

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique
En collaboration avec le Cabinet d'expertise industrielle HALFAOUI

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

**Etude et dimensionnement d'un réseau anti-
incendie dans un centre de stockage de
carburants**

Etudié par : DJOUDI Hasna

Sous la direction de

Mr Belhadj Omar

Mr Halfaoui Ilies

Présenté et soutenu publiquement le 14/07/2021

Composition du jury :

Président	Yacine BELKACEMI	MCA	E.N.P.
Promoteur	Omar BELHADJ	MAA	E.N.P.
Co-Promoteur	Ilies HALFAOUI	Ingénieur	C.E.I.H
Examineur	Mohamed Amine BOUKHEMACHA	MCA	E.N.P.
Examineur	Rabie MESSAHLI	MAA	E.N.P.

ENP 2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Hydraulique
En collaboration avec le Cabinet d'expertise industrielle HALFAOUI

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

**Etude et dimensionnement d'un réseau anti-
incendie dans un centre de stockage de
carburants**

Etudié par : DJOUDI Hasna

Sous la direction de

Mr Belhadj Omar

Mr Halfaoui Ilies

Présenté et soutenu publiquement le 14/07/2021

Composition du jury :

Président	Yacine BELKACEMI	MCA	E.N.P.
Promoteur	Omar BELHADJ	MAA	E.N.P.
Co-Promoteur	Ilies HALFAOUI	Ingénieur	C.E.I.H
Examineur	Mohamed Amine BOUKHEMACHA	MCA	E.N.P.
Examineur	Rabie MESSAHLI	MAA	E.N.P.

Dédicaces

Je dédie ce travail à la mémoire de mon grand-père DJOUDI Laïd ,

Mes parents qui m'ont toujours soutenue,

Mon grand frère adoré pour qui les mots ne pourront jamais décrire le respect et

L'affection que je porte pour lui,

Ma meilleure amie Sofia qui malgré la distance n'a jamais cessé de m'encourager

Tout au long de mon cursus universitaire,

Ma seconde famille, mes amis auxquels je tiens énormément : Ouarda, Ibtissem, Lyna, Meriem,

Cerine, Yasmine, Kawther, Amira, Issem, Walid, Anis, Manel, Ramzy et Malek

Hasna Djoudi

REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens tout d'abord à exprimer mes vifs remerciements à mes deux encadrants Mr BELHADJ Omar enseignant à l'école nationale polytechnique et Mr HALFAOUI Ilies, pour leur bienveillance, leur disponibilité, le temps qu'ils m'ont consacré, leur compréhension, leur patience, leur partage de connaissance et leurs Précieux conseils sans lesquels le présent rapport n'aurait pas pu voir le jour.

Je tiens en particulier à témoigner ma gratitude à Mr. MOKARNI Nabil, et à Mlle SI-SMAIL Radia, ingénieurs au sein du cabinet HALFAOUI, pour leurs partages d'expérience, et d'avoir mis à ma disposition toutes les ressources nécessaires à l'accomplissement de ma mission

Mes remerciements sont également exprimés au directeur du cabinet Mr HALFAOUI Lotfi ainsi que tous le personnel ; Mlle BENRABAH Hadjer, Mlle MERZOUGUI Hind, Dr SILHADI Adlene, Mlle MEROUANE Ahlem, Mr BELGUERGUID Ayoub.

Mes sincères considérations et remerciements sont également exprimés à Mr BELKACEMI Yacine, Mr BOUKHEMACHA Mohamed Amine et Mr MESSAHLI Rabie qui ont accepté d'examiner ce travail et consacré de leur temps pour son évaluation.

Enfin, mes remerciements s'adressent à tous les enseignants du département Hydraulique à l'Ecole Polytechnique.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو إجراء دراسة تصميم شبكة اطفاء الحرائق في مركز تخزين الوقود .كخطوة أولى ، تم إجراء دراسة عامة عن شبكات الحريق في هذا النوع من المواقع.

بعد ذلك ، اقترب هذا العمل من وصف كامل للموقع ، من أجل تحديد المنشآت التي يحتمل أن تؤدي إلى اندلاع حرائق على مستوى مركز تخزين الوقود بالعلمة.

أخيرًا ، حددنا خصائص هذه الشبكة الأساسية وحجمها باستعمال طريقة هاردي كروس و برنامج EPANET حتى نتمكن من مواجهة أي حدث خطير.

كلمات مفتاحية: حريق ، شبكات إطفاء ، خزانات وقود ، مضخات ، هاردي كروس، مياه ، رغبة

Abstract

The aim of this work is to realize a study of a fire-fighting network in a fuel storage center.

At first, a general study on the fire networks in this type of sites was carried out.

Then, this work presents a complete description of the site, in order to identify the installations likely to start a fire at the fuel center of El Eulma.

Finally, we proceeded to the dimensioning of this vital network with HARDY CROSS method and EPANET software in order to be able to face any dangerous event.

Key words: fire, extinguishing networks, fuel storage, pumps, HARDY CROSS, EPANET, water, foam.

Résumé

Ce travail a pour objectif de faire une étude de dimensionnement d'un réseau de lutte contre incendie dans un centre de stockage de carburants.

Dans un premier temps, une étude générale sur les réseaux d'incendie dans ce type de sites a été effectué.

Ensuite, ce travail a abordé une description complète du site, afin d'identifier les installations susceptibles de déclencher un incendie au niveau du centre de carburants d'El Eulma.

Enfin, nous avons procédé au dimensionnement de ce réseau vital par la méthode d'HARDY CROSS et par le logiciel EPANET dans le but de pouvoir faire face à tout évènement dangereux.

Mots clés : incendie, réseaux d'extinction, réservoirs de carburants, pompes, HARDY CROSS, EPANET, eau, mousse.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	9
1. Notions d'hydraulique appliquées aux réseaux de lutte incendie.....	13
1.1 Introduction.....	13
1.2 Notions d'hydrodynamique en charge.....	13
1.2.1 Vitesse d'écoulement :.....	13
1.2.2 Débit d'écoulement.....	14
1.2.3 Pression d'écoulement.....	14
1.2.4 Diamètres des canalisations.....	14
1.2.5 Coefficient de rugosité.....	14
1.3 Calcul des pertes de pression	15
1.3.1 Pertes de pression linéaires.....	15
1.3.2 Pertes de pression singulières.....	20
1.4 Les réseaux hydrauliques	24
1.4.1 Définition des réseaux hydrauliques.....	24
1.4.2 Types des réseaux hydrauliques.....	24
1.4.3 Calcul des pertes de pression dans les réseaux.....	25
1.5 Conclusion	28
2. Les réseaux de lutte incendie-centres de stockages de liquides inflammables.....	30
2.1 Introduction.....	30
2.2 Notions de base sur la protection contre l'incendie dans les centres de stockages de liquides inflammables.....	30
2.2.1 Scénarios d'incendie dans les centres de stockage de liquide inflammables.....	30
2.2.2 Types de protection contre l'incendie.....	31
2.2.3 Normes traitant la protection active contre l'incendie.....	32
2.3 Description générale des réseaux de lutte incendie	33
2.3.1 Le réseau maillé.....	34
2.3.2 Pompage et réserve d'eau.....	35
2.3.3 Les différents agents extincteurs.....	35
2.3.4 Cas d'utilisation de la mousse.....	36
2.4 Installations de lutte incendie dans les centres de stockage de liquides inflammables....	40
2.4.1 Le système déluge.....	40

2.4.2	Les lances monitors.....	42
2.4.3	Les déversoirs à mousse.....	42
2.4.4	Les boîtes à mousse.....	43
2.4.5	Les hydrants.....	43
2.5	Conclusion	43
Chapitre 3 : Contexte générale du projet.....		24
3.	Contexte générale du projet.....	45
3.1	Introduction.....	45
3.2	A propos du CEI HALFAOUI	45
3.3	Description du site.....	45
3.3.1	Délimitation du site	46
3.3.2	Nature des activités.....	47
3.3.3	Découpage fonctionnel du site.....	48
3.3.4	Description des différentes zones et installations.....	51
3.4	Contexte du projet.....	54
3.4.1	Objectif de l'étude.....	54
3.4.2	Méthodologie de travail.....	55
3.4.3	Déroulement de l'étude.....	55
3.5	Conclusion	55
4.	Dimensionnement du réseau.....	57
4.1	Introduction.....	57
4.2	Caractéristiques du réseau	57
4.2.1	Plan du réseau.....	57
4.2.2	Caractéristique du réseau à eau (installations de refroidissement).....	58
4.2.3	Caractéristiques du réseau à mousse (installations d'extinction).....	62
4.2.4	Dimensionnement du réseau	65
4.3	Besoin en eau et pompage	73
4.3.1	Les besoins en eau.....	73
4.3.2	Le Pompage.....	73
4.4	Simulation du réseau	78
4.4.1	Présentation du logiciel.....	78
4.4.2	Les étapes de simulation du réseau.....	79
4.4.3	Interprétation des résultats.....	83

4.4.4	Comparaison des résultats.....	84
4.5	Conclusion	85
	Conclusion générale.....	86
	Références bibliographiques	87

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Pertes de pression dues au frottement pour différents	19
Figure 1-2 : Perte de pression dans un coude	21
Figure 1-3 : Différents types de coudes	22
Figure 1-4 : Raccord à ouvertures de diamètres différents	22
Figure 1-5 : Schéma des différents types de réseaux hydrauliques	25
Figure 2-1 : Schéma simplifié d'une installation de lutte contre l'incendie	34
Figure 2-2 : Caractéristiques des différents agents extincteurs[.....	36
Figure 2-3 : Etapes pour la production de la mousse.....	37
Figure 2-4 : Différents types de foisonnement de la mousse.....	40
Figure 2-5 : Système de refroidissement d'un bac cylindrique vertical à toit fixe ou flottant	41
Figure 2-6 : Différents agencements de couronne de bacs de liquides inflammables	41
Figure 2-7 : Boîtes à mousse installées en au haut des bacs de stockage	43
Figure 3-1 : Image satellitaire du centre de stockage de carburants El Eulma CBR17	46
Figure 3-2 : Localisation du dépôt 1197	47
Figure 3-3 : Plan de zones.....	50
Figure 3-4 : Parc de stockage- CBR 1197-El Eulma	52
Figure 3-5 : Découpage de la première cuvette	53
Figure 3-6 : Découpage de deuxième cuvette.....	54
Figure 3-7 : Cuvette de rétention	54
Figure 4-1 : Plan du réseau anti-incendie	58
Figure 4-2 : Répartition préliminaire des débits dans le réseau à eau	68
Figure 4-3 : Répartition préliminaire des débits du réseau à mousse	68
Figure 4-4 : Courbes caractéristiques de la famille	76
Figure 4-5 : Courbes caractéristiques de la pompe choisie.....	77
Figure 4-6 : interface du logiciel EPANET	79
Figure 4-7 : Le Plan du réseau.	80
Figure 4-8 : La saisie des propriétés des conduites (de la même manière on fait pour les nœuds)	80
Figure 4-9 : La saisie des points de la courbe caractéristique $Q=f(Q)$ de la pompe	81
Figure 4-10 : Lancer la simulation.....	81
Figure 4-11 : Résultats de simulation (la pression aux nœuds et débits des conduites)	82
Figure 4-12 : La sélection du type de la table	83
Figure 4-13 : Table des débits et vitesses dans chaque conduite	83
Figure 4-14 : Table des pressions et charges dans chaque nœud.....	84
Figure 4-15 : Variation du débit en fonction des numéros de conduites en utilisant les deux méthodes	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1-1 : Coefficient C recommandé par la NFPA	15
Tableau 1-2 : Classes des pertes de charge.....	24
Tableau 2-1 : Les différents équipements de lutte contre l'incendie	31
Tableau 3-1 : Découpage fonctionnel du centre de stockage	49
Tableau 3-2 : Caractéristiques des réservoirs de stockage de carburants.....	51
Tableau 3-3 : Caractéristiques des cuvettes de rétention des bacs de stockage.....	52
Tableau 4-1 : Taux d'application d'eau pour le refroidissement des bacs de stockage selon la NFPA 15].....	58
Tableau 4-2 : Caractéristiques des lances à eau et PI.....	59
Tableau 4-3 : Débits des couronnes de refroidissement des réservoirs de stockage de carburants	61
Tableau 4-4 : Nombre d'équipement de décharge de mousse pour les réservoirs à toit fixe contenant des hydrocarbures	62
Tableau 4-5 : Taux d'application de mousse pour les réservoirs à toit flottant contenant des hydrocarbures	62
Tableau 4-6 : Caractéristiques des lances et déversoirs à mousse.....	63
Tableau 4-7 : Détermination des débits de mousse pour l'extinction des feux de bacs.	64
Tableau 4-8 : Débits totaux de protection dans les trois cuvettes.....	65
Tableau 4-9 : Caractéristiques des tronçons du réseau à eau.....	66
Tableau 4-10 : Caractéristiques des tronçons du réseau à mousse	67
Tableau 4-11 : Résultats de la 1 ^{ère} itération de l'application de HARDY CROSS au réseau d'eau	69
Tableau 4-12 : Résultats de la 1 ^{ère} itération sur le réseau à mousse	70
Tableau 4-13 : Résultats de la 5 ^{ème} itération sur le réseau à eau.....	71
Tableau 4-14 : Résultats de la 5 ^{ème} itération sur le réseau à mousse	72
Tableau 4-15 : Demande en eau de chaque équipement.....	73
Tableau 4-16 : Caractéristiques des pompes requises	76
Tableau 4-17 : Fiche technique de la pompe choisie.....	78

Introduction générale

On définit les réseaux de lutte d'incendie comme étant le transport des agents extincteurs d'incendie tel que l'eau et la mousse des zones de stockage d'eau jusqu'aux zones de risque d'incendie. Ce réseau est caractérisé par la diversité de ses composantes : équipement de refroidissement, extinction de feux (consommateurs d'eau), réservoirs volumineux, pompes, vannes d'isolement...etc. Il est aussi caractérisé par la disponibilité instantanée, à la demande, de grand débits et grandes pressions.

Les indicateurs de performance de ces réseaux sont les débits et pressions, les gestionnaires des réseaux d'eau incendie sont censés assurer la disponibilité de ces deux paramètres. Ce n'est pas un objectif facile en raison de la complexité de ces réseaux.

Malgré les difficultés éprouvées lors du dimensionnement de tels réseaux. Aujourd'hui les ingénieurs hydrauliciens arrivent à garantir un bon fonctionnement de cet ouvrage à l'aide d'outils de simulation de réseaux hydrauliques. Cette simulation est rendue possible grâce aux progrès de l'informatique traduit par le développement spectaculaire des moyens informatiques.

Ce projet émane d'une consultation faite par une entreprise nationale de stockage et transport d'hydrocarbure, dans le but de garantir une protection contre l'incendie au sein du site de stockage de gasoil et d'essence d'El Eulma.

Le but de ce travail était de concevoir un réseau d'alimentation en eau d'extinction pour un centre de stockage de carburants. De même, il était question de procéder au dimensionnement des ouvrages accompagnant ce réseau, notamment les installations automatiques de refroidissement et d'extinction de feu.

Dans ce qui suit, on présente un aperçu sur l'organisation de ce mémoire et sur la contribution de chaque chapitre aux objectifs recherchés. Ce mémoire est organisé en Quatre chapitres :

Le premier chapitre est une introduction aux calculs hydrauliques et aux concepts de base de réseaux hydrauliques. En effet, la performance d'un réseau de lutte incendie dépendra en grande partie de la fiabilité des calculs hydrauliques. Trois sections forment ce chapitre. La première s'intéresse à la définition des différents paramètres entrant dans le dimensionnement d'un réseau d'eau. La deuxième section s'intéresse à la formulation des équations qui régissent les écoulements en charge. La dernière section est consacrée à la méthode numérique pour la résolution des problèmes hydrauliques rencontrés lors du dimensionnement des réseaux maillés, appelée la méthode de Hardy Cross.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude et à la bonne compréhension des réseaux de lutte incendie qui sont indispensables dans les centres de stockage de liquide inflammable. Nous

verrons la structure générale des réseaux de lutte incendie, puis nous rentrons un peu dans le détail

Dans le troisième chapitre nous présenterons cabinet le prestataire, par suite, nous passerons à la description du site concerné par l'étude, été enfin nous terminerons par la position du problème

Le quatrième chapitre de ce rapport présente la partie calculs hydrauliques de ce projet. Où il sera question de définir les caractéristiques du réseau, le calcul des pertes de charge et faire l'équilibrage du réseau avec la méthode Hardy Cross, le calcul de la hauteur manométrique totale, détermination du point de fonctionnement de l'installation de pompage et détermination de différentes caractéristiques de la pompe. Et enfin procéder à la simulation du réseau avec le logiciel EPANET.

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

Chapitre 1 : Notions d'hydraulique appliquées aux réseaux de lutte incendie

1. Notions d'hydraulique appliquées aux réseaux de lutte incendie

1.1 Introduction

L'eau a toujours été utilisée comme un agent d'extinction d'incendie, en plus d'être facilement disponible, elle est très efficace contre le feu. De ce fait, beaucoup de systèmes de protection utilisant l'eau ont été développés, comme les extincteurs automatiques et les systèmes de refroidissement, afin d'utiliser l'eau de manière plus efficace et afin de mieux protéger les personnes, les biens et l'environnement.

L'ingénieur hydraulicien joue un rôle principal dans la conception des systèmes de protection d'incendie car il doit s'assurer que l'installation d'extincteurs automatiques soit performante et apte à circonscrire un incendie et que le degré de protection est satisfaisant

Les calculs hydrauliques appliqués aux installations d'extinction visent principalement le débit et la pression, et consistent d'ailleurs à la détermination de ces deux variables en chaque point de l'installation ainsi qu'à la détermination des pertes pour amener l'eau d'un point à un autre. Il est donc évident que la performance d'un système de lutte contre l'incendie à base d'eau dépend dans une grande partie des débits et pressions disponibles.

Dans ce chapitre nous allons voir ces calculs hydrauliques, notamment le calcul des pertes, dues au frottement pour amener l'eau d'un point x à un point y et qui s'avèrent les plus fréquentes. Ainsi que d'autres pertes singulières correspondantes aux accidents au niveau des raccords et accessoires. Plusieurs formules permettent d'évaluer ces pertes. Et finalement nous verrons l'application de ces calculs sur les différents types de réseaux d'eau.

1.2 Notions d'hydrodynamique en charge

Les notions générales traitées lors de ce chapitre sont extraites de cette référence :[BONNEVILLE,2006]

1.2.1 Vitesse d'écoulement :

La vitesse d'écoulement est la vitesse de passage d'un fluide le long d'une canalisation ou d'un chemin de passage. Elle se mesure généralement en mètre par seconde (m/s).

Connaître la vitesse d'écoulement dans une canalisation est un élément important car ça permet de déterminer la perte de charge.

1.2.2 Débit d'écoulement

Le débit représente un volume de matière fluide qui circule d'un endroit à un autre par unité de temps. Les unités les plus courantes sont exprimées en litre par minute (l/min) ou en mètre cube par heure (m³/s).

1.2.3 Pression d'écoulement

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

1.2.4 Diamètres des canalisations

Dans la conception d'un réseau hydraulique, en plus de la sélection du type de matériau de la tuyauterie, il faut aussi déterminer son diamètre. Pour ce faire, on doit connaître la vitesse admissible dans la tuyauterie ainsi que le débit à faire passer.

Puis c'est à la base des pertes de charge admissibles qu'on va exiger un diamètre minimal.

Il faut surtout noter que dans les calculs hydrauliques, on utilise diamètre intérieur, soit la distance entre les deux côtés de la paroi interne du tuyau, ce qui correspond à l'espace libre pour le passage de l'eau.

1.2.5 Coefficient de rugosité

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

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

Les normes de protection contre l'incendie (NFPA) recommandent les coefficients C à utiliser dans les calculs d'hydraulique (tableau 1.1).

Tableau 1-1 : Coefficient C recommandé par la NFPA

Type de tuyau	Coefficient de rugosité C
Cuivre, acier inoxydable ou plastique	- 150
Fonte ou fonte ductile avec revêtement intérieur, ou amiante ciment	- 140
Acier noir neuf pour les systèmes sous eau	- 120
Acier noir neuf pour les systèmes sous air	- 100
Acier noir ou fonte sans revêtement intérieur (tuyauterie souterraine, eau peu corrosive) :	
- Neuf	- 100
- 20ans	- 90
- 30ans	- 80
- 50ans	- 70
- 70ans	- 60

Il faut aussi noter que les coefficients de rugosité C recommandés par les normes de protection contre l'incendie sont un peu plus élevés que les coefficients réels, en raison de la marge de sécurité.

Par exemple, le coefficient C pour l'acier noir neuf excède 140, alors que la NFPA recommande une valeur de seulement 120. Toutefois, après quelques années, la valeur du coefficient C de ces tuyaux approche de 120.

1.3 Calcul des pertes de pression

1.3.1 Pertes de pression linéaires

Les canalisations d'un réseau sont conçues pour amener l'eau nécessaire à la protection contre l'incendie, depuis sa source jusqu'aux différents consommateurs (extincteurs d'incendie). En s'écoulant d'un point de départ à un point d'arrivée l'eau perd de l'énergie, cette perte est principalement causée par le frottement contre la paroi de la canalisation, et aussi par la turbulence de l'écoulement.

L'une des formules appliquées au calcul des pertes d'énergies dues au frottement est la formule de Hazen-Williams, qui repose sur une méthodologie d'application facile et directe et offre des résultats avec précision. Toutefois cette formule est appliquée à l'eau uniquement, parce qu'elle ne tient pas compte de la viscosité du fluide, ni de sa température (environ 15°). Ce qui l'a rendue inadaptée à d'autres liquides que l'eau.

La formule de Hazen-Williams nous sert alors pour le calcul des pertes de charges dans les canalisations et réseaux d'extincteurs automatiques à eau mais avec certaines restrictions. Les normes internationales de lutte contre l'incendie autorisent son utilisation mais avec une vitesse d'écoulement limitée à 7,6 m/s en raison du fait que cette formule perd beaucoup de précision à des vitesses d'écoulement élevées.

Une autre formule est recommandée pour faire les calculs des pertes de charges d'écoulements à vitesse élevée, c'est la formule de Darcy-Weisbach, malgré son utilisation difficile, elle donne des résultats beaucoup plus précis. Elle est aussi recommandée pour le calcul des pertes dans des installations à mousse.

1.3.1.1 Principe de calcul de pertes de pression dues au frottement

Soit Q le débit d'eau qui passe par la tuyauterie. Cette tuyauterie est caractérisée par sa rugosité et qui est quantifiée par un coefficient dit C . La rugosité des parois internes de la tuyauterie engendre une force de frottement qui en revanche va causer une différence de pression entre deux points de la tuyauterie.

La force de frottement est plus ou moins importante selon le débit Q , le coefficient de rugosité C et le diamètre de la tuyauterie D . La perte de pression est donc en fonction de Q , C et $D \rightarrow f(Q, C, D)$.

Cette relation entre P , Q , C et D peut s'exprimer par la formule de Hazen-Williams.

1.3.1.2 Formule de Hazen-Williams

Cette relation empirique est souvent utilisée dans des calculs hydrauliques et qui sert à la détermination des pertes de pression linéaires de pression dans les canalisations d'eau. Elle permet de décrire l'écoulement en charge à vitesse relativement faible.

La formule de Hazen-Williams s'utilise le plus souvent en unités SI comme suit :

$$P = 6,06 * 10^7 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85}} * D^{4,87} \dots (1)$$

On peut aussi la trouver sous la forme suivante :

$$Q = 6,27 * 10^{-5} * P^{0,54} * C * D^{2,63} \dots (2)$$

1.3.1.2.1 Relation la vitesse d'écoulement et la formule de Hazen-Williams

La vitesse d'écoulement est une grandeur qui ne rentre pas dans la formule de Hazen-Williams. Toutefois, lorsqu'elle est élevée, a certains inconvénients importants :

- L'eau transporte les débris
- L'écoulement devient turbulent
- La formule de Hazen-Williams n'est plus précise

À grande vitesse, et souvent dans les canalisations en générales et les canalisations souterraines en particulier, l'eau entraîne des débris, au fur et à mesure, ces débris peuvent entraîner la formation de dépôt solide sur les parois et par conséquent conduire à un mauvais fonctionnement des réseaux de protection contre l'incendie, il est donc essentiel de les empêcher de passer dans la tuyauterie.

Aussi, à vitesse très élevée, l'écoulement devient turbulent, c'est à dire, les particules d'eau tourbillonnent au lieu de se déplacer en ligne droite. Ce qui influe grandement sur la précision de la formule de Hazen-Williams.

Les valeurs du coefficient C du tableau 1-1 (coefficient C recommandé par la NFPA) concernent une faible vitesse, de même que les longueurs équivalentes des raccords.

Pour terminer, soulignons le lien entre la vitesse d'écoulement et les pertes de pression dues au frottement. Compte tenu que les pertes de pression augmentent de façon exponentielle avec le débit ; elles augmentent aussi de façon exponentielle avec la vitesse. À une grande vitesse, l'écoulement d'eau subit des pertes de pression très élevées, ce qui implique qu'il n'y aura pas suffisamment de pression. Excepté de disposer d'une forte pression en amont du réseau. En pratique, cela signifie qu'on dispose d'une pompe à pression élevée ou d'un réservoir fortement pressurisé. Le problème d'une vitesse élevée ne survient donc pas dans la majorité des cas.

1.3.1.2.2 Relation entre les débits et pertes de pression

La perte de pression due au frottement augmente de façon exponentielle par rapport au débit :

$$\Delta P = 6,06 * 107 * \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85}} * D^{4,87} \dots (3)$$

On peut étudier la relation entre les pertes de pression et le débit pour un même tuyau (de rugosité et diamètre D identiques), en utilisant la formule de Hazen-Williams.

On obtient la relation suivante :

$$\frac{\Delta P1}{\Delta P2} = \left(\frac{Q2}{Q1}\right)^{1,85} \text{ ou } \frac{Q2}{Q1} = \left(\frac{\Delta P1}{\Delta P2}\right)^{0,54} \dots (4)$$

Ces équations s'appliquent quel que soit le système d'unités.

1.3.1.2.3 Relation entre les diamètres et pertes de pression

Dans la formule de Hazen-Williams, le diamètre de la conduite est le facteur qui détient l'exposant le plus élevé. On en déduit qu'il affecte le plus les pertes dues au frottement. Mais pas que, il affecte aussi et grandement le débit disponible.

De la même façon que nous avons obtenu les relations entre les facteurs précédents et la perte de pression, nous allons comparer les pertes de pression dues au frottement pour des diamètres D différents dans des tuyaux semblables (débit Q et coefficient C identiques) :

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{4,87} \quad \text{ou} \quad \frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2}\right)^{0,21} \quad \dots (5)$$

1.3.1.2.4 Relation entre le coefficient de rugosité et les pertes de pression

En simplifiant encore la formule de Hazen-Williams, on peut obtenir la relation entre les pertes de pression dues au frottement et les coefficients C différents dans un même tuyau (débit Q et diamètre D identiques), le résultat est donné par la formule suivante :

$$\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{1,85} \quad \text{ou} \quad \frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2}\right)^{0,54} \quad \dots (6)$$

Une remarque s'impose par rapport à la précision de la formule de Hazen-Williams.

La formule traite le coefficient C comme constant pour chaque matériau donné. Or que ce n'est pas forcément le cas, le coefficient C augmente quelque peu avec le diamètre, et varie aussi avec la vitesse d'écoulement. C'est l'une des raisons pour lesquelles on ne recommande pas la formule de Hazen-Williams à une vitesse élevée.

D'autre part, la formule de Hazen-Williams offre une bonne précision avec une valeur élevée pour le coefficient C, c'est-à-dire avec des parois relativement lisses. En revanche, avec une valeur trop petite (inférieure à 100), le taux d'erreur s'avère plus grand, pour deux raisons. Lorsqu'il a une faible valeur, le coefficient C varie de façon notable en fonction du diamètre.

Il est très difficile de déterminer le coefficient C applicable à une conduite à mauvais état, et nous ne devrions donc pas utiliser la formule de Hazen-Williams avec de vieilles canalisations.

En plus des facteurs mentionnés précédemment (la vitesse d'écoulement et l'âge de la conduite), la composition du métal influence grandement le taux de détérioration des conduites.

En effet la détérioration des conduites qui affecte le coefficient C peut être expliqué par deux phénomènes : le premier est la corrosion qui augmente la rugosité des parois. Cette corrosion peut être de nature chimique ou bactérienne. L'oxygène réagit avec le fer pour produire de l'oxyde de fer (la rouille). Dans la tuyauterie aérienne remplie d'eau, l'effet est minime, parce qu'il y a peu d'oxygène dissous dans l'eau, contrairement aux tuyauteries aérienne remplie d'air humide et les conduites souterraines où la corrosion se produit plus rapidement.

L'autre phénomène concerne la sédimentation des petites particules -les particules collent aux parois- lors de la circulation d'eau. Ce phénomène aura lieu peu importe le type de matériau. Cette accumulation de sédiments augmente la rugosité des parois et diminue le diamètre intérieur.

1.3.1.2.5 Relation entre le débit et le diamètre

Il y a encore la relation entre le diamètre de la canalisation et le débit de l'écoulement -selon la formule de Hazen-Williams- qui mérite notre attention. Elle est sous la forme suivante :

$$Q = 6,27 * 10^{-5} * \Delta P^{0,54} * C * D^{2,63} \dots (7)$$

Le débit qu'on peut faire passer dans un tuyau augmente de façon exponentielle avec l'augmentation du diamètre du tuyau et inversement. Avec une simple manipulation de la formule précédente on peut remarquer qu'en doublant le diamètre, le débit sera 6,2 fois plus grand ; et quand le diamètre triple, le débit augmente de 18 fois.

Il en résulte, qu'en pratique, on doit limiter le débit passant par une conduite d'un diamètre donné, afin de ne pas provoquer une perte de pression excessive et ne pas exiger une pression énorme pour faire fonctionner le réseau.

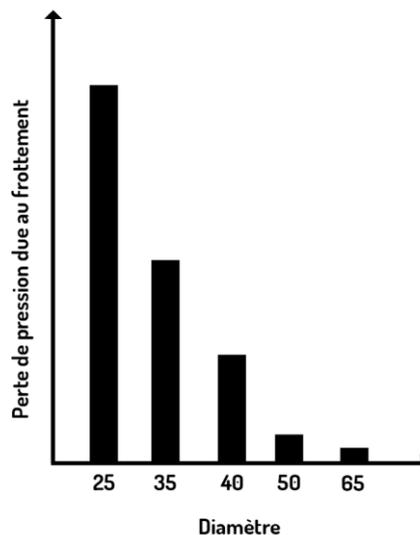


Figure 1-1 : Pertes de pression dues au frottement pour différents diamètres

La figure 1.1 nous permet de comparer les pertes de pression dans des tuyaux de 50 à 65 mm aux tuyaux de 25 et 30mm ; et on peut remarquer qu'elles sont bien plus grandes dans ces derniers.

En utilisant la formule de Hazen-Williams, cette différence peut être décrite par la formule suivante :

$$\frac{Q2}{Q1} = \left(\frac{D2}{D1}\right)^{2,63} \text{ Ou } \frac{D2}{D1} = \left(\frac{Q2}{Q1}\right)^{0,38} \dots (8)$$

1.3.1.3 Formule de Darcy Weisbach

L'équation de Darcy-Weisbach est une importante équation très utilisée en hydraulique qui permet de calculer la dissipation linéaire d'énergie dans une conduite.

La perte de pression s'exprime comme suit :

$$P = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \rho \left(\frac{V^2}{2}\right) \dots (9)$$

La perte de charge, obtenue en divisant l'expression précédente par $\rho \cdot g$ s'exprime par :

$$H = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right) \dots (10)$$

Avec,

P : perte de pression [Pa] ;

H : perte de charge [m] ;

f : coefficient de perte de charge de Darcy [-] ;

L : longueur de la conduite [m] ;

ρ - masse volumique du fluide [kg.m^{-3}] ;

D – diamètre de la conduite [m] ;

V - vitesse moyenne du fluide [m.s^{-1}] et

g - accélération de la pesanteur [m.s^{-2}]

1.3.2 Pertes de pression singulières

L'écoulement d'eau dans un réseau ne produit pas seulement des pertes de pression dues au frottement dans la tuyauterie mais aussi des pertes de pression entraînées par turbulence et le changement de direction dans tout type de raccord ou d'accessoire dans le réseau, tels que les vannes et les coudes. L'importance des pertes de pression dépend de la forme des raccords et des accessoires, du changement de direction et du rayon de courbure.

Plusieurs méthodes permettent de calculer les pertes de pression dans les accessoires. On peut les calculer directement à l'aide de formules hydrauliques. Plusieurs manuels d'hydraulique spécialisés publient de telles formules. En pratique, l'usage de ces formules complique les calculs d'un réseau.

Nous verrons plutôt une autre méthode plus simple et plus pratique, qui est l'utilisation des longueurs équivalentes et publiées par les fabricants d'accessoire.

1.3.2.1 Notion de longueur équivalente

Afin de quantifier la perte de charge dans les raccords et autres accessoires, on peut leur attribuer une longueur égale à la longueur d'un tuyau de même diamètre. Cette approximation facilite les calculs. Cette longueur équivalente l_{eq} signifie qu'un débit Q donné circule dans une conduite de diamètre d, et la perte de charge due aux turbulences est la même que la perte de charge due au frottement dans une conduite droite de diamètre d et de longueur de l_{eq} . Par

conséquent, la longueur équivalente est proportionnelle à la perte de charge ; plus la perte de charge est importante, plus la longueur équivalente est grande.

Nous verrons tour à tour la répartition des longueurs équivalentes de raccords de tuyauterie et autres accessoires, le cas particulier des coudes, le cas des raccords de tuyauterie avec des ouvertures de diamètres différents, et la valeur du coefficient de tuyauterie C n'est pas 120.

1.3.2.2 Attribution des longueurs équivalentes

La longueur équivalente des raccords et des accessoires peut être obtenue dans les manuels hydrauliques, qui publient des valeurs communes pour accessoires et raccords courants. Les valeurs spécifiques de certains accessoires peuvent également être obtenues à partir de la fiche technique publiée par le fabricant.

La longueur équivalente varie avec l'angle de la direction, le diamètre et la géométrie de l'ouverture à travers laquelle l'eau s'écoule. La longueur équivalente d'un coude à 90° est le double de celle d'un coude à 45°. La géométrie des accessoires a également un impact important ; par exemple, les vannes papillon provoquent plus de pertes de pression que les vannes à tige montante.

La NFPA a publié des longueurs équivalentes communes ; ces valeurs s'appliquent aux différents types d'extincteurs.

Pour un même accessoire et un même diamètre, la valeur peut varier d'un tableau à l'autre, car la valeur est réglée en fonction de la vitesse actuelle dans différentes installations.

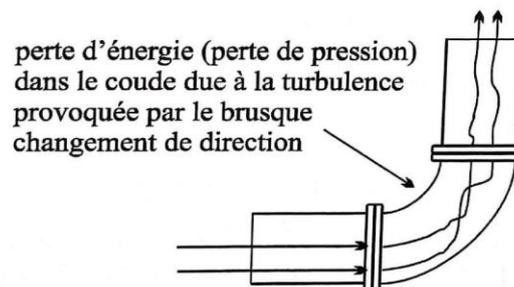


Figure 1-2 : Perte de pression dans un coude

1.3.2.3 Pertes causées par les coudes

Généralement dans les calculs hydrauliques varient selon le rayon de courbure, il existe trois types de coudes :

- À 45°
- À 90° à petit rayon : ratio de rayon de courbure/diamètre inférieur à 1,5
- À 90° à Grand rayon : ratio de 1,5 ou plus

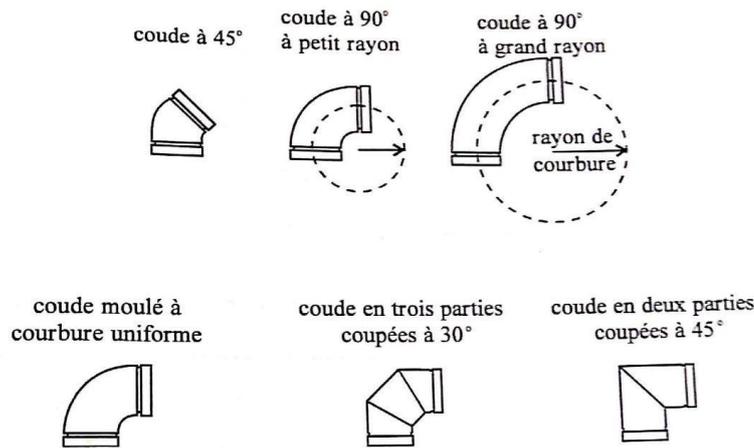


Figure 1-3 : Différents types de coudes

On retrouve généralement les coudes à grand rayon à l'aspiration des pompes d'incendie, afin de minimiser la turbulence.

Il ne faut pas associer une même longueur équivalente aux coudes de différents rayons de courbure. Il se trouve qu'une faible longueur s'applique aux coudes moulés en fonte dont le changement de direction épouse une courbe régulière. Les coudes fabriqués de trois morceaux de tuyau droit coupé à 30° ont une valeur équivalente qui s'approche de celle des coudes moulés. En revanche, les coudes formés de deux parties coupées à 45° ont une longueur équivalente qui approche le double de celle des coudes moulés en raison du changement de direction très brusque. On ne peut donc pas utiliser les valeurs recommandées par la NFPA pour les coudes fait de deux morceaux de tuyau d'acier.

1.3.2.4 Pertes causées par des accords de diamètres différents

Lorsque les diamètres des deux ouvertures du raccord sont différents, la longueur équivalente doit être attribuée en fonction du plus petit diamètre. On donne l'exemple avec la figure suivante :

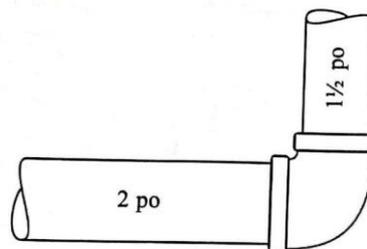


Figure 1-4 : Raccord à ouvertures de diamètres différents

On voit que la première ouverture est de 2,0 pouces et la deuxième est de 0,5 pouce. C'est donc tout naturellement qu'on va utiliser la longueur équivalente de celle du diamètre de 0,5 pouces lors des calculs hydrauliques.

1.3.2.5 Pertes causées par des tuyaux autre que l'acier S40

Les données présentées dans la norme NFPA ne s'appliquent à la tuyauterie en acier S40 mais pas à des tuyaux autres que ce dernier. C'est à dire, lorsque le coude est raccordé au tuyau en acier S40, seule la longueur équivalente et la longueur du tuyau doivent être additionner pour obtenir la longueur équivalente total de l'assemblage. La formule de Hazen-Williams sera alors appliquée à cette valeur totale.

L'inconvénient de cette méthode est qu'elle ne peut pas être appliquée à des tuyaux autres que l'acier S40. Afin d'obtenir la longueur équivalente d'un tuyau autre que le tuyau en acier noir, la longueur équivalente du tableau 1 doit être multipliée par un facteur de correction. Le facteur de correction est basé sur le rapport de diamètre du tuyau.

Le Facteur de correction est calculé de la manière suivante : $(dx/ds40)^{4,87}$

Où, dx est le diamètre intérieur du tuyau relié à l'accessoire

Et ds40 est le diamètre intérieur correspondant d'un tuyau d'acier S40

Ce coefficient de correction amplifie la longueur équivalente des raccords de tuyauterie connectés aux tuyaux de diamètre intérieur supérieur à celui des tuyaux en acier S40, et la réduit pour les autres tuyaux.

En effet, nous avons deux options :

- Soit de calculer la perte de charge dans les raccords et les tuyaux séparément, puis additionner chaque perte pour obtenir la perte totale. Ainsi il n'est pas nécessaire de corriger le diamètre intérieur du tuyau connecté à l'accessoire.
- Soit de déterminer la longueur équivalente de l'ensemble en ajustant les diamètres. Puis ajouter la longueur équivalente de l'accessoire à celle du tuyau avant d'employer la formule de Hazen-Williams.

1.3.2.6 Calcul des pertes de pression à partir des longueurs équivalentes

Une fois que la longueur équivalente de l'accessoire est déterminée, on peut passer aux calculs de la dépression dans l'accessoire comme s'il s'agissait d'une perte de pression due au frottement, à l'aide de la formule de Hazen-Williams, en utilisant la longueur équivalente comme longueur de tuyau.

1.3.2.7 Pertes de pression singulières publiées par les fabricants

Les fabricants publient des graphiques contenant les pertes de charge engendrées par leurs accessoires en fonction du débit. Selon le type d'accessoire, la représentation graphique peut être une ligne droite, une courbe régulière ou même une courbe irrégulière. Les graphiques sont constitués de plusieurs courbes, chacune correspond à un diamètre précis.

Pour finir avec le calcul des pertes de charges singulières, il convient de noter que chaque accessoire peut occasionner des pertes de pression, il y en a qui peuvent être négligées, et d'autres moyennes ou élevées. Nous regroupons les pertes de pression en pertes de négligeables, faibles, moyennes, élevées, dans le tableau suivant :

Tableau 1-2 : Classes des pertes de charge

Accessoire	Importance de la perte de charge
<ul style="list-style-type: none"> - Détecteur d'écoulement d'eau - Manchon - Raccord union - Réducteur de diamètre conique 	Pertes négligeables
<ul style="list-style-type: none"> - Rainure roulée - Parcours en ligne droite dans un té ou une croix 	Pertes pouvant être négligées
<ul style="list-style-type: none"> - Coude - Virage dans un té ou une croix 	Pertes moyennes
<ul style="list-style-type: none"> - Clapet de retenue - Clapet détecteur de fuite - Compteur d'eau - Disconnecteur hydraulique - Soupape de contrôle de la pression 	Pertes élevées

1.4 Les réseaux hydrauliques

1.4.1 Définition des réseaux hydrauliques

On parle d'un réseau hydraulique lorsqu'il y a plusieurs points à alimenter et en passant par plusieurs chemins.

Le réseau de distribution d'eau est l'ensemble de conduites interconnectées fonctionnant sous pression, et qui assurent l'alimentation des zones en aval à partir des réservoirs.

1.4.2 Types des réseaux hydrauliques

1.4.2.1 Réseaux ramifiés

Qui est constitué de telle manière qu'il soit impossible de décrire une boucle fermée en suivant le tracé des canalisations.

Cette ossature est caractérisée par une alimentation à sens unique. Tout tronçon qui doit être mis hors service entraîne la mise hors service de toutes les conduites en aval. Ce réseau présente moins de facilité dans l'exploitation et l'entretien.

1.4.2.2 Réseaux maillés

Il est caractérisé par le parcours de l'eau dans différentes conduites avec un même point de livraison (arrivée).

Ce type de réseau offre des avantages hydrauliques particulièrement intéressants puisqu'il permet l'alimentation en un point par plusieurs directions. On peut ainsi isoler une conduite tout en maintenant l'alimentation dans les canalisations situées en aval de celle-ci réduisant ainsi au minimum la surface privée d'eau.

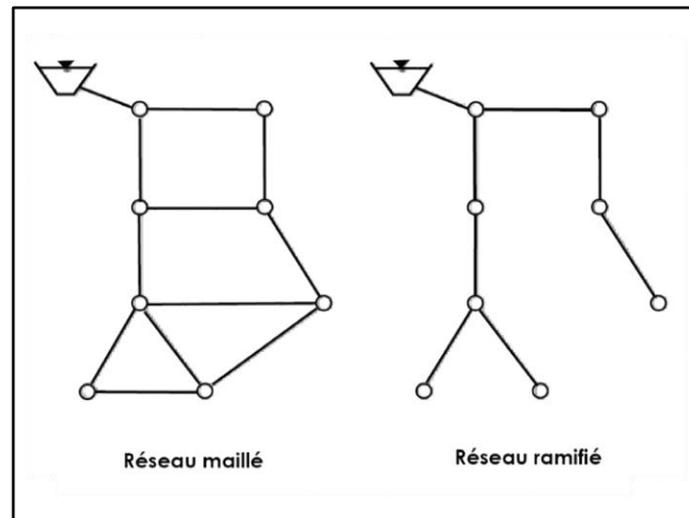


Figure 1-5 : Schéma des différents types de réseaux hydrauliques

Le réseau d'alimentation en eau doit présenter une bonne sécurité d'approvisionnement de toutes les parties en aval. Ceci implique un bon maillage du réseau et la pose de vannes de sectionnement. Ainsi, il serait possible d'isoler un tronçon du réseau tout en maintenant l'alimentation dans les conduites voisines.

1.4.3 Calcul des pertes de pression dans les réseaux

Dans la deuxième section de ce chapitre, nous avons vu le calcul des pertes de pression entre deux points reliés par une seule par une conduite ou un seul accessoire. Nous verrons maintenant le calcul des pertes de pression dans les réseaux hydrauliques.

1.4.3.1 Méthode de HARDY CROSS

La méthode Hardy Cross est l'une des méthodes les plus utilisées pour le calcul des réseaux malgré la complexité des calculs, cette méthode qui est basée sur des itérations successives, nous permet de réduire fortement le temps de calcul, tout en donnant des résultats convergents à chaque itération, pour enfin obtenir une approximation assez proche de l'état d'équilibre du réseau. Cette méthode est basée sur la loi des mailles et la loi des nœuds (connues sous le nom de lois de Kirchhoff) :

- En un nœud, la somme des débits entrants et sortants est nulle.

- Dans une maille, la somme algébrique des pertes de charge est nulle.

Lorsque le réseau remplit la première condition, on dit qu'il est « à débit équilibré ». Puis la méthode Hardy Cross consiste à prendre successivement chaque maille du réseau et à appliquer la deuxième condition, en ajoutant dans un sens convenable un même débit tout au long de cette maille. De cette manière la nouvelle répartition des débits sera également équilibrée, et avec un taux d'erreur des charges réduit par à la première répartition. Ce qui fait qu'on pourra commencer une série de calculs pour obtenir des résultats optimaux et très proches de la condition. [Dubin.Ch,1947]

Pour estimer la quantité de Q à ajouter aux branches de la maille pour réaliser la deuxième condition, on adopte le procédé suivant :

- On choisit un sens arbitraire pour l'écoulement dans la maille, qu'on note positif. Les pertes de charge créées par des courants circulant dans le sens choisi seront positives, et les pertes de charge créées par des courants circulant en sens inverse, seront négatives.
- On calcule, dans chaque conduite, la perte de charge créée par le débit fixé ainsi que la dérivée de cette perte de charge par rapport au débit. Sachant que la perte de charge dans une conduite est égale à RQ^2 et sa dérivée est égale à $2RQ$, avec R la résistance de la conduite et Q le débit fixé à la conduite.

Ceci posé, si on ajoute, algébriquement, les diverses quantités RQ^2 et, arithmétiquement, les quantités $2RQ$, considérées comme positives, on aura la relation :

$$\sum R \cdot Q^2 + dQ \sum 2RQ = 0 \dots (11)$$

Telle est, dans ses grandes lignes, la méthode « Hardy-Cross » pour le calcul des réseaux maillés. [Dubin.Ch,1947]

Dans ce qui suit, nous allons décrire les étapes de cette méthode de façon détaillée.

1.4.3.2 Étapes de la méthode

Nous présentons ci-dessous les étapes à suivre lors de la mise en œuvre de la méthode de Hardy-Cross :

- Identification des mailles et des nœuds et vérification du respect de la relation $M+N-1=D$ (M, N et D sont respectivement le nombre de mailles, de nœuds et de conduites).
- Estimation des débits initiaux Q_i , dans chaque conduite, avec vérification qu'à chaque nœud, la somme algébrique des débits est nulle.
- Calcul des pertes de charge, relatives à chaque conduite de la première maille, à l'aide de la relation de Hazen-Williams.

- d) Calcul de la somme algébrique des pertes de charge relatives aux conduites d'une première maille, cette somme n'est pas nulle à la première itération, puisque l'évaluation initiale des débits n'est pas exacte.
- e) Calcul de la valeur de $\Delta H_i/Q_i$ pour la première maille, sans tenir compte des signes algébriques, puisque, pour tout tronçon, Q_i et H_i ont le même signe.
- f) Calcul de la correction ΔQ à apporter aux débits relatifs aux conduites de la première maille à l'aide de la relation :

$$\Delta Q = \frac{-\sum H_i}{1.85 \cdot \sum \frac{H_i}{Q_i}} \dots (12)$$

- g) Correction algébrique des nouveaux débits relatifs aux conduites de la première maille à l'aide de la relation :

$$Q = Q_i + \Delta Q \dots (13)$$

- h) Reprise des étapes (c) à (g) pour toutes les mailles du réseau. Signalons que nous utilisons les débits corrigés dans une maille donnée comme débits estimés dans les conduites qui sont communes avec les mailles étudiées subséquentement.
- i) Reprise des étapes (c) à (h) jusqu'à l'obtention de la précision souhaitée, en général, les opérations prennent fin lorsque les valeurs des corrections ΔQ sont inférieures à une valeur prédéterminée.
- j) A partir de pressions connues à des nœuds dont on connaît l'élévation, on peut calculer les pressions à tous les nœuds grâce à l'équation de Bernoulli et en progressant d'un nœud à un autre, par exemple, si on les calcule relativement aux nœuds A et B situés aux extrémités d'une même conduite on obtient :

$$\left(\frac{P_A}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + h_A \right) - \left(\frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + h_B \right) = H \dots (14)$$

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 :

$$\frac{P_A}{\rho g} + h_A = H + \frac{P_B}{\rho g} + h_B \dots (15)$$

Enfin, puisque nous pouvons calculer les pertes de charge H (étant donné que nous connaissons le débit et les caractéristiques de la conduite entre le nœud (A) et (B), nous pouvons calculer la pression $\frac{P_B}{\rho g}$ au nœud (B). [CHERIFI Nassim, 2013]

1.5 Conclusion

Les notions de base étudiées dans ce chapitre sont importantes et nous serviront dans tous les calculs appliqués à des réseaux hydrauliques. Nous sommes dès à présent en mesure de faire ces calculs pour les canalisations d'incendie et les réseaux d'extinction à eau et à mousse. Mais d'abord, avant de passer au calcul nous étudierons les exigences réglementaires de ces réseaux présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Les réseaux de lutte incendie-centres de stockages de liquides inflammables

2. Les réseaux de lutte incendie-centres de stockages de liquides inflammables

2.1 Introduction

La mise en place de stratégies d'extinction d'incendie permet de faire face à d'éventuels incendies dans les installations de stockage de matières inflammables telles que les bacs et sphères de stockage, unités de traitement, entrepôts, etc. De ce fait, les exploitants de centres de stockage de liquides inflammables doivent assurer la disponibilité des moyens de lutte contre l'incendie (fixes et/ou mobiles) relatifs aux matériels à protéger, propres aux scénarios de référence.

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter les moyens de lutte contre l'incendie conçus pour refroidir les équipements, pour maîtriser le feu et limiter sa propagation.

2.2 Notions de base sur la protection contre l'incendie dans les centres de stockages de liquides inflammables

2.2.1 Scénarios d'incendie dans les centres de stockage de liquide inflammables

Les scénarios de référence pour les bacs de liquides inflammables sont les suivants :

- Feu de bac nécessitant des moyens de protection en rapport avec son diamètre et la nature du liquide inflammable stocké,
- Feu de cuvette, nécessitant des moyens de protection relatifs à sa surface, son emplacement, son encombrement en équipements et la nature des liquides inflammables contenus.

Les moyens de lutte contre l'incendie visent à refroidir des équipements à proximité de l'incendie afin d'en limiter la propagation et de maîtriser l'incendie, c'est-à-dire d'en limiter les effets thermiques et à terme de l'éteindre.

Dans la suite de ce chapitre, on entend par opérations d'extinction l'ensemble des actions qui concourent à :

- Préserver les installations participant à la lutte contre l'incendie ;
- Réduire le flux thermique émis par l'incendie par la mise en œuvre de moyens adaptés aux risques à couvrir ;
- Eteindre l'incendie ;
- Maintenir un dispositif de prévention en vue d'une éventuelle reprise de l'incendie à l'issue de la phase d'extinction totale.

Les opérations de refroidissement consistent quant à elles à protéger les installations susceptibles de propager le sinistre ou d'en augmenter ses effets. [INERIS,2016]

2.2.2 Types de protection contre l'incendie

La protection contre les incendie d'un site industriel nécessite deux types de protection : la protection active et la protection passive. La première fait référence à la détection et à l'extinction d'un feu, la seconde concerne le confinement. En pratique, les deux types de protection (protection active et protection passive) peuvent être combinées afin de constituer la solution de protection la mieux adaptée au scénario identifié. [INERIS,2016]

2.2.2.1 Protection passive

Lorsque la protection contre l'incendie est mise en œuvre sans besoin d'un apport d'énergie (par exemple : intervention humaine, action mécanique), elle est considérée comme passive. La distance de sécurité entre les unités, la distance entre les équipements sont toutes des formes de protection passive. Ce type de protection, indispensable dans les installations industrielles, n'est pas décrit plus en détail dans ce projet. [INERIS,2016]

2.2.2.2 Protection active

La protection active est un type de lutte contre l'incendie qui utilise des systèmes de refroidissement et d'extinction d'incendie à l'eau et/ou à la mousse ou à la base d'un autre agent extincteur, tel que la poudre et le gaz.

Il existe trois types d'équipements de lutte contre l'incendie : les systèmes fixes, semi-fixes et mobiles. Le tableau suivant précise les caractéristiques de chaque système. [INERIS,2016]

Tableau 2-1: Les différents équipements de lutte contre l'incendie [INERIS,2016]

Systèmes fixes	Systèmes semi fixe	Systèmes mobiles
<p>Installés en permanence Connectés à une source d'agent extincteur (eau, mousse, gaz inerte / inhibiteur, poudre).</p> <p>Exemples : Déluge, rideau d'eau, lance monitor, système d'extinction CO2, etc.</p>	<p>Installés en permanence Non connectés à une source d'agent extincteur (connexion effectuée par du personnel entraîné).</p> <p>Exemples : Poteau incendie, robinet d'incendie armé, colonne sèche, etc.</p>	<p>Amenés sur le lieu de l'incendie et mis en œuvre manuellement.</p> <p>Exemples : Queue de paon, lance incendie</p>
		

2.2.3 Normes traitant la protection active contre l'incendie

Il existe de nombreux standards et codes internationaux qui traitent le dimensionnement des installations fixes de lutte contre l'incendie. Parmi lesquels on site :

2.2.3.1 NFPA 11 : norme américaine pour l'utilisation de la mousse de protection incendie

Cette norme est destinée à l'utilisation et à l'orientation des personnes responsables de la conception des systèmes de lutte incendie à mousse à faible, moyen ou haut taux de foisonnement

2.2.3.2 NFPA 15 : norme américaine pour systèmes fixe de protection incendie

Le but de cette norme est de fournir les exigences minimales pour les systèmes de pulvérisation d'eau fixes qui sont généralement appliqués aux risques spéciaux.

2.2.3.3 NF EN 13565-1 : normes françaises traitant les systèmes fixes de lutte contre l'incendie-partie 1 - exigences et méthodes d'essai

Cette norme européenne spécifie les exigences pour les matériaux et les systèmes de performance des composants destinés à être utilisés dans les systèmes d'extinction d'incendie à mousse fixes, et utilisant des émulseurs. Les composants principaux couverts par cette norme sont : les générateurs à mousse à bas/moyen/haut foisonnement, les chambres à mousse et les pulvérisateurs à mousse.

2.2.3.4 NF EN 13565-2 : normes françaises traitant les systèmes fixes de lutte contre l'incendie-partie 2 - Conception, construction et maintenance

La norme NF EN 13565-2 fournit les exigences en termes de matériel et décrit les méthodes relatives aux calculs, à l'installation, aux essais et à la maintenance de systèmes d'extinction à mousse bas, moyen et haut foisonnement.

2.3 Description générale des réseaux de lutte incendie

Lorsque les agents extincteurs utilisés sont l'eau et la mousse, une installation de protection fixe contre l'incendie est constituée de :

- Une réserve d'eau incendie ;
- La pomperie (pompes principales et pompes jockey) ;
- Le réseau d'eau incendie (maillé) ;
- Les consommateurs d'eau et de mousse :
- Réseau déluge constitué d'un réseau sec, d'une vanne déluge et de pulvérisateurs ;
- Lances monitor à eau ou à mousse ;
- Hydrants (poteaux ou bouches incendie)
- La réserve d'émulseur centralisée ou des réserves dédiées ;
- Le système de prémélange ;
- Les générateurs et les distributeurs de mousse (déversoirs et boîtes à mousse).

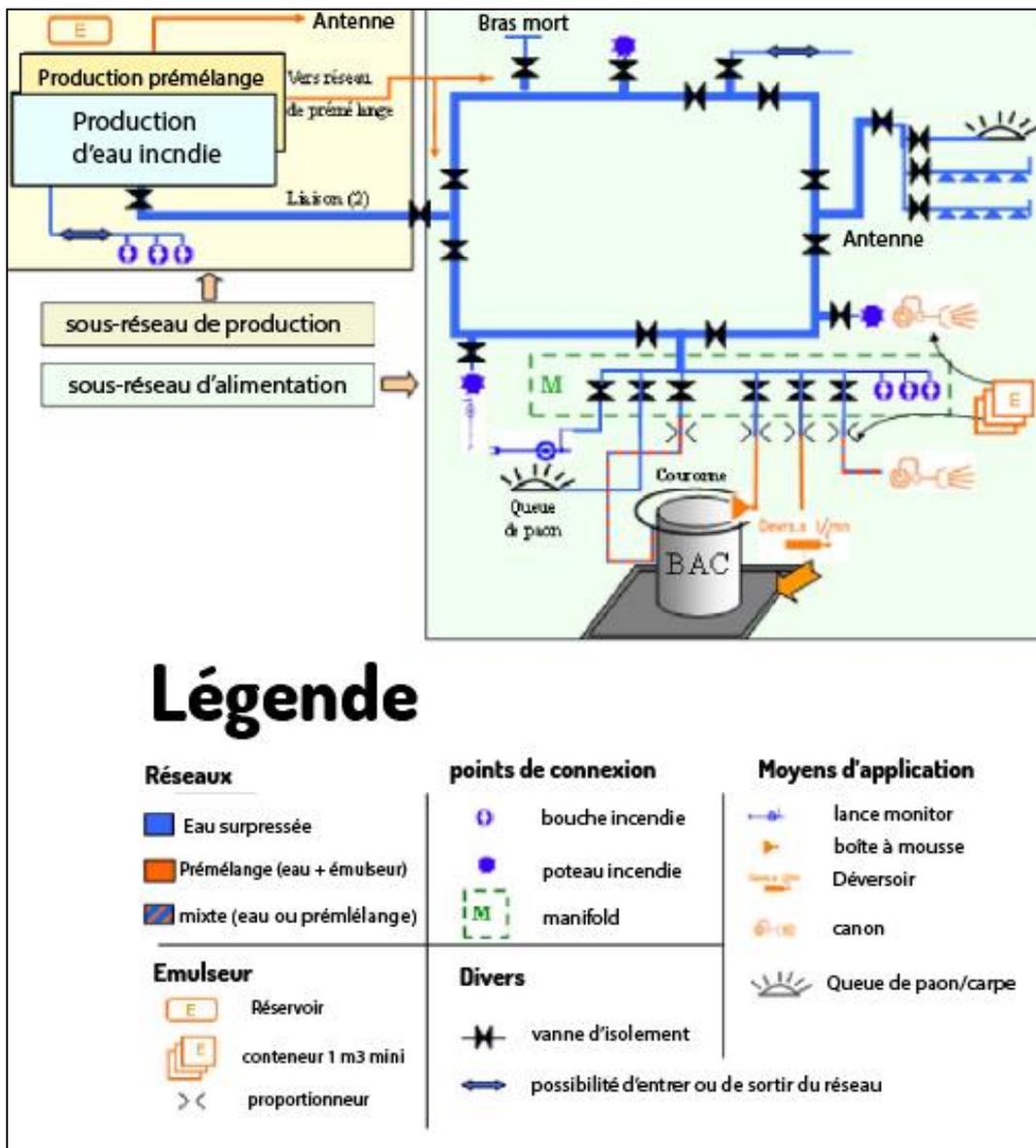


Figure 2-1 : Schéma simplifié d'une installation de lutte contre l'incendie [INERIS,2016]

2.3.1 Le réseau maillé

Le réseau principal, appelé réseau maillé, il transporte l'eau jusqu'aux consommateurs au niveau des bac et cuves de rétention, et la réserve et pomperie d'eau. Toutes les normes de protection contre l'incendie exigent que le réseau eau/mousse soit maillé pour qu'il puisse transporter l'agent extincteur par différentes voies.

Le réseau maillé est constitué de vannes d'isolement situées à chaque intersection du circuit principal et permet d'isoler manuellement une branche du réseau. Ce qui permet d'assurer l'approvisionnement en eau des consommateurs malgré les interruptions ou les opérations de maintenance sur une partie du réseau.

La pression dans le réseau est contrôlée par des capteurs de pression à des points clés (par exemple, à proximité de la station de pompage ou au point le plus éloigné). [INERIS,2016]

2.3.2 Pompage et réserve d'eau

La Réserve d'eau peut consister en un bassin ou réservoir artificiel, ou en une réserve naturelle (mer, rivière, etc) et doit être disponible immédiatement.

Les pompes incendie couvrent 100% de la demande maximale, à la pression requise en tous points du réseau.

Le nombre de pompes installées est au moins égal au nombre de pompes nécessaires pour fournir le débit requis (100%) + 1, dans le cas où une pompe serait indisponible (pour cause de maintenance par exemple).

On peut retrouver les configurations suivantes :

- 3 x 50% (3 pompes) ; (Deux pompes principales et une pompe de secours)
- 2 x 100% (2 pompes). (Une pompe principale et une pompe de secours)

Elles sont à positionner de façon à être protégées des risques de feu et d'explosion de l'installation ou d'un incendie sur une pompe incendie voisine (mur coupe-feu et anti-explosion, distance à l'installation en accord avec l'étude de dangers). De plus, elles devraient être entraînées par des sources d'énergie indépendantes (électricité, moteur diesel, etc.).

Les pompes jockey, électriques et au nombre d'une ou deux, sont prévues pour maintenir le réseau sous une pression d'environ 6 à 8 bar, avec un débit variant de 20 à 50 m³/h pour compenser le taux normal de fuite sur le réseau. [INERIS,2016]

Les pompes principales ne peuvent pas être utilisées comme pompes jockey. Lorsqu'il y a deux pompes jockey, la deuxième pompe peut être démarrée :

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

La configuration classique d'une pomperie est schématisée sur la figure suivante :

2.3.3 Les différents agents extincteurs

Les agents extincteurs sont multiples : l'eau, la mousse, la poudre, les gaz inertes / inhibiteurs. Chaque agent est utilisé pour un risque bien précisé et avec un mode d'application propre à lui.

En effet, le choix de l'agent extincteur adéquat aux installations est une étape intégrante de la stratégie de lutte contre l'incendie. Le présent chapitre traite des systèmes fixes de lutte contre l'incendie à eau et à mousse, qui doivent être mis en place dans le site et plus particulièrement ceux destinés à la protection des installations de stockage de liquides inflammables (LI). [INERIS,2016]

Nous verrons dans le tableau suivant quelques propriétés des différents agents extincteurs.
[IFP Training,2015]

Figure 2-2 : Caractéristiques des différents agents extincteurs[IFP Training,2015]

Agent	Eau	Mousse	Poudre	Gaz inerte / inhibiteur
Caractéristiques	Utilisée à température ambiante entre 4 et 10 bar de pression (réseau incendie) Disponible facilement	Fonction du type d'émulseur, de sa concentration et du foisonnement	Poudre BC Poudre ABC Poudre D	Gaz inerte (argon, CO ₂ , azote, ...) Gaz inhibiteur (FM200, NOVEC, SAPPHERE, ..)
Application	Projection (lances monitor ou lance à main) Application douce (déluge / sprinkler)	Projection (lances monitor ou lance à main) Application douce (déluge / sprinkler)	Sélection poudre selon le type de feu Projection (extincteurs / systèmes fixes)	Sélection gaz selon le type de feu Projection (extincteurs / systèmes fixes) Lieux clos ou confinés
Mode d'action	Refroidissement Noyage (feux de classe A) Étouffement : eau convertie en vapeur remplaçant oxygène de l'air Agent de déplacement pour éloigner du point de fuite un produit inflammable (sauf LPG)	Essentiellement par étouffement Refroidissement grâce à la vaporisation de l'eau de constitution de la mousse.	Poudre BC - ABC sur flammes Inhibition de la réaction de combustion Absorption de chaleur lors de la réaction de décomposition de la poudre par la flamme Poudre ABC sur braises Étouffement par formation d'un laque à la surface du foyer Poudre D isolement du métal de l'oxygène de l'air par formation d'une croûte (chlorures)	Gaz inertes Dilution de l'oxygène de l'air + Étouffement Cas du CO₂ : En plus des actions ci-dessus : refroidissement (neige carbonique à -78°C) + abattage mécanique de la flamme par effet de souffle Gaz inhibiteurs Blocage de la réaction chimique de combustion Refroidissement important lors de la détente
Autre mode d'utilisation	Avec additifs mouillants Brouillard d'eau (refroidissement / étouffement) Vapeur (étouffement)		Possibilité de mixer avec système mousse (twin agent)	

© 2014 - IFP Training

2.3.4 Cas d'utilisation de la mousse

2.3.4.1 Généralités sur la mousse

L'eau étant inefficace pour éteindre un feu de bac contenant un liquide inflammable, ou un feu dans une cuvette de rétention, la mousse est le moyen utilisé pour faire face à ce genre d'événements.

