \Delta P1 \times (L + L_{eq}) \quad (\text{III.39})$$

Avec :

L : Représente la Longueur de la conduite d'aspiration d l'électropompe :  $L = 125 \text{ m}$  ;

$L_{eq}$  : est la longueur équivalente de l'ensemble des singularités en (m).

Les longueurs équivalentes ( $L_{eq}$ ) des courbes, raccords et autres accessoires (fittings) sont déterminées conformément à la norme NFPA 15, comme suit :

Code	Fitting Type	Nominal pipe size					
		mm in	360.0 14.0	400.0 16.0	450.0 18.0	500.0 20.0	600.0 24.0
1	Standard 45° Elbow		4.5720	5.1816	5.7912	6.4008	7.6200
2	Standard 90° Elbow		7.9248	9.1440	10.3632	11.5824	13.716
3	Long radius Elbow		6.4008	7.3152	8.2296	9.1440	10.668
4	Tee or Cross (Flow turned 90°)		20.4216	23.7744	27.1272	30.1752	36.576
5	Gate Valve		2.1336	2.4384	2.7432	3.0480	3.6576
6	Swing Check Valve		38.100	44.196	50.292	60.960	67.056
7	Non-return Valve		23.000	23.000	23.000	23.000	23.000
8	Ball Valve		15.240	15.240	15.240	15.240	15.240
9	Butterfly Valve		7.3152	7.9248	9.1440	10.668	13.4112

**Tableau III. 14:** Les longueurs équivalentes selon la norme NFPA 15 [18]

Selon ce tableau mentionné ci-dessus, on calcule  $L_{eq}$  comme suit :

$$L_{eq-tot} = \sum (Q_t \times L_{eq}) \tag{III.40}$$

Les résultats de  $L_{eq}$  sont illustrés dans le tableau suivant :

Fittings	Quantité	Longueur équivalente (m)	Longueur équivalente totale (m)
45°	2	5,8	11,6
90°	7	10,36	72,52
Gate valve	1	2,74	2,74
		$\Sigma$	86,86

**Tableau III.15 :** Longueur équivalente totale des singularités (fittings).

Donc :  $\Delta P = 0.00049092 \times (125 + 86.86) = 0.1040063$  bar

**III.17.1.2.  $\Delta P$  de la ligne secondaire (vers la pompe)**

On a :

- $Q = 7358$  l/min ( $441.51$  m<sup>3</sup>/h représente le débit nominal de la pompe (à 50% selon NFPA 20)).
- $d = 254$  mm (représente le diamètre intérieur qui est fixé à 10'' selon la classe de la tuyauterie A13).
- $C = 120$  (selon les exigences de la norme NFPA 15).

Donc selon la formule de hazen-williams :

$$\Delta P_1 = 0.0023836 \text{ (bar/m)}$$

**Calcul des  $\Delta P$  en (bar)**

Les longueurs équivalentes ( $L_{eq}$ ) des courbes, raccords et autres accessoires (fittings) sont déterminées conformément à la norme NFPA 15, comme suit :

Code	Fitting Type	Nominal Pipe Size					
		mm in	125.0 5.0	150.0 6.0	200.0 8.0	250.0 10.0	300 12.0
1	Standard 45° Elbow		1.5240	2.1336	2.7432	3.3528	3.9624
2	Standard 90° Elbow		3.6576	4.2672	5.4864	6.7056	8.2296
3	Long radius Elbow		2.4384	2.7432	3.9624	4.8768	5.4864
4	Tee or Cross (Flow turned 90°)		7.62	9.144	10.668	15.240	18.288
5	Gate Valve		0.6096	0,9144	1.2192	1.5240	1.8288
6	Swing Check Valve		8.2296	9.7536	13.716	16.764	19.812
7	Non-return Valve		10.0	12.200	15.300	19.800	23.000
8	Ball Valve		5.100	6.7100	10.970	12.800	15.240
9	Butterfly Valve		2.7432	3.0480	3.6576	5.7912	6.4008

**Tableau III.16** : Les longueurs équivalentes selon la norme NFPA 15 [18]

Les résultats de Leq sont illustrés dans le tableau suivant :

Fittings	Quantité	Longueur équivalente (m)	Longueur équivalente totale (m)
Tee	1	15,3	15,3
Gate valve	1	1,5	1,5
Y strainer	1	6,7	6,7
90°	1	6,7	6,7
		$\Sigma$	30,2

**Tableau III.17** : Longueur équivalente totale des singularités (fittings).

Donc :  $\Delta P = 0.0023836 \times (5 + 30.2) = 0.083902 \text{ bar}$

Alors :  $\Delta P_{tot} = 0.1040063 + 0.083902 = 0.1879083 \text{ bar} = 1.87 \text{ m}$

Donc : 
$$NPSH_a = \frac{(1.013 - 0.042) \times 10^5}{1000 \times 9.807} + 2.6 - 1.87$$

$$NPSH_a = 10.56 \text{ m}$$

**III.17.2. Calcul du NPSH<sub>a</sub> des pompes principales à 150% du débit nominal**

**III.17.2.1. ΔP du collecteur principal (vers la station de pompage)**

On a :

- Q = 22079.91 l/min (1324.53 m<sup>3</sup>/h représente le débit nominal des électropompes (à 150% selon NFPA 20)).
- d = 457.2 mm (représente le diamètre intérieur qui est fixé à 18'' selon la classe de la tuyauterie A13).
- C = 120 (selon les exigences de la norme NFPA 15).

Selon la formule de hazen-williams :

$$\Delta P1 = 0.00103979 \text{ bar/m}$$

### Calcul des $\Delta P$ en (bar)

Les résultats de calcul de Leq sont illustrés dans le tableau suivant :

Fittings	Quantité	Longueur équivalente (m)	Longueur équivalente totale (m)
45°	2	5,8	11,6
90°	7	10,36	72,52
Gate valve	1	2,74	2,74
		$\Sigma$	86,86

**Tableau III.18** : Longueur équivalente totale des singularités (fittings).

Donc :  $\Delta P = 0.00103979 \times (125 + 86.86) = 0.2202909891 \text{ bar}$

### III.17.2.2. $\Delta P$ de la ligne secondaire (vers la pompe)

On a :

Q = 11039.8742 l/min (662.26 m<sup>3</sup>/h représente le débit nominal de la pompe à 150% selon NFPA 20).

d= 254 mm (représente le diamètre intérieur qui est fixé à 10'' selon la classe de la tuyauterie A13).

C = 120 (selon les exigences de la norme NFPA 15).

Donc selon la formule de hazen-williams :

$$\Delta P1 = 0.00504909 \text{ bar/m (à un débit nominal de } 662.26\text{m}^3\text{/h)}.$$

### Calcul des $\Delta P$ en (bar)

Les résultats de Leq sont illustrés dans le tableau suivant :

Fittings	Quantité	Longueur équivalente (m)	Longueur équivalente totale (m)
Tee	1	15,3	15,3
Gate valve	1	1,5	1,5
Y strainer	1	6,7	6,7
90°	1	6,7	6,7
		$\Sigma$	30,2

**Tableau III.19** : Longueur équivalente totale des singularités (fittings).

Donc:  $\Delta P = 0.0023836 \times (5 + 30.2) = 0.17772812 \text{ bar}$

$$\Delta P_{tot} = 0.22029098 + 0.17772812 = 0.39801910 \text{ bar} = 4.02 \text{ m}$$

Alors : 
$$NPSH_a = \frac{(1.013 - 0.042) \times 10^5}{1000 \times 9.807} + 2.6 - 4.02$$

$$NPSH_a = 9.337 \text{ m}$$

### III.17.3. Calcul du NPSH<sub>a</sub> de la motopompe à 100% du débit nominal

Les pertes de charge ( $\Delta P$ ) de la ligne d'aspiration des électropompes sont calculées comme suit :

On a :

$Q = 14717 \text{ l/min}$  ( $883.02 \text{ m}^3/\text{h}$  représente le débit nominal des électropompes (à 100% selon NFPA 20)).

$d = 457.2 \text{ mm}$  (représente le diamètre intérieur qui est fixé à 18'' selon la classe de la tuyauterie A13).

$C = 120$  (selon les exigences de la norme NFPA 15).

Donc selon la formule de Hazen-Williams :

$$\Delta P_1 = 0.00049092 \text{ (bar/m)} \text{ (à un débit nominal de } 883.02 \text{ m}^3/\text{h}).$$

Selon le tableau des longueurs équivalentes fixées par la norme NFPA 15 mentionnées dans le tableau ci-dessus, le même calcul se fait pour  $L_{eq}$  comme suit :

Fittings	Quantité	Longueur équivalente (m)	Longueur équivalente totale (m)
45°	2	5,8	11,6
90°	10	10,4	104
Gate valve	2	2,7	5,4
Tee	1	27,1	27,1
Y strainer	1	10,4	10,4
		$\Sigma$	158,5

**Tableau III.20** : Longueur équivalente totale des singularités (fittings).

Donc :  $\Delta P = 0.00049092 \times (120 + 158.5) = 0.1364757 \text{ bar} = 1.392 \text{ m}$

Alors :

$$NPSH_a = \frac{(1.013 - 0.042) \times 10^5}{1000 \times 9.807} + 2.6 - 1.392$$

$$NPSH_a = 11.11 \text{ m}$$

### III.17.4. Calcul du NPSH<sub>a</sub> de la motopompe à 150% du débit nominal

On a :

$Q = 22079.91 \text{ l/min}$  ( $1324.53 \text{ m}^3/\text{h}$  représente le débit nominal des électropompes (à 150% selon NFPA 20)).

$d = 457.2 \text{ mm}$  (représente le diamètre intérieur qui est fixé à 18'' selon la classe de la tuyauterie A13).

$C = 120$  (selon les exigences de la norme NFPA 15).

Donc selon la formule de Hazen-Williams :

$$\Delta P_1 = 0.00103979 \text{ bar/m (à un débit nominal de } 1324.53 \text{ m}^3/\text{h)}$$

Les résultats de calcul de  $L_{eq}$  sont comme suit :

Fittings	Quantité	Longueur équivalente (m)	Longueur équivalente totale (m)
45°	2	5,8	11,6
90°	10	10,4	104
Gate valve	2	2,7	5,4
Tee	1	27,1	27,1
Y strainer	1	10,4	10,4
		$\Sigma$	158,5

**Tableau III.21** : Longueur équivalente totale des singularités (fittings).

Donc :  $\Delta P = 0.00103979 \times (120 + 158.5) = 0.2895815 \text{ bar} = 2.953 \text{ m}$

Alors : 
$$NPSH_a = \frac{(1.013 - 0.042) \times 10^5}{1000 \times 9.807} + 2.6 - 2.953$$

$$NPSH_a = 9.548 \text{ m}$$

### III.17.5 Analyse des calculs obtenus

Les calculs révèlent que le NPSH<sub>a</sub> pour la motopompe dépasse celui des pompes électriques en raison de sa proximité avec le réservoir de carburant, ce qui confère à la motopompe une meilleure disponibilité de charge d'aspiration. Malgré cela, afin de garantir la sécurité et la conformité, la fiche technique de la motopompe indiquera la même valeur de NPSH<sub>a</sub> que celle des pompes électriques. De même, pour le NPSH requis qui est fourni par les courbes caractéristiques du fournisseur lors du choix des pompes, il est nécessaire que le NPSH disponible soit supérieur au NPSH requis pour éviter tout problème de cavitation de la pompe et assurer un fonctionnement optimal du système de pompage.

### III.18. Choix des pompes

Les critères essentiels pour choisir la pompe sont le débit (Q), la hauteur manométrique totale (HMT) et la charge nette de la pression d'aspiration (NPSH). Cette sélection s'appuie sur



Les courbes caractéristiques fournies par les fabricants ou les fournisseurs, visant à opter pour la machine la plus efficace pour la tâche requise.

### III.18.1.1 La station de pompage

La station de pompage sera équipée de :

- a. Deux pompes jockey pour la pressurisation, fonctionnant avec des moteurs électriques.
- b. Deux pompes principales anti-incendie, également motorisées par des moteurs électriques.
- c. Une pompe de secours anti-incendie, propulsée par un moteur diesel.

Comme c'est mentionné ci-dessus la pomperie anti-incendie comprendra deux pompes principales électriques (GEP) conformes aux exigences de la norme NFPA 20, chacune ayant un débit nominal de 7358.5 l/min (441.51 m<sup>3</sup>/h), capable de fournir 50% du débit total.

En cas de panne électrique des électropompes principales ou si celles-ci ne parviennent pas à atteindre le débit requis pour l'installation, une motopompe diesel de secours sera activée pour intervenir. Cette dernière est aussi conforme aux exigences de la norme NFPA 20, avec un débit nominal de 14717 l/min (883.02 m<sup>3</sup>/h).

En conséquence, les pompes principales fonctionneront à 454.75 m<sup>3</sup>/h, soit environ 103% de leur débit nominal (pour atteindre le débit d'eau requis :  $2 \times 454.75 \text{ m}^3/\text{h} = 909.50 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Selon la norme NFPA 20, la pompe peut fonctionner jusqu'à 150% de son débit nominal, ce qui signifie qu'elle peut fournir un débit d'eau de 662.26 m<sup>3</sup>/h, et avec les deux pompes, un débit de 1324.52 m<sup>3</sup>/h.

Les pompes anti-incendie doivent être conçues et construites conformément à la dernière édition de la norme NFPA 20. Elles seront de type centrifuge horizontal pour avoir un meilleur rendement et devront être homologuées NFPA 20.

Le débit des nouvelles pompes électriques jockey sera de 30 m<sup>3</sup>/h. Cette valeur a été jugée appropriée par la norme NFPA 20, pour maintenir la pression nécessaire équivalente à 12bars dans tout le réseau maillé du TMB.

### III.18.1.2. Motorisation

Les moteurs électriques triphasés doivent répondre aux normes NFPA 20. Ils seront connectés à 5,5 kV pour les pompes électriques principales et les moteurs des jockeys pompes à 0,4 kV. La Puissance nominale des moteurs doit couvrir toutes les conditions de fonctionnement de la pompe sur le site, et capables de fonctionner en continu à leur puissance

Nominale malgré les variations de tension et de fréquence. Ils doivent être auto-ventilés avec des ventilateurs résistants à la corrosion et des indicateurs de sens de rotation.

Voici les caractéristiques des moteurs électriques dans le tableau ci-dessous :

Moteurs	Fréquence (Hz)	Tension nom (KV)	Puissance (KW)	Cos( $\alpha$ )
Pompe principale P-002A	50	5.5	335	0.85
Pompe principale P-002B	50	5.5	335	0.85
Electropompe jockey P-001A	50	0.4	25	0.85
Electropompe jockey P-001B	50	0.4	25	0.85

**Tableau III.22** : Les caractéristiques des moteurs électriques des pompes.

### III.18.1.3. Moteur diesel de la motopompe

Le moteur diesel devra être conforme aux normes NFPA 20, il est équipé d'un réservoir local dédié. Ce réservoir sera installé sur une structure robuste capable de supporter le poids du réservoir plein de gasoil. La capacité minimale du réservoir, conforme aux normes NFPA 20, devra assurer 8 heures de fonctionnement du groupe à pleine charge, avec une capacité additionnelle de 10 %.

### III.18.2. Caractéristiques requises pour l'installation

Voici les caractéristiques techniques des pompes principales dans le tableau suivant:

Débit unitaire (m <sup>3</sup> /h)	441,5
HMT (m)	139
NPSH disponible (m)	9,337
Fluide	eau
Nombre	02

**Tableau III.23** : caractéristiques des pompes principales.

Voici les caractéristiques techniques des électropompes de maintien (jockey) dans le tableau suivant :

Débit unitaire (m <sup>3</sup> /h)	30
HMT (m)	135
Fluide	eau
Nombre	02

**Tableau III.24:** caractéristiques des pompes jockey.

Voici les caractéristiques techniques de la motopompe (de réserve) dans le tableau suivant :

Débit unitaire (m <sup>3</sup> /h)	1324.5
HMT (m)	139
NPSH disponible (m)	9,55
Fluide	eau
Nombre	01

**Tableau III.25** : caractéristiques de la motopompe.

#### Remarque

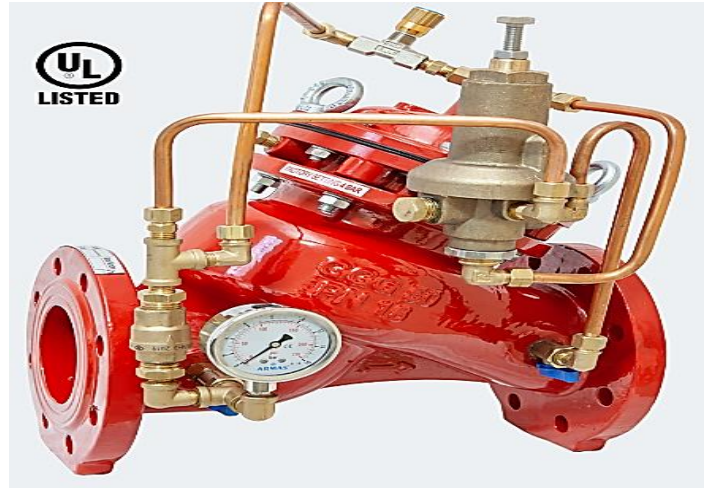
A noter que dans ces tableaux, nous avons pris en compte 150 % du débit nominal, comme recommandé par la norme NFPA 20, pour garantir un débit maximal adapté au scénario le plus critique qui pourrait survenir sur le site. Cette précaution vise à éviter toute baisse de pression et de débit dans le réseau d'eau incendie, assurant ainsi une performance optimale en cas d'urgence.

#### III.18.3. Sélection des pompes

Comme mentionné, nous utilisons le catalogue en ligne « Caprari » pour sélectionner les pompes répondant aux besoins spécifiques de notre installation. Ce dernier nous aide à garantir que les pompes offriront le débit, la pression et le rendement nécessaires, et à éviter les problèmes de cavitation grâce à un NPSH requis inférieur au NPSH disponible qu'on déjà calculé. Vous trouverez en annexe n°12 jusqu'à l'annexe n°17 les fiches techniques et les courbes caractéristiques des pompes choisies.

#### III.18.4. Soupape de décharge

Il est recommandé d'utiliser une soupape de décharge pour les pompes anti-incendie pour protéger le système en libérant les surpressions dans l'atmosphère causées par les changements brusques de la vitesse de l'eau. Lorsque la pression du réseau dépasse le point de consigne, la soupape s'ouvre rapidement et libère la pression, protégeant ainsi le système. Cette soupape est illustrée dans la figure suivante :



**Figure III.1** : Soupape de décharge de pompe anti-incendie [3]

### III.19. Conclusion

Le dimensionnement précis du système d'approvisionnement en eau pour la lutte contre les incendies assure une réponse efficace et sécurisée en cas d'urgence. En suivant les étapes méthodiques de calcul des besoins en eau, d'équilibrage du réseau, et de sélection des pompes, on garantit un système performant et fiable, adapté aux exigences spécifiques du site.

## CHAPITRE IV

Automatisation et analyse  
fonctionnelle du système anti-  
incendie

**IV.1. Introduction**

L'automatisation du système de pompage anti-incendie est cruciale, permettant une réponse rapide aux centrales d'alarmes incendie et garantissant un approvisionnement continu en eau pour les équipements d'extinction et de refroidissement. Cette automatisation assure une intervention efficace et coordonnée, minimisant ainsi les risques de dysfonctionnement grâce à une surveillance en temps réel. Ce chapitre explore les étapes de l'automatisation, débutant par une brève description des systèmes de détection et des centrales d'alarme, jusqu'à l'élaboration des graficets conformément à un cahier des charges fonctionnel.

**IV.2. Description du système de détection et d'extinction de l'installation du Terminal Marin de Bejaia (TMB)****IV.2.1. Système de détection (Feu et Gaz) (F&G)**

Le système de détection F&G (Feu et Gaz) est essentiel pour la sécurité dans les environnements industriels. Il surveille et détecte les risques d'incendie et de fuites de gaz, prévenant les accidents majeurs et protégeant les installations. En détectant les fuites d'hydrocarbures, les incendies et les explosions, il initie des centrales d'alarmes et active des mesures comme l'isolement et l'intervention des systèmes de lutte contre l'incendie. Cela permet de limiter l'extension des incendies, de minimiser les risques associés.

**IV.2.1.1. Fonctions primaires pour le système F&G**

Le système de détection de feu et de gaz a plusieurs fonctions primaires automatisées essentielles :

- Détecter précocement les incendies ou fuites de gaz inflammables pour permettre une extinction automatique ou manuelle et déclencher les actions appropriées ;
- Surveiller toutes les zones à risque d'incendie ou de fuite de gaz inflammable ;
- Alerter le personnel des situations d'urgence avec des centrales d'alarmes sonores locales et des notifications à la caserne de sécurité, à la salle de contrôle, et à la salle de veille HSE ;
- Activer automatiquement le système de lutte contre l'incendie dans la zone concernée.

**IV.2.1.2. Architecture du système F&G**

L'architecture d'un système F&G (feu et gaz) varie en fonction des besoins spécifiques de chaque installation industrielle, mais elle comprend généralement les éléments suivants :

- Capteurs de détection ;
- Panneaux de contrôle centralisés ;
- Centrales de notification et d'Alerte.

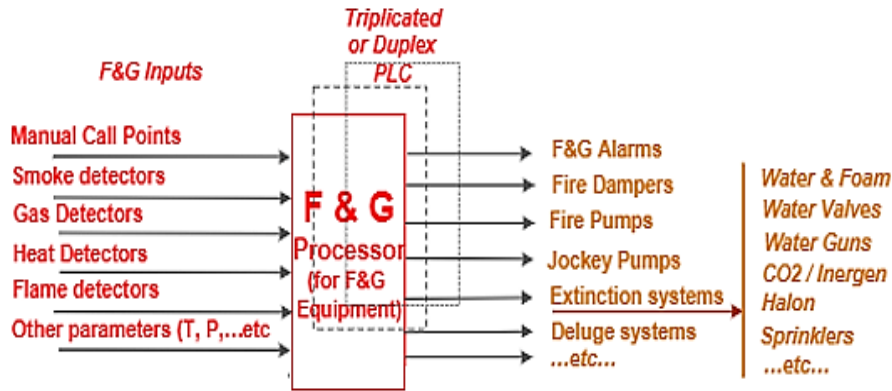


Figure IV.1 : architecture d'un système de détection F&G [34]

#### IV.2.1.3. Détection de gaz

Pour qu'une combustion se produise, les concentrations de gaz doivent se situer entre deux limites appelées limites d'explosivité.

- a) Limite inférieure d'explosivité (LIE) : Il s'agit de la concentration minimale de gaz inflammable dans l'air en dessous de laquelle aucune explosion n'est possible [34].
- b) Limite supérieure d'explosivité (LSE) : Il s'agit de la concentration maximale de gaz inflammable dans l'air au-delà de laquelle il n'y a pas de risque d'explosion [34].

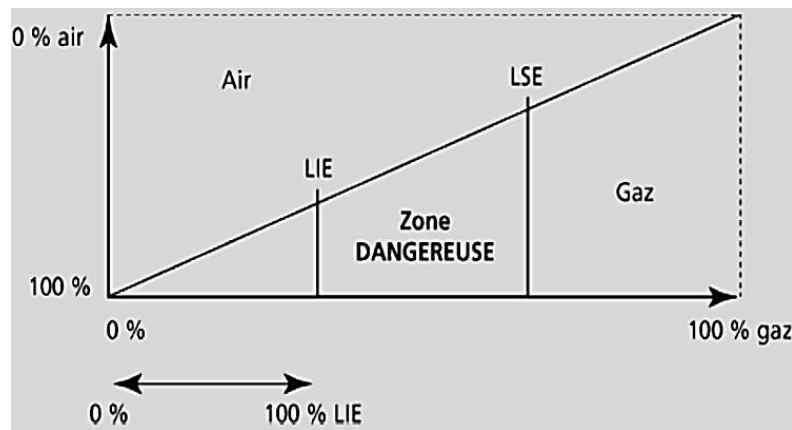


Figure VI.2 : les limites inférieures et supérieures d'explosion [34]

#### IV.2.1.4. Système de détection d'incendie

Le système de détection incendie doit être installé dans les zones à risque au TMB, comme les toits des bacs de stockage, les zones autour des manifolds, les pompes de chargement, ainsi que dans les bâtiments comme la sous-station électrique et la pomperie

Anti-incendie. Pour détecter les incendies, différents types de détecteurs sont utilisés, tels que :

➤ **Détecteurs de flamme**

Les détecteurs de flamme sont considérés comme appropriés pour la protection des manifolds et de la gare racleur au TMB. Les types de détecteurs de flamme suivants peuvent être utilisés : (UV) – Ultraviolet ; Infrarouge à une fréquence (IR – Infra Rouge) ; Combinaison UV / IR ; Infrarouge à multiples fréquences (IR3).

➤ **Détecteurs de chaleur**

Des détecteurs de chaleur installés sur les joints de toit flottant, le toit fixe du bac de détente et chaque pompe de procès des bacs de stockage de pétrole déclenchent une alarme en cas de température excessive. Ils offrent une détection continue, ils sont résistants aux conditions environnementales et nécessitent peu d'entretien.

➤ **Détecteurs multicritères (fumée et chaleur)**

Détecteurs multicritères (fumée et chaleur) doivent être installés pour la protection de la nouvelle sous-station électrique. Pour chaque salle, au moins deux détecteurs doivent être installés pour assurer un signal de préalarme et un signal de confirmation de feu.

➤ **Détecteurs de gaz**

Ces détecteurs sont sensibles à des gaz spécifiques (par exemple : méthane, propane, monoxyde de carbone) et peuvent être de type catalytique, infrarouge ou électrochimique. Dans notre étude, nous nous concentrerons juste sur les détecteurs de chaleur linéaires de type câble thermosensible, puisque le scénario de feu choisi concerne un incendie au niveau du joint annulaire du toit flottant des bacs de stockage du pétrole.



**Figure IV.3** : Détecteur de chaleur linéaire de type câble thermosensible [35]



 **Remarque**

Les détecteurs installés dans les zones susceptibles de former une atmosphère explosive doivent respecter la norme internationale IEC 60079 et disposer d'une certification de conformité adaptée à la zone d'installation, délivrée par un organisme de certification.

Le système F&G peut être intégré à un réseau de sécurité plus large, incluant des panneaux de commande d'alarme incendie comme le notifieur AFP-400 pour offrir une solution de sécurité complète. Cette centrale d'alarme incendie, a une possibilité de recevoir des signaux des différents détecteurs de gaz et de feu du système F&G et les traiter de manière centralisée.

**VI.2.2. Centrale d'alarme AFP/400**

Au cœur de système de détection F&G, se trouve la centrale d'alarme AFP-400, une unité de contrôle avancée et intelligente à tolérance de panne [35]. Cette centrale remplit plusieurs fonctions essentielles telles que :

**✓ Surveillance et détection**

La centrale AFP-400 reçoit les signaux de divers capteurs et détecteurs, surveillant continuellement les conditions environnementales pour détecter les anomalies.

**✓ Traitement et analyse**

Les données recueillies par les détecteurs sont traitées et analysées par la centrale. Elle utilise une logique programmable pour déterminer la réponse appropriée en fonction des conditions détectées.

**✓ Communication et coordination**

La centrale communique avec les systèmes d'arrêt d'urgence et de suppression d'incendie. En cas de détection d'un incident, elle active les pré-actionneurs et actionneurs pour répondre efficacement à la situation. Elle notifie également les opérateurs via des systèmes de télécommunication (SMS, email, appels).

**✓ Activation des réponses**

En cas d'alarme, la centrale déclenche des dispositifs d'alarme locaux tels que des sirènes et des flashes. Elle signale les feux confirmés pour le déclenchement du système de pompage, piloté par un automate programmable industriel (API).

L'AFP-400 se distingue par sa capacité à gérer jusqu'à 99 détecteurs et 99 modules intelligents, grâce à son protocole de communication propriétaire à grande vitesse. Contrairement aux panneaux conventionnels, elle communique intelligemment avec chaque détecteur et module d'entrée/sortie du système, fournissant des informations précises et permettant d'activer des sorties spécifiques selon une logique programmable [36].

#### IV.2.3. Un aperçu de fonctionnement du système de détection et d'extinction du feu

Voici un bref aperçu du fonctionnement du système de détection et d'extinction du feu :

❖ **Détection d'incendie :**

Le système est équipé de détecteurs de fumée, de chaleur ou de flammes, installés stratégiquement dans le site. Ces détecteurs surveillent en permanence l'environnement à la recherche de signes d'incendie tels que de la fumée, une augmentation de température ou des flammes.

❖ **Transmission des signaux à la centrale d'alarme :**

Lorsqu'un détecteur détecte un danger potentiel, il envoie un signal à la centrale d'alarme du système.

❖ **Analyse et confirmation de l'incendie par la centrale d'alarme :**

La centrale d'alarme reçoit les signaux des détecteurs du système F&G et analyse les informations reçues. Si plusieurs détecteurs signalent un danger similaire, la centrale confirme la présence d'un feu.

❖ **Déclenchement de l'alarme :**

Une fois l'incendie est confirmé, la centrale d'alarme déclenche immédiatement une alarme sonore et visuelle.

❖ **Activation des systèmes d'extinction automatique :**

Le système de pompage est activé pour fournir de l'eau aux systèmes de sprinklers ou à d'autres dispositifs d'extinction.

❖ **Surveillance continue et intervention des services d'urgence :**

Une fois que l'incendie est éteint, le système peut continuer à surveiller la zone à la recherche de tout signe de reprise de feu.

### IV.3. Automatisation

#### IV.3.1. Système automatisé

Un système automatisé est un ensemble de composants et de processus conçus pour fonctionner de manière autonome, sans intervention humaine directe. Ces systèmes utilisent des capteurs, des actionneurs et des algorithmes de contrôle pour effectuer des tâches ou des processus préprogrammés de manière efficace et précise. D'un point de vue fonctionnel, un système technique automatisé peut être considéré comme la coordination d'une chaîne d'énergie, chacune comportant un nombre limité de fonctions techniques, comme c'est montré dans la figure suivante :

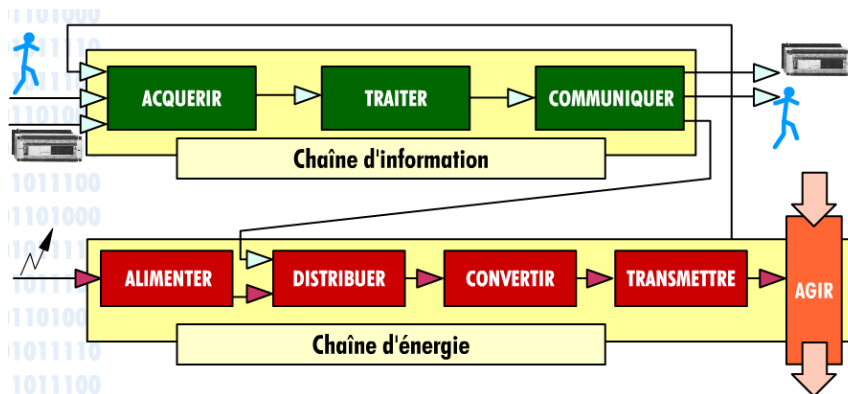


Figure IV.4: chaîne des fonctions techniques d'un système automatisé [37]

#### IV.3.2. Architecture d'un système automatisé

Tout système automatisé est constitué de trois parties distinctes qui échangent les informations, comme suit :

##### IV.3.2.1. Pupitre

Le pupitre est un élément de dialogue entre l'opérateur et la partie commande afin de gérer l'ensemble des modes de marches et arrêts d'un système piloté.

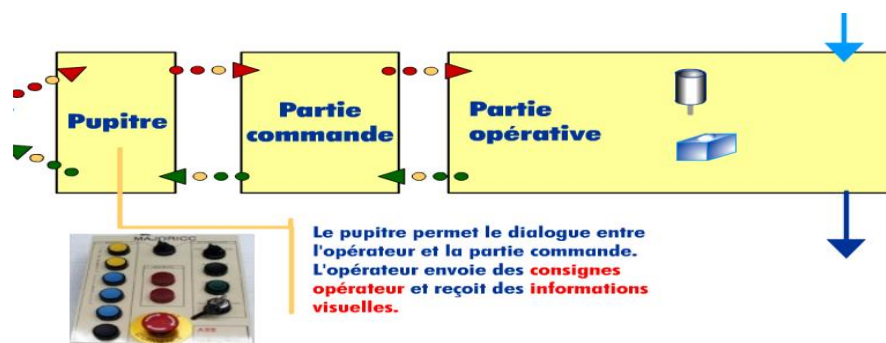


Figure IV.5: Pupitre d'un système automatisé [37]

IV.3.2.2. Partie commande (PC)

La partie commande est le cerveau du système automatisé, elle doit gérer le fonctionnement du processus.

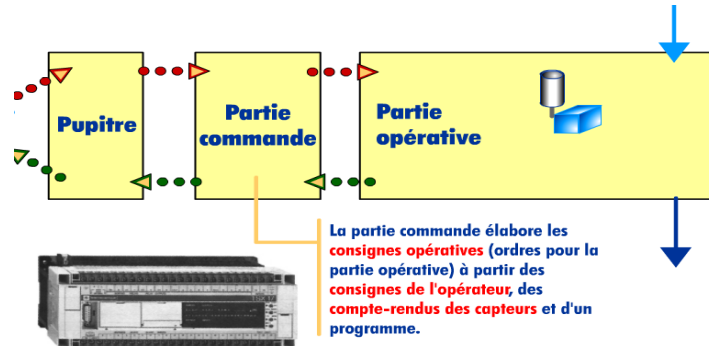


Figure IV.6: Partie commande d'un système automatisé [37]

IV.3.2.3. Partie opérative (PO)

La partie opérative agit sur la manière d'œuvre à partir des consignes opératives élaborées par la partie commande et génère des comptes rendus d'exécution à destination de celle-ci.

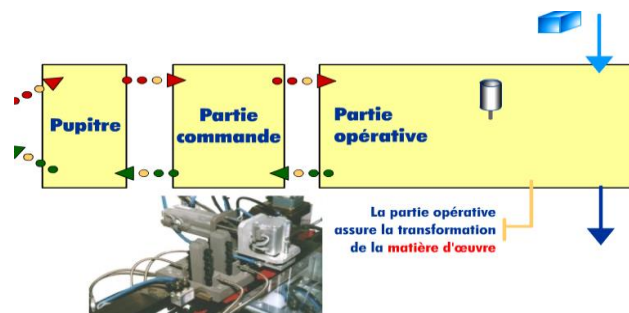


Figure IV.7: Partie opérative d'un système automatisé [37]

La partie opérative est constituée de deux sous-ensembles des constituants :

- ❖ La chaîne d'action : qui est chargée d'agir sur la matière d'œuvre.
- ❖ La chaîne d'acquisition : est chargée de prélever des informations sur le processus de production.



Figure IV.8: les sous-ensembles de la partie opérative [37]

#### IV.3.2.4. L'interface (IHM)

L'interface relie la partie opérative (PO) à la partie commande (PC) et/ou la partie commande à la partie supervision (PS). Elle sert de système de traduction d'informations entre la PC et la PO et/ou entre la PC et la PS via une IHM (interface homme-machine).

#### IV.3.3. Automate programmable industriel (API)

L'API est aujourd'hui la principale partie commande que l'on rencontrera dans les systèmes automatisés du processus discontinu, car les entrées et sorties sont essentiellement TOR. Il en existe un très grand nombre de modèles avec des caractéristiques variées, capable de communiquer avec d'autres parties commande ou de gérer un très grand nombre de données de toutes natures.

##### IV.3.3.1. Cycle de fonctionnement d'un API

La majorité des API ont un fonctionnement cyclique asynchrone basé sur un cycle de trois étapes essentielles successives :

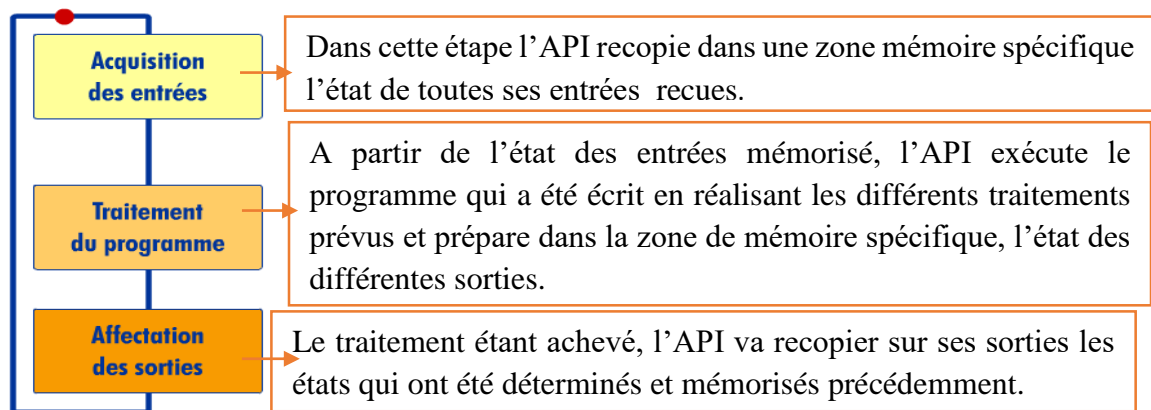


Figure IV.9: Cycle de fonctionnement d'un API [37]

#### IV.4. Grafcet

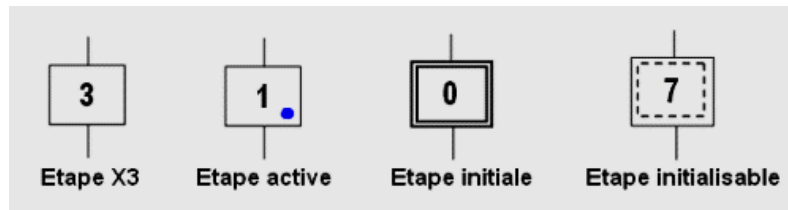
Le grafcet (abréviation de Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transitions) est un outil de représentation et d'analyse d'un automatisme décrit par la norme IEC 60848, particulièrement bien adapté aux systèmes à évolution séquentielles.

