République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

Université "Yahia FARES" Médéa
Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master En Génie Mécanique
Option : énergétique

Thème

Etude d'un réseau hydraulique à MEDEA (logiciel EPANET)

Proposé et dirigé par :

- **Dr. REBHI Redha**
- **Dr . ALLICHE Mounir**

Présente par :

- **BELFADEL Lakhdar**
- **DEBAH Brahim**

Promotion 2017-2018

Remerciements

Nous remercions notre dieu tout puissant « **Allah** » de nous avoir permis et aider à accomplir ce travail en nous l'atteinte de notre objectif et arriver à notre but.

Nous tenons à exprimer nos remerciements avec un grand plaisir et un grand respect à notre encadreur **Dr. REBHI Redha et Dr. ALLICHE Mounir** pour son suivi, ces précieux conseils et encouragements et pour l'orientation qu'il nous a donné à notre travail.

Nous exprimons nos remerciements les plus dévoués aux membres de jury qui nous ont honorées en acceptant d'évaluer ce travail.

Nous désirons aussi, exprimer toute notre gratitude à :

- Tout le personnel du hall de technologie surtout **Dr. Younes Chiba**;
- Tous mes collègues de promotion;
- Tous mes amis;

Nous voudrions exprimer notre gratitude à tout le personnel de l'université Dr. YAHIA FARES de Médéa, en particulier au corps administratif et les enseignants du département de Génie Mécanique.

Enfin nous tenons à adresser nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont offert

Résumé

Ce présent mémoire de fin d'étude traite la conception générale d'un système d'alimentation en eau potable du quartier EL WIAM de I'APC de KSAR EL BOUKHARI WIAM de Médéa à partir d'infrastructures hydrauliques existantes dont la source d'eau est un réservoir. Le but de cette étude est d'améliorer le niveau de vie de la population de la région en leur fournissant de l'eau potable

ملخص

مذكرة التخرج هذه تعالج نضام التزويد بالماء الصالح للشرب لمنطقة حي الوئام بلدية قصر البخاري ولاية المدية انطلاقا من منشئات هيدروليكية مصدر مياهها الخزان مائي. والغرض من هذه الدراسة هو تحسين مستوى معيشة سكان المنطقة من خلال تزويدهم بالمياه الصالحة للشرب.

summary

This thesis deals with the general conception of a system supply of drinking water to the areas of EL WIAM district of the APC of KSAR EL BOUKHARI WIAM de Médéa from existing hydraulic infrastructures whose source of water is a reservoir. The purpose of this study is to improve the standard of living of the population of the region By providing them with drinking water

SOMMAIRE

Introduction générale……1

CHAPITRE I. Les propriétés des fluides

I.1. Les propriétés des fluides…….2

I.1.1qu'est qu'un fluide. ……..2

I.2 La masse volumique e la densité…….3

I.2.1 La masse volumique…….3

I.2.2 La densité. ……...4

I.2.3 Le poids volumique……..5

I.2.4 Influence de la température et de la pression……5

I.2.4.1 influences de la température……...5

I.2.4.2 Influence de la pression : la compressibilité ……..5

I.3 La viscosité……..6

I.3.1 La viscosité cinématique……...6

I.3.2 Différents comportements visqueux……..6

I.4 La pression …….7

I.4.1 Mise en évidence……7

I.4.2 Origine de la pression……8

I.5 Ecoulement en charge/ à surface libre…….9

I.5.1 Expérience…….9

I.6 Ecoulement laminaire/turbulent…….10

I.6.1 Expérience de Reynolds……....10

I.6.2 Observation et analyse…….....10

I.7 Profil des vitesses dans une section circulaire en charge……13

I.8 Les force. ……14

I.8.1 Les force de volumes…….14

I.8.2 Les forces de surface…… 15

I.9 Formule des pertes de charge……..16

I.9.1 Les pertes de charge linéaires……16

I.9.2. Les pertes de charge singulières……...17

I.9.3. Utilisation pratique des formules…….18

I.10 Calcul des conduites équivalentes…….……18

I.10.1 Conduites montées en série…….…….20

I.10.2 Conduites montées en parallèle…….20
Conclusion ……22

Chapitre II. Rappels sur les réseaux d'A.E.P

Introduction ……..23
II.1. Description d'un réseau d'A.E.P ……23
II.1.1. Maillon ressource …….24
II.1.2. Maillon production-adduction …….24
II.1.2.1 Maillon production-adduction ……...24
II.1.2.2. Le dispositif d'adduction ……..24
II.1.3. Le maillon traitement ……25
II.1.4. Le maillon stockage ……... 25
II.1.5. Le réseau de distribution……25
II.1.5.1. Définition ……25
II.1.5.2. Ossature du réseau……26
II.1.5.3. Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable …….26
I1.1.5.3.1. Les matériaux des canalisations ……..26
II.1.5.3.2. Les joints ……....27
II.1.5.3.3. Les vanne …….27
II.1.5.3.4. Les ventouses……28
II.1.5.3.5. Les décharge ……29
II.1.5.3.6. Les poteaux d'incendie ……...29
II.1.5.4. La pression dans le réseau. ……..31
II.2. Problèmes rencontrés dans un réseau d'A.E.P. …….31
II.2.1. Problème de gestion des réseaux d'A.E.P en Algérie……31
Conclusion ……32

Chapitre III. Les pompes

III.1. Généralités sur les pompes. …….....…….33
III.2. Classification des pompes. …….…….33
III.2.1.Famille I : pompes volumétriques à rotor tournant (rotatives)……33
III.2.1.1.Pompe à Vis. …….....……...34
III.2.1.2.Pompes à engrenages. ……..…….34

III.2.1.2.1 Pompes à engrenages extérieurs: ……..…34
III.2.1.2.2 Pompes à engrenages intérieurs. ……..35
III.2.1.3.Pompes à aubes appelées (communément rotors). ……35
III.2.1.4 Pompes à palettes……..……...36
III.2.1.4.1.Pompes à palettes libres……...…36
III.2.1.4.2.Pompes à palettes flexibles……..36
III.2.2. Famille II : pompes volumétriques alternatives (à pistons) ……37
III.2.2.1.Pompes à membranes, ou à soufflets. ……..37
III.2.2.2.Pompes à piston. ……..…….....38
III.2.3.Famille III : pompes roto-dynamiques. ……...38
III.2.3.1. Classification des pompes roto-dyna ……...……39
III.2.3. 2. Avantages et inconvénients des pompes roto-dynamiques. ……41
III.2.3.3 Les pompes centrifuges……...……...41
III.2.3.4 Utilisation…….....41
III.3. Fonctionnement…….....42
III.4. Théorie des pompes centrifuges. ……...……..43
III.4.1. Critères généraux de définition des pompes. ……43
III.4.2. Types des pertes……..…….....43
III.4.3. Le rendement……...…… ……...44
III.4.3.1.Rendement globale…….……. 45
III.4.3.2. Rendement mécanique. ……...45
III.4.3.3. Rendement par frottement interne. …… 45
III.4.3.4.La Hauteur manométrique totale de la pompe……..45
III.4.4.Formule pratique d'utilisation. …….. 45
III.4.5. Le Dispositif D'entraînement. …….. 46
III.4.5.1. Entraînement par un moteur électrique. ……..…… 46
III.5.Les courbes de pompe – courbes de réseau – point de fonctionnement:……..47
III.5.1.Courbe de pompe……. 47
III.5.2.Courbes de réseau…… 48
III.5.2.1.Coefficient de la courbe de réseau…….. 49
III.5.3.Rendement et choix des courbes……... 51

Chapitre IV. Etude Expérimentale

Introduction…… 52
IV.1. théorie simple de la performance de la pompe……. 53
IV.2.assemblage de pompes. ……. 54
IV.2.1. deux pompes en série…….. 54
IV.2.2.deux pompes en parallèle. …… 55
IV.2.3. Efficacité de pompe. ……...…… 56
IV.3. description de l'appareil. ……... 57
IV.4 Installation…….. 60
IV.5 Expériences**…**…… …….61
IV.6. Procédure: …… ……... 61
IV.7. résultats typiques……..……62
IV.7. 1.Les graphes de résultat expérimental……..……..…62
Conclusion…….……. 68

Chapitrer V. les besoins en eau de l'agglomération

Introduction: …….. 69
V.1. Les équipements de l'agglomération…….……. 69
V.2. Evaluation de la population future…….……. 71
V.3. Catégories des besoins en eau……..…….. 71
V.4. Estimation des besoins …….. 72
V. 4.1. Choix de la norme unitaire de la consommation ……...……72
V.4.2. Détermination de la consommation moyenne journalière ……..72
V.5. Calcules besoins en eau pour chaque groupe de consommation……..…….73
V.5.1. Agglomération ……..…….. 73
V.5.1.1-Besoins domestiques……..… 73
V.5.1.2. Besoins scolaires …… 73
V.5.1.3. Besoins administratifs ……... 73
V.5.1.4. Besoins socioculturels …… 74
V.5.1.5. Besoins sanitaires……...…… 74
V.5.1.6. Besoins sportifs……..…… 74
V.5.1.7. Besoins commerciaux…… 75
V.5.1.8. Besoins Jardins et espaces verts …… 75

V.6. Récapitulation des besoins en eau de l'agglomération ……..…76
V.7Caracterisation de la consommation en eau…….. 76
V.7.1 Variation de la consommation……...….. 76
V.7.2Etude des variations des débits journaliers ……...… 76
V.7.2.1. Récapitulation des besoins en eau maximale journalière de la ville……77
V.7.2.2Récapitulation des besoins en eau minimale journalière de la ville……...78
V.8. Etude des variations des débits horaires…….. 78
V.8.1. Variation horaire de la consommation totale dans divers centres
D'agglomération selon le nombre des habitants……..…79
V.8.2. Calcul de la consommation horaire ……..80
V.9 types de réseaux…….....……..……83
V.9.1 Les différents types de réseaux……..83
V.9.1.1 Le réseau ramifie……. 83
V.9.1.2 Le réseau maille ……....84
V.10. Conception d'un réseau…….....….....85
V.11. Principe du tracé du réseau maille……...86
V.12. Calcul hydraulique du réseau maille……...86
V.13.déterminations des débits…….……86
V.14 Calcul des débits. …….……...87
V.14.1. Répartition arbitraire des débits……...89
V.15. Simulation par Lee logiciel EPANET. ……...90
V.16. Equipement du réseau de distribution……...……..96
V.16.1 Type de canalisation ……....……96
V.16.2 Appareils et accessoires du réseau ……..96
V.16.2.1 Robinets vannes ……...……..96
V.16.2.2 Clapets …….....…..96
V.16.2.3 Ventouses ……..96
V.16.2.4 Robinets de vidange…….. 96
V.16.2.5 Bouche d'arrosage……..…….. 96
V.16.2. 6 pièces aspectâtes de raccord …….……96
Conclusion ……...……...…….98

Liste de fuguers

Figure I .1 : organigramme des différentes sciences découlant de la mécanique……..……3
Figure I.2: Illustration de la force de viscosité…….…..……5
Figure I .3: Exemple de rhégramme……..7
Figure I .4: Illustration de la tension superficielle…….……7
Figure I .5: Origine moléculaire de la pression…….……9
Figure I.6: Schéma expérimental……..10
Figure I .7: Comparaison entre écoulement en charge et écoulement à surface libre…….11
Figure I .8: Schéma expérimenta ……11
Figure I .9: Écoulement laminaire …… 11
Figure I .10: Écoulement turbulent…….. 12
Figure I .11: Comparaison des profils de vitesse en régime laminaire et turbulent
Le nombre de Reynolds Ré permet de caractériser ces écoulements……..…….12
FigureI.12: Profil de vitesse et répartition des zones de turbulence dans une conduite circulairement régime turbulent. ……... 14
Figure I.13 : Deux conduite montée en sérié……..… 19
Figure I.14 : Deux conduites montées en parallèle. …… 12
Figure II.1: Schéma général d'un réseau d'A.E.P …….. 23
Figure II.2: Schéma général d'un réseau de distribution (R : Réservoir)…….....26
Figure II.3: Différents types de joints : a) mécanique, b) à emboîtement, c) à bride ……..….27
Figure II.4: Différents type de vannes : a) robinet-vanne b) robinet à papillon c) vanne à clapet de non-retour d) vanne de réduction de pression. ……28
Figure II.5: Types de ventouses : a) ventouse à petites quantités d'air b) ventouse à grandes quantités d'air c) ventouse universelle …….. 28
Figure II.6: Poteau d'incendie ……29
Figure II.7: Installation d'un poteau d'incendie vue en coupe ……30
Figure. III.1 : classification des pompes. ……..…….. 33
Figure. III .2: pompes volumétriques. ……..……34
Figure. III .3.Pompe à vis …… 34
Figure. III .4. Pompe a engrenage extérieur. ……...…….35
Figure. III.5.Pompe a engrenage intérieur. …….…….35
Figure. III .6. Pompes a lobes. …….……...36
Figure. III 7.Pompe a palette libre. …….……36

Figure. III 8.Pompe a palette flexible. ……..…….……37
Figure. III.9. Pompe à membranes. ……..……..37
Figure. III .10.Pompes à piston…….……..38
Figure. III .11 : Représentation des domaines respectifs des trois types de pompes roto-dynamiques. ……...39
Figure. III .12 : Domaines d'utilisation des pompes industrielles roto-dynamiques. …….....…….39
Figure. III.13. Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux…….……40
Figure. III .14. Pompe multicellulaire. …….……40
Figure. III .15 : Dessin descriptif d'une pompe centrifuge mono étage……..……42
Figure. III .16 : Types de roue...…….44
Figure. III .17: Point de fonctionnement. ……..46
Figure. III.18: entrainement par moteur. ……...……46
Figure III.19: Courbe caractéristique d'une pompe……..…… 47
Figure III.20: Choix du point de fonctionnement. …… 47
Figure III.21: Courbe de caractéristique 3 vitesses UPS 25-50 GRUNDFOS. …… ….48
Figure III.22 : Évolution des pertes de charge en fonction du débit. ……..……..49
Figure III.23: Évolution du point de fonctionnement sur un circulateur à trois vitesses……50
Figure III.24: Courbe caractéristique d'une pompe. …… 51
Figure. IV. 1: Caractéristiques de la pompe…….……53
Figure .IV.2 Schéma montrant deux pompes en série…… 54
Figure .IV.3 Caractéristiques de pression-débit pour deux pompes en série……...…54
Figure .IV. 4: Schéma montrant deux pompes en parallèle. ……55
Figure .IV. 5. Caractéristiques pression-débit pour deux pompes en parallèle……55
Figure. IV. 6. Variation Δp en fonction de Q^2. ……..… 56
Figure .IV.7.Ensemble de test de la série H32 et de la pompe parallèle (vue d'en haut montrant le panneau de commande et la configuration de la pompe). ……57
Figure IV.8a. Réglage des trois vannes de régulation: Pompe 2. ……58
Figure IV.8.b. Réglage des trois vannes de régulation: pompe 1……58
Figure IV.8.c. Réglage des trois vannes de régulation: Pompes en parallèle……..…58
Figure IV.8.d. Réglage des trois vannes de régulation: Pompes en série…….59
Figure. IV. 9: Performances des pompes simples à trois réglages de puissance et des pompes en séries avec 105W…….…… 63
Figure. IV.10: Variation de rendement de la pompe en fonction de débit massique…….63

Figure. IV. 11: Courbes de performance de la pompe…….…… 64
Figure. IV.12: Variation de rendement en fonction de débit massique pour les trois configurations de la pompe. …… 65
Figure. IV.13: Calcul du point fonctionnement d'une installation d'une pompe unique……65
Figure .IV.14: Calcul du point fonctionnement d'une installation en parallèle…….…….66
Figure .IV.15: Calcul du point fonctionnement d'une installation en série…….……67
Figure IV.16: Calcul du point fonctionnement d'une installation d'une pompe unique et pompes en parallèles et pompes en séries…… .68
Figure V-1 : Graphique de consommation en eau de l'agglomération……..……..81
Figure V.2 : Graphique de la consommation d'arrosage……. 82
Figure V .3 : Graphique de consommation totale de l'agglomération……..……82
Figure V .4 : courbe intégrale de la consommation totale de l'agglomération……..…83
Figure V.5 : réseaux ramifiés ……...… 84
Figure V.6: réseaux maille …… 85

Liste de tableaux

Table N° I.1. : Valeurs de la masse volumique et de la densité pour des fluides Fréquemment Rencontrés en hydraulique……3
Table N° I.2 : influence de la température sur les caractéristiques de l'eau pour Une pression de1atm…….....……..……4
Table N° I.3 : valeurs des coefficients de compressibilité isotherme…….……...4
Table N° I.4 : coefficient de viscosité dynamique et cinématique……..…….……6
Tableau. IV.1. Puissances et vitesses d'entrée de la pompe……..……59
Tableau N° V.1: Equipements scolaires……...……69
Tableau N° V.2: Equipements administratifs……...……69
Tableau N° V.3: Equipements socioculturels……..……70
Tableau N° V.4: Equipements sanitaires…….……70
Tableau N° V.5: Equipements sportifs……70
Tableau N° V.6: Equipements commerciaux……..……70
Tableau N° V.7: arrosage (Jardins et espaces verts) ……..…..……71
Tableau N° V.8: Evolution de la population……..…….……71
Tableau N° V.9: les besoins domestiques. …….....……73
Tableau N°V.10: les besoins scolaires. ……..……..……..……73
Tableau N° V.11: les besoins administratifs. ……...……..……73
Tableau N° V.12: les besoins socioculturels. ……..……74
Tableau N° V.13: les besoins sanitaires…….....……..…74
Tableau N° V.14: les besoins sportifs. ……74
Tableau N° V.15: les besoins commerciaux…….....…….75
Tableau N° V.16: les besoins arrosage (Jardins et espaces verts). ……..……..……75
Tableau N° V.17: Récapitulation des besoins eau de l'agglomération. …….……..……76
Tableau N °V.18: les besoins en eau maximale journalière de la ville…….……77
Tableau N° V.19: les besoins en eau minimale journalière de la ville……..…….…….78
Tableau N° V.20: la variation horaire en fonction du nombre de la population…..…….79
Tableau N° V .21: Répartition des débits horaires…….……...80
Tableau N°4.22 : récapitulatif des débits de calcul pour ce cas de pointe……87
Tableau V.23 : résultat des différents tronçons avec leurs caractéristiques hydrauliques et géométriques…….88

Tableau V.24 : résultat des différents tronçons avec leurs caractéristiques hydrauliques et géom……..……92
Tableau V.25 : résultat au niveau des nœuds……93

Liste des schémas

Schéma V.1 : repartions arbitraire du réseau……..90
Schéma V.2 : charge du réseau……..…..94
Schéma V.3: pression du réseau……..……94
Schéma V.4 : débit du réseau……..…….95
Schéma V.5 : vitesse du réseau……..…….95
Schéma V.6: les vannes au niveau du réseau de distribution……..97

NOMENCLATURE

η_h: Rendement hydraulique [%]

η_V: Rendement volumétrique [%]

η_{fi}: Rendement par frottement interne [%]

η_g: Rendement global [%]

η_m: Rendement mécanique [%]

Q. Débit [m3/s]

$Q_{moy.j}$: Consommation moyenne journalière [m^3 / j]

q_i :Norme moyenne journalière de la consommation pour chaque groupe[l/j/parusager]

T : Taux d'accroissement [%]

D: Diamètre intérieur de la conduite [m]

L: Longueur de la conduite [m]

DH : Perte de charge [m]

S : section de la conduite [m ²]

D: Diamètre [m]

D_1: Le diamètre moyen [m]

D_{ar}: Le diamètre réel de l'arbre [m]

D_m: Diamètre du moyeu d la roue [m]

H: Hauteur manométrique [m]

N: La vitesse de rotation [tr/min]

P: la pression [bar]

P_{ab}: Puissance consommée par la pompe [W]

P_m: Puissance du moteur d'entraînement. [W]

Q_c: Débit de circulation dans la pompe [m^3/h]

T: la température [℃]

ν: La viscosité cinématique [$m^2.s^{-1}$]

ρ: La masse volumique [kg/m^3]

Introduction générale

Parce que l'eau est une source de vie, de développement, d'économie, beaucoup d'infrastructures ont été réalisées depuis l'indépendance pour satisfaire le citoyen dans son environnement urbain.

En termes de réalisation les effets est donc été impressionnants en Algérie, mais il n'y a pratiquement pas de ville qui ne connaisse pas la coupure d'eau et les maladies à transmission hydraulique sont recensées à l'intérieur même des centres urbains, alors qu'on devrait s'attendue les trouver plutôt dans les zones rurales.

L'accès à l'eau potable est un élément majeur dans l'économie humaine qui ne cesse pas de croître. Les pays en voie de développement comme l'Algérie n'ont pas des ressources en eau considérable et souffrent d'un déficit notable qui est dû principalement de la pluviométrie annuelle faible selon les périodes ce qui nous emmène à crées des systèmes de protection de cette ressource.

c'est dans ce cadre que s'inscrit mon mémoire de fin d'étude " étude d'un réseau hydraulique Médéa (logiciel EPANET)".

L'objectif de cette étude est déterminer la distribution de l'eau et améliorer le réseau hydraulique de cette ville, pour cette situation on utilise le logiciel « EPANAT ».

Notre mémoire est divisé en cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux propriété de fluide, les type de pertes de charge et les conduite en séries et parallèles.

Le deuxième chapitre présente la généralité sur le réseau hydraulique.

Le troisième chapitre présente généralité sur les pompe hydraulique et les trois famille type des pompe (famille 1 : pompes volumétriques à rotor tournant (rotatives), famille 2 : pompes volumétriques alternatives (à pistons), famille 3 : pompes roto-dynamiques).

Le quatrième chapitre dans ce chapitre étude expérimentale sur les pompe (assemblage de pompe en série et en parallèle) et leur discussions.

Le cinquième chapitre les besoins en eau de l'agglomération et une simulation de réseau hydraulique avec logiciel « EPANAT » et leur discussions avec une conclusion général.

I.1. Les propriétés des fluides.

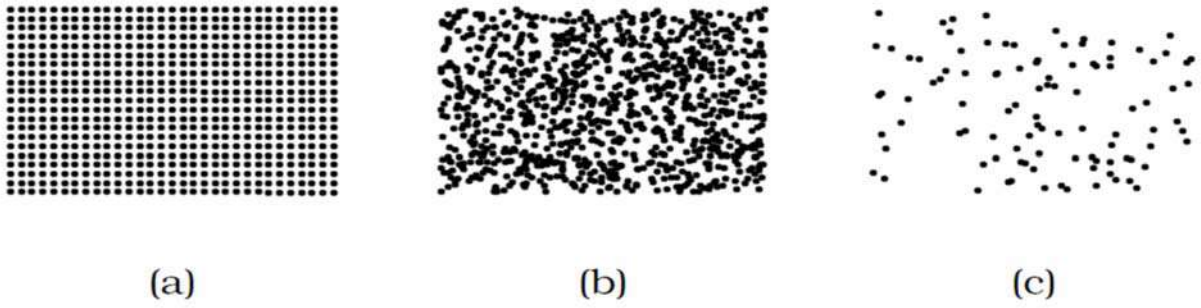
I.1.1qu'est qu'un fluide.

Il existe trois états de la matière pour un corps simple : solide, liquide et gaz. Les atomes ou les molécules qui le composent sont en perpétuelle agitation et la température est corrélée à cette agitation. L'organisation des composants de la matière diffère suivant l'état, conférant des propriétés différentes :

à l'état solide, le matériau est faible température, les molécules s'organisent de manière régulière et occupent une position déterminée avec des forces d'attraction considérable entre ces composants ;

à l'état liquide, matériau est température moyenne et la pression est suffisamment élevée , les molécules restent approchées mais elle sont libres de se déplacer au sein de la matière ;

à l'état gazeux, matériau à température suffisamment élevée et pression faible, les forces d'attraction entre molécules sont les plus faibles permettant à la matière d'occuper l'ensemble de l'espace qui lui est offert (on dit qu'un gaz est expansif).



Représentation idéalisée de trois états de la matière (source : [Annecy 2015]).

Les corps à l'état liquide et /ou gazeux sont souvent appelés fluides. Ces deux états ne supposent pas de forme propre, i.e. qu'un fluide aura tendance à épouser la forme du récipient qui le contient, un milieu fluide étant généralement isotrope.

Notons qu'un fluide apparemment au repos à échelle macroscopique est en fait, à plus petite échelle moléculaire en perpétuelle agitation. Les fluides sont des milieux déformable. La science qui les étudie est la mécanique des fluides, elle-même issue de la mécanique des milieux Continus (voir figure I.1). Dans la mécanique des fluides on distingue souvent :

- l'hydrodynamique qui se focalise sur l'étude des liquides,
- l'aérodynamique qui s'intéresse aux gaz. [1]

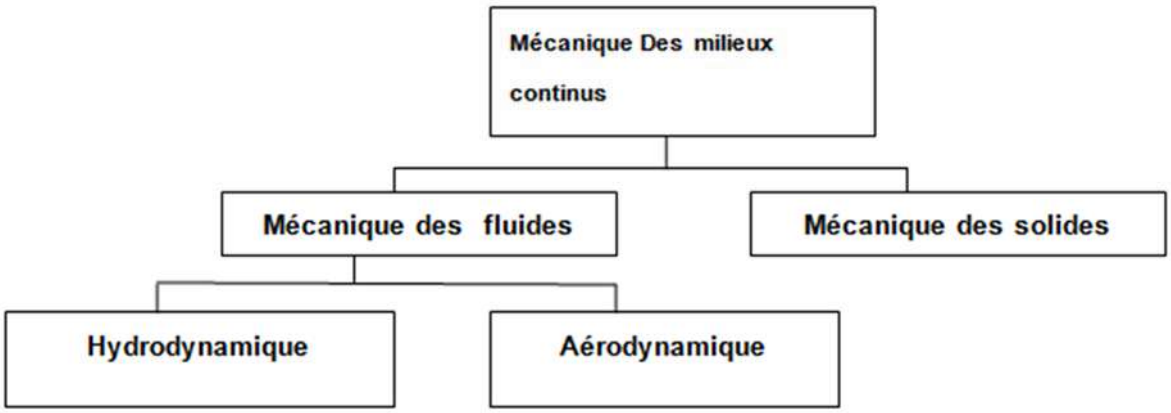


Figure I.1 : organigramme des différentes sciences découlant de la mécanique**. [1]**

I.2 La masse volumique e la densité

I.2.1 La masse volumique

La masse volumique d'un corps est le rapport entre sa masse M et le volume V qu'il occupe. La masse volumique est généralement notée ρ :

$$\rho = \frac{M}{v} \qquad (I.1)$$

Table N° I.1. : Valeurs de la masse volumique et de la densité pour des fluides fréquemment Rencontrés en hydraulique. [1]

Element	ρ (kg/m^3)	Densité
Eau	**1000**	**1**
Air	**1 ,293**	**1**
Béton	**2000-2500**	**2-2.5**
Mercure	**13600**	**13.6**
Huile	**850-950**	**0.85-0.9**

A volume équivalent, un corps A ayant une masse volumique plus grande qu'un corps B sera plus lourd que ce dernier. A l'équilibre (sans perturbation extérieures), les fluides s'organisent de manière à ce que les masses volumiques soient croissantes du haut vers le bas. On se réfèrera au tableau I.1 pour des valeurs chiffrées. [1]

I.2.2 La densité.

La densité permet de comparer facilement les différents corps par rapport à une référence. Elle est définie comme le ratio entre la masse volumique du corps considéré et la masse volumique du corps de référence (dans les mêmes conditions de température et de pression) :

$$d = \frac{\rho_{corps}}{\rho_{référence}} \qquad (I.2)$$

Cette référence est :

- l'eau pour les liquides et les solides : ρ_{eau}= 1000kg/m^3
- l'air pour les gaz : $\rho_{air=}$ 1.293kg/m^3 [1]

Table N° I.2 : influence de la température sur les caractéristiques de l'eau pour une pression de 1atm. [2]

T °C	$\rho kg.m^{-3}$	$\vartheta\ m^2.s^{-1}$	$p_v\ p_a$
0	**999.8**	$\mathbf{1.787.10^{-6}}$	**610**
10	**999.7**	$\mathbf{1.307.10^{-6}}$	**1228**
20	**998.2**	$\mathbf{1.00410^{-6}}$	**2339**
40	**992.2**	$\mathbf{1.00410^{-6}}$	**7339**
60	**983.2**	$\mathbf{0.474.10^{-6}}$	**19923**
80	**971.8**	$\mathbf{0.365.10^{-6}}$	**47359**

Table N° I.3 : valeurs des coefficients de compressibilité isotherme [1]

Elément	χ_T (Pa^{-1})
Eau	$\mathbf{4.5.10^{-6}}$
Air	$\mathbf{9.910^{-6}}$
Mercure	$\mathbf{0.37.10^{-6}}$

I.2.3 Le poids volumique.

Dans la mesure où on s'intéresse souvent à l'action du poids des fluides, on utilise parfois la notation suivante :

$$\gamma = \rho g \tag{I.3}$$

Où γ est le poids volumique [5]

I.2.4 Influence de la température et de la pression.

La masse volumique varie notamment avec la température et la pression.

I.2.4.1 influences de la température.

L'influence de la température sur les grandeurs caractéristique de l'eau est résumée dans le tableau (I.2)

I.2.4.2 Influence de la pression : la compressibilité

La compressibilité d'un corps représente la variation de masse volumique d'un corps soumis à une variation de pression dp . Le module de compressibilité isotherme χ_T (=à température constante) est la ration entre la variation relative de masse volumique et la variation de pression :

$$\frac{d\rho}{\rho} = \chi_T \, DP \tag{I.4}$$

Cette grandeur, peu utilisée en hydraulique caractérise le caractère compressible d'un fluide. En effet on note que pour les gaz (compressible), le coefficient de compressibilité isotherme est nettement plus important que pour les liquides (dit≪ $incompressible$ ≫) (voir tableau I.3).Un fluide dont la masse volumique varie très peu est dit incompressible .C'est généralement le cas des liquides à contrario des gaz dont la masse volumique varie beaucoup avec la température et la pression. Toutefois le comportement incompressible reste une hypothèse simplificatrice. En effet lorsqu'un liquide est soumis à de fortes variations de pression et/ou de température, il convient de considérer son caractère compressible. C'est notamment le cas lorsque l'on s'intéresse aux écoulements marins aux phénomènes très transitoires dans les écoulements en charge (phénomènes de coup de bélier),… [1]

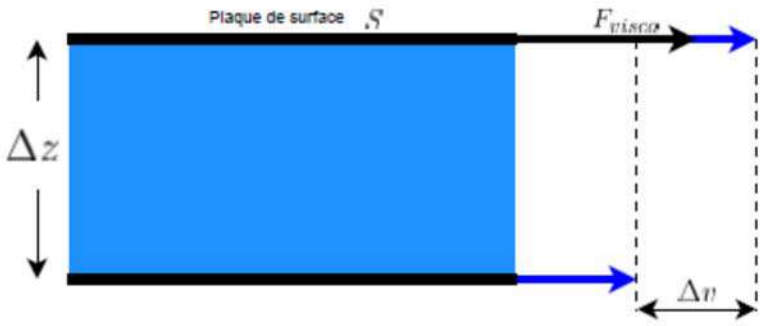


Figure I.2: Illustration de la force de viscosité. [1]

I.3 La viscosité.

La viscosité est la mesure de la résistance d'un fluide à l'écoulement. Si l'on considère deux plaques de surface S séparées par la distance Δz qui se déplace avec une différence de vitesse Δv (voir figure I.2) alors la force nécessaire pour générer ce déplacement vaut :

$$F_{visco=} S\mu \frac{\Delta v}{\Delta z} \quad (I.5)$$

La loi de la viscosité de Newton ou de Stockes exprime cette même relation à une échelle quelconque (que dz soit très petit ou très grand) :

$$\overrightarrow{F_{visco=}} S\, \mu \frac{\vec{dv}}{dz} \quad (I.6)$$

où $\overrightarrow{F_{visco=}}$ Représente la force de viscosité exercée par le fluide en mouvement sur la surface S, $\frac{\vec{dv}}{dz}$ représente le gradient de vitesse dans la direction normale à l'écoulement. Le coefficient de proportionnalité μ *est appelé* viscosité dynamique ou viscosité absolue et s'exprime en Pa.s ou en Poiseuille (PI).

I.3.1 La viscosité cinématique.

On définie également la viscosité cinématique :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (I.7)$$

Elle se mesure en $m^2.s^{-1}$ Ou en stokes (1 St $=10^{-4}m^2.s^{-1}$). Le tableau I.4 présente différentes valeurs de la viscosité pour différents fluides. Par ailleurs, l'influence de la température sur la viscosité est illustrée pour le cas de l'eau dans le tableau I.2

I.3.2 Différents comportements visqueux

Dans la grande majorité des cas le paramètre μ varie avec la vitesse de l'écoulement et/où la force exercée sur le fluide (voir figure I.3). On distingue ainsi : [1]

LA PRESSION DE VAPEUR SATURANTE

Table N° I.4 : coefficient de viscosité dynamique et cinématique [1]

Elément	$\mu\ (Pa.s)$	$\nu(m^2.s^{-1})$
Eau	10^{-3}	10^{-6}
Air	$18.5.10^{-6}$	$15.6.10^{-6}$
Mercure	$1.55.10^{-3}$	$0.11.10^{-6}$
Huile	$1.7.10^{-2}$ - $5.7.10^{-2}$	20.10^{-6} - 60.10^{-6}

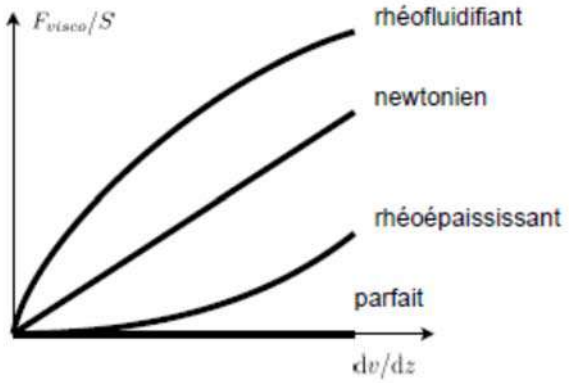


Figure I.3: Exemple de rhégramme [1]

Les fluides newtoniens : dont la viscosité dynamique μ *est une constante*

Les fluides rhéfluidifiants : dont la viscosité diminue avec la contrainte qui leur est appliquée

Les fluides rhéépaississants : dont la viscosité augmente avec la contrainte qui leur est appliquée

Les fluides parfaits ou non visqueux dont la viscosité est nulle. Ces fluides n'existent pas dans la réalité mais permettent des simplifications utiles à la résolution des problèmes courant d'hydraulique. Elle se justifie soi car le fluide considéré est peu visqueux soit parce que forces de frottements qui s'exercent sur le fluide sont très faible devant les autres forces en présence.[1]

I.4 La pression

I.4.1 Mise en évidence

La pression peut être mise en évidence expérimentalement. Otto Von Guericke (1602-1686) a proposé l'une des premières expériences permettant de montrer la notion de pression dans l'air.

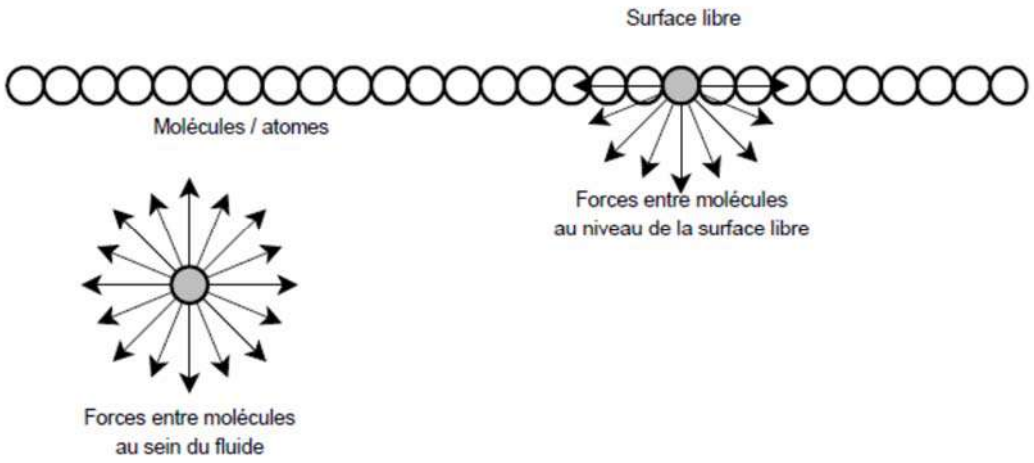


Figure I.4: Illustration de la tension superficielle. [3]

Il a accolé deux hémisphères rigides et réalisé le vide à l'intérieur. L'histoire retient qu'il a fallu seize chevaux pour décolles les deux hémisphères accolés.

I.4.2 Origine de la pression

Dans un fluide au repos, les interactions entre molécules (collision force de Van der Waals, …) génèrent des vitesses aléatoires de déplacement des molécules dont la moyenne dans le temps est nulle. Ce déplacement est appelé le mouvement Brownien avec la température. Lorsqu'on place une paroi dans ce fluide, les molécules dont la vectrice vitesse est orienté vers la paroi vont ≪ $heurter$ ≫ celle-ci et ≪ $rebondir$ ≫ à l'intérieur du fluide. La force exercés par la paroi pour faire rebondir les molécules est l'opposée de la force de pression qui correspond à la totalité des chocs créés par les molécules sur la paroi (voir figure I.5).

$$\overrightarrow{dF} = p\vec{n}dS \qquad (I.8)$$

Où P est la pression dans le fluide au droit de la plaque, d S la surface de la plaque et $\vec{n}$ le vecteur unitaire normal à la plaque orienté du fluide vers la plaque. La pression est donc une grandeur.

Scalaire qui s'exerce dans toutes les directions. La force résultante d'une pression sur une paroi est toujours perpendiculaire à cette paroi. Cette formulation différentielle a l'avantage d'être toujours valable, quelle que soit la taille et la forme de la paroi (y compris pour des parois courbes). La force de pression qui intéresse généralement l'hydraulicien est la force totale qui correspond à l'intégration de la force élémentaire sur toute la surface

$$\overrightarrow{F_{pression}} = \int_S \overrightarrow{Df}$$

$$= \int_S P\,\vec{n}Ds \qquad (I.9)$$

Avec dans le cas général P et $\vec{n}$ qui dépendent de la position le long de S.