La mousse est constituée d'un émulseur, d'eau et d'air. Sa fabrication se fait au moment même de l'incendie, afin de garantir son efficacité à éteindre l'incendie. La production de la mousse est illustrée dans le schéma ci-après. [INERIS,2016]

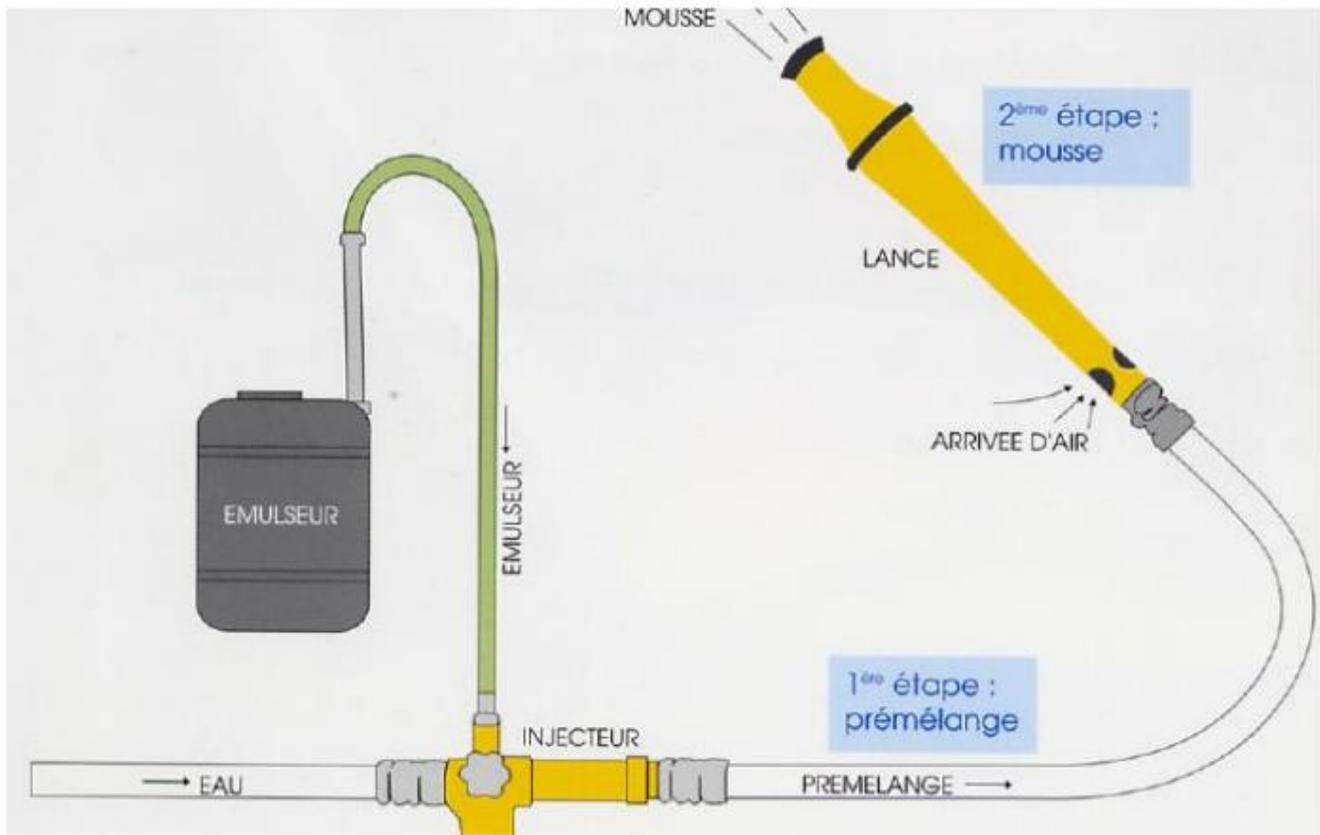


Figure 2-3 : Etapes pour la production de la mousse [INERIS,2016]

La première étape du système lorsqu'il commence à fonctionner, consiste à conduire l'eau et l'émulseur vers le mélangeur, où ils sont mélangés pour produire une solution moussante appelée "prémélange". Cette dernière est envoyée vers le générateur qui crée la mousse en injectant l'air dans le prémélange.

Le comportement de la mousse est caractérisé par :

- Son efficacité extinctrice ;
- Sa résistance à la ré-inflammation.

Ces deux caractéristiques dépendent de la nature de l'émulseur utilisé, du mode d'application de la mousse et du combustible impliqué. On peut trouver plus d'informations concernant les différentes catégories de mousse sur les normes européennes NF EN 1568, notamment les temps maximums d'extinction, et les temps minimums de ré-inflammation.

Puisque l'utilisation de mousse nécessite de réserves d'émulseur, de systèmes de prémélange, de générateurs et de distributeurs de mousse. [INERIS,2016] Nous allons ces dispositifs en détail :

2.3.4.2 Réserve d'émulseur

Il existe deux formes de stockage d'émulseur.

- Soit un stockage d'émulseur centralisé en un seul point, près de la station de pompage d'eau incendie et protégée des effets thermiques et de surpressions éventuelles. Dans ce type de stockage, le système de prémélange est y associé, c'est-à-dire que le prémélange se fait à l'amont du réseau- à proximité de la réserve commune d'émulseur.
- Soit plusieurs points de stockage d'émulseur, chacun destiné à un équipement ou à un groupe d'équipements : c'est-à-dire chaque équipement a sa propre réserve d'émulseur. Dans ce cas, le prémélange est réalisé à proximité de chaque consommateur.

Le calcul de la quantité d'émulseur nécessaire est fonction de trois facteurs : taux et de la durée d'application, de la concentration. Elle est calculée au cas par cas et doit prendre en compte les phases d'extinction et de temporisation (la temporisation consiste à réduire le flux thermique émis par l'incendie par la mise en œuvre de moyens d'application de solution moussante dont le taux est égal à la moitié du taux d'application nécessaire à l'extinction).

La réserve d'émulseur, ainsi que la centrale incendie doivent être installés hors des zones d'effets thermiques d'intensité supérieure à 5 kW/m². [INERIS,2016]

2.3.4.3 Système de prémélange

Le mélange eau-émulseur est réalisé soit :

- Avec des injecteurs équipés d'un système venturi qui crée une dépression permettant l'aspiration de l'émulseur concentré à partir de la réserve et son mélange avec l'eau. L'inconvénient de ce système est qu'il génère des pertes de charge importantes, près de 30 % de la charge initiale.

Afin de garantir la production du débit requis, les systèmes sont testés sous les conditions d'alimentations disponibles. Les systèmes qui fonctionnent à un débit variable, sont utilisés pour les lances portables ou canons fixes mais dans une plage assez restreinte (de 0 à + 15 % par rapport au débit de la lance).

- Avec des systèmes, où l'émulseur est injecté vers le proportionneur sous pression dans lequel s'effectue le mélange en rapport constant avec l'eau du réseau, à l'aide d'une pompe volumétrique, quels que soient la viscosité de l'émulseur, la pression et le débit d'eau. Ces systèmes sont destinés aux utilisés d'émulseurs à viscosité élevée et lorsque de grandes quantités sont nécessaires, car, la réserve à émulseur étant atmosphérique, son ravitaillement est possible en cours d'intervention.
- Avec des systèmes appelés « unités de stockage et de dosage » ou USD. Ils comprennent un réservoir à eau à l'intérieur duquel est située une poche souple contenant la réserve

d'émulseur. L'eau entrant sous pression comprime la poche et l'émulseur est ainsi propulsé en même temps que l'eau et à la même pression vers un proportionneur qui assure un dosage constant du prémélange quels que soient, en amont, le débit et la pression de l'eau. Ce système autorise des variations de débit de 1 à 10 m³/s.

L'avantage des deux derniers systèmes, c'est qu'ils entraînent moins de pertes de charge, tout en produisant un mélange constant quelles que soient les conditions d'alimentation en eau. [INERIS,2016]

2.3.4.4 Générateurs et distributeurs de mousse

Les propriétés et les applications des mousses dépendent principalement de leur taux de foisonnement et des émulseurs utilisés. Le taux de foisonnement (TF) est le rapport du volume de mousse sur le volume de solution moussante (eau + émulseur) :

- Si $TF < 4$, on parle de mousse à très bas foisonnement. Elle forme un gel ou un film à la surface des liquides avec les émulseurs filmogènes, ce qui contribue à ralentir l'évaporation.
- Si $4 < TF < 20$, on parle de mousse à bas foisonnement. C'est une mousse lourde qui peut être projetée à de grandes distances. Elle est employée pour des lances mobiles ou des canons à balayage automatique mais aussi pour des installations fixes (buses, buses mixtes, boîtes à mousse). Le générateur, pour la mousse à bas foisonnement, mélange l'air à la solution moussante par aspiration d'air lors de la détente de la solution moussante. La mousse à bas foisonnement est adaptée pour lutter contre les grands feux de l'industrie pétrolière.
- Si $20 < TF < 200$, il s'agit de mousse à moyen foisonnement. Elle est aussi principalement utilisée avec des dispositifs de projection et parfois dans des petites enceintes confinées, en particulier pour les feux proches du sol. La mousse à moyen foisonnement est adaptée à la rétention des fuites ou épandages de gaz liquéfiés ou de produits toxiques.
- Si $TF > 200$, il s'agit de mousse à haut foisonnement. Elle permet de « noyer » de grands volumes (entrepôts, galerie de câbles, etc.), mais résiste moins bien au feu que les autres mousses et peut être dispersée par le vent. Elle est donc principalement utilisée en intérieur. Plus le TF augmente, plus la mousse est légère et son volume important, donc plus les capacités de noyage d'un volume augmentent. [INERIS,2016]

La Figure 2-4 illustre les différents taux de foisonnement d'une mousse. Bas foisonnement
Moyen foisonnement Haut foisonnement.



Figure 2-4 : Différents types de foisonnement de la mousse [INERIS,2016]

Une mousse est également caractérisée par :

- Sa fluidité : la fluidité d'une mousse représente sa facilité d'étalement.
- Sa décantation : dès sa formation, une mousse tend à se détruire pour retourner à l'état de prémélange. Une décantation lente est un facteur de qualité (si la formation d'un film aqueux est recherchée, une décantation rapide est préférable pour obtenir rapidement un film flottant).
- Sa résistance à la contamination par les hydrocarbures : ce paramètre est conditionné par le type d'émulseur utilisé. [INERIS,2016]

2.4 Installations de lutte incendie dans les centres de stockage de liquides inflammables

Les bacs de stockage ainsi que les cuves de rétentions représentent des installations à risques élevés, nécessitant une mise en œuvre rapide.

Les paragraphes ci-après listent les installations fixes de lutte contre l'incendie sur des sites stockant des liquides inflammables. Ces installations font référence aux normes internationales listées dans la première section de ce chapitre.

2.4.1 Le système déluge

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

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

Le déclenchement peut être manuel ou automatique avec une détection de nature hydraulique (réseau pilote équipé de sprinklers) ou électrique (sonde de température, sonde de pression, caméra thermique...). [INERIS,2016]

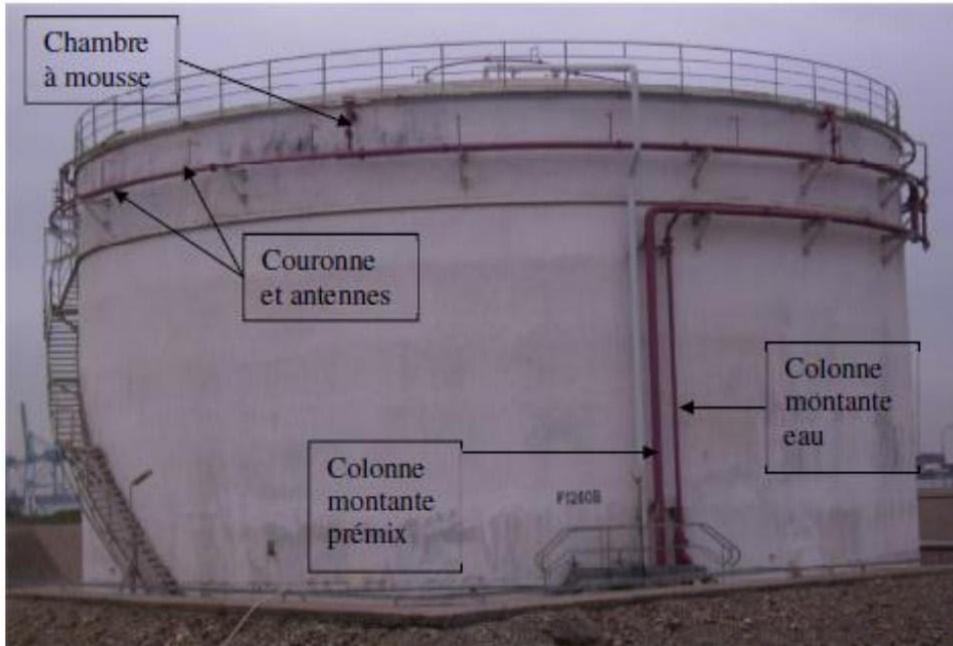


Figure 2-5 : Système de refroidissement d'un bac cylindrique vertical à toit fixe ou flottant [INERIS,2016]

Les buses sont de type jet plat, refroidissant la surface exposée située au-dessus du niveau du liquide. Pour des facilités de montage ou pour optimiser la demande en eau, la couronne peut être divisée en 1, 2, 3 ou 4 tronçons, chacun devant être alimenté par sa propre colonne montante (voir schéma).

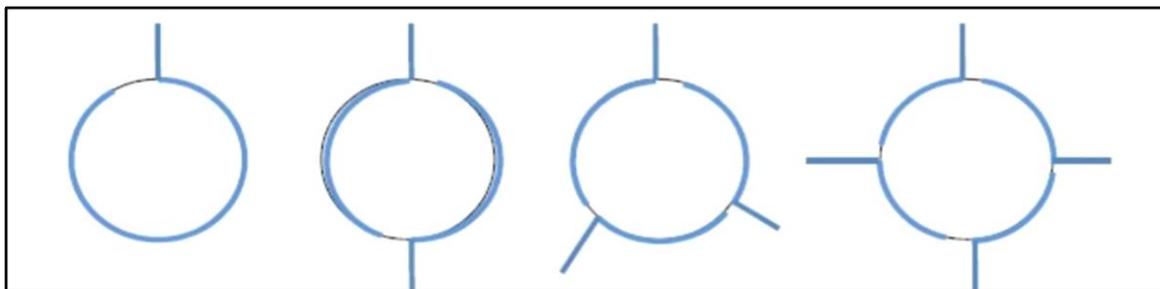


Figure 2-6 : Différents agencements de couronne de bacs de liquides inflammables [INERIS,2016]

Les vannes du réseau déluge représentent un élément de base de ce réseau. Elles sont spéciales à ouverture rapide (manuelle ou automatique). Elles sont protégées de murs coup feu pour éviter les risques d'incendie et d'explosion.

Le réseau déluge comprend également des filtres pour séparer les particules solides qui peuvent obstruer les buses ou endommager les vannes déluges. Ils doivent être placés en amont de la vanne déluge, avoir un raccord pour le rinçage et être entretenus régulièrement pour éviter une augmentation de la perte de charge. [INERIS,2016]

Les buses de pulvérisation d'eau sont de type ouvert (pas de fusible). Par conséquent, toute la zone alimentée par la vanne déluge déclenchée est arrosée en même temps. Pour faciliter les calculs de dimensionnement, et pour chaque installation donnée, le type de buse est homogénéisé.

L'installation du système déluge est complétée par des lances monitors, orientées de manière fixe ou automatique et dédiées à l'équipement à protéger. [INERIS,2016]

2.4.2 Les lances monitors

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

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

Le nombre des lances monitors doit être suffisant pour atteindre tous les équipements dans un rayon de 40 m, et la distance minimale entre eux et les équipements à protéger est de 15 m. [INERIS,2016]

2.4.3 Les déversoirs à mousse

Les cuvettes de rétention sont considérées comme dispositifs indissociables de la fonction de stockage de liquides inflammables. Elles permettent de garantir le confinement de rejets de matières dangereuse, mais aussi de limiter la propagation des feux aux installations voisines lors d'un incendie

L'extinction des feux de cuvettes se fait avec des déversoirs à mousse. Lorsqu'une cuvette / sous-cuvette est en feu à la suite d'un épandage par exemple, des déversoirs à mousse créent un tapis de mousse pour contenir ou éteindre l'incendie. Ce tapis est entretenu en permanence pour assurer une efficacité optimale malgré la décantation de l'eau.

Lors de l'extinction d'un feu de cuvette, il faut s'assurer que le bac se trouvant dans cette cuvette n'est pas lui-même arrosé à l'eau ou à la mousse, afin de préserver le film de mousse créé pour contenir ou éteindre le feu de cuvette. [INERIS,2016]

2.4.4 Les boîtes à mousse

L'injection de la mousse s'effectue le plus souvent en haut du bac, le système de distribution consiste en des boîtes à mousse, dont le nombre varie selon le diamètre du bac.

Les boîtes à mousse sont constituées de :

- D'un joint pivotant qui permet de limiter le risque de rupture de la tuyauterie amenant la solution (eau + émulseur) si une explosion précède l'incendie. Il se trouve sur la tuyauterie, à la base du bac ;
- D'une entrée d'air, protégée par un écran afin d'éviter toute obstruction par un élément extérieur, et permettant de générer la mousse ;
- D'une chambre à mousse, interdisant l'entrée des gaz dans la tuyauterie d'injection de la mousse grâce à une vitre de protection appelée glace de rupture. Cette vitre, qui assure l'étanchéité vis-à-vis des gaz extérieurs, cèdera sous la pression de la mousse pour qu'elle puisse se déverser dans le bac ;
- D'un déversoir favorisant l'application de la mousse dans le bac. [INERIS,2016]



Figure 2-7: Boîtes à mousse installées en au haut des bacs de stockage [Google images]

2.4.5 Les hydrants

Les hydrants font partie des systèmes hydrauliques de sécurité incendie, raccordés au réseau d'eau à une pression minimale 1 bar, maximale 16 bars, avec un débit égal à 60 m³/h ou plus. Ils doivent être accessibles par les pompiers en toutes circonstances. [INERIS,2016]

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons procédé à la description des équipements constituant un réseau anti-incendie, afin de bien mener notre projet et de résoudre la problématique qui nous a été posée, ce qui fera l'objet des prochains chapitres.

Chapitre 3 : Contexte générale du projet

3. Contexte générale du projet

3.1 Introduction

CEI HALFAOUI réalise des diagnostics de conformité de sites Oil and Gas. Dans ce cadre, il a effectué des inspections, des tests et des simulations pour se prononcer sur la conformité des différentes installations du site de son client, société de stockage et distribution de carburants en Algérie. Le travail porte à étudier le dispositif global nécessaire à la protection du site contre le risque d'incendie. Les experts du cabinet ont constaté que le réseau de lutte incendie existant dans le site était obsolète et inadapté à la structure du site

Pour assurer une protection maximale de tous les agents et les installations présents dans le centre de stockage, le dimensionnement d'un nouveau réseau de lutte incendie performant s'avère nécessaire. Afin de faire face à d'éventuels risques majeurs.

3.2 A propos du CEI HALFAOUI

CEI HALFAOUI est un cabinet d'expertise industrielle indépendant, qui a été fondé en 1991 à Tlemcen.

CEI HALFAOUI composé de près de 20 employés à Tlemcen et à Alger, offre une large gamme de services destinés aux secteurs industriels en Algérie. Son équipe intervient principalement dans la maîtrise des risques industriels, les études environnementales, le management de la qualité et le conseil économique.

Certifié ISO 9001/2015 et doté d'une expérience de plus de 30 ans, CEI HALFAOUI vise à fournir à ses entreprises clientes des prestations de qualité tout en assurant la conformité aux normes internationales. [CEI HALFAOUI,2021]

3.3 Description du site

Le centre carburant El Eulma (CBR 1197), objet de la présente étude, se situe en plein zone industrielle d'El Eulma, sur la Route W N°05 El Eulma/Batna. L'établissement est implanté sur un terrain d'une superficie totale de 193042 m².



Figure 3-1 : Image satellitaire du centre de stockage de carburants El Eulma CBR17 [Google earth,2021]

3.3.1 Délimitation du site

L'établissement est situé dans :

- Zone industrielle de : El Eulma,
- La commune de : El Eulma,
- La daïra de : El Eulma,
- La wilaya de : Sétif.

La surface totale du site est de 193 042 m². Le site est accessible par le chemin de wilaya N°05 El Eulma/Batna n°06. Le CBR 1197 est limité par:

- Au nord par la station gaz de ville ;
- Au sud par le centre de bitume et GPL ;
- Au sud-ouest par Infrafer ;
- Au nord-ouest par Sonacome ;
- A l'est par l'extension de la zone d'activité.

La ville est située à peu près à 1 km du centre de carburant.

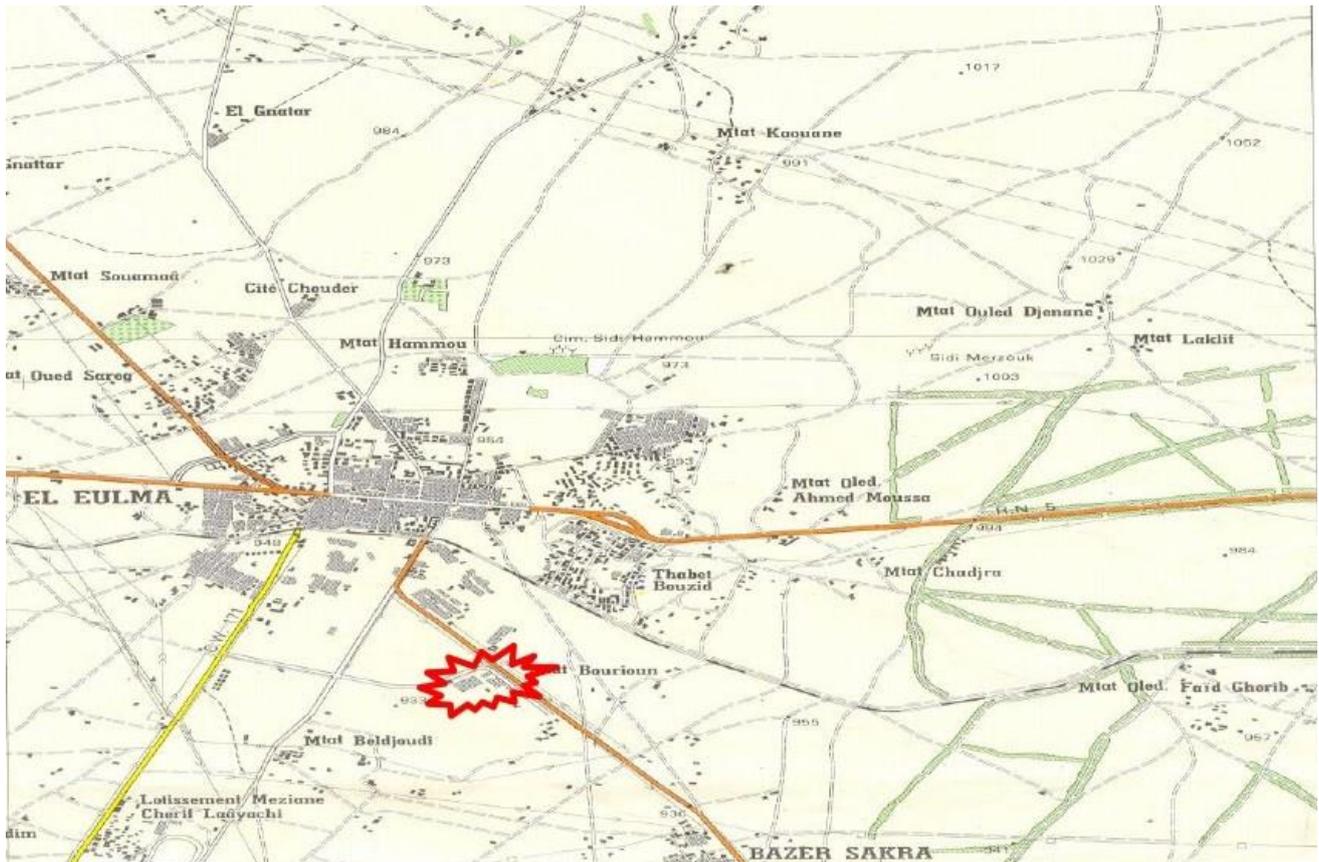


Figure 3-2 : Localisation du dépôt 1197 [EDD,2014]

3.3.2 Nature des activités

Le centre de carburant d'El Eulma a été mis en service en 1989. Sa principale activité est, l'approvisionnement, le stockage et la distribution des différents carburants (gasoil, essence normale et essence super). Les installations actuelles du centre sont composées de façon classique des bacs de stockage dans des cuvettes de rétention, des postes de chargement wagons, des postes de chargement camions d'hydrocarbures et des pompes de transfert.