##### IV.4.1. La conception d'un grafcet

La conception d'un grafcet se base sur les étapes, transition, actions, variables et une liaison orientée [38], [39] :

### IV.4.1.1. Etapes

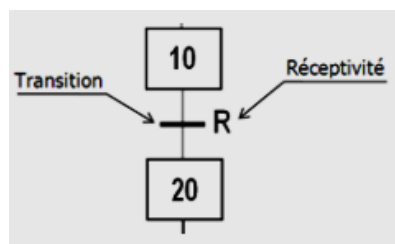
Une étape représente un état stable du système. Les étapes sont numérotées par ordre croissant, et à chaque étape, une ou plusieurs actions peuvent être associées. Une étape peut être soit active, soit inactive. Tandis que l'étape initiale d'un système automatisé est indiquée et représentée par un carré double, elle caractérise l'état du système au début du fonctionnement.



### IV.4.1.2. Transitions/Réceptivités

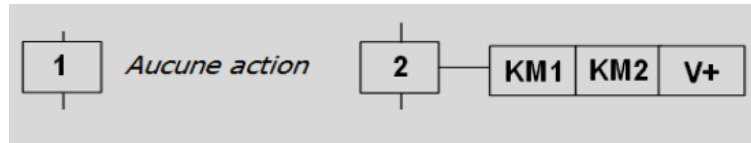
Les transitions indiquent les possibilités d'évolution du cycle. Chaque transition est associée à une réceptivité. La réceptivité est la condition logique nécessaire à l'évolution du grafcet. Si la réceptivité est vraie ( $R=1$ ), le cycle peut progresser. Les réceptivités proviennent du pupitre de commande, des fins de course ou d'informations en provenance de la partie opérative. Une transition peut être :

- ✓ Validée : la réceptivité qui lui est associée sera prise en compte ;
- ✓ Non validée : la réceptivité qui lui est associée ne sera pas prise en compte ;
- ✓ Franchissable : l'étape suivante sera activée tandis que l'étape précédente sera désactivée automatiquement.



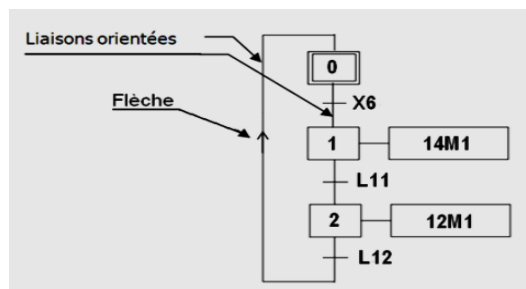
### IV.4.1.3. Actions associées aux étapes

L'action est associée à une étape et devient active lorsque le cycle atteint cette étape. Il est possible de définir des actions conditionnelles, temporisées, etc. (par exemple, activation d'une électrovanne, enclenchement d'un contacteur).



#### IV.4.1.4. Liaison orientée

Le grafcet se lit de haut en bas. Sinon, il est nécessaire d'indiquer son évolution avec des liaisons orientées constituées de flèches montrant la direction, comme c'est montré dans la figure ci-dessous :



#### IV.4.2. Règles d'évolution

La conception d'un grafcet suit des règles strictes qu'il convient à respecter rigoureusement, il y en a cinq règles en tout [39] :

1. Situation initiale :

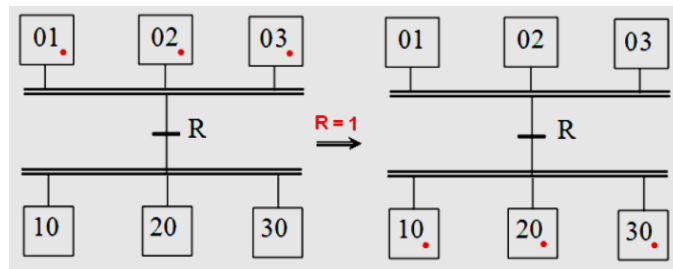
La situation initiale est la situation activée à l'instant initial, c'est à dire lorsque la partie commande est mise en fonctionnement, elle est décrite par l'ensemble des étapes initiales.

2. Franchissement d'une transition :

Une transition est dite validée si toutes les étapes précédentes reliées à cette transition sont actives, tandis que le franchissement d'une transition se produit lorsqu'une transition est validée, et que la réceptivité associée à cette transition est vraie.

3. Evolution des étapes actives :

Une fois qu'une transition est franchie, on aura la désactivation immédiate de toutes les étapes précédentes et l'activation de toutes les prochaines étapes.



#### 4. Evolution simultanée :

Plusieurs transitions sont simultanément franchissables, sont simultanément franchises.

#### 5. Activation et désactivation simultanée d'une étape :

Si au cours d'évolution d'un grafcet, il y'a une étape activée et qui s'active et se désactive simultanément, cette dernière reste active.

### IV.4.3. Niveaux de grafcet

Afin d'aborder de manière progressive l'étude d'un système automatisé, l'analyse du GRAFCET est divisée en deux niveaux. Le premier niveau se concentre sur les spécifications fonctionnelles, tandis que le second niveau s'intéresse aux spécifications technologiques [40].

#### 1. Niveau « 01 » :

Lors de l'analyse des spécifications fonctionnelles, l'automaticien doit comprendre le fonctionnement de l'automatisme en identifiant le comportement de la commande par rapport à l'opératif, sans se préoccuper de la technologie des actionneurs et des capteurs. Le GRAFCET de niveau « 01 » représente littéralement la séquence de fonctionnement souhaitée, les actions à réaliser, les informations nécessaires à leur validation, et les précautions de sécurité, indépendamment de la technologie.

#### 2. Niveau « 02 » :

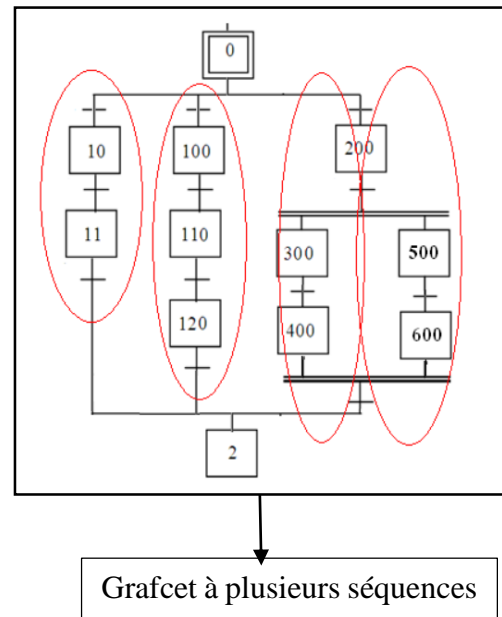
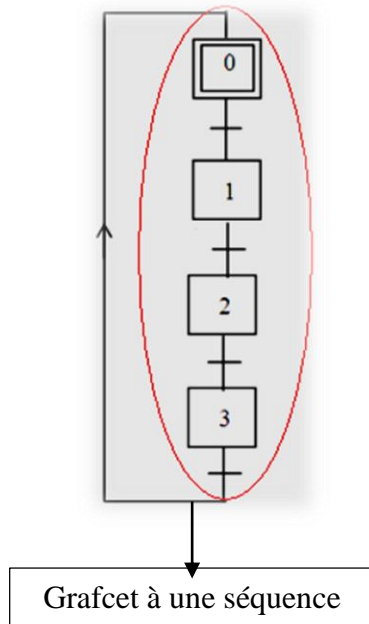
Lors de l'analyse des spécifications technologiques, l'automaticien utilise le GRAFCET de niveau 1 pour choisir les actionneurs et capteurs nécessaires. Le GRAFCET de niveau 2 prend en compte la technologie de ces composants et peut mener à la programmation d'un automate ou à un séquenceur câblé. Ce GRAFCET sera ensuite modifié pour intégrer les spécifications opérationnelles.



IV.4.4. Le structure de base

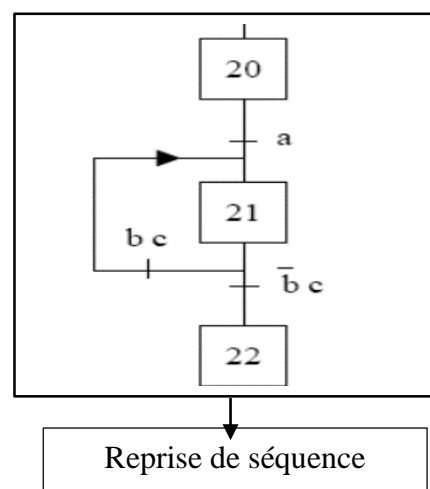
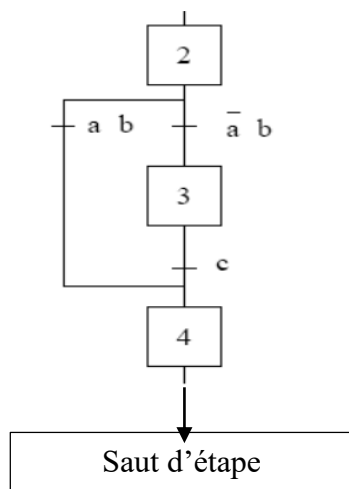
IV.4.4.1. Notions de séquences

Dans un Grafcet, une séquence est une série d'étapes qui s'exécutent successivement, Autrement dit, chaque étape n'a qu'une seule transition en aval et une seule transition en amont [41].

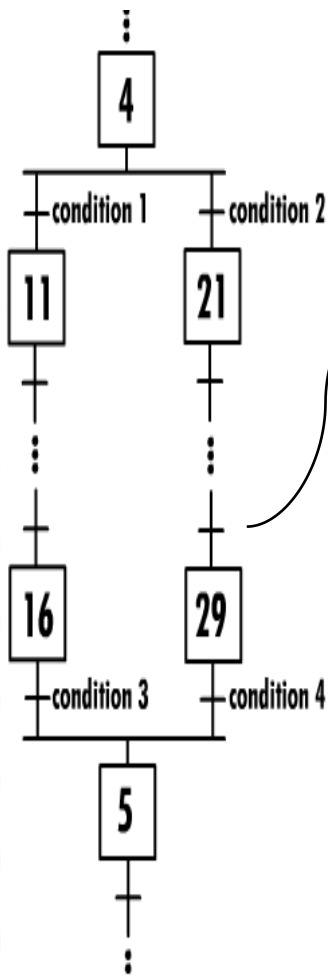


IV.4.4.2. Saut d'étapes et reprise de séquences

Le saut d'étapes permet de passer une ou plusieurs étapes lorsque les actions associées ne sont pas nécessaires. La reprise de séquence (ou boucle) permet de répéter une séquence une seule ou plusieurs fois tant qu'une condition n'est pas remplie [38].



## IV.4.4.3. Divergence /convergence en « OÙ »



Cette structure permet de créer un choix entre plusieurs déroulements possibles du cycle.

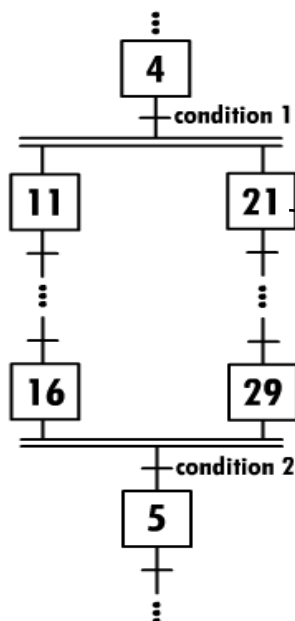
Cette structure utilise une entité particulière : la sélection de séquence (divergence en ou) qui marque le choix, elle s'achève en réunissant les branches qui se terminent par une transition.

Le nombre de branches n'est pas figé, tout dépend de la complexité du cycle à décrire.

Lorsque l'étape 4 est active, les deux transitions qui suivent (4/11 et 4/21) sont validées. Dès qu'une des deux conditions (1 ou 2) est vraie, la transition concernée est franchie et le cycle se poursuit dans la branche correspondante. Puisqu'une des deux transitions a été franchie, l'étape 4 n'est plus active et l'autre transition ne peut plus être franchie.

À la fin du déroulement de la branche concernée, l'une des deux transitions (16/5 ou 29/5) sera validée et dès que la condition (3 ou 4) sera vraie, elle sera franchie et le cycle se poursuivra par la branche commune à partir de l'étape 5.

## IV.4.4.4. Divergence / convergence en « ET »



Cette structure permet l'exécution simultanée de plusieurs branches. Elle utilise :

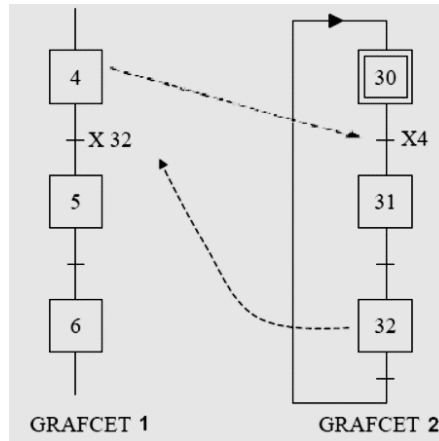
L'activation de séquences parallèles pour démarrer les branches simultanées,

La synchronisation de séquences pour réunir les branches à la fin de leur déroulement.

Lorsque l'étape 4 est active, la transition suivante est validée. Si la condition 1 est vraie, le cycle se poursuit dans les deux branches simultanées. La transition avant l'étape 5 n'est validée que lorsque les étapes 16 et 29 sont actives et que la condition 2 est vraie. Les étapes de fin de branche sont appelées étapes d'attente.

#### IV.4.4.5. Liaison des grafquets

Une étape dans un Grafquet peut être utilisée comme condition de réceptivité pour une étape d'un autre Grafquet. Cette méthode permet également de synchroniser deux Grafquets, c'est-à-dire de faire en sorte que l'évolution de l'un dépende de l'évolution de l'autre [39].



#### IV.4.5. Cahier des charges

Le cahier des charges est un document de référence qui doit être respecté lors de la conception d'un projet. Il permet aux spécialistes de décrire précisément les besoins et les exigences du système à mettre en œuvre [40].

##### IV.4.5.1. Elaboration du Cahier des charges fonctionnel

Ce cahier des charges vise à définir les spécifications fonctionnelles d'un système de pompage destiné à maintenir une pression constante de 12 bars dans un réseau d'extinction (et de refroidissement). L'objectif est de garantir la pression et le débit nécessaires pour l'extinction du feu en répondant automatiquement aux variations de pression.

##### IV.4.5.2. Description du Système

Le système de pompage est composé des éléments suivants :

- **Pompes Principales (P-002A, P-002B)** : Deux pompes principales équipées de moteurs électriques avec démarreur progressif.
- **Pompes Jockeys (P-001A, P-001B)** : Deux pompes jockeys entraînées par des moteurs électriques avec démarreur progressif.
- **Groupe Motopompe (P-003)** : Un groupe motopompe actionné par un moteur diesel.

### IV.4.5.3. Modes de Fonctionnement

Chaque pompe peut être dans l'un des trois états suivants : Hors service (repos), Manuel, Automatique, comme suit :

- **Hors Service** : Les pompes sont à l'arrêt et ne fonctionnent pas.
- **Manuel** : Contrôle manuel des pompes via des sélecteurs et des boutons poussoirs (Arrêt, marche) pour chaque pompe.
- **Automatique** : Activation automatique en réponse aux variations de pression détectées par des transmetteurs de pression et des pressostats.

### IV.4.5.4. Logique d'activation du système de pompage

#### IV.4.5.4.1. Activation des Pompes Jockey

- **Détection de la Chute de Pression :**
  - Le transmetteur de pression (TP1) détecte une chute de pression à 11,3 bars.
- **Démarrage de la Pompe Jockey P-001A :**
  - Lorsque le (TP1) détecte une chute de pression à 11.3 bars, il envoie un signal à l'API. La vanne motorisée (MOV1) de la ligne de refoulement de la pompe P-001A s'ouvre. Le relais (R1) active alors le pressostat (PS1), qui déclenche le démarrage progressif de la pompe.
  - Le moteur atteint sa vitesse nominale après une temporisation de T1=30S.
  - Le pressostat surveille la pression. La pompe P-001A continue de fonctionner jusqu'à atteindre 12 bars (pression de seuil du pressostat). À ce moment, la vanne se ferme et la pompe s'arrête automatiquement.
- **Démarrage de la Pompe Jockey P-001B :**
  - Si la pression baisse à 10,9 bars, le transmetteur de pression (TP2) envoie un signal à l'API, La vanne motorisée (MOV2) de la ligne de refoulement de la pompe P-001B s'ouvre, Tandis que Le relais (R2) active le pressostat (PS2), ce dernier déclenche le démarrage progressif de cette pompe.
  - Le moteur atteint sa vitesse nominale après une temporisation de T1=30S.
  - La pompe P-001B fonctionne jusqu'à ce que la pression atteigne 12 bars (pression de seuil du pressostat), moment où la vanne se ferme et la pompe s'arrête automatiquement.

#### IV.4.5.4.2. Activation des Pompes Principales

- **Démarrage de la Pompe P-002A :**
  - En cas d'une confirmation d'un feu par la centrale d'alarme (AI), et que le transmetteur de pression (TP3) détecte une chute de pression à 10 bars (considérant que cette pression est une pression de démarrage de cette pompe), il envoie un signal à l'API, la vanne (MOV3) s'ouvre et le relais (R3) active le pressostat (PS3) pour déclencher le démarrage progressif du moteur de la pompe P-002A.
  - Le démarreur progressif augmente progressivement la tension fournie au moteur de P-002A. ce dernier atteint sa vitesse nominale après une temporisation de T1=30S.
  - La pompe P-002A fournit 50% du débit nécessaire pour l'extinction du feu, mesuré et surveillé par le débitmètre (D1), si la centrale d'alarme (AI) n'a pas détecté la fin du feu, on fait appel à la deuxième pompe (P-002B).
- **Démarrage de la Pompe P-002B :**
  - Dans le cas où la pompe P-002A ne peut fournir le débit d'eau nécessaire pour l'extinction et le refroidissement du feu au niveau du joint annulaire du bac et que le transmetteur de pression (TP4) détecte une baisse de pression à 9,5 bars, ce dernier envoie un signal à l'API et la vanne motorisée (MOV4) de la ligne de refoulement de cette pompe s'ouvre. Le relais (R4) active le pressostat (PS4) afin de déclencher le démarrage progressif du moteur de la pompe P-002B. ce dernier atteint sa vitesse nominale après une temporisation de T1=30S.
  - La pompe P-002B commence à fonctionner à son régime nominal et continue jusqu'à ce que le débitmètre D2 détecte un débit refoulé nécessaire pour l'extinction une fois que la centrale d'alarme (AI) signale que le feu est complètement éteint, la vanne (MOV4) se ferme et la pompe P-002B s'arrête.

#### IV.4.5.4.4. Activation de la Motopompe P-003

- **En Cas de Panne Électrique ou de chute de pression à 8 Bars :**
  - En cas d'une confirmation d'un feu par la centrale d'alarme (AI), et le transmetteur de pression (TP5) détecte une chute de pression à 8 bars ou en cas de panne électrique signalée par le relais de détection d'absence de tension du réseau électrique (PL3), la vanne motorisée (MOV5) de la ligne

de refoulement de la motopompe P-003 s'ouvre. Le relais (R5) active le pressostat (PS5), ce dernier envoie un ordre de démarrage de la pompe.

- La motopompe P-003 fonctionne et fournit 100% du débit nécessaire pour l'extinction (ainsi que le refroidissement), mesuré et surveillé par le débitmètre (D3).
- La motopompe s'arrête automatiquement dans le cas où le pressostat (PS5) atteint 12 bars et que (A1) confirme que le feu est éteint complètement ou en cas de retour de l'alimentation électrique détecté par la fermeture du contacteur (PL3).

#### IV.4.5.4.5. Vérification de la cohérence du cahier des charges élaboré

##### • Détection et déclenchement automatique

- Les pompes jockeys réagissent initialement aux petites baisses de pression afin de maintenir la pression du réseau à 12 bars recommandée par la norme NFPA 20.
- En cas de chute de pression plus importante ou d'alarme incendie confirmée, les pompes principales prennent le relais pour fournir un débit suffisant pour l'extinction et refroidissement du bac en feu (et les bacs avoisinants affectés par l'effet du rayonnement thermique).

##### • Séquence de démarrage

- Chaque pompe a une séquence de démarrage bien définie ainsi que verrouillage électromagnétique pour éviter des démarrages simultanés des pompes.

##### • Priorité de fonctionnement

- Les pompes jockeys agissent d'abord pour des ajustements de pression dans le réseau.
- Les pompes principales prennent le relais en cas de baisse de pression significative ou de confirmation d'un incendie par le déclenchement de la centrale d'alarme (AFP/400).
- La motopompe diesel est utilisée en dernier recours (pompe de réserve), en cas de panne électrique ou de chute de pression extrême (jusqu'à 8 bars), garantissant une redondance pour la sécurité du système de pompage.

**• Arrêt automatique**

- Chaque pompe s'arrête automatiquement une fois que la pression de seuil est atteinte (12 bars) ou que le feu est détecté comme étant éteint (pour les pompes principales et la motopompe), assurant ainsi l'efficacité énergétique et la longévité des équipements.

**• Redondance et Sécurité**

- La présence de multiples pompes jockeys et principales, ainsi qu'une motopompe diesel, assure une redondance suffisante pour garantir la fiabilité du système en cas de défaillance d'une pompe.

**• Utilisation des différents types de Capteurs et d'un API**

- Les capteurs de pression, de débit et de feu sont utilisés efficacement pour surveiller et contrôler le système en temps réel.
- L'API centralise la commande et le contrôle, permettant une réponse rapide et coordonnée aux variations de pression et aux situations d'urgence afin d'assurer la sécurité des biens matériels et humain sur le site.

Ce cahier des charges fonctionnel décrit en détail les modes de fonctionnement, les conditions de déclenchement, et les étapes de démarrage progressif pour le système de pompage disposé. Les pompes jockey, les pompes principales et le groupe motopompe diesel fonctionnent de manière coordonnée pour maintenir la pression du réseau d'extinction à 12 bars, garantissant ainsi une protection efficace et rapide en cas d'urgence sur le site.

**IV.4.6. Elaboration des différents grafjets**

Afin d'élaborer les GRAFCET précis et bien définis pour chaque groupe et chaque mode de fonctionnement du système de pompage. Les tableaux ci-dessous décrivent les entrées (capteurs) et les sorties (actionneurs ou pré-actionneurs) basés sur le cahier des charges élaboré ci-dessus :

- ✚ Le tableau ci-dessous regroupe toutes les entrées du système :

Type	Désignation	Description
Les Entrées	TP1	Transmetteur de pression détectant 11,3 bars
	TP2	Transmetteur de pression détectant 10,9 bars
	TP3	Transmetteur de pression détectant 10 bars
	TP4	Transmetteur de pression détectant 9,5 bars
	TP5	Transmetteur de pression détectant 8 bars
	PS1	Pressostat associé à la pompe P-001A
	PS2	Pressostat associé à la pompe P-001B
	PS3	Pressostat associé à la pompe P-002A
	PS4	Pressostat associé à la pompe P-002B
	PS5	Pressostat associé à la pompe P-003
	Al	Signal d'alarme confirmant la présence et fin de feu
	D1	Débitmètre mesurant le débit refoulé par la pompe P-002A
	D2	Débitmètre mesurant le débit refoulé par la pompe P-002B
	D3	Débitmètre mesurant le débit refoulé par la pompe P-003
	AUTO	Sélecteur associé à la pompe est en position automatique
	ART	Sélecteur associé à la pompe est en position arrêt
	PL3	Relais de détection d'absence de tension du réseau électrique
	VF	Voyant détectant que toutes les vannes des lignes de refoulement des pompes sont fermées
KM1	Contacteur d'activation de la pompe principale P-002A	



	Désignation	Description	Description
	KM2	Contacteur d'activation de la pompe principale P-002B	
	KM3	Contacteur d'activation de la pompe jockey P-001A	
	KM4	Contacteur d'activation de la pompe jockey P-001B	
	RD	Contacteur d'activation de la motopompe P-003	

**Tableau IV.1** : Les entrées du système.

✚ Le tableau ci-dessous regroupe toutes les sorties du système :

Type	Désignation	Description
Les Sorties	R1	Relais pour démarrer le moteur de la pompe P-001A
	R2	Relais pour démarrer le moteur de la pompe P-001B
	R3	Relais pour démarrer le moteur de la pompe P-002A
	R4	Relais pour démarrer le moteur de la pompe P-002B
	R5	Relais pour démarrer le moteur de la motopompe P-003(Diesel)
	MOV1	Ouverture Vanne motorisée de la ligne de refoulement de P-001A
	MOV2	Ouverture Vanne motorisée de la ligne de refoulement de P-001B
	MOV3	Ouverture Vanne motorisée de la ligne de refoulement de P-002A
	MOV4	Ouverture Vanne motorisée de la ligne de refoulement de P-002B

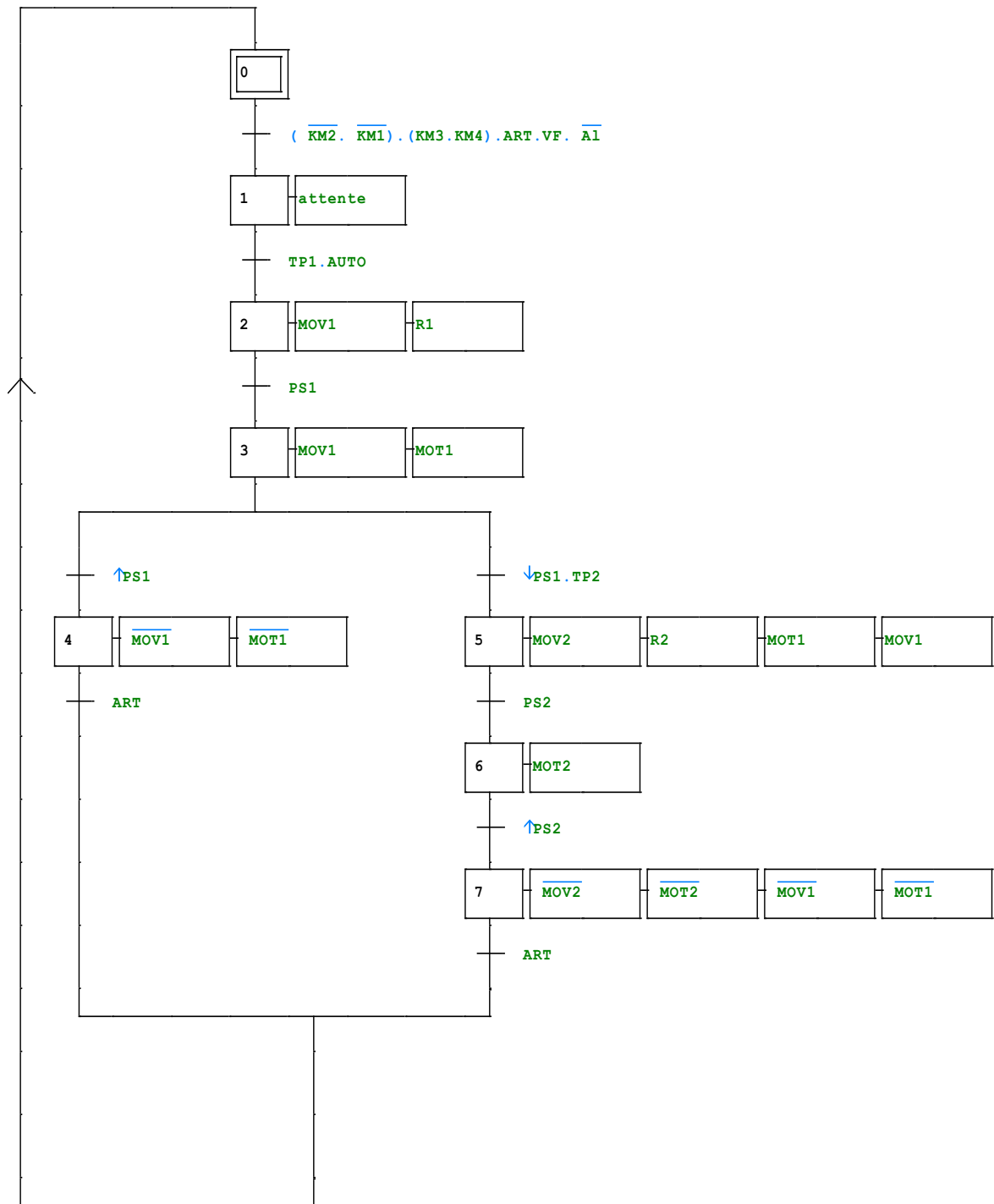
	Désignation	Description
	MOV5	Ouverture Vanne motorisée de la ligne de refoulement de P-003
	MOT1	Démarrage du Moteur de la pompe jockey P-001A
	MOT2	Démarrage du Moteur de la pompe jockey P-001B
	MOT3	Démarrage du Moteur de la pompe principale P-002A
	MOT4	Démarrage du Moteur de la pompe principale P-002B
	MOT5	Démarrage du Moteur de la motopompe P-003

**Tableau IV.2** : Les sorties du système.

Nous avons développé des GRAFCET spécifiques pour chaque groupe-pompe, conformes aux exigences du cahier des charges à l'aide du logiciel d'automatisation AUOMGEN V8.13. Chaque GRAFCET contrôle les opérations de sa pompe respective, permettant un démarrage progressif et des conditions de fonctionnement optimales. Cette approche assure une gestion autonome et simplifiée de chaque pompe, facilitant la maintenance et le dépannage du système, et garantissant un fonctionnement harmonieux global.

#### IV.4.6.1. Grafcet pour les pompes jockeys (P-001A, P-001B)

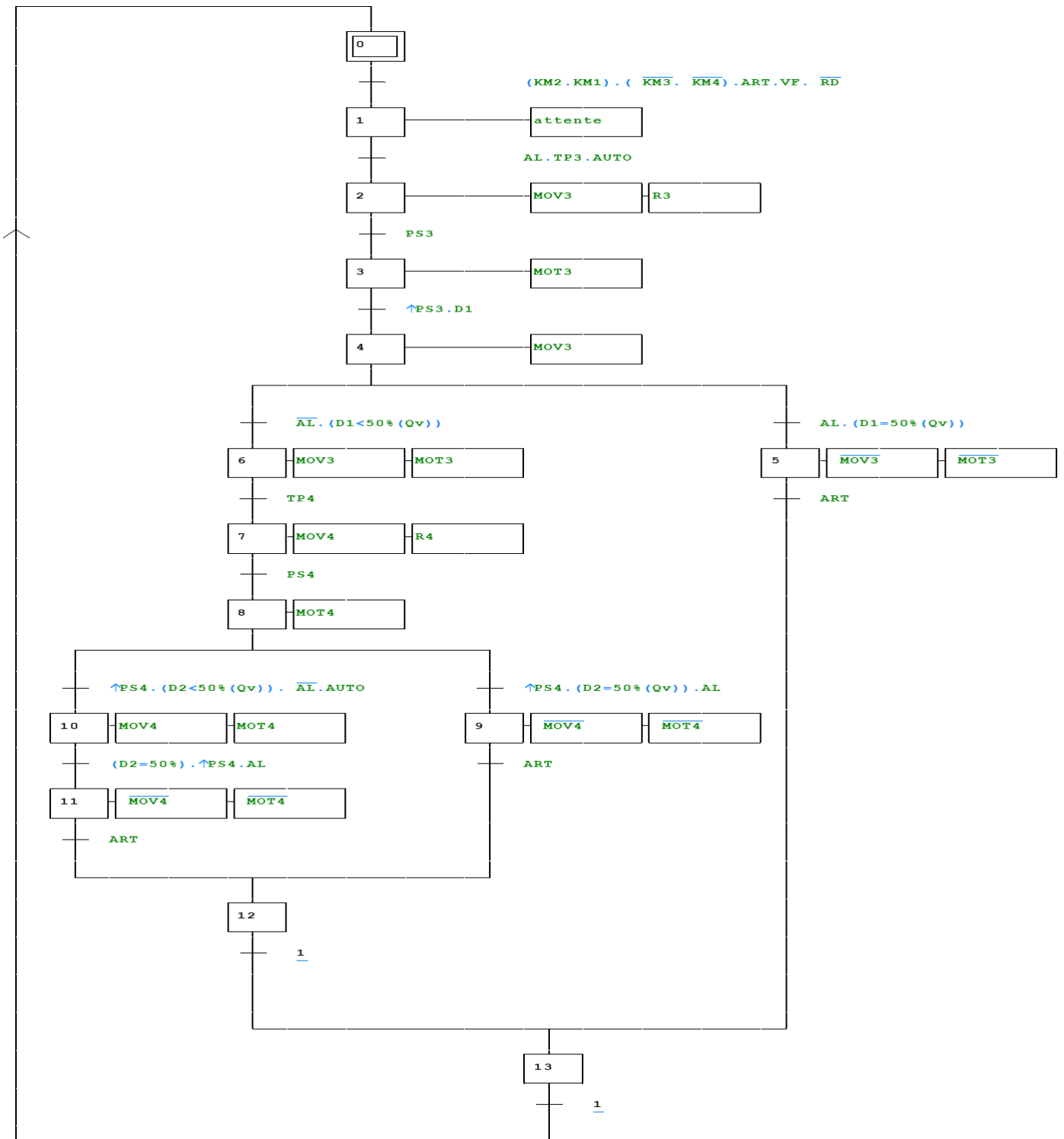
Comme indiqué en ci-dessus, le système de gestion de la pression dans ce réseau anti-incendie utilise deux pompes jockey pour maintenir une pression constante à 12 bars selon les directive de la NFPA. Lorsqu'une chute de pression est détectée, un signal est envoyé à l'API qui initie le démarrage progressif de la première pompe. Cette pompe fonctionne jusqu'à ce que la pression atteigne le niveau souhaité. Si la pression continue de baisser, la deuxième pompe est activée de manière similaire. Les pompes s'arrêtent automatiquement une fois la pression rétablie, assurant une réponse rapide et efficace aux variations de pression dans le réseau. Le Grafcet associée au démarrage et arrêt de ces pompes Jockey (P-001A, P-001B) est présenté comme suit :



**IV.4.6.2. GRAFCET pour les pompes principales (P-002A, P-002B)**

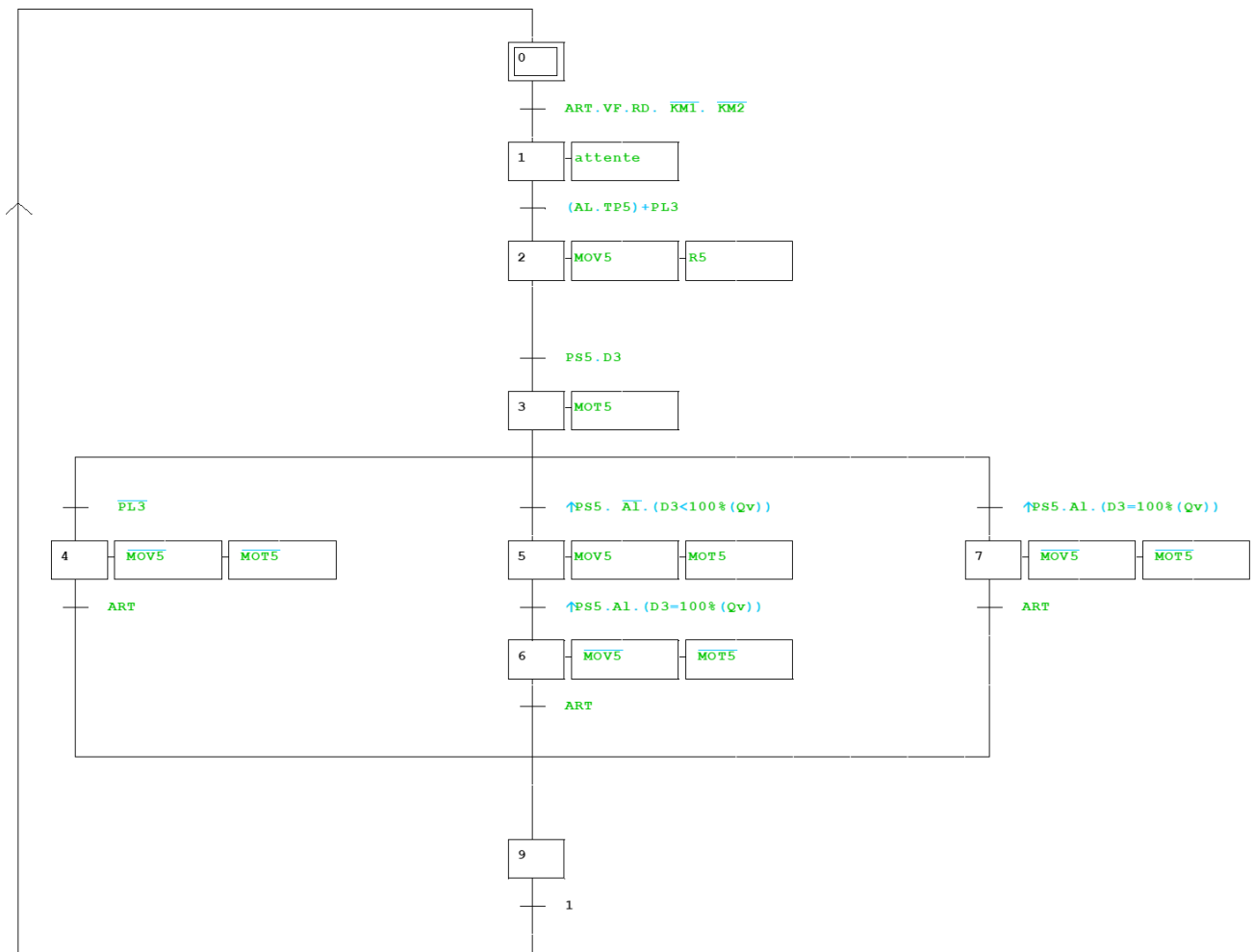
Le système de gestion des pompes principales supervise leurs opérations via un Grafcet, qui lorsque la centrale d'alarme confirme la présence de feu et que la pression chute à 10 bars, un signal est envoyé à l'API pour démarrer la pompe P-002A. La pompe augmente progressivement sa vitesse sur 30 secondes et fournit 50 % du débit nécessaire pour éteindre le feu. Si le feu persiste, la deuxième pompe, P-002B, est activée de manière similaire

lorsque la pression chute est détectée. Cette pompe fonctionne jusqu'à ce que le feu soit complètement éteint, assurant ainsi une gestion efficace de la pression et du débit en situation d'urgence. Le Grafcet associée au démarrage et arrêt des pompes Principales (P-002A, P-002B) est mentionné comme suit :



IV.4.6.3. GRAFCET pour le groupe motopompe (P-003)

Enfin le Grafcet dédié au groupe motopompe supervise ses opérations, incluant le contrôle des positions du sélecteur et le démarrage automatique en cas de besoin. Lorsque la centrale d'alarme confirme la présence de feu et que la pression chute est détectée par un transmetteur de pression, ou en cas de panne électrique, un signal est envoyé à l'API pour démarrer la motopompe P-003. La pompe fonctionne à pleine capacité pour fournir 100 % du débit nécessaire pour l'extinction et le refroidissement, surveillé par un débitmètre. La motopompe s'arrête automatiquement lorsque la pression atteint 12 bars et que le feu est confirmé éteint, ou lorsque l'alimentation électrique est rétablie, assurant ainsi une gestion efficace de la pression et du débit en cas d'urgence. Le Grafcet pour le démarrage et l'arrêt de la motopompe (P-003) est comme suit :



**IV.5. Conclusion**

Ce chapitre a mis en lumière l'importance capitale de l'automatisation du système de pompage anti-incendie. Grâce au cahier des charges fonctionnel élaboré avec précision, nous avons pu concevoir des GRAFCET adaptés à chaque groupe de pompes. Enfin cette automatisation, assure une réactivité optimale et rapide en cas d'urgence, améliorant ainsi la sécurité globale du site.

**CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion Générale

En conclusion, ce mémoire a exploré en détail l'étude, le dimensionnement et la conception d'un nouveau réseau anti-incendie pour le terminal marin de Bejaïa, dans le cadre d'un stage pratique au sein de l'entreprise SONATRACH Bejaïa. L'objectif principal était de remédier à la détérioration du réseau actuel en proposant un nouveau dimensionnement et une nouvelle conception conformes aux normes NFPA et API, tout en automatisant le système de démarrage des pompes pour assurer une réponse rapide et efficace en cas d'incendie.

Pour répondre à cette problématique qui présente un risque critique pour la sécurité et l'économie du site, quatre scénarios de feux différents ont été étudiés : le feu du joint du bac à toit flottant (4F5) du TMN, l'incendie sur le toit du bac (4Y1) à toit fixe du TMN, le feu du joint du bac (N14) à toit flottant du TMS, et le feu de la pomperie anti-incendie. Cela nous a permis de calculer, pour chaque scénario, le besoin en eau nécessaire et le débit d'eau requis pour l'extinction et le refroidissement, ainsi que le nombre de buses et de déversoirs nécessaires à installer, ainsi que leurs débits de décharge et leurs pressions opératives.

L'intégration d'un système semi-fixe d'appoint d'eau de mer pour remplir la réserve d'eau incendie en cas d'urgence a été une solution clé, offrant un débit supplémentaire pour réduire les risques d'escalade. Le dimensionnement de la nouvelle réserve de stockage d'eau, avec un volume supérieur à celui de l'ancienne réserve, a également été un aspect crucial à cette étude.

L'amélioration de l'équilibrage du réseau a été réalisée avec la méthode de Hardy Cross. Nous avons utilisé Matlab pour améliorer la convergence des calculs de pertes de charge dans le réseau maillé, intégrant la méthode de dichotomie pour une précision et une optimisation accrues.

La sélection et l'optimisation des pompes ont été effectuées à l'aide du catalogue "Caprari", garantissant un débit, une pression et un rendement adéquats tout en évitant les problèmes de cavitation grâce à un NPSH approprié. Ces pompes se sont révélées plus performantes que les anciennes, avec un diamètre de refoulement plus adéquat.

L'automatisation du système de pompage a été introduite pour assurer une réactivité optimale en cas d'incendie, facilitant la surveillance et la gestion à distance, ainsi que l'intégration de la centrale d'alarme incendie dans le système de détection (F&G).



Les solutions et recommandations proposées dans ce mémoire visent à améliorer significativement la sécurité incendie du terminal marin de Bejaïa. Cependant, pour rester à la pointe de la sécurité industrielle, il est crucial d'envisager des avancées technologiques continues, telles que l'intégration de l'intelligence artificielle pour la détection comme la mise en place des caméras infrarouges au niveau des toits des bacs voire même les drones et l'extinction des incendies comme le système de nébulisation d'eau à haute pression, ainsi que le développement de matériaux plus résistants au feu.

Pour conclure, les efforts déployés dans ce mémoire visent à garantir une sécurité incendie renforcée et durable pour le terminal marin de Bejaïa.

## **Références Bibliographiques**

## *Références bibliographiques*

[1] : Tecnitex, entreprise dédiée à la conception et à la production de systèmes techniques textiles destinés à la sectorisation en cas d'incendie et au contrôle des fumées [en ligne]. [Consulté le 20 février 2024]. Disponible à l'adresse : <http://www.tecnitexfire.com>.

[2] : Guard-X inc., Guard-X inc. [en ligne]. [Consulté le 21 février 2024]. Disponible à l'adresse : <https://www.guard-x.com/>.

[3] : Documentation interne de Sonatrach.

[4] : Groupe CNPP, Route de la Chapelle-Réanville, CD 64 - CS22265, 27950 SAINT-MARCEL [en ligne]. [Consulté le 23 février 2024]. Disponible à l'adresse : <http://cybel.cnpp.com>.

[5] : Institut américain du pétrole (API), API [en ligne]. [Consulté le 24 février 2024]. Disponible à l'adresse : <http://www.api.org>.

[6] : Boutinzar, M., Azegagh, M. « Disponibilité et Maintenabilité du Réseau Anti-incendie du Parc de Stockage RTC Sonatrach Béjaïa ». Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master, Recherche opérationnelle, Université A. MIRA Bejaia, s.n., 2018.

[7] : Cherifi, N., Khouchane, M. « Étude et Dimensionnement d'un Réseau Anti-incendie Sonatrach Béjaïa ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Mécanique, Université A. MIRA Bejaia, s.n., 2013.

[8] : Fedila, N., Aounit, Y. « Dimensionnement d'un Poste Transformateur Alimentant un Système Électropompe au sein de Sonatrach ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique, Université A. MIRA Bejaia, s.n., 2020.

[9] : Djoudi, H. « Étude et dimensionnement d'un réseau anti-incendie dans un centre de stockage de carburants ». Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique, École Nationale Polytechnique, s.n., 2021.

[10] : Lian-Ming, S. Perméation Gazeuse. Techniques Séparatives sur Membranes, TIB331DUO. Techniques de l'Ingénieur Opérations Unitaires. France : s.n., 2016.

[11] : Techniques de l'ingénieur. [En ligne] [Consulté le 10 mars 2024]. Disponible à l'adresse : [www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr).

[12] : Merabet, T. « Calcul et conception d'un réseau d'incendie HP "complexe SP2" ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master, Université BISKRA, s.n., 2020.

[13] : Feux Industriels de Liquides. [Consulté le 05 mars 2024]. Disponible à l'adresse : <http://www.ineris.fr>.

[14] : L'Express. [En ligne] [Consulté le 5 mars 2024]. Disponible à l'adresse : [www.lexpress.fr](http://www.lexpress.fr).

[15] : Guibet, J.-C. Caractéristiques Des Produits Pétroliers TIB337DUO. Techniques de l'Ingénieur Constantes Chimiques. 2016.

[16] : Safti. [En ligne] [Consulté le 11 mars 2024]. Disponible à l'adresse : [safti.com](http://safti.com).

[17] : Haddour, A., Bourif, T. « Automatisation d'une Station de Pressurisation pour un Système Anti-incendie avec API S7-300 (Sonatrach) ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Électrique, Université A. MIRA Bejaia, 2012.

[18] : NFPA 15 : Standard pour les Systèmes de Pulvérisation d'Eau Fixes pour la Protection contre l'Incendie. s.l. : NFPA, 2017.

[19] : Synthèse Relative à une Barrière Technique (BTS). Moyens Fixes de Lutte contre les Incendies de Stockage de Liquide Inflammable. Novembre 2016, DRA-16-156884-049858.

[20] : NFPA 11: Standards pour les Systèmes de Mousse à Expansion Faible, Moyenne et Élevée. s.l. : NFPA, 2005.

[21] : NFPA 13 : Standard pour l'Installation de Systèmes de Gicleurs. s.l.: NFPA, 2019.

[22] : NFPA 16 : Standard pour l'Installation de Systèmes de Gicleurs Eau-Mousse et de Systèmes de Pulvérisation de Mousse. s.l.: NFPA, 2003.

[23] : Mensari, T., Talaouanou, F. « Étude du Circuit Hydraulique Bâche-Chaudière de Cogénération au sein de l'entreprise de CEVITAL ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Énergétique Génie Mécanique, Université A. MIRA Bejaia, 2012.

[24] : KSB. Doc-KSB Détermination des Pompes Centrifuges.

[25] : Éducation Aktreinges Sellschoff. Nathan : 5ème Édition 2005.

[26] : Les Stations de Pompage d'Eau SAIDA.DZ. s.l. : 6ème Édition.

[27] : Haggas, B. s.l. : Université de Batna Département Hydraulique.

[28] : Thermexcel. Rendement des Pompes, NPSH, HMT, Charge Hydraulique.

[29] : Bonin, J. Écoulement des Fluides dans la Tuyauterie. France : Techniques de l'Ingénieur, 10 mai 1983. A738V1.

[30] : Cost, O. Conception des Circuits Fluides en Eau - Rappel Fondamental. France : Techniques de l'Ingénieur, 10 janvier 2010. BM 6201 V1.

[31] : Dallemagne, G. Fluide Hydraulique - Facteur d'Influence. s.l.: Techniques de l'Ingénieur, 10 janvier 1999. BM 6012 V1.

[32] : Briere, F.G. Distribution et Collecte des Eaux. s.l.: Presse Interne Polytechnique, 2012.

[33] : Ghellaf, H., Hammache, H. « Étude de l'Alimentation en Eau Potable de la Commune d'Ait R'zin (Wilaya de Bejaia) à partir du Barrage Tichy-Haff ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique Urbaine, Université de Bejaia, 2020.

[34] : Segitec. [En ligne] [Consulté le 12 mai 2024]. Disponible sur le site : [www.segitec.net](http://www.segitec.net).

[35] : Merabti, A., Benoudina, B. « Étude du Système de Détection de Gaz ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Instrumentation Électronique, Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2018.

[36] : ManuelsLib. The Ultimate Manuals Library: Manuel du Déclarant.

[37] : Schanen, T. Guide des Automatismes. France : s.n., 2007.

[38] : Djermouni.,. Cours « API et Microprocesseur » Master 2 en Électromécanique, Université de Bejaia A. MIRA.

[39] : Technologue Pro. Cours GRAFCET : Les Notions de Base.

[40] : Yousfi.J, Maafa, N. « Automatisation et Supervision d'un Réseau Hydraulique au sein du Centre EATIT Bejaia ». Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Électromécanique, Université de Bejaia, 2020.

**ANNEXES**

## Annexe 01 : Les débits d'extinctions pour chaque scénarios de feu

Scénarios	T (l/ (min.m <sup>2</sup> ))	S (m <sup>2</sup> )	Q <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> /h)	t(h)	C <sub>emuls</sub> (%)	V <sub>usd</sub> (m <sup>3</sup> )
Feu de joint du bac 4F6	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4A7	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4A8	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4C9	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4D10	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4B11	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4B12	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4E1	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4F5	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4C4	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4D3	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de joint du bac 4E2	12,2	12,2	74.42	0.3	3	0.68
Feu de toit fixe du bac 4Y1	4.1	4.1	49.47	0.5	3	0.45
Feu de joint du bac R13	12,2	12,2	93.03	0.3	3	0.83
Feu de joint du bac N14	12,2	12,2	93.03	0.3	3	0.83
Feu de joint du bac M20	12,2	12,2	93.03	0.3	3	0.83
Feu de joint du bac P21	12,2	12,2	93.03	0.3	3	0.83
Feu dans les Pompes Anti-Incendie	16.3	16.3	205.30	2	–	–

**Annexe (n°2) : Les résultats de calcul des débits de refroidissement pour les demi-couronnes de refroidissement pour chaque scénario de feu.**

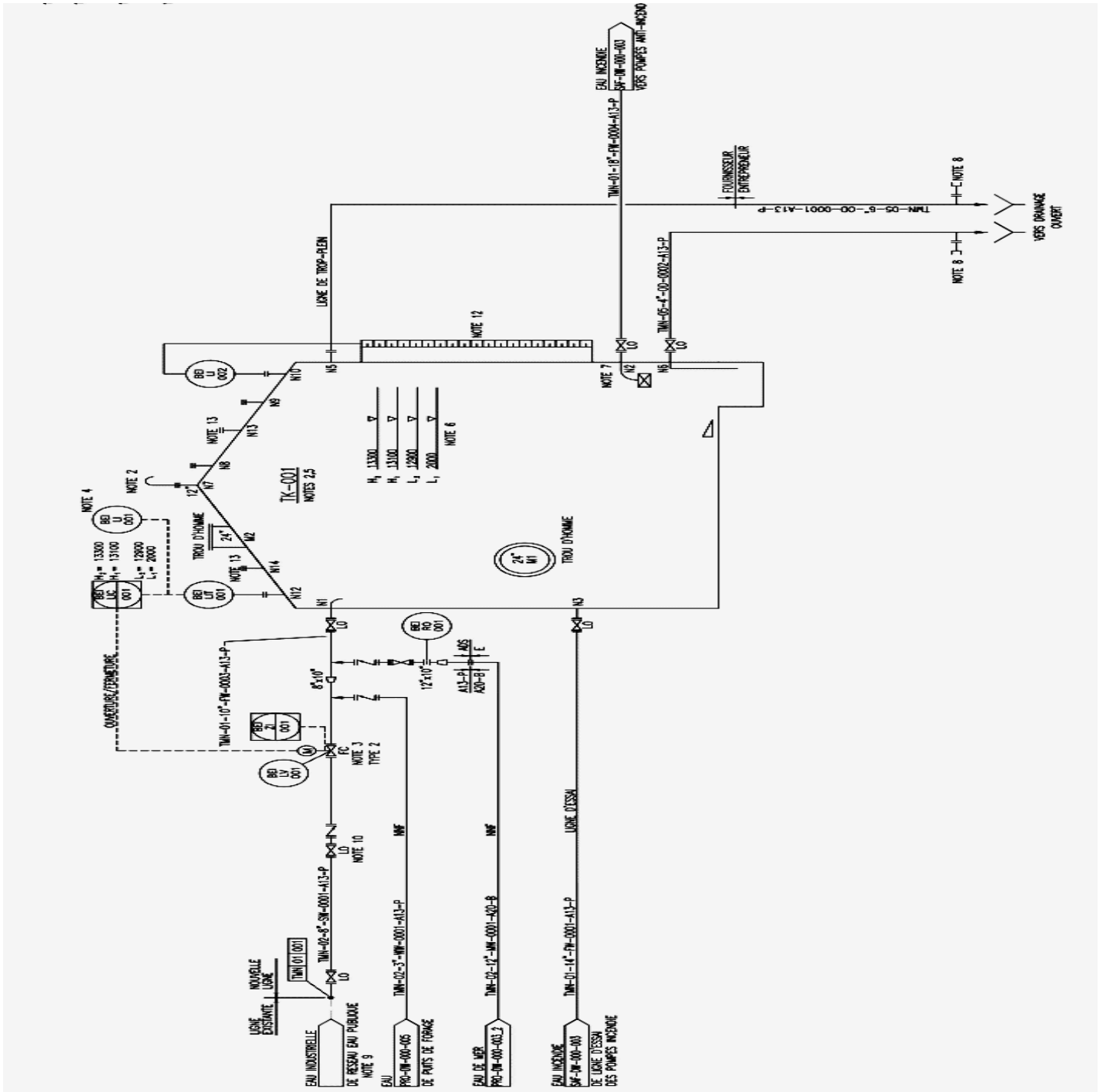
	<b>Bacs avoisinants</b>	<b>T' (l/(min.m))</b>	<b>P du bac en feu (m)</b>	<b>P' des bacs avoisinants (m)</b>	<b>Q<sub>i-ref</sub> (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Q<sub>j-ref</sub> (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Q<sub>ref-tot</sub> (m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>bac 4F6</b>	bac 4A7	15	175.90	88.0	158.31	79,2	273,51
<b>bac 4A7</b>	bac 4F6, 4A8	15	175.90	88.0	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4A8</b>	bac 4A7, 4C9	15	175.90	88.0	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4C9</b>	bac 4A8, 4D10	15	175.90	88.0	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4D10</b>	bac 4B11, 4C9	15	175.90	88.0	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4B11</b>	bac 4B12, 4D10	15	175.90	88.0	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4B12</b>	bac 4B11, 4E1	15	175.90	88.0	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4E1</b>	bac 4B12	15	175.90	88.0	158.31	79,2	273,51
<b>bac 4F5</b>	bac 4Y1, 4C4	15	175.90	50.3; 88.0	158.31	124,27	282,58
<b>bac 4C4</b>	bac 4F5, 4D3	15	175.90	88.00	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4D3</b>	bac 4C4, 4E2	15	175.90	88.00	158.31	158,31	316,62
<b>bac 4E2</b>	bac 4D3	15	175.90	88.00	158.31	79,2	273,51
<b>bac 4Y1</b>	bac 4F5	15	50.30	88.00	45,27	79,2	124,47
<b>bac R13</b>	bac N14, P21	15	213.60	106.80	192.24	192,24	384,48
<b>bac N14</b>	bac R13, P21, M20	15	213.60	106.80	192.24	288,36	480,6
<b>bac M20</b>	bac P21, N14	15	213.60	106.80	192.24	192,24	384,48
<b>bac P21</b>	bac M20, N14	15	213.60	106.80	192.24	192,24	384,48



**Annexe (n°3) : Résultats de calcul du débit d'eau anti-incendie requis ainsi que la capacité d'émulseur.**

<b>Scénarios</b>	<b>Description</b>	<b>Débit d'eau incendie requis (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Capacité d'eau incendie requise (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Capacité d'émulseur requise (m<sup>3</sup>)</b>
1	Feu de joint du bac 4F6	313.93	2872.92	0.68
2	Feu de joint du bac 4A7	393.13	3822.12	0.68
3	Feu de joint du bac 4A8	393.13	3822.12	0.68
4	Feu de joint du bac 4C9	393.13	3822.12	0.68
5	Feu de joint du bac 4D10	393.13	3822.12	0.68
6	Feu de joint du bac 4B11	393.13	3822.12	0.68
7	Feu de joint du bac 4B12	393.13	3822.12	0.68
8	Feu de joint du bac 4 E1	313.93	2872.92	0.68
9	Feu de joint du bac 4F5	359.20	2047.12	0.68
10	Feu de joint du bac 4C4	392.75	3822.12	0.68
11	Feu de joint du bac 4D3	392.75	3822.12	0.68
12	Feu de joint du bac 4 E2	313.93	2872.92	0.68
13	Feu de toit fixe du bac 4Y1	200.89	1518.38	0.45
14	Feu de joint du bac R13	460.9	4641.70	0.83
<b>15</b>	<b>Feu de joint du bac N14</b>	<b>557.02</b>	<b>5795.11</b>	<b>0.83</b>
16	Feu de joint du bac M20	460.90	4641.70	0.83
17	Feu de joint du bac P21	460.90	4641.70	0.83
18	Feu dans les Pompes Anti-incendie	205.38	410.76	—

# Annexe (n°4) : schéma de la nouvelle réserve de stockage d'eau anti-incendie.



Maille	Tronçon (Ni-Nj)	Ltot (m)	Diamètre (m)		Chw	$\beta$	$K_i$	$Q_i$ (m³/h)	$Q_i$ (m³/S)	V (m/s)	$Q_i$ (m³/S)	(HL)i (m)	(HL)i/Q'i	$-\sum(HL)$ (m)	$m(\sum(HL)i / Q_i)$	$\Delta Q$ (m³/S)	$\Delta Q$ (l/S)	$Q_i+\Delta Q$ (m³/S)	$Q_i+\Delta Q$ (l/S)
Maille1	N1-N2	493,027	0,205	120	10,679	1671,8779	466,16	0,1291263	3,9141494	0,02257352	37,7401765	1671,8779	-	9,578429687	7158,359211	-0,001338	-1,338076	0,127788244	127,7882439
	N1-N9	440,215	0,205	120	10,679	1446,218	-	-0,115376	-3,497343	-0,0183236	-26,499863	1446,218	-	-	-	-0,000723	-0,723	-0,11609904	-116,09904
	N9-N10	158,209	0,205	120	10,679	536,49422	-	-0,036932	-1,119516	-0,0022244	-1,1933885	536,49422	-	-	-	-0,00113	-1,130193	0,038062603	-38,062603
	N10-N2	62,109	0,205	120	10,679	210,61456	-	-0,036932	-1,119516	-0,0022244	-0,4684952	210,61456	-	-	-	-0,00113	-1,130193	0,038062603	-38,062603
	$\Sigma$	1153,56								$\Sigma$	9,57842969	3865,2048							
Maille2	N9-N10	158,209	0,205	120	10,679	536,49422	133,33	0,0369324	1,1195159	0,00222249	1,1923507	536,49422	-	6,120719745	8106,46376	0,00113	1,13	0,03806241	38,06241
	N10-N2	62,109	0,205	120	10,679	210,61456	133,33	0,0369324	1,1195159	0,00222249	0,46808784	210,61456	-	-	-	0,00113	1,13	0,03806241	38,06241
	N9-N8	282,005	0,205	120	10,679	956,29232	-	-0,078441	-2,377743	-0,008968	-8,5760391	956,29232	-	-	-	0,000755	0,7550419	0,077685818	77,68581811
	N8-N7	185,904	0,205	120	10,679	630,40928	-	-0,078441	-2,377743	-0,008968	-5,6535167	630,40928	-	-	-	0,000755	0,7550419	0,077685818	77,68581811
	N2-N12	359,968	0,205	120	10,679	1220,6686	161,12	0,0446302	1,3528568	0,00315583	3,85221995	1220,6686	-	-	-	0,0003403	0,3402671	0,044970507	44,9705071
	N12-N11	167,767	0,205	120	10,679	568,90585	161,12	0,0446302	1,3528568	0,00315583	1,79536899	568,90585	-	-	-	0,0001837	0,1837	0,04481394	44,81394
	N11-N7	74,831	0,205	120	10,679	253,75547	161,12	0,0446302	1,3528568	0,00315583	0,8008086	253,75547	-	-	-	0,0001837	0,1837	0,04481394	44,81394
$\Sigma$	1290,793								$\Sigma$	-6,1207197	4377,1403								
Maille3	N2-N3	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	388,86	0,1077142	3,2650938	0,01613503	10,6786013	661,82733	-	4,202809906	10132,75156	0,0004148	0,4147748	0,016549801	16,54980087
	N3-N4	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	388,86	0,1077142	3,2650938	0,01613503	10,6786013	661,82733	-	-	-	0,0004148	0,4147748	0,016549801	16,54980087
	N4-N5	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	388,86	0,1077142	3,2650938	0,01613503	10,6786013	661,82733	-	-	-	0,0004148	0,4147748	0,016549801	16,54980087
	N2-N12	359,968	0,205	120	10,679	1220,6686	-	-0,04463	-1,352857	-0,0031562	-3,8526497	1220,6686	-	-	-	-0,00034	-0,340267	0,044970507	-44,9705071
	N12-N11	167,767	0,205	120	10,679	568,90585	-	-0,04463	-1,352857	-0,0031562	-1,7955693	568,90585	-	-	-	-0,00034	-0,340267	0,044970507	-44,9705071
	N11-N7	74,831	0,205	120	10,679	253,75547	-	-0,04463	-1,352857	-0,0031562	-0,8008979	253,75547	-	-	-	-0,00034	-0,340267	0,044970507	-44,9705071
	N7-N6	260,73	0,205	120	10,679	884,14779	-444,3	-0,123071	-3,7306	-0,0206522	-18,259606	884,14779	-	-	-	0,0004148	0,4147748	0,020237435	20,23743521
	N6-N5	164,636	0,205	120	10,679	558,28848	-444,3	-0,123071	-3,7306	-0,0206522	-11,529891	558,28848	-	-	-	0,0004148	0,4147748	0,020237435	20,23743521
$\Sigma$	1613,439								$\Sigma$	-4,2028099	5471,2481								

**Annexe (n°6) : Résultats de calculs de la première itération de la méthode de Hardy Cross**

### Annexe (n°7) : Résultats de calculs de la deuxième itération de la méthode de Hardy Cross

Maille	Tronçon (Ni-Nj)	Ltot (m)	Diamètre (m)	Chw	$\beta$	Ki	Qi (m³/S)	V (m/S)	Q'i (m³/S)	(HL)i (m)	(HL)i/Q'i	$-\sum(HL)$ (m)	$m(\sum(HL)i / Qi)$	$\Delta Q$ (m³/S)	$\Delta Q$ (l/S)	Qi+ $\Delta Q$ (m³/S)
Maille1	N1-N2	493,027	0,205	120	10,679	1671,8779	0,1277882	3,8735887	0,022142218	37,019086	1671,8779	8,4534452	7158,359211	-0,001180919	-1,180919388	0,126607321
	N1-N9	440,215	0,205	120	10,679	1446,218	-0,116099	3,5192592	-0,0185379	-26,809845	1446,218			-0,001180919	-1,180919388	-0,117279959
	N9-N10	158,209	0,205	120	10,679	536,49422	-0,0380626	-1,153775	-0,00235012	-1,2608258	536,49422			-0,001895943	-1,89594329	-0,039958546
	N10-N2	62,109	0,205	120	10,679	210,61456	-0,0380626	-1,153775	-0,00235012	-0,4949695	210,61456			-0,001895943	-1,89594329	-0,039958546
	$\Sigma$	1153,56							$\Sigma$		8,4534452			3865,2048		
Maille2	N9-N10	158,209	0,205	120	10,679	536,49422	0,03806241	1,1686564	0,002350061	1,2607941	536,49422	5,7963154	8106,46376	0,001895943	1,89594329	0,039958353
	N10-N2	62,109	0,205	120	10,679	210,61456	0,03806241	1,1537691	0,002350061	0,4949571	210,61456			0,001895943	1,89594329	0,039958353
	N9-N8	282,005	0,205	120	10,679	956,29232	-0,0776858	-	-0,00888113	-8,4929565	956,29232			0,000715024	0,715023903	-0,076970786
	N8-N7	185,904	0,205	120	10,679	630,40928	-0,0777686	-	-0,0088813	-5,5988539	630,40928			0,000715024	0,715023903	-0,077053557
	N2-N12	359,968	0,205	120	10,679	1220,6686	0,0449705	1,3631712	0,003200533	3,9067895	1220,6686			6,65977E-05	0,06659772	0,045037105
	N12-N11	167,767	0,205	120	10,679	568,90585	0,0449705	1,3631712	0,003200533	1,8208017	568,90585			6,65977E-05	0,06659772	0,045037105
	N11-N7	74,831	0,205	120	10,679	253,75547	0,0449705	1,3631712	0,003200533	0,8121527	253,75547			6,65977E-05	0,06659772	0,045037105
	$\Sigma$	1290,793							$\Sigma$		-5,7963154			4377,1403		
Maille3	N2-N3	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	0,0165498	0,5016668	0,000502579	0,3326204	661,82733	6,5703414	10132,75156	0,000648426	0,648426182	0,017198227
	N3-N4	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	0,0165498	0,5016668	0,000502579	0,3326204	661,82733			0,000648426	0,648426182	0,017198227
	N4-N5	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	0,0165498	0,5016668	0,000502579	0,3326204	661,82733			0,000648426	0,648426182	0,017198227
	N2-N12	359,968	0,205	120	10,679	1220,6686	-0,0449705	-1,363171	-0,0031799	-3,8816039	1220,6686			-6,65977E-05	-0,06659772	-0,045037098
	N12-N11	167,767	0,205	120	10,679	568,90585	-0,0449705	-1,363171	-0,0031799	-1,8090637	568,90585			-6,65977E-05	-0,06659772	-0,045037098
	N11-N7	74,831	0,205	120	10,679	253,75547	-0,0449705	-1,363171	-0,0031799	-0,806917	253,75547			-6,65977E-05	-0,06659772	-0,045037098
	N7-N6	260,73	0,205	120	10,679	884,14779	-0,0202374	-	-	-0,6562401	884,14779			0,000648426	0,648426182	-0,019589009
	N6-N5	164,636	0,205	120	10,679	558,28848	-0,0202374	-	-	-0,4143779	558,28848			0,000648426	0,648426182	-0,019589009
	$\Sigma$	1613,439							$\Sigma$		-6,5703414			5471,2481		

### Annexe (n°8) : Résultats de calculs de la troisième itération de la méthode de Hardy Cross

Tronçon (Ni-Nj)	Ltot (m)	Diamètre (m)	Chw	$\beta$	Ki	Qi (m³/S)	V (m/S)	Q'i (m³/S)	(HL)i (m)	(HL)i/Q'i	$-\Sigma(HL)$ (m)	$m(\Sigma(HL)i/Qi)$	$\Delta Q(m3/S)$	$\Delta Q(l/S)$	Qi+ $\Delta Q$ (m3/S)
N1-N2	493,027	0,205	120	10,679	1671,8779	0,12660732	3,837792	-0,000001868	-0,003123068	1671,8779	0,0032234	7158,359211	4,50294E-07	0,000450294	0,12660777
N1-N9	440,215	0,205	120	10,679	1446,218	-0,117279959	-3,5550558	-4,573E-08	-6,61356E-05	1446,218			4,50294E-07	0,000450294	-0,117279509
N9-N10	158,209	0,205	120	10,679	536,49422	-0,039958546	-1,2112458	-4,573E-08	-2,45339E-05	536,49422			-1,9784E-06	-0,001978402	-0,039960524
N10-N2	62,109	0,205	120	10,679	210,61456	-0,039958546	-1,2112458	-4,573E-08	-9,6314E-06	210,61456			-1,9784E-06	-0,001978402	-0,039960524
$\Sigma$	1153,56							$\Sigma$	-0,003223369	3865,2048					
N9-N10	158,209	0,205	120	10,679	536,49422	0,039958353	1,2268689	-0,000000622	-0,000333699	536,49422	0,0196881	8106,46376	1,9784E-06	0,001978402	0,039960331
N10-N2	62,109	0,205	120	10,679	210,61456	0,039958353	1,21124	-0,000000622	-0,000131002	210,61456			1,9784E-06	0,001978402	0,039960331
N9-N8	282,005	0,205	120	10,679	956,29232	-0,076970786	-2,3331816	-0,00001209	-0,011561574	956,29232			2,4287E-06	0,002428697	-0,076968357
N8-N7	185,904	0,205	120	10,679	630,40928	-0,077053557	-2,3658285	-0,00001209	-0,007621648	630,40928			2,4287E-06	0,002428697	-0,077051128
N2-N12	359,968	0,205	120	10,679	1220,6686	0,045037105	1,36519	-1,96827E-08	-2,4026E-05	1220,6686			8,30328E-07	0,000830328	0,045037935
N12-N11	167,767	0,205	120	10,679	568,90585	0,045037105	1,36519	-1,96827E-08	-1,11976E-05	568,90585			8,30328E-07	0,000830328	0,045037935
N11-N7	74,831	0,205	120	10,679	253,75547	0,045037105	1,36519	-1,96827E-08	-4,99459E-06	253,75547			8,30328E-07	0,000830328	0,045037935
$\Sigma$	1290,793							$\Sigma$	-0,019688142	4377,1403					
N2-N3	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	0,017198227	0,5213223	0,00814365	5,389690152	661,82733	0,0159001	9947,733606	1,59837E-06	0,001598368	0,017199825
N3-N4	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	0,017198227	0,5213223	0,00814365	5,389690152	661,82733			1,59837E-06	0,001598368	0,017199825
N4-N5	195,169	0,205	120	10,679	661,82733	0,017198227	0,5213223	0,00814365	5,389690152	661,82733			1,59837E-06	0,001598368	0,017199825
N2-N12	359,968	0,205	120	10,679	1220,6686	-0,045037105	-1,36519	-0,003204866	-3,546982354	1106,7492			-8,30328E-07	-0,000830328	-0,045037935
N12-N11	167,767	0,205	120	10,679	568,90585	-0,045037105	-1,36519	-0,003204866	-1,823266791	568,90585			-8,30328E-07	-0,000830328	-0,045037935
N11-N7	74,831	0,205	120	10,679	253,75547	-0,045037105	-1,36519	-0,003204866	-0,813252173	253,75547			-8,30328E-07	-0,000830328	-0,045037935
N7-N6	260,73	0,205	120	10,679	884,14779	-0,01958909	-0,5937955	-0,006867	-6,071442882	884,14779			1,59837E-06	0,001598368	-0,019587492
N6-N5	164,636	0,205	120	10,679	558,28848	-0,01958909	-0,5937955	-0,006867	-3,930026398	572,30616			1,59837E-06	0,001598368	-0,019587492
$\Sigma$	1613,439							$\Sigma$	-0,015900143	5371,3464					

## Annexe (n°9) : Script détaillé de la connectivité des nœuds et la visualisation du réseau.

```
clc
clear all

% Définir le nombre de nœuds et de tronçons
nombre_de_noeuds = 12;
nombre_de_troncons = 14;

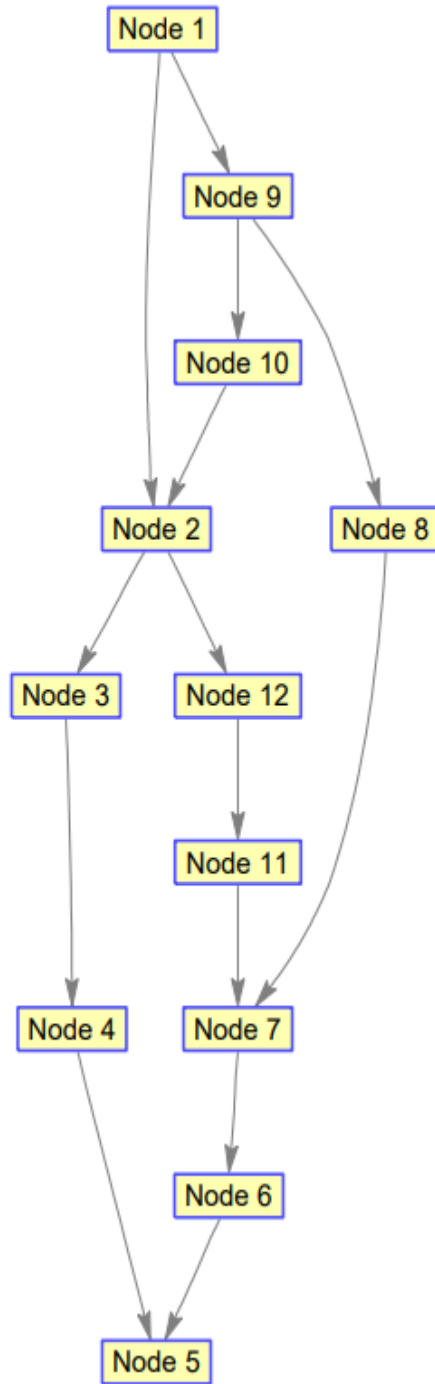
% Caractéristiques des tronçons
lengths = [493.027; 440.215; 158.209; 62.109; 158.209; 62.109; 282.005; 185.904;
359.968; 167.767; 74.831; 195.169; 195.169; 195.169; 359.968; 167.767; 74.831; 260.73;
164.636]; % Longueurs en mètres
diameters = 0.205; %diameters en mètres
coeff_Hazen_Williams = 120; % Coefficient de Hazen-Williams

% Créer la matrice d'adjacence
adj_matrix = zeros(nombre_de_noeuds);

% Définir les connexions pour chaque maille
% Maille 1
adj_matrix(1,2) = 1;
adj_matrix(1,9) = 1;
adj_matrix(9,10) = 1;
adj_matrix(10,2) = 1;
% Maille 2
adj_matrix(9,8) = 1;
adj_matrix(8,7) = 1;
adj_matrix(12,11) = 1;
% Maille 3
adj_matrix(2,3) = 1;
adj_matrix(3,4) = 1;
adj_matrix(4,5) = 1;
adj_matrix(2,12) = 1;
adj_matrix(11,7) = 1;
adj_matrix(7,6) = 1;
adj_matrix(6,5) = 1;
% Convertir la matrice d'adjacence en un réseau
bg = biograph(adj_matrix);

% Afficher le réseau
view(bg);
```

**Annexe (n°10) : visualisation du réseau de terminal sud sur Matlab.**



## Annexe (n°11) : script de la méthode de Hardy Cross.

```
function finalhardy()
    nombre_de_troncons = 14; % Remplacez 14 par la valeur appropriée
    run_hardythree(nombre_de_troncons);
end
function run_hardythree(nombre_de_troncons)
    % Initialisation des débits dans les tronçons (utilisation de la méthode de
dichotomie)
    debit_initial = zeros(nombre_de_troncons, 1);
    % Déclaration des caractéristiques du réseau
    longueurs = [493.027, 440.215, 158.209, 62.109, 158.209, 62.109, 282.005,
185.904, 359.968, 167.767, 74.831, 195.169, 195.169, 195.169];
    diametre = 0.205; % en mètres
    coeff_Hazen_Williams = 120; % Coefficient de Hazen-Williams pour l'acier
neuf
    % Initialisation des variables pour la convergence
    tolerance = 1e-6;
    max_iterations = 1000;
    iteration = 0;
    converged = false;
    while ~converged && iteration < max_iterations
        % Calcul des pertes de charge dans chaque tronçon
        pertes_de_charge = zeros(nombre_de_troncons, 1);
        for i = 1:nombre_de_troncons
            pertes_de_charge(i) = (1.852 * longueurs(i) *
debit_initial(i)^1.852 * coeff_Hazen_Williams^1.852) / (diametre^4.87);
        end

        % Ajustement des débits dans chaque tronçon en utilisant la méthode de
dichotomie
        for i = 1:nombre_de_troncons
            debit_initial(i) = dichotomie_debit(i, debit_initial(i),
pertes_de_charge(i), longueurs(i), diametre, coeff_Hazen_Williams);
        end

        % Vérification de la convergence
        if max(abs(pertes_de_charge)) < tolerance
            converged = true;
        end
    end
end
```



```

        iteration = iteration + 1;
    end

    if converged
        disp(['Convergence atteinte après ', num2str(iteration), '
itérations']);
    else
        disp('La convergence n''a pas été atteinte dans le nombre maximum
d''itérations.');
```

```

    end
end

% Fonction pour calculer le débit initial dans un tronçon à l'aide de la méthode
de dichotomie
function debit = dichotomie_initial(troncon, longueur, diametre, coeff_HW)
    debit_min = 0.01;
    debit_max = 0.3; % Valeur maximale raisonnable pour le débit initial en
m^3/s

    tolerance = 1e-6;
    max_iterations = 1000;

    debit = (debit_min + debit_max) / 2;

    for i = 1:max_iterations
        perte_charge = (1.852 * longueur * debit^1.852 * coeff_HW^1.852) /
(diametre^4.87);

        if abs(perte_charge) < tolerance
            break;
        end

        if perte_charge < 0
            debit_min = debit;
        else
            debit_max = debit;
        end

        debit = (debit_min + debit_max) / 2;
    end
end

```

```

    end
end

% Fonction pour ajuster le débit dans un tronçon à l'aide de la méthode de
dichotomie
function debit = dichotomie_debit(troncon, debit_actuel, perte_charge,
longueur, diametre, coeff_HW)
    debit_min = 0.01;
    debit_max = 0.02 * debit_actuel; % Intervalles initiaux pour la dichotomie

    tolerance = 1e-6;
    max_iterations = 1000;

    debit = (debit_min + debit_max) / 2;

    for i = 1:max_iterations
        perte_charge_estimee = (1.852 * longueur * debit^1.852 *
coeff_HW^1.852) / (diametre^4.87);

        if abs(perte_charge_estimee - perte_charge) < tolerance
            break;
        end

        if perte_charge_estimee < perte_charge
            debit_min = debit;
        else
            debit_max = debit;
        end

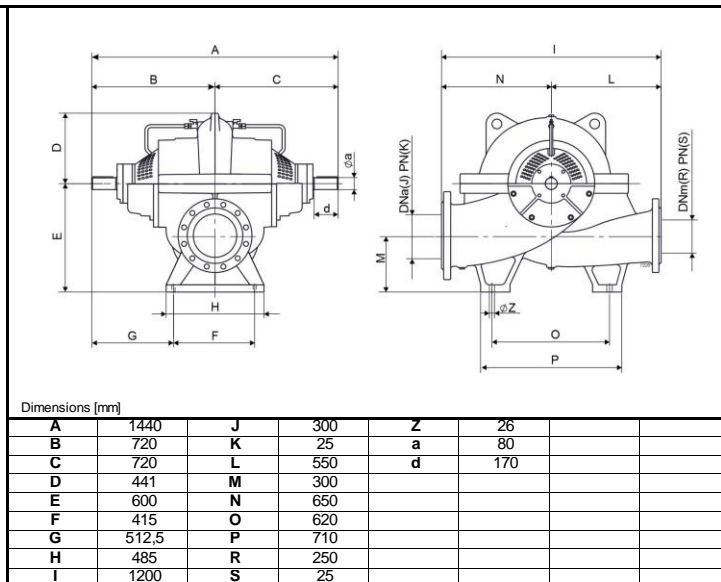
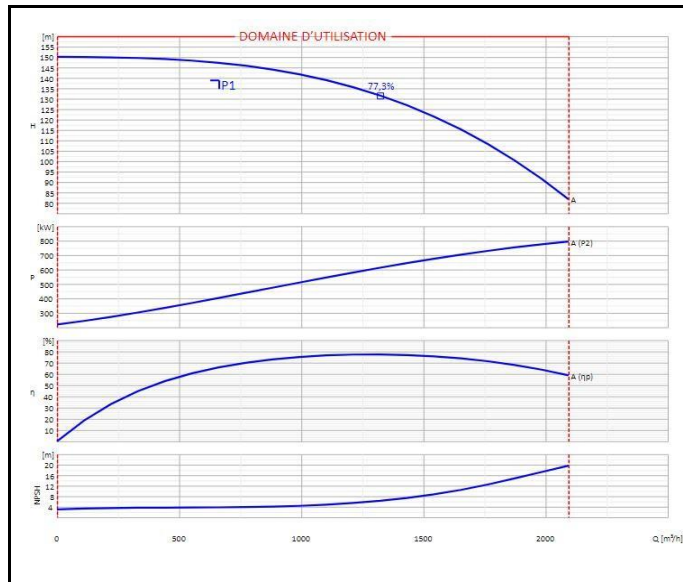
        debit = (debit_min + debit_max) / 2;
    end
end
end

```

# Annexe (n°12) : Fiche technique des pompes principales

## FICHE TECHNIQUE

<b>Client:</b>		<b>Réf.:</b>	
Item	Quantité	Débit demandé	662,25
Type	POMPE CENTRIFUGE A AXE HORIZONTALE	Modèle	Hauteur 139 m <b>SCC-2-250-600A</b>



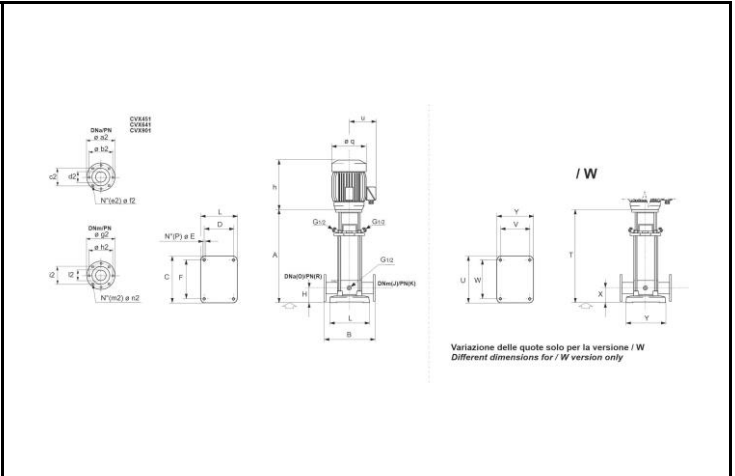
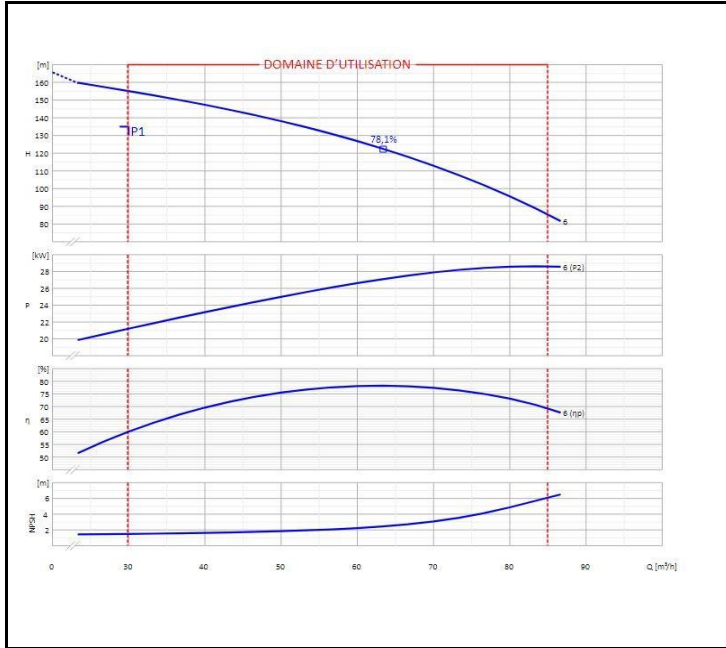
CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT - ISO 9906:2012					CARACTERISTIQUES DE CONSTRUCTION			
Q [m³/h]	H [m]	P [kW]	η [%]	NPSH [m]	DN bride refoulement UNI	250	PN	25
					DN bride aspiration UNI	300	PN	25
					Poids total	1050		Kg
					Nombre d'étages		1	
					Garniture pompe		Garniture à tresse	
					Type d'installation		Horizontale	

LIMITES DE FONCTIONNEMENT			CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT		
Liquide pompé	Eau		Débit de service	681,11	m³/h
Température maxi du liquide pompé	-		Hauteur manométrique de service	147,03	m
Densité maximum	1	kg/dm³	Qmin	0	2093,8
Viscosité maximum	1	mm²/s	Qmax		
Teneur max. de matières solides	n.d.		H (Q=0)	0	150,09
Nbre max. démarrages/heure	n.d.		Hmax (Qmin)		
			P2 Point Travail	409,27	793,68
			P2max		
Temps maximum de fonctionnement à refoulement fermé	n.d.		Rendement hydraulique pompe	66,56	%
			Vitesse de rotation	1450	1/min
			Sens de rotation (*)	Horaire	
			Nombre de pompes installées	En marche	Stand-by
				1	0

MATERIAUX POMPE	
Corps de pomp	Fonte grise
couvercle de pompe	Fonte grise
Roue	Fonte grise
Bague d'usure	Bronze
Entretoise arbre	Acier inox
Garniture à tresse	n.d.
Garniture mécanique	n.d.
Arbre	Acier inox
Support de roulement	Fonte grise
Coussinet	n.d.

<b>Remarques:</b>	(*) Vue côté joint moteur	
OFFRE No.	Pos.	Date
		27/05/2024

<b>Client:</b>		<b>Réf.:</b>	
Type	ELECTROPOMPE MULTICELLULAIRE VERTICALE	Débit demandé	30 m³/h
	Quantité	Hauteur	135 m
		Modèle	CVX641/6-2+E33000T222-V/G



A	1086	E	14	i2	150	P	4
a2	220	e2	8	J	100	q	400
B	380	F	266	K	25	R	16
b2	180	f2	18	L	247	T	1086
C	330	g2	235	i2	100	u	310
c2	150	h	628	m2	8	U	330
D	188	H	142	n2	22	V	190
d2	100	h2	190	O	100	W	265

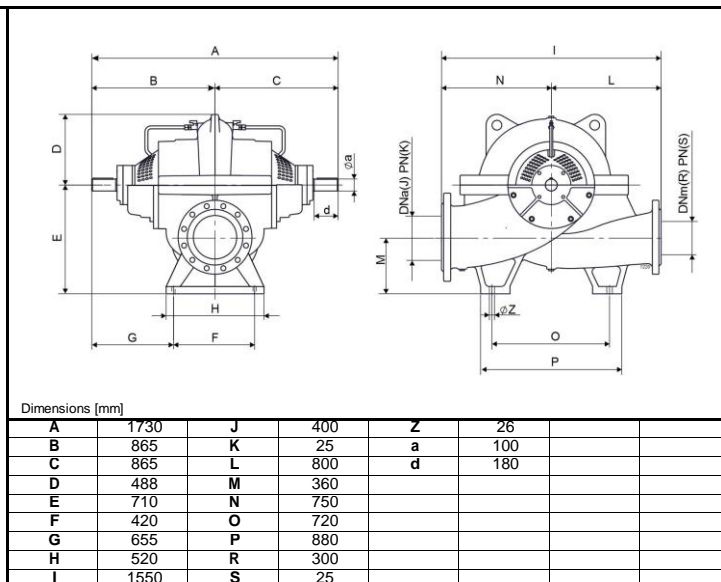
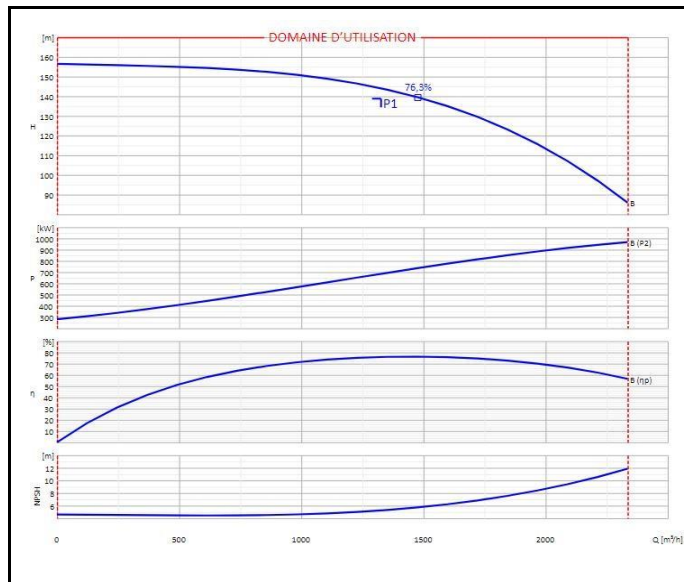
CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT - ISO 9906:2012 3B					CARACTERISTIQUES DE CONSTRUCTION	
Q [m³/h]	H [m]	P [kW]	η [%]	NPSH [m]	Diamètre refoulement	100
					Poids	340,3 Kg
					Nombre d'étages	6
					Étanchéité	Mécanique
					Type d'installation	Verticale

LIMITES DE FONCTIONNEMENT			CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT		
liquide pompé			Eau		
Temp. max liquide pompé	90	°C	Débit de service	31,98	m³/h
Densité maximum	1	kg/dm³	Hauteur manométrique de service	153,41	m
Viscosité maximum	1	mm²/s	Qmin	29,88	84,96
Teneur maxi de matières solides	n.d.		H (Q=0)	165,7	154,95
Nbre maxi démarrages/heure	n.d.		Hmax (Qmin)		
			Puissance absorbée point de travail	21,54	kW
			Puissance max. absorbée	28,57	kW
			Rendement pompe	61,97	57,8
			Rend. groupe		%
			Sens de rotation (*)	Antihoraire	
				En marche	Stand-by
			Nombre de pompes installées	1	0

MATERIAUX POMPE		CARACTERISTIQUES MOTEUR ÉLECTRIQUE	
Lanterne-support	Fonte grise	Marque	
Tête de pompe	Fonte grise	Modèle	400
Corps d'Étage	Acier inox	Puissance nominale	30 kW
Arbre	Acier inox	Fréquence Nominale	50 Hz
Garniture mécanique	Carbure de silicium/carbure de	Tension nominale	400 V
Diffuseur	Acier inox	Courant nominal	52,7 A
Roue	Acier inox	Nbre	2
Bague d'usure	PTFE	Vitesse de rotation	2955 1/min
Roulement intermédiaire	Bronze	Rendement 4/4 - 3/4	93.3 %
Roulement inférieur	Carbure de tungstène/Carbure	Facteur de puissance 4/4 - 3/4	0.88
Brides d'aspiration et refoulement	Fonte grise	Type de moteur	3 ~
Corps de pomp	Fonte grise	Is/In	7,6
Bague d'étanchéité	Caoutchouc EPDM	Ts/Tn	2
		Degré de protection	IP55
		Classe d'isolement	F
		Protection Thermique	PTC
		Classe de rendement	IE3

<b>Remarques:</b>	(*) Vue côté moteur électrique
OFFRE No.	Pos.
	Date
	27/05/2024

<b>Client:</b>				<b>Réf.:</b>			
<b>Item</b>		<b>Quantité</b>		<b>Débit demandé</b>	1324,5	<b>Hauteur</b>	139 m
<b>Type</b>	POMPE CENTRIFUGE A AXE HORIZONTAL			<b>Modèle</b>	SCC-2-300-700B		



CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT - ISO 9906:2012					CARACTERISTIQUES DE CONSTRUCTION			
Q [m³/h]	H [m]	P [kW]	η [%]	NPSH [m]	DN bride refoulement UNI	300	PN	25
					DN bride aspiration UNI	400	PN	25
					Poids total	1650		Kg
					Nombre d'étages	1		
					Garniture pompe	Garniture à tresse		
					Type d'installation	Horizontale		

LIMITES DE FONCTIONNEMENT			CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT		
Liquide pompé	Eau		Débit de service	1345,86	m³/h
Température maxi du liquide pompé	-		Hauteur manométrique de service	143,52	m
Densité maximum	1	kg/dm³	Qmin	0	2335,5
Viscosité maximum	1	mm²/s	H (Q=0)	0	156,5
Teneur max. de matières solides	n.d.		P2 Point Travail	691,65	P2max
Nbre max. démarrages/heure	n.d.		Rendement hydraulique pompe	76,03	%
Temps maximum de fonctionnement à refoulement fermé	n.d.		Vitesse de rotation	1450	1/min
			Sens de rotation (*)	Horaire	
			Nombre de pompes installées	En marche	Stand-by
				1	0

MATERIAUX POMPE	
Corps de pomp	Fonte grise
couvercle de pompe	Fonte grise
Roue	Fonte grise
Bague d'usure	Bronze
Entretoise arbre	Acier inox
Garniture à tresse	n.d.
Garniture mécanique	n.d.
Arbre	Acier inox
Support de roulement	Fonte grise
Coussinet	n.d.

<b>Remarques:</b>	(*) Vue côté joint moteur	
OFFRE No.	Pos.	Date
		27/05/2024

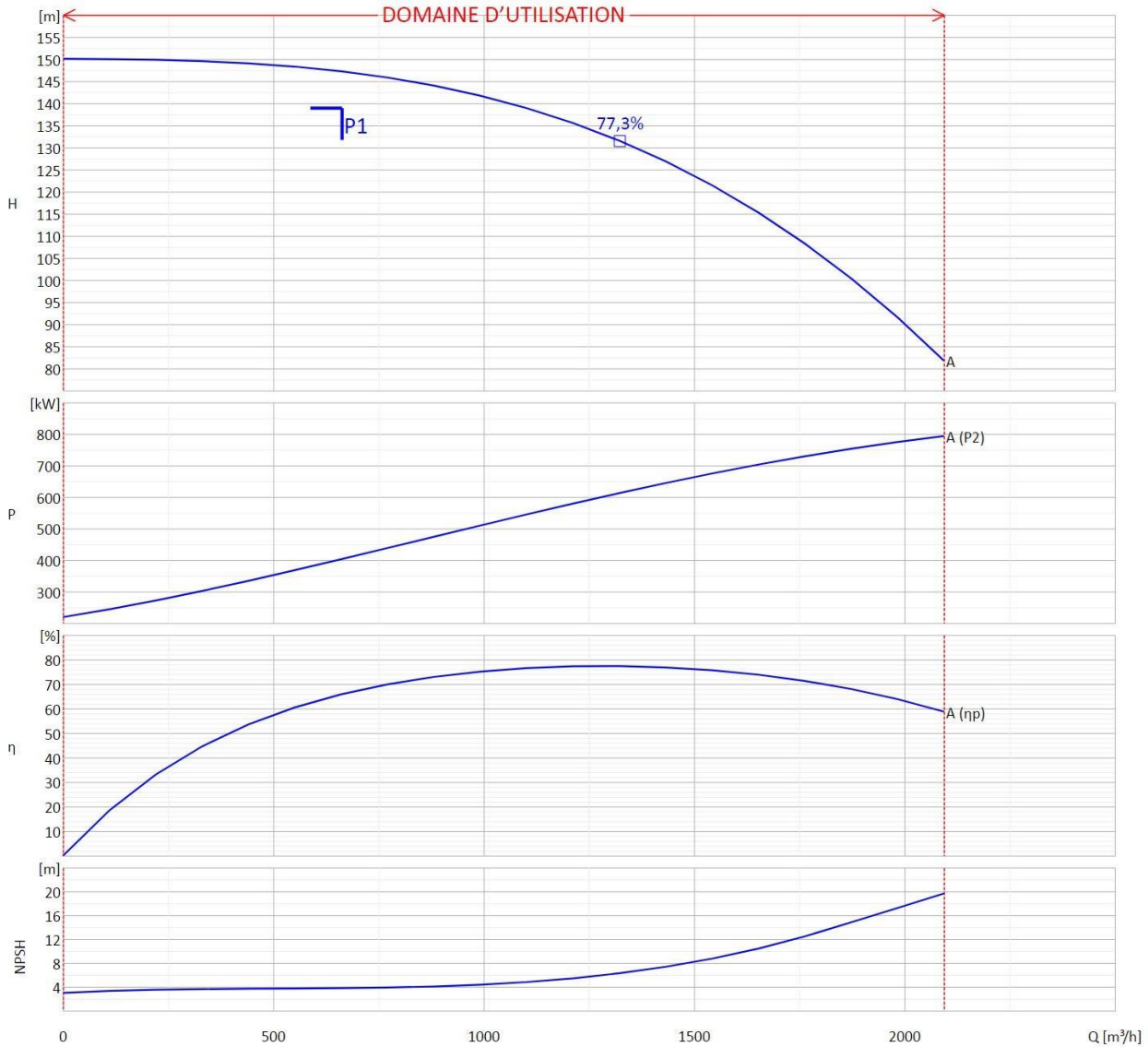
Annexe (n°15) : Courbes caractéristiques des pompes principales



# COURBES DE PERFORMANCES



Débit demandé	662,25 m³/h	Modèle	SCC-2-250-600A
Hauteur manométrique	139 m		



**CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT - ISO 9906:2012 3B -**

Q [m³/h]	H [m]	P [kW]	η [%]	NPSH [m]	Vitesse [1/min]

OFFRE No.	Pos. 0.0	Date 27/05/2024
-----------	-------------	--------------------

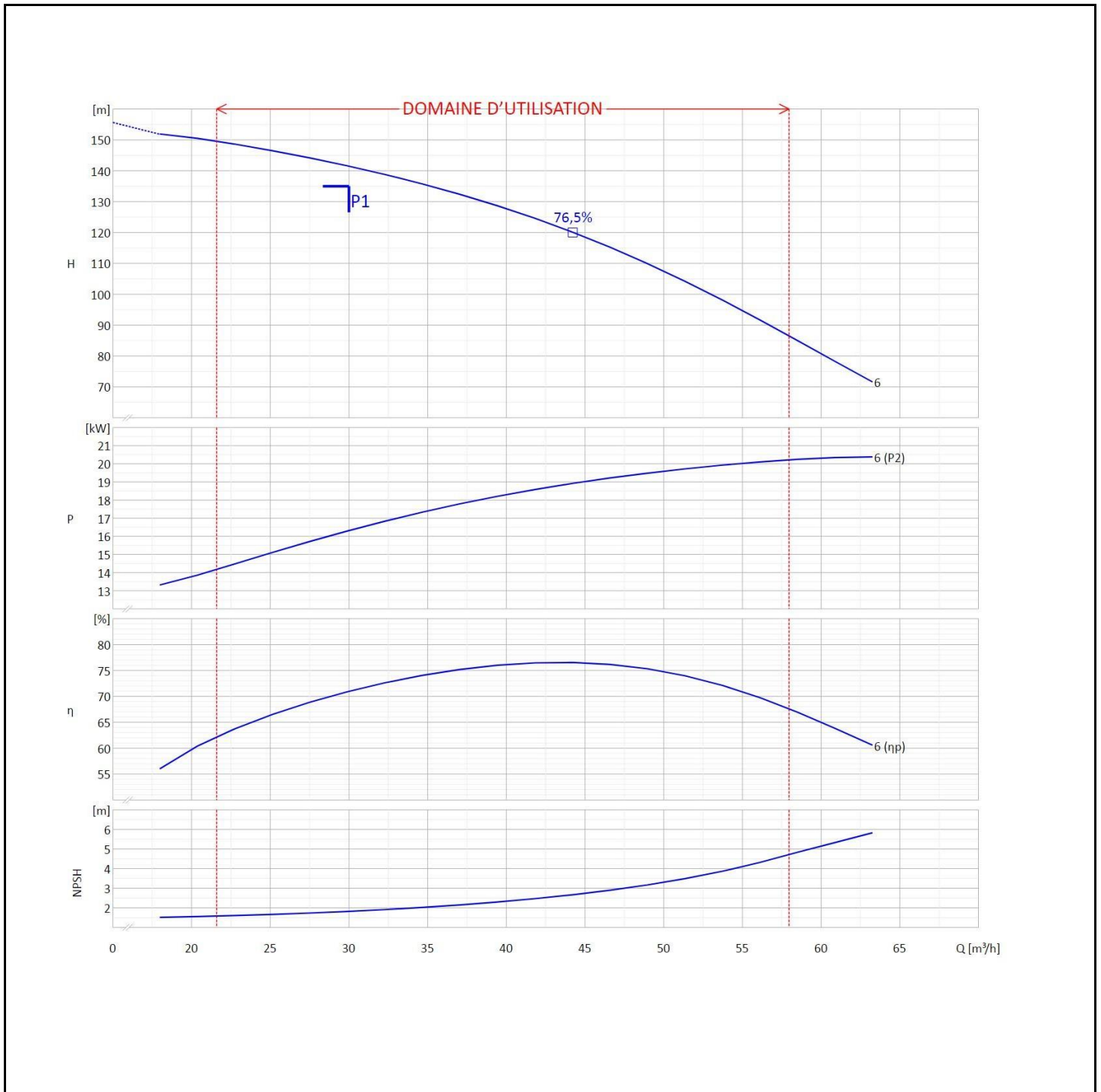
Annexe (n°16) : Courbes caractéristiques des pompes jockey



# COURBES DE PERFORMANCES



Tension	400	V	Fréquence	50	Hz	Débit dem.	30 m³/h	Hauteur man.	135 m
Puissanc	22	kW	Nbre pôles	2		Modèle	CVX451/6+E32200T222-V/G		



**CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT - ISO 9906:2012 3B - M.E.I. ≥ 0.40**

Q [m³/h]	H [m]	P [kW]	η [%]	NPSH [m]	Vitesse [1/min]

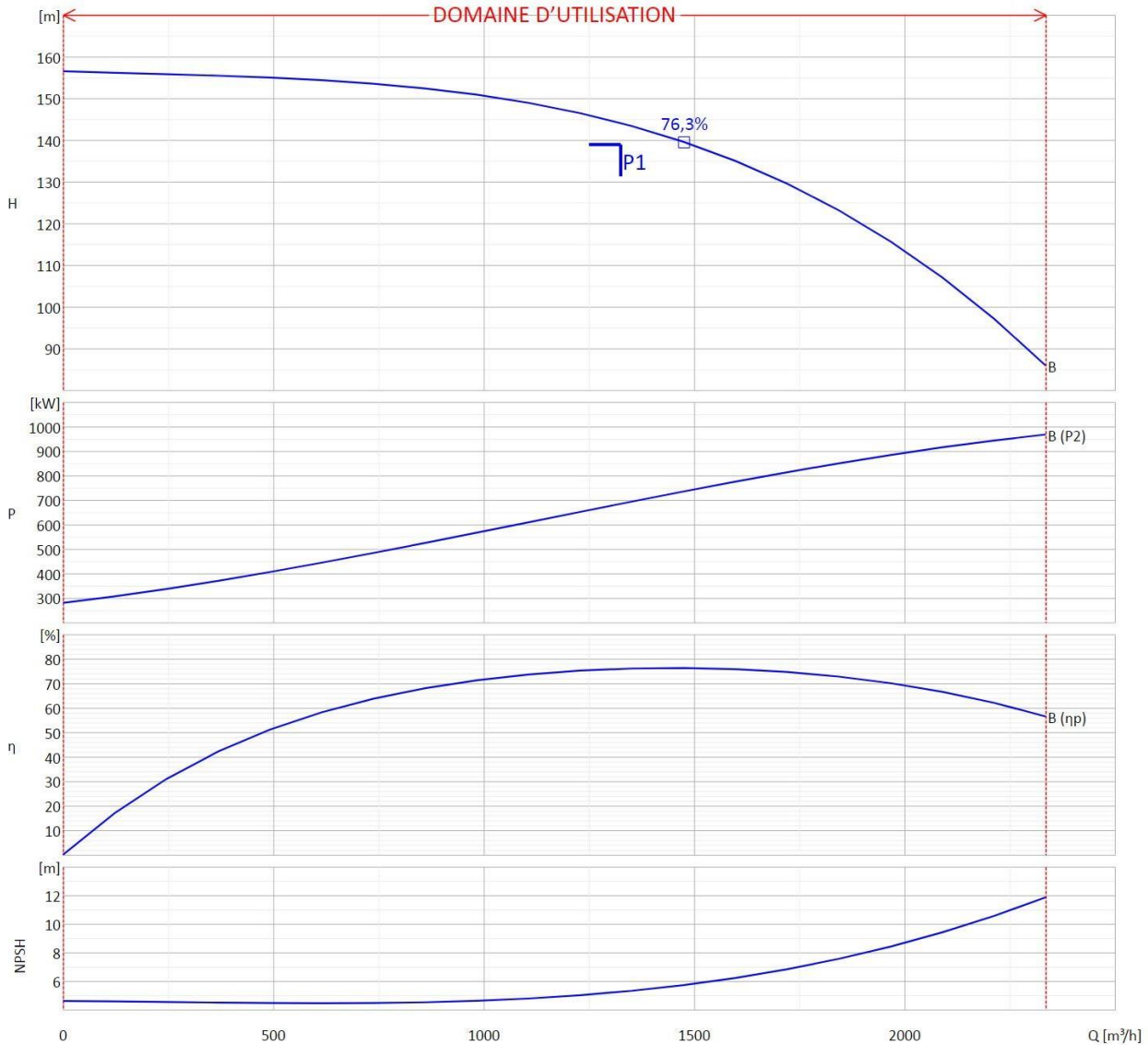
OFFRE No.	Pos. 0.0	Date 27/05/2024
-----------	-------------	--------------------



# COURBES DE PERFORMANCES



Débit demandé	1324,5 m³/h	Modèle	SCC-2-300-700B
Hauteur manométrique	139 m		



**CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT - ISO 9906:2012 3B -**

Q [m³/h]	H [m]	P [kW]	η [%]	NPSH [m]	Vitesse [1/min]

OFFRE No.	Pos. 0.0	Date 27/05/2024
-----------	-------------	--------------------

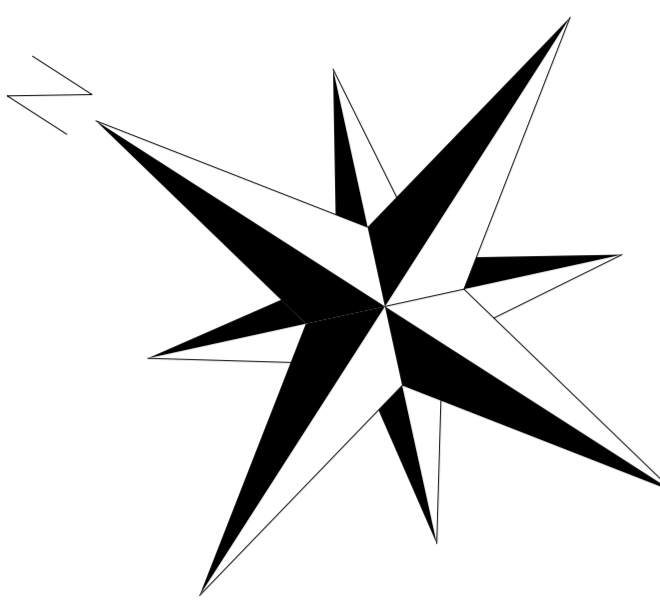


DOCUMENTS DE REFERENCE		N°
TR BEJAJA - PLAN D'IMPLANTATION CLOTURE, MATS, CHAMBIRES DE TRISSE ET TRANCHEE		GCV-DWG-000-5082_4
TS BEJAJA - PLAN D'IMPLANTATION CLOTURE, MATS, CHAMBIRES DE TRISSE ET TRANCHEE		GCV-DWG-000-5082_3
TERMINAL MARIN NORD - PLAN DE CHEMEMENT		2005-TMN-04-0G-4100_3
TERMINAL MARIN SUD - PLAN DE CHEMEMENT		2005-TMS-04-0G-4100_0

LEGENDE

	CHEMIN DES CABLES		PUISARD DU SYSTEME STS
	CHEMIN DES CABLES STS		SIGNALISATION CABLE
	CONDUITE PRINCIPALE Ø240		PYLONE CAMERA
	CONDUITE SECONDAIRE Ø110		SOCLE DES GRANDES CAMERAS
	ROUTE		BAC A HYDROCARBURE
	TALUS		TROTTOIR BAC
	CANAL		CLOTURE METALLIQUE
	TUYAU D'HYDROCARBURES		CLOTURE EN BETON
	TROTTOIR EN BETON		MUR EN BETON
	BOUCHE DE CONDUITE		ANTENNE DE SURVEILLANCE
	MOYENNE VANNE		STATION TOPOGRAPHIQUE (ST-X)
	BOUCHE D'INCENDIE		
	POMPE RET		
	SIGNALE MISE A LA TERRE		
	LAMPADAIRE		
	BOITE DE JONCTION		
	COFFRET ELECTRIQUE		

ITEM	EST	NORD
ST-1	684968.1079	4067607.8518
ST-2	684907.2460	4067633.6670
ST-3	684985.4190	4067535.9360
ST-4	684987.9440	4067537.3780
ST-5	684976.1056	4067618.6397
ST-6	685020.8308	4067593.3474
ST-7	685032.8890	4067568.9070
ST-8	685047.1244	4067571.9390
ST-9	685061.7067	4067458.6110
ST-10	684997.6508	4067544.1480
ST-11	684983.5124	4067572.6595
ST-12	684641.4270	4067674.5230
ST-13	684801.6072	4067737.4214
ST-14	684661.7527	4067942.9728
ST-15	684813.1639	4067992.2917
ST-16	684946.3896	4067837.3822
ST-17	684959.9544	4067828.8331
ST-18	684932.0801	4068009.6563



REV	DATE	DESCRIPTION	PREPARE	VERIFIE	APPROUVE
F3	02-07-19	EMISSIION FINALE - REVISE SELON LES COMMENTAIRES DU M10	F. MAHLOUFI	S. BOUZIDI	K. BOUCHBA
F2	28-06-19	EMISSIION FINALE - REVISE SELON LES COMMENTAIRES DU M10	F. MAHLOUFI	S. BOUZIDI	K. BOUCHBA
F1	04-07-18	EMISSIION FINALE - REVISE SELON LES COMMENTAIRES DU M10	F. MAHLOUFI	S. BOUZIDI	K. BOUCHBA
M3	02-03-18	EMISSIION FINALE	F. MAHLOUFI	S. BOUZIDI	K. BOUCHBA
			PREPARE	VERIFIE	APPROUVE

N° Doc. Partenaire Contractant:		Maitre de l'Ouvrage:	
Projet: <b>ETUDE D'UN SYSTEME DE DETECTION/EXTINCTION AUTOMATIQUE D'INCENDIE DU TERMINAL MARIN DE BEJAJA</b>			
Affaire n°: P16IT03129		Contrat n°: 01RTC2016	
Titre du Document: <b>PLAN DE MASSE D'ETAT DES LIEUX AVEC LEVES TOPOGRAPHIQUES</b>			
N° Doc. Partenaire Contractant:	P16IT03129-PPN-DW-000-100	Maitre de l'Ouvrage doc. n°:	01RTC2016-PPN-DW-000-100
Echelle:	1:1000	Feuille:	1 de 1
Dimension: A0 (1189 x 841)		NOM DE TICHET: P16IT03129-PPN-DW-000-100_F3.0wg	

## **Résumé :**

Ce mémoire se consacre à l'étude approfondie de la conception et du dimensionnement d'un réseau anti-incendie destiné au terminal marin de Bejaïa. L'analyse commence par une présentation détaillée de l'entreprise et des enjeux spécifiques du projet, avec un accent particulier sur le respect des normes internationales en matière de sécurité incendie, garantissant ainsi la conformité et l'efficacité du système.

L'étude explore ensuite les principes fondamentaux de la conception d'un réseau anti-incendie, en examinant les exigences techniques et réglementaires essentielles pour assurer une protection optimale. Des méthodes de conception éprouvées sont abordées, permettant de définir des solutions adaptées aux particularités du terminal.

Le dimensionnement du réseau est réalisé de manière rigoureuse, tenant compte des caractéristiques spécifiques du site et des besoins opérationnels. Cette phase est cruciale pour garantir que le réseau pourra répondre efficacement aux éventuelles situations d'urgence.

Enfin, le mémoire aborde l'automatisation du système de pompage, essentielle pour assurer une intervention rapide et efficace. Une analyse fonctionnelle du réseau est également effectuée, permettant d'identifier les points forts et les axes d'amélioration du système. Cette recherche propose ainsi une approche intégrée et méthodique pour garantir la sécurité incendie dans un environnement marin complexe.

## **Summary :**

This project is dedicated to the in-depth study of the design and sizing of a fire-fighting network for the Bejaïa marine terminal. The analysis begins with a detailed presentation of the company and the specific challenges of the project, placing a strong emphasis on compliance with international fire safety standards to ensure the system's effectiveness and adherence.

The study then explores the fundamental principles of designing a fire-fighting network, examining the essential technical and regulatory requirements necessary for optimal protection. Proven design methods are discussed, enabling the development of solutions tailored to the terminal's unique characteristics.

The network sizing is conducted rigorously, taking into account the site-specific features and operational needs. This phase is crucial to ensure that the network can effectively respond to potential emergency situations.

Finally, the thesis addresses the automation of the pumping system, which is vital for ensuring a rapid and effective response. A functional analysis of the network is also conducted to identify strengths and areas for improvement within the system. This research thus offers an integrated and methodical approach to ensuring fire safety in a complex marine environment.