Unité de mesure

Bien que l'unité légale soit le pascal (1Pa=1N.m^{-2}), une unité fréquemment employée est le bar (1bar= 10^5Pa). Par ailleurs, on rencontre des unités de pression exprimée en sous forme

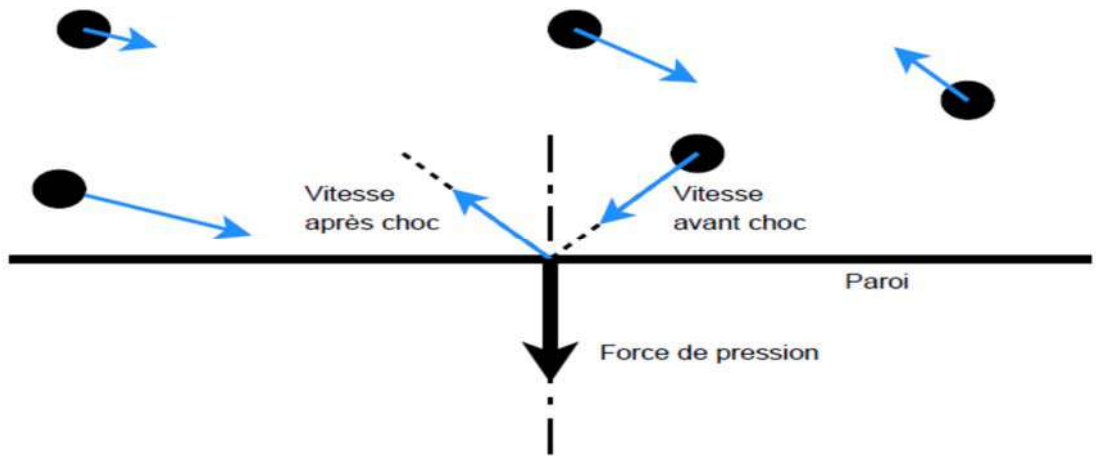


Figure I.5: Origine moléculaire de la pression [1]

- De hauteur piézométrique :
  - Le mètre de colonne d'eau
  - 1mCE→ 1mCE × ρ_{eau} × g=9.81.$10^3 Pa$
  - 1Bar=10^5Pa→ $^{10^5}/_{\rho_{eau\times g}}$=10.19mCE
- Le millimètre de mercure :
  - 1mmHg→ 10^{-3}mHg× $\rho_{mercure}$ × g=1.33.10^2Pa
  - 1Bar=10^5Pa→ 1000.$10^5/\rho_{mercure}$ ×g= 752,5mmHg [1]

I.5 Ecoulement en charge/ à surface libre.

I.5.1 Expérience

Une conduite est placée après la vanne de vidange d'un réservoir et débouche à l'air. Le réglage de la vanne permet de contrôler le débit Q qui y circule.

I.5.2 observation et analyse.

A petit débit, l'eau coule sur le fond de conduite mais n'atteint pas le haut : il y a une interface entre l'air et l'eau. Si l'on fait varier légèrement le débit, le niveau d'eau évolue en réponse. On parle d'écoulement à surface libre (voir figure I.7a).

A fort débit, la conduite est totalement remplie d'eau.il n'y a plus d'air qui y circule. Un augmentation, de débit se traduit par une augmentation de la pression dans la conduite. On parle d'écoulement en charge (voir figure.7b). [1]

I.6 Ecoulement laminaire/turbulent.

I.6.1 Expérience de Reynolds.

Un premier réservoir d'eau de niveau constant est vidangé par un tuyau. Une vanne placée à l'extrémité du tuyau permet de faire varier le débit Q et donc la vitesse v de l'écoulement. Un deuxième tuyau est placé à l'intérieur du réservoir. Il contient un colorant et permet d'obtenir un mince filet fluide coloré injecté au centre du tuyau (voir figure I.8).

I.6.2 Observation et analyse.

Quand la vitesse d'écoulement est faible, le filet coloré reste bien défini, rectiligne et parallèle à l'axe du tuyau (voir figure I.9a).La vitesse de l'écoulement en un point reste constante dans le temps (en l'absence de variation des conditions expérimentales) (voir figure I.9a). Le régime d'écoulement est dit laminaire. L'écoulement laminaire est rare dans le domaine de l'hydraulique à surface libre en cours d'eau. En revanche, il est rencontré dans l'alimentation en eau potable et de l'assainissement.

Quand la vitesse est plus importante, le filet coloré se mélange au fluide. Il devient ondulé et très instable. Des tourbillons de différentes tailles apparaissent (voir figure I.10a). Le régime est dit turbulent. La vitesse fluctue dans le temps et en l'absence de variation des conditions expérimentales, seule la moyenne temporelle reste constante (voir figure I.10b). [1]

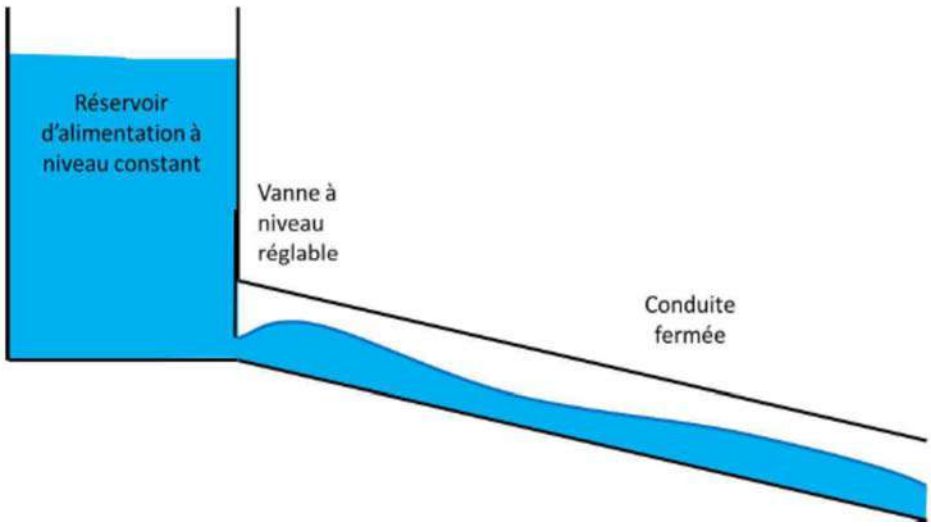
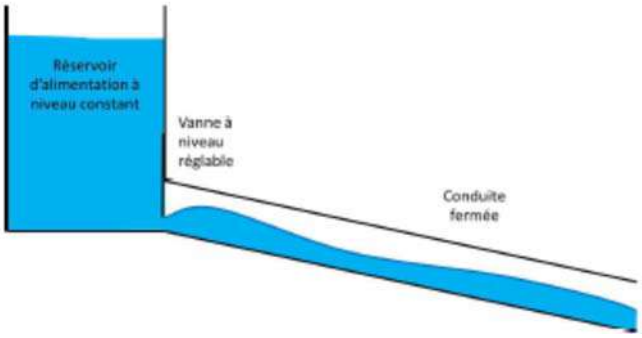
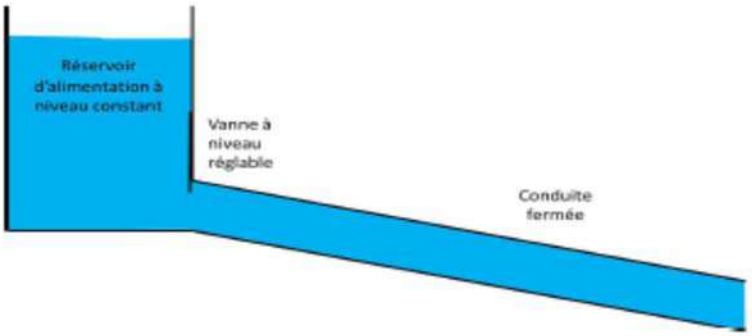


Figure I.6: Schéma expérimental [1]



(a) Écoulement à surface libre



(b) Écoulement en charge

Figure I.7: Comparaison entre écoulement en charge et écoulement à surface libre [1]

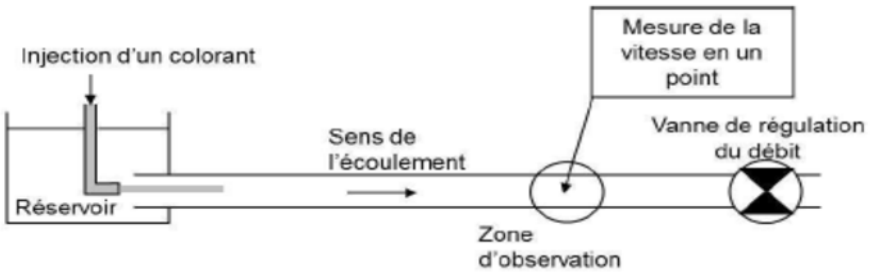
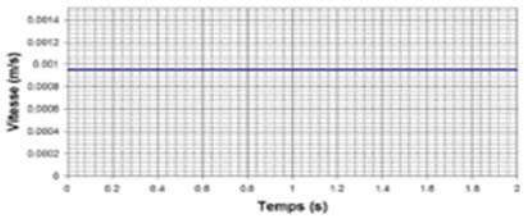


Figure I.8: Schéma expérimenta [1]

Evolution de la vitesse ponctuelle en fonction du tempe en régime laminaire

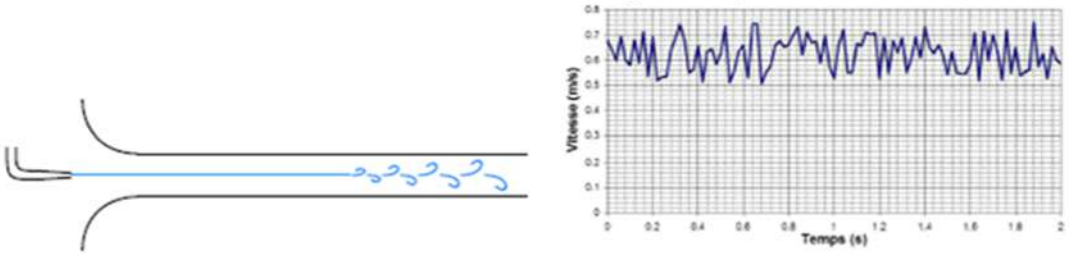




(a) Détail du filet de colorant. (b) Fluctuation de la vitesse en un point au cours du temps

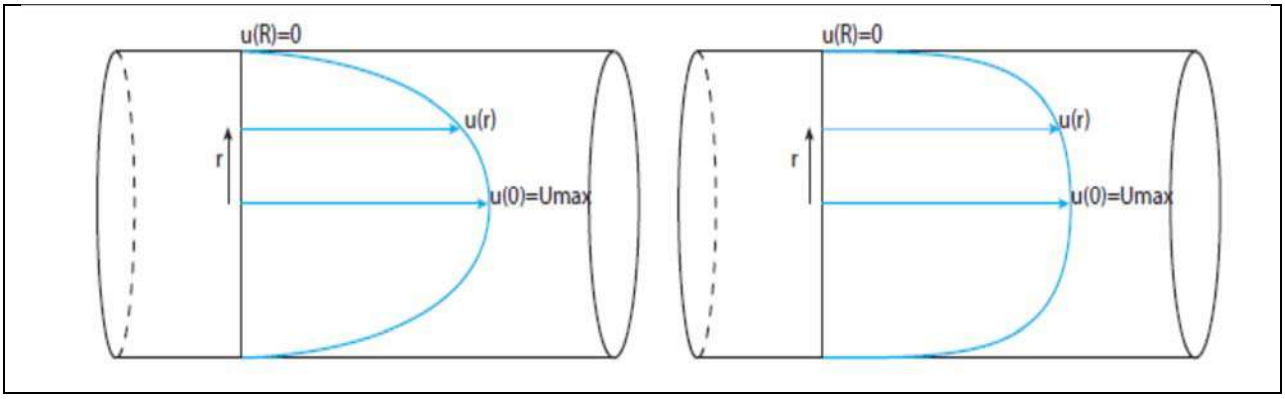
Figure I.9: Écoulement laminaire [4]

Evolution de la vitesse ponctuelle en fonction du tempe en régime laminaire



(a) Détail du filet de colorant. (b) Fluctuation de la vitesse en un point au cours du temps

Figure I.10: Écoulement turbulent [4]



(a) Profil de vitesse pour un écoulement laminaire en Conduite circulaire

(b) Profil de vitesse pour un écoulement turbulent en conduite circulaire

Figure I.11: Comparaison des profils de vitesse en régime laminaire et turbulent

Le nombre de Reynolds Ré permet de caractériser ces écoulements. [1]

La turbulence se caractérise donc par la création de tourbillons. Ils mélangent les matières dissoutes dans l'eau, comme par exemple le chlore dans un réseau d'eau potable ou le rejet d'une station de traitement des eaux usées dans une rivière.

Dans le cas d'un écoulement turbulent, on note toutefois qu'il faut une certaine distance à l'injection pour que la turbulence soit pleinement visible sur l'écoulement de colorant. En effet, il faut une distance pour que la turbulence s'établisse. Cette longueur d'établissement (L_e) peut être estimée à partir des formulations suivantes :

Pour Ré < 100 : $\frac{L_e}{D} = 0.6$

Pour $100 < Re < 2000$: $\frac{L_e}{D} = 0.06$ Re à 0.03 Re

Pour Ré > 2000 : $\frac{L_e}{D} = 0.6\ Re^{0.25}$ à $0.8\ Re^{0.25}$

Où D est le diamètre de la conduite.

De manière générale, on considère que le régime turbulent est pleinement établi pour une distance comprise en 50 et 100 fois le diamètre de la conduite. [1]

I.7 Profil des vitesses dans une section circulaire en charge

Dans le cas d'un écoulement permanent, le profil des vitesses dans une section est dépendant st l'intensité de la vitesse et de la géométrie de l'ouvrage.

Pour les écoulements laminaires, seule la viscosité est responsable de la non-uniformité des vitesses. Les équations permettent de démontrer (et c'est confirmé expérimentalement) que le profil de vitesse est parabolique avec un maximum au centre et une vitesse nulle à la paroi (voir figure I.11a).

Deux types d'écoulement turbulents dans les conduites réelles (présentant des aspérités) existent :

- Conduite hydraulique lisse : l'écoulement est séparé de la paroi par un film laminaire,
- Conduite hydraulique rugueuse : la sous-couche laminaire disparait et la turbulence arrive jusqu'à la paroi.

Décrivons le profil de l'écoulement le long d'un diamètre de conduite hydraulique lisse. On distingue habituellement deux régions : une région centrale qui correspond à plus de 90% de l'écoulement et une région voisine de la paroi.

Dans la région centrale très aplatie, la vitesse est indépendante des aspérités de la paroi et dépend peu de la viscosité. L'écoulement est formé de tourbillons importants, allongés, contenant des tourbillons plus petits. L'intensité de la turbulence est à peu très constante dans ce domaine.

Dans la zone voisine de la paroi, la vitesse passe d'une valeur élevée à zéro sur une distance relativement faible. Le fort gradient de vitesse qui résulte impose au fluide des contraintes.

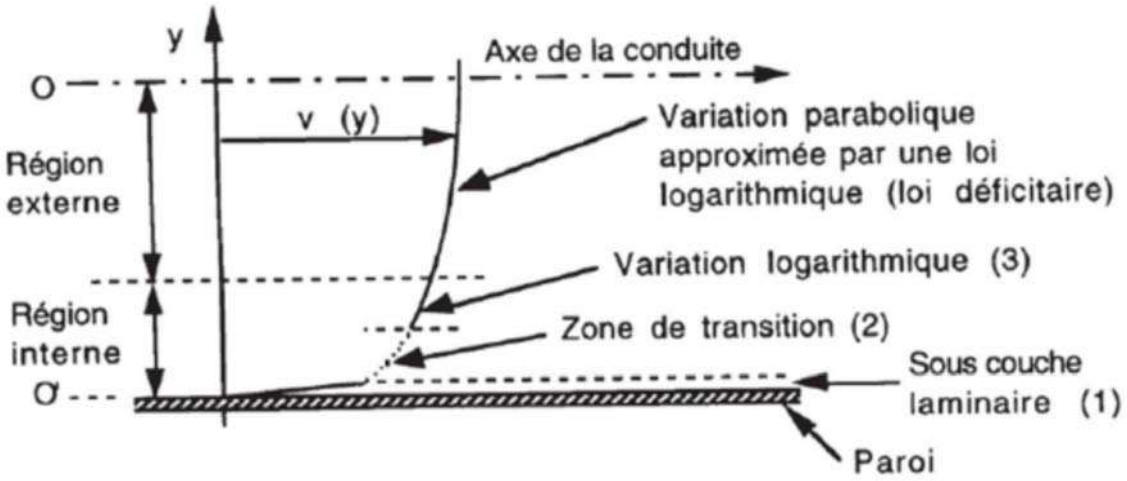


Figure I.12: Profil de vitesse et répartition des zones de turbulence dans une conduite circulairement régime turbulent. [1]

De cisaillement élevée et donc d'intenses frottement visqueux. On comprend donc que la dissipation d'énergie qui entraine une partie de la perte de charge ait lieu principalement dans cette zone.

Pour des conduites hydrauliques rugueuses les couches (1) à (3) tendent à disparaitre pour générer un profil quasi plat.

La turbulence est mesurée par le nombre de Reynolds. Dans le cas des conduites circulaires le domaine laminaire et turbulent est différencié par une valeur de Reynold comprise entre 2000 et 4000. Entre les deux types d'écoulement il y a une zone de transition, c'est –à-dire une zone d'incertitude où il faut faire preuve de beaucoup de réserve. [1]

I.8 Les force.

Les forces qui agissent sur un volume fini de fluide sont de deux types :

- les forces de volumes.
- les forces de surfaces.

I.8.1 Les force de volumes

Elles se composent des forces suivantes :

- les forces de pesanteur provenant de la gravité.
- les forces d'accélération pure : elles proviennent de la variation de la vitesse $\vec{v}$ d'un fluide de masse M dans le temps :

$$\overrightarrow{F_{accpure}} = M \frac{\partial \vec{v}}{\partial T} \qquad \text{(I.10)}$$

Prenons par exemple deux réservoirs à la même hauteur, dont l'un est vide et l'autre plein reliés par une conduite de diamètre constant, horizontale et munie d'une vanne. A l'ouverture de

la vanne, il se produit un écoulement. La variation de la vitesse dans le temps crée au sein de l'écoulement une force d'accélération pure.

Les forces d'accélération collective : elles proviennent de la variation de la vitesse $\underset{v}{\rightarrow}$ dans l'espace (O, x, y, z) :

$$\overrightarrow{F_{acc\ convective}} = M\left(v_x \frac{\partial \vec{v}}{\partial x} + v_y \frac{\partial \vec{v}}{\partial y} + v_z \frac{\partial \vec{v}}{\partial z}\right) = m\vec{v}.\overrightarrow{grad}\ (\vec{v}) \qquad (I.11)$$

Prenons une conduite dont l'écoulement ne varie pas dans le temps : $\partial\vec{v}/\partial t$=0. L'écoulement étant permanent, le débit est identique en tout point de la canalisation. Or, si la surface A est supérieure à la surface B alors la vitesse en B $\vec{v}_B$ est supérieur à la vitesse en A $\vec{v}_A$. Cettevariation de vitesse va engendrer une accélération qui va générer une force d'accélération convective.

I.8.2 Les forces de surface

Elles se composent des forces suivantes :

- les forces de pression :

$$\overrightarrow{dF} = P \times \vec{n} \times dS \qquad (I.12)$$

Où $\overrightarrow{dF}$ est la force élémentaire de pression, P la pression exercée par le fluide, *dS* l'élément de surface sur lequel s'exerce la pression et $\vec{n}$ le vecteur unitaire normal à *dS* et orienté du fluide vers la surface.

les forces de frottement visqueux : Nous avons vu précédemment qu'un fluide, dont les particules sont en mouvement relatif, génèrent des forces de frottement dues à la viscosité. La force de frottement s'écrit :

$$\overrightarrow{F_{visco}} = S\mu \frac{d\vec{v}}{dz} \qquad (I.13)$$

- les forces générées par la turbulence : la turbulence joue un rôle majeur dans l'écoulement des fluide, spécialement en hydraulique avec pour effet de ≪ $freiner$ ≫ l'écoulement.

La prise en compte complète de la turbulence impose d'utiliser des équations mathématiques complexes nécessitant une capacité de calcul élevée. Dans la majorité des cas, il est toutefois possible de ne considérer qu'un effet moyen de la turbulence via la prise en compte de forces de frottements supplémentaires. [1]

I.9 Formule des pertes de charge

I.9.1 Les pertes de charge linéaires.

Les pertes de charge linéaires sont dues aux frottements de l'eau contre les parois des conduites et les turbulences provoquées par ces effets. Elles dépendent en toute rigueur donc :

- Caractéristiques de l'eau
  - débit d'écoulement à section pleine
  - Régime d'écoulement
  - la température de l'eau
  - la fluidité ou viscosité de l'eau
- Caractéristiques de la conduite
  - diamètre intérieur Di, (section d'écoulement)
  - rugosité des parois intérieures k (mm)
  - 1ongueur L

Il existe plusieurs formules qui rendent compte de la perte de charge et qui se sont précisées avec la prise en compte progressive des paramètres ci-dessus énumérés.

❖ **Formule de Manning Strickler**

$$\Delta H = \frac{10.29 \times Q^2}{K_s \times D^{16/3}} L \qquad \text{(I.14)}$$

Q. Débit (m3/s)

Ks. Coefficient de MS dépendant de la rugosité interne donnée par des tables en fonction de la nature du tuyau

D. Diamètre intérieur de la conduite en (m)

L. Longueur de la conduite en (m)

DH. Perte de charge en (m)

❖ **Formule de William – Hazen**

$$\Delta \mathrm{H} = 10.65 \frac{Q^{1.85}}{K'^{1.85}.D^{4.87}} L \qquad \text{(I.15)}$$

K' Coefficient de William- Hazen

❖ **Formule de Cahnon et Le Chapt**

$$\Delta \mathrm{H} = a \frac{Q^n}{D^m} L \qquad \text{(I.16)}$$

a, n et m : coefficients de pertes de charge données par des tables.

❖ **Formule de Darcy-Weisbach**

$$\Delta H = \lambda \frac{L}{D}.\frac{V^2}{2g} \quad \text{(I.17)}$$

λ Coefficient de perte de charge (-) - Voir formule de Colebrook

V vitesse d'écoulement (m/s)

D diamètre de la conduite (m)

L longueur de la conduite (m)

❖ **Formule de Colebrook**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -\log\left(\frac{K}{3.7D} + \frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}\right) \quad \text{(I.18)}$$

La formule des pertes de charge de William-Hazen surestime les pertes de charges linéaires comparativement aux autres formules. Cette surestimation prend en compte les pertes de charges singulières. [5]

I.9.2. Les pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières sont dues aux modifications brusques de l'écoulement dans les pièces telles que :

Changement de section : élargissement, rétrécissement

Changement de direction : Coudes, Té

Instruments de mesures : Compteur, Venturi, Diaphragme

Appareil de contrôle suivi : Vannes, clapet

Les pertes de charge singulières sont fonction du débit, du diamètre de la conduite et de la nature de la singularité :

$$\Delta H_S = k_i \frac{Q^2}{2gS^2} \quad \text{(m)} \quad \text{(I.19)}$$

Q = débit [m^3/S]

S = section de la conduite [m²l

k_i = Coefficient dépendant de la singularité [-]

Les coefficients de singularité sont donnés dans la documentation technique. Il existe des abaques qui dorment l'équivalence des singularités en longueur de conduite droite l_e, provoquant la même perte de charge, avec la conduite sur laquelle elle est installée (voir annexe). [5]

I.9.3. Utilisation pratique des formules

Dans la pratique les pertes de charge linéaires sont déterminées à l'aide de formules monômes, dont la précision est suffisante, telles les formules de Manning-Strickler, **Calmon** et **Lechapt**, ou plus simplement par l'utilisation des abaques fournis par les fabricants de conduites. Les pertes de charges singulières peuvent être estimées en une fraction des pertes de charge linéaires soit 5% pour les conduites d'adduction équipées de peu de singularité, et 10% pour les conduites de distribution. Un résultat plus précis peut être obtenu en utilisant la formule de **Colebrook**, en inventoriant les singularités, et en faisant le calcul par les moyens informatiques.

Au niveau des aspirations des pompes, les pertes de charge singulières sont en général plus élevées que les pertes de charge linéaire à cause de la concentration des pièces spéciales sur une courte longueur. Il faut dans ce cas procéder à un calcul minutieux des pertes de charge. Les abaques donnant l'équivalent des pièces spéciales en longueur de conduite droite seront utilement employés, quand les moyens informatiques ne sont pas disponibles. [5]

I.10 Calcul des conduites équivalentes.

Dans le but de diminuer le nombre de calcul nécessaire à l'étude d'un réseau ou de réduire la quantité de mémoire informatique requise, on remplace souvent, dans ces calculs, plusieurs conduites par des conduites équivalentes fictives. De la même façon, pour calculer les pressions, on remplace habituellement un certain nombre de pièces (coudes, tés, vannes, etc.) par des conduites équivalentes. Dans les calculs, on ajoute ainsi aux conduites sur lesquelles sont installées ces pièces des conduites de même diamètre, auxquelles on attribue des longueurs suffisantes pour que les pertes de charge qu'elles entrainent soient les mêmes que dans la réalité.

Dans ce qui suit, nous montrons comment on peut simplifier un réseau en recourant à des conduites équivalentes : remplacement de conduites montrées en parallèle ou en série par des conduites équivalentes et remplacement de perte de charge dues aux pièces par les pertes de charge attribuables à ces conduites équivalentes. Nous montrons également comment on analyse ou conçoit un réseau de distribution à l'aide de méthode itératives, comme la méthode de Hardy-Cross.

I.10.1 Conduites montées en série

Une conduites équivalente a deux conduites installées en sérié (Figure. I.13) est une conduite qui transporte le même débit et qui engendre les mêmes pertes de charge que ces deux conduites ; toutes les conduites qui satisfont à ces conditions sont donc des conduites équivalentes. Étant donné que les pertes de charge doivent être les mêmes, on peut exprimer les pertes de charge dans la conduite équivalente dans le cas de deux conduites en série à l'aide de l'équation suivante [6] :

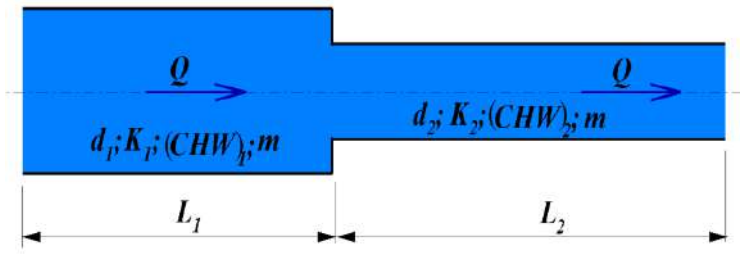


Figure I.13 : Deux conduite montée en sérié.[6]

$$(H_L)_{équ} = (H_L)_1 + (H_L)_2 = \sum (H_L)_i \qquad \text{(I.20)}$$

Où $H_L = KQ^m$

On obtient donc :

$$(H_L)_{équ} = K_1 Q^{m1} + K_2 Q^{m2} = \sum K_i \, Q^{mi} \qquad \text{(I.21)}$$

On sait par ailleurs que, pour l'équation de **Hazen-Williams** :

$$m_{equ} = m_1 = m_2 = m = 1.852$$

Ainsi on a :

$$(H_L)_{equ} = K_1 Q^m + K_2 Q^m = K_1 Q^{1.852} + K_2 Q^{1.85}$$
$$= Q^m (\sum K_i) \qquad = Q^{1.852} (\sum K_i) \qquad \text{(I.22)}$$

Dans les relations précédens :

$(H_L)_{equ}$: Pertes de charge dans la conduite équivalente

$(H_L)_{equ}$: Pertes de charge dans la conduite i

Q_i : Débit dans la conduite i

m : 1.852

K_i : Facteur de proportionnalité relatif à la conduite i (Eq.)

K_{equ} : Facteur de proportionnalité relatif à la conduite équivalente

Or nous avons vu (E q) que, pour une conduite donnée coulant sous pression :

$$K_i = \frac{\beta L_i}{d_i^{4.871} (C_{HW})_i^{1.852}} \qquad \text{(I.23)}$$

β : 10.679

L_i : Longueur de la conduite i (m)

d_i : Diamètre intérieur de la conduite i (m)

$(C_{HW})_i$: Coefficient de rugosité de Hazen-Williams de la conduite i

Par conséquent :

$$(H_L)_{equ} = Q^{1.852} \sum \frac{\beta L_i}{d_i^{4.871}(C_{HW})_i^{1.852}} = Q^{1.852}(K)_{equ}$$

$$= Q^{1.852} \frac{\beta L_{equ}}{(d_{equ})^{4.871}(C_{HW})_{equ}^{1.852}} \quad \text{(I.24)}$$

Où Q représente les débits dans les conduites en série(m^3/s).

Il est possible de calculer diverses conduites équivalentes qui ont les mêmes pertes de charge $(H_L)_{equ}$.

Les calculs ci-dessus sont également applicables à plus de deux conduites montées en série.[6]

I.10.2 Conduites montées en parallèle

Une conduite équivalente à deux conduites montées en parallèle (Fig. II.14) est une conduite qui transporte un débit égal à la somme des débits que transporte chacune de ces conduites et qui engendre les mêmes pertes de charge que chacune de ces deux conduites. Dans ce cas, on exprime les pertes de charge dans la conduite équivalente de la manière suivante :

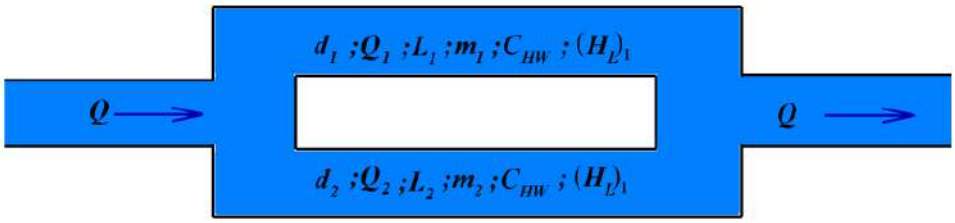


Figure I.14 : Deux conduites montées en parallèle.

$$(H_L)_{equ} = (H_L)_1 = (H_L)_2 = H_L \quad \text{(I.25)}$$

De plus, on peut écrire :

$$Q_{equ} = Q_1 + Q_2 = \sum Q_i \quad \text{(I.26)}$$

Or, pour chaque tronçon de conduite i (en parallèle), on a :

$$(H_L)_i = K_i Q_i^{mi} = K_i (Q_i)^m \quad \text{(I.27)}$$

On sait par ailleurs que :

$$m_{equ} = m_1 = m_2 = m_i = m = 1.852 \quad \text{(I.28)}$$

De là, on peut écrire :

$$Q_i = \frac{é(H_L)_i u^{1/m}}{éK_i u} = \frac{éH_L u^{1/m}}{éK_i u} = \frac{éH_L u^{1/1.852}}{éK_i u} \quad \text{(I.39)}$$

L'expression $Q_{equ} = Q_1 + Q_2$ devient par conséquent :

$$\frac{éH_L u^{1/m}}{éK_{equ} u} = \frac{éH_L u^{1/m}}{éK_1 u} + \frac{éH_L u^{1/m}}{éK_2 u} = \overset{0}{\partial} \frac{éH_L u^{1/m}}{éK_i u} \quad \text{(I.30)}$$

Où m a toujours la valeur de 1.852.

On conclut enfin que :

$$\frac{é1u^{1/m}}{éK_{equ} u} = \frac{é1u^{1/m}}{éK_1 u} + \frac{é1u^{1/m}}{éK_2 u} = \overset{0}{\partial} \frac{é1u^{1/m}}{éK_i u} = \overset{0}{\partial} \frac{é1u^{1/1852}}{éK_i u} \quad \text{(I.31)}$$

On calcule ainsi la valeur de K_{equ} puis avec l'équation (), on peut calculer diverses conduites équivalentes.

$$K = \frac{\beta L}{d^{4.871} C_{HW}^{1.852}} \quad \text{(I.32)}$$

Les calculs ci-dessus sont également applicables à plus de deux conduites montées en parallèle.

- **Pertes de charge dues aux pièces.** On peut, rappelons-le, devoir estimer également les pertes de charge dues à diverses pièces si on veut évaluer avec plus d'exactitude le comportement d'un réseau. Pour ce faire, on remplace chacune des pièces par une conduite fictive (souvent de même diamètre que la conduite sur laquelle elle se trouve) qui engendre les mêmes pertes de charge que cette pièce, et dont on calcule la longueur équivalente à l'aide de la relation suivante :

$$\mathrm{L_{equ}} = 0.0077 \mathrm{K_L} \mathrm{Q}^{0.148} \mathrm{C_{HW}^{1.852}} \mathrm{d}^{0.87} \quad \text{(I.33)}$$

L_{equ} : Longueur de la conduite équivalente à une pièce(m).

K_L : Coefficient propre à chaque pièce.

Q : Débit dans la conduite sur laquelle la pièce est posée(m^3/s).

C_{HW} : Coefficient de rugosité de **Hazen-Williams** de la conduite sur laquelle la pièce et posée.

d : Diamètre intérieur de la conduite sur laquelle la pièce est posée (m) [on doit choisir un diamètre pertinent. [6]

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à l'étude de la dynamique des fluides visqueux incompressible dans laquelle on classe les écoulements laminaires et écoulement turbulents. La résolution des équations en dynamique des fluides passe par l'introduction de la notion de pertes de charge.

Introduction

Le distributeur d'eau potable à toujours le souci de couvrir les besoins des consommateurs, en quantité et qualité suffisantes. Il a aussi le souci de veiller à la bonne gestion et à la perfection de toutes les infrastructures concourant l'approvisionnement en eau.

Dans ce chapitre, nous présenterons les différents maillons constituant un réseau d'Alimentation en Eau Potable (A.E.P), les différents problèmes pouvant être rencontrés dans un tel réseau et les différentes méthodes de réhabilitation permettant d'en remédier.

II.1. Description d'un réseau d'A.E.P

Un réseau d'A.E.P constitue l'ensemble des moyens et infrastructures dont dispose l'ingénieur pour transporter l'eau depuis la source jusqu'au consommateur. Un réseau d'eau potable doit être fiable et durable pour pouvoir répondre aux exigences des consommateurs (quantité et qualité optimales, dysfonctionnement minimaux). Le transport de l'eau de la source jusqu'au point de distribution se fait suivant une chaîne composée de quatre maillons principaux (Figure II.1).

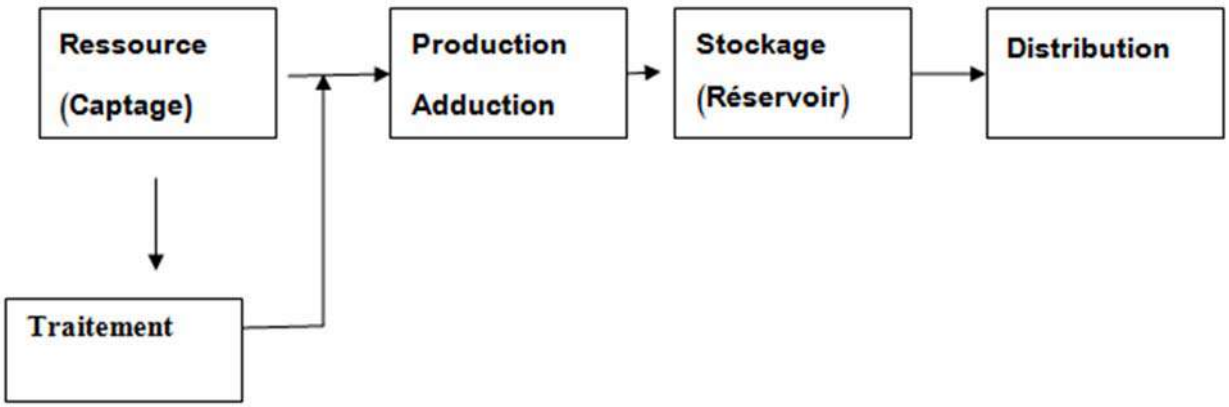


Figure II.1: Schéma général d'un réseau d'A.E.P

L'incorporation ou non du maillon traitement dépend de la qualité de l'eau de la source. Avant de détailler le réseau de distribution, sur lequel va porter notre étude, nous allons d'abord décrire brièvement les autres maillons.

II.1.1. Maillon ressource

La ressource est une structure permettant le captage de l'eau. La prise d'eau se fait habituellement par un captage d'eau de surface (rivière, lac, barrage, etc.). En l'absence d'une telle source, ou lorsque l'eau de surface est trop polluée, on procède au captage d'eau souterraine (forage, puits, galeries, sources, …).

II.1.2. Maillon production-adduction

Ce maillon est un ensemble constitué d'une station de pompage et d'un dispositif d'adduction (conduite et accessoires). [7]

II.1.2.1. La station de pompage

C'est le dispositif de production. Sa capacité est fonction du ou des réservoirs de stockage. Elle est constituée des ouvrages et des équipements suivants :

- Bâche d'aspiration.
- Chambre de télé-contrôle et d'automatisation.
- Groupes électropompes.

II.1.2.2. Le dispositif d'adduction

La conduite d'adduction relie la prise d'eau au réservoir de stockage. C'est une conduite d'un gros diamètre car elle est destinée à transporter un débit très important. Pour faire face aux contraintes imposées par le terrain et le relief, on doit accompagner la conduite d'adduction par divers ouvrages :

- Ventouses aux points hauts du tracé pour l'évacuation d'air,
- Vidanges aux points bas du tracé,
- Brises charge pour éviter la surpression et la sous-pression dans la conduite. Plusieurs types de dispositifs sont utilisés:
- Volants d'inertie.
- Soupapes de décharge ‰.
- Réservoirs d'air.
- Cheminées d'équilibre.
- Ouvrages de protection contre la corrosion de la conduite.

II.1.3. Le maillon traitement

Le traitement de l'eau brute se passe généralement en trois étapes :

- La clarification : il s'agit de débarrasser l'eau des particules colloïdales en utilisant un massif filtrant.
- La stérilisation : son objectif est de rendre l'eau bactériologique ment pure. Pour ceci, on utilise des oxydants tels que le chlore et l'ozone.
- L'affinage : permet d'éliminer les micropolluants (corps dissous). [8]

II.1.4. Le maillon stockage

Le réservoir de stockage est un bassin qui se remplit au cours des faibles consommations et qui se vide pendant les périodes de fortes consommations journalières. Le réservoir présente deux utilités (technique et économique) par les multiples fonctions qu'il remplit :

- Fonctions techniques : il permet :
  - La régulation du débit pour tous les ouvrages qui se situent en amont et en aval de lui.
  - L'assurance de la continuité de l'approvisionnement en cas de panne dans les ouvrages situés dans la partie amont.
  - La participation au traitement (utilisation de réactifs).
- Fonctions économiques : il permet :
  - La réduction des investissements sur tous les autres ouvrages du réseau d'A.E.P.
  - La réduction des coûts de l'énergie.
  - La capacité d'un réservoir dépend du mode d'exploitation des ouvrages de la partie amont et de la variabilité de la demande.

Pour l'emplacement d'un réservoir, selon que l'agglomération est située en plaine ou en terrain accidenté, il peut être soit enterré, soit semi-enterré, soit surélevé.

II.1.5. Le réseau de distribution

II.1.5.1. Définition

Du réservoir de stockage sort une conduite principale de gros diamètre. Celle-ci, en se prolongeant le long des rues de l'agglomération forme un ensemble de conduites maîtresses.

Sur chacune de ces dernières, sont branchées des conduites de diamètres moindres dites conduites secondaires, tertiaires, etc. L'ensemble de toutes ces différentes canalisations avec l'ensemble des équipements qui les accompagnent forment le réseau de distribution. C'est l'infrastructure la plus importante du réseau global, car il s'étend sur toute la surface de l'agglomération.

II.1.5.2. Ossature du réseau

L'ossature du réseau dépend de la configuration de l'agglomération. Deux géométries de réseau sont possibles : réseau ramifié ou réseau maillé.

- Le réseau ramifié : il est appelé ainsi car il possède typologiquement une structure d'arbre. Pour ce type de réseau, à partir d'une conduite centrale, on met en relation plusieurs canalisations secondaires, tertiaires, …etc. jusqu'à chaque compteur individuel. Un tel système présente un grave défaut ; dans une conduite donnée, l'eau circule toujours dans le même sens. Donc, une panne dans la conduite entraîne la perte de service pour tous les usagers situés en aval.
- Le réseau maillé : ce type de réseau est constitué de boucles. Le sens de l'écoulement varie fréquemment selon la demande de certaines conduites. En effet, le nombre d'abonnés non desservis en cas de panne ou de réparation est réduit au maximum puisque l'eau peut atteindre un même point par plusieurs chemins. L'autre intérêt est que la vitesse d'écoulement de l'eau est rarement nulle, ce qui offre l'avantage de maintenir la bonne qualité de l'eau distribuée.

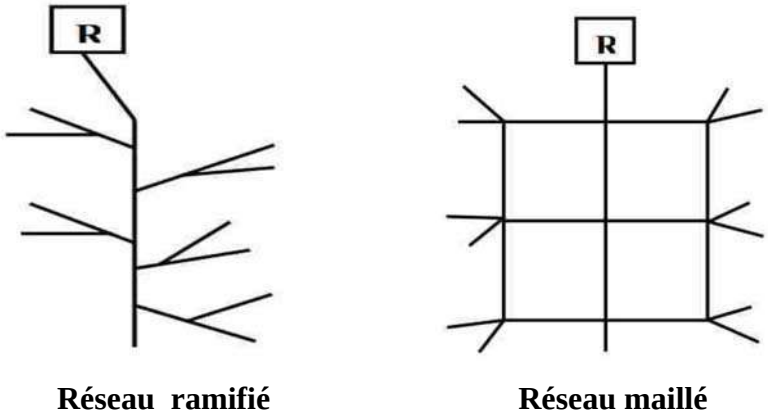


Figure II.2: Schéma général d'un réseau de distribution (R : Réservoir).

II.1.5.3. Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable

I1.1.5.3.1. Les matériaux des canalisations

Trois considérations sont essentielles pour le choix du matériau des canalisations :

- la sécurité de service.
- la longévité.
- le facteur économique.

Pour les conduites maîtresses, les matériaux les mieux adaptés sont la fonte ductile, le béton armé et l'acier, par contre, pour les conduites secondaires, on choisit des tuyaux en acier, polyéthylène et le PVC à joints flexibles.

II.1.5.3.2. Les joints

Ils ont pour fonction d'assurer l'étanchéité des jointures des tuyaux et faire face aux sollicitations mécaniques et chimiques. Pour cela, ils doivent épouser parfaitement la loge qui leur est destinée.

Les joints constituent la partie la plus fragile de la canalisation à cause de leur souplesse ; tout mouvement du tuyau s'articule sur le joint, ce qui provoque en lui des usures mécaniques. L'action des produits chlorés de l'eau et le dessèchement induisent le vieillissement des joints.

Il existe trois principaux types de joints : mécaniques, à emboîtement et à bride. Les joints mécaniques ou à emboîtement sont utilisés pour relier les conduites enfouies dans le sol, alors que les joints à bride sont utilisés pour raccorder des tronçons à l'intérieur des constructions (station de pompage, station de traitement, etc.).

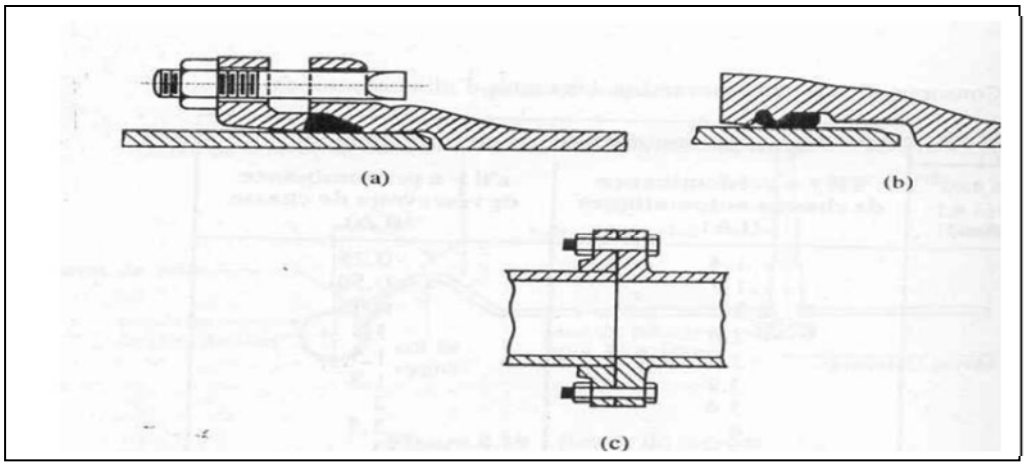


Figure II.3: Différents types de joints : a) mécanique, b) à emboîtement, c) à bride [7]

II.1.5.3.3. Les vanne

Elles permettent de maîtriser les écoulements dans le réseau, donc de mieux gérer celui-ci. Il existe plusieurs types de vannes qui satisfont à des besoins variés :

- Les vannes d'isolement : permettent d'isoler certains tronçons qu'on veut inspecter, réparer ou entretenir. On distingue deux types : les robinets à papillon pour les conduites de gros diamètres et les robinets-vannes pour les conduites de petits diamètres.

- Les vannes à clapets de non-retour : permettent de diriger l'écoulement dans un seul sens. Elles sont installées sur les conduites de refoulement.
- Les vannes de réduction de pression : permettent de réduire la pression à une valeur prédéterminée.

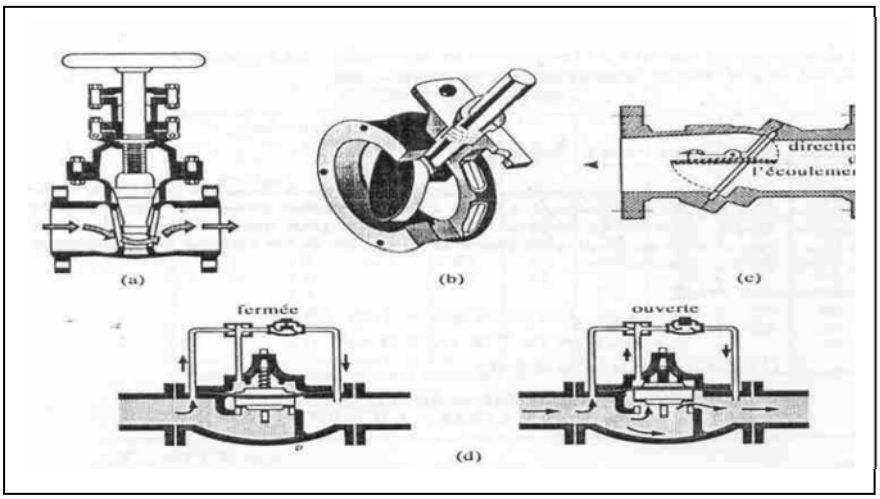


Figure II.4: Différents type de vannes : a) robinet-vanne b) robinet à papillon c) vanne à clapet de non-retour d) vanne de réduction de pression. [7]

II.1.5.3.4. Les ventouses

On installe des ventouses aux points élevés du réseau. Elles permettent d'un côté, de faire évacuer les quantités d'air qui s'y accumulent à la suite, par exemple, du dégazage de l'oxygène dissous, et de l'autre côté, de faire pénétrer l'air lorsqu'un vide se crée dans une conduite et évitent la création de pressions négatives qui risqueraient d'entraîner l'écrasement de la conduite. Trois types de ventouses sont utilisés : ventouses pour petites quantités d'air, ventouses pour grandes quantités d'air et ventouses universelles.

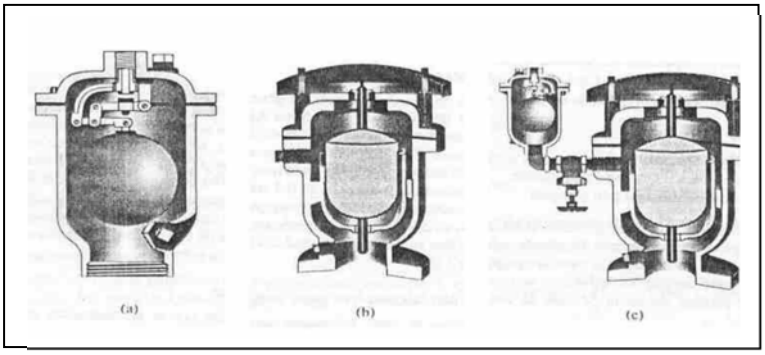


Figure II.5: Types de ventouses : a) ventouse à petites quantités d'air b) ventouse à grandes quantités d'air c) ventouse universelle [7]

II.1.5.3.5. Les décharge

Une décharge est un robinet placé au point bas de la canalisation pour en permettre la vidange, l'évacuation s'effectue à l'égout le plus voisin ou si le point bas se trouve hors de la ville, dans le fossé le plus proche. Ce robinet sera placé à l'intérieur d'un regard en maçonnerie et doit être facilement accessible. [9.10]

II.1.5.3.6. Les poteaux d'incendie

Ils permettent de fournir aux pompiers l'eau dont ils ont besoin pour combattre les incendies. Ils sont reliés aux conduites du réseau par des conduites de raccordement dotées d'une vanne d'isolement. Un poteau d'incendie doit comporter au moins deux prises latérales de 65 mm de diamètre et une conduite de 100 mm de diamètre si le débit excède 5000 l/mn ou la pression si est faible.

La superficie desservie par un poteau d'incendie dépend du débit nécessaire pour combattre les incendies ; plus le débit est élevé, plus les poteaux sont nombreux et rapprochés. [7]

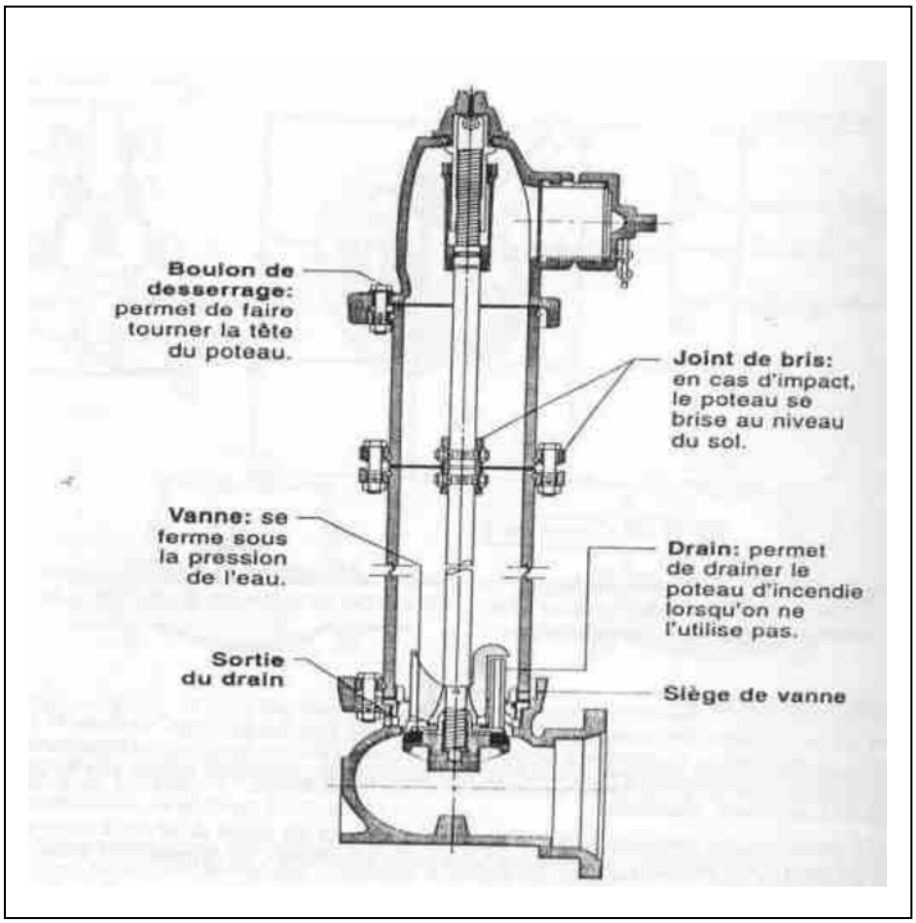


Figure II.6: Poteau d'incendie [7]

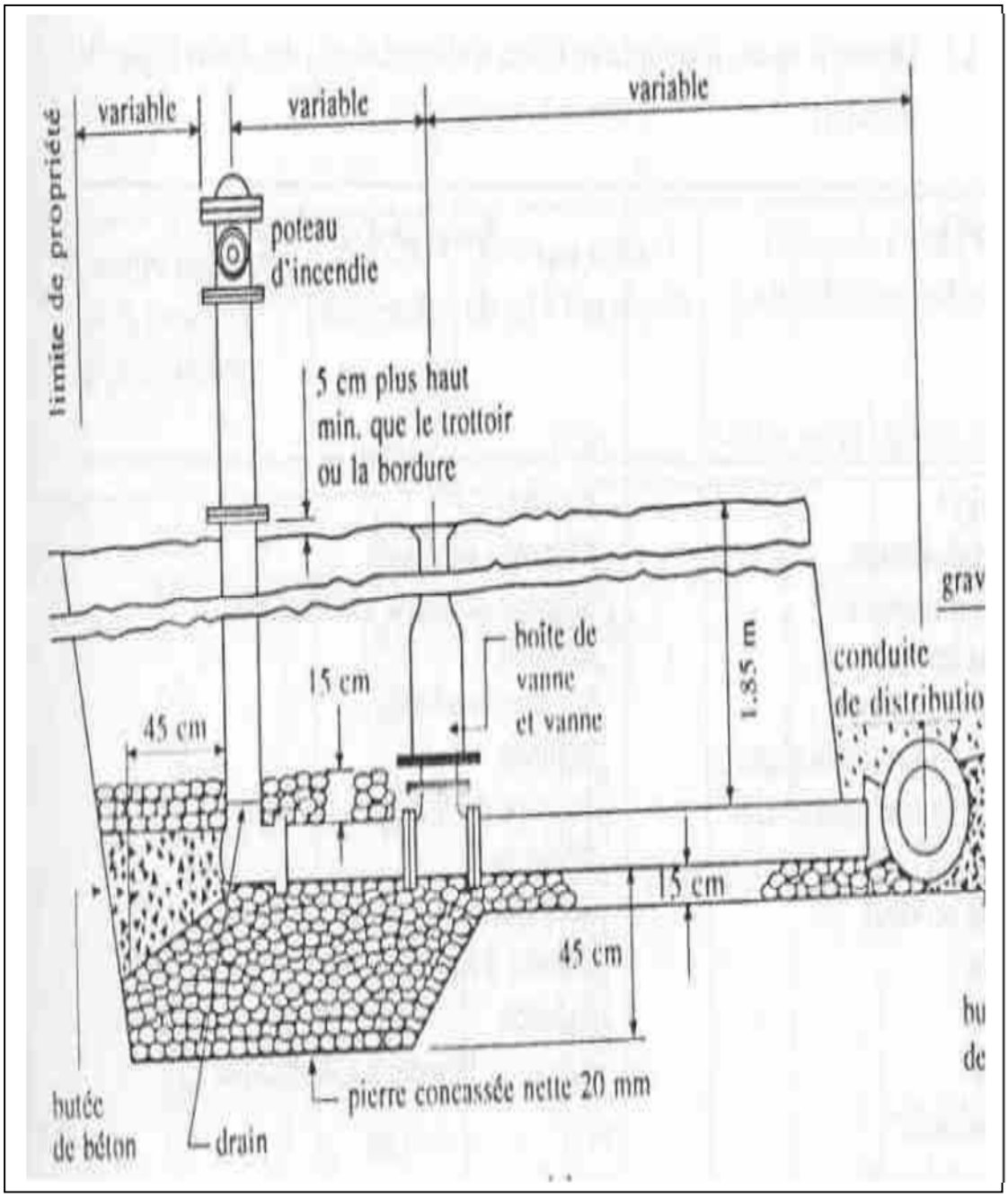


Figure II.7: Installation d'un poteau d'incendie vue en coupe [7]

II.1.5.4. La pression dans le réseau.

Le réseau doit être calculé de telle sorte que l'eau parvienne aux consommateurs avec une pression minimale. L'eau doit en effet atteindre les étages supérieurs des habitations et permettre l'utilisation efficace des appareils ménagers (chauffe-bain, machine à laver). Une pression minimale de 150 KPa est alors recommandée.

En vue de la bonne tenue des canalisations, et notamment de leurs joints, il y a lieu d'éviter des pressions supérieures à 500 KPa qui risquent d'apporter des désordres (fuites) et certains bruits désagréables dans les installations intérieures des abonnés.

II.2. Problèmes rencontrés dans un réseau d'A.E.P.

Plusieurs problèmes de différentes origines peuvent survenir dans un réseau d'A.E.P ; des fuites, les branchements illicites, les erreurs de compteurs, les problèmes environnementaux, pénétration de contaminants, chute de pression, des ruptures ou casses sur les conduites et leurs accessoires, les interruptions. A ces problèmes s'ajoutent des problèmes de gestion du réseau. Ces différents problèmes causent le mécontentement des consommateurs qui réagissent en déposant des plaintes sur les différents services (quantité insuffisante, qualité médiocre, interruption de l'alimentation, etc.) au niveau des services concernés. Les différents problèmes survenant dans un réseau d'alimentation en eau potable peuvent être classés en trois grandes catégories :

- Problèmes induisant les ruptures et les casses.
- Problèmes induisant les fuites.
- Problèmes induisant la dégradation de la qualité de l'eau.

II.2.1. Problème de gestion des réseaux d'A.E.P en Algérie

Les problèmes de gestion des réseaux algériens sont très divers :

- Méconnaissance des besoins en eau des populations.
- Entretien quasi-nul des canalisations et de leurs accessoires.
- Coupures d'eau fréquentes.
- Fuites non répertoriées.
- Interventions trop lentes sur les fuites.
- Personnel insuffisant et non qualifié.
- Inexistence de pompes de secours au niveau des stations de pompage. [7.10]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit d'une manière générale un réseau d'alimentation en eau potable ainsi que les différents problèmes pouvant survenir dans un tel réseau. Le détail de ces problèmes sera l'objet du chapitre suivant.

III.1. Généralités sur les pompes.

On appelle pompe du nom italien « pompa » toutes machines hydrauliques qui servent à déplacer les liquides d'une région de basse pression vers une région à grande pression. So fonctionnement consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,…etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique en énergie hydraulique.

Les pompes autant que machines, sont les pièces maîtresses qui donnent la vie aux unités de pétrole et au gaz. Leur choix et leur installation doivent faire l'objet de soins tout particulier de la part des services d'études, de même leur entretien requiert une des spécialistes très qualifiées, afin qu'elles puissent assurer dans les meilleurs conditions un service continu pendant une longue durée. [11]

III.2. Classification des pompes.

Les pompes en général se partagent en trois grandes familles :

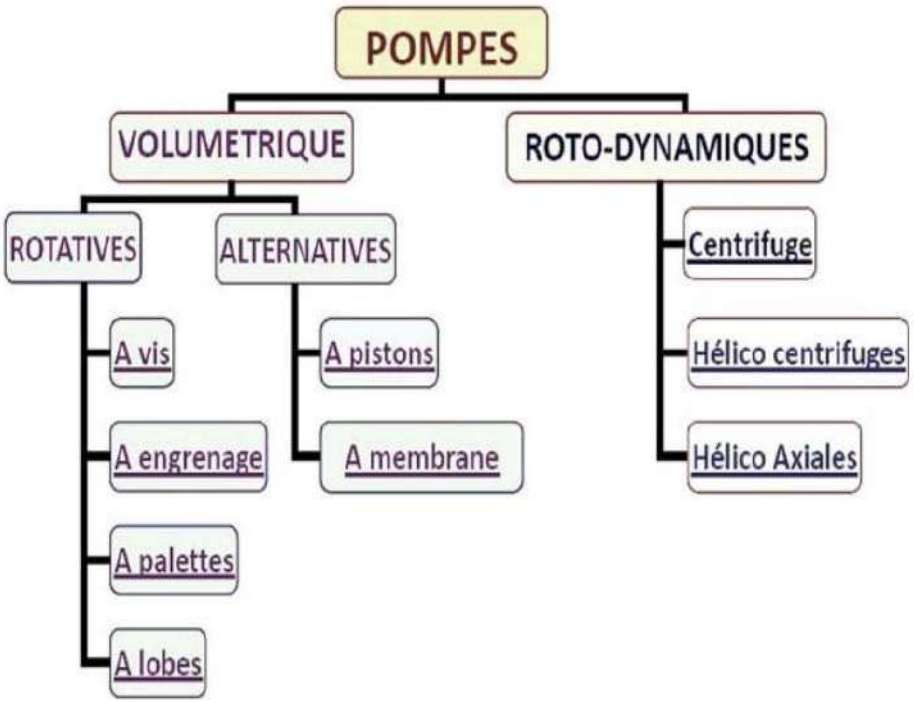


Figure. III.1 : classification des pompes. [12]

III.2.1.Famille I : pompes volumétriques à rotor tournant (rotatives)

Le fluide se trouve enfermé dans un volume clos, mais mobile, qui va le transférer d'un état de pression 1 à un état de pression 2, avec modification du volume circulant entre le circuit d'aller et celui de retour. Les modes de réalisation sont très variés : pompes à

engrenages, pompes à engrenages hélicoïdaux intérieurs, pompes à lobes, pompes péristaltiques, pompes à palettes, pompes à vis hélicoïdales,…etc. [13]

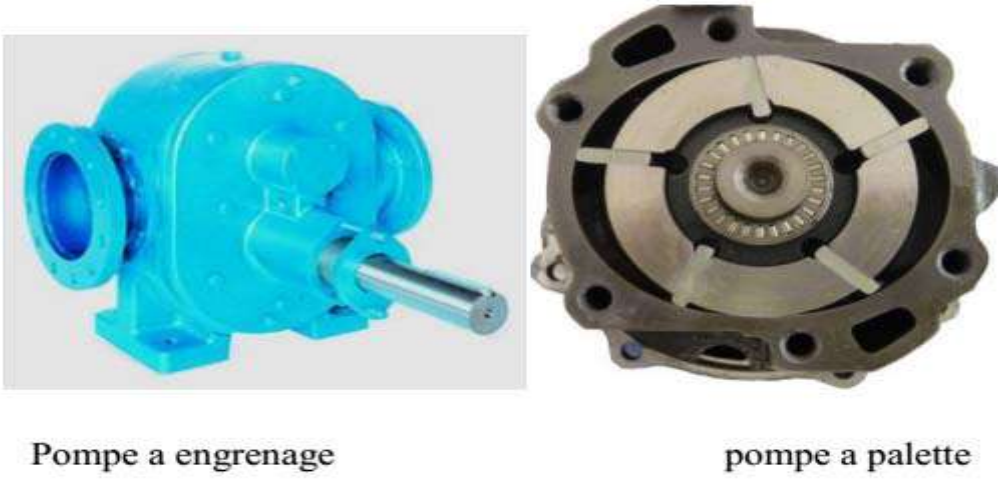


Figure. III .2: pompes volumétriques. [14]

III.2.1.1.Pompe à Vis.

Une vis centrale motrice entraînant deux vis satellites. Elles ont un fonctionnement silencieux et un écoulement stable, et engendrent des pressions élevées. [13]

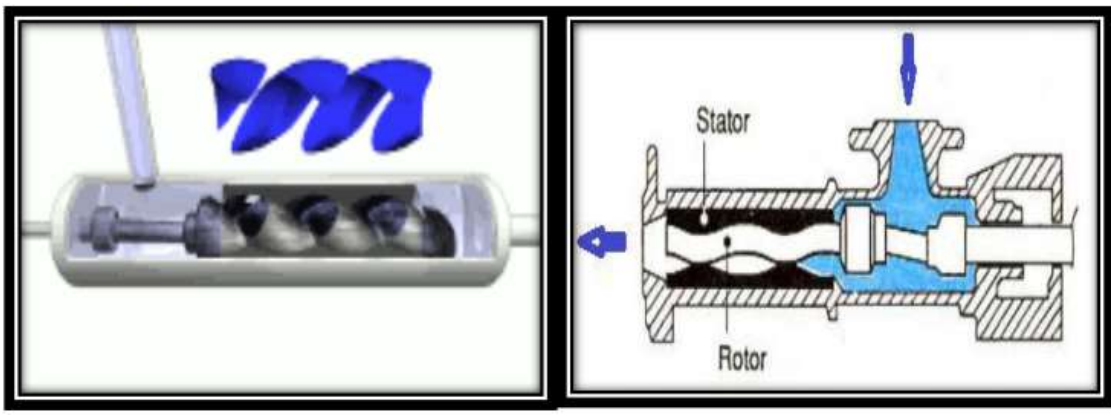


Figure. III .3. Pompe à vis [11]

III.2.1.2.Pompes à engrenages.

III.2.1.2.1 Pompes à engrenages extérieurs:

Ce type de pompe comporte un grand nombre de variantes qui diffèrent entre elles soit par la disposition, soit par la forme des engrenages. Dans tous les cas, le principe consiste à aspirer le liquide dans l'espace compris entre deux dents consécutives et à le faire passer vers la section de refoulement. Les pompes à engrenages peuvent avoir une denture droite,

hélicoïdale, ou encore à chevrons. Cette dernière solution présente l'avantage de rendre le mouvement plus uniforme. . [13]

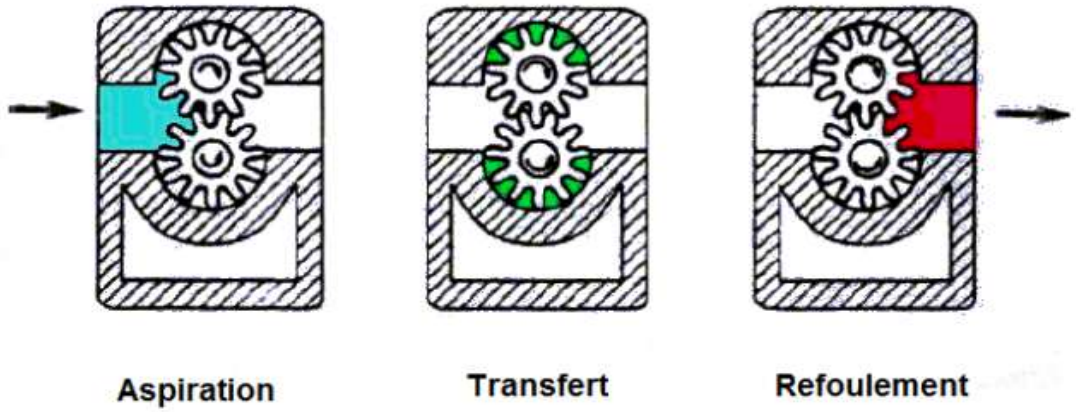


Figure. **III** .**4.** Pompe a engrenage extérieur. [11]

III.2.1.2.2 Pompes à engrenages intérieurs.

Le principe général consiste à placer un des engrenages à l'intérieur de l'autre. Cette disposition nécessite l'utilisation d'une pièce supplémentaire en forme de croissant qui permet l'étanchéité entre les deux trains d'engrenages.

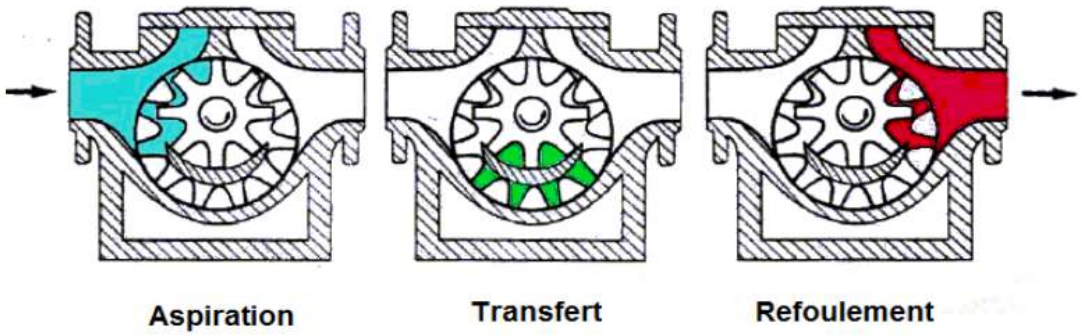


Figure. III.5. Pompe a engrenage intérieur. [11]

III.2.1.3.Pompes à aubes appelées (communément rotors).

Le principe reste le même que celui d'une pompe à engrenages externes classique à ceci près que les dents ont une forme bien spécifique et qu'il n'y a que deux ou trois dents (aubes) par engrenage Les rotors ne sont jamais en contact et, pour ce faire, sont entraînés par des engrenages externes. De ce fait, le pouvoir d'aspiration reste faible.



Figure. III .6. Pompes a lobes. [11]

III.2.1.4 Pompes à palettes

III.2.1.4.1.Pompes à palettes libres

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement. A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre.

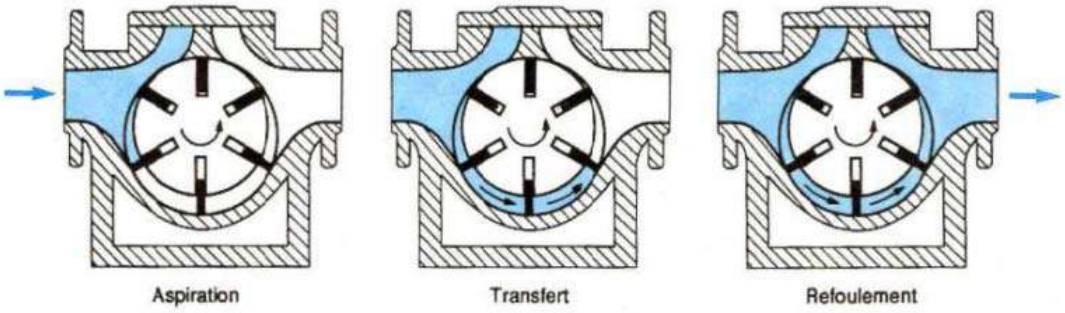


Figure. III 7. Pompe a palette libre. [11]

III.2.1.4.2.Pompes à palettes flexibles.

L'ensemble rotor-palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide.

Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides. Les caractéristiques, débit, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédentes. [13]



Figure. III 8. Pompe a palette flexible. [14]

III.2.2. Famille II : pompes volumétriques alternatives (à pistons)

Une pompe volumétrique alternative se compose aussi d'un corps de pompe parfaitement clos, à l'intérieur duquel se déplace un élément mobile rigoureusement ajusté ; mais la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Elles conviennent particulièrement bien pour des pressions élevées, et des débits faibles, généralement inférieurs à 100 m^3/h, mais pouvant atteindre 200 m3/h.

III.2.2.1.Pompes à membranes, ou à soufflets.

Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, Viton, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative.

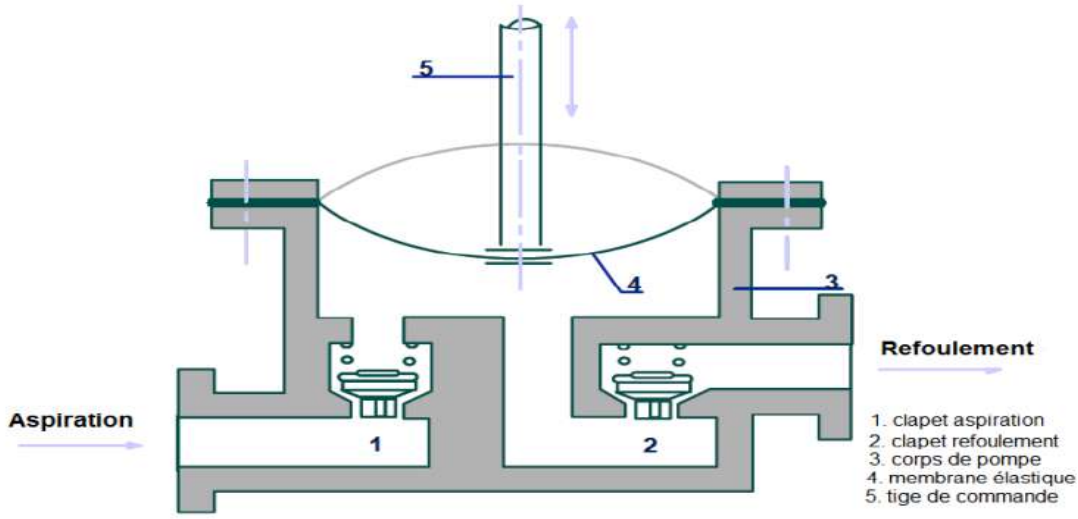


Figure. III.9. Pompe à membranes. [14]

III.2.2.2.Pompes à piston.

Son principe est d'utiliser les variations de volume occasionné par le déplacement d'un piston dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé: il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe. [13]

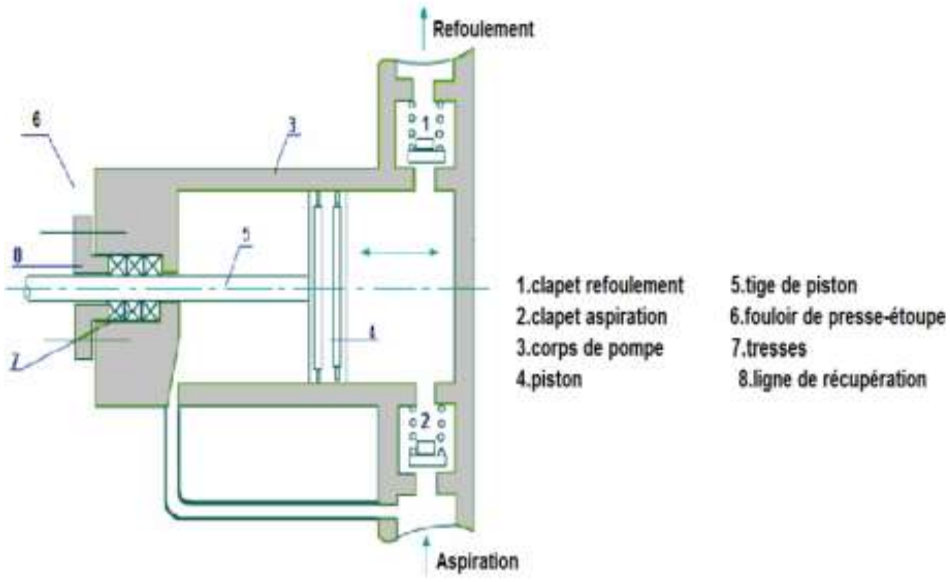


Figure. III .10. Pompes à piston. [11]

III.2.3.Famille III : pompes roto-dynamiques.

On regroupe sous cette appellation les pompes centrifuges, hélico centrifuges et hélices. Cette famille peut être caractérisée par le fait que la pression y est générée soit par l'action des forces centrifuges, soit par la conversion en pression de l'énergie cinétique communiquée au fluide (en le ralentissant). Dans la pratique, ces deux modes de génération de pression sont associés, même pour une pompe hélice, lorsque l'on s'écarte du point nominal.

Les pompes roto dynamiques constituent un système ouvert et en équilibre, où le fluide n'est jamais enfermé dans un volume totalement clos.

Cette famille de pompes est capable d'atteindre des débits Q très élevés, allant jusqu'à 105 m3/h. Encore convient-il de remarquer que cette limite n'est pas de caractère technologique, et que des débits sensiblement plus grands seraient réalisables.

III.2.3.1. Classification des pompes roto-dynamiques.

Dans la famille roto dynamiques, on classe les pompes. Selon la trajectoire du fluide (trajectoire de l'écoulement) :

- Les pompes centrifuges (à écoulement radial).
- Les pompes hélico-centrifuges (à écoulement diagonal).
- Les pompes axiales ou à hélices (à écoulement axiales).

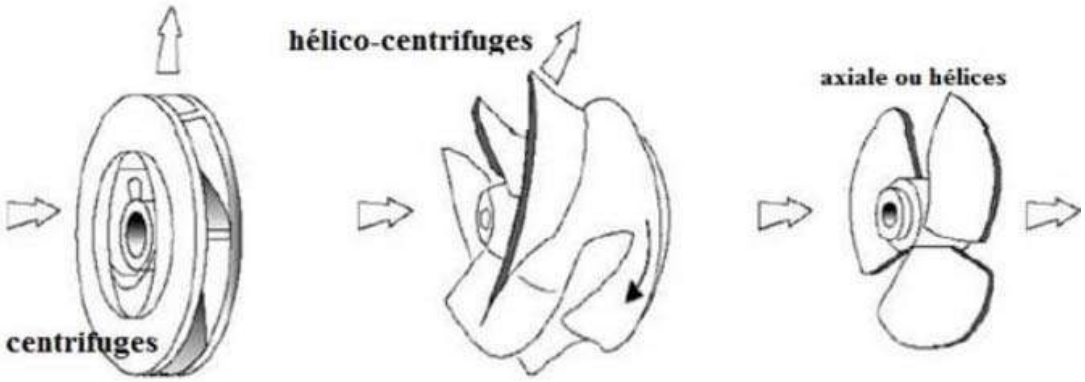


Figure. III .11 : Représentation des domaines respectifs des trois types de pompes roto-dynamiques. [13]

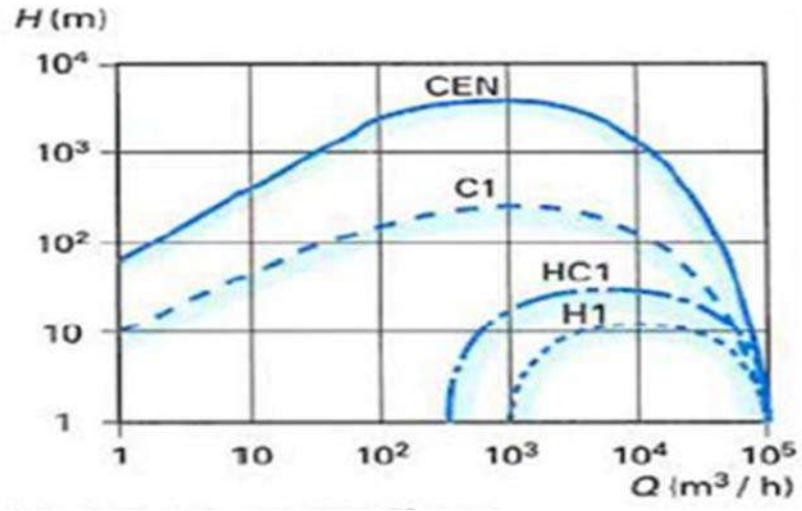


Figure. III .12 : Domaines d'utilisation des pompes industrielles roto-dynamiques. [13]

CEN : Ensemble des pompes centrifuges.

C1 : Pompes centrifuges monoétage.

HC1 : Pompes hélicocentrifuges monoétage.

H1 : Pompes hélices monoétage.

Selon le nombre d'étages :

- ✓ Monocellulaire : avec une seule roue (impulser) sur l'arbre.
- ✓ Multicellulaire : avec plusieurs impulser sur l'arbre disposé en série.

Selon la disposition de l'axe de la pompe :

- ✓ Pompe vertical.
- ✓ Pompe horizontal.

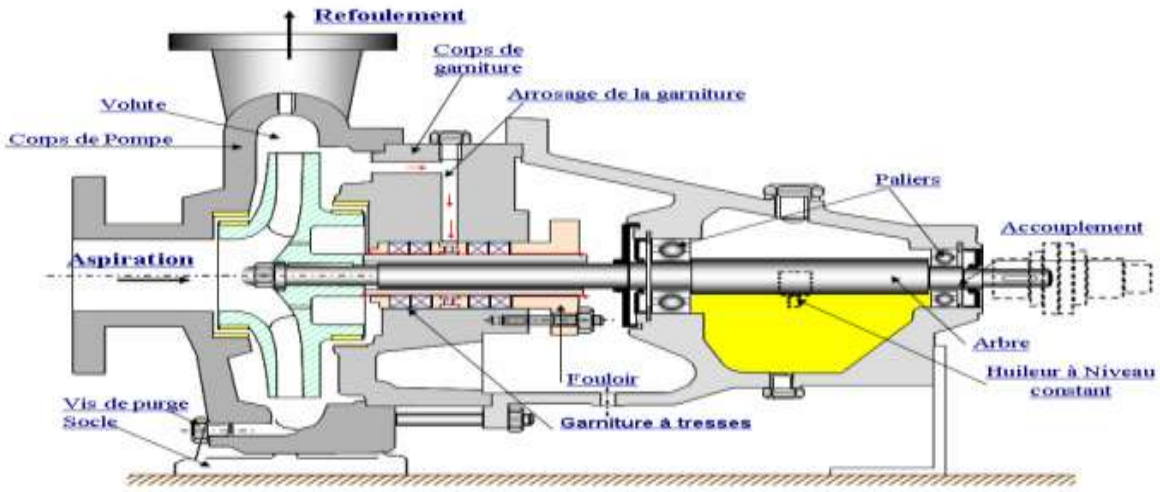


Figure. III.13. Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux. [13]

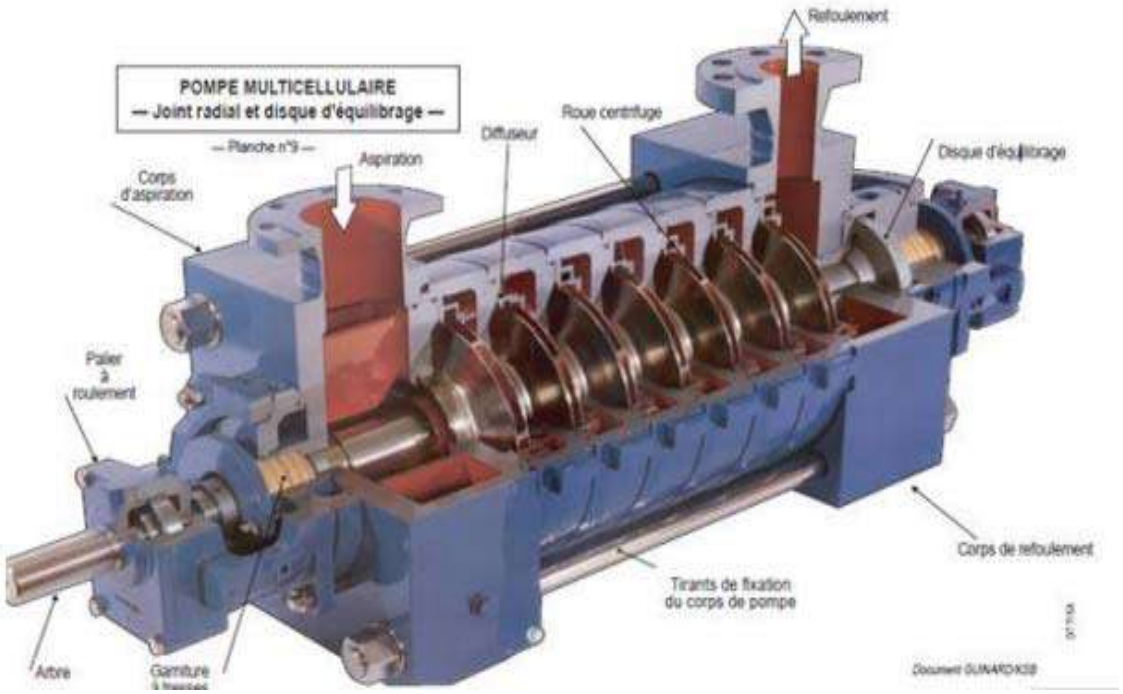


Figure. III .14. Pompe multicellulaire. [13]

III.2.3. 2. Avantages et inconvénients des pompes roto-dynamiques.

Concernant les avantages, ce sont des machines de construction simple, sans clapet ou soupape, d'utilisation facile et peu coûteuses.

- Leur rendement est souvent meilleur que celui des « volumétriques ».
- Elles sont adaptées à une très large gamme de liquide.
- Leur débit est régulier et le fonctionnement est silencieux.

Du côté des inconvénients :

- Impossibilité de pomper des liquides trop visqueux.
- Production d'une pression différentielle peu élevée (de 0.5 à 10 bar).
- Elles ne sont pas auto-amorçages
- à l'arrêt, ces pompes ne s'opposent pas à l'écoulement du liquide par gravité (donc, vannes à prévoir….).

III.2.3.3 Les pompes centrifuges

Une pompe centrifuge est un système ouvert, en quelque sorte un trou ou encore un conduit, dans lequel est mis en place un champ de forces centrifuges. Elle n'est pas basée sur le transport du fluide dans un godet ou sur la variation dans le temps d'un volume d'emprisonnement, le fluide n'est plus poussé par une paroi matérielle, mais mis en mouvement et équilibré par un champ de forces. Cela est une notion très simple, « que nous allons le voir dans ce qui suit », elle est basée sur d'autres principes. La pompe centrifuge fonctionne et s'utilise selon d'autres lois, qui sont l'objet de l'ensemble des paragraphes qui vont suivre. Nous y avons traité l'essentiel, cependant certains domaines restreints ou certains aspects particuliers n'ont pas été abordés.

III.2.3.4 Utilisation.

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées dans le domaine industriel à cause de la large gamme d'utilisation qu'elles peuvent couvrir, de leur simplicité et de leur faible coût. Néanmoins, il existe des applications pour lesquelles elles ne conviennent pas, comme.

- ✓ Utilisation de liquides visqueux, la pompe centrifuge nécessaire serait énorme par rapport aux débits possibles.
- ✓ Utilisation de liquides "susceptibles" c'est-à-dire ne supportant pas la très forte agitation dans la pompe (liquides alimentaires tel que le lait).
- ✓ Utilisation comme pompe doseuse ; la nécessité de réaliser des dosages précis instantanés risque d'entraîner la pompe en dehors de ses caractéristiques optimales.

Ces types d'application nécessitent l'utilisation de pompes volumétriques. Par contre à la plupart des pompes volumétriques, les pompes centrifuges admettent les suspensions chargées de solides.

III.3. Fonctionnement

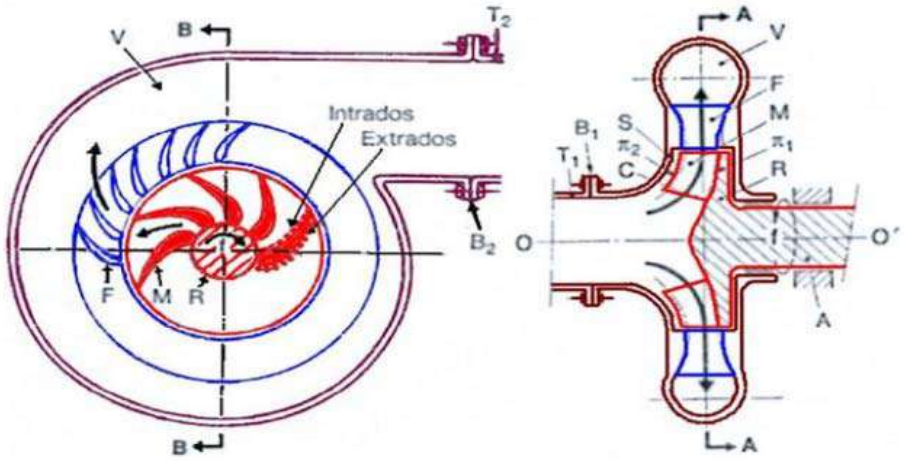


Figure. III .15 : Dessin descriptif d'une pompe centrifuge mono étage. [11]

A partir de la bride d'aspiration B1 dont la forme est circulaire, le fluide se répartit régulièrement vers la section d'entrée C des canaux mobiles qu'on appelle l'ouïe d'aspiration de la pompe. La quantité du fluide comprise entre B1 et C porte le nom de fond d'aspiration, elle représente le siège de l'écoulement permanent du fait du mouvement d'entraînement à vitesse angulaire constante.

Les aubes exercent des efforts de pression sur le fluide, qui se traduisent par l'existence d'une surpression le long de leur extrados et d'une dépression sur leur intrados. Le stator S de la pompe, encore appelé corps ou enveloppe, porte une couronne d'aubages fixes F appelée diffuseur à ailettes fixes qui présente aussi une symétrie par rapport à l'axe. L'espace compris entre deux aubages fixes constitue un canal fixe. L'énergie reçue par le fluide pendant la traversée des canaux mobiles se manifeste par un accroissement, d'une part de sa pression et d'autre part, de son énergie cinétique, une partie de cette énergie cinétique sera convertie en pression dans les aubages fixes à la sortie du diffuseur, le fluide doit être collecté et conduit vers la tuyauterie T_2, cette dernière fonction est remplie par une capacité V qui s'enroule autour du diffuseur et qui doit à sa forme géométrique le nom de volute; Dans une certaine mesure, cet espace est utilisé pour une transformation complémentaire de l'énergie cinétique en énergie de pression.

Les roues des pompes centrifuges sont très souvent fermées, constituées de deux flasques entretoisées par les aubes ; ces aubes peuvent être semi-ouvertes avec un seul flasque arrière

ou encore ouvertes, sans flasque Toutes ces roues centrifuges sont alimentées axialement par le liquide, après circulation dans les canaux, le liquide sort radialement par rapport à l'axe de rotation.

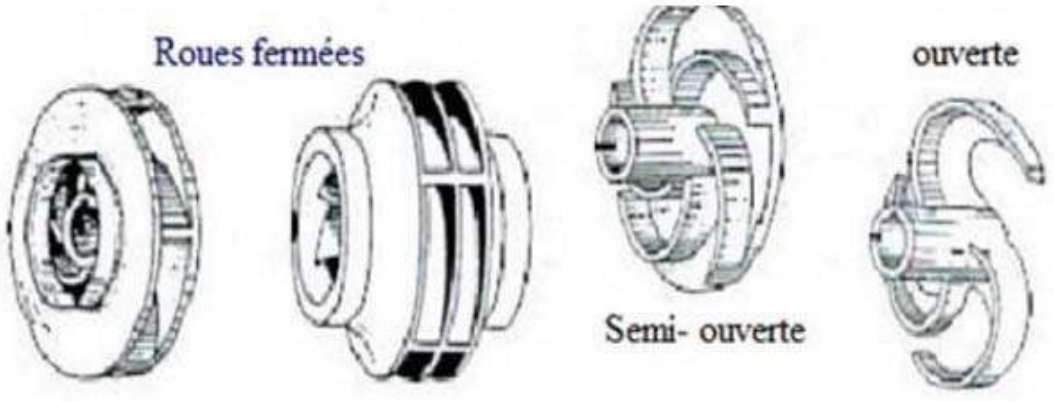


Figure. III .16 : Types de roue. [12]

III.4. Théorie des pompes centrifuges.

III.4.1. Critères généraux de définition des pompes.

Les critères les plus importants sont :

- La vitesse de rotation N [*tr/min*] :c'est le nombre de tours qu'effectue la pompe par unité de temps.

$$\omega = (2\pi.N) / 60 \quad [rad/sec] \qquad \text{(III.1)}$$

* Le débit Q [m^3/s]:

C'est le volume qu'une pompe peut ou doit fournir par unités de temps

- La hauteur H [m] produite par la pompe : cette hauteur est la différence entre la hauteur totale du liquide au refoulement (HR) et la hauteur totale à l'aspiration (HA).
- La puissance utile est absorbée : la puissance disponible au niveau de l'arbre d'entrainement de la roue de la pompe est la puissance absorbée P_A de cette pompe.

La puissance transmise au fluide est appelée puissance hydraulique utile Pu le rapport de la puissance utile PU et la puissance absorbée PA est le rendement global de la pompe ηg.

III.4.2. Types des pertes

Dans la pompe centrifuge :

a. Pertes mécaniques :

- ✓ Perte dans paliers radiaux.
- ✓ Perte dans paliers axiaux.
- ✓ Pertes d'accouplement.

- ✓ Pertes dans la garniture mécanique.
- ✓ pertes par frottement de disque.
- ✓ Pertes par frottement sur un cylindre.

b. pertes par fuites :

- ✓ fuite d'une garniture d'ouïe mono étage.
- ✓ fuite dans une garniture d'ouïe bi étage.
- ✓ fuite sur barrage arrière d'une roue équilibrée.
- ✓ fuite au piston d'équilibrage.
- ✓ fuite à l'extrémité des aubes.
- ✓ fuite externes.

c. pertes hydrauliques :

Les pertes hydrauliques sont constituées par :

- ✓ les pertes dans le conduit d'amenée.
- ✓ les pertes dans les roues.
- ✓ les pertes dans les diffuseurs lisses.
- ✓ les pertes dans les canaux de retour.
- ✓ les pertes dans la volute ; le diffuseur droit et le coude pour les pompes hélices.
- ✓ les pertes des organes situés sur les conduits (pipe) entre les pompes et les puits injecteurs.

III.4.3. Le rendement

Le rendement de la pompe c'est le rapport entre la puissance hydraulique (reçue par le liquide) et la puissance mécanique fournie à la pompe. Ce rendement varie en fonction du débit. Il est représenté par une courbe fournie par le constructeur de la pompe puissance sur l'arbre connaissant la puissance hydraulique.

Le meilleur rendement de la pompe détermine le débit nominal pour lequel correspondent la hauteur nominale et la puissance nominale. Les rendements maximaux sont de l'ordre de :

- 70 % pour les pompes procédant à 3000 tr/min.
- 80 % pour les pompes procédant à 1500 tr/min.
- 80 % pour les pompes de forte puissance.
- 50 à 60 % pour les petites pompes.

III.4.3.1.Rendement globale.

$$\eta_g = \frac{P_u}{P_a} \quad \text{(III.2)}$$

Pu: puissance utile. Avec $P_u = \rho . g . H_{man} . Q$

Pa: puissance totale absorbée.

III.4.3.2. Rendement mécanique.

$$\eta_{mec} = \frac{P_i}{P_a} \quad \text{(III.3)}$$

Pi: Puissance interne = $P_a - P_{mec}$

P_{mec} : puissance mécanique

III.4.3.3. Rendement par frottement interne.

$$\eta_{fi} = \frac{P_i - P_{fi}}{P_i} \quad \text{(III.4)}$$

P_{fi} : puissance par frottement sur disque et sur cylindre.

III.4.3.4.La Hauteur manométrique totale de la pompe

Elle représente l'énergie fournie par la pompe au fluide. Le bilan d'énergie Appliqué entre les sections A et R (surfaces libres dans les 2 réservoirs d'aspiration et de refoulement) peut s'écrire en deux étapes ;

1. Tronçon de conduite amont : du point A au point 1 (entrée de la pompe.

$$H_A = H_1 + \Delta H_{A1} \quad \text{(III.5)}$$

2. Tronçon de conduite aval : du point 2 (sortie de la pompe.

$$H_2 = H_R + \Delta H_{2R} \quad \text{(III.6)}$$

$$(H_2 - H_1) = (Z_R - Z_A) + \frac{P_R - P_A}{\rho g} + \frac{V_R^2 - V_A^2}{2g} + \Delta H_{A1} + \Delta_{2R} \quad \text{(III.7)}$$

III.4.4.Formule pratique d'utilisation.

$$H_{mt} = \frac{P_R - P_A}{d} + H_0 + \Delta H \quad \text{(III.8)}$$

avec $\boldsymbol{P_R}$ et $\boldsymbol{P_A}$ sont exprimées en bar, et $\boldsymbol{d}$ la densité du liquide à la température d'opération.

Cette égalité représente le point d'intersection appelé :

- Point de fonctionnement (entre les deux courbes) ;
- Courbe caractéristique de la pompe; $H_{mt}(Q_v)$.
- Courbe caractéristique de l'installation; $Y(Q_v)$.

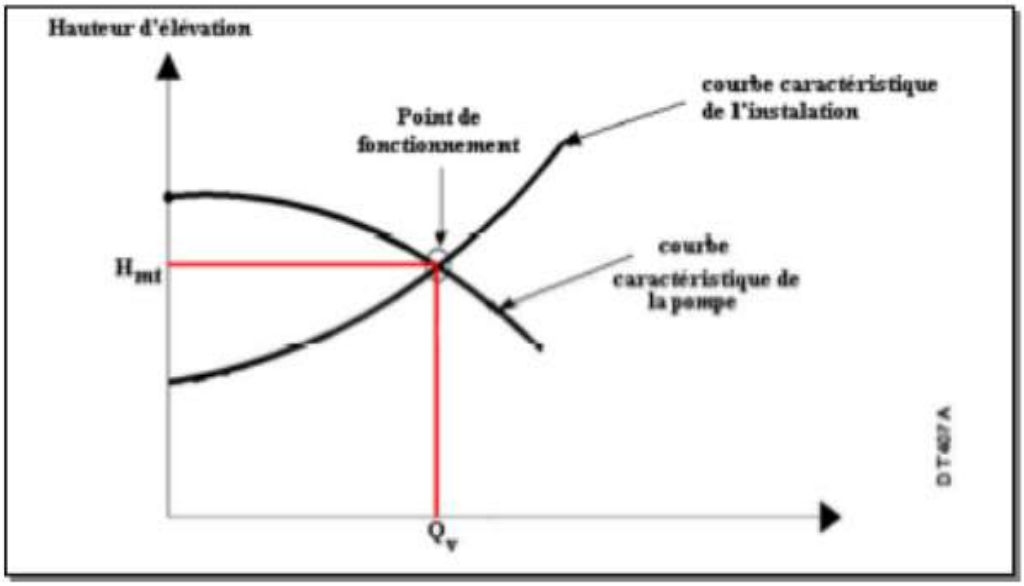


Figure. III .17: Point de fonctionnement. [13]

III.4.5. Le Dispositif D'entraînement.

- ✓ Entraînement par un moteur électrique
- ✓ Entraînement par un moteur à combustion interne

III.4.5.1. Entraînement par un moteur électrique.

Le moteur électrique entraîne dans ce cas la pompe à haute vitesse, par l'intermédiaire d'un multiplicateur. Dans certaines applications, le multiplicateur est intégré à la pompe Dans le cas de moteur à vitesse fixe, il est nécessaire de prévoir un système supplémentaire de réglage du débit.

De plus en plus fréquemment les pompes centrifuges sont entraînées par des moteurs électriques à vitesse variable permettant ainsi de réguler le débit économiquement.

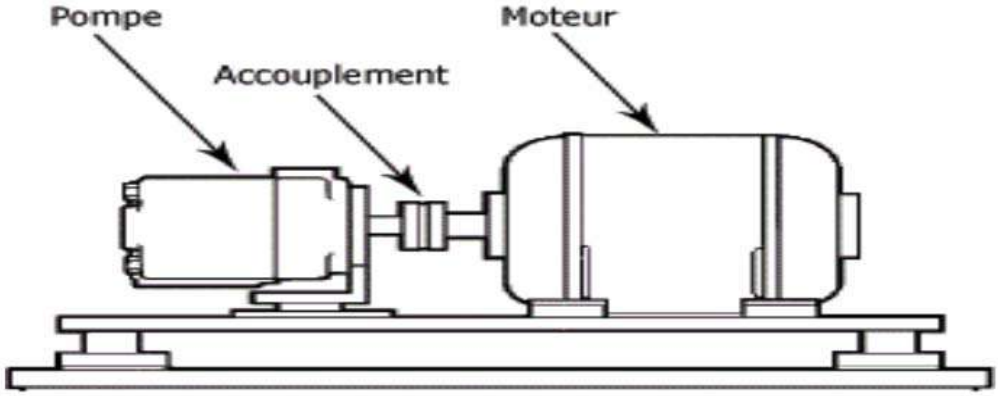


Figure. III.18: entrainement par moteur. [12]

III.5.Les courbes de pompe – courbes de réseau – point de fonctionnement:

III.5.1.Courbe de pompe.

La courbe de pompe détermine les performances hydrauliques de celle-ci (hauteur manométrique et débit). Le point de fonctionnement d'une installation (pertes de charge-débit) devra se situer sur la courbe de pompe.

Lorsque que l'installation offre une résistance (pertes de charge) faible, la pompe forcera peu et le débit sera important ; inversement, lorsque l'installation offre une résistance importante, la pompe forcera plus et le débit diminuera.

La représentation habituelle est la suivante (figure III.19) :

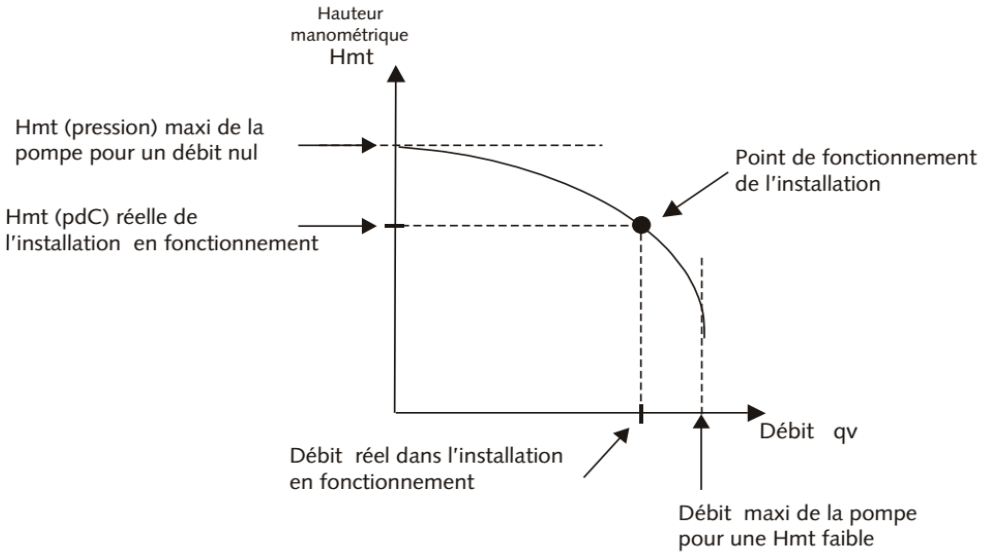


Figure III.19: Courbe caractéristique d'une pompe.

En général, on choisi un point de fonctionnement situé sur le tiers de la partie centrale de la courbe, car elle correspond au fonctionnement de la pompe à son meilleur rendement (figure 3.20).

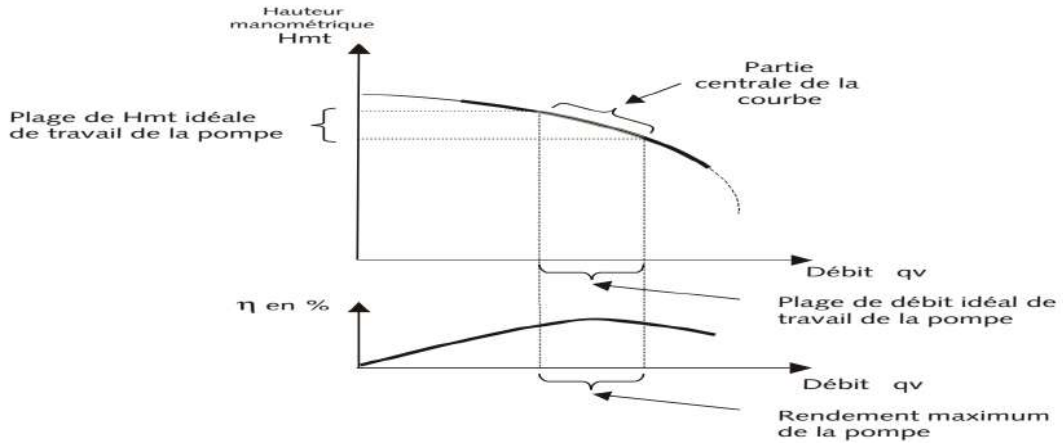


Figure III.20: Choix du point de fonctionnement. [14]

Il est souhaitable de choisir un point de fonctionnement situé dans la partie centrale (en gras) de la courbe, et préférable de choisir sa position dans le tiers central de la courbe en gras (en gris sur le graphique), c'est dans cette zone que le rendement est le meilleur.

• Si le point de fonctionnement se situe trop à gauche de la courbe, la pompe force trop, sa consommation d'énergie sera importante.

• Si le point de fonctionnement se situe trop à droite de la courbe, le débit dans l'installation sera trop important, on risquera d'avoir des bruits de fonctionnement importants et de faire caviter la pompe.

Pour faciliter la sélection, les constructeurs proposent des pompes ayant trois vitesses. Dans ce cas, il suffit de tourner un commutateur pour choisir la vitesse de la pompe et la courbe correspondante (figure 3.21).[14]

Vitesse	P_1(W)	I_n(A)
3	50	0,23
2	45	0,20
1	35	0,16

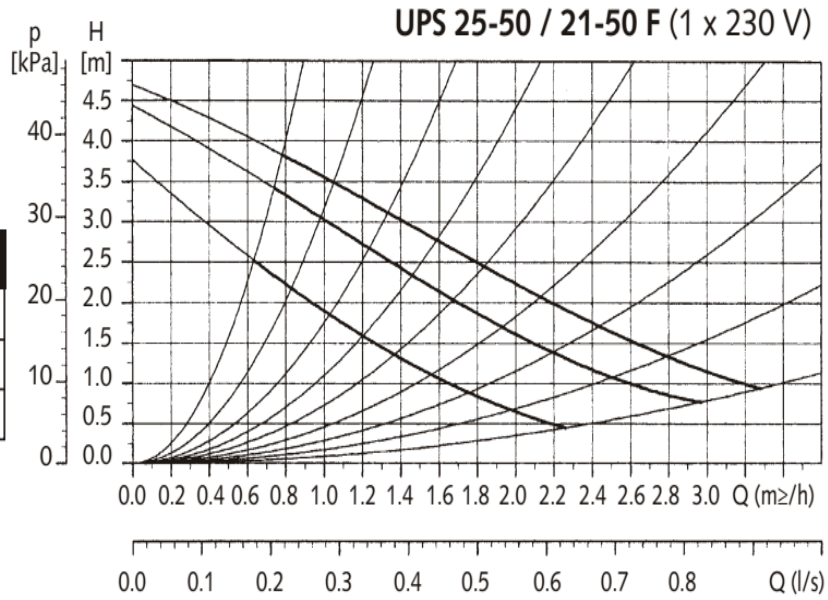


Figure III.21: Courbe de calculatrices 3 vitesses UPS 25-50 GRUNDFOS. [14]

III.5.2.Courbes de réseau

Chaque installation (réseau) est caractérisé par ses pertes de charge, celles-ci évoluent en fonction de la vitesse de l'eau (donc du débit).

Lorsque la vitesse augmente, les frottements et les pertes de charge augmentent aussi. Les pertes de charge correspondent à une perte de pression dans l'installation, ce que devra compenser la pompe.

Un réseau très résistant est un réseau dont les pertes de charge augmentent de manière très importante lorsque le débit augmente peu.

Un réseau peu résistant est un réseau dont les pertes de charge augmentent peu lorsque le débit augmente de manière importante.

On peut représenter graphiquement l'évolution des pertes de charge dans une installation en fonction du débit par les courbes en pointillé situées sur la (figure III.22).

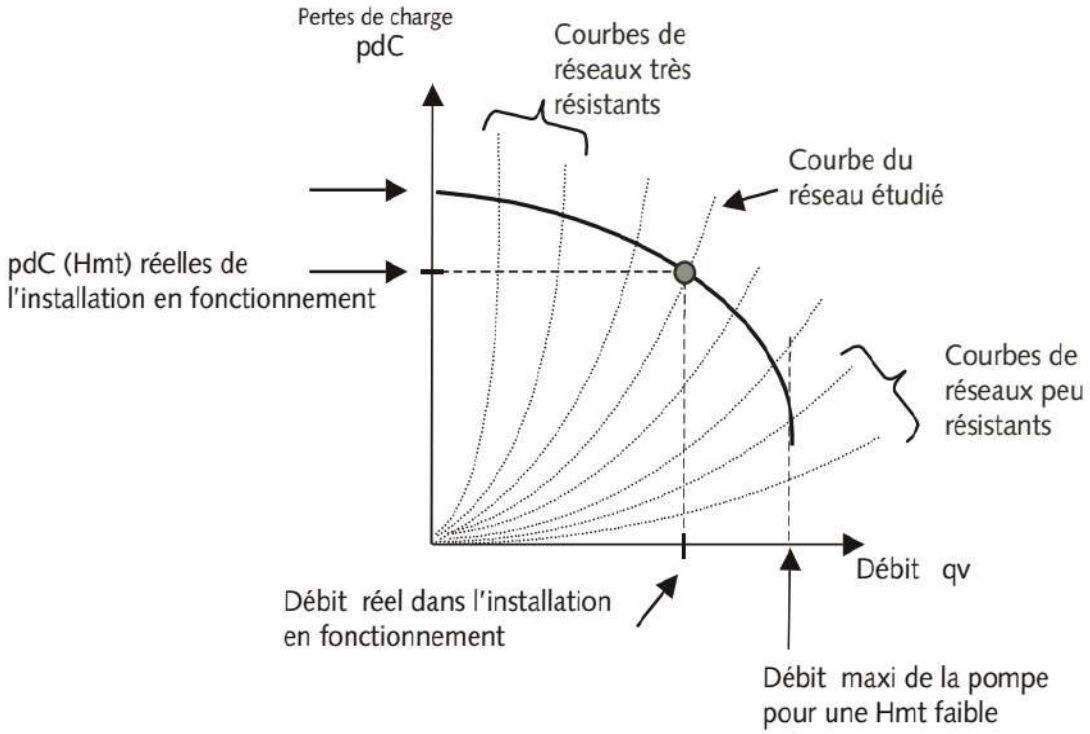


Figure III.22 : Évolution des pertes de charge en fonction du débit.[14]

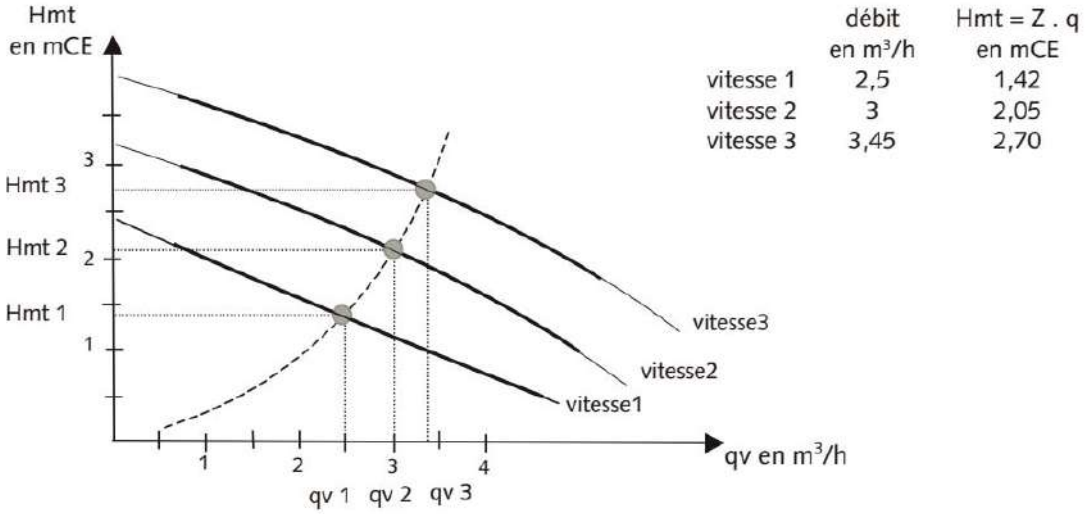
Ainsi, si l'on prend par exemple une installation particulière équipée d'un circulateur, l'intersection delà courbe réseau (qui caractérise l'installation) et de la courbe de pompe déterminera le point de fonctionnement de l'ensemble réseau-pompe (point gris sur la figure III.19).

III.5.2.1.Coefficient de la courbe de réseau

À partir d'une seule mesure effectuée sur le manomètre situé sur l'installation (manomètre du circulateur), on peut calculer le coefficient qui caractérise cette courbe de réseau (figure III.22).

Ce coefficient sert à recalculer le débit en fonction de la hauteur manométrique ou, la hauteur manométrique en fonction du débit dans l'installation.

On peut donc prévoir à l'avance qu'elle sera la perte de charge dans l'installation si on fait varier le débit.



	débit en m³/h	Hmt = Z . q en mCE
vitesse 1	2,5	1,42
vitesse 2	3	2,05
vitesse 3	3,45	2,70

Figure III.23: Évolution du point de fonctionnement sur un circulateur à trois vitesses.

On peut ainsi calculer le coefficient caractéristique du réseau :

$$Z = \frac{\Delta P}{q^2} = \frac{2.05}{3^2} = 0.2277 \qquad \text{(III.9)}$$

À partir de cette valeur de Z, on peut recalculer la valeur des pertes de charge de l'installation en fonction du débit (remplacement d'une pompe, augmentation de la puissance de l'installation et donc du débit…).

Pour plus de précision dans le calcul, si le circulateur possède 3 vitesses, on effectuera plusieurs mesures et plusieurs calculs pour trouver une valeur plus précise du coefficient caractéristique du réseau, en effectuant une moyenne des valeurs trouvées.

Une méthode plus rapide consistera à utiliser le calcul suivant :

• on effectue une mesure de perte de charge (pdC1) pour un débit donné (qv1) ;

• pour connaître la perte de charge (pdC2) au débit souhaité (qv2), on utilisera la formule suivante :

$$pdC_2 = pdC_1 \times \left(\frac{Q_{V2}}{Q_{V1}}\right)^2 \qquad \text{(III.10)}$$

III.5.3.Rendement et choix des courbes

Le rendement d'une pompe dépendra principalement de la position du point de fonctionnement. Il devra se situer dans la partie grise de la courbe de la (figure III.24), car c'est dans cette zone que le rendement est le meilleur.

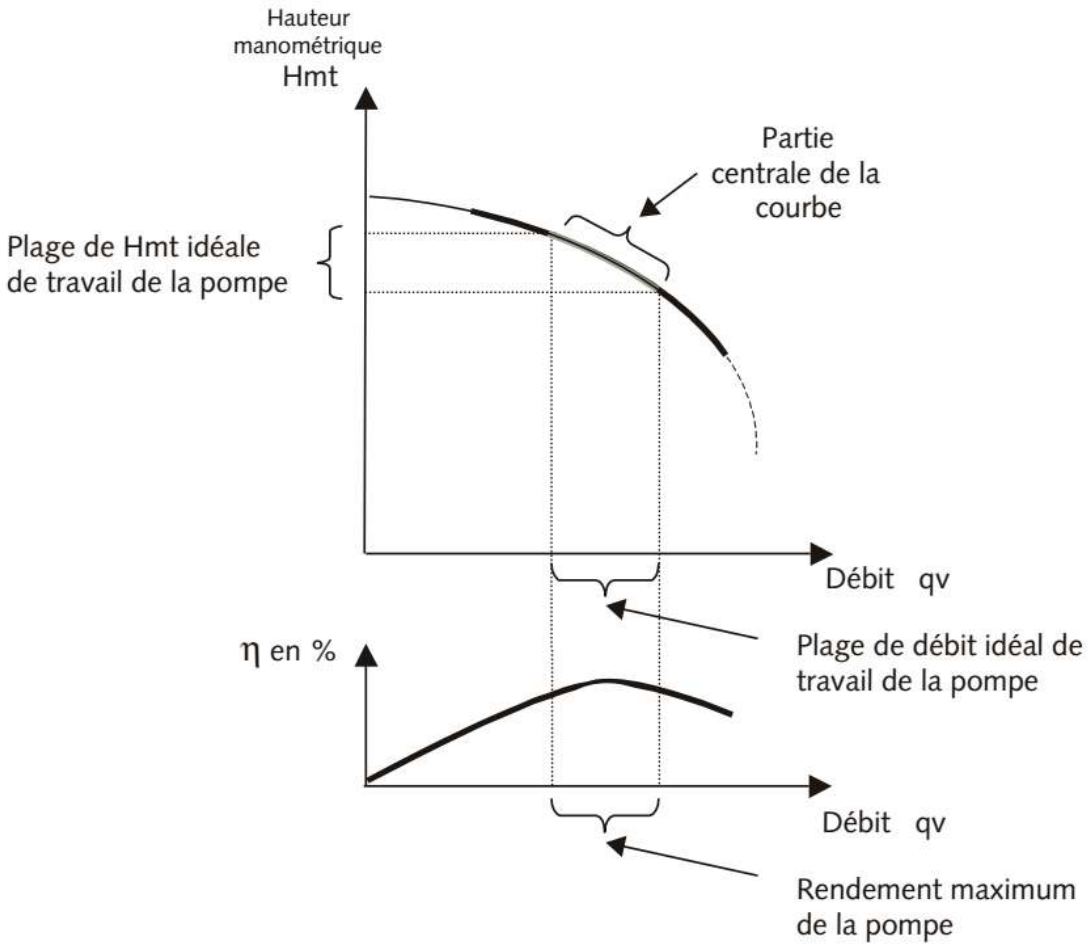


Figure III.24: Courbe caractéristique d'une pompe. [14]

Il est possible de calculer le rendement réel d'une pompe à partir de relevés hydrauliques et électriques effectués sur l'installation, mais les mesures restent peu précises et les calculs présentent une marge d'erreur importante.

L'utilisation de la méthode graphique ci-dessus reste la plus efficace, on se reportera aux courbes caractéristiques fournies par les constructeurs. [14]

Introduction

Les pompes sont utilisées pour transférer du fluide dans un système, soit au même niveau ou à une nouvelle hauteur. Le débit dépend de la hauteur à laquelle le fluide est pompé, et la relation entre «hauteur» et débit est appelée «caractéristique de la pompe». Dans Cette chapitre déterminé expérimentalement pour une pompe et l'ensemble de test TQ(TecQuipment) H32 série et pompe parallèle fournit un moyen peu coûteux et efficace de démontrer comment cela est réalisé, et de permettre des expériences plus détaillées.

Le H32 utilise des pompes de chauffage central, plus communément appelées calculateurs, qui fournissent des rendements relativement faibles par rapport aux pompes conçues pour de hautes performances, ce qui permet d'utiliser le banc hydraulique H1 comme source d'eau et de mesurer le débit.

Souvent, dans les applications de génie mécanique, une pompe unique ne peut pas fournir le débit ou la tête nécessaire pour un besoin particulier, et deux (ou plus dans la pratique) peuvent être combinés en série pour augmenter la hauteur à laquelle le fluide peut être pompé. Le H32 montre comment les caractéristiques combinées de la pompe sont comparables à celles de la pompe simple.

Des ensembles de test plus sophistiqués, tels que le banc d'essai de pompe centrifuge informatisé H36, peuvent être trouvés dans le TQ. Ceux-ci sont adaptés à des études plus avancées dans la performance dynamique des pompes.

IV.1. théorie simple de la performance de la pompe.

L'augmentation de la hauteur H entre l'entrée et la sortie d'une pompe est en fonction du débit Q et de la vitesse de rotation N. Cette relation est exprimée graphiquement et appelée "caractéristique de pompe", comme le montre la figure. **(**Figure. IV. 1)

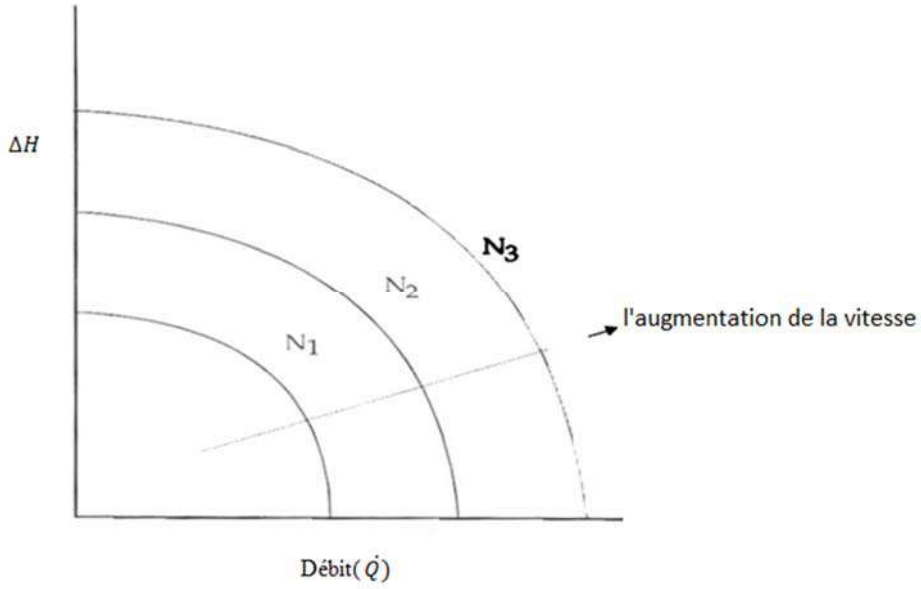


Figure. IV. 1: Caractéristiques de la pompe

ΔH est une hauteur mesurée en mètres d'eau, mais une convention alternative est d'utiliser l'augmentation de pression à travers la pompe, $\Delta P(N/m^2$ ou bar).

ΔP et ΔH sont liés entre eux par

$$\Delta P = \rho g\, H \qquad \text{(IV.1)}$$

En termes de ΔH :

Débit massique à travers la pompe:

$$\dot{m} = \rho \dot{Q} \quad (kg/s) \qquad \text{(IV.2)}$$

Puissance hydraulique générée,

$$P_H = \dot{m} g H = \rho \dot{Q} g H \quad (W) \qquad \text{(IV.3)}$$

Efficacité globale la pompe

$$\eta = \frac{P_H}{\dot{W}} = \frac{\rho \dot{Q} g H}{\dot{W}} \qquad \text{(IV.4)}$$

En termes de montée de pression à travers la pompe:

$$\eta = \frac{\dot{Q} \Delta p}{\dot{W}}$$

L'efficacité globale d'une petite pompe de circulation n'est pas généralement très supérieure à 10-15%.

IV.2.assemblage de pompes.

IV.2.1. deux pompes en série.

Une représentation schématique de deux pompes en série est montrée sur la (figure IV. 2). En ignorant les pertes qui se produit entre les deux pompes, le débit à travers les deux pompes est le même, mais la pressurisation globale est la somme des deux valeurs individuelles. Si les deux pompes sont identiques, l'augmentation de pression est doublée pour un débit donné. La (figure IV. 3) montre les caractéristiques d'écoulement de pression pour deux pompes en série.

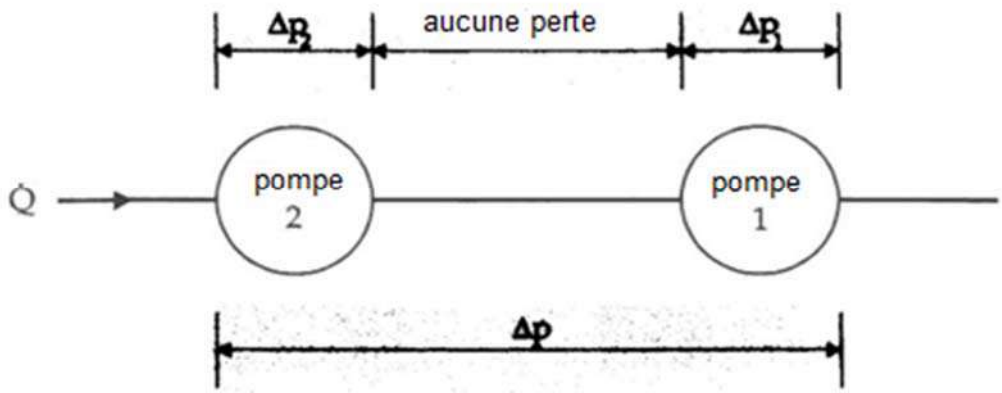


Figure .IV.2 Schéma montrant deux pompes en série.

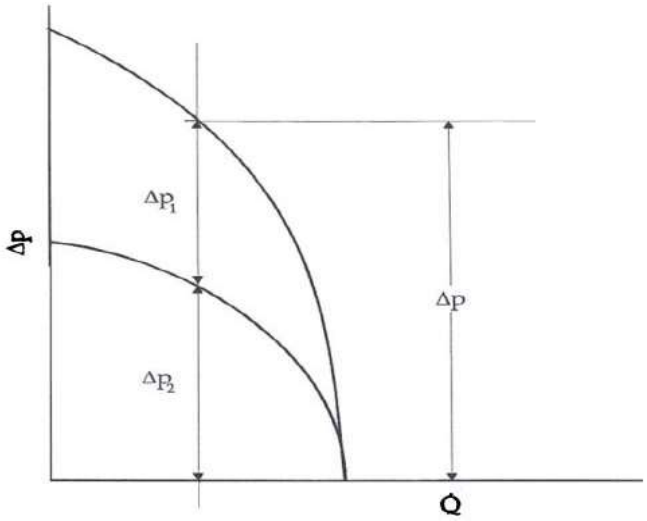


Figure .IV.3 Caractéristiques de pression-débit pour deux pompes en série.

IV.2.2.deux pompes en parallèle.

Une représentation schématique de deux pompes en parallèle est montrée sur la (figure IV.4). En cas de perte entre les deux pompes, l'augmentation de la pression à chaque pompe est la même et la pression totale augmente. Le débit global est la somme des deux valeurs individuelles, comme le montre la (figure IV.5). Si les deux pompes sont identiques, le débit total est le double de celui de chaque pompe.

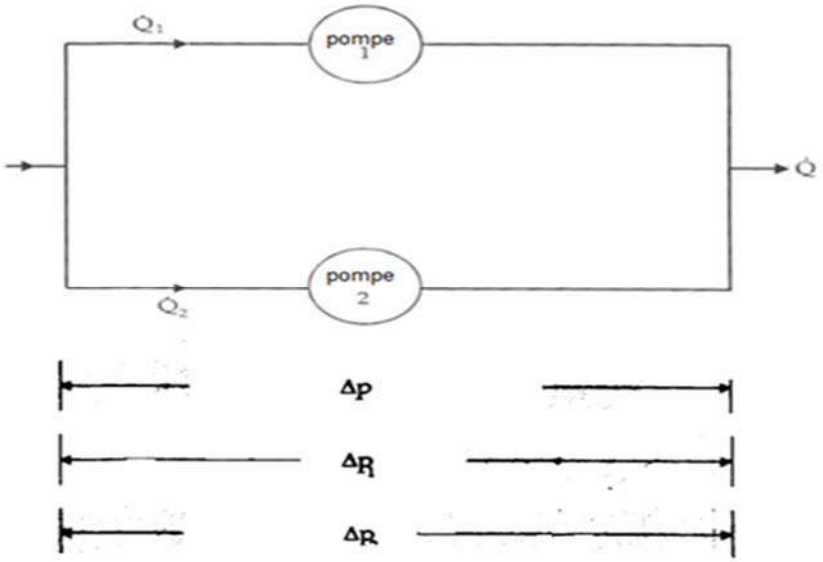


Figure .IV. 4: Schéma montrant deux pompes en parallèle.

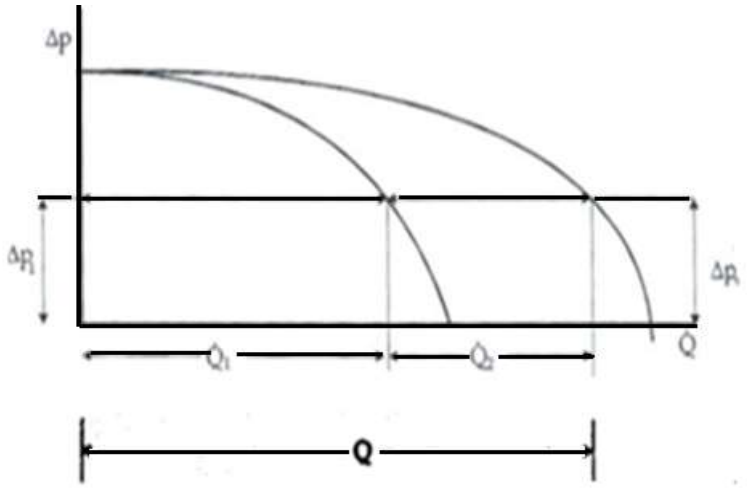


Figure .IV. 5. Caractéristiques pression-débit pour deux pompes en parallèle.

La caractéristique réelle de l'écoulement de pression est une courbe de la forme;

$$\Delta p = A - B\dot{Q}^2 \qquad \text{(IV.5)}$$

Où A et B sont des constantes qui dépendent du système. Il est donc utile de tracer des courbes Δp contre $\dot{Q}^2$ (figure IV.6), qui devraient être des lignes droites.

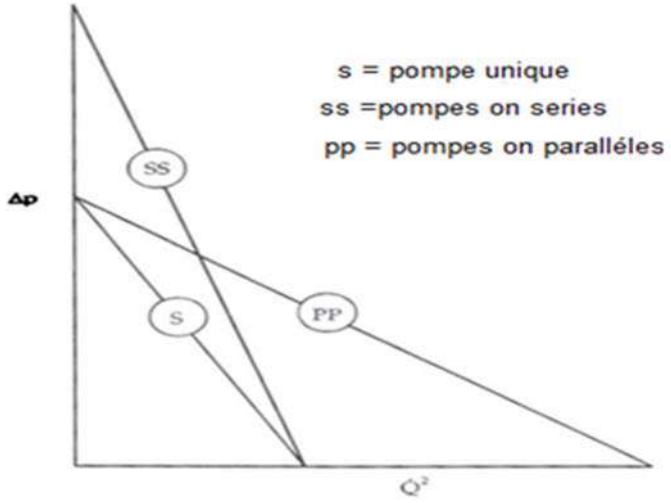


Figure. IV. 6. Variation Δp en fonction de Q^2.

En pratique, en raison des tolérances de fabrication, les performances de chaque pompe peuvent être légèrement différentes. à des fins de démonstration, il est satisfaisant de supposer que les deux pompes ont la même caractéristique.

IV.2.3. Efficacité de pompe.

L'efficacité de la pompe est calculée à partir de:

$$\eta = \frac{\dot{Q}\Delta p}{\dot{W}}$$

Où Q est le flux à travers chaque pompe et Δp est l'augmentation de la pression à travers elle.

Des précautions doivent être prises lors du calcul du rendement individuel des pompes en série et en parallèle.

En série, l'écoulement à travers chaque pompe est égal au débit mesuré, mais l'élévation de pression dans la pompe amont est approximativement (p_1-p_2).

Pour un écoulement parallèle, le débit à travers chaque pompe est la moitié de la valeur mesurée.

IV.3. description de l'appareil.

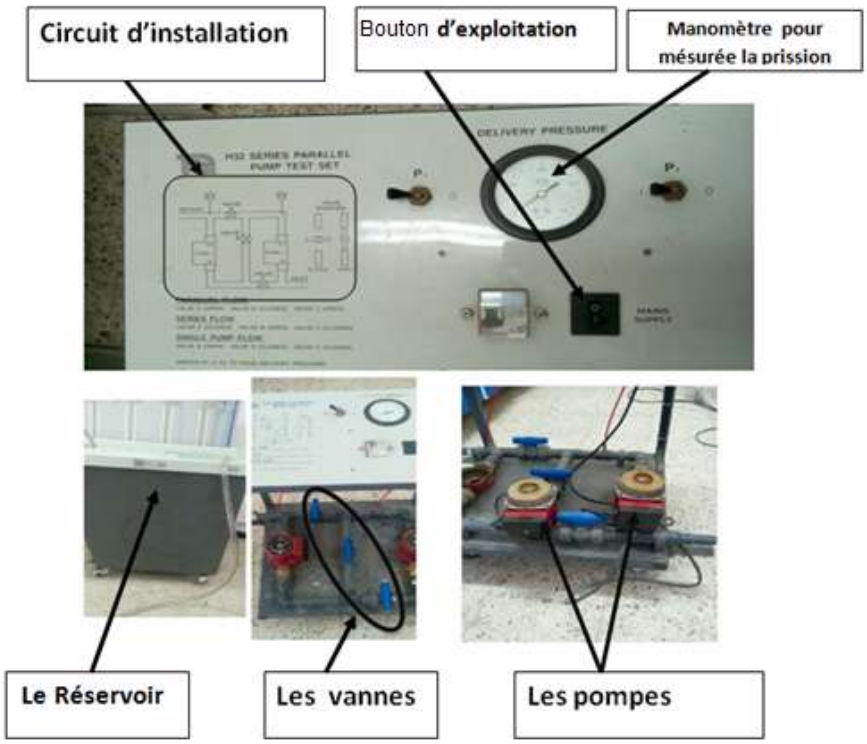


Figure .IV.7.Ensemble de test de la série H32 et de la pompe parallèle (vue d'en haut montrant le panneau de commande et la configuration de la pompe).

Deux groupes motopompes monophasés similaires à plusieurs vitesses sont raccordés par un système de tuyauterie, de telle sorte que chaque pompe peut fonctionné uniquement, en série et en parallèle.

Les (figures IV.8, a, b, c et d) montrent la position des trois vannes **A**, **B** et **C** nécessaires pour établir chaque condition de flux.

Chaque pompe qui contient bouton qui permet de l'allumer ou de l'éteindre, avec une commande à trois vitesses.

Les détails de la construction et de l'entretien de la pompe sont donnés dans la fiche technique du fabricant (fournie séparément).[6]

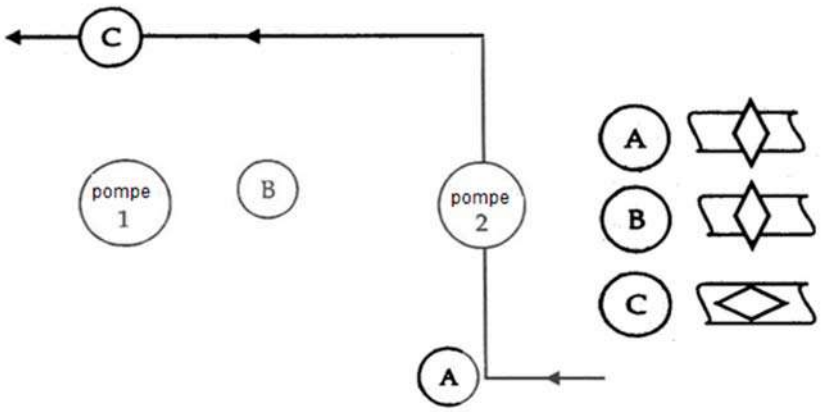


Figure IV.8a. Réglage des trois vannes de régulation: Pompe 2.

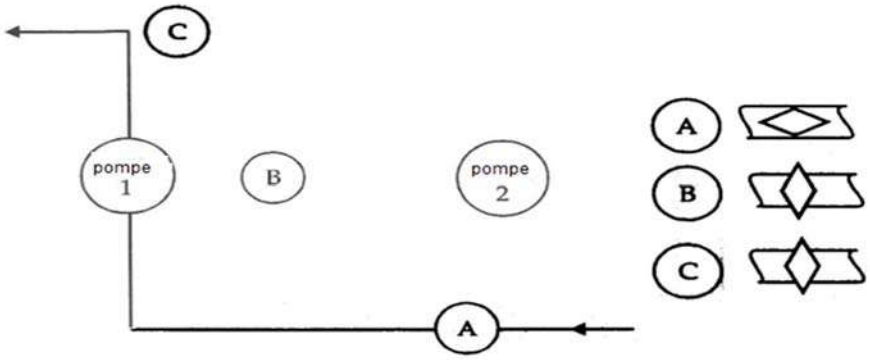


Figure IV.8.b. Réglage des trois vannes de régulation: pompe 1.

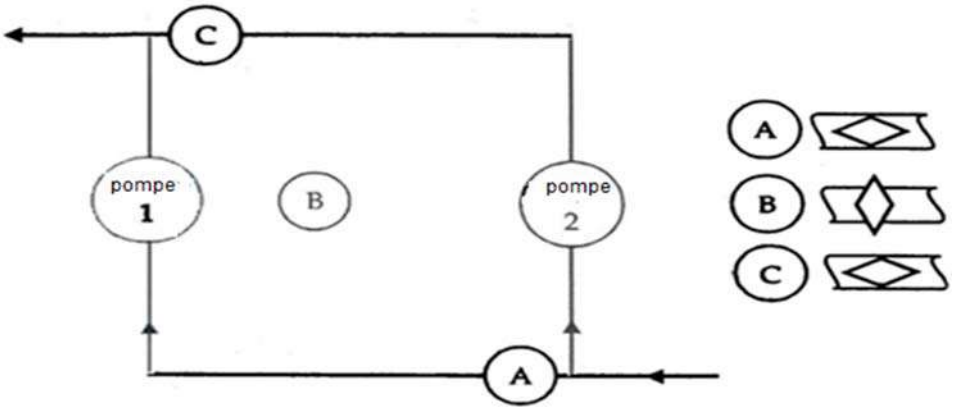


Figure IV.8.c. Réglage des trois vannes de régulation: Pompes en parallèle.

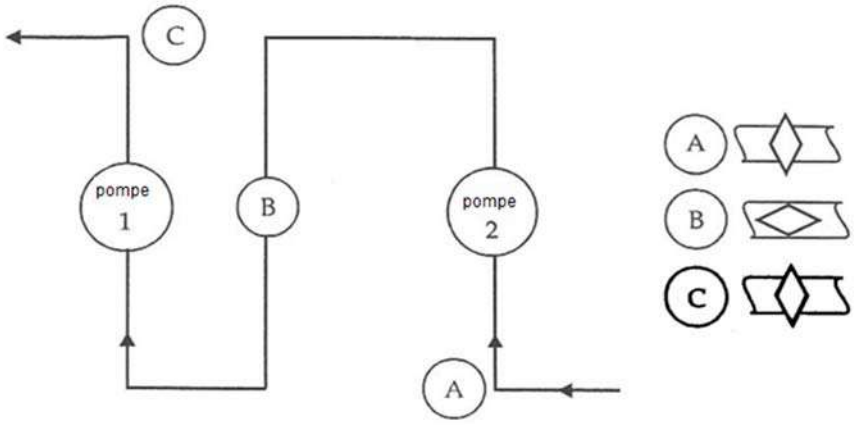


Figure IV.8.d. Réglage des trois vannes de régulation: Pompes en série.

Une seule jauge Bourdon est montée sur le panneau supérieur qui peut être commutée pour mesurer la pression de refoulement de chaque pompe. La pression d'entrée de la pompe peut être déterminée à partir de l'équation de Bernoulli. Le débit d'eau est ajusté à l'aide d'une vanne installée dans le tuyau de refoulement entre l'ensemble de test de la pompe et le banc hydraulique. Cette vanne ne doit pas être installée dans la conduite d'eau menant à l'ensemble d'essai de la pompe, car cela signifierait qu'une chute de pression inconnue et variable serait introduite de sorte que la pression d'entrée de la pompe ne pourrait pas être déterminée. Si une vanne est installée avant la pompe, elle doit être complètement ouverte lorsque les mesures sont prises. Pour des expériences visant à déterminer l'efficacité globale de la pompe, il est nécessaire de mesurer la puissance électrique d'entrée avec un wattmètre. Cependant, les puissances d'entrée indiquées par le fabricant de la pompe seront suffisantes pour démontrer comment l'efficacité est calculée. Le Tableau 1 donne les puissances d'entrée et les vitesses de pompage typiques, mais les valeurs réelles doivent être obtenues à partir de la feuille de données du fabricant (fournie).

Tableau. IV.1. Puissances et vitesses d'entrée de la pompe.

Vitesses	Puissance d'entrée, Wa	tr/min
1	40	750
2	70	1150
3	105	1850

IV.4 Installation

1) Vider le réservoir H1 ou H2.

2) Retirer le réservoir

3) Desserrez le clip qui sécurise le tuyau de sortie du puisard. Nourrir le tuyau à travers la fibre de verre moulage.

4) Positionnez l'ensemble de test de la pompe série H32 et parallèle près du banc hydraulique.

5) Connectez l'entrée H32 au tuyau de sortie du puisard. Une vanne peut être installée sur l'entrée H32 si nécessaire, mais doit toujours être complètement ouverte lors de la prise de mesures. Assurez-vous que le tuyau ne plie pas, ce qui réprime le débit d'eau.

6) Raccorder la vanne à la sortie de l'unité H32.

7) connecter renvoyer le tuyau de la vanne et insérer l'extrémité libre à travers le haut du banc hydraulique dans le réservoir de mesure. Assurez-vous que le tuyau est assez long pour ne pas plier lorsqu'il est utilisé. Notez que si le tuyau est plié en cours d'utilisation, cela affectera le débit d'eau et la cohérence des résultats. Si nécessaire, soutenir le tuyau ou utiliser un tuyau réorienté.

8) Vérifiez tous les clips sont en place et serrés.

9) Vérifier l'alimentation électrique nécessaire pour le H32 de la plaque à proximité de la sortie du câble. Connectez-vous à une source appropriée. Celle-ci doit être mise. Ne démarrez pas encore la pompe.

10) Remplissez le banc hydraulique avec de l'eau propre. Assurez-vous que les commandes du banc sont réglées pour que l'eau retourne dans le puisard.

11) parfois l'air peut être piégé à l'intérieur de la pompe, qui ne fonctionnera pas correctement. Purger la pompe pour éliminer l'air emprisonné à l'aide du bouchon de purge de la pompe.

12) Vérifiez que le moteur de la pompe tourne librement en insérant un petit tournevis dans l'extrémité de l'arbre, poussez doucement et tournez.

13) Mettre en place l'une des configurations de tuyauterie en utilisant les vannes A, B et C. Mettre l'unité en marche et vérifier que le système fonctionne correctement sans fuites. Pour s'assurer qu'il n'y a pas d'air emprisonné dans les tuyaux et les vannes, incliner l'ensemble de l'appareil de pompage de sorte que le tuyau de sortie soit plus haut que l'entrée. Faites fonctionner l'unité avec les vannes réglées sur un débit parallèle et exécutez la vitesse maximale pendant quelques minutes. Tout air piégé sera bientôt dispersé.

14) Éteignez et préparez une expérience.

IV.5 Expériences.

Les expériences suivantes peuvent être effectuées en utilisant le test de pompe série TQ H32 et en parallèle.

1. Performances de la pompe 1 à vitesse fixe
2. Performances de la pompe 2 à la même vitesse.
3. Performance de deux pompes en série, vitesse fixe
4. Performance de deux pompes en série, différentes vitesses.
5. Performance de deux pompes en parallèle, vitesse fixe.
6. Performance de deux pompes en parallèle, différentes vitesses.

Remarque 1: que les vitesses de chaque pompe en fonctionnement en série ou en parallèle sont normalement les mêmes (par exemple à la fois 750 tr/min). Cependant, il n'y a aucune raison pour que les pompes ne fonctionnent pas à des vitesses différentes.

IV.6. Procédure:

(a) Réglez les valves pour un test pompe particulier (reportez-vous à la Figure 11 si nécessaire).

(b) Réglez la (les) vitesse (s) de pompe requise (s)

(c) Allumez l'appareil en appuyant sur le bouton vert de la lampe.

(d) Régler le débit de refoulement en ajustant le robinet-vanne sur le côté sortie des pompes. Il est pratique de commencer avec une vanne complètement ouverte. Mesurez le débit à l'aide du banc hydraulique (reportez-vous au manuel du banc hydraulique correspondant pour plus de détails sur la mesure du débit).

(e) Lisez la pression de refoulement de chaque pompe en commutant sur Pt ou pz- Assurez-vous que la vanne est éteinte après chaque mesure.

(f) Entrez les résultats dans le tableau.

(g) Répétez l'opération pour plusieurs débits différents jusqu'à ce que la vanne de régulation soit complètement fermée.

(h) Mesurer la différence de hauteur entre la surface de l'eau dans le réservoir et l'entrée. Pompe Calculez la pression d'entrée.

(i) calculer l'augmentation de pression à travers la pompe.

(j) Tracer un graphique de pressurisation par rapport au débit ou (débit) 2.

(k) Si nécessaire, calculer et tracer l'efficacité globale du système de pompage.

IV.7. résultats typiques

Cette partie présente les résultats obtenus avec un ensemble de test TQ H32, pompe unique, pompe en série et pompe en parallèle, comme décrit dans ce manuel.

Les tests ont été effectués selon les procédures indiquées précédemment dans le manuel. En raison des variations des conditions de fabrication et d'essai, les caractéristiques des unités individuelles peuvent différer de ces résultats, et doivent donc être interprétées comme un guide général seulement.

Plus de données obtenues à partir d'expériences réelles et présentées sous forme de tableau sont données à l'**annexe A**.

Remarques.

(1) Entrée de la pompe au niveau du même niveau comme réservoir

(2) Pertes mineures ignorées

(3) Δp à travers la pompe environ égale à $P_{SOR.}$

IV.7. 1.Les graphes de résultat expérimental

La figure IV.9 représente la Performances de pompe simple à trois réglages de puissance entrée (40W, 70W et 105W), et deux pompes en série à 105W dans diagramme de pression en fonction de débit massique, on remarque que l'augmentation de la puissance d'entrée d'une pompe conduite à une augmentation de la performance d'une pompe et la pression augmente aussi si le débit augmente si, la pression est réduite. Ainsi nous notons que la performance de pompe en série, pompe (1), est grande par rapport au pompe (2). Dans le cas de montage en séries la pression dans la pompe (1) est supérieure à la pression de la pompe (2). [6]

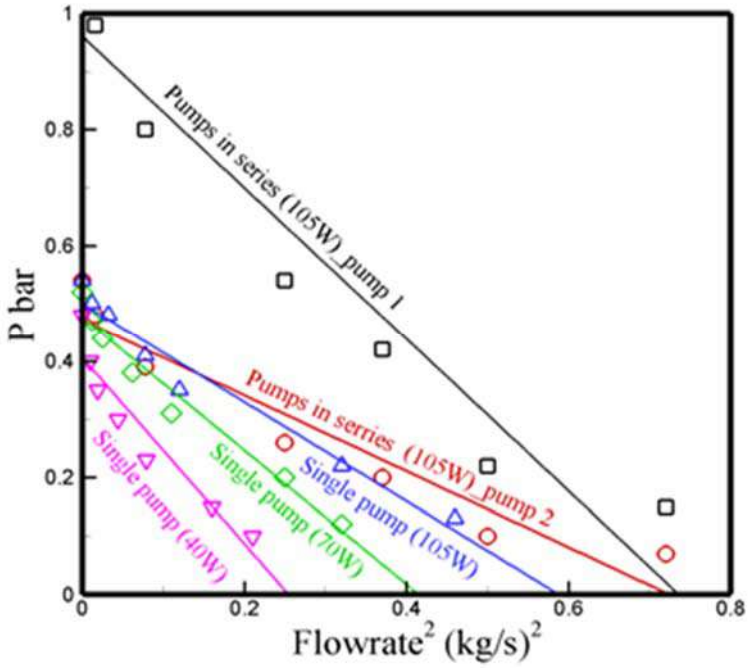


Figure. IV. 9: Performances des pompes simples à trois réglages de puissance et des pompes en séries avec 105W.

La figure IV.10 est représenté la variation de rendement de la pompe en fonction de débit massique, nous remarquons que la variation de rendement de la pompe augmente même jusqu'à une valeur maximale qui est la meilleure, puis décroît graduellement. On remarque aussi que la plus grande valeur était pour une puissance de 40Watts parce que les valeurs de pression obtenues étaient élevées.

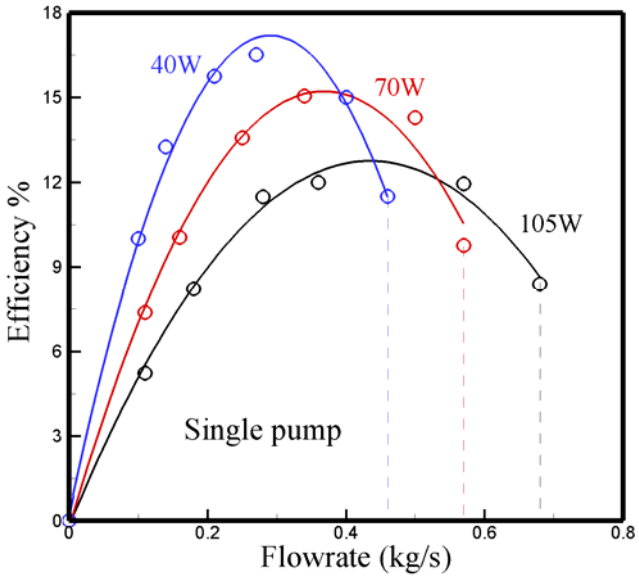


Figure. IV.10: Variation de rendement de la pompe en fonction de débit massique.

La figure IV.11 montre la performance de la pompe 1 à trois vitesses différentes que nous obtenons, ce qui est montré dans le diagramme de pression en fonction de débit, en remarque que l'augmentation de la puissance d'entrée de la pompe, la performance de la pompe est le meilleure.

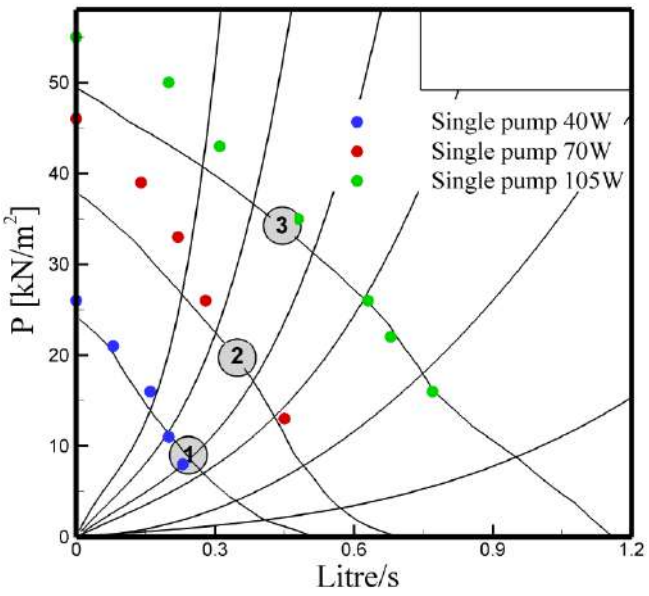


Figure. IV. 11: Courbes de performance de la pompe.

La figure IV.12 est représenté le rendement en fonction de débit pour les trois montages de pompe. Les courbes sont variées de même variation elles sont augmentent au-début elles sont à un maximum puis diminuent. Les courbes de deux pompes en série elles sont donnent des grands valeurs de rendement (pompe1 η=13.33% et pompe2 η=12.83%) par apport aux autres configurations. Les courbes de deux pompes en parallèle elles sont les plus petites valeurs de rendement (pompe1 η=10.28% et pompe 2 η=10.97) mais le débit de refoulement est supérieure par rapport aux autres configurations de montage. Les valeurs de pression et de débit obtenues au cours de l'expérience sont influencées en fonction de la valeur de rendement de chaque pompe.

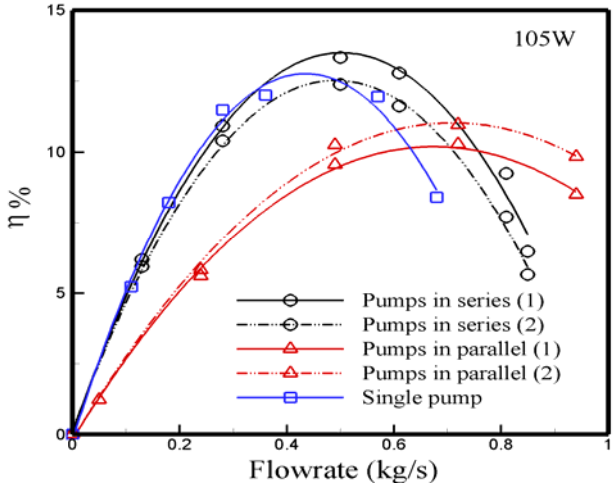


Figure. IV.12: Variation de rendement en fonction de débit massique pour les trois configurations de la pompe.

La figure IV.13 est représenté le point de fonctionnement d'une installation de pompe unique pour les trois réglages (40W, 70W et 105W) (et pour plus de détails voir Figure III.19: courbe caractéristique d'une pompe chapitre III) nous remarque que le meilleur point de fonctionnement est obtenu pour le troisième réglage (c'est à dire pour la puissance d'entrée 105W) donc le choix de réglage de la pompe qui dépend du réseau d'une installation. L'augmentation de puissance d'entrée conduite à une amélioration du point fonctionnement d'une pompe unique.

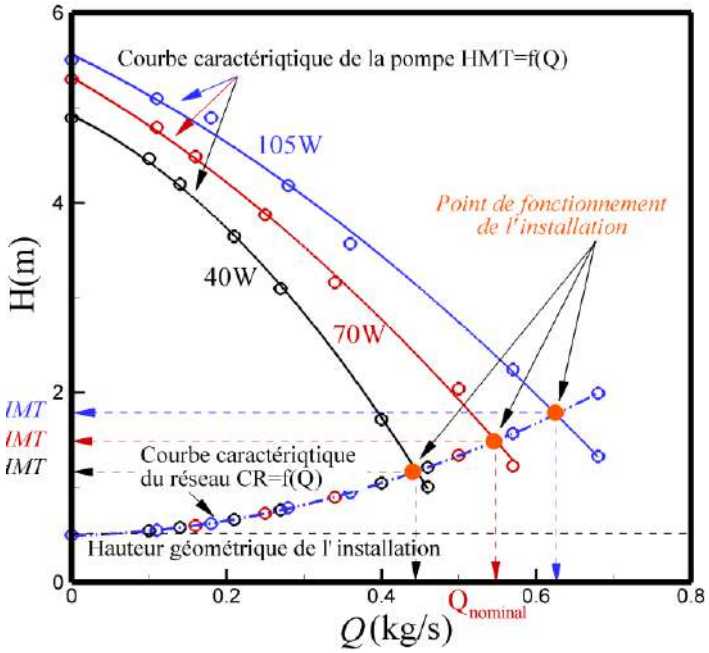


Figure. IV.13: Calcul du point fonctionnement d'une installation d'une pompe unique.

La figure IV.14 est représenté le point fonctionnement d'une installation en parallèle, on remarque que le point fonctionnement d'une installation en parallèle sa donne un grand débit de refoulement par apport à l'installation d'une pompe unique (pompe 1et pompe 2). L'assemblage des pompes en parallèle est augmenté le débit de refoulement, donc l'augmentation du débit refoulement d'une installation conduit à l'amélioration du point de fonctionnement.

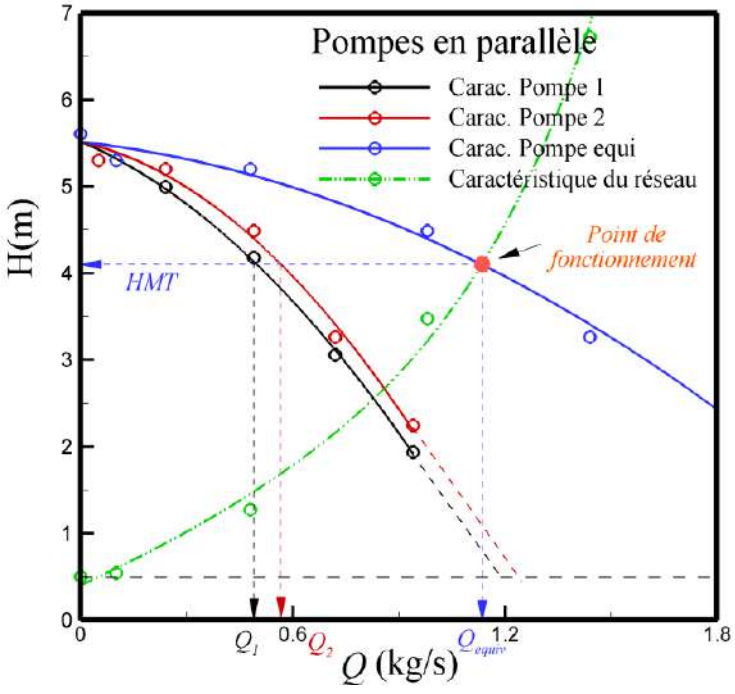


Figure .IV.14: Calcul du point fonctionnement d'une installation en parallèle

La figure IV.15 est représenté la point de fonctionnement d'une installation en séries. On remarque que le point de fonctionnement d'une installation en séries est un peu plus par apport à l'installation de pompe unique mais est petit rapport au point de fonctionnement des pompes en parallèles. Donc l'augmentation de pression est amélioré le point de fonctionnement d'une installation mais moins.

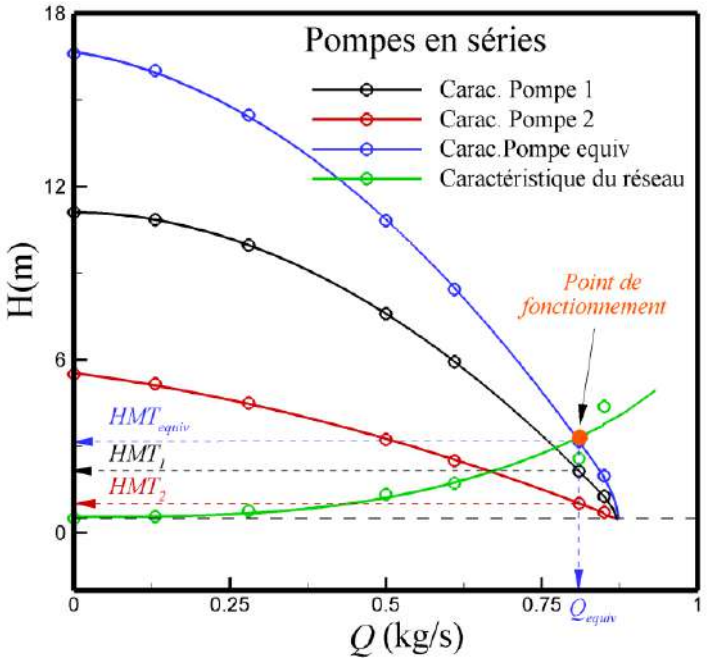


Figure .IV.15: Calcul du point fonctionnement d'une installation en série.

La figure IV.16 est représenté la point fonctionnement d'une installation d'une pompe unique, pompes en parallèles et en série, nous remarque que le meilleur point de fonctionnement dans chacune d'une installation est en parallèle. Donc à travers ces résultats obtenus le meilleur point fonctionnement d'une installation elle est dans l'assemblage des pompes en parallèle. L'augmentation de débit de refoulement d'une installation conduit à une amélioration du point de fonctionnement.

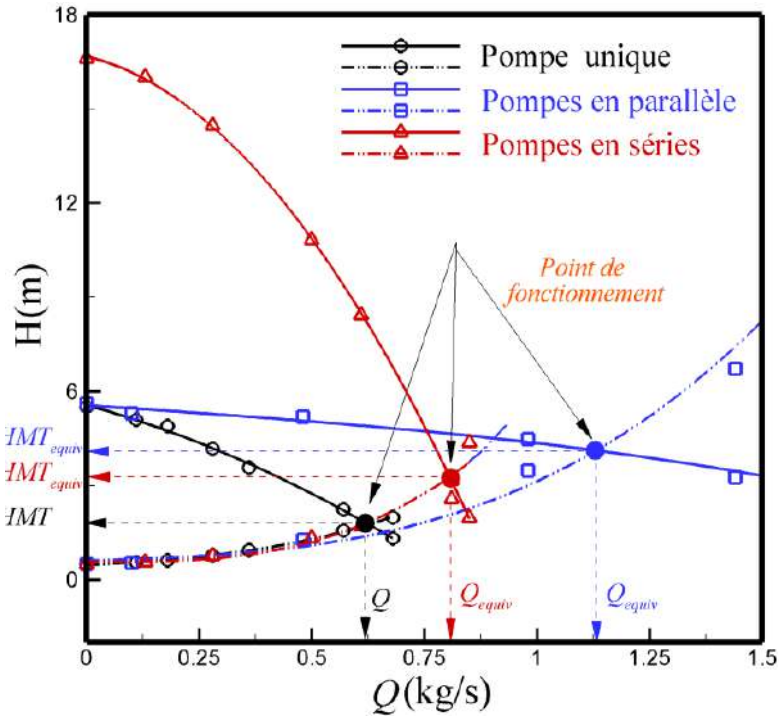


Figure IV.16: Calcul du point fonctionnement d'une installation d'une pompe unique et pompes en parallèles et pompes en séries.

Conclusion:

Les résultats obtenus à travers l'expérience sont similaires aux résultats théoriques.

Introduction:

Dans ce chapitre nous essayerons de vous donner un bref aperçu en ce qui concerne les besoins en eau de cette ville.

Après ca il est nécessaire de connaitre le régime de consommation de l'agglomération qui nous donnera un aperçu, non seulement sur le régime de travail de tous les éléments du Systems d'alimentation en eau potable, mais également sur leur dimensionnement. Dans les lignes qui suivent nous essayerons de voir la variation des débits journaliers et horaires de la ville.

Et en fin l'eau stockée dans Le réservoir, doit être distribuée à L'aide des canalisations sur les quelles des branchements seront piques en vue de satisfaire les consommateurs. Toute fois, une étude préliminaire doit être faite afin d'attribuer un diamètre adéquat a la canalisation, permettant d'assurer le débit maximal a tous les besoins (domestiques, d'arrosage, etc. .....).

Dans ce chapitre on utilisée le logiciel « **EPANET** » pour calculer le débit de chaque tronçons et la pression de chaque nœud dans notre réseau

V.1. Les équipements de l'agglomération

Tous l'équipement sont regroupes dans les tableaux ci-dessous tout en Sachant que ces données proviennent de l'APC de **KSAR EL BOUKHARI** du quartier **EL WIAM-Médéa**.

Tableau N° V.1: Equipements scolaires

équipement	nombre	unité	nombre d'élèves
Ecole primaire	**2**	**élève**	**4800**
C.E.M	**1**	**élève**	**4000**
lycée	**1**	**élève**	**2800**

Tableau N° V.2: Equipements administratifs

équipement	Nombre	unité	nombre employé
Annexe A.P.C	**1**	**employé**	**20**
P.T.T	**1**	**employé**	**20**
Sureté nationale	**1**	**employé**	**40**
gendarmerie	**1**	**employé**	**40**
Annexe Contribution des impôts	**1**	**employé**	**10**

Tableau N° V.3: Equipements socioculturels

équipement	nombre	unité	nombre
mosquée	1	fidèle	3000
Centre culturel	1	adhèrent	500
bibliothèque	1	lecteur	150

Tableau N° V.4: Equipements sanitaires

équipement	nombre	unité	nombre
Centre de santé	1	patient	50
polyclinique	1	patient	100
maternité	1	lit	60
pharmacie	1	patient	100

Tableau N° V.5: Equipements sportifs

équipement	nombre	Superficie (m^2)
Salle omnisport	1	8000
stade	1	16000

Tableau N° V.6: Equipements commerciaux

équipement	nombre	unité	nombre
marché	1	m^2	1000
restaurant	10	repas	1000
cafés	5	client	1000
boutique	15	m^2	4500
Boulangerie	2	m^2	33
Bain maure	1	m^2	7000
Douche publique	1	m^2	9000
Toilette publique	1	m^2	5

Tableau N° V.7: arrosage (Jardins et espaces verts)

désignation	nombre	Superficie (m^2)
Jardins d'enfants	**1**	**1000**
Espaces verts	**1**	**9000**

V.2. Evaluation de la population future

Pour l'estimation de la population future, nous prenons un horizon de **20 ans** et nous adopterons un taux d'accroissement de **3%**, ce taux représente la moyenne nationale en zone semi urbaine.

Pour les calculs d'estimation de la population future nous utiliserons finalement la formule de l'équation des intérêts composés:

$$Pn = P_0 * (1+T)^n \qquad (V.1)$$

Avec:

Pn : Population a l'horizon

P_0 : Population actuelle de référence

T : Taux d'accroissement = 0,03

n : Nombre d'année séparant les horizons considèrent

Les résultats du calcul se trouvent dans le tableau ci-dessous : [15]

Tableau N° V.8: Evolution de la population

quartiers	Population en 2018 (hab.)	Taux	Population en 2038(hab.)
WIAM	**15541**	**3**	**28068**

NB : nous avons fait une estimation de la population de l 'année 2018 à 2038 avec un taux d'accroissement de 2,4% puis nous avons fait notre calcul pour un horizon de 20 ans vécu un taux d'accroissement de 3%.

V.3. Catégories des besoins en eau :

La consommation d'eau varie en fonction du type de consommateur. Mai savant tout projet d'alimentation en potable, il est nécessaire de procéder à un recensement de toutes les catégories de consommateurs rencontres au niveau d'une agglomération. Pour l 'étude de quartier **WIMA** il est nécessaire de se pencher sur différentes

Catégories de besoins telles que :

- Besoins domestiques ;
- Besoins scolaires ;
- Besoins administratifs ;
- Besoins socioculturels ;
- Besoins sanitaires ;
- Besoin sportifs ;
- Besoin commerciaux ;
- Besoin Jardins et espaces verts ;

V.4. Estimation des besoins

V. 4.1. Choix de la norme unitaire de la consommation

La quantité d'eau nécessaire à l 'alimentation d'une agglomération est généralement évaluée en litre par habitant et par 24 heures, par Carre de surface de végétaux, par mètre cube, par tonne de productivité, par tète d'animal, par véhicule etc.

Cette quantité d'eau s'appelle la norme de consommation, c'est adire la norme moyenne journalière de la consommation en litre par jour et par usager qui dépend de certains critères dont les principaux sont :

- Le niveau de vie de la population;
- Le nombre d'habitants;
- Le développèrent urbain de la ville;
- Ressources existantes. [15]

V.4.2. Détermination de la consommation moyenne journalière :

Le débit moyen journalier au cours de l'année est donne par la relation :

$$Q_{moy.j} = \frac{N_i q_i}{1000} \qquad \text{(V.2)}$$

Suivante :

$Q_{moy.j}$: Consommation moyenne journalière [m^3 / j].

N_i : Nombre de consommation ou le nombre des usagers dans chaque groupe de catégorie de consommateurs.

q_i : Norme moyenne journalière de la consommation pour chaque groupe (l/j/par usager).

i : Nombre de groupes. [15]

V.5. Calculs des besoins en eau pour chaque groupe de consommation

V.5.1. Agglomération

V.5.1.1-Besoins domestiques

Le tableau suivant détermine le Besoins domestiques :

Tableau N° V.9: les besoins domestiques.

horizon	population	Dotation (l/j/hab.)	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
2018	15541	150	2331.15
2038	28068	150	4210.2

V.5.1.2. Besoins scolaires

Le tableau suivant détermine les besoins scolaires :

Tableau N°V.10: les besoins scolaires.

équipement	unité	nombre	Dotation (l/j/unité)	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
Ecole primaire	élève	4800	15	72
C.E.M	élève	4000	15	60
lycée	élève	2800	15	42
total				174

V.5.1.3. Besoins administratifs

Le tableau suivant détermine les besoins administratifs :

Tableau N° V.11: les besoins administratifs.

équipement	unité	nombre	Dotation (l/j/unité)	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
Annexe A.P.C	employé	20	15	0.30
P.T.T	employé	20	15	0.30
Sureté nationale	employé	40	25	1.00
gendarmerie	employé	40	25	1.00
Annexe Contribution des impôts	employé	10	15	0.15
Postes administratifs	employé	60	25	1.5
total				2.75

V.5.1.4. Besoins socioculturels

Le tableau suivant détermine les besoins socioculturels :

Tableau N° V.12: les besoins socioculturels.

équipement	unité	nombre	Dotation (l/j/unité)	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
mosquée	**fidèle**	**3000**	**20**	**60**
Centre culturel	**adhèrent**	**500**	**15**	**7.5**
bibliothèque	**lecteur**	**150**	**15**	**2.25**
total				**69.75**

V.5.1.5. Besoins sanitaires

Le tableau suivant détermine les besoins sanitaires:

Tableau N° V.13: les besoins sanitaires.

équipement	unité	nombre	Dotation (l/j/unité)	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
Centre de santé	**patient**	**50**	**20**	**1**
polyclinique	**patient**	**100**	**20**	**2**
maternité	**lit**	**60**	**250**	**15**
total				**18**

V.5.1.6. Besoins sportifs

Le tableau suivant détermine les besoins sportifs:

Tableau N° V.14: les besoins sportifs.

équipement	Superficie m²	Dotation (l/j/unité	$Q_{moy.j}(m^3/j$
Salle omnisport	**8000**	**5**	**40**
stade	**16000**	**5**	**80**
total			**120**

V.5.1.7. Besoins commerciaux

Le tableau suivant détermine les besoins commerciaux :

Tableau N° V.15: les besoins commerciaux.

équipement	Superficie m²	Dotation (l/j/unité	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
marché	**1000**	**5**	**5**
restaurant	**1000**	**30**	**30**
cafés	**1000**	**10**	**3**
boutique	**4500**	**3**	**13.5**
Boulangerie 2	**33**	**30**	**16.5**
Bain maure	**7000**	**30**	**221**
Douche publique	**9000**	**15**	**135**
Toilette publique	**800**	**3**	**2.4**
total			**426.4**

V.5.1.8. Besoins Jardins et espaces verts

Le tableau suivant détermine les besoins Jardins et espaces verts :

Tableau N° V.16: les besoins arrosage (Jardins et espaces verts).

équipement	Superficie m²	Dotation (l/j/unité	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
Jardins d'enfants	**1000**	**5**	**5**
Espaces verts	**9000**	**10**	**90**
total			**95**

V.6. Récapitulation des besoins en eau de l'agglomération :

Apres l'étude détaillée des besoins, nous dressons un tableau récapitulatif pour pouvoir calculer le débit total nécessaire pour l 'alimentation de la localité jusqu'à l 'horizon.

Tableau N° V.17: Récapitulation des besoins eau de l'agglomération.

Catégorie des besoins	$Q_{moy.j}(m^3/j)$
domestiques.	**4210.2**
scolaires	**174**
administratifs	**2.75**
socioculturels	**69.75**
sanitaires	**18**
sportifs	**120**
commerciaux	**226.4**
arrosage (Jardins et espaces verts)	**95**
total	**4916.1**

V.7Caracterisation de la consommation en eau

V.7.1 Variation de la consommation

Les débits de consommation sont soumis à plusieurs variations dans le temps, parmi ces variations nous avons :

- Variation annuelle et saisonnière qui dépend du niveau de vie de l'agglomération ;
- Variation mensuelle qui dépend de l 'importance de la ville;
- Variation journalière qui dépend de jour de la semaine ou la consommation est plus importante ;
- Variation horaire qui dépend du régi

V.7.2Etude des variations des débits journaliers

Pour projeter un régime de travail d'un système d'alimentation en eau, il faut adopter le graphique de consommation probable. Au cours d'année, il existe une journée ou la consommation est maximale ; de même il existe une journée ou la consommation est minimale. [16]

Par rapport à la consommation moyenne déterminée, nous pouvons déterminer un rapport qui nous indique de combien de fois la consommation maximale est supérieure à la consommation moyenne.

Ce rapport est désigne sous le terme de coefficient d'irrégularité journalière maximum et note k max j De même, il existe un coefficient qui nous indique de combien de fois la consommation est inferieure par rapport a la consommation moyenne: ce rapport est appelé coefficient minimum d'irrégularité journalière et notée K $_{\min j}$

Ces débits sont donnes par les formules suivantes :

$$Q\max j = Qmoyj * K\max j \quad (m^3/j) \qquad (V.3)$$

$$Q\min j = Qmoyj * K\min j \quad (m^3/j) \qquad (V.4)$$

$Q\max j$: Débit maximum journalier

$Q\min j$: Débit minimum journalier

$Qmoyj$: Débit moyen journalier

$K\max j$: Coefficient d'irrégularité maximum; et que ce coefficient varie entre 1.1 a 1.3

Pour notre cas nous prenons K max j =1,3 pour les besoins domestiques et 1 pour les autres besoins

$k\min j$: Coefficient d'irrégularité minimum et que ce coefficient varie entre 0,7a 0,9

Pour notre cas nous prenons K min j =0,9 pour les besoins domestiques et 0,7 pour les autres besoins. [16]

V.7.2.1. Récapitulation des besoins en eau maximale journalière de la ville

Tableau N °V.18: les besoins en eau maximale journalière de la ville.

Catégorie des besoins	$Q_{moy.j}(m^3/j)$	$K\max j$	$Q\max j$ (m^3/j)
domestiques.	**4210.2**	**1.3**	**5473.26**
scolaires	**174**	**1**	**174**
administratifs	**2.75**	**1**	**2.75**
socioculturels	**69.75**	**1**	**69.75**
sanitaires	**18**	**1**	**18**
sportifs	**120**	**1**	**120**
commerciaux	**226.4**	**1**	**226.4**
d'arrosage (Jardins et espaces verts)	**95**	**1**	**95**
total			**6179.16**

V.7.2.2Récapitulation des besoins en eau minimale journalière de la ville

Tableau N° V.19: les besoins en eau minimale journalière de la ville.

Catégorie des besoins	$Q_{moy.j}\ (m^3/j)$	K min j	Q min j (m^3/j)
domestiques.	**4210.2**	**0.9**	**2169.18**
scolaires	**174**	**0.7**	**121.8**
administratifs	**2.75**	**0.7**	**1.925**
socioculturels	**69.75**	**0.7**	**48.825**
sanitaires	**18**	**0.7**	**12.6**
sportifs	**120**	**0.7**	**84**
commerciaux	**226.4**	**0.7**	**158.48**
d'arrosage (Jardins et espaces verts)	**95**	**0.7**	**66.5**
total			2663.31

D'après ces deux tableaux, nous avons :

$$Q\max j = 6179.16\ \boldsymbol{m^3/j} \quad \text{et} \quad Q\min j = 2663.31\ \boldsymbol{m^3/j}$$

V.8. Etude des variations des débits horaires :

Le débit moyen subit non seulement des variations journalières mais aussi des variations horaires.

Le débit moyen horaire est donne par la formule suivante :

$$Qmoyh = Q\max j / 24 \quad (m^3/h) \qquad (V.5)$$

Avec : $Qmoyh$: débit moyen horaire (m^3/h)

$Q\max j$: Débit maximal journalier (m^3/h)

Pour notre projet, nous avons $Q\max j$ = 6179.16 m^3/j

AN : $Qmoyh$: $6179.16 / 24 = 257.465\ (m^3/h) \rightarrow Qmoyh = 257.465\ (m^3/h)$

Les débits maximum et minimum horaires sont détermines à partir de tableau. V .21

V.8.1. Variation horaire de la consommation totale dans divers centres D'agglomération selon le nombre des habitants:

Tableau N° V.20: la variation horaire en fonction du nombre de la population.

	Nombres d'habitants				
Heures	Moins de 10000	De10001 à 50000	De50001 à 100000	Plus de 100000	Agglo. De type rural
1	2	3	4	5	6
0-1	1	1.5	3	3.35	0.75
1-2	1	1.5	3.2	3.25	0.75
2-3	1	1.5	2.5	3.3	1
3-4	1	1.5	2.6	3.2	1
4-5	2	2.5	3.5	3.25	3
5-6	3	3.5	4.1	3.4	5.5
6-7	5	4.5	4.5	3.85	5.5
7-8	6.5	5.5	4.9	4.45	5.5
8-9	6.5	6.25	4.9	5.2	3.5
9-10	5.5	6.25	5.6	5.05	3.5
10-11	4.5	6.25	4.8	4.85	6
11-12	5.5	6.25	4.7	4.6	8.5
12-13	7	5	4.4	4.6	8.5
13-14	7	5	4.1	4.55	6
14-15	5.5	5.5	4.2	4.75	5
15-16	4.5	6	4.4	4.7	5
16-17	5	6	4.3	4.65	3.5
17-18	5	5.5	4.1	4.35	3.5
18-19	6.5	5	4.5	4.4	6
19-20	5	4.5	4.5	4.3	6
20-21	4.5	4	4.5	4.3	6
21-22	3	3	4.8	4.2	3
22-23	2	2	4.6	3.75	2
23-24	1	1.5	3.3	3.7	1

Nous avous une population de **28068 hab**. donc notre répartition se situe au niveau de la troisième colonne. [15]

V.8.2. Calcul de la consommation horaire :

Le débit horaire demandés pour chaque groupe de consommation est:

$$Qh = \frac{P\%Q_{\max j}}{100} \qquad (V.6)$$

Avec : Qh : débit horaire nécessaire.

P% : pourcentage horaire.

La durée d'arrosage (jardins et espaces verts) est prévue pour quatre heures pendant la journée.

Tableau N° V .21: Répartition des débits horaires.

Heures	agglomération		arrosage		Le débit maximum journalier total		Le débit cumule	
	$Q_{\max.j} = 6084.16 m^3/j$		$Q_{\max.j} = 95 m^3/j$		$Q_{\max j} = 6179.16 m^3/j$		$Q_{\max.j}$	
(h)	**P (%)**	Qh (m^3/h)	**P (%)**	Qh (m^3/h)	**P (%)**	Qh (m^3/h)	**P (%)**	Qh (m^3/h)
0-1	**1.5**	**91.2639**			**1.445**	**89.288862**	**1.445**	**89.288862**
1-2	**1.5**	**91.2639**			**1.445**	**89.288862**	**2.889**	**178.515932**
2-3	**1.5**	**91.2639**			**1.445**	**89.288862**	**4.334**	**267.804779**
3-4	**1.5**	**91.2639**			**1.445**	**89.288862**	**5.778**	**357.031864**
4-5	**2.5**	**152.104**			**2.408**	**148.794172**	**8.186**	**505.826037**
5-6	**3.5**	**212.9456**			**3.371**	**208.299483**	**11.556**	**714.06372**
6-7	**4.5**	**273.7872**	**25**	**23.75**	**5.258**	**324.900232**	**16.814**	**1040.57054**
7-8	**5.5**	**334.6288**	**25**	**23.75**	**6.221**	**384.405543**	**23.035**	**1237.99470**
8-9	**6.25**	**380.26**			**6.019**	**371.923640**	**29.054**	**1795.29314**
9-10	**6.25**	**380.26**			**6.019**	**371.923640**	**35.073**	**2167.21678**
10-11	**6.25**	**380.26**			**6.019**	**371.923640**	**41.092**	**2539.14042**
11-12	**6.25**	**380.26**			**6.019**	**371.923640**	**47.111**	**2911.06406**
12-13	**5**	**304.208**			**4.815**	**297.526554**	**51.926**	**3208.59062**
13-14	**5**	**304.208**			**4.815**	**297.526554**	**56.741**	**3506.11717**
14-15	**5.5**	**334.6288**			**5.297**	**327.310105**	**62.038**	**3833.42728**

Suite du Tableau N° V.21:Répartition des débits horaires.

15-16	6	365.0496			5.778	357.031864	67.816	4190.45914
16-17	**6**	**365.0496**	**25**	**23.75**	**6.702**	**414.127303**	**74.518**	**4604.58644**
17-18	**5.5**	**334.6288**	**25**	**23.75**	**6.221**	**384.405543**	**80.739**	**4988.99199**
18-19	**5**	**304.208**			**4.815**	**297.526554**	**85.555**	**5286.58033**
19-20	**4.5**	**273.7872**			**4.334**	**267.804794**	**89.888**	**5554.32334**
20-21	**4**	**243.3664**			**3.852**	**238.021243**	**93.740**	**5792.34458**
21-22	**3**	**185.5248**			**2.889**	**178.515932**	**96.689**	**5974.56801**
22-23	**2**	**121.6832**			**1.926**	**119.010621**	**98.555**	**6089.56218**
23-24	**1.5**	**91.2639**			**1.445**	**89.288862**	**100**	**6179.16**
total	**100**	**6084.16**	**100**	**95**	**100**	**6179.16**		

D'après ce tableau de répartition des débits nous avons :

$$Qh\min.j = \mathbf{89.288862}\ \ (m^3/h)$$

$$Qh\max j = \mathbf{414.127303}\ \ (m^3/h)$$

Nous pouvons donc tracer les graphes

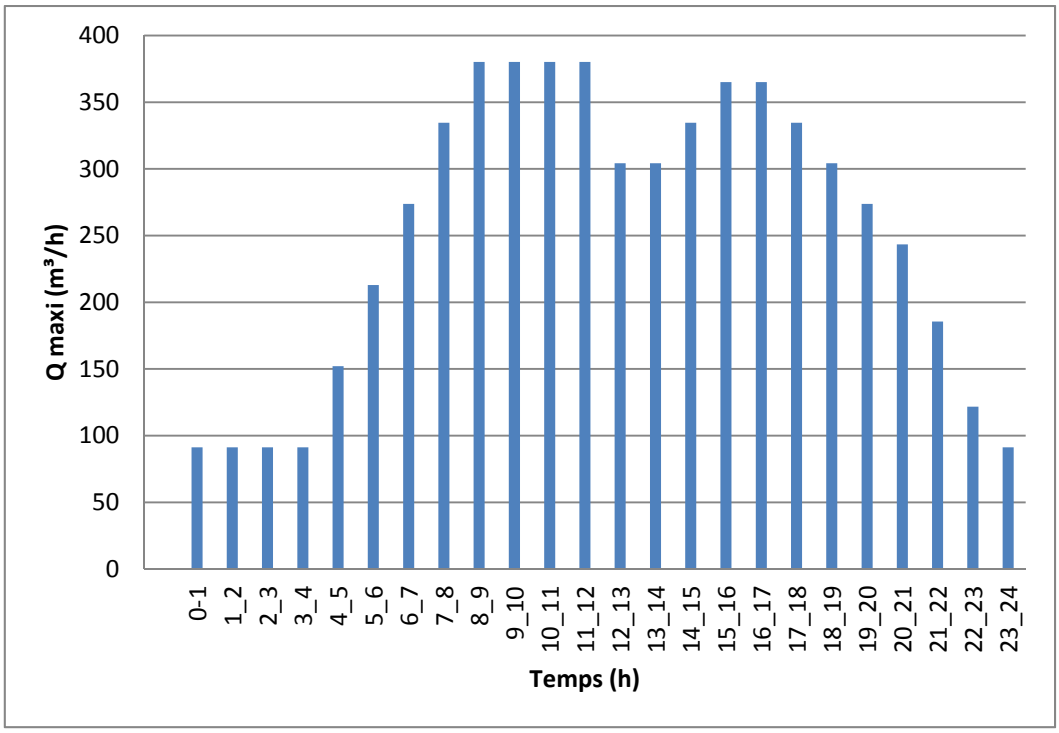


Figure V-1 : Graphique de consommation en eau de l'agglomération.

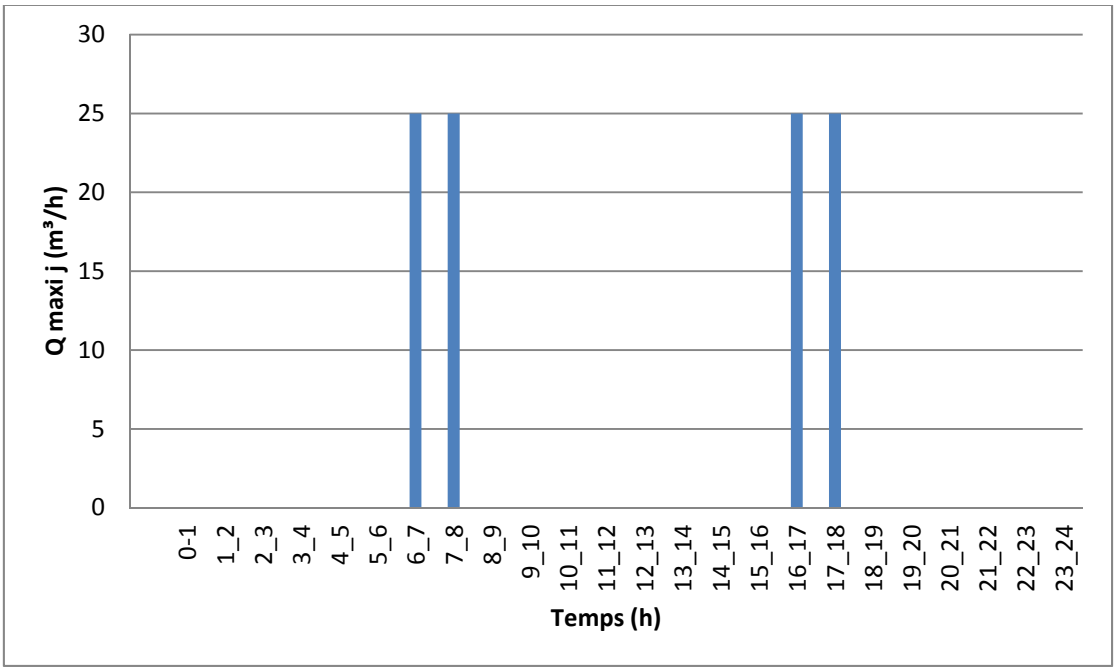


Figure V.2 : Graphique de la consommation d'arrosage

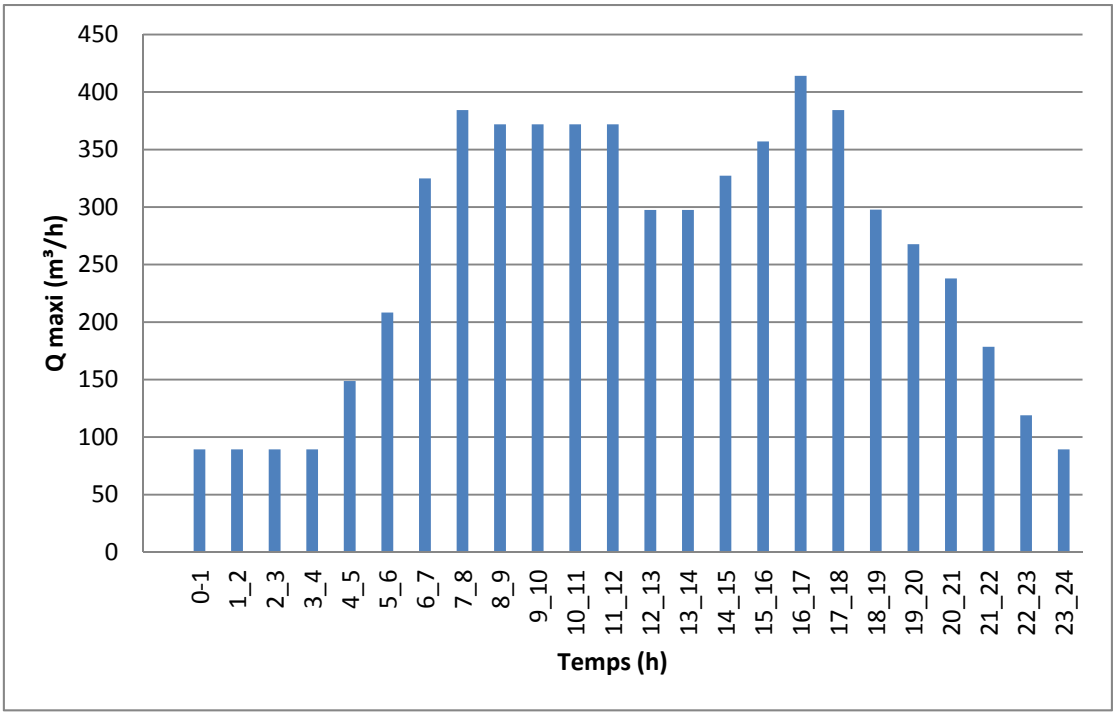


Figure V -3 : Graphique de consommation totale de l'agglomération

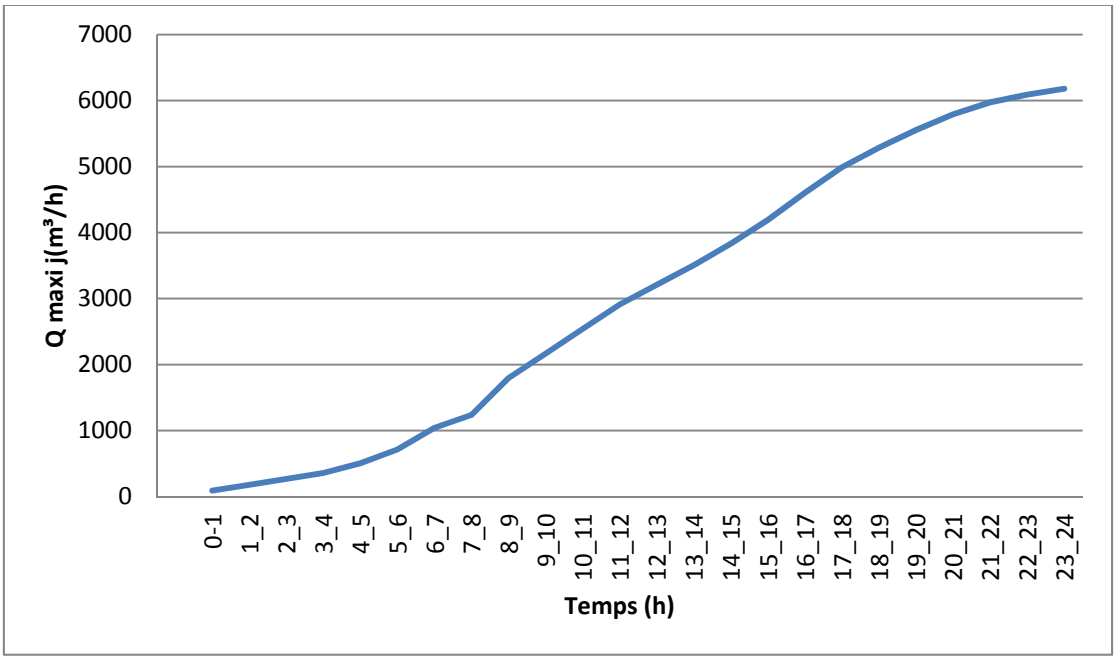


Figure V -4 : courbe intégrale de la consommation totale de l'agglomération

V.9 types de réseaux

V.9.1 Les différents types de réseaux

On distingue deux types de réseaux :

- Réseau ramifie.
- Réseau maille.

V.9.1.1 Le réseau ramifie

Le réseau ramifie est constitue par une conduite principale et des conduites secondaires (branches) branchées tout Le long de la conduite principale : c'est un réseau arborescent.

C'est un réseau qui n'assure aucune distribution du retour, il suffit qu'une panne se produise sur la conduite principale et que toute la population a l'aval sera privée d'eau. [16]

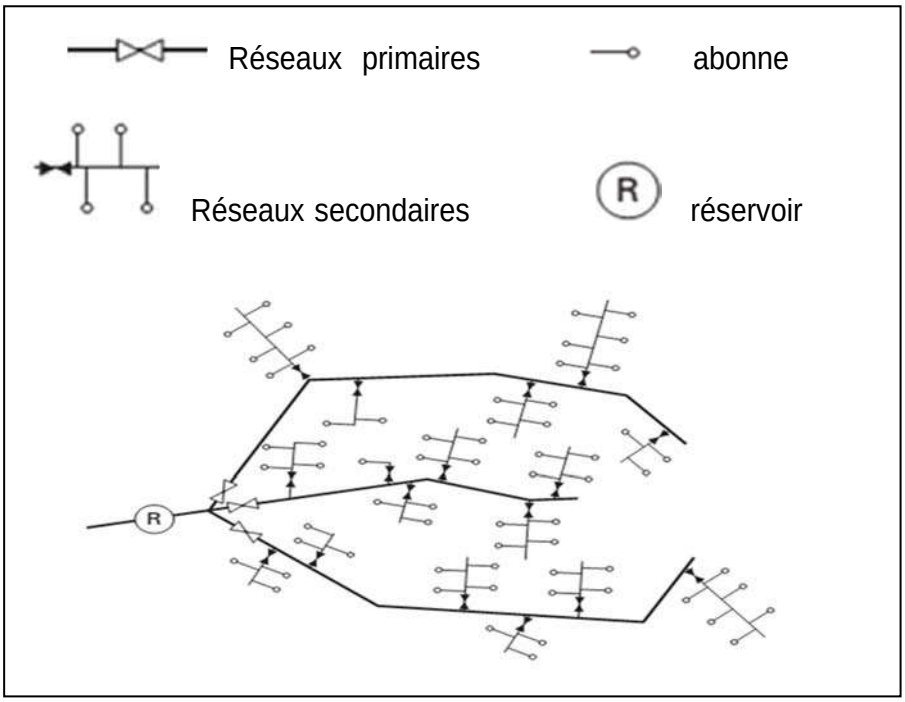


Figure V.5 : réseaux ramifiés [16]

a. Avantages de réseau ramifie

- Calcul hydraulique et dimensionnement simples.
- Plus économique en matière de longueur de tuyauterie et nombre d'accessoires.
- Exploitation et contrôle plus facile.

b. Inconvénients de réseau ramifie

- Peu flexible, en termes de pression à des variations de consommations et aux expansions du réseau.
- Peu faible en cas de panne [16]

V.9.1.2 Le réseau maille

Un réseau maille est constitue d'une série des tronçons disposes dételle manière qu'il soit possible de décrire une ou plusieurs boucles fermées en suivant son trace. Contrairement aux réseaux ramifies; le réseau maille assure une distribution de retour en cas de panne d'un tronçon. Lis sont utilises généralement dans les zones urbanisées et tendent ase généraliser dans les agglomérations rurales, So us forme associes à des réseaux ramifies (limitation de nombres de mailles en conservant certaines ramifications). [16]

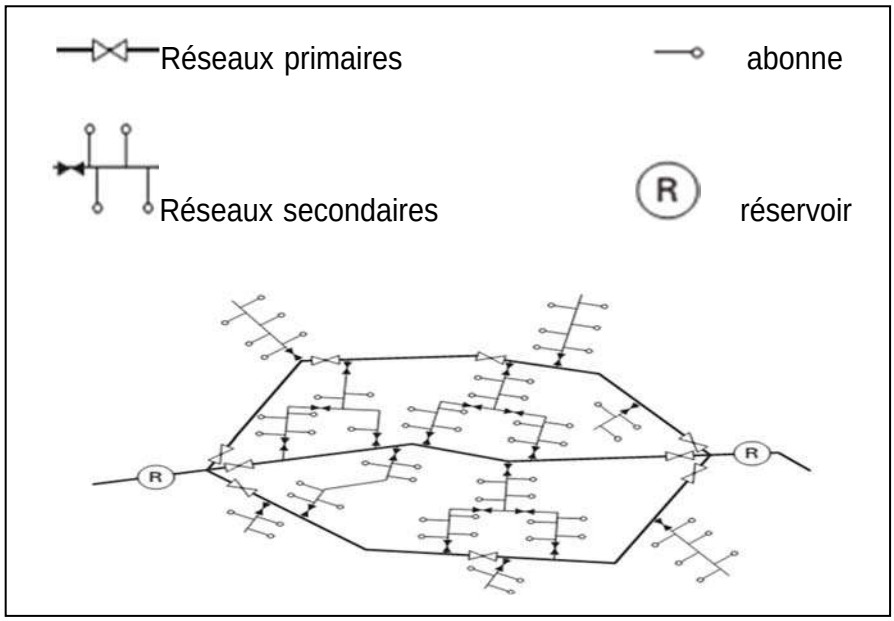


Figure V.6: réseaux maille [16]

a. Avantages de réseaux maille

- Plus flexible à grandes variations de consommations dans le réseau
- Plus faible en cas de panne (de nombreux chemins alternatifs)
- Il permet une alimentation en retour ; c'est-à-dire qu'en cas d'accident sur un tronçon, il poursuit l'alimentation des abonnées en aval situés le long des autres tançons
- Bien qu'il soit plus coûteux que le réseau maillé, il procurera beaucoup
  Plus de sécurité et de souplesse dans la distribution.

b. Inconvénient de réseaux maille

- La détermination des conditions d'équilibre hydraulique et dimensionnement sont plus complexe
- Couts d'investissement supérieur, en vertu d'exiger une plus grande quantité de tuyauterie et d'organes [15]

V.10. Conception d'un réseau

Pour concevoir un réseau de distribution, nous sommes appelés à prendre en compte un certain nombre des facteurs, qui peuvent influencer sur le réseau parmi les quels, nous avons :

- L'emplacement des quartiers
- I 'emplacement des consommateurs
- le relief
- le souci d'assurer un service souple et précis [15]

V.11. Principe du tracé du réseau maille

Le trace se fait comme suit:

- Tout d'abord, il faut repérer les consommateurs importants (par exemple l'usine) ;
- repérer les quartiers ayant une densité de population importante ;
- déterminer l'itinéraire (sens) principal pour assurer la distribution aces consommateurs
- suivant ce sens, tracer les conduites principales en parallèle ;
- Ces conduites principales doivent être bien reparties pour avoir une bonne distribution d'eau ;
- pour alimenter l'intérieur des quartiers, ces conduites principales sont reliées entre
- elles par des conduites secondaires pour former des boucles (mailles). [15]

V.12. Calcul hydraulique du réseau maille

Le dimensionnement et la détermination des débits dans un réseau maille s'effectuent de la manière suivante :

Tout d'abord nous déterminons

- la longueur de chaque tronçon du réseau maille
- les débits routes pendant les heures considérées
- les débits spécifiques en considérant les débits routes
- les débits supposes concentres aux nœuds. [15]

V.13. déterminations des débits

➢ **Le débit route**

Il est défini comme étant le débit reparti uniformément le long d'un tronçon du réseau, il est donne par la relation suivante :

$$Qcons = \sum Qrout + \sum Qconc \qquad (V.7)$$

Nous déduisons alors : $$\sum Qrout = Qcons - \sum Qconc \qquad (V.8)$$

Avec :

$\sum Qrout$: Le débit route global (l/s).

$Qcons$: Le débit consomme (l/s).

$\sum Qconc$: La Somme de débits concentre (l/s)

➢ **Le débit spécifique**

Ce débit est défini comme étant le rapport entre le débit en route et la somme des longueurs des tronçons, donné par la relation suivante :

$$Qspe = \frac{\sum Qrout}{\sum Li} \qquad (V.9)$$

$Qspe$: Le débit spécifique (l/s/m).

$\sum Li$: La somme des longueurs des tronçons (m).

➢ **Le débit au nœud**

Le débit au nœud est celui qui est concentre à chaque point de jonction des conduites du réseau, il doit être détermine à partir de la relation suivante :

$$Qn,i = 0.5\sum Qr,i + \sum Qconc \qquad (V.10)$$

Qn,i : Débit au nœud i

$\sum Qr,i$: La somme des débits route des tronçons relies au nœud i

$\sum Qconc$: La somme des débits concentrés au nœud. [16]

V.14 Calcul des débits.

➢ **Cas de pointe:**

Le cas de pointe est détecte à partir du graphique de consommation entre 16 heures et 17 heures.

Nous avons : [15]

$Qcons =$ **414.127** (m^3/h) **= 115.035** (l/s) et $Qconc = 0$ (pas de débit concentré)

Donc $Qrout = Qcons =$ **115.035** (l/s)

$\sum Li =$ **8470.04** m, donc $Qspe =$ **115.035 / 1980.04** l/s/m)

Finalement on donc : $Qspe =$ **0.01358** (l/s/m)

Tableau N°4.22 : récapitulatif des débits de calcul pour ce cas de pointe.

Heure de pointe (16 heures à17heures	*Qrout*	**115.035** (l/s)
	Qcons	**115.035** (l/s)
	Qconc	0 (pas de débit)
	$\sum Li$	**8470.04** (m)
	Qspe	**0.01358** (l/s/m)

Ces données nous permettent de calculer le débit route de chaque tronçon ainsi que le débit du chaque nœud du réseau Tous les résultats du calcul sont récapitules dans le tableau ci-dessus.

Tableau V.23 : résultat des différents tronçons avec leurs caractéristiques hydrauliques et géométriques.

nœud	tronçons	Longue (m)	*Qspe* (l/s/m)	*Qrout* (l/s)	*Qnoeud* (l/s)	Cotes (m)
1	1-2	498.58	0.01358	6.770	5.423	287
	1-5	300.2		4.076		
2	2-1	498.58	0.01358	6.770	4.382	261
	2-3	146.88		1.994		
3	3-2	146.88	0.01358	1.994	6.844	262
	3-4	402.32		5.463		
	3-9	458.98		6.232		
4	4-3	402.32	0.01358	5.463	4.550	280
	4-5	131.36		1.783		
	4.8	136.64		1.855		
5	5-4	131.36	0.01358	1.783	4.863	280
	5-6	284.9		3.868		
	5-1	300.2		4.076		
6	6-5	284.9	0.01358	3.868	3.351	270
	6-7	208.72		2.834		
7	7-6	208.72	0.01358	2.834	7.380	270
	7-8	325.94		4.426		
	7.12	552.36		7.501		
8	8-7	325.94	0.01358	4.426	5.239	285
	8-4	136.64		1.855		
	8-11	309.08		4.197		
9	9-3	458.98	0.01358	6.232	9.261	275
	9-10	281.7		3.825		
	9-18	623.4		8.465		
10	10-9	281.7	0.01358	3.825	5.898	268
	10-11	137.64		1.869		
	10-15	449.34		6.102		
11	11-10	137.64	0.01358	1.869	4.666	267
	11-8	309.08		4.197		
	11-13	240.56		3.266		
12	12-7	552.36	0.01358	7.501	4.720	245
	12-13	142.86		1.940		

Suite du tableau N°V.23 : calcul de débits aux nœuds : cas de pointe

13	13-12	142.86	0.01358	1.940	3.928	245
	13-11	240.56		3.266		
	13-14	195.2		2.650		
14	14-13	195.2	0.01358	2.650	5.531	244
	14-15	212.16		2.881		
15	15-10	449.34	0.01358	6.102	7.401	245
	15-14	212.16		2.881		
	15-16	78.5		1.066		
	15-18	350		4.753		
16	16-15	78.5	0.01358	1.066	1.708	255
	16-17	173.12		2.350		
17	17-16	1173.12	0.01358	2.350	5.835	248
	17-18	405.32		5.502		
	17-21	282.16		3.818		
18	18-17	405.32	0.01358	5.502	10.452	245
	18-19	158.24		2.184		
	18-15	350		4.753		
	18-9	623.4		8.465		
19	19-18	158.24	0.01358	2.184	3.551	246
	19-20	362.26		4.918		
20	20-19	362.26	0.01358	4.918	4.527	245
	20-21	304.62		4.136		
21	21-17	282.16	0.01358	3.818	3.977	245
	21-20	304.62		4.136		

V.14.1. Répartition arbitraire des débits

Apres le calcul des débits aux nœuds, nous pouvons donc faire la repartions arbitraire des débits pour pouvoir déterminer les diamètres dans chaque tronçon.

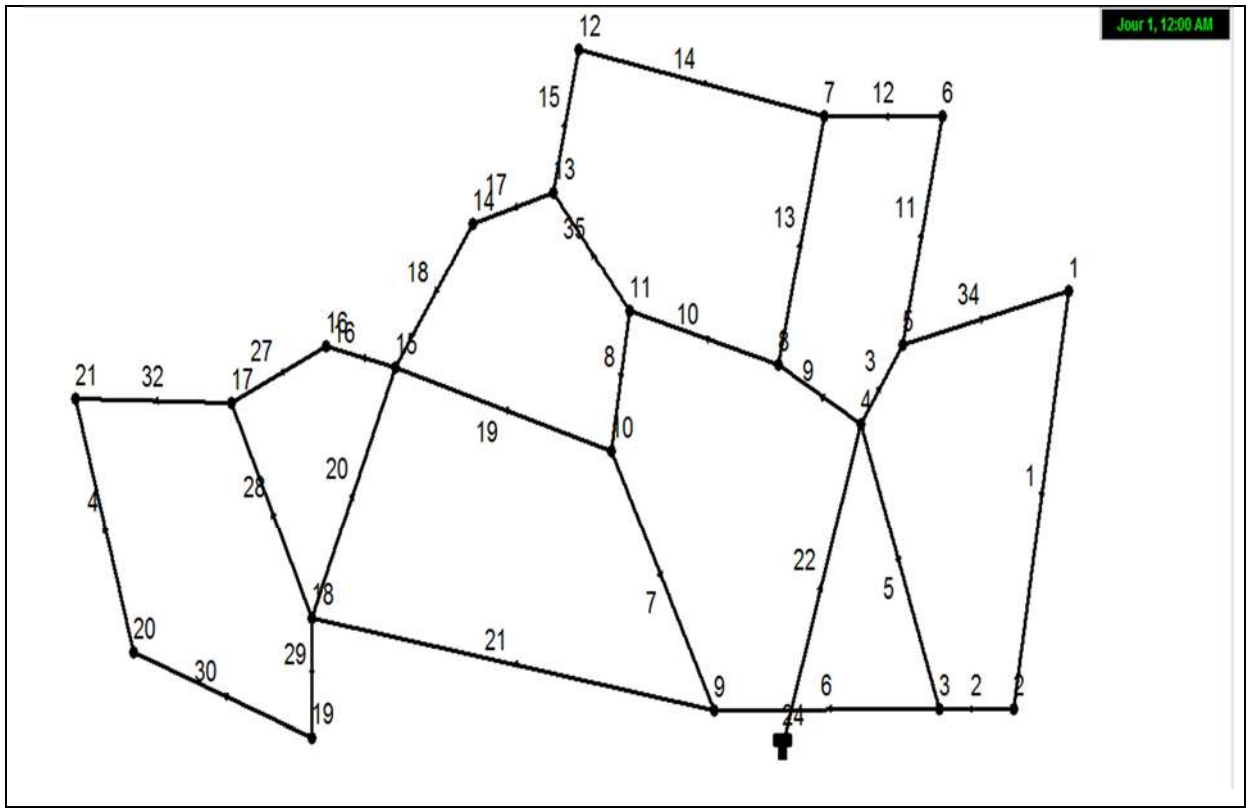


Schéma V.1 : réseau du quartier EL WIAM

V.15. Simulation par Lee logiciel EPANET.

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et de la qualité de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. IL calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes.

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace. **EPANET** contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes:

- ✓ La taille du réseau étudie est illimitée.
- ✓ Pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formulas de **Hazen-Williams**, **Darcy-Weisbach**, et **Chézy-Manning**.
- ✓ Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tes, etc.
- ✓ Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- ✓ Il peut calculer l 'énergie consommes par une pompe et son cout,

- ✓ l peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti retour, des vannes de control de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- ✓ Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).
- ✓ il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une modulation propre.
- ✓ Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).
- ✓ Le fonctionnement de station de pompage peut être pilots par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir) ou des commandes élaborées plus complexes. [14]

NB : pour le calcul de perte de charge, nous avons utilise la formule de **Hagen-Williams** avec une rugosité de 106. Apres plusieurs essais de simulation pour pouvoir respecter les normes de pressions et de vitesses, voici les résultats de la répartition définitive des débits et des pressions ainsi que les autres paramètres, dans le tableau suivant:

Tableau V.24 : résultat des différents tronçons avec leurs caractéristiques hydrauliques et géométriques.

Id Arc	Longueur (m)	Diamètre (mm)	Rugosité (LPS)	Débit (m/s)	Vitesse (m/s)	Pert .charge Unit (m/km)
N1-N2	498.58	125	106	2.06	0.17	0.50
N3-N2	146.88	80	106	2.33	0.46	5.54
N4-N5	131.36	150	106	18.52	1.05	12.08
N4-N3	402.32	150	106	13.39	0.76	6.63
N3-N9	459	100	106	4.22	0.54	5.64
N10-N9	281.7	200	106	32.66	1.04	8.51
N11-N10	137.64	250	106	45.68	0.93	5.34
N4-N8	136.64	300	106	77.02	1.06	5.78
N8-N11	309.01	300	106	65.76	0.93	4.31
N5-N6	284.9	125	106	6.18	0.50	3.84
N6-N7	208.72	80	106	2.83	0.56	7.94
N8-N7	325.94	100	106	6.03	0.77	10.26
N7-N12	552.36	80	106	1.47	0.29	2.38
N12-N13	142.86	80	106	3.25	0.65	10.26
N13-N14	195.2	100	106	8.23	1.05	19.40
N14-N15	212.16	80	106	2.70	0.54	7.30
N10-N15	494.34	100	106	7.12	0.91	14.84
N9-N18	623.4	200	106	27.63	0.88	6.24
N16-N17	173.12	80	106	2.45	0.049	6.10
N18-N17	405.32	125	106	5.94	0.48	3.58
N18-N19	158.24	125	106	9.49	0.77	8.52
N19-N20	362.26	125	106	5.94	0.48	3.58
N17-N21	282.16	80	106	2.56	0.51	6.61
R-N4	380	350	106	113.49	1.18	5.59
N5-N1	300.2	125	106	7.48	0.61	5.48
N11-N13	240.56	150	106	15.41	0.87	8.59
N20-N21	304.62	80	106	1.42	0.28	2.21
N15-N16	78.5	200	106	4.16	0.13	0.19
N18-N15	350	100	106	1.74	0.22	1.09

Tableau V.25 : résultat au niveau des nœuds

nœud	Altitude (m)	Demande base (lps)	Charge (m)	Pression (m)
N1	287	5.423	299.64	21.64
N2	261	4.382	299.39	38.39
N3	262	6.844	300.21	38.21
N4	280	4.550	302.87	22.87
N5	280	4.863	301.29	21.29
N6	270	3.351	300.19	30.19
N7	270	7.380	298.53	28.53
N8	285	5.239	302.08	17.08
N9	275	9.261	297.62	22.62
N10	268	5.898	300.02	32.02
N11	268	4.666	300.02	32.02
N12	245	4.720	300.75	33.75
N13	245	3.928	298.68	52.22
N14	244	5.531	294.90	50.90
N15	245	7.401	293.35	48.35
N16	255	1.708	293,33	38.33
N17	248	5.838	292.38	44.28
N18	245	10.452	293.73	48.73
N19	246	3.551	292.08	46.38
N20	245	4.527	291.08	36.08
N21	250	3.977	290.41	40.41
Réservoir 24	303	0	305	2

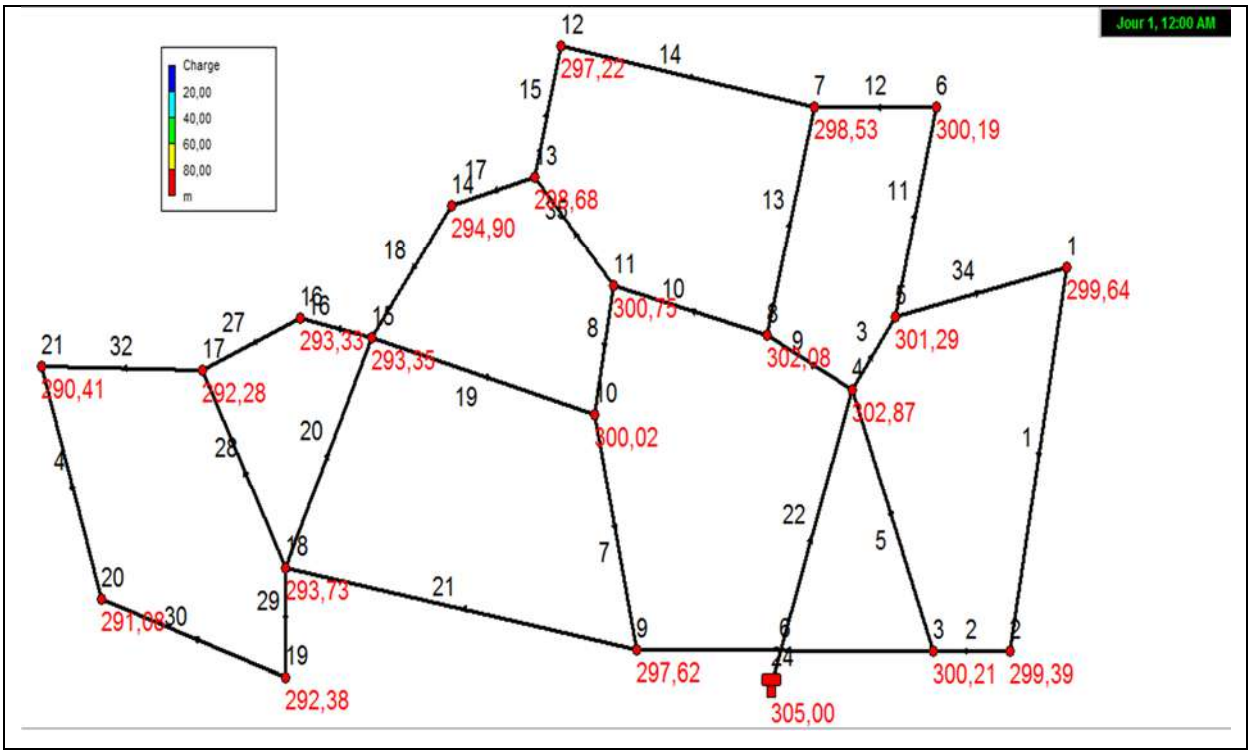


Schéma V.2 : charge du réseau

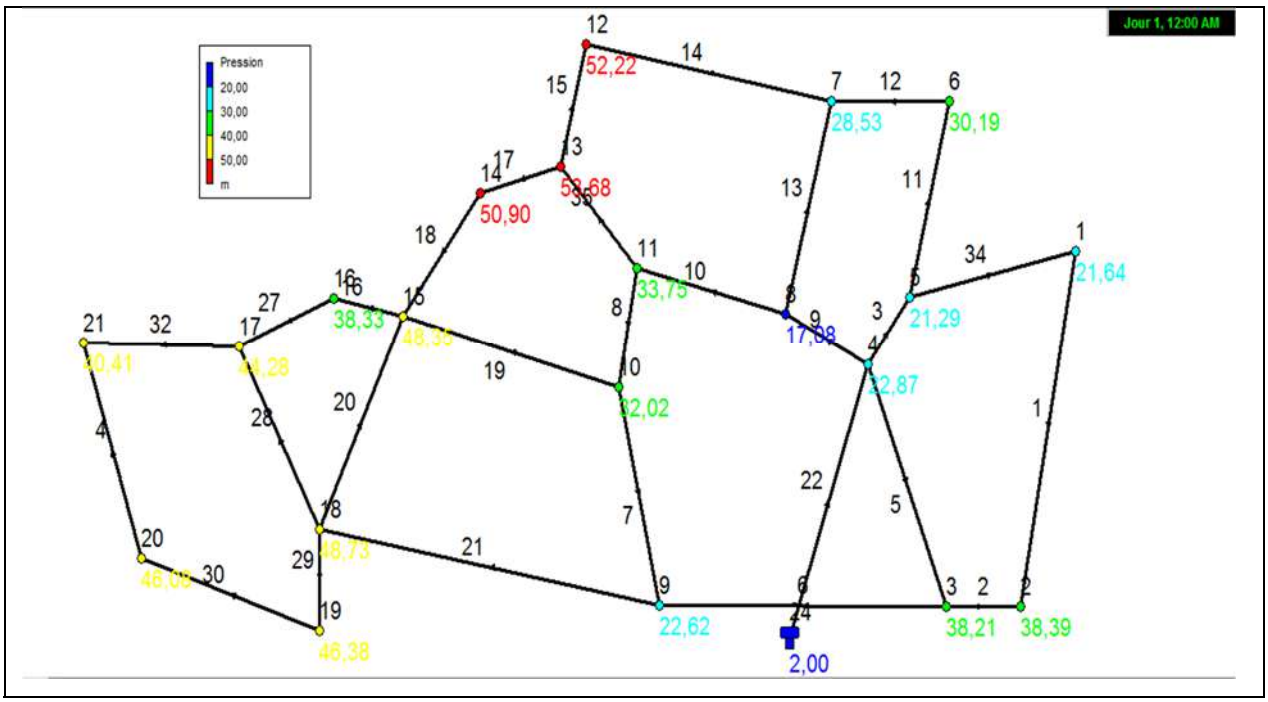


Schéma V.3: pression du réseau

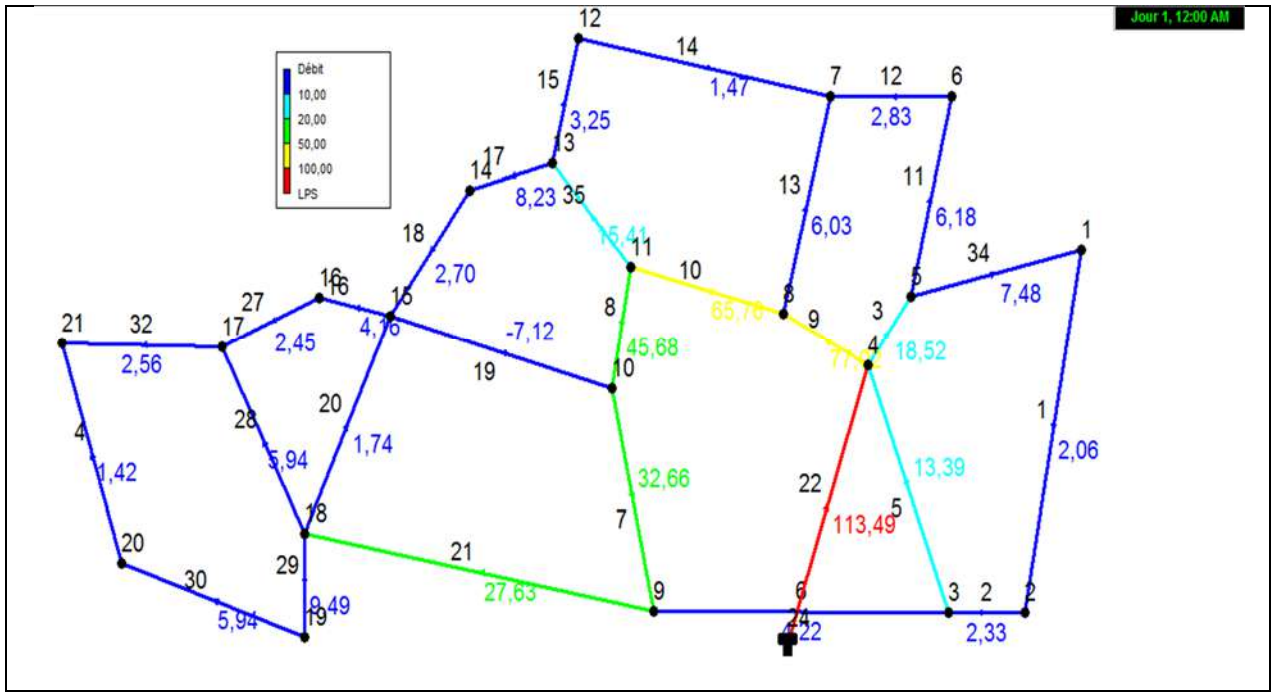


Schéma V.4 : débit du réseau

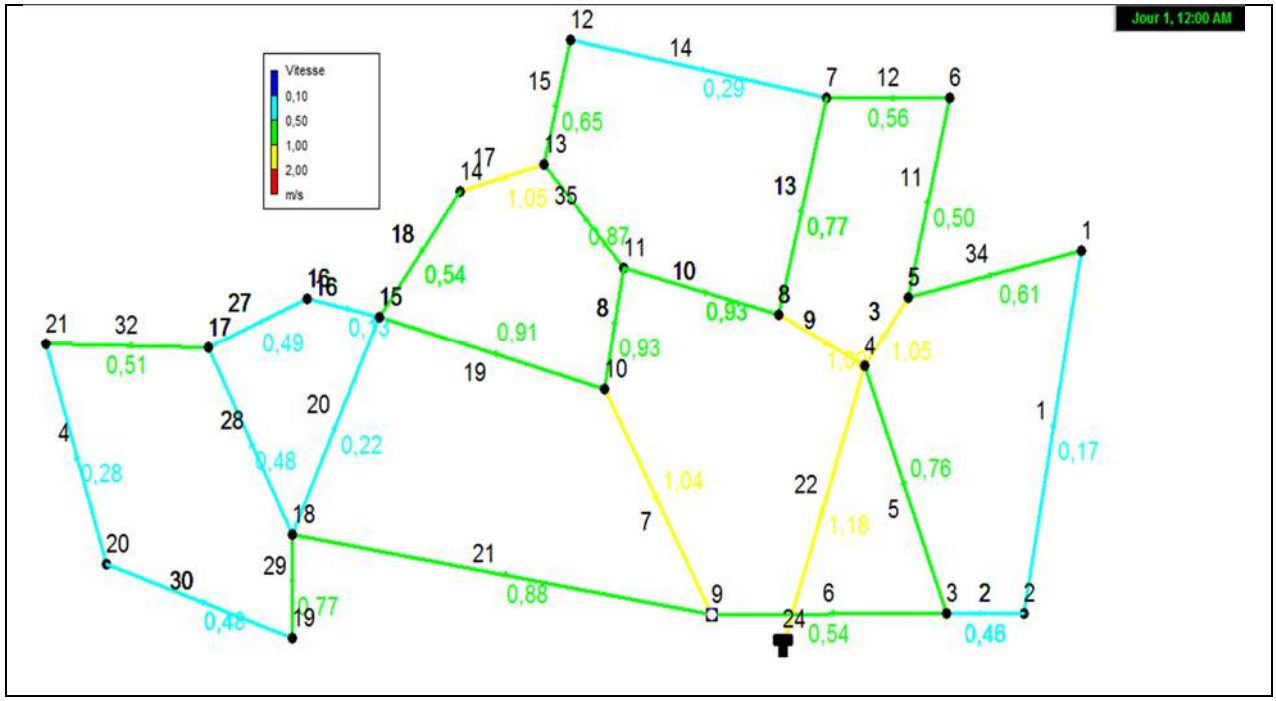


Schéma V.5 : vitesse du réseau

V.16. Equipement du réseau de distribution

V.16.1 Type de canalisation

Le réseau de distribution sera constitue d'un assemblage de tuyaux en acier, les drainettes utilises varient entre 80 mm et 350 mm.

V.16.2 Appareils et accessoires du réseau :

Les accessoires qui devront être utilises pour l'équipement du réseau de distribution sont les suivants :

V.16.2.1 Robinets vannes

Les robinets vannes sont places au niveau de chaque nœud, et permettent l'isolement des différents tronçons du réseau lors d'une réparation sur l'un d'entre eux. lis permettent aussi le réglage des débits, leur manouvre s'effectue à partir du sol au moyen d'une clé dite « béquille » Célie ci est introduite dans une bouche a clé placée sur le trottoir (facilement accessible).

V.16.2.2 Clapets

Les clapets ont un rôle d'empêcher l'eau en sens contraire de l'écoulement prévu.

V.16.2.3 Ventouses

Les ventouses sont des organes qui sont places aux points le plus hauts du réseau pour réduire la formation du vide dans les installations hydraulique. Elles permettent de chasser et pénétrer l'air dans la conduite ainsi que la limitation de la dépression.

V.16.2.4 Robinets de vidange

Ce sont des robinets places aux points les plus bas du réseau de distribution pour permettre la vidange de la conduite. Ces robinets seront poses a l'intérieur d'un regard en maçonnerie.

V.16.2.5 Bouche d'arrosage

Ce sont des bouches situées aux alentours des jardins.

V.16.2. 6 pièces aspectâtes de raccord

a) **les Tes :** ils utilisent au niveau d'un réseau pour soutirer ou ajouter un débit.

b) **les coudes :** ils sont utilises pour le changement de direction.

c) **les cônes :** ils sont utilises pour raccorder deux conduites de Diamètres déférents.

d) **les croix de jonction:** ils sont utilises au niveau des nœuds pour le Croisement des deux conduites perpendiculaires.

e) **les manchons :** ce sont des morceaux de 25 a 50 cm, qui sont utilises pour le raccordement des accessoires et appareillages.

f) **Les compteurs :** le réseau de distribution nécessite I 'emplacement des compteurs qui seront installes en des points adéquats, et servent a l'évaluation du rendement du réseau de distribution et le contrôle de la consommation.

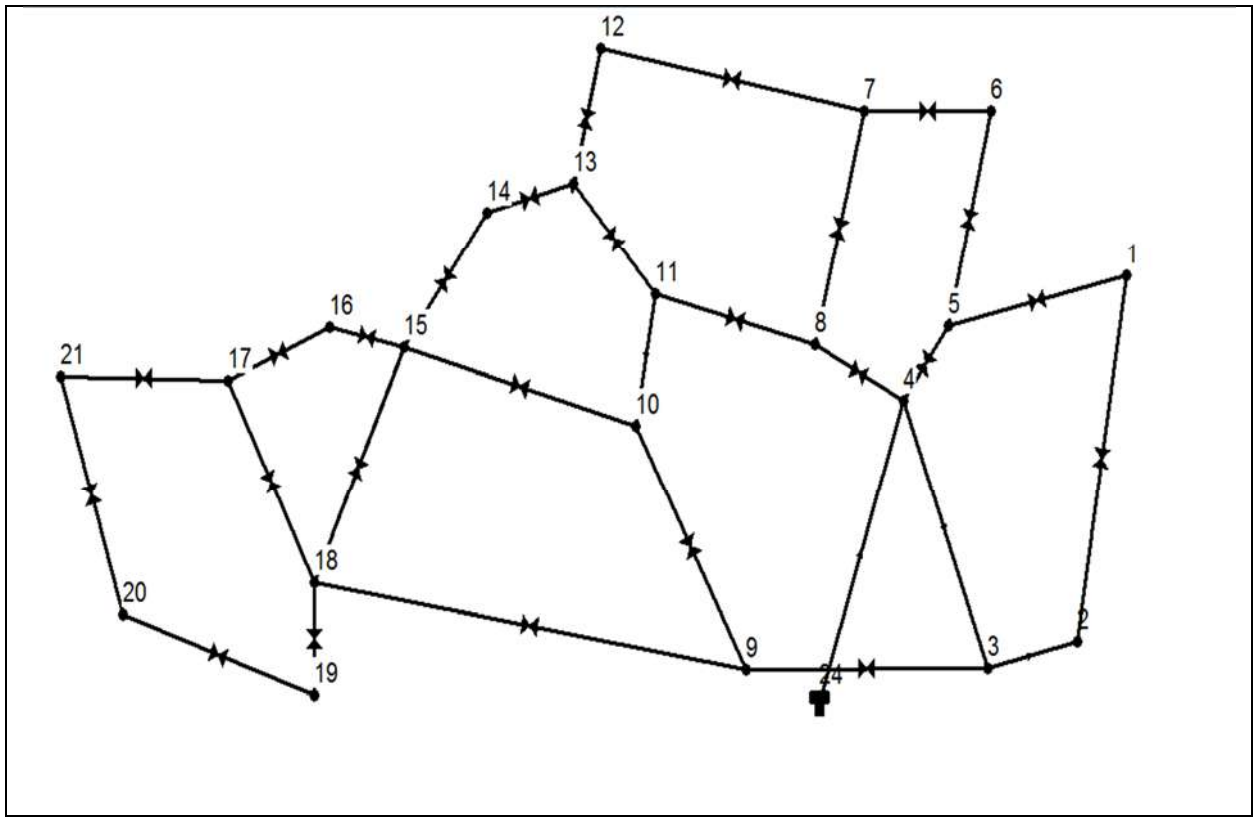


Schéma V.6: les vannes au niveau du réseau de distribution

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'évaluer la consommation moyenne journalière de l'agglomération qui est de **4916.1** m^3 / j .Cette dernière nous permettra de déterminer les caractéristiques de la Consommation en eau qui sera utilisés dans nous calcules pour déterminer tous les débits journaliers (maximum et minimum) et tracer les courbes de consommation horaires afin de déterminer tous les débits horaires (moyenne, maximum et minimum).

A travers cette étude nous avons pu faire le dimensionnement de notre réseau avec le logiciel EPAN ET qui donne un résultat très clair. Il faut savoir que les diamètres utilises pour notre réseau varient entre 80 mm et 350 mm et les pressions varient entre 17m et 52 m.

Conclusion générale.

Dans ce mémoire de fin d'étude, nous avons précède a l'étude d'un projet d'alimentation en eau potable.

Cette étude concerne tous les points ayant trait d'une part à l'économie et d'autre part a la technique dans le souci d'avoir une réalisation et une exploitation rationnelle des équipements.

Ce projet à été étudie en tenant compte des conditions naturelles et tout en essayant de satisfaire la demande des habitants dans des conditions technico-économique rationnelles.

La finalisation de ce projet d’étude d’une importance particulière d’AEP de ces zones reculées jusqu'à l’horizon 2038.

Tableau IV.3. Pompe (1) pour 3eme vitesse à 1800 tr/min (105W).

Temps (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$ (kg/sec)^2	P_1 (bar)	Rendement (%)
1.24	0.68	0.46	0.13	8.40
1.67	0.57	0.32	0.22	11.94
2.47	0.36	0.12	0.35	12.00
4.87	0.28	0.078	0.41	11.48
8.1	0.18	0.032	0.48	8.22
4.37	0.11	0.012	0.50	5.23
0	0	0	0.54	0

Tableau IV.4. Pompe (1) pour 2eme vitesse à 1150 tr/min (70W).

Temps (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 bar	Efficacité %
1.33	0.57	0.32	0.12	9.77
1.79	0.50	0.25	0.20	14.28
2.71	0.34	0.11	0.31	15.05
3.60	0.25	0.06	0.38	13.47
5.71	0.16	0.02	0.44	10.50
8.27	0.11	0.01	0.50	7.38
0	0	0	0.52	0

Tableau IV.5. Pompe (1) pour 1er vitesse 750 tr/min (40W).

Temp (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	Rendement (%)
1.54	0.46	0.21	0.10	11.50
2.32	0.40	0.16	0.15	15.00
3.31	0.27	0.072	0.23	15.52
4.24	0.21	0.044	0.30	15.75
6.36	0.14	0.019	0.35	12.25
8.70	0.10	0.010	0.40	10.00
0	0	0	0.48	0

Tableau IV.6. Pompes en séries 3eme vitesse 1200 tr/min 105W.

Temp (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Rendement pompe 1 (%)	Rendement pompe 2 (%)
0.89	0.85	0.72	0.15	0.07	6.47	5.66
0.95	0.81	0.65	0.22	0.1	9.25	7.71
1.19	0.61	0.37	0.42	0.20	12.78	11.61
1.60	0.50	0.25	0.54	0.26	13.33	12.38
1.90	0.28	0.078	0.80	0.39	10.93	10.40
7.17	0.13	0.016	0.98	0.48	6.19	5.94
0	0	1.09	0.54	0	0	0

Tableau IV.7. Pompes en séries pour 2eme vitesse à 1150 tr/min (70W).

Temps (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Rendement pompe 1 (%)	Rendement pompe 2 (%)
1.06	0.71	0.50	0.13	0.04	9.12	4.5
1.12	0.66	0.43	0.20	0.08	11.31	7.54
1.50	0.49	0.24	0.38	0.17	14.70	11.90
1.79	0.44	0.19	0.48	0.21	16.97	13.20
3.36	0.25	0.062	0.71	0.35	12.58	12.50
7.32	0.12	0.014	0.90	0.45	7.71	7.71
0	0	0	1.04	0.54	0	0

Tableau IV.8. Pompes en séries pour 1er vitesse à 750tr/min (40W).

Temps (sec)	$\dot{Q}$(kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Rendement pompe 1 (%)	Rendement pompe 2 (%)
1.56	0.56	0.31	0.10	0.03	9.80	4.20
1.43	0.54	0.29	0.15	0.05	13.50	6.75
2.06	0.42	0.17	0.25	0.11	14.70	11.55
2.40	0.35	0.12	0.32	0.15	14.87	13.12
3.29	0.22	0.048	0.56	0.25	16.50	14.30
7.80	0.11	0.012	0.74	0.38	10.45	10.45
0	0	0	0.9	0.45	0	0

Tableau IV.9. Pompes en parallèles pour 3eme vitesse à 1200tr/min 105W.

Temps (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Rendement pompe1 (%)	Rendement pompe 2 (%)
0.93	0.94	0.88	0.19	0.22	8.50	9.84
1.14	0.72	0.51	0.30	0.32	10.28	10.97
1.84	0.49	0.24	0.41	0.44	9.56	10.26
3.46	0.24	0.057	0.49	0.51	5.60	5.82
14.95	0.05	0.0025	0.52	0.52	1.23	1.23
0	0	0	0.55	0.55	0	0

Tableau IV.10. Pompes en parallèles pour 2eme vitesse à 1150 tr/min (70W).

Temps (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Rendement pompe1 (%)	Rendement pompe 2 (%)
0.94	0.81	0.65	0.18	0.20	10.41	11.57
1.28	0.70	0.49	0.25	0.28	12.50	14.00
2.05	0.43	0.18	0.38	0.40	11.66	12.28
3.87	0.23	0.052	0.44	0.46	7.22	7.55
16.04	0.05	0.025	0.51	0.51	1.82	1.82
0	0	0	0.42	0.42	0	0

Tableau IV.11. Pompes en parallèles pour 1er vitesse à 750tr/min (40W).

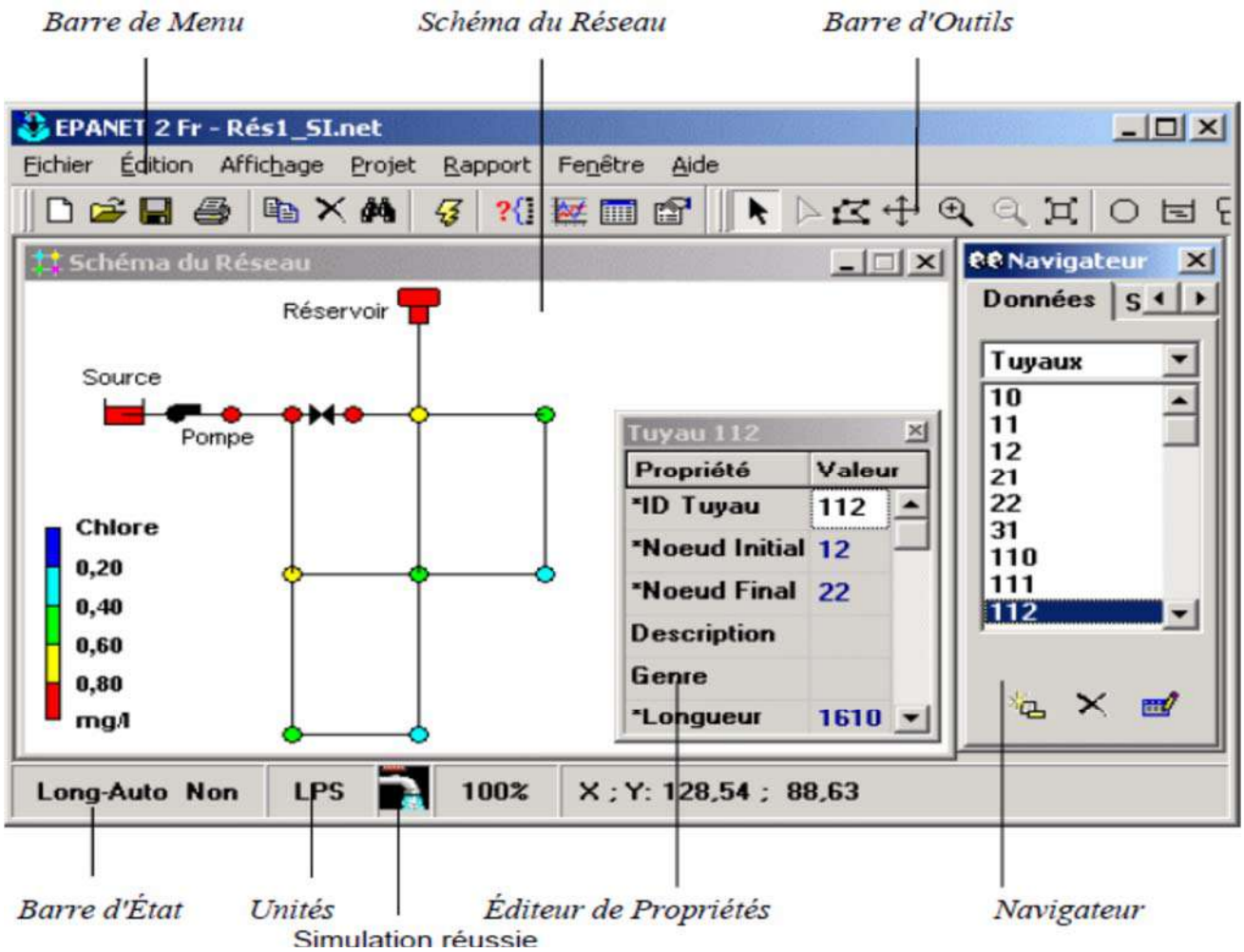
Temps (sec)	$\dot{Q}$ (kg/sec)	$\dot{Q}^2$(kg/sec)^2	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Rendement Pompe 1 (%)	Rendement pompe 2 (%)
1.27	0.61	0.37	0.12	0.14	9.15	10.67
1.47	0.57	0.32	0.20	0.22	14.25	15.67
2.46	0.36	0.12	0.30	0.32	13.50	14.40
4.23	0.21	0.044	0.37	0.39	9.71	10.23
16.35	0.04	0.0016	0.44	0.44	2.20	2.20
0	0	0	0.36	0.36	0	0

I. Introduction

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Un réseau est un ensemble de tuyaux, n.uds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs. EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque noud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. En voici quelques exemples: définition d'un programme de prélèvement d'échantillons, calage d'un modèle hydraulique, simulation du chlore résiduel, et estimation de l'exposition de la population à une substance.

II. Présentation de l'écran de logiciel



II. 1. Les barres d'outils

Les Barres d'Outils fournissent un accès rapide aux commandes les plus utilisées. Il y a deux barres d'outils :

II. 1 a. La barre d'outils standard


Crée un nouveau projet d'EPANET (**Fichier** >> **Nouveau**)


Ouvre un projet existant (**Fichier** >> **Ouvrir**…)


Enregistre le projet actuel (**Fichier** >> **Enregistrer**)


Imprime la fenêtre actuelle (**Fichier** >> **Imprimer**)


Copie le contenu de la fenêtre actuellement active dans le presse-papiers ou dans un fichier (**Edition** >> **Copier dans**…)


Efface l'objet sélectionné


Localise un objet dans le réseau (**Affichage** >> **Rechercher**…)


Exécute une simulation (**Projet** >> **Lancer la Simulation**)


Recherche des éléments dans le réseau qui répondent à des critères spécifiques (**Affichage** >> **Requête**…)


Visualise graphiquement les résultats dans une nouvelle fenêtre (**Rapport** >> **Graphique**…)


Montre un nouveau tableau des valeurs numériques des résultats (**Rapport** >> **Tableau**…)


Définit les options pour la visualisation du schéma, du rapport, du graphique ou du tableau actuellement actif (**Affichage** >> **Options du Schéma**… ou **Rapport** >> **Options**…)

II. 1b. La barre d'outils du schéma


Permet la sélection d'un objet dans le schéma (**Édition** >> **Sélectionner Objet**)


Permet la sélection des sommets du tracé sur le schéma (**Édition** >> **Sélectionner Sommet**)


Permet la sélection d'une région limitée dans le schéma (**Édition** >> **Sélectionner Région**)


Déplace le schéma du réseau (**Affichage** >> **Déplacer**)


Permet de voir le schéma de plus près (zoom avant) (**Affichage** >>**Approcher**)


Permet de voir le schéma de plus loin (zoom arrière) (**Affichage** >>**Éloigner**)


Redessine la carte en pleine échelle (**Affichage** >>**Pleine Échelle**)


Ajoute un Nœud de Demande au schéma


Ajoute une Bâche au schéma du réseau


Ajoute un Réservoir au schéma du réseau


Ajoute un Tuyau au schéma du réseau


Ajoute une Pompe au schéma du réseau


Ajoute une Vanne au schéma du réseau


Ajoute un Texte au schéma du réseau

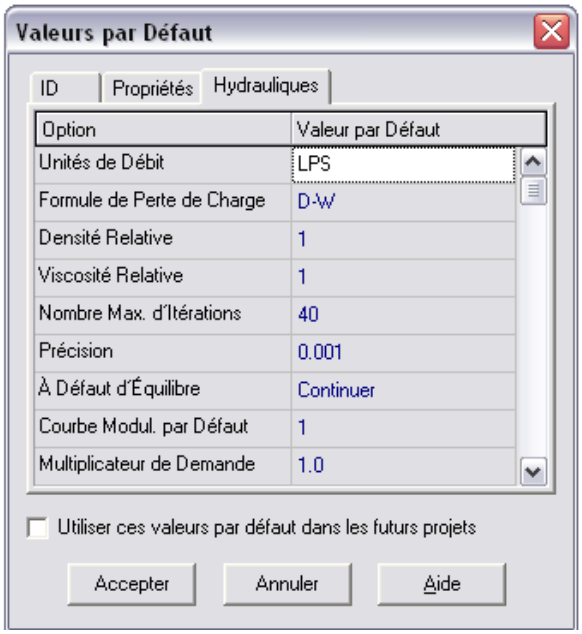
III. Les Étapes de l'Utilisation d'EPANET

III. 1 Configuration d'un Nouveau Projet

-On clique sur «fichier» puis «nouveau»
-Avant le tracer le réseau on règle unité de débit
On clique sur «projet» ⟶ par défaut Hydraulique : (figure-1-)
débit ⟶ LPS (l/s)

Ceci implique dans ce cas que les unités métriques SI seront utilisées pour toutes les autres quantités (longueurs en mètres, diamètres en millimètres, pressions en mètres, etc).

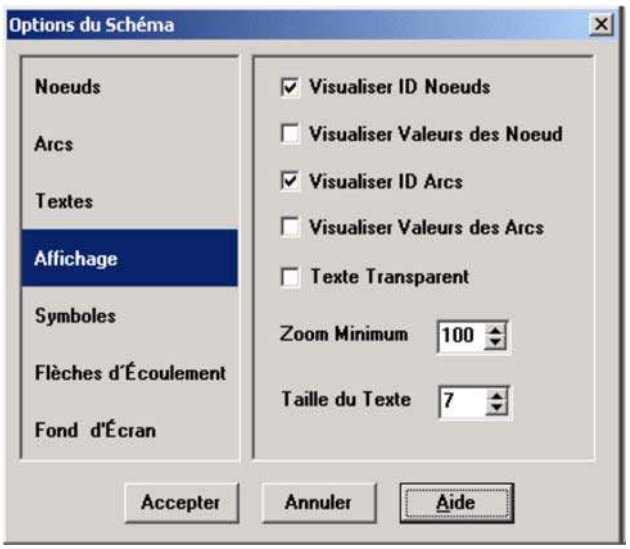
Formule de perte de charge ⟶ Darcy-Weisbach (D-W)
Cette formule est utilisable on tout régime en charge dans notre cas c'est AEP.



(figure-1-) boite de dialogue valeur par défaut

III. 2 Ajout des objets au schéma

Affichage ⟶ Options du Schéma
Dans la boîte de dialogue options du Schéma on choisie la rubrique voulue et on coche les cases comme représentées dans la figure 2 ci-dessous



(figure-2-) boite de dialogue option de schéma

III. 3 Tracé du réseau

EPANET modélise un système de distribution d'eau comme un ensemble d'arcs reliés à des nœuds, on parle des composants physiques. Les arcs représentent des tuyaux, des pompes, et des vannes de contrôle. Les n.uds représentent des n.uds de demande, des réservoirs et des bâches, on dessine notre réseau à l'aide de la Barre d'Outils du Schéma affichée ci-dessous



Dans un premier temps, nous allons placer les nœuds du réseau (bâche infinie, les nœuds de demandes, réservoir) figure. 3.

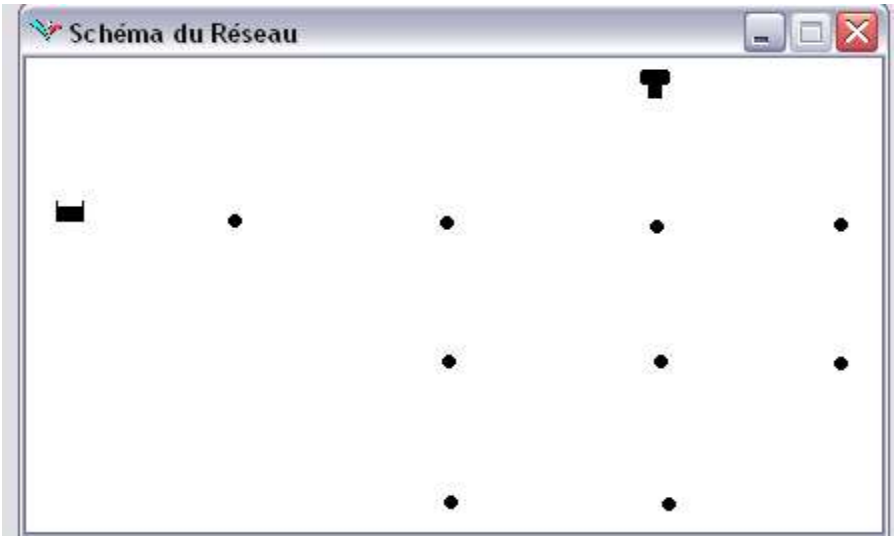


Figure. 3 : schéma du réseau après ajout des nœuds

Dans un deuxième temps, nous allons ajouter les arcs qui relient les nœuds (pompe, tuyaux), pour la pompe on click sur le nœud d'aspiration puis le nœud de refoulement suivant l'écoulement

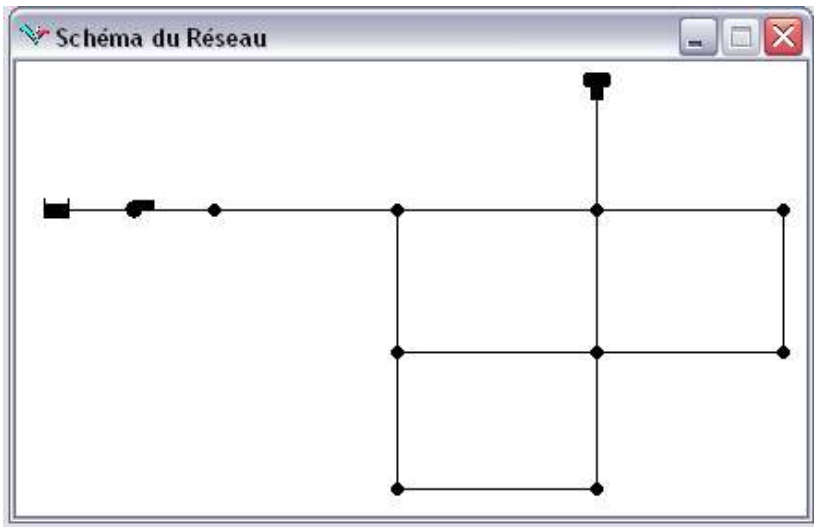


Figure. 4 : schéma du réseau après ajout des arcs

III. 4 Saisie les Propriétés des Objets

Pour modifier la valeur d'une propriété particulière d'un objet, on fait double-clique sur l'objet dans le schéma, l'Éditeur de Propriétés apparait (figure. 5). Quand la fenêtre apparait on peut simplement cliquer sur la propriété et la modifie.

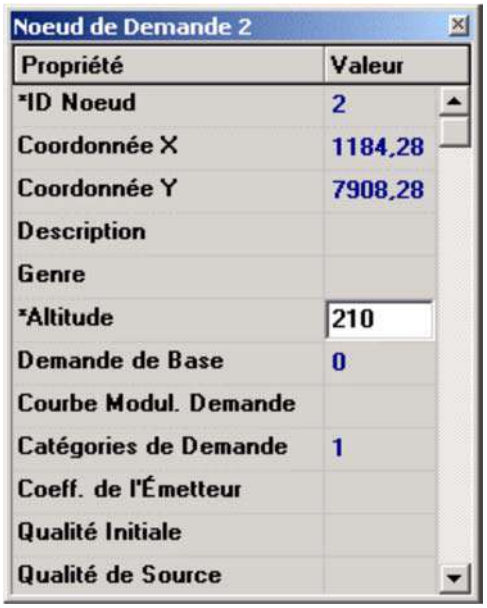


Figure. 5 : l'Éditeur de Propriétés des nœuds de demandes.

Pour :

- Les nœuds de demande, on saisit l'altitude et la demande de Base figure.5;
- La bâche d'eau infinie (source), on saisit l'altitude seulement;

- le réservoir, on saisit le diamètre, l'altitude et les niveaux initial, minimal et maximal d'eau (figure. 6.)



Figure.6 : l'Éditeur de Propriétés de réservoir

De la même façon, on clique sur chacun des tuyaux pour faire apparaître ses propriétés dans l'Éditeur des Propriétés et on introduise la Longueur, le Diamètre, et la Rugosité (le coefficient ε de Darcy-Weisbach) (figure.7)

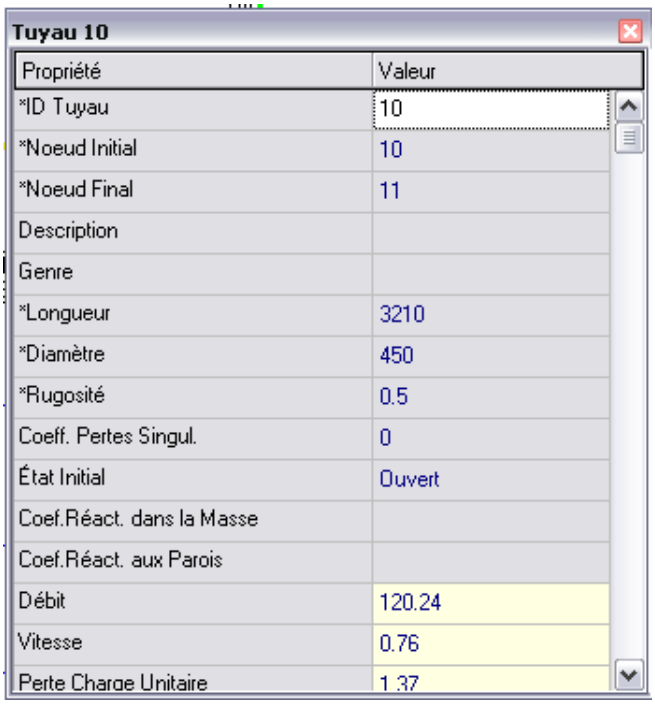


Figure.7 : l'Éditeur de Propriétés des tuyaux.

Pour la pompe, on doit lui donner une courbe caractéristique (la hauteur manométrique totale en fonction du débit), voir figure.8.

On sélectionne la pompe (Arc) dans l'éditeur des propriétés et on introduise l'étiquette d'identification 1 dans le champ de Courbe Caractéristique de la Pompe. Ensuite on va créer la courbe caractéristique de la pompe 1.

On Sélectionne Courbes dans le menu de Navigateur des Données, et on clique sur le bouton Ajouter. Une nouvelle courbe est alors ajoutée à la base de données, avec l'Étiquette 1, et la fenêtre de l'Éditeur de Courbe apparaît (voir figure 8).On Introduise le Débit Nominal et la Hauteur Nominale (m.c.e.) de la pompe. EPANET crée automatiquement une courbe caractéristique complète à partir de ce seul point. L'équation de la courbe caractéristique et sa forme graphique sont représentées dans la même fenêtre. Cliquez sur Accepter pour fermer l'éditeur.

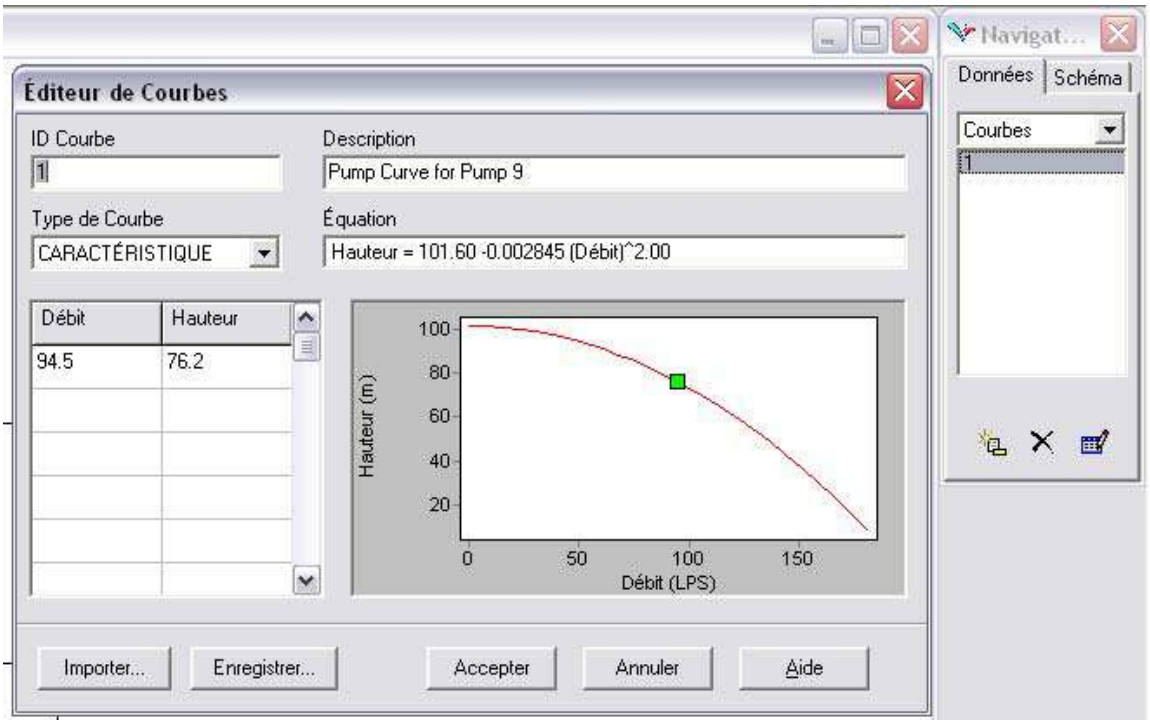


Figure.8 : l'Éditeur de la courbe caractéristique de la pompe

IV) Exécution de Simulation de logiciel

IV. 1 Exécution d'une Simulation d'Écoulement Permanent

Pour exécuter la simulation, on choisie Projet >>> Lancer la simulation ou cliquez sur le bouton lancer la simulation  de la barre standard

État de la simulation: une icône représentant un robinet indique:

- S'il n'y a pas de résultats de calcul disponibles, il n'y a pas d'eau qui coule 
- S'il y a des résultats de calcul disponibles et valables, il y a de l'eau qui coule, 

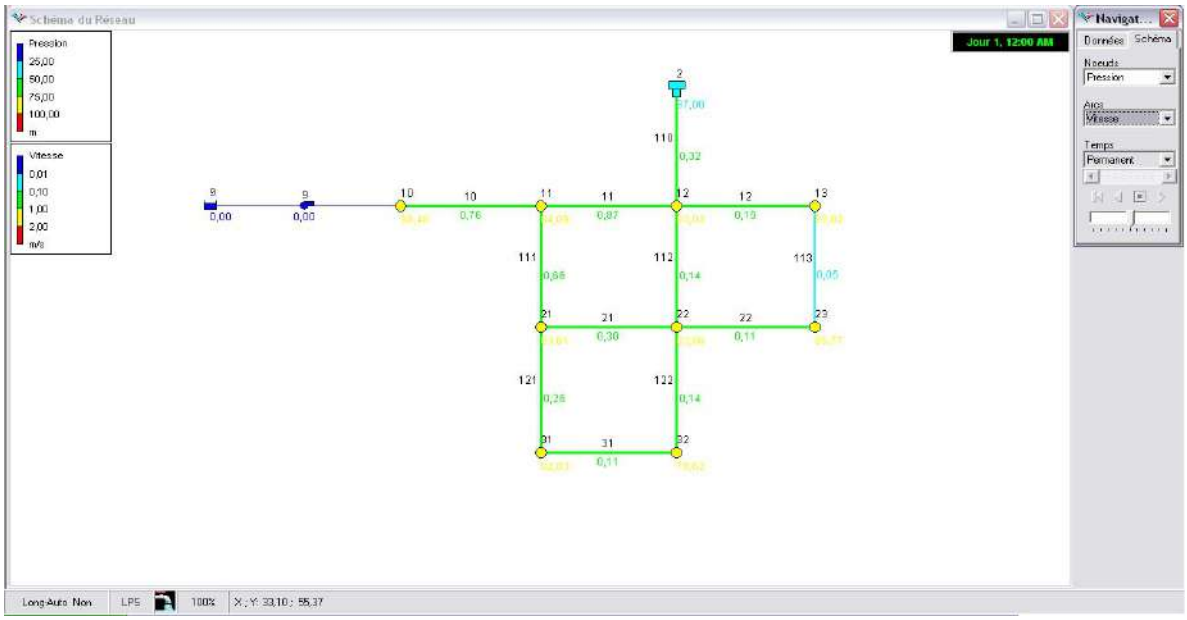


Figure.9 : Simulation de l'écoulement permanent avec les pressions aux nœuds et les vitesses aux tuyaux.

IV.2. Exécution d'une Simulation de longue durée

Pour rendre notre étude plus réaliste et pour simuler le comportement du système sur une longue durée on va créer une Courbe de Modulation dans laquelle les demandes aux nœuds changent périodiquement pendant la journée. Le terme «longue durée» indique une succession découlement permanents, pendant les quels les niveaux d'eau des réservoirs sont mis à jour périodiquement.

Dans notre cas on va prendre l'intervalle de temps de 2 heures et une demande en eau changeant 12 fois dans une même journée (24h). Pour fixer la durée de l'intervalle on sélectionne options >>> Temps, dans le Navigateur des Données

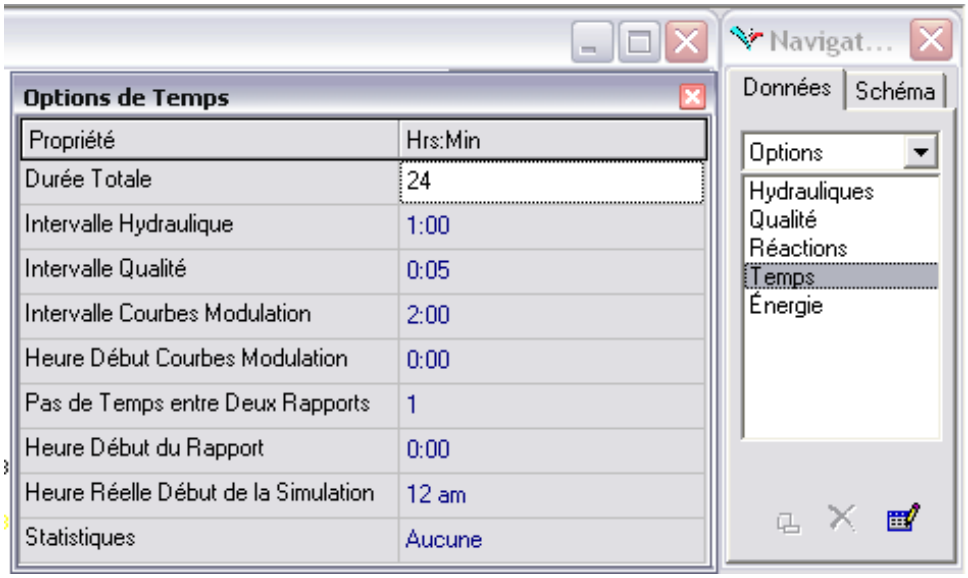


Figure.10 : Ajustement des paramètres temporels.

Pour créer la courbe de modulation, on la sélectionne dans le navigateur et on clique sur le bouton Ajouter >>> on Introduise les multiplicateurs et on clique Accepter pour fermer l'éditeur

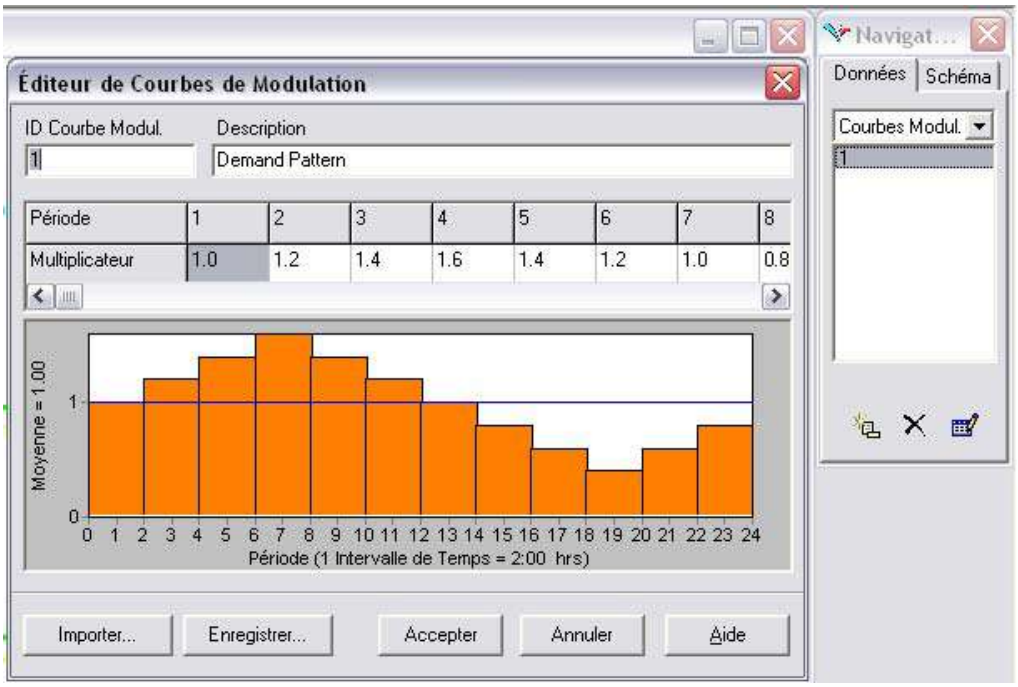


Figure.11.L'éditeur de courbe de modélisation

Quand on exécute la simulation, on peut afficher les résultats aux différents instants. On peut également voir les résultats sous forme d'animation on cliquant sur le bouton de type vidéo Avance pour mettre en marche l'animation.

Pour crée une représentation graphique des variations du niveau d'eau (charge) dans le réservoir en fonction de temps, on sélectionne le réservoir >>> Rapport >>> Graphique >>> Graphe d'Évolution et on sélectionne Charge comme paramètre à représenter graphiquement, on Clique sur Accepter pour confirmer notre choix

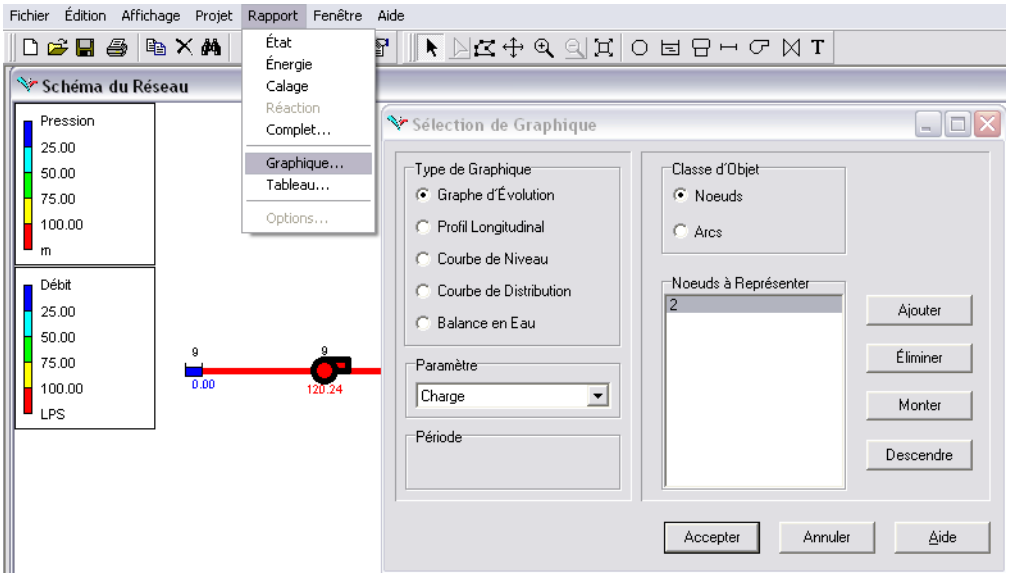


Figure.12.Création d'un rapport graphique

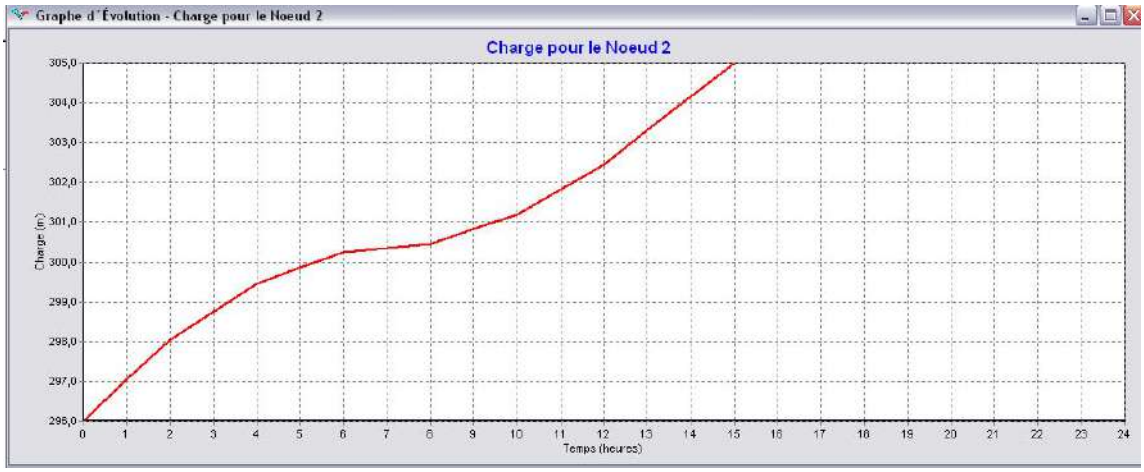


Figure.13 : Rapport graphique d'évaluation de la charge dans le réservoir en fonction du temps.

IV. 3 Exécution d'une Simulation de la qualité

IV. 3a Simuler le temps de séjour :

On choisie séjour comme paramètre dans le Options Qualité (sélectionnez Options - Qualité dans le Navigateur des Données), on prend comme temps de simulation 100h dans option de temps (durée total (voir figure.10)), puis éditeur de propriété du réservoir on cliquant la dessous 2fois, on le donne comme qualité initial de séjour 50h (voir figure.6), puis simuler et régler le temps sur 80h dans le navigateur.(fig.14)

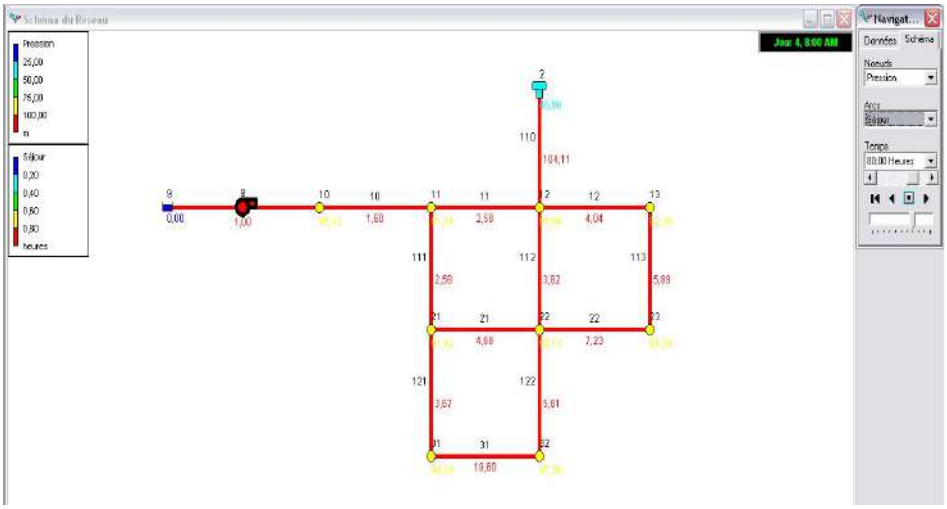


Figure.14.Temps de séjour au niveau des tuyaux a t = 80h

IV. 3b Simulation de transport et la disparition du chlore dans le réseau

On sélectionne Options - Qualité dans le Navigateur des Données, dans le champ Paramètre on tape le mot Chlore. On choisit comme unité de masse mg/l

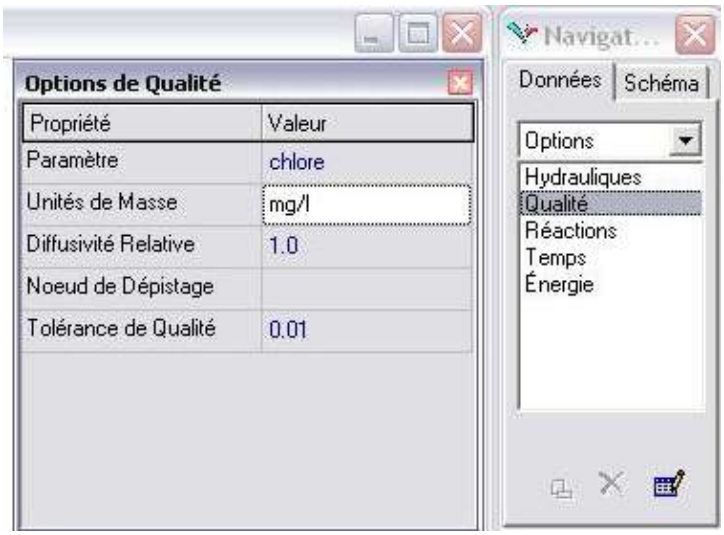


Figure.15 : option de qualité

On Passe maintenant à Options >>> Réactions dans le Navigateur des Données. Pour le Coefficient Global de Réaction dans la Masse on introduise une valeur de -5, Ce coefficient reflète la vitesse à laquelle le chlore va réagir suite aux réactions dans la masse d'eau seule. Cette vitesse sera la même dans tous les tuyaux du réseau. (voir figure.16), Pour le Coefficient. Global de Réaction aux parois on introduise la valeur de -1,(figure.17)

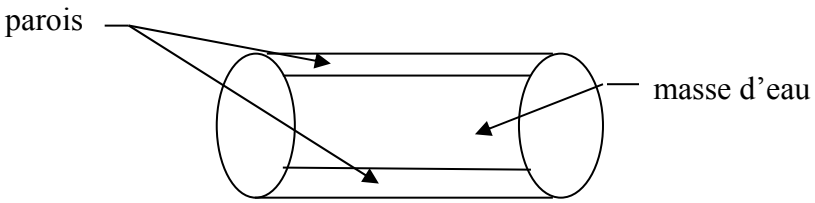


Figure.16.

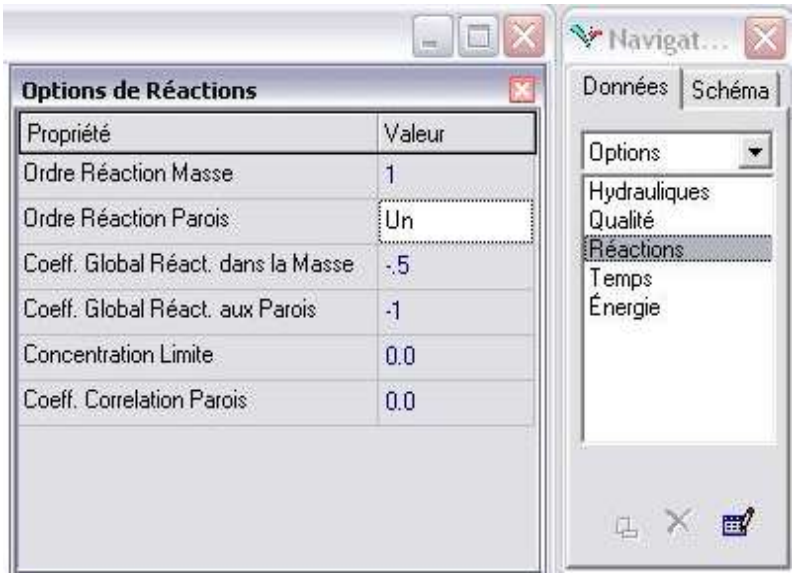


Figure.17 : Introduction des coefficients global de la réaction

On introduise 1,0 (1 mg/l) comme Qualité Initiale au niveau de la bâche et le réservoir. Ceci représente la concentration de chlore qui entre dans le réseau d'une manière continue.

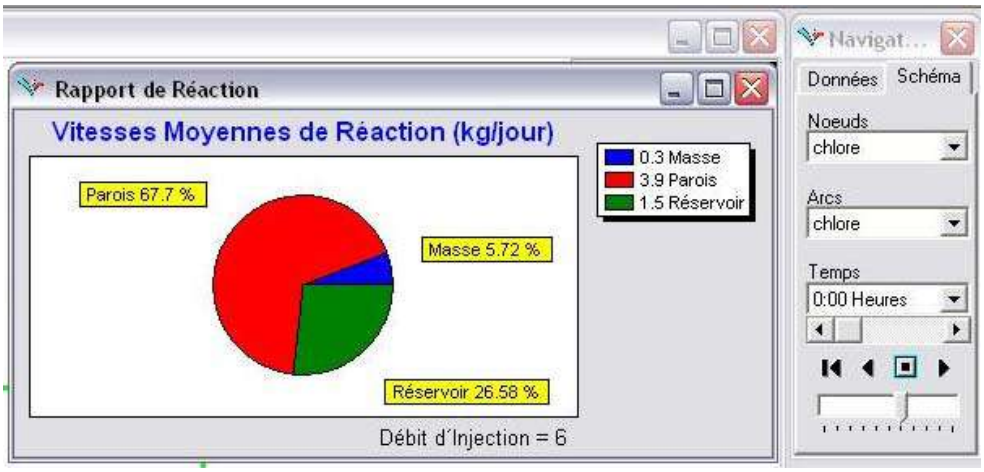


Figure.18. rapport de réaction pour la disparition du chlore dans le réseau

Ce rapport affiche la répartition moyenne des pertes en chlore dans les tuyaux et dans les réservoirs. Le terme "masse" se rapporte aux réactions qui se produisent dans la masse du fluide tandis que le terme "parois" se rapporte aux réactions avec les parois des tuyaux.

V. CONCLUTION

EPANET effectue prolongé la période de simulation du comportement hydraulique et qualité de l'eau au sein des réseaux de canalisations sous pression et est conçue pour être « un outil de recherche qui améliore notre compréhension du mouvement et du devenir des constituants de l'eau potable dans les systèmes de distribution

BIBLIOGRAPHIE

[1] Pascal Finaud-Guyo,tPierre-André Garambois,Mécanique des fluides Hydraulique en charge Hydraulique à surface libre (2016 – 2017)

[2] William M. Haynes. CRC Hand book of Chemistry and Physics, 95th Edition. CRC Press, June (2014)

[3] J. VAZQUEZ and M. DUFRESNE. Hydrostatique et hydraulique en charge. Formation Mastère

Eau Potable et Assainissement. ENEES Edition, (2012).

[4] A. LENCASTRE. Hydraulique générale. SAFEGE, 1999.

[5] cours d'approvisionnement en eau potable - EIER - novembre 2003- D. ZOUNGRANA

[6]

[7] BRIERE F.G .distribution et collecte des eaux .Ecole polytechnique, Montréal, 2000

[8] A.G.H.T.M . Les stations de pompage d'eau Lavoisier, Tec. Et Doc., Paris, 1994.

[9] BONIN J. Hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance EYROLLES, Paris, 1977

[10] DUPONT A. Hydraulique urbaine : Ouvrages de transport, élévation et distribution des eaux - Tome 2 EYROLLES, Paris, (1979)

[11] Ahmed misbah Youssef, PUMP TECHNOLOGY

[12] ;(http://www.almohandiss.com/

[13] Formation TOTAL: MAINTENANCE MECANIQUE LES POMPES

Manuel de formation EXP-MN-SE090-FR Dernière révision: (26/11/2008)

[14] Henri Chrlent,partick Agostini.tratite des installation sanitaires,15^{e} édition du traité de plomberie(1999)

[15] M.C Salah Boualem. Polycope cours d'A.E.P 4eme et 5 ^{eme} année : E.N.S.H (1993)

[16] BOUZIANE F. Z alimentation en eau potable des centres ruraux de sidi amar, merad et meunacer w.tipaza.(2008)