Les installations du CBR 1197 se répartissent de la manière suivante :

- Un parc de stockage.
- Poste des chargements routiers et ferroviaires.
- Une pomperie de chargement.
- Locaux administratifs : bureaux, vestiaires et sanitaires.
- Centrale Anti- incendie.
- Ateliers, garage mécanique, magasins, etc.
- Unité de traitement des eaux huileuses.

Le dépôt d'El Eulma assure :

3. La réception d'hydrocarbures liquides par camions citernes et wagons citernes ;
4. L'expédition d'hydrocarbures liquides par camions et wagon ;
5. Le stockage d'hydrocarbures liquides dans des réservoirs de stockage atmosphériques aériens ;
6. Le remplissage de camions citernes d'hydrocarbures liquides ;
7. D'une manière occasionnelle, le transfert interne d'hydrocarbures liquides, d'un réservoir à un autre, par des canalisations.

3.3.3 Découpage fonctionnel du site

Afin de cerner au mieux les différentes zones et au vu des activités du centre carburant, l'analyse du site est faite selon un découpage en 08 fonctions d'exploitation principales, les systèmes 1, 2, 3 et 4 étant eux découpsés en plusieurs sous-systèmes :

Tableau 3-1: Découpage fonctionnel du centre de stockage [EDD,2014]

Découpage fonctionnel du CBR17	
Réception d'hydrocarbures	Réception par camions
	Réception par wagons
	Réception par pipelines
Bacs de stockage	Bacs de stockage essence normal
	Bacs de stockage essence super
	Bacs de stockage gasoil
Transfert de produits	Pompage
	Canalisations de transfert
Poste de chargement par camions	Postes de chargements en sources des camions citernes
	Postes de chargements en dôme des camions citernes
Poste de chargement par wagons	
Collecte et traitement des eau pluviales et huileuses	
Aires de stationnements des stationnements citernes	

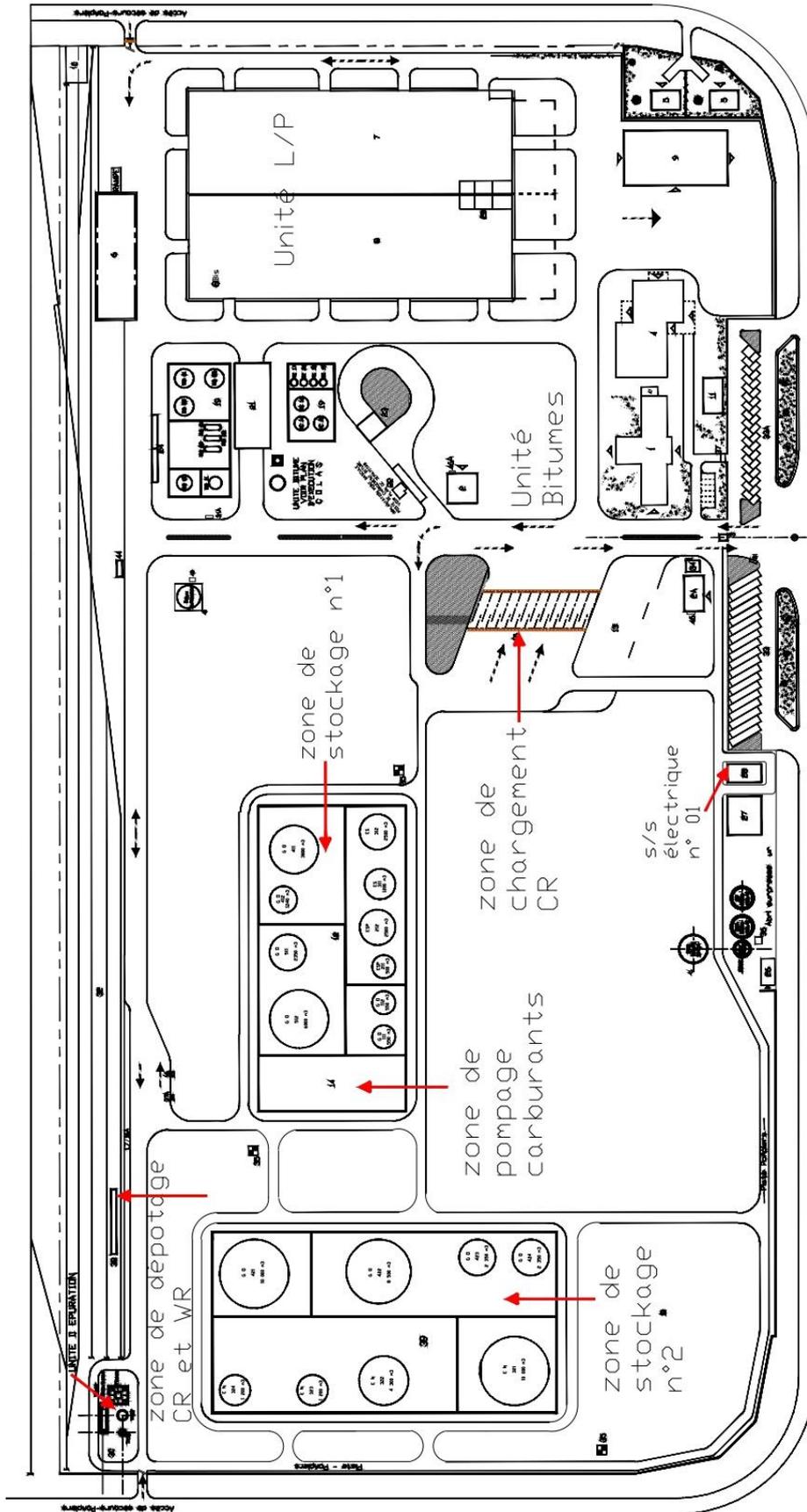


Figure 3-3 : Plan de zones [Documentation NAFTAL]

3.3.4 Description des différentes zones et installations

3.3.4.1 Le parc de stockage

Le parc de stockage actuel du centre 1197 est doté de dix-huit (21) bacs ; à toits fixes pour le gasoil et à toits flottants pour les essences. Lesdits bacs aériens à axe vertical permettent le stockage du :

- Gasoil ;
- Essence normal / super

Les caractéristiques des bacs de stockage sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3-2 : Caractéristiques des réservoirs de stockage de carburants [EDD,2014]

Bac	Capacité	Produit	Type de toit	Diamètre	Hauteur
TK111	10000	Gasoil	Flottant	30	14,6
TK112	4300	ESS/S	Flottant	12,5	14
TK211	1200	ESS/S	Flottant	12,5	10
TK212	1200	ESS/N	Flottant	30	10
TK311	10000	ESS/N	Fixe	28	14,6
TK312	8500	Gasoil	Fixe	14	14,6
TK411	2350	Gasoil	Fixe	14	14
TK412	2350	Gasoil	Fixe	8,4	14
TK511	550	Gasoil	Fixe	8,4	10
TK512	550	ESS/N	Fixe	9,3	10
TK321	500	ESS/N	Flottant	15,4	8
TK322	2500	ESS/N	Flottant	10	14
TK323	1200	ESS/N	Flottant	15,4	12,8
TK324	2500	Gasoil	Flottant	18,7	14
TK421	3800	Gasoil	Fixe	11,7	14

TK422	1240	Gasoil	Fixe	14,6	12
TK423	2350	Gasoil	Fixe	25	14
TK424	6000	Gasoil	Fixe	42	14
TK431	30000	Gasoil	Fixe	42	16
TK432	30000	Gasoil	Fixe	42	16
TK433	30000	Gasoil	Fixe	30	16



Figure 3-4 : Parc de stockage- CBR 1197-El Eulma [EDD,2014]

3.3.4.2 La rétention des bacs de stockage

Tous les produits à risques sont situés au sein d'aires étanches permettant de les contenir en cas de fuite. C'est le cas des réservoirs d'hydrocarbures, placés dans trois cuvettes de rétention, mais c'est aussi le cas des pompes carburants. Au niveau du centre, il existe trois cuvettes de rétention qui délimitent les lieux d'implantation des bacs et la zone de pompage carburants. La capacité des cuvettes de rétention est précisée comme suit :

Tableau 3-3 : Caractéristiques des cuvettes de rétention des bacs de stockage[EDD,2014]

	Cuvette 1	Cuvette 2	Cuvette 3
Type de cuvette	Murette en béton	Murette en béton	Murette en béton
Réservoirs correspondants	21, 422, 423, 424, 321, 322, 323, 324	12, 511, 412, 411, 312, 311, 212, 211, 112, 111	431,432, 433
Surface moyenne de la cuvette	14 000 m ²	9280 m ²	10400 m ²
Hauteur moyenne de la cuvette	2m	2m	2m

La cuvette 1 est divisée en quatre compartiments :

Figure 3-5 : Découpage de la première cuvette [EDD,2014]

Cuvette 1				
	Compartiment 1	Compartiment 2	Compartiment 3	Compartiment 4
Réservoirs correspondants	TK421	K 422, TK 423, TK 424	TK 321	K322, TK323 (e et TK 324
Surface moyenne du compartiment	1680 m ² (40x42m)	4320m ² (108 x 40m)	1840 m ² (42 x 44 m)	4452 m ² (42 x 106m)

La cuvette 2 est divisée en quatre compartiments :

Figure 3-6 : Découpage de deuxième cuvette

Cuvette 2				
	Compartment 1	Compartment 2	Compartment 3	Compartment 4
Réservoirs correspondants	TK511, TK512	TK411, TK412	TK211, TK212 TK311, TK312	TK111, TK112
Surface moyenne du compartiment	2280 m ² (57 x 40 m)	2080m ² (52 x 40 m)	2106m ² (78 x 27 m)	837 m ² (31 x 27 m)



Figure 3-7 : Cuvette de rétention [EDD,2014]

3.4 Contexte du projet

3.4.1 Objectif de l'étude

La nature combustible des produits stockés dans le centre d'El Eulma, est considérée comme source éminente d'inflammation ce qui rend le site que nous allons étudier dans le présent projet, assez vulnérable.

Cette étude a pour objectif de réduire la vulnérabilité du centre de stockage de carburants El Eulma face au risque d'incendie, à travers le dimensionnement d'un nouveau circuit hydraulique, en conformité avec les normes internationales évoquant les réseaux et équipements de lutte contre l'incendie (normes NFPA).

3.4.2 Méthodologie de travail

L'étude qui a été menée dans le cadre de ce projet découle d'une démarche bien élaborée pour garantir une prestation de qualité. Elle consistait tout d'abord à recueillir les données de base et le plan de masse du site concerné par l'étude, auprès de l'entreprise cliente. Ces données d'entrées sont indispensables pour la suite du projet et comprennent le type de réservoirs de carburants ainsi que leurs diamètres, hauteurs et capacités de stockage. Ces données nous ont permis d'aboutir en second lieu à la planification et à la conception du réseau. Cette étape déterminante était l'occasion de mettre au point les composantes et les paramètres de calculs du réseau en se basant parfois sur les normes internationales et dans le respect des critères de conception.

3.4.3 Déroulement de l'étude

La première étape de cette étude consiste à analyser le site et identifier chaque zone à risque qui doit être protégée par un système d'extinction automatique.

Une fois que cette analyse préliminaire est faite, nous aurons pour mission les tâches suivantes :

- L'identification des systèmes de protection appropriés aux installations à travers l'étude des normes et guides internationaux.
- La conception de l'extension du site sur le plan de masse.
- La conception du réseau maillé sur plan avec les systèmes d'extinctions définis précédemment.
- Les calculs hydrauliques du réseau en se référant aux normes pour la détermination des débits et pressions nécessaires.
- Simulation et validation du réseau.

3.5 Conclusion

Lors de ce chapitre nous avons présenté la zone d'étude, puis, nous avons abordé l'objectif et le déroulement de ce travail. Maintenant que la problématique est définie nous allons procéder dans le prochain chapitre au dimensionnement du réseau et sa simulation

Chapitre 4 : Dimensionnement du réseau

4. Dimensionnement du réseau

4.1 Introduction

La protection active contre l'incendie a pour objectif d'empêcher un événement mineur de se développer en un événement majeur pour l'installation et son environnement.

Le dimensionnement des installations incendie repose généralement sur le critère suivant :

- Un événement par unité et un seul événement en zone de stockage.

Car il est pratiquement impossible et prohibitif en termes de coût de dimensionner les installations de protection incendie sur la base d'un événement majeur catastrophique (gravité élevée et faible probabilité).

Dans ce chapitre nous allons mettre en pratique toutes les notions étudiées lors des deux premiers chapitres. Le deuxième chapitre nous servira à la conception du et à déterminer ses caractéristiques du réseau notamment, tandis que le premier chapitre nous servira à calculer les pertes du réseau et par la suite déterminer les caractéristiques des pompes pour faire fonctionner le réseau.

4.2 Caractéristiques du réseau

4.2.1 Plan du réseau

Nous avons utilisé le logiciel Auto CAD pour tracé notre réseau. Le réseau inclut des poteaux incendie, des lances monitors à eau et à mousse, des couronnes de refroidissement entourant les réservoirs de stockage de carburants, des boîtes et déversoirs à mousse.

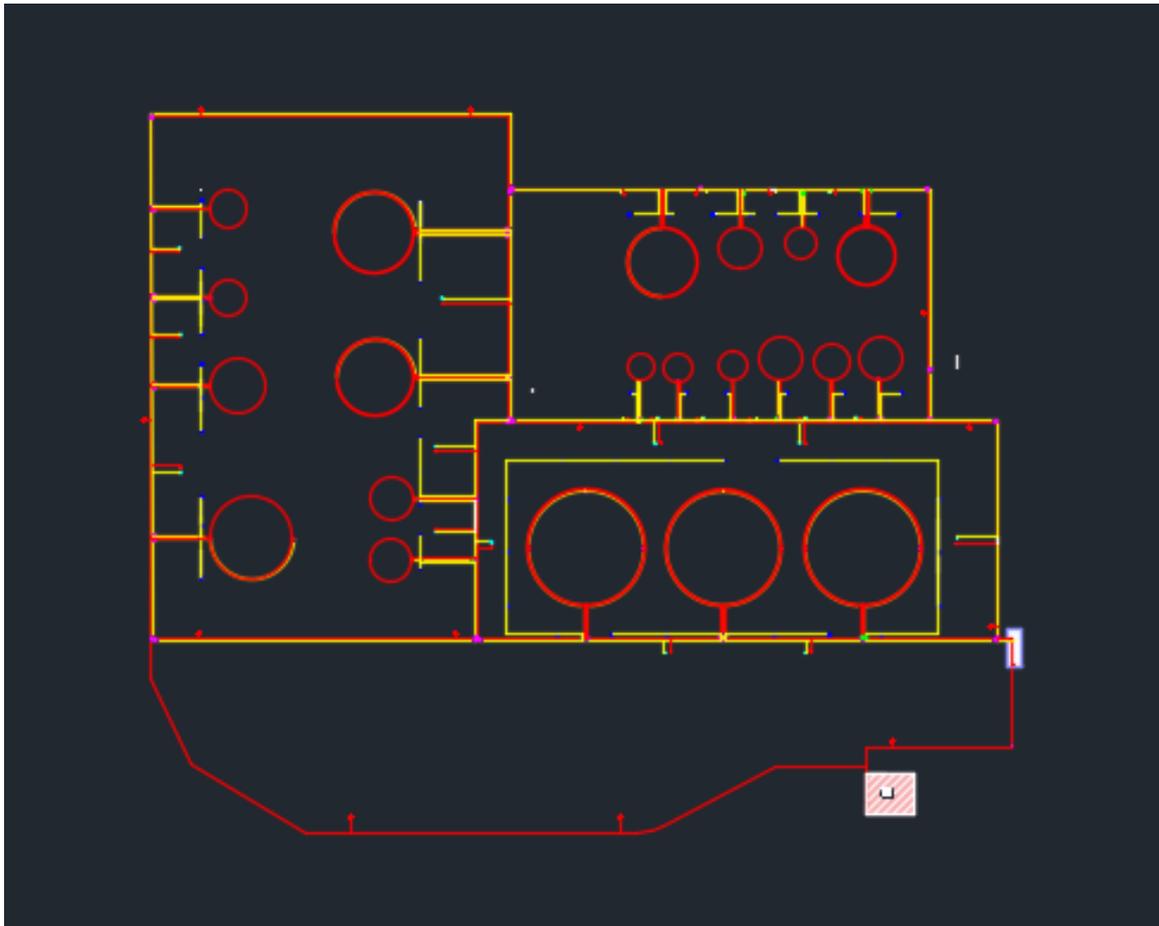


Figure 4-1 : Plan du réseau anti-incendie

4.2.2 Caractéristique du réseau à eau (installations de refroidissement)

4.2.2.1 Le système déluge

Conformément aux exigences internationales, tous les réservoirs du dépôt seront protégés par des couronnes de refroidissement installées au niveau du toit et de la robe.

La norme NFPA recommande les quantités d'eau à appliquer en fonction des équipements à protéger. Le taux d'application linéaire qui doit être utilisé lors du dimensionnement des couronnes de refroidissement des réservoirs de stockage de carburants est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 4-1 : Taux d'application d'eau pour le refroidissement des bacs de stockage selon la NFPA 15 [IFP Training, 2015]

Type de bac	Critères de choix	Taux d'application sur le quart de la surface latérale du bac en l/min.m ²
Bac à toit fixe	Point d'éclair <21 C°	5
	Point d'éclair >= 21 C°	3
Bac à toit flottant	Capacité <7500 m ³	3
	Capacité >=7500 m ³	2

Les caractéristiques des couronnes de refroidissement des différents réservoirs du dépôt sont présentées dans le tableau 4-3

4.2.2.2 Les lances à eau et les hydrants

Lors de la conception du réseau, nous avons réparti les lances à eau et les hydrants (poteaux incendie) de telle manière que le jet d'eau puisse atteindre les bacs de stockage.

Caractéristiques des lances :

- Commandées localement ou à distance
- Position oscillante
- Portée horizontale moyenne est de 40 m
- Débit de 60 m³/h
- Angle en rotation horizontale égale à 360°
- Angle de rotation verticale : en haut 80°, en bas 45°
- Type de jet : jet diffusé pour refroidir, ventiler et couvrir une grande surface

Localisation :

- Le long des accès en général
- Entre 15 et 40 mètres loin des équipements à protéger

Tableau 4-2 : Caractéristiques des lances à eau et PI

Equipement	Nombre par cuvette		Débit unitaire	Débit total
Lance à eau	Cuvette 1	6	60 m ³ /h	360 m ³ /h
	Cuvette 2	7	60 m ³ /h	420 m ³ /h
	Cuvette 3	6	60 m ³ /h	360 m ³ /h
Poteaux incendie	Cuvette 1	5	60 m ³ /h	300 m ³ /h
	Cuvette 2	3	60 m ³ /h	180 m ³ /h
	Cuvette 3	3	60 m ³ /h	180 m ³ /h

Tableau 4-3 : Débits des couronnes de refroidissement des réservoirs de stockage de carburants

Cuvette	réservoir	Toit	Produit stocké	Capacité de stockage m ³	Diamètre (m)	Hauteur	Taux d'application (l/min/m ²)	Quart de la surface latérale	Débit de refroidissement l/min	Débit de refroidissement m ³ /s	Débit de refroidissement par cuvette m ³ /s
1	TK321	Flottant	Gasoil	10000	30	14,6	2	343,83	687,66	0,01146	0,08116115
	TK322	Flottant	ESS/S	4300	20,5	14	3	225,295	675,885	0,01126	
	TK323	Flottant	ESS/S	1200	12,5	10	3	98,125	294,375	0,00491	
	TK324	Flottant	ESS/N	1200	12,5	10	3	98,125	294,375	0,00491	
	TK421	Fixe	ESS/N	10000	30	14,6	3	343,83	1031,49	0,01719	
	TK422	Fixe	Gasoil	8500	28	14,6	3	320,908	962,724	0,01605	
	TK423	Fixe	Gasoil	2350	14	14	3	153,86	461,58	0,00769	
	TK424	Fixe	Gasoil	2350	14	14	3	153,86	461,58	0,00769	
2	TK111	Fixe	Gasoil	550	8,4	10	3	65,94	197,82	0,0033	0,06900935
	TK112	Fixe	ESS/N	550	8,4	10	3	65,94	197,82	0,0033	
	TK211	Flottant	ESS/N	500	9,3	8	3	58,404	175,212	0,00292	
	TK212	Flottant	ESS/N	2500	15,4	14	3	169,246	507,738	0,00846	
	TK311	Flottant	ESS/N	1200	10	12,8	3	100,48	301,44	0,00502	
	TK312	Flottant	Gasoil	2500	15,4	14	3	169,246	507,738	0,00846	
	TK411	Fixe	Gasoil	3800	18,7	14	3	205,513	616,539	0,01028	
	TK412	Fixe	Gasoil	1240	11,7	12	3	110,214	330,642	0,00551	
	TK511	Fixe	Gasoil	2350	14,6	14	3	160,454	481,362	0,00802	
	TK512	Fixe	Gasoil	6000	25	14	3	274,75	824,25	0,01374	
3	TK431	Fixe	Gasoil	30000	42	16	3	527,52	1582,56	0,02638	0,079128
	TK432	Fixe	Gasoil	30000	42	16	3	527,52	1582,56	0,02638	
	TK433	Fixe	Gasoil	30000	42	16	3	527,52	1582,56	0,02638	

4.2.3 Caractéristiques du réseau à mousse (installations d'extinction)

4.2.3.1 Les boîtes à mousse

La norme NFPA recommande aussi les taux d'application et des durées d'extinction, pour des mousses bas et moyen foisonnements, la mousse à bas foisonnement, étant typiquement utilisée pour lutter contre les feux de liquides inflammables (cuvettes et réservoirs).

Tableau 4-4 : Nombre d'équipement de décharge de mousse pour les réservoirs à toit fixe contenant des hydrocarbures [NFPA 11, 2016]

Diamètre du réservoir	Nombre minimale d'équipement de décharge
24	1
Entre 24 et 36	2
Entre 36 et 42	3
Entre 42 et 48	4
Entre 48 et 54	5
Entre 54 et 60	6

Tableau 4-5 : Taux d'application de mousse pour les réservoirs à toit flottant contenant des hydrocarbures [NFPA 11,2016]

Type de réservoir	Taux d'application
A toit fixe	4.1 l/min/m ²
A toit flottant	12.2 l/min/m ²

Les caractéristiques des boîtes à mousse pour la protection des différents réservoirs du dépôt sont présentées dans le tableau 4-7.

4.2.3.2 Les déversoirs et lances à mousse :

De même pour les déversoirs et lances à mousse, ils sont positionnés de telle manière qu'ils puissent atteindre tous les points à protéger.

Tableau 4-6 : Caractéristiques des lances et déversoirs à mousse

Equipement	Nombre par cuvette		Débit unitaire	Débit total
Lance à mousse	Cuvette 1	6	120 m ³ /h	720 m ³ /h
	Cuvette 2	7	120 m ³ /h	840 m ³ /h
	Cuvette 3	6	120 m ³ /h	720 m ³ /h
Déversoirs à mousse	Cuvette 1	22	1700 l/min	2244 m ³ /h
	Cuvette 2	14	1900 l/min	1596 m ³ /h
	Cuvette 3	20	1300 l/min	1560 m ³ /h

Tableau 4-7 : Détermination des débits de mousse pour l'extinction des feux de bacs.

Cuvette	Réservoir	Toit	Produit stocké	Capacité de stockage m ³	Diamètre M	Hauteur M	Taux d'application l/min/m ²	Surface d'application m ²	Débit de mousse par réservoir m ³ /s	Débit de mousse par cuvette m ³ /s
1	TK321	Flottant	Gasoil	10000	30	14,6	4,1	12,403	0,000847538	0,024093
	TK322	Flottant	ESS/S	4300	20,5	14	4,1	12,403	0,000847538	
	TK323	Flottant	ESS/S	1200	12,5	10	12	13,816	0,0027632	
	TK324	Flottant	ESS/N	1200	12,5	10	12	23,393	0,0046786	
	TK421	Fixe	ESS/N	10000	30	14,6	12	14,915	0,002983	
	TK422	Fixe	Gasoil	8500	28	14,6	12	23,393	0,0046786	
	TK423	Fixe	Gasoil	2350	14	14	4,1	28,574	0,001952557	
	TK424	Fixe	Gasoil	2350	14	14	4,1	17,584	0,001201573	
2	TK111	Fixe	Gasoil	550	8,4	10	4,1	22,137	0,001512695	0,03209
	TK112	Fixe	ESS/N	550	8,4	10	4,1	38,465	0,002628442	
	TK211	Flottant	ESS/N	500	9,3	8	12	46,315	0,009263	
	TK212	Flottant	ESS/N	2500	15,4	14	12	31,4	0,00628	
	TK311	Flottant	ESS/N	1200	10	12,8	12	18,84	0,003768	
	TK312	Flottant	Gasoil	2500	15,4	14	12	18,84	0,003768	
	TK411	Fixe	Gasoil	3800	18,7	14	4,1	46,315	0,003164858	
	TK412	Fixe	Gasoil	1240	11,7	12	4,1	43,175	0,002950292	
	TK511	Fixe	Gasoil	2350	14,6	14	4,1	21,195	0,001448325	
	TK512	Fixe	Gasoil	6000	25	14	4,1	21,195	0,001448325	
3	TK431	Fixe	Gasoil	30000	42	16	4,1	65,155	0,004452258	0,13356
	TK432	Fixe	Gasoil	30000	42	16	4,1	65,155	0,004452258	
	TK433	Fixe	Gasoil	30000	42	16	4,1	65,155	0,004452258	

Maintenant que nous avons calculer tous les débits nécessaires pour le refroidissement et l'extinction d'incendie dans chaque zone de stockage (cuvette de stockage). Nous allons les regrouper dans le tableau suivant :

Tableau 4-8 : Débits totaux de protection dans les trois cuvettes.

Cuvette	Débit d'eau (l/s)	Débit de mousse (l/s)	Débit total (l/s)
1	264	855	1119
2	235	700	935
3	229	646	875

Ayant déjà dit que le dimensionnement du réseau se fait sur la base d'un incendie en une seule zone de stockage et puisque dans notre site la demande en eau pour la protection de la première cuvette de stockage s'avère la plus grande. Alors nous allons dimensionner le réseau selon les débits de cette zone.

4.2.4 Dimensionnement du réseau

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques géométriques de chacun des tronçons des réseaux, et leur coefficient de Hazen-Williams (CHW).

Tableau 4-9 : Caractéristiques des tronçons du réseau à eau

Tronçon	Longueur (m)	Diamètre (m)	CHW
A	92,5	0,4	120
B	312	0,4	120
C	15	0,4	120
D	192	0,4	120
E	8,3	0,4	120
F	95	0,4	120
G	18	0,4	120
H	106	0,3	120
I	155	0,3	120
J	241	0,3	120
V	16,5	0,3	120
W	25,5	0,3	120
X	28,3	0,3	120
Y	15,3	0,3	120
K	42	0,3	120
L	98	0,3	120
M	54	0,3	120
N	16	0,3	120
O	17	0,3	120
P	14,7	0,3	120
Q	18,4	0,3	120
R	11,7	0,3	120
S	17,5	0,3	120
T	27,2	0,3	120
U	37,3	0,3	120
Z5	29,2	0,3	120
Z4	11,7	0,3	120
Z3	10,8	0,3	120
Z2	18,2	0,3	120
Z	22,5	0,3	120

Tableau 4-10 : Caractéristiques des tronçons du réseau à mousse

Tronçons	Longueur (m)	Diamètre (m)	CHW
A	193,3	0,4	120
B	106,2	0,3	120
C	155	0,3	120
D	241,3	0,3	120
U	17,4	0,3	120
T	23	0,3	120
S	31	0,3	120
R	14,9	0,3	120
E	167	0,3	120
F	15,8	0,3	120
G	17,3	0,3	120
H	14,5	0,3	120
I	18,5	0,3	120
J	32,4	0,3	120
K	24	0,3	120
L	159	0,4	120
M	29,2	0,3	120
N	11	0,3	120
O	11,7	0,3	120
P	20	0,3	120
Q	22,8	0,3	120
R	14,9	0,3	120
S	31	0,3	120
T	23	0,3	120
U	17,4	0,3	120

4.2.4.1 Application de la méthode de Hardy cross

Il s'agit de trouver la première répartition des débits dans chacun des tronçons du réseau en acier neuf (**figure 4.2**). Toutes les conduites ont un coefficient de Hazen-Williams de 120. Suivant les étapes un définies lors du premier chapitre, nous allons déterminer à l'aide de la méthode de Hardy la répartition des débits dans chacun des tronçons de cette maille.

La répartition initiale des débits dans les deux réseaux dans le cas d'un incendie dans la zone de stockage N°1, ainsi que leur sens d'écoulement sont illustrés dans les schémas d'ossature ci-après.

Dans ce qui suit, nous considérons que la mousse a les mêmes caractéristiques que l'eau, car la quantité d'émulseur est très petite par rapport à l'eau (3% d'émulseur face à 97% d'eau). Les hypothèses que nous allons utiliser pour les calculs du réseau à eau qui un fluide monophasique, sont donc aussi utilisées pour les calculs du réseau à mousse qui diphasique.

Dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats de la première itération après application de la méthode Hardy Cross. Notons que L_{tot} égale à la longueur de chaque branche en addition aux longueurs équivalentes de chaque accessoire et raccord.

Tableau 4-11 : Résultats de la 1^{ère} itération de l'application de HARDY CROSS au réseau d'eau

Maille	Branche	D (m)	C	L_{tot} (m)	R	Q (m ³ /s)	h (m)	R	ΔQ (m ³ /s)	Q ajusté (m ³ /s)
1	A	0,4	120	101,8	13,164	0,555	4,4291	14,76	0,199	0,75445
	B	0,4	120	343,2	44,401	-0,564	-15,39	50,48	0,199	-0,3645
	C	0,4	120	16,5	2,1347	-0,3	-0,23	1,419	0,199	-0,1005
	D	0,4	120	211,5	27,366	-0,4408	-6,013	25,23	0,199	-0,1029
	E	0,4	120	9,13	1,1812	-0,4708	-0,293	1,152	0,199	-0,175
	F	0,4	120	104,5	13,519	-0,4874	-3,577	13,58	0,199	-0,1916
	G	0,4	120	19,8	2,5616	-0,504	-0,721	2,647	0,199	-0,2082
								-21,8	109,3	
2	D	0,4	120	211,2	27,324	0,4408	6,0032	25,2	-0,138	0,10289
	H	0,3	120	116,8	61,35	0,1408	1,632	21,44	-0,138	0,00235
	I	0,3	120	170,8	89,714	0,0186	0,0564	5,612	-0,138	-0,066
	Z	0,3	120	24,75	12,998	0,0186	0,0082	0,813	-0,138	-0,0235
	Z2	0,3	120	20,02	10,514	0,0002	0,0001	0,099	-0,138	-0,0401
	Z3	0,3	120	11,88	6,239	-0,0057	0,0004	0,143	-0,138	-0,0478
	Z4	0,3	120	12,87	6,7589	-0,0223	0,0059	0,493	-0,138	-0,0644
	Z5	0,3	120	32,12	16,868	-0,03	0,0257	1,584	-0,138	-0,0721
							7,732	55,38		
3	I	0,3	120	170,8	89,714	-0,0186	-0,056	5,612	-0,054	0,06603
	J	0,3	120	265,4	139,39	0,1208	2,793	42,77	-0,054	0,06697
	V	0,3	120	18,15	9,5317	0,0486	0,0354	1,349	-0,054	0,09111
	W	0,3	120	28,05	14,731	0,0314	0,0244	1,438	-0,054	0,07391
	X	0,3	120	31,13	16,348	0,0148	0,0067	0,842	-0,054	0,05731
	Y	0,3	120	16,83	8,8385	-0,0014	5E-05	0,061	-0,054	0,04111
								2,8032	52,08	
4	K	0,3	120	46,2	24,263	0,0722	0,1876	4,807	-0,096	-0,0241
	L	0,3	120	107,8	56,613	0,0556	0,27	8,983	-0,096	-0,0407
	M	0,3	120	59,4	31,195	0,039	0,0772	3,661	-0,096	-0,0573
	N	0,3	120	17,6	9,2429	0,0341	0,0178	0,968	-0,096	-0,0622
	O	0,3	120	18,7	9,8206	0,0175	0,0055	0,583	-0,096	-0,0788
	P	0,3	120	16,17	8,4919	0,0126	0,0026	0,381	-0,096	-0,0837
	Q	0,3	120	20,24	10,629	-0,004	-5E-05	0,18	-0,096	-0,1003
	R	0,3	120	12,87	6,7589	-0,0153	-0,003	0,358	-0,096	-0,1116
	S	0,3	120	19,25	10,109	-0,0319	-0,017	1	-0,096	-0,1282
	T	0,3	120	29,92	15,713	-0,0485	-0,058	2,22	-0,096	-0,1448
	U	0,3	120	41,03	21,548	-0,06	-0,118	3,648	-0,096	-0,1563
	G	0,3	120	19,8	2,5616	0,504	0,7211	2,647	-0,096	0,20821
	F	0,3	120	104,5	13,519	0,4874	3,5772	13,58	-0,096	0,19161
	E	0,3	120	9,13	1,1812	0,4708	0,2931	1,152	-0,096	0,17501
Z5	0,3	120	32,12	16,868	0,03	0,0257	1,584	-0,096	0,07211	
Z4	0,3	120	12,87	6,7589	0,0223	0,0059	0,493	-0,096	0,06441	

	Z3	0,3	120	11,88	6,239	0,0057	0,0004	0,143	-0,096	0,04781
	Z2	0,3	120	20,02	10,514	-0,002	-1E-04	0,099	-0,096	0,04011
	Z	0,3	120	24,75	12,998	-0,0186	-0,008	0,813	-0,096	0,02351
	Y	0,3	120	16,83	8,8385	0,0014	5E-05	0,061	-0,096	-0,0411
	X	0,3	120	31,13	16,348	-0,0148	0,0067	0,842	-0,096	-0,0573
	W	0,3	120	28,05	14,731	-0,0314	-0,024	1,438	-0,096	-0,0739
	V	0,3	120	18,15	9,5317	-0,0486	-0,035	1,349	-0,096	-0,0911
							4,9262	50,99		

Tableau 4-12 : Résultats de la 1^{ère} itération sur le réseau à mousse

Maille	Branche	D (m)	C	L _{tot} (m)	r	Q (m ³ /s)	H (m)	R	ΔQ (m ³ /s)	Q ajusté (m ³ /s)
1	A	0,4	120	212,63	27,51	-0,6	-10,69	32,97	0,10	-0,5040
	B	0,3	120	116,82	28,96	0,25529	2,32	16,79	0,10	0,3513
	C	0,3	120	170,5	42,27	0,16119	1,44	16,57	0,10	0,3002
	Q	0,3	120	25,08	6,22	0,11119	0,11	1,78	0,10	0,0797
	P	0,3	120	22	5,45	0,07786	0,05	1,15	0,10	0,0464
	O	0,3	120	12,87	3,19	-0,00857	0,00	0,10	0,10	-0,0401
	N	0,3	120	12,1	3,00	-0,0419	-0,01	0,37	0,10	-0,0734
	M	0,3	120	32,12	7,96	-0,1	-0,11	2,08	0,10	-0,1315
							-6,90	71,81		
2	C	0,3	120	170,5	42,27	-0,16119	-1,44	16,57	-0,04	-0,3002
	D	0,3	120	265,43	1004,18	0,0941	12,68	249,19	-0,04	0,0512
	U	0,3	120	19,14	72,41	0,15942	2,42	28,13	-0,04	-0,1276
	T	0,3	120	25,3	95,72	0,07127	0,72	18,76	-0,04	-0,0992
	S	0,3	120	34,1	129,01	0,03752	0,30	14,65	-0,04	-0,1329
	R	0,3	120	16,39	62,01	-0,05	-0,24	8,99	-0,04	-0,2205
								14,43	336,29	
3	E	0,3	120	183,7	694,97	-0,06532	-4,46	126,45	0,13	0,0622
	F	0,3	120	17,38	65,75	-0,12574	-1,42	20,88	0,13	0,0018
	G	0,3	120	19,03	71,99	-0,15807	-2,37	27,76	0,13	-0,0305
	H	0,3	120	15,95	60,34	-0,24782	-4,57	34,10	0,13	-0,1203
	I	0,3	120	20,35	76,99	-0,28115	-7,36	48,44	0,13	-0,1536
	J	0,3	120	35,64	134,83	-0,37242	-21,69	107,73	0,13	-0,2449
	K	0,3	120	26,4	99,88	-0,40575	-18,83	85,83	0,13	-0,2782
	L	0,4	120	174,9	22,63	-0,5	-6,28	23,22	0,13	-0,3724
	M	0,3	120	32,12	7,96	0,1	0,11	2,08	0,13	0,1315
	N	0,3	120	12,1	3,00	0,0419	0,01	0,37	0,13	0,0734
	O	0,3	120	12,87	3,19	0,00857	0,00	0,10	0,13	0,0401
	P	0,3	120	22	5,45	-0,07786	-0,05	1,15	0,13	-0,0464
	Q	0,3	120	25,08	6,22	-0,11119	-0,11	1,78	0,13	-0,0797
	R	0,3	120	16,39	62,01	0,05	0,24	8,99	0,13	0,2205
	S	0,3	120	34,1	129,01	-0,03752	-0,30	14,65	0,13	0,1329
T	0,3	120	25,3	95,72	-0,07127	-0,72	18,76	0,13	0,0992	
U	0,3	120	19,14	72,41	-0,15942	-2,42	28,13	0,13	-0,1594	
							-70,21	550,44		

On vient de terminer la première itération sur les deux réseaux (quatre mailles pour le réseau à eau et seulement trois pour le réseau à mousse), comme le débit n'a pas encore convergé vers la précision voulue, on reprend les calculs précédents jusqu'à l'obtention d'une bonne précision, qu'on atteint après 5 itérations. Les résultats finaux sont présentés dans le tableau qui suit

Tableau 4-13 : Résultats de la 5^{ème} itération sur le réseau à eau

Maille	Branche	Q final (l/s)	h (m)	ΔQ (l/s)	V (m/s)
1	A	763	7,973	0	6,0748
	B	356	-6,584		2,8344
	C	092	-0,026		0,7325
	D	102	-0,400		0,8121
	E	191	-0,055		1,5207
	F	207	-0,736		1,6481
	G	224	-0,161		1,7834
		Somme des pertes=0			
2	D	102	0,399	0	0,8121
	H	009	0,011		0,1274
	I	004	-0,003		0,0566
	Z	040	-0,034		0,5662
	Z2	057	-0,052		0,8068
	Z3	065	-0,039		0,9200
	Z4	081	-0,065		1,1465
	Z5	089	-0,192		1,2597
		Somme des pertes=0			
3	I	004	0,003	0	0,0566
	J	012	0,040		0,1699
	V	012	0,003		0,1699
	W	005	-0,001		0,0708
	X	022	-0,013		0,3114
	Y	038	-0,021		0,5379
		Somme des pertes=0			
4	K	0,19	0,000	0	0,0027
	L	017	-0,029		0,2406
	M	033	-0,058		0,4671
	N	038	-0,022		0,5379
	O	055	-0,046		0,7785
	P	060	-0,046		0,8493
	Q	076	-0,091		1,0757
	R	088	-0,075		1,2456
	S	104	-0,154		1,4720
	T	121	-0,315		1,7127
	U	132	-0,512		1,8684
	G	224	0,161		1,7834
	F	207	0,736		1,6481
	E	191	0,055		1,5207
	Z5	089	0,192		1,2597
Z4	081	0,065	1,1465		

	Z3	065	0,039		0,9200
	Z2	057	0,052		0,8068
	Z	040	0,034		0,5662
	Y	038	0,021		0,5379
	X	022	0,013		0,3114
	W	005	0,001		0,0708
	V	012	-0,003		0,1699
		Somme des pertes=0			

Tableau 4-14: Résultats de la 5^{ème} itération sur le réseau à mousse

Maille	Branche	Q final (l ³ /s)	H (m)	ΔQ (m ³ /s)	v (m/s)
1	A	499	-7,604	0	3,973
	B	356	4,290		5,039
	C	265	3,610		3,751
	Q	040	0,016		0,566
	P	006	0,000		0,085
	O	080	-0,030		1,132
	N	113	-0,053		1,599
	M	171	-0,305		2,420
	Somme des pertes=0				
2	C	265	-3,610	0	3,751
	D	092	12,087		1,302
	U	001	0,000		0,014
	T	103	-1,440		1,458
	S	137	-3,273		1,939
	R	225	-3,918		3,185
		Somme des pertes h =0			
3	E	107	11,135	0	1,515
	F	047	0,226		0,665
	G	014	0,028		0,198
	H	075	-0,506		1,062
	I	109	-1,271		1,543
	J	200	-6,869		2,831
	K	233	-6,767		3,298
	L	328	-2,871		2,611
	M	171	0,305		2,420
	N	113	0,053		1,599
	O	080	0,030		1,132
	P	006	0,000		0,085
	Q	040	-0,016		0,566
	R	225	3,918		3,185
	S	137	3,273		1,939
	T	103	1,440		1,458
U	159	-2,424	2,251		
	Somme des pertes h =0				

Comme nous pouvons le constater les résultats des vitesses sont bien au-dessous de celle exigée par la norme NFPA 15, par conséquent les pertes de charge dans les conduites sont relativement faibles, ce qui signifie que le diamètre choisi initialement et qui varie entre 300 et 400, convient aux conduites de ce réseau. De plus la condition de la vitesse minimale qui est égale à 0,3 m/s a été respectée pour éviter d'éventuels dépôts sur les parties inférieures des conduites.

4.3 Besoin en eau et pompage

4.3.1 Les besoins en eau

Le calcul des besoins en eau se base sur la demande en eau maximale déterminée à partir de la demande en eau, ainsi que les temps de fonctionnement exigés par les normes de la NFPA de chaque équipement et du scénario d'incendie sur lequel est basé le dimensionnement du réseau.

Tableau 4-15 : Demande en eau de chaque équipement

Équipement	Débit (m ³ /s)	Temps de fonctionnement (min)	Volume (m ³)
Le système déluge	0.0811	50	245
Lances à eau	0.1	30	360
Poteaux incendie	0.0833	30	195
Boîtes à mousse	0.032	30	58
Déversoirs à mousse	0.623	30	1120
Lances à mousse	0.2	30	360
		Volume total :	2400 m ³

En sachant que la réserve d'eau incendie existante dans le site est de 5500 m³, on peut conclure qu'elle est largement suffisante pour satisfaire nos besoins

4.3.2 Le Pompage

4.3.2.1 Calcul de la Hauteur Manométrique Totale du réseau

Le calcul de la hauteur manométrique totale du réseau nous permet de déterminer la pompe qui correspondra au mieux à nos besoins.

$$H.M.T = H_a + H_r + P_c + P_r \dots (16)$$

H_a : la hauteur manométrique d'aspiration c'est-à-dire à la hauteur entre le niveau de l'eau et la pompe.

H_r : correspond à la hauteur de refoulement c'est-à-dire à la hauteur entre la pompe et le point le plus haut du réseau.

Pc : pertes de charges, Pour ce faire, nous devons procéder par un calcul de plusieurs chemins en démarrant par la pompe jusqu'au point le plus éloigné des deux zones (sud et nord), par cette méthode, nous avons déterminé le circuit le plus contraignant en termes de perte de charge.

Pr : la pression de refoulement souhaitée à l'ouverture du robinet.

Application numérique :

Ha = 0 la réserve d'eau et la station de pompage sont au même niveau

Hr = 0 mètres

Pc = $\sum h_A + h_C + h_H + h_J + h_K + h_L + h_M = 7.9 + 0.026 + 0.04 + 0.0 + 0.29$

Pc = 8,329 mètres

Pr = 8 bars = 81.5795 mètres

HMT = 0 + 7.993 + 81.5795 = 90 mètres

4.3.2.2 Calcul de l'NPSH (hauteur d'aspiration positive nette)

La NPSH est une permettant de quantifier la hauteur manométrique d'aspiration disponible pour éviter la vaporisation de l'eau au niveau le plus bas de la pression dans la pompe.

$$NPSH = \left(\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} \right) - \frac{P_{vap}^{(T^\circ)}}{\rho g} \dots (17)$$

P_{vap} = Pression de vaporisation de l'eau (dépend de la température de l'eau) en Pa

Pa = Pression d'aspiration

V_a = vitesse d'aspiration

ρ = 998.2 kg/m³ masse volumique de l'eau à 20°C

g = 9.81 m/s²

Le troisième terme de l'équation est connu, il nous reste à déterminer les deux premiers termes de la relation en appliquant le théorème de Bernoulli entre le réservoir et le point d'aspiration (au niveau de la pompe) :

$$Z_r + \frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} = Z_a + \frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} + \Delta h \dots (18)$$

Avec :

Z_r : niveau du réservoir d'eau

Pr : la pression du réservoir

V_r : la vitesse à la sortie du réservoir

Z_a : niveau de la pompe

Δh : la perte de pression entre les deux points

De (*) on obtient :

$$\frac{P_a}{\rho g} + \frac{v_a^2}{2g} = Z_r + \frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} - Z_a - \Delta h = \frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} - \Delta Z - \Delta h \dots (19)$$

La formule de l’NPSH devient comme suit :

$$NPSH = \left(\frac{P_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} - \Delta Z - \Delta h \right) - \frac{P_{vap}^{(r^\circ)}}{\rho g} \dots (20)$$

Application numérique :

P_r = **P_{atm}** = 909.72 hPa = 90972 Pa à la région d’El Eulma (altitude moyenne 900mètres)
(c’est un réservoir ouvert à l’atmosphère)

P_{vap} = 2500 Pa à 20 C° (température moyenne de l’eau)

Δz = 11 m

$$\Delta h = \frac{10.48L}{C^{1.85} * D^{4.87}} * Q^{1.85} = \frac{10.48 * 15}{120^{1.85} * 0.5^{4.87}} * 1.119^{1.85} = 0.8 \text{ m}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{1.119}{3.14 * 0.25^2} = 5.7 \text{ m/s}$$

$$NPSH = \left(\frac{90972}{9792.34} + \frac{5.7^2}{19.62} + 11 - 0.8 \right) - \frac{3166}{9792.34} = 20.82 \text{ m}$$

La vérification de la condition de cavitation sera effectuée après le choix de la pompe

4.3.2.3 Choix de la pompe

Les données nécessaires au choix de la pompe, sont, le débit (Q), la hauteur manométrique totale (H.M.T). et la charge net de la pression d’aspiration (NPSH).

Ce choix se fera bien évidemment à l’aide des courbes caractéristiques des pompes mis à disposition par les constructeurs ou fournisseurs avec l’objectif de choisir la machine la plus performante possible.

Tableau 4-16 : Caractéristiques des pompes requises

Débit unitaire	4028 m ³ /h
Hauteur de refoulement	90 mètres
Fluide	Eau douce
Nombre	2 / (une principale et une de secours)

Notre choix s'est fait à l'aide des catalogues de la marque IDEAL Bombas

En analysant cette courbe de famille de pompes présentée dans la figure 4. , on peut voir qu'elle inclut une pompe fournissant un débit près de 4000 m³/h à 100 de hauteur, ce qui peut être adéquat à notre réseau. C'est la pompe **CPH 400/620**

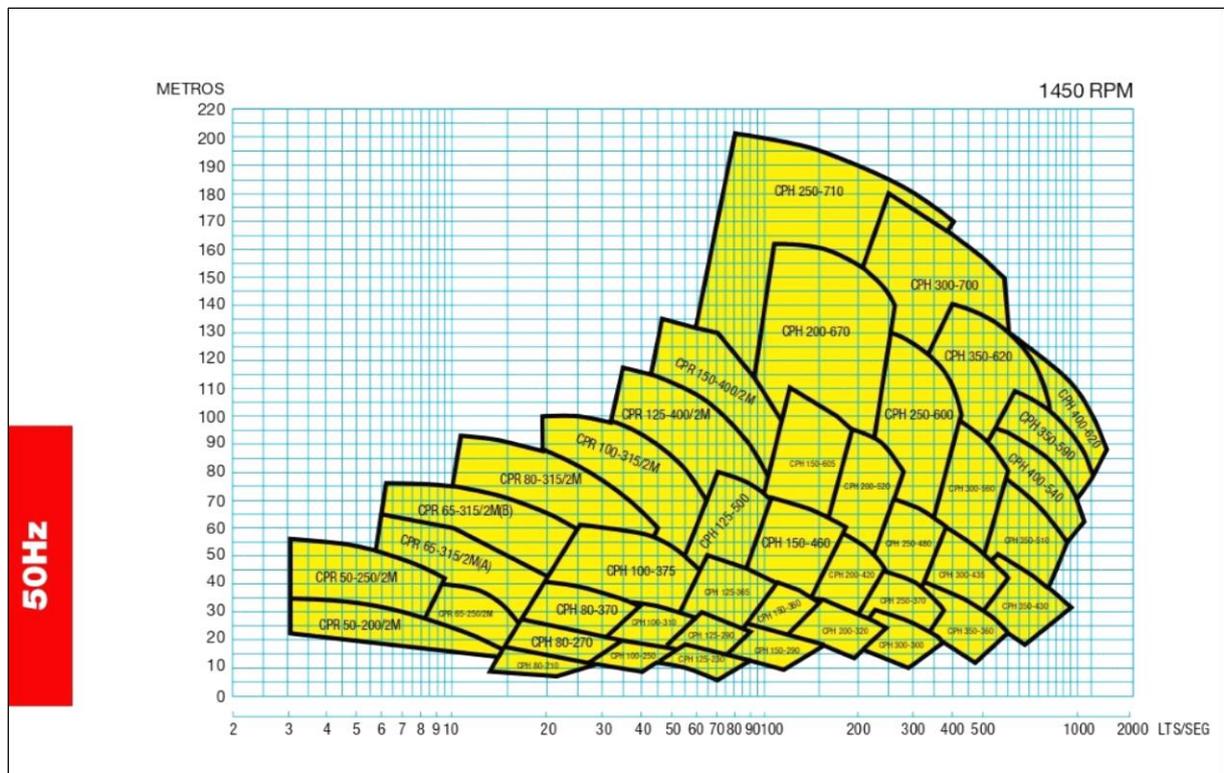


Figure 4-4 : Courbes caractéristiques de la famille [Catalogue BOMBAS IDEAL]

Maintenant que nous avons repéré la pompe, on peut trouver ses courbes caractéristiques dans la suite du catalogue.

Comme prévu, nous avons trouvé les courbes caractéristiques de la hauteur, du rendement, du NPSH en fonction des débits (**figure 4.**). On a analysé la compatibilité de ces courbes avec notre réseau.

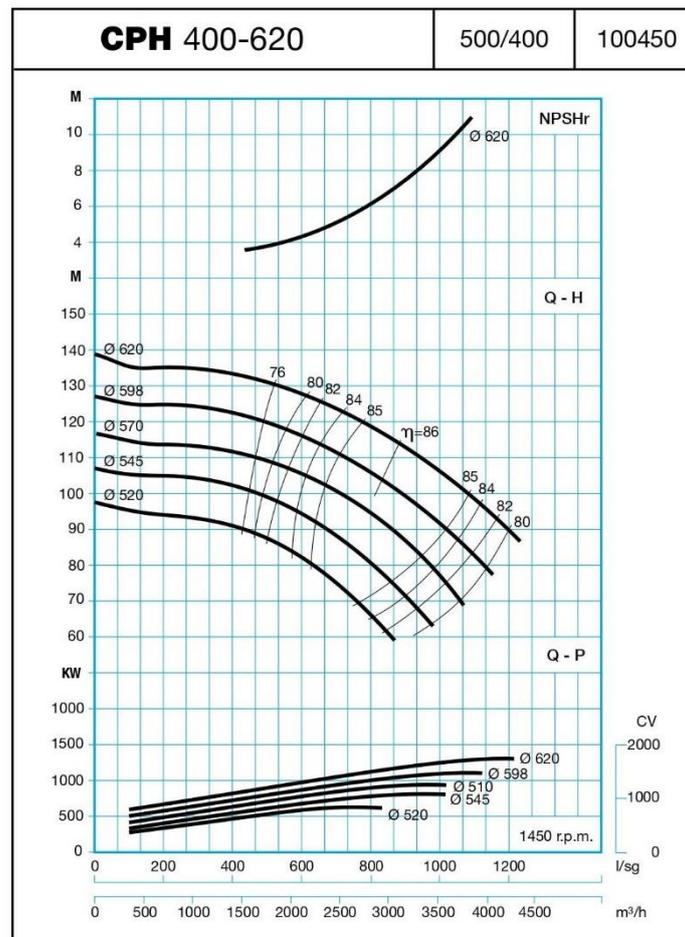


Figure 4-5 : Courbes caractéristiques de la pompe choisie [*Catalogue BOMBAS IDEAL*]

Nous remarquons que la pompe de diamètre 620mm peut fournir le débit et la hauteur nécessaire avec un rendement ($\eta=82\%$).

De plus on peut facilement voir que le NPSH disponible (20.82m) est supérieur au NPSH requis (environ 10m) de notre pompe choisie : ceci constitue une vérification à la cavitation.

Le tableau suivant présent la fiche technique de la pompe choisie

Tableau 4-17 : Fiche technique de la pompe choisie

Marque	IDEAL Bombas
Type	Pompe multicellulaire horizontale
Applications	Approvisionnement en eau potable, stations d'épuration, équipement d'incendie ...etc
Liquide	Liquides propres ou légèrement chargés, à des températures jusqu'à 90° (en particulier l'eau)
Dénomination	CPH 400-620
Fréquence du réseau	50 hz
Vitesse de rotation du moteur	1450 tr/min

4.4 Simulation du réseau

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

4.4.1 Présentation du logiciel

4.4.1.1 Description de l'environnement d'EPANET

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitative de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression, Ce logiciel est distribué gratuitement par l'E.P.A. (Environmental Protection Agency) depuis le mois de septembre 1993.

4.4.1.1.1 Potentiel de logiciel

Le logiciel EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et de simulation de la qualité de l'eau dans les réseaux d'eau potable. Un réseau d'eau potable sur un logiciel se définit par des tuyaux (tronçons sur le logiciel), des nœuds (intersection de deux tuyaux et extrémité d'une antenne) mais également d'autres organes (réservoirs, pompes, clapets, différents types de vannes...).

Le logiciel permet de calculer le débit parcourant chaque tuyau, la pression à chacun des nœuds mais également le niveau de l'eau à n'importe quel moment de la journée et quelle que soit la période de l'année où on se situe. Le moteur de calcul hydraulique intégré permet de traiter des

réseaux de taille illimitée. Il dispose de plusieurs formules de calcul de pertes de charges, il inclut les différentes pertes de charge singulières et modélise les pompes à vitesse fixe et variable. En résumé, le logiciel présente tous les outils pour remplir les objectifs suivants :

Régulation des pressions dans le réseau ;

Détection des zones de fonctionnement déficitaire ;

Dimensionnement de réseaux ;

Amélioration de la gestion des équipements d'eau.

Le logiciel présente également un module qualité qui permet de calculer les concentrations en substances chimiques, les temps de séjour de l'eau dans différentes parties du réseau. Il permet également de suivre l'origine de l'eau. L'utilisation de ce module qualité nécessite un calage hydraulique préalable.

4.4.2 Les étapes de simulation du réseau

Dans ce qui suit, nous allons présenter les étapes que nous avons suivies lors de l'utilisation d'EPANET pour modéliser notre système de distribution d'eau.

- Le traçage du réseau :

L'utilisation du logiciel est facile, car il a une interface claire et bien structurée. La figure 4. illustre l'interface du logiciel EPANET.

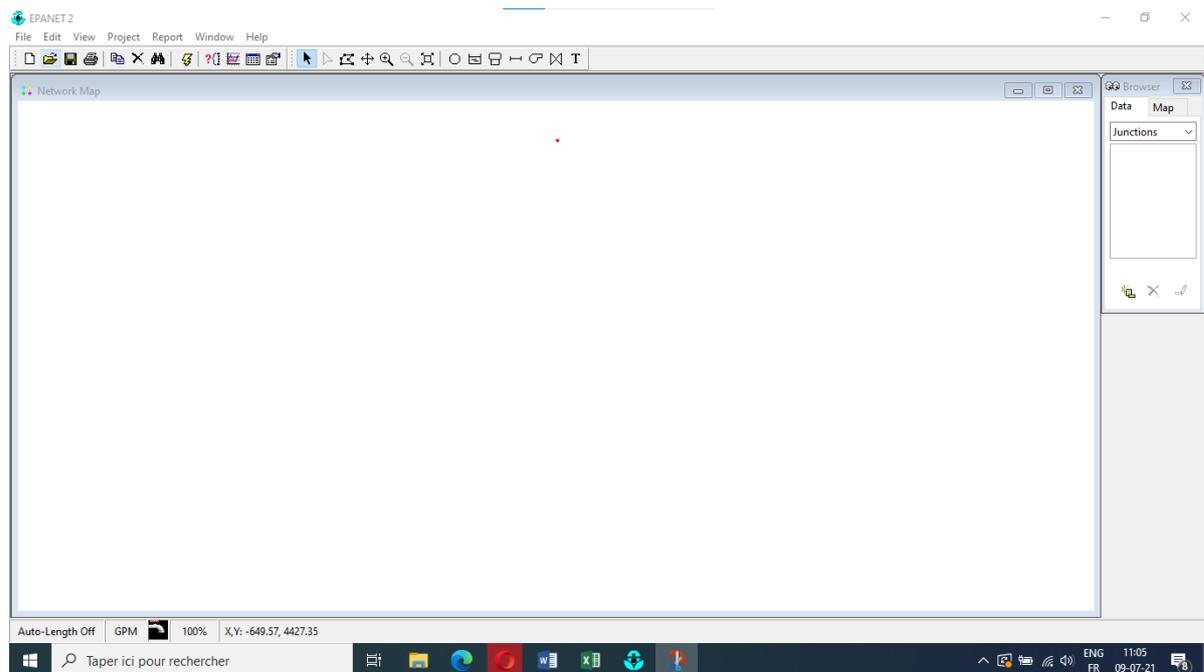


Figure 4-6 : interface du logiciel EPANET

La première étape consiste à Positionner les jonctions, pompe et réservoir d'eau et de les lier via des conduites.

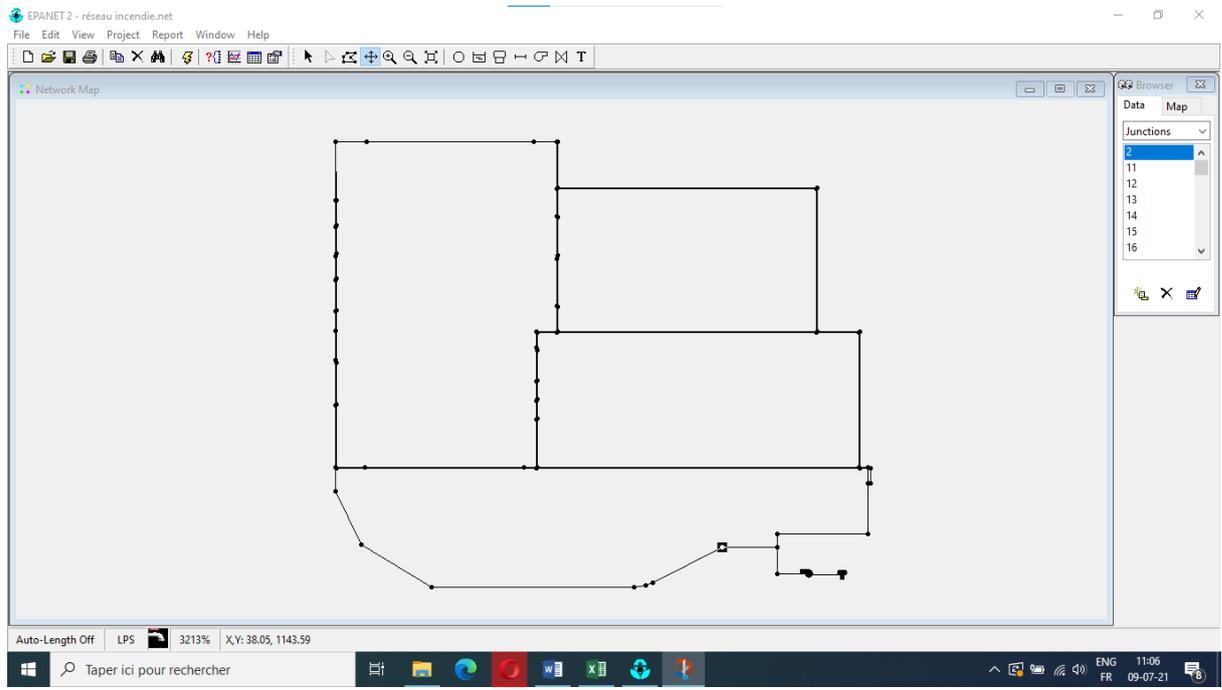


Figure 4-7 : Le Plan du réseau.

- **La saisie des propriétés des éléments du réseau :**

Maintenant que nous avons tracé notre réseau, nous allons passer à la deuxième étape qui est la saisie des données d'entrée (the inputs).

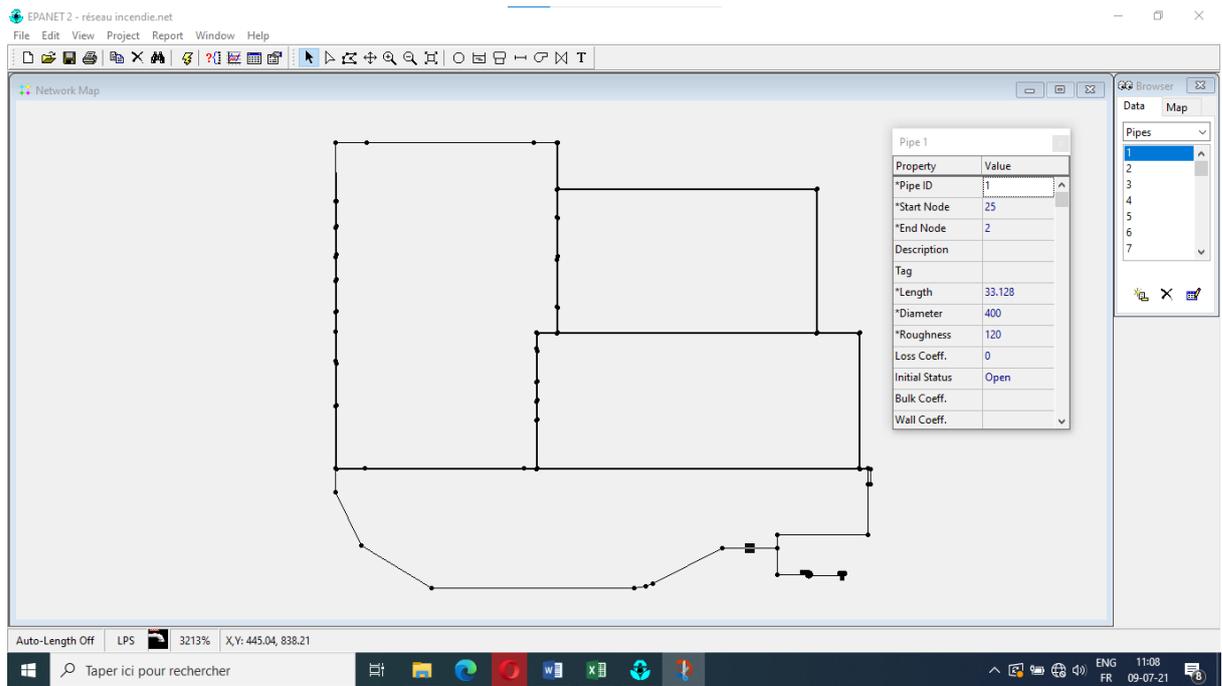


Figure 4-8 : La saisie des propriétés des conduites (de la même manière on fait pour les nœuds)

Après la saisie de ces derniers, nous passons à la saisie des propriétés de la pompe choisie.

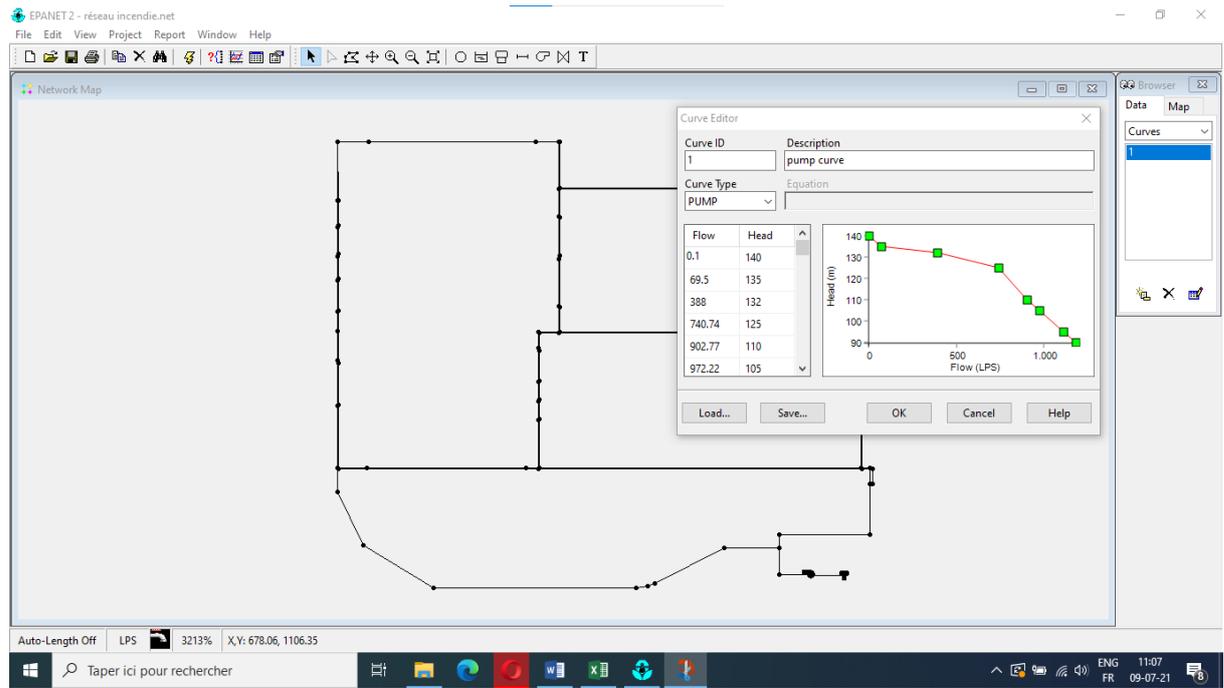


Figure 4-9 : La saisie des points de la courbe caractéristique $Q=f(Q)$ de la pompe

- **Lancer une simulation hydraulique**

Dans le but de testé notre réseau et voir toutes ces caractéristiques, nous allons lancer sa simulation comme suit. Le logiciel permet aussi de détecter les erreurs faites lors de la saisie des données, qu'on doit corriger avant le lancement de la simulation.

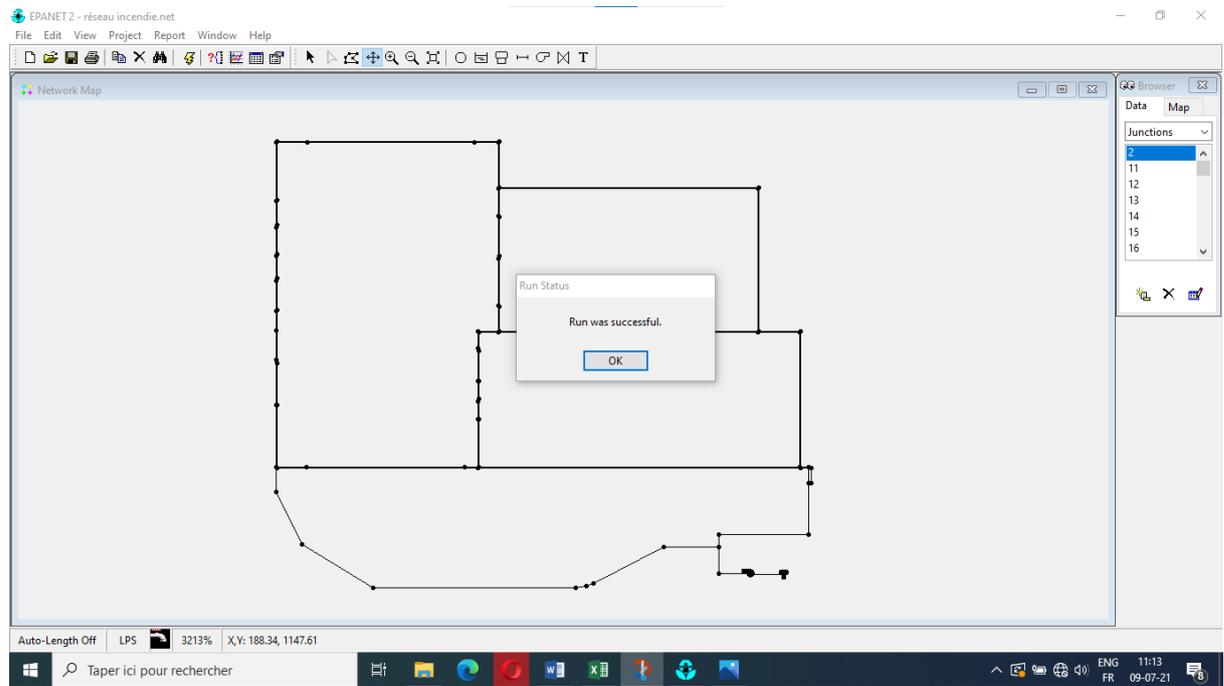


Figure 4-10 : Lancer la simulation

- Visualisation des résultats de la simulation

La visualisation des résultats de la simulation sur la figure 4.12 Nous permet à l'aide de la légende de déterminer la gamme de la pression aux nœuds et des débits des branches.

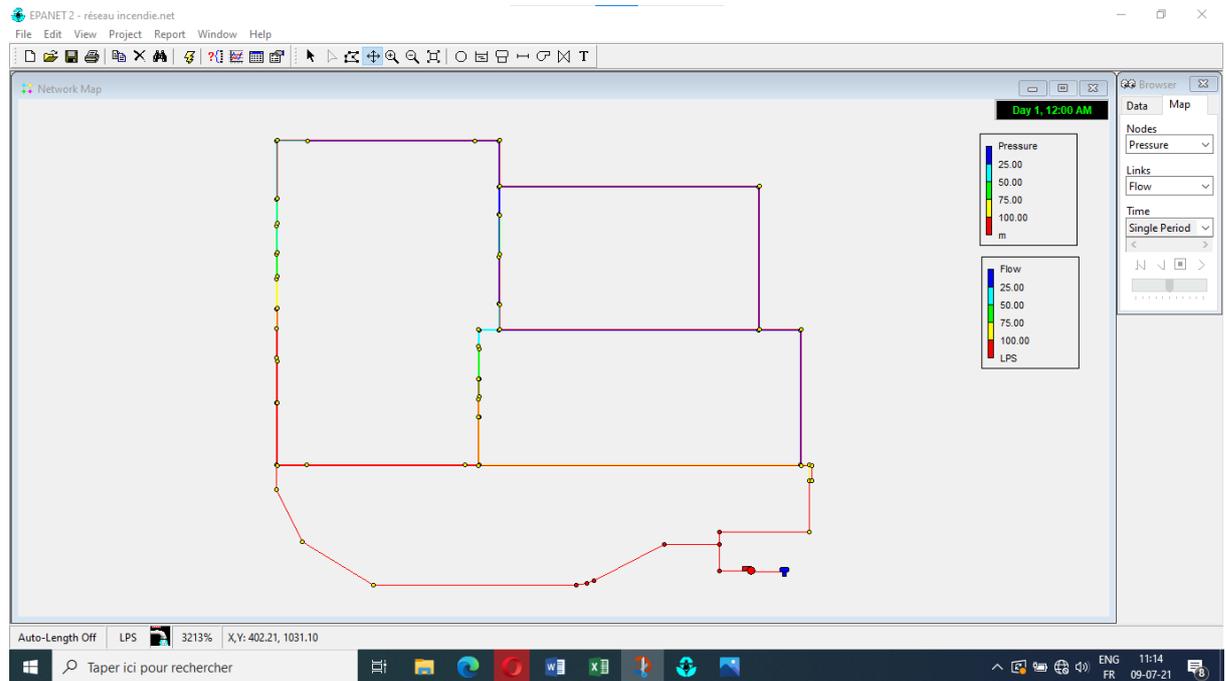


Figure 4-11 : Résultats de simulation (la pression aux nœuds et débits des conduites)

4.4.3 Interprétation des résultats

La démarche suivante va nous permettre de voir les tables des résultats de la simulation :

- Il faut d'abord choisir le type de table qu'on veut consulter :

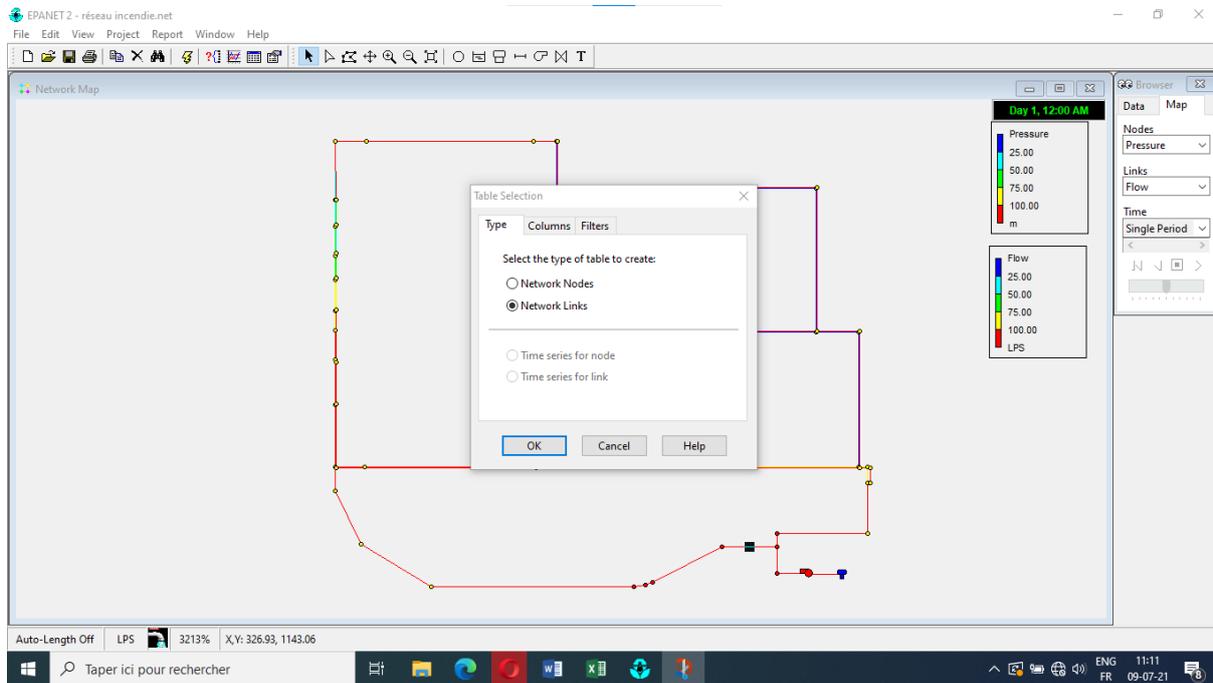


Figure 4-12 : La sélection du type de la table

Dans ce qui suit nous allons illustrer les caractéristiques des conduites puis nous verrons les caractéristiques des nœuds :

Link ID	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor	Reaction Rate mg/L/d	Quality	Status
Pipe 1	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 2	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 3	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 4	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 5	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 6	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 7	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 8	351.42	2.80	18.82	0.019	0.00	0.00	Open
Pipe 9	217.96	1.73	7.77	0.020	0.00	0.00	Open
Pipe 11	184.76	1.47	5.72	0.021	0.00	0.00	Open
Pipe 13	-9.37	0.07	0.02	0.031	0.00	0.00	Open
Pipe 16	-767.87	6.11	80.04	0.017	0.00	0.00	Open
Pipe 18	-767.87	6.11	80.04	0.017	0.00	0.00	Open
Pipe 19	133.46	1.89	12.72	0.021	0.00	0.00	Open
Pipe 20	121.96	1.73	10.76	0.021	0.00	0.00	Open
Pipe 21	105.36	1.49	8.21	0.022	0.00	0.00	Open
Pipe 22	88.76	1.26	5.98	0.022	0.00	0.00	Open
Pipe 23	77.46	0.62	1.14	0.024	0.00	0.00	Open
Pipe 24	60.86	0.86	2.97	0.024	0.00	0.00	Open
Pipe 25	55.96	0.79	2.54	0.024	0.00	0.00	Open
Pipe 26	39.36	0.56	1.33	0.025	0.00	0.00	Open
Pipe 27	34.46	0.49	1.04	0.026	0.00	0.00	Open

Figure 4-13 : Table des débits et vitesses dans chaque conduite

Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
Junc 2	0.00	103.22	102.22	0.00
Junc 11	0.00	102.00	101.00	0.00
Junc 12	0.00	101.91	100.91	0.00
Junc 13	0.00	101.78	100.78	0.00
Junc 14	0.00	99.50	98.50	0.00
Junc 15	0.00	98.56	97.56	0.00
Junc 16	0.00	97.90	96.90	0.00
Junc 17	16.60	97.49	96.49	0.00
Junc 18	0.00	97.63	96.63	0.00
Junc 19	16.60	96.85	95.85	0.00
Junc 20	0.00	96.80	95.80	0.00
Junc 21	0.00	96.47	95.47	0.00
Junc 22	0.00	96.47	95.47	0.00
Junc 24	0.00	98.90	97.90	0.00
Junc 25	0.00	103.84	102.84	0.00
Junc 26	0.00	103.22	102.22	0.00
Junc 27	11.50	97.15	96.15	0.00
Junc 28	16.60	96.86	95.86	0.00
Junc 29	16.60	96.71	95.71	0.00
Junc 30	11.30	96.64	95.64	0.00
Junc 31	16.60	96.63	95.63	0.00

Figure 4-14 : Table des pressions et charges dans chaque nœud

L'analyse de ces tables nous a permis d'examiner les valeurs de chaque paramètre en chaque nœud et en chaque conduite. Par la fin nous avons approuvé que les résultats sont bons et similaires aux résultats obtenus par la méthode de Hardy Cross, et nous en avons déduit que notre réseau est bien dimensionné et respecte les normes de lutte contre l'incendie.

4.4.4 Comparaison des résultats

Nous avons procédé aux calculs des débits en utilisant à la méthode de HARDY CROSS. Cependant on a utilisé aussi le logiciel EPANET qui a été conçu pour des calculs similaires avec une autre méthode itérative : la méthode de Newton-Raphson.

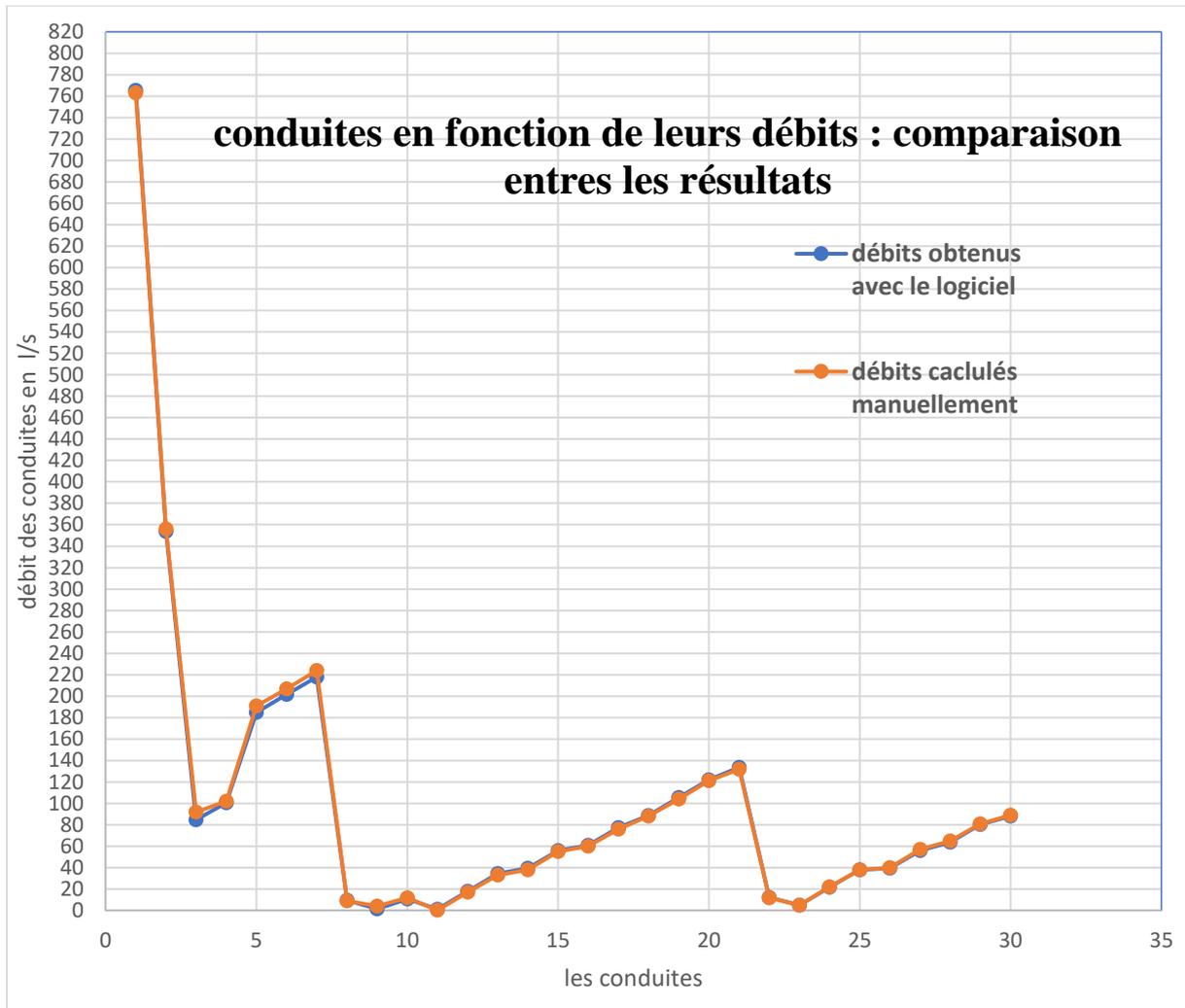


Figure 4-15 : Variation du débit en fonction des numéros de conduites en utilisant les deux méthodes

Cette comparaison entre les valeurs des débits nous a permis d'évaluer la cohérence des résultats obtenus par les deux méthodes, et comme nous pouvons le constater à travers les courbes ci-dessus, Il y'a seulement une légère différence d'ordre 1 l/s seulement. On en conclut qu'il a une bonne cohérence entre les résultats obtenus des deux méthodes.

4.5 Conclusion

Nous avons pu, à travers ce chapitre concrétiser le dimensionnement en réalisant les calculs nécessaires des paramètres gouvernant notre réseau, notamment les débits et les pressions.

Pour atteindre cet objectif toute une démarche a été établie, en premier lieu la détermination des équipements de lutte incendie nécessaires puis l'évaluation des besoins en eau incendie pour ce type de sites, le traçage du réseau et enfin le choix des pompes appropriées.

Finalement nous avons procédé à la simulation du réseau via le logiciel EPANET, afin de d'analyser et de vérifier son bon fonctionnement.

Conclusion générale

Tout au long de la préparation de notre projet de fin d'études, nous avons essayé de mettre en pratique des connaissances acquises durant notre cursus universitaire et cela dans le but d'exercer le métier d'ingénieur et de mener à bien des projets comme le dimensionnement d'un réseau d'incendie d'un centre de stockage de carburants qui est considéré comme une structure vital dans ce type de sites industrielles.

Au cours de ce mémoire, nous avons appliqué les différentes notions de base de la mécanique des fluides tel que le calcul de la perte de charge pour chaque tronçon et en chaque point du circuit. Mais aussi les notions étudiées en stations de pompage machines hydrauliques qui nous ont permis de déterminer les caractéristiques des pompes, ce qui est essentiel pour pouvoir faire un bon choix des pompes répondant mieux au fonctionnement du réseau. En effet ce choix doit se baser sur deux paramètres importants, qui sont le débit maximal et la Hauteur Manométrique Total H.M.T.

En choisissant un scénario d'incendie pour notre étude nous avons pu déterminer les besoins en eau et le débit maximal pour l'extinction et la protection du site, tout en s'appuyant sur la réglementation NFPA. Ensuite grâce à la méthode de Hardy Cross nous avons calculer la H.M.T du réseau. Finalement, nous avons utilisé le logiciel EPANET pour simuler le même scénario est effectuée. La simulation a donné des résultats cohérents aux valeurs obtenues par la méthode de Hardy Cross. Toutefois les résultats sont obtenus plus rapidement lorsque nous avons utilisé le logiciel EPANET, d'où l'intérêt de l'utiliser directement pour des réseaux plus importants.

Références bibliographiques

BONNEVILLE Jean-Pierre. L'hydraulique appliquée aux installations d'extinction, troisième édition. Polytechnique de Montréal, 2006, 588p.

Cabinet d'expertise industrielle HALFAOUI. Présentation de l'entreprise [en ligne]. [Consulté le 01/06/2021]. Disponible sur : <https://cei-halfaoui.com>

CHERIFI Nassim, KHOUCHANE Mahfoud. Étude et dimensionnement d'un réseau anti-incendie SONATRACH Bejaïa [en ligne]. Mémoire de fin d'études ; Génie Mécanique option Energétique. Université Abderrahmane MIRA-Bejaïa, juin 2013, 76p. consulté le [21/06/2021]. Disponible à l'adresse : <https://www.docplayer.fr> >

Catalogue BOMBAD IDEAL, S.A. SERIE CP/CPI/CPH/CPR

Dubin Ch. Le calcul des réseaux maillés, la contribution de la méthode de HARDY CROSS. [en ligne]. 1947, p213. [Consulté le 25/05/2021]. Disponible à l'adresse ; <https://www.shf-lhb.org>

Documentation de l'entreprise NAFTAL.

Etude de danger (EDD)- Centre de stockage de carburants NAFTAL El Eulma, Avril 2014.

FERROUK Mohamed. Dimensionnement d'un centre de stockage et de distribution de carburants NAFTAL [en ligne]. Mémoire de fin d'études, Génie Mécanique option Energétique. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, juin 2017, 130p. consulté le [21/06/2021].

IFP Training. Formation professionnelle, Sécurité industrielle, évaluation quantitative et conception/dimensionnement. Hassi Messoud- Centres IAP- Juillet 2015.

Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.) ; Moyens fixes de lutte contre l'incendie –Stockages de liquides inflammables et de gaz inflammables liquéfiés [en ligne]. Édition Novembre 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.ineris.fr> >

National Fire Protection Association : NFPA 11,2016. Norme relative à l'utilisation de la mousse à bas, moyen, haut foisonnement.

National Fire Protection Association : NFPA 15,2016. Norme relative aux systèmes fixes de protection incendie à eau.

Normes européennes NF EN 13565-1,2003. Norme relative aux installations fixe contre l'incendie-systèmes à émulseurs-partie1 : exigences et méthodes d'essais des éléments constitutifs.

Normes européennes NF EN 13565-2,2003. Norme relative aux installations fixe contre l'incendie-systèmes à émulseurs-partie2 : Calcul, installation et maintenance.