



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Hydraulique
Hydraulique Urbaine

Réf. : HU/29/2018

Présenté et soutenu par :
MAZOUZ Abd el djalil

Le : mardi 26 juin 2018

Optimisation des réseaux D'AEP

Jury :

M.	LABADI Abd Allah	MCA	Université de Biskra	Président
Mme.	CHARHABIL Sonia	MCA	Université de Biskra	Examineur
M.	BOUZYAN Med Toufik	Pr	Université de Biskra	Rapporteur

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail Aux deux êtres qui me
sont les plus chères au monde, qui sont ma raison
d'être et de vivre ; ma mère et mon père*

A mes très chers frères : Akram ;

A ma très cher sœur : Malek Soundes ;

*A toute ma famille ; A tous mes amis ; A tous
mes collègues de l'université de Biskra A tous
ceux qui me sont chers*

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercions Dieu
Tout Puissant, Pour toute la puissance qu'il
nous a donné Pour réaliser ce modeste travail.
Nous exprimons notre plus vif remerciement à
notre encadreur Pr. M. T. Bouriane Qui
nous a aimablement orienté et assidûment dirigé
notre travail. Nous présentons aussi nos sincères
remerciements au président du jury et le Membre
du jury examinateur qui a l'honneur de participer
au jury de ce travail. Et enfin nous remercions
l'ensemble des enseignants et collègues de notre
promotion, qui nous Ont aidés à réaliser ce modeste
travail.*

M. A. L. O. U. K.

Résumé :

Le but de ce travail est la conception technico-économique du réseau d'eau potable par la programmation non-linéaire (optimisation). Cette étude comprend l'équilibrage des lois de Kirchhoff (la loi des nœuds et la loi des mailles). Pour réaliser ce but, on a utilisé l'optimisation sans contraintes par logiciel EPANET.

Abstract:

The purpose of this work is the technical and economic design of the drinking water network through non-linear programming (optimization). This study includes the balancing of Kirchhoff's laws (the law of knots and the law of stitches). To achieve this goal, we used the optimization without constraints with EPANET software.

ملخص:

الغرض من هذا العمل هو التصميم الفني والاقتصادي لشبكة مياه الشرب من خلال البرمجة غير الخطية (التحسين). تشمل هذه الدراسة الموازنة بين قوانين كيرتشفوف (قانون العقد وقانون الشبكة). لتحقيق هذا الهدف ، استخدمنا التحسين دون قيود مع برنامج " ابانات " .

Sommaire

Résumé :	i
Liste des figures :	ii
Liste des tableaux :	iii
<u>Introduction générale :</u>	0

Chapitre I : Revue de la littérature

Introduction :	1
I.1 Définition de réseaux d'AEP :	1
I.1.1 Sources de l'eau potable.....	1
I.1.2 La station de pompage :	1
I.1.3 Traitement des eaux	2
I.1.4 L'adduction et la distribution d'eau.....	2
I.1.5 Le système d'adduction d'eau	2
I.1.6 Réservoir de stockage :	4
I.1.7 Les consommateurs de l'eau potable	5
I.1.8 Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable :	6
I.2 Problèmes rencontrés dans un réseau d'A.E.P :	10
I.2.1 Problème de gestion des réseaux d'A.E.P en Algérie :	11
Conclusion.....	11

Chapitre II : généralité sur l'optimisation

Introduction :	12
II.1 Définition générale :	12

II.2 Définition mathématique de l'optimisation :.....	12
II.2.1 Cas de Minimisation :	12
II.2.2 Cas de Maximisation :	14
Le problème d'optimisation qui s'exprime de la manière suivant:.....	14
II.3 Méthode d'optimisation :	14
II.3.1 Les méthodes stochastiques :	15
II.3.2 Les méthodes déterministes :.....	16
II.4 Classification du problème d'optimisation :.....	16
II.4.1 Optimisation linéaire :.....	16
II.4.2 Optimisation linéaire quadratique :.....	16
II.4.3 Optimisation convexe :.....	16
II.4.4 Optimisation différentiable :	17
II.4.5 Optimisation non différentiable :	17
II.5 Différentes techniques d'optimisation :	18
II.5.1 Optimisation sans contrainte :	18
II.5.2 Optimisation avec contrainte :.....	20
II.5.3 Les domaines d'application :.....	22
II.5.4 Les objectifs d'optimisation dans domaine hydraulique :.....	22
II.5.5 Optimisation d'un réseau d'eau :	23
II.6 Modélisation du problème :.....	24
II.6.1 Optimisation de la configuration par minimisation de la longueur :.....	24
II.6.2 Optimisation du choix des diamètres des conduites :.....	25
II.7 Equilibrage d'un réseau par l'optimisation sans contrainte :.....	26
II.7.1 Définition de l'optimisation sans contrainte :.....	26
II.7.2 Méthode de kirchhoff :.....	26
II.7.3 Application de l'optimisation sur la méthode de kirchhoff :	30
II.8 La méthode de newton :	33

II.8.1 Application la méthode de newton sur le problème d'optimisation :	33
II.8.2 Algorithme de newton :	37
II.8.3 Model mathématique sur l'algorithme de newton	37
II.9 Equilibrage d'un réseau par l'optimisation avec contrainte :	38
II.9.1 Définition de l'optimisation avec contrainte :	38
II.9.2 Les types de contrainte :	39
II.10 Les Contrainte dans réseau d'AEP :	39
II.11 la méthode de Zoutendijk :	43
II.11.1 Résumé de la méthode de Zoutendijk : (cas Contraintes d'inégalité)	43
II.11.2 Application de la méthode :	43
Conclusion :	45

Chapitre III : Modèle de simulation

Introduction :	46
III.1 La modélisation du réseau sur EPANET :	47
III.1.1 Paramètres du réseau maillé à étudier :	47
III.2 Les Étapes de l'Utilisation d'EPANET :	48
III.3 Composants physiques :	49
III.3.1 Objet Nœud :	49
III.3.2 Objet Arc :	50
III.3.3 Objet Point de passage :	52
III.3.4Objet Texte :	52
III.4 Objets non physiques :	52
III.4.1 Courbes :	52
III.4.2 Objet Courbe de modulation :	54
III.4.3 Commandes :	54

III.5 Simulation EPANET et enregistrement des résultats :.....	54
III.6 Algorithme de la simulation par EPANET :.....	55
III.7 La simulation hydraulique de réseau dans l'EPANET :.....	55
III.7.1 Les résultats obtenir :	55
III.7.2 L'optimisation de réseau :	57
Conclusion :	62
<u>Conclusion général</u> :.....	63
<u>Bibliographie</u> :.....	64

Liste des figures :

Fig. (I.1): Réseau de destitution.....	1
Fig. (I.2): réseau maillé et réseau ramifié.....	4
Fig. (I.3): les différents types de joints : a) mécanique, b) à emboîtement, c) à bride.....	7
Fig. (I.4): les différents type de vannes : a) robinet-vanne b) robinet à papillon c) vanne à clapet de non-retour d) vanne de réduction de pression.....	8
Fig. (I.5): types de ventouses : a) ventouse à petites quantités d'air b) ventouse à grandes quantités d'air c) ventouse universelle.....	8
Fig. (I.6) : Poteau d'incendie.....	9
Fig. (I.7): installation d'un poteau d'incendie vue en coupe.....	10
Fig. (II.1): Solution du problème d'optimisation (Michel bierlaire).	14
Fig. (II.2): Optimisation =modélisation+résolution.....	15
Fig. (II.3): Classification des principales méthodes d'optimisation (Garcia et al. 2005).....	16
Fig. (II.4) : Nœud d'un réseau.....	27
Fig. (II.5) : maille d'un réseau.....	28
Fig. (II.6) : La théorème de Bernoulli.....	29
Fig. (II.7) : Réseau de distribution (maille).....	31
Fig. (II.8) : Réseau de distribution (mixte).....	32
Fig. (III.1): Réseau maillé étudié.....	48
Fig. (III.2): Courbe de Volume para pore au Niveau.....	54
Fig. (III.3) : l'optimisation de réseau.....	58
Fig. (III.4) : Distribution de pressions.....	60
Fig. (III.5): Distribution de Débits.....	61
Fig. (III.6): profil longitudinal.....	62

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Paramètres du réseau maillé à étudier.....	49
Tableau 2 : des nœuds – arcs.....	56
Tableau 3 : Résultats aux nœuds.....	57
Tableau 4 : Résultats aux arcs.....	57
Tableau 5 : Tableau des nœuds – arcs.....	58
Tableau 6 : Consommation et coût d'énergie.....	59
Tableau 7 : Résultats aux nœuds.....	59
Tableau 8 : Résultats aux arcs.....	60

Introduction générale

Actuellement, l'en jeu hydraulique au quel est confronté l'Algérie est le suivant : comment mieux répondre aux besoins des utilisateurs (AEP, Industrie, agriculture) avec des ressources en eau relativement limitées. A long terme, face à la croissance des besoins en eau, les volumes mobilisables risquent de ne pas être totalement garantis compte tenu des aléas climatiques et de la dégradation de la qualité des eaux tant superficielles que souterraines.

Dans ce contexte, le concept d'optimisation des réseaux d'eau est d'une importance pour les gestionnaires.

Une décision de maintenance doit combiner à la fois technique et économique, et la réalisation de diagnostic, pour résoudre ces problèmes on utilise l'optimisation par ce qu'elle consiste à trouver la ou les meilleures solutions vérifiant un ensemble de contraintes.

En raison de leurs applications nombreuses, on a besoin de logiciels de plus en plus performants et de grande taille pour aboutir à des solutions satisfaisantes.

L'objectif principal de notre étude est la recherche de solutions optimale pour le réseau d'eau avec un minimum de contrainte.

Le présent mémoire est subdivisé en deux parties une théorique et l'autre une application sur le réseau d'eau.

Nous commencerons d'abord dans le premier chapitre par une présentation générale sur les systèmes de distribution ou de transfert d'eau, les composants de ce système. Dans le second chapitre nous présentons l'optimisation en générale et les différentes techniques d'optimisation en alimentation en eau potable, à savoir les Optimisations sans contrainte (Méthode de relaxation, Méthodes de gradient ...), Optimisations avec contraintes (méthode graphique ; Méthode du simplexe...).

La seconde partie de l'étude concerne les méthodes de calcul numérique les plus pratiques pour résoudre le système d'équation linéaire et non linéaire du problème d'équilibrage des réseaux de distribution d'eau potable.

Nous traitons l'équilibrer du réseau d'eau par l'optimisation sans contraintes et par l'optimisation avec contrainte, un exemple de simulation d'un réseau d'AEP avec des données de réseau réel, en utilisant le logiciel EPANET.

Cette application a pour objectif de vérifier le dimensionnement du réseau et la satisfaction des demandes en eau au niveau des consommateurs pour des scénarios différents.

Notre étude se termine par une conclusion générale, nous avons essayé d'obtenir les bonnes propositions pour un meilleur réseau de distribution des eaux potables vers tous les consommateurs.

Chapitre I : Revue de la littérature

Introduction :

Ce chapitre présente les différents éléments nécessaires d'un réseau d'alimentation en eau potable. Le distributeur d'eau potable a toujours le souci de couvrir les besoins des abonnés en quantité et qualité suffisantes. Il a aussi le souci de veiller à la bonne gestion et la perfection de tous les infrastructures concourant l'approvisionnement en eau. La bonne conception du réseau de distribution aux différentes catégories de consommateurs est une étape très importante lors de l'étude du système d'AEP.

I.1 Définition de réseaux d'AEP :

Un réseau d'AEP 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 durable pour pouvoir répondre aux exigences des consommateurs (quantité et qualité optimale ; dysfonctionnement minima).

En général l'alimentation en eau potable d'une agglomération quelconque comporte les éléments suivants :

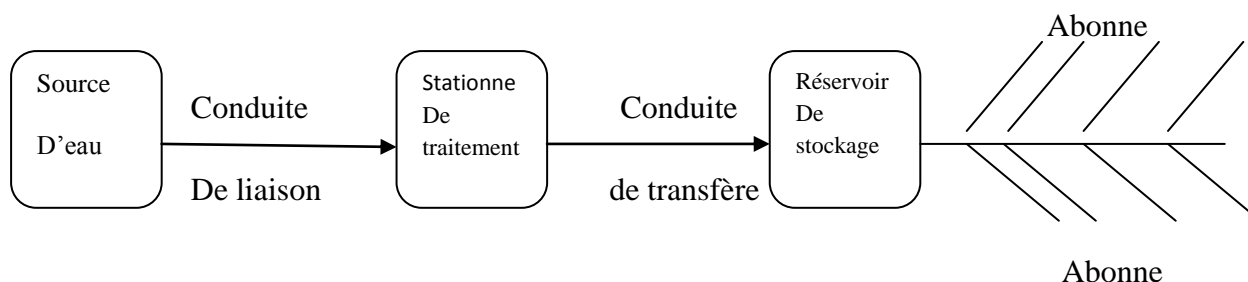


Fig. (I.1) : Réseau de destination.

I.1.1 Sources de l'eau potable

Il permet de recueillir l'eau naturelle. Cette eau peut être d'origine souterraine (nappes souterraines) ou superficielle (lacs, les barrages, et les fleuves). L'eau brute est habituellement transportée à une installation de traitement de l'eau, où elle est traitée pour produire l'eau traitée (également connue en tant qu'eau potable).

I.1.2 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 suivant :

- bêche d'aspiration.

- chambre de télé-contrôle et d'automatisation.
- groupe électropompes.
- Autres équipements en amont et en aval des pompes (vannes, clapets, manomètres, etc.)

On remarque l'existence de plusieurs pompes, ceci permettra d'un côté de minimiser la consommation de l'énergie électrique, car le débit produit est réparti sur l'ensemble des pompes, et de l'autre côté d'assurer la continuité du service en cas de panne de l'une d'elles.

I.1.3 Traitement des eaux

L'eau captée nécessite généralement un traitement pour la rendre potable à la consommation, le traitement s'effectue généralement pour les eaux de surface ; ce traitement est fait de façon à éliminer les bactéries de l'eau et à lui donner dans certaines cas une qualité meilleur.

Le traitement de l'eau 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 bacterlogiquement pure, pour cela on utilise des oxydants tels que le chlore et l'ozone.
- L'affinage : permet d'éliminer les micropolluante

I.1.4 L'adduction et la distribution d'eau.

Ce système de canalisation est souvent classé en deux catégories (adduction et distribution)

I.1.5 Le système d'adduction d'eau

Se compose d'équipements qui sont conçus pour transporter des grands quantités d'eau à travers des grandes distances c'est conduite d'un gros diamètre, généralement entre des équipements importants. Par exemple, un transfert peut être utilisé pour transporter l'eau d'une installation de traitement(ou de source) aux réservoirs de stockage à travers plusieurs villes. Les consommateurs particuliers ne sont pas servis habituellement par le système de transfert, ce transporte peut s'effectuer par :

- Gravite : si le niveau de la station de traitement (ou de captage) est supérieur à celui du réservoir
- Refoulement : si le niveau de la station de traitement est inférieur au niveau du réservoir

Pour faire face aux contraintes imposées par le terrain et le relief, on doit accompagner la conduite s'adduction par divers ouvrages :

- ✓ ventouses aux points hauts du tracé pour l'évacuation d'airvidange 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'nérite
- ✓ soupapes de décharge
- ✓ réservoirs d'air
- ✓ cheminées d'équilibre
- ✓ ouvrages de protection contre la corrosion de la conduite

I.1.5.1 Le réseau de distribution

Une étape intermédiaire pour livrer l'eau aux clients d'extrémité.

Les diamètres des conduites dans un réseau de distribution sont plus petits que celui d'un système de transfert, et la canalisation suit typiquement la topologie et l'alignement des rues de la ville. Coudes, pièces en T, les croix, et nombreux d'autres pièces spéciales sont employées pour relier et réorienter les éléments de conduites. Bouches d'incendie, vannes d'isolement, ou tout autre accessoire sont reliés directement au réseau de distribution

I.1.5.2 Configuration d'un réseau

L'ossature du réseau dépend de la configuration de l'agglomération, deux géométries de réseau sont possible : réseau ramifié ou réseau maillé

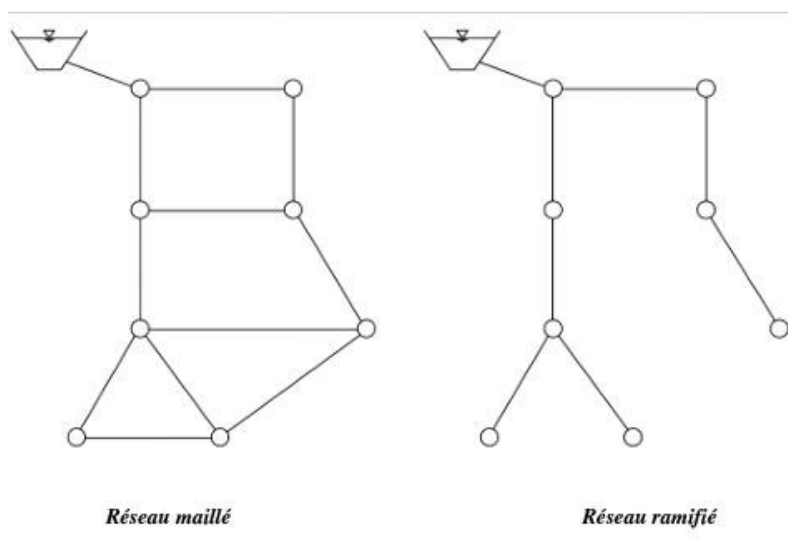


Fig. (I.2) : réseau maillé et réseau ramifié.

➤ Réseau Ramifié

Réseau ramifié il est appelé ainsi il possède typologiquement une structure d'arbre, pour ce type de réseau, à partir d'une conduite central, on met en relation plusieurs canalisation secondaires, tertiaires ...Etc. jusqu'à chaque compteur individuel

La caractéristique d'un réseau ramifié est que l'eau circule dans toute la canalisation, dans un seul sens, de ce fait chaque point du réseau n'est alimenté en eau que d'un seul côté Ce type de réseau présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité, en cas de rupture d'une conduite principale, tous les abonnés situés à l'aval seront privés d'eau.

➤ 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 et 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

I.1.6 Réservoir de stockage :

Après traitement de potabilisation, l'eau est stockée dans un réservoir ou château d'eau avant d'être distribuée à la population et autres utilisateurs (industries, entreprises, administrations...)

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, il présente deux utilités (technique et économique) par les multiples fonctions qu'il remplit :

Fonction techniques : il permet

- La régulation du débit pour tous les courages qui situent en amont et aval de lui.
- La régulation de la pression dans le réseau de distribution
- L'assurance la continuité de l'approvisionnement en cas de panne dans les ouvrages situés dans la partie amont
- La participation au traitement (utilisation de réactifs).

Fonction économiques : il permet

- La réduction des investissements sur tous les autres ouvrages du réseau d'AEP
- 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.

I.1.7 Les consommateurs de l'eau potable

Les abonnés d'un système d'approvisionnement en eau sont facilement identifiés- ils sont la raison pour laquelle le système existe en premier lieu. Propriétaires de maisons, usines, hôpitaux, restaurants, établissements scolaires etc.... Les clients et leur mode de consommation d'eau sont le mécanisme d'entraînement derrière la façon dont un système d'alimentation en eau se comporte. La consommation de l'eau peut varier avec le temps, le long terme (de façon saisonnière) et à court terme (de façon journalière), et avec l'espace. La bonne connaissance de la façon dont l'utilisation de l'eau est distribuée à travers le système est primordiale pour une modélisation précise.

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)

I.1.8 Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable :**I.1.8.1 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.

I.1.8.2 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.).

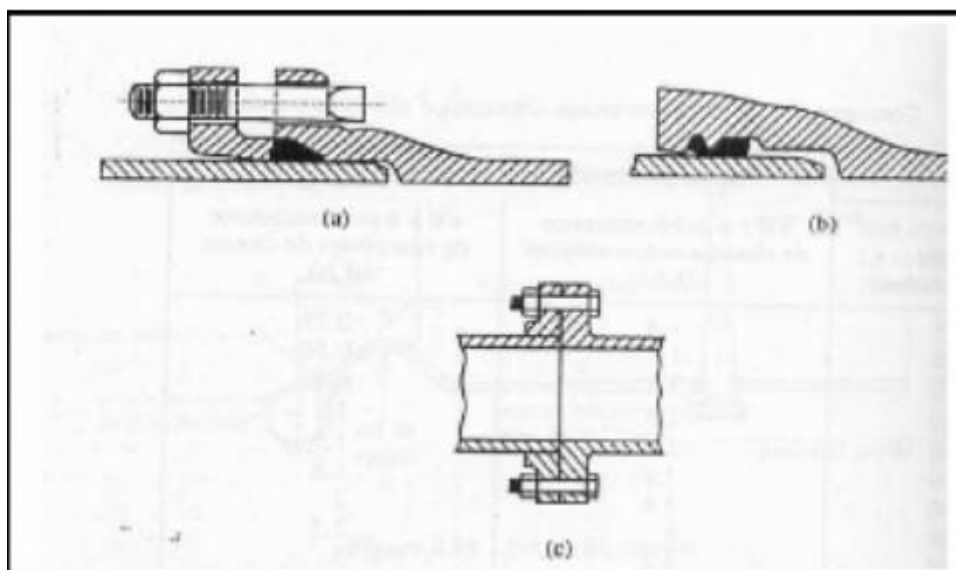


Fig. (I.3) : les différents types de joints : a) mécanique, b) à emboîtement, c) à bride

I.1.8.3 Les vannes :

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.

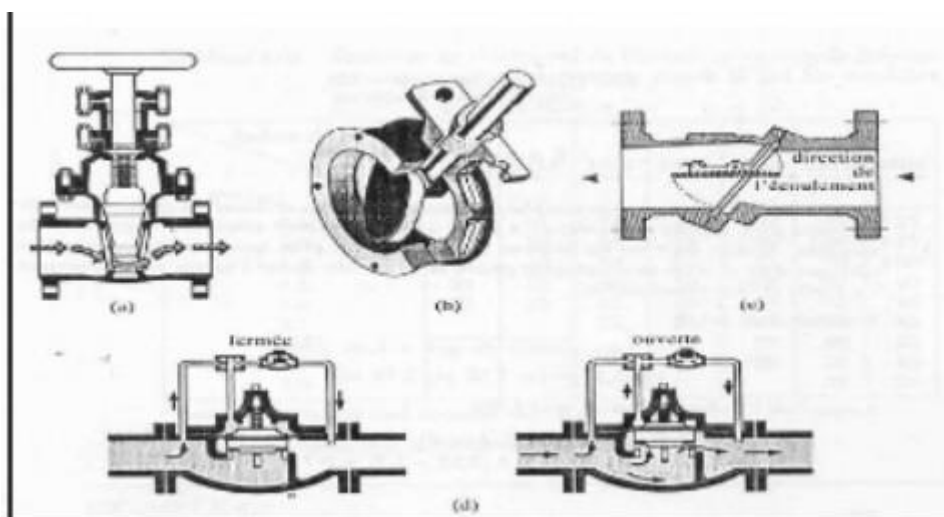


Fig. (I.4) : les différents type de vannes : a) robinet-vanne b) robinet à papillon c) vanne à clapet de non-retour d) vanne de réduction de pression.

I.1.8.4 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.

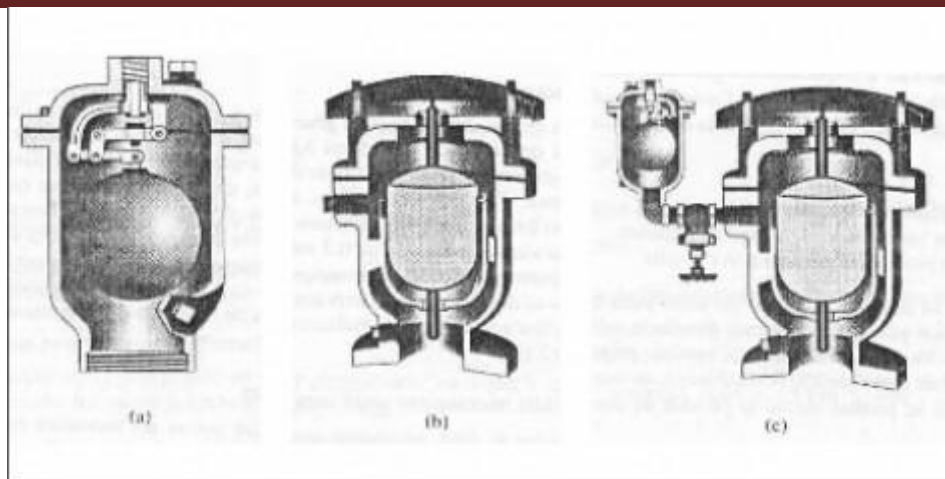


Fig. (I.5) : types de ventouses : a) ventouse à petites quantités d'air
b) ventouse à grandes quantités d'air c) ventouse universelle.

I.1.8.5 Les décharges :

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.

I.1.8.6 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.

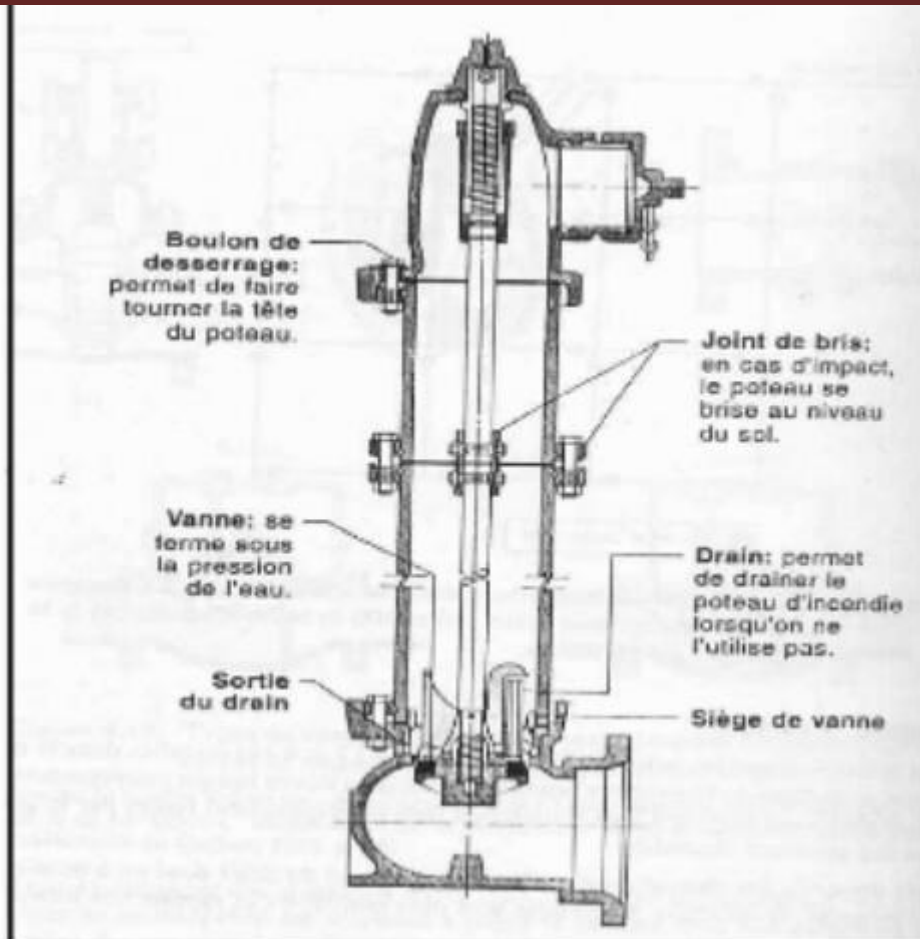


Fig. (I.6) : Poteau d'incendie. [06]

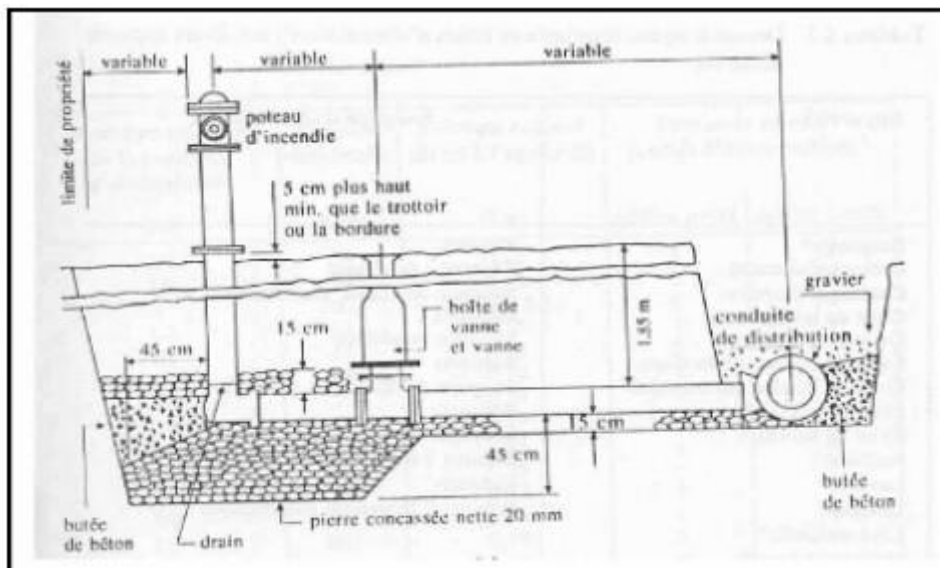


Fig. (I.7) : installation d'un poteau d'incendie vue en coupe.

I.1.8.7 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.

I.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.

I.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.

Conclusion :

Nous avons décrit d'une manière générale les constituants d'un système d'Alimentation en eau potable. Le réseau de distribution est un ensemble des conduites et des accessoires permettant de fournir l'eau au différent consommateur. Selon leur schéma, ce réseau peut être ramifié, maillé ou mixte. Plusieurs problèmes de différentes origines peuvent survenir dans un réseau d'A.E.P tels que les fuites, les branchements illicites, les problèmes de gestion ...etc.

Chapitre II : Généralité sur l'optimisation

Introduction :

À partir de 1939, le mathématicien Leonid Kantorovitch a commencé des travaux théoriques sur l'optimisation linéaire afin d'en tirer des applications concrètes à l'optimisation de la production économique planifiée de l'Union Soviétique.

Généralement, on appelle programmation mathématique c'est une recherche optimale d'une fonction de plusieurs variables liée entre elles par des contraintes (son forme d'égalités ou d'inégalité) [1].

L'optimisation joue un rôle important pour la minimisation du coût total et en assurant l'approvisionnement. D'optimiser les processus en termes de coût, délai, qualité.

II.1 Définition générale :

Optimisation : action d'optimiser, résultat de cette action .permettre d'obtenir le meilleur résultat possible par une action adaptée

Synonymes : améliorer, maximiser, mettre au point optimiser [2]

En mathématique, un problème d'optimisation (encore appelé problème de programmation mathématique) consiste à trouver, parmi un ensemble donné, un élément (pour nous ici un vecteur de \mathbb{R}^p mais ce peut être aussi un vecteur d'entiers, une fonction...) minimisant ou maximisant une fonction donnée de cet ensemble sur \mathbb{R} . [3]

II.2 Définition mathématique de l'optimisation :**II.2.1 Cas de Minimisation : [4]**

Le problème d'optimisation c'est un problème d'analyse fonctionnelle. Dans notre étude, on cherche l'extremum d'une fonction de x variables sur un domaine appartenant D . Le problème d'optimisation qui s'exprime de la manière suivante:

$$\inf_{x \in D} f(x) \text{ ou } \{ \inf f(x) : x \in D \} \quad \text{ou} \quad \begin{cases} \inf f(x) \\ x \in D \end{cases} \quad (\text{II.1})$$

$$\operatorname{argmin} f(x) : \{x \in D\}$$

On note parfois

$$x^* \in A \quad f(x^*) < f(x)$$

On dit que l'on cherche à **minimiser** la fonction $f(x)$

Avec :

$f(x)$: La fonction porte divers noms : fonction-coût ou simplement coût, fonction –objectif ou simplement objectif

D: domaine ou contrainte(les limites de la fonction)

x^* : est appelé solution du problème d'optimisation

✓ **Exemple**

Soit la fonction suivante :

$$\text{Min } f(x) = x^2 \tag{II.2}$$

$$\begin{cases} g1(x) = x - 4 \leq 0 \\ g2(x) = -1x \leq 0 \\ x^* = 1 \end{cases} \Rightarrow g1(x^*) = -3 \cdot g2(x^*) = 0 \tag{II.3}$$

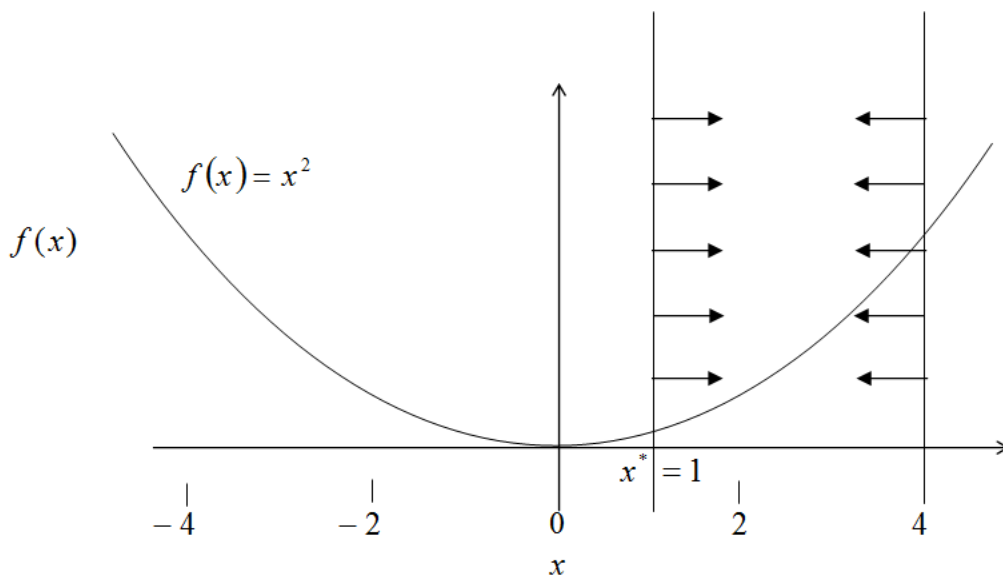


Fig. (II.1): Solution du problème d'optimisation (Michel Bierlaire)

II.2.2 Cas de Maximisation :

Le problème d'optimisation qui s'exprime de la manière suivant:

$$\text{SUP } x \in D f(x) = - \text{inf } x \in D (-f(x)) \quad (\text{II.4})$$

Un problème de maximisation d'une fonction f est équivalent au problème de minimisation de $-f$. L'équivalence veut dire ici que les solutions sont les mêmes. [4]

II.3 Méthode d'optimisation :

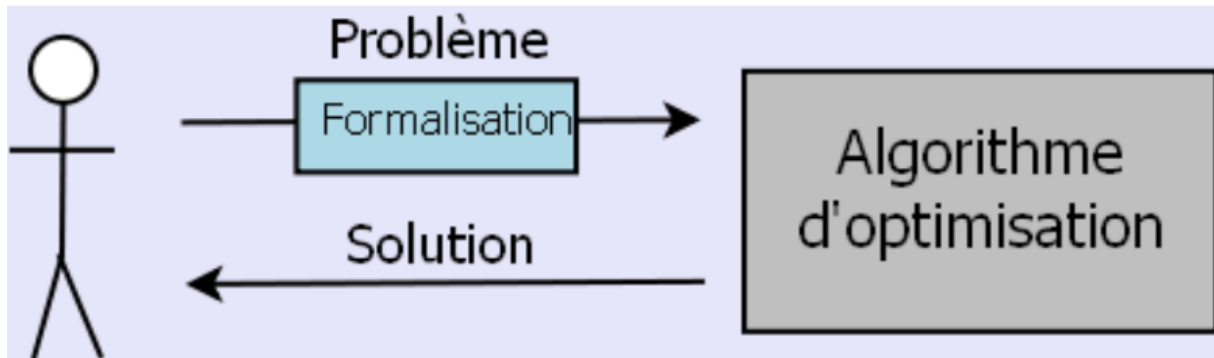


Fig. (II.2): Optimisation =modélisation+résolution

1. Modélisation d'un problème : espace de recherche, solutions.
2. Formulation mathématique : fonction objectif, contraintes.
3. Application d'une méthode d'optimisation.
4. Obtention d'une solution. [2]

Il existe de nombreuses méthodes d'optimisation, celles étant les plus couramment utilisées sont regroupées dans la figure I-9. On distingue deux grandes classes de méthodes. D'une part, la programmation linéaire qui est utilisée pour obtenir une solution optimale à des problèmes parfaitement décrits et représentés par un ensemble d'équations linéaires. Selon que le problème comporte des variables entières ou non, on distingue ainsi les MILP (Mixed Integer Linear Programming) des LP (Linear Programming). D'autre part, la programmation non linéaire sert à résoudre des problèmes décrits par des équations non linéaires. Elle regroupe deux grandes familles de méthodes : les procédures déterministes et les algorithmes stochastiques.

L'intégration des procédés consiste en une approche systémique utilisée pour lier les différentes unités d'un procédé et les divers équipements dans le but d'obtenir de meilleures solutions pour la conception et la fonctionnalité du réseau d'eau étudié. [5]

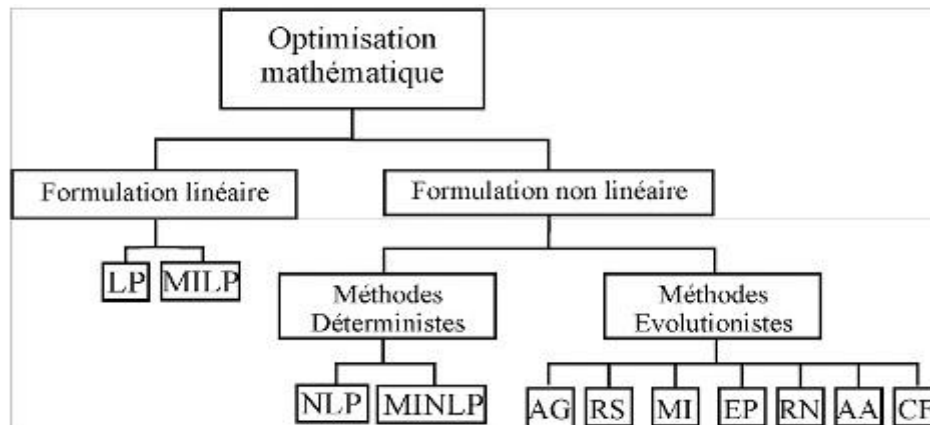


Fig. (II.3): Classification des principales méthodes d'optimisation (Garcia et al., 2005). [5]

II.3.1 Les méthodes stochastiques :

Ces méthodes sont particulièrement adaptées à des problèmes de type « boîte noire » où aucune propriété mathématique du problème n'est connue ; il suffit de savoir évaluer les critères et les contraintes pour un jeu donné de valeurs des variables indépendantes. Malgré leur facilité de mise en œuvre et leur capacité à s'extraire des optima locaux en autorisant certaines dégradations des critères, leurs conditions de convergence ne sont pas clairement établies. Ces méthodes consistent à faire évoluer une ou plusieurs solutions initiales à l'aide de règles probabilistes mimant souvent un processus naturel. Par exemple, on peut citer les algorithmes génétiques (Holland, 1975 ; Chafekar et al., 2005 ; Jezowski et al., 2007), le recuit simulé (Kirkpatrick, 1983), les systèmes immunitaires artificiels (Farmer et al., 1986), les colonies de fourmis (Dorigo, 1992 ; Maier et al., 2003), les essaims de particules (Kennedy et Eberhart, 1995), les abeilles artificielles (Nakrani et Tovey, 2004) et les réseaux de neurones (Ang et al., 2007). Toutefois, en présence de contraintes égalité difficiles à satisfaire de par les ordres de grandeur très disparates des termes impliqués (ici la tonne et le gramme), ces méthodes doivent faire appel à un solveur externe à chaque mouvement sur les variables, ce qui peut pénaliser énormément leur temps de calcul. Elles n'ont donc pas été retenues dans cette étude. [5]

II.3.2 Les méthodes déterministes :

Ces méthodes requièrent la connaissance de certaines propriétés mathématiques du problème telles que la convexité ou la dérivabilité des critères et leurs conditions de convergence sont théoriquement établies. De la même manière que pour la programmation linéaire, elles

peuvent soit être de type MINLP (Mixed Integer Non Linear Programming) si elles incluent des variables entières ou NLP (Non Linear Programming) dans le cas inverse. Avant de procéder au choix d'une procédure d'optimisation déterministe, il est nécessaire d'analyser la modélisation du problème de conception de réseaux d'eau industrielle. [5]

II.4 Classification du problème d'optimisation :

II.4.1 Optimisation linéaire :

f est une fonction linéaire

$$f(x) = c^T x$$

$$\Omega = \{x \mid A_1 x \leq b_1 \text{ et } A_2 x = b_2\} \quad [6]$$

II.4.2 Optimisation linéaire quadratique :

$$f(x) = \frac{1}{2} x^T A x - b^T x \quad A = A^T > 0$$

$$\Omega = \{x \mid C_1 x \leq d_1 \text{ et } C_2 x = d_2\} \quad [5]$$

II.4.3 Optimisation convexe :

$f(x)$ est une fonction convexe

Ω est un ensemble convexe

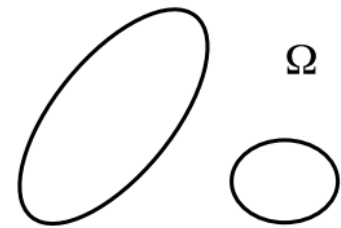
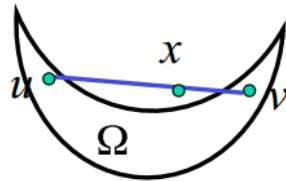
➤ Ensemble convexe

$\Omega \subset \mathbb{R}^n$ est convexe [6]

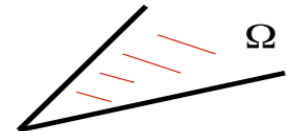
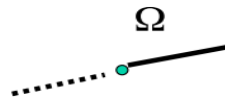
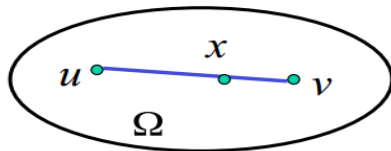
si $x = a u + (1-a)v \in \Omega \quad \forall u, v \in \Omega \text{ et } a \in \Omega \text{ et } a \in [0,1]$

Exemple :

Ensembles non convexes



Ensembles convexes



II.4.4 Optimisation différentiable :

F est une fonction différentiable

S est défini par des fonctions (=contraintes) différentiable [6]

II.4.5 Optimisation non différentiable :

Ex : $f(x) = \max \{f_1(x), \dots, f_m(x)\}$ [6]

II.5 Différentes techniques d'optimisation : [4]

II.5.1 Optimisation sans contrainte :

Problème sans contrainte :

$$\mathbf{Min}_{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^n} f(\mathbf{x})$$

a) Méthode de relaxation :

La méthode de relaxation revient à modifier successivement les n inconnues x_i du système $f(x) = 0$ de façon à vérifier l'équation i du système, en permutant circulairement les variables

On choisit pour direction les vecteurs de bases $e_i, i = 1$

$$d_{k=ei(k)} \quad (\text{II.14})$$

Or le minimum par rapport à une variable x_i vérifie l'équation i du système non linéaire

$$f(x) = \nabla f(x) = 0 \quad (\text{II.15})$$

b) Méthodes de gradient :

La méthode du gradient est une méthode géométrique, elle n'utilise pas de base particulière, il suffit de pouvoir calculer les gradients, ce qui se prête bien à une parallélisation des calculs.

On peut interpréter la méthode du gradient comme une intégration numérique du système différentiel ϵ

$$\frac{\partial x}{\partial y} = -\nabla f(x) = -f(x) \quad (\text{II.16})$$

Avec $\nabla f(x)$ si le gradient

$$\nabla f(x) = \begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f}{\partial x_3} \end{cases} \quad (\text{II.17})$$

c) La méthode du gradient conjugué (Hors Programme) :

La méthode du gradient conjugué est la base des méthodes rapides de minimisation des fonctions régulières et c'est la meilleure méthode de résolution des grands systèmes issus de l'approximation des équations aux dérivées partielles

Le principe de cette méthode est d'accélérer la méthode du gradient en cherchant à l'étape k directement le minimum de la fonction $f(x)$ dans le plan (P) formé au point x^k par les directions x^{k-1} et g^k .

La méthode du gradient conjugué est une méthode de descente à pas optimal permettant

de minimiser une fonction quadratique de \mathbb{R}^n dans \mathbb{R} en au plus n itérations. [6]

Soit f une fonction quadratique

$$f(X) = \frac{1}{2} x^t Q x B^t X \tag{II.18}$$

$$\begin{cases} X_{k+1} = X_k + \rho_k dk; \text{ avec } k \text{ optimal} \\ dk + 1 = -\nabla f(X_{k+1}) + \beta_k dk; \\ \beta_k = \frac{\|\nabla f(x_{k+1})\|^2}{\|\nabla f(x_k)\|^2} \end{cases} \tag{II.19}$$

L'efficacité de la méthode du gradient conjugué repose essentiellement sur deux points :

- ✓ La recherche linéaire (détermination du pas optimal) doit être exacte;
- ✓ Les relations de conjugaison doivent être précises.

d) La matrice HESSIENNE:

Si maintenant f admet des dérivées partielles d'ordre deux en x, on pose :

$$\nabla^2 f(x) = \nabla(\nabla f(x)^t) \tag{II.20}$$

C'est-à-dire : $H = \nabla^2 f(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 x_3} & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n x_3} & \dots & \dots & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{pmatrix}$ (II.21)

$\nabla^2 f(x)$: S'appelle le hessienne

e) La méthode de Newton :

La méthode de Newton permet de construire un algorithme permettant de résoudre le système d'équations non-linéaires

$$g(x) = 0 \tag{II.22}$$

Où $g: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ est différentiable : on se donne $x_0 \in \mathbb{R}^n$ et on fait les itérations

$$x_{k+1} = x_k - g'(x_k) - 1g(x_k) \tag{II.23}$$

Avec g' est la dérivée de g. L'application de cette méthode au problème d'optimisation

$$\text{Min } f(x) \tag{II.24}$$

Consiste à l'utiliser pour résoudre le système d'optimalité du problème (1), c'est à dire que l'on pose $g(x) = \nabla f(x)$ dans (2) : on obtient les itérations

$$x_{k+1} = x_k - \nabla^2 f(x_k) - 1 \nabla f(x_k) \tag{II.25}$$

f) *Méthode de quasi-Newton :*

Une méthode de quasi-Newton est une méthode du type

$$\begin{cases} dk = -Bkgk \\ x_{k+1} = x_k + \rho k dk \end{cases} \quad (\text{II.26})$$

II.5.2 Optimisation avec contrainte :

Problème avec contrainte : $\text{Min}_{x \in Y} f(x)$

a) *Méthode graphique :*

Avec la méthode Graphique est nécessaire calculer la valeur de la fonction objectif dans tous les sommets de la région réalisable. Cette méthode graphique est bien sûr facile à mettre en œuvre lorsqu'il y a deux variables, elle devient plus difficile pour trois variables.

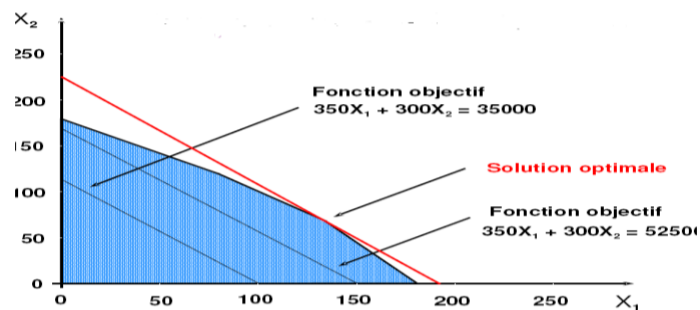
✓ *Exemple*

Maximiser $Z = f(x_1, x_2) = 350x_1 + 300x_2$

Soit les contraintes

$$X_1 + X_2 = 200$$

$$9X_1 + 6X_2 = 1566$$

b) *Méthode du simplexe :*

En utilise cette méthode s'il y a un Programmation linéaire à plusieurs variables (≥ 3 variables) sa forme générale et Minimiser (ou maximiser)

$z(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$ Fonction objectif

Les contraintes

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \begin{cases} \leq \\ = \\ \geq \end{cases} \quad i=1 \dots m \quad (\text{II.27})$$

Les nombres c_j ; a_{ij} ; b_i sont les paramètres du modèle

On sait que la solution, si elle existe, se trouve au moins sur un sommet du domaine des solutions réalisables, la recherche de la solution optimale s'effectue uniquement sur ces sommets. L'algorithme du simplexe examine comme première solution un des sommets (en général l'origine), qui constitue la solution de base de l'algorithme.

Pour appliquer la méthode du simplexe, on suppose que le système est donné sous forme canonique, c'est-à-dire qu'il comprend une contrainte de positivité pour chaque variable et que les autres contraintes sont des inégalités majorants.

c) *Le théorème de la le lagrangien :*

Le multiplicateur de Lagrange est une méthode permettant de trouver les points stationnaires (Maximum, minimum...) d'une fonction dérivable d'une ou plusieurs variables, la méthode des multiplicateurs de Lagrange permet de trouver un optimum,

Sa formule générale de lagrangien et

$$f(x, \sigma) = \varphi(x) + \sigma \omega(x) \quad (\text{II.28})$$

Avec

X : les variables de contrôle la fonction à maximiser ou de minimiser,

φ : Est la fonction à optimiser,

σ : Le multiplicateur de Lagrange et ω la contrainte du programme d'optimisation

II.5.3 Les domaines d'application :

Voici quelques domaines dans lesquels la prise de décision fait couramment appel à la résolution de problèmes d'optimisation :

- Conception de nouveaux systèmes :
 - ✓ Dimensionnement.
 - ✓ Localisation.

- Organisation d'activités:
 - ✓ Gestion de ressources.
 - ✓ Gammes et procédures.
 - ✓ Rentabilisation des investissements.
- Commande de systèmes :
 - ✓ Stabilisation.
 - ✓ Suivi de trajectoires.
- Surveillance, supervision :
 - ✓ Détection de dysfonctionnements.
 - ✓ Diagnostics.
 - ✓ Réparation.
 - ✓ Maintenance. [8]

II.5.4 Les objectifs d'optimisation dans le domaine hydraulique :

Acquérir les bases de l'optimisation: variables de décision, fonction objectif, minimisation de problèmes non linéaires, problèmes de moindres carrés, minimisation sous contrainte, théorème de Kuhn-Tucker... connaître et pratiquer les techniques d'optimisation numérique : méthodes d'application ;

Itératives de gradients ; cas des problèmes de moindres carrés ; autres méthodes numériques telles que le recuit simulé problèmes de réseaux/graphes (selon les années) ; l'outil principal de calcul est le logiciel **FORTRAN**.

Prendre en main la formulation et l'application des techniques d'optimisation aux problèmes de l'hydraulique et de l'environnement, tels que: réseaux hydrauliques (problème de flot maximum); allocation optimale des ressources; problèmes de pollution (stations de traitement); gestion optimale de réservoirs; et modélisation de modèles hydrauliques ou hydrologiques. [4]

II.5.5 Optimisation d'un réseau d'eau :

La conception des systèmes de distribution de pétrole, d'eau et de gaz, des systèmes d'irrigation, et des grilles de télécommunication et d'électricité, implique l'optimisation du coût et de la fiabilité.

L'importance d'obtenir la meilleure configuration du réseau et les diamètres optimaux pour chaque conduite est appuyée par le fait que les décisions prises durant les étapes de

conception influent directement sur l'optimalité des coûts d'opérations finaux. Le problème est donc traité en deux étapes. La première consiste à optimiser la longueur totale du réseau, et de là les longueurs des conduites sont à minimiser. Elles sont alors, considérées comme étant les variables de décision. Dans ce cas, les débits aux jonctions (nœuds) ainsi que leurs positions sont supposés connus. La deuxième consiste à optimiser le choix des diamètres.

La recherche de la disposition maillée des systèmes a été l'objet d'un certain nombre de travaux. Walters et Lohbeck (1993) ont utilisé une méthode basée sur les algorithmes génétiques, dans laquelle la disposition optimale en arbre est choisie à partir d'un graphe prédéfini. La méthode proposée est efficace sur des réseaux de petite taille pour des raisons de stockage. Walters et Smith (1995) ont proposé un modèle pour le choix optimal de disposition pour un réseau avec une structure arborescente basé sur la conception évolutive et les principes de la génétique. Rothfarb et al (1970) ont proposé une procédure heuristique pour construire des structures arborescentes à prix réduit pour les canalisations en mer de gaz. La méthodologie était basée sur deux conditions - les meilleurs arbres ont la plus petite longueur totale des conduites et des débits dans les conduites presque égaux. Davidson et Goulter (1991, a&b) ont développé une heuristique et un modèle expérimentale pour la disposition topologique et la conception des réseaux ramifiés de distribution rurale de gaz utilisant les algorithmes de Dijkstra et de l'arbre minimum de façon itérative en partant d'une disposition topologique prédéterminée. Morgan et Goulter (1985) ont présenté une technique pour l'optimisation du coût de disposition et de conception des systèmes de distribution d'eau maillés. La technique suppose, cependant, une disposition initiale prédéfinie avec ses branches potentielles. Loganathan et al (1990) ont proposé une méthode d'optimisation de la conception à deux étapes pour construire un réseau de distribution d'eau. Afshar a étudié et évalué un nombre d'algorithmes utilisés dans la conception simultanée des réseaux de distribution d'eau, et a ensuite développé un algorithme de conception basé sur les algorithmes génétiques.

L'optimisation du choix des diamètres dans les réseaux maillés de distribution d'eau a, elle aussi attiré l'attention des chercheurs pour plus de deux décennies. Cependant les paramètres impliqués dans les réseaux de distribution réels sont trop complexes pour permettre l'obtention d'une solution optimale entièrement satisfaisante.

Le présent travail fournit un algorithme complet de conception optimal de réseaux maillés pour la distribution d'eau. Il repose sur une méthode heuristique de conception de la configuration maillée optimale du réseau et ensuite l'optimisation du choix des diamètres des conduites en utilisant la programmation linéaire. [9]

II.6 Modélisation du problème :

II.6.1 Optimisation de la configuration par minimisation de la longueur :

Un réseau de distribution d'eau peut être modélisé par un ensemble de nœuds de demande ou de sommets $\{N_i\}$ et de une ou plusieurs sources et un ensemble de conduites $\{L_{ij}\}$ qui forment un graphe G . On suppose que les nœuds sont représentés en bidimensionnel. Ils sont numérotés et chacun a des coordonnées x et y . On suppose que les lignes représentant les conduites sont toutes droites.

L'interconnexion d'un réseau peut donc être décrite par la matrice incidente nœud-nœud. Cette matrice est rectangulaire dont les éléments sont définis comme :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si le nœud } i \text{ est relié au nœud } j \\ 0, & \text{si le nœud } i \text{ n'est pas relié au nœud } j \end{cases} \quad (\text{II.B1})$$

Il est supposé que la fonction coût à minimiser est basée sur les longueurs des conduites et prend la forme suivante :

$$\text{Cost} = \sum_{i=1}^E C_i L_i \quad (\text{II.B2})$$

C_i est le coût par unité de longueur pour la conduite i , L_i sa longueur et N le nombre de conduites constituant le réseau.

Puisque les coûts sont des quantités immuables, une importante simplification peut être faite dans l'adoption de l'optimisation de la longueur au lieu de l'optimisation du coût. Les variables de décision deviennent les longueurs des conduites. La fonction objective est ainsi simplifiée :

$$\text{Cost} = \sum_{i=1}^E L_i \quad (\text{II.B3})$$

La fonction objective (3) est soumise aux contraintes :

➤ Pour chaque source, la contrainte de la disponibilité est comme suit :

$$\sum Q_{out} \leq Q_{cap} \quad (\text{II.B4})$$

Q_{out} est la capacité de la source ou la quantité de fluide disponible au nœud source.

➤ Pour chaque nœud de jonction la contrainte de fiabilité doit être satisfaite :

$$\sum NC_i \geq 2 \quad (\text{II.B5})$$

NC_i est le nombre de branches connectées au nœud i . Cette contrainte garantit qu'il y ait, à la fin, deux chemins différents reliant chaque nœud de demande à la source qui l'approvisionne. Elle assure ainsi la fiabilité du système. [9]

II.6.2 Optimisation du choix des diamètres des conduites :

Pour le réseau maillé la distribution du débit n'est pas connue au début de la conception. Elle dépend du choix du diamètre. Elle est donc supposée dans un premier temps. Le modèle de conception du réseau maillé est fort identique à celui du réseau ramifié. Les données suivantes sont fournies au modèle de base : le débit de conception Q pour chaque assemblage ; la longueur l de chaque assemblage ; le coût c pour tout diamètre en chaque assemblage par mètre linéaire ; les surélévations de tous les nœuds.

L'objectif du modèle de conception est de minimiser le coût total du système en trouvant la meilleure combinaison possible des diamètres. Le modèle de conception des systèmes de distribution d'eau consiste en :

La fonction objet à minimiser est :

$$C_T = \sum_i \sum_j c_j L_{ij} \quad (\text{II.B6})$$

La contrainte principale est la contrainte de pression de service minimum.

$$H_{min_n} \leq H_s \pm \sum_i \sum_j S_{ij} L_{ij} \leq H_{max_n} \quad (\text{II.B7})$$

L'équation (7) est établie pour tous les nœuds critiques. De plus la condition de longueur est établie pour tout assemblage i .

$$\sum_j L_{ij} = 1_{ij} \quad (\text{II.B8})$$

La contrainte de la charge dans la maille qui doit être nulle

$$\sum_{i \in \text{maille}} \sum_j S_{ij} L_{ij} = 0 \quad (\text{II.B9})$$

Le modèle est un modèle d'optimisation non linéaire, dont les variables sont les longueurs des sections L_{ij} . Afin de le transformer en un modèle linéaire résoluble par la programmation linéaire, une estimation du débit dans les conduites du réseau est faite. Le problème d'optimisation des diamètres est alors résolu par la méthode universellement connue du Simplex.

II.7 Equilibrage d'un réseau par l'optimisation sans contrainte :

II.7.1 Définition de l'optimisation sans contrainte :

Nous allons étudier le problème d'optimisation sans contraintes où on effectue la minimisation de la fonction $f : R^n$ à R sur tout l'espace.

Nous considérons donc le problème Formulé de la façon suivante :

$$(P) \begin{cases} \min f(x) \\ x \in R^n \end{cases} \quad (\text{II. A1})$$

Où : f est une fonction de R^n vers R^{n+1}

II.7.2 Méthode de kirchhoff :

Cette méthode repose sur les deux lois suivantes :

a) La loi des nœuds :

En n'importe quels nœuds les débits entrants est égale à la somme des débits sortants.

C'est-à-dire :

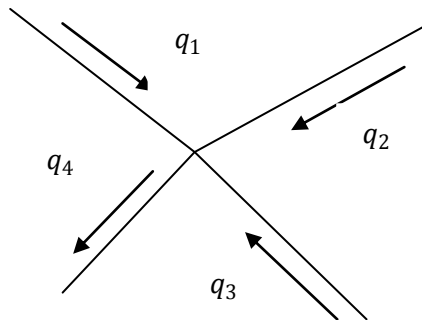


Fig. (II.4) : Nœud d'un réseau.

$$\sum_{j \in i} Q_{i-j} + q_i = 0 \quad (\text{II.A2})$$

Avec

I : le nombre des réservoirs (1, ..., n)

Q_{ij} : Débit circulant dans une conduite ij .

q_i : Débit de consommation ou injection au nœud i .

b) La loi des mailles :

La longueur d'un parcours orienté et fermé, la somme algébrique des pertes de charges est égale à zéro

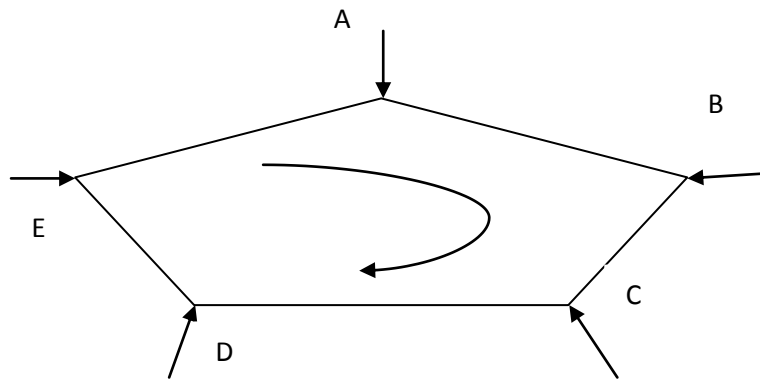


Fig. (II.5) : maille d'un réseau.

C'est-à-dire :

$$\sum \Delta H_{i-j} = 0 \quad (\text{II.A3})$$

1) Colbrook-white

$$\Delta H_{i-j} = \frac{8 * \lambda * L}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2 \quad (\text{II.A4})$$

Avec $\lambda = f \left(R_e, \frac{\varepsilon}{D} \right)$

$$R_e = \frac{4*Q}{\pi*D^2} \Rightarrow \text{(Nombre de Reynolds).}$$

$\frac{\varepsilon}{D}$: Rugosité absolue (diagramme de Moody).

ε : Rugosité relative.

2) Hazen-williams :

$$\Delta H_{i-j} = R*Q^{1,852} \quad \text{(II.A5)}$$

On appliqué Bernoulli entre les points i et j

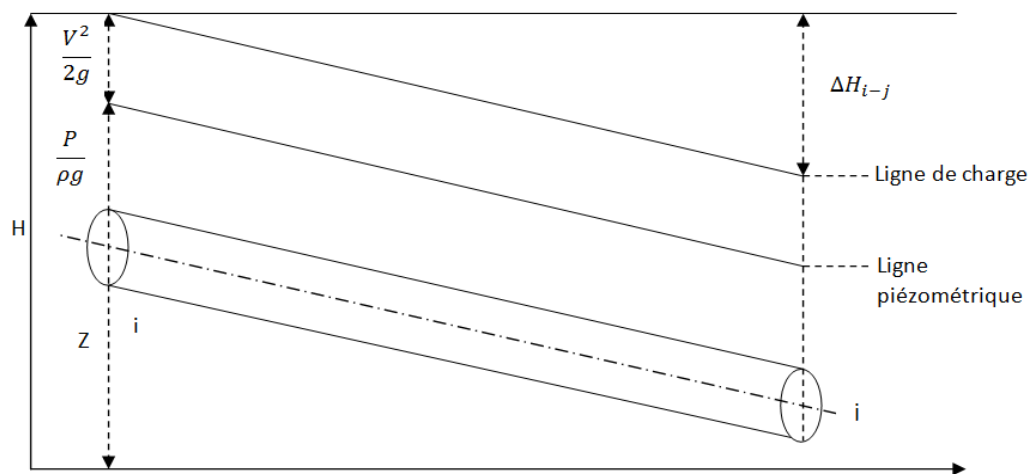


Fig. (II.6) : La théorème de Bernoulli.

L'équation de Bernoulli est un particulier du théorème de la conservation de l'énergie.

Appliquons l'équation de Bernoulli entre les sections i-j

$$\frac{P_i}{\rho*g} + \frac{v^2}{2*g} + Z_i = \frac{P_j}{\rho*g} + \frac{v^2}{2*g} + Z_j + \Delta H_{i-j} \quad \text{(II.A6)}$$

$\left\{ \begin{array}{l} H_i: \text{ la charge en i.} \\ H_j: \text{ la charge en j.} \end{array} \right.$

Avec

La charge H : l'énergie totale dans un point

$P/\rho*g$: l'énergie de pression

$v^2/2*g$: l'énergie cinématique

Z: l'énergie potentielle

$$H_i - H_j = \Delta H_{i-j} = \Delta H_{i-j} = R_{i-j} * Q_{i-j} * |Q_{i-j}|^{0,852} \quad (\text{II.A7})$$

Avec

ΔH_{i-j} : Les pertes de charge hydraulique ;

R_{i-j} : La résistance hydraulique ;

Q_{i-j} : Débit ;

a. Pour calculer la résistance en applique la loi de HAZEN –WILLIAMS

$$R = \frac{10,7 * L}{C_{HW}^{1,852} * D^{4,84}}$$

Avec

Q : le débit du tronçon (m³/s) ;

L : longueur de la conduite (m) ;

D : diamètre de la conduite (m) ;

C_{HW} : coefficient de HAZEN et WILLIAMS.

Donc

$$(II.6) \Rightarrow H_i - H_j = R_{i-j} * Q_{i-j}^{1,852}$$

Si : $Q_{i-j}^{1,852} > 0$

Alors

$$Q_{i-j}^{1,852} = \frac{1}{R_{i-j}} * (H_i - H_j) \quad (\text{II.A8})$$

$$\Rightarrow Q_{i-j} = \frac{1}{R_{i-j}^{1,852}} * (H_i - H_j)^{\frac{1}{1,852}} = \frac{1}{R_{i-j}^{0,54}} * (H_i - H_j)^{0,54}$$

$$\Rightarrow Q_{i-j} = \frac{1}{R_{i-j}^{0,54}} * (H_i - H_j)^1 * |H_i - H_j|^{-0,46} \quad (\text{II.A9})$$

II.7.3 Application de l'optimisation sur la méthode de kirchhoff :

a. Sur la loi des mailles

Pour vérifier la loi des mailles on applique l'équation suivante :

$$\sum \Delta H_{i-j} = 0$$

Soit le réseaux d'alimentation suivant :

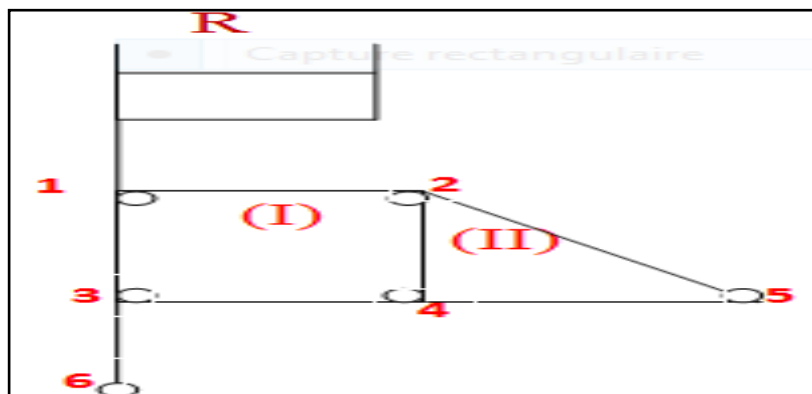


Fig. (II.7) : Réseau de distribution (maille).

Le problème d'optimisation est :

$$\begin{cases} F(x) = \Delta H_{i-j} \\ x \in R^n \end{cases}$$

Pour résoudre cette problème d'optimisation il faut transformer la loi des mailles se forme des équations mathématique est la somme des pertes de charge est égale a zéro.

La loi des pertes de charge sur 1^{ère} maille (I) :

$$\begin{aligned} \Delta H_{1-2} + \Delta H_{2-4} + \Delta H_{4-3} + \Delta H_{3-1} &= 0 \\ (H_1 - H_2) + (H_2 - H_4) + (H_4 - H_3) + (H_3 - H_1) &= 0 \\ \underbrace{H_1 - H_1}_0 - \underbrace{H_2 + H_2}_0 - \underbrace{H_4 + H_4}_0 - \underbrace{H_3 + H_3}_0 &= 0 \dots \dots (I) \end{aligned}$$

La loi des pertes de charge sur 2^{ème} maille (II) :

$$\begin{aligned} \Delta H_{2-5} + \Delta H_{5-4} + \Delta H_{4-2} &= 0 \\ (H_2 - H_5) + (H_5 - H_4) + (H_4 - H_2) &= 0 \end{aligned}$$

$$\underbrace{H_2 - H_2}_0 - \underbrace{H_5 + H_5}_0 - \underbrace{H_3 + H_3}_0 = 0 \dots \dots \dots \text{(II)}$$

Alor on remarque dans l'équations (I) et (II) la loi des mailles et vérivres automatiquement parce que la solution x^* est égale zéro

b. Sur la loi des nœuds

Pour vérifier la loi des mailles on applique l'équation suivante :

$$\sum_{j \in i} Q_{i-j} + q_i = 0$$

Soit le réseaux d'alimentation suivant

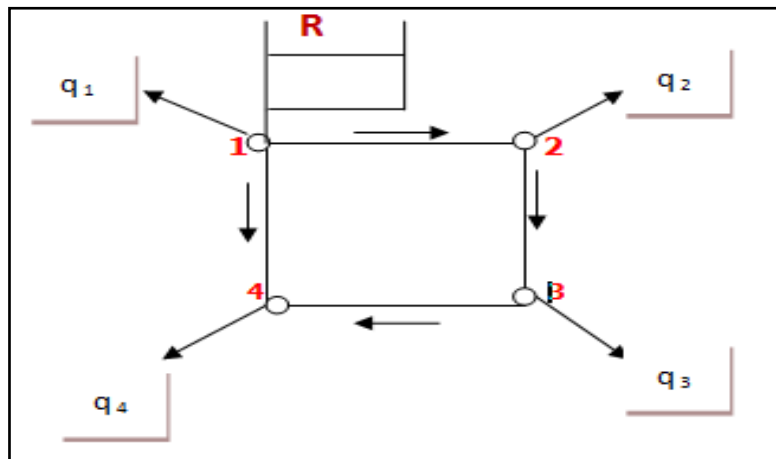


Fig. (II.8) : Réseau de distribution (mixte).

Le problème d'optimisation est
$$\begin{cases} F(x) = \sum_{n=1}^4 f_n \\ x \in R^n \end{cases}$$

Avec

N : nombre des nœuds

Pour résoudre ce problème d'optimisation il faut transformer la loi des nœuds en forme des équations mathématiques

Donc :

Nœud 1 :
$$Q_{1-R} + Q_{1-2} + Q_{1-4} + q_1 = 0 \quad \text{(II.A10)}$$

Nœud 2 :
$$Q_{2-1} + Q_{2-3} + q_2 = 0 \quad \text{(II.A11)}$$

Nœud 3 :
$$Q_{3-2} + Q_{3-4} + q_3 = 0 \quad \text{(II.A12)}$$

Nœud 4 :
$$Q_{4-1} + Q_{4-3} + q_4 = 0 \quad \text{(II.A13)}$$

$$j \in 1 \text{ (nœuds liée a 1)} \begin{cases} R \\ 2 \\ 4 \end{cases}, \quad j \in 2 \begin{cases} 1 \\ 3 \end{cases}, \quad j \in 3 \begin{cases} 2 \\ 4 \end{cases}, \quad j \in 4 \begin{cases} 1 \\ 3 \end{cases}$$

$$\text{Nœud 1} \Rightarrow f_1 = \sum_{j \in 1} Q_{1-j} + q_1 = 0$$

$$\text{Nœud 2} \Rightarrow f_2 = \sum_{j \in 2} Q_{2-j} + q_2 = 0$$

$$\text{Nœud 3} \Rightarrow f_3 = \sum_{j \in 3} Q_{3-j} + q_3 = 0$$

$$\text{Nœud 4} \Rightarrow f_4 = \sum_{j \in 4} Q_{4-j} + q_4 = 0$$

Pour trouver la fonction F du problème d'optimisation Remplaçant l'équation (II.A2) dans (II.A7)

$$F_i = \sum_{j \in i} \underbrace{\frac{1}{R_{i-j}^{0,54}} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}}_{Q_{i-j}} + q_i = 0 \quad (\text{II.A14})$$

Donc

$$f_1 = \underbrace{\frac{1}{R_{1-R}^{0,54}} * (H_1 - H_R) * |H_1 - H_R|^{-0,46}}_{Q_{1-R}} + \underbrace{\frac{1}{R_{1-2}^{0,54}} * (H_1 - H_2) * |H_1 - H_2|^{-0,46}}_{Q_{1-2}} + \underbrace{\frac{1}{R_{1-4}^{0,54}} * (H_1 - H_4) * |H_1 - H_4|^{-0,46}}_{Q_{1-4}} + q_1 \quad (\text{II.A15})$$

$$f_2 = \underbrace{\frac{1}{R_{2-1}^{0,54}} * (H_2 - H_1) * |H_2 - H_1|^{-0,46}}_{Q_{2-1}} + \underbrace{\frac{1}{R_{2-3}^{0,54}} * (H_2 - H_3) * |H_2 - H_3|^{-0,46}}_{Q_{2-3}} + q_2 \quad (\text{II.A16})$$

$$f_3 = \underbrace{\frac{1}{R_{3-2}^{0,54}} * (H_3 - H_2) * |H_3 - H_2|^{-0,46}}_{Q_{3-2}} + \underbrace{\frac{1}{R_{3-4}^{0,54}} * (H_3 - H_4) * |H_3 - H_4|^{-0,46}}_{Q_{3-4}} + q_3 \quad (\text{II.A17})$$

$$f_4 = \underbrace{\frac{1}{R_{4-1}^{0,54}} * (H_4 - H_1) * |H_4 - H_1|^{-0,46}}_{Q_{4-1}} + \underbrace{\frac{1}{R_{4-3}^{0,54}} * (H_4 - H_3) * |H_4 - H_3|^{-0,46}}_{Q_{4-3}} + q_4 \quad (\text{II.A18})$$

Pour minimiser la fonction F du problème d'optimisation il faut calculer f_i^2 par ce que la somme de min est toujours égale à zéro

$$\text{Donc :} \quad F = \sum_{i=1}^n f_i^2$$

✓ **Remarque**

On remarque dans la loi des mailles et la loi des nœuds l'inconnu et H est l'équation(II.A2) et(II.A7) sont des équations non linéaires. La méthode utilisée pour résoudre ce système non linéaire est une méthode de calcul numérique itérative qui fait appel au procédé de linéarisation de la méthode de newton.

II.8 La méthode de newton :

La méthode de Newton consiste à approcher une solution x^* de l'équation $F(x) = 0$ pour laquelle $F(x^*)$ est inversible en la regardant comme solution de $F(x^*) = x^*$.

Nous nous intéressons ici à la résolution de systèmes de n équations à n inconnues ou, ce qui revient au même, à la recherche de zéros de fonctions de R^n dans lui-même. Les résultats fondamentaux sont les mêmes que pour le cas des fonctions d'une variable réelle.

La méthode de newton et baser sur la matrice de Hessienne et le gradient

II.8.1 Application la méthode de newton sur le problème d'optimisation :

$$F_{min} = \sum_{i=1}^n f_i^2 = \sum_{i=1}^4 \left[\sum_{j \in i} \alpha_{i-j} * [H_i - H_j] * |H_i - H_j|^{-0,46} + q_i \right]^2 \quad (II.A19)$$

Avec : $\alpha_{i-j} = \frac{1}{R_{i-j}^{0,54}}$

Pour nœud i la fonction de problème d'optimisation est :

$$F_i^2 = \left[\sum_{j \in i} \alpha_{i-j} * [H_i - H_j] * |H_i - H_j|^{-0,46} + q_i \right]^2 \quad (II.A20)$$

$$\Rightarrow F_i^2 = \left[\sum_{j \in i} \alpha_{i-j} * [H_i - H_j] * |H_i - H_j|^{-0,46} \right]^2 * \left[\sum_{\text{combinaison}} \alpha_{i-j} * [H_i - H_j] * |H_i - H_j|^{-0,46} + q_i \right]^2$$

$$* \left[\sum_{j \in i} \alpha_{i-j} * [H_i - H_j] * |H_i - H_j|^{-0,46} \right]^2 * [H_i - H_j]^2 * |H_i - H_j|^{-0,46} = \alpha_{i-j}^2 * |H_i - H_j|^{1,08} * |H_i - H_j|^{-0,92} = |H_i - H_j|^{1,08}$$

Pour résoudre le problème (II.A20), On utilise la matrice de Hessienne et le gradient

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F_i}{\partial H_j} = \nabla F \quad \text{gradient} \\ \frac{\partial F}{\partial H_j} = \frac{\partial}{\partial H_j} \left(\frac{\partial F_i}{\partial H_j} \right) = \frac{\partial^2 F_i}{\partial H_j^2} = H \quad \text{la matrice de Hessienne} \end{array} \right.$$

$$\text{Donc : } \frac{\partial F_i}{\partial H_j} = \frac{1}{R_{i-j}^{0,54}} * \frac{\partial}{\partial H_j} [(H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}] \quad (\text{II.A21})$$

a) *Dérivé la loi des nœuds :*

a.1. *Par rapport H_j :*

$$\frac{\partial F^2}{\partial H_j} = 2 * \sum_{i=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial H_j} * f_i$$

Pour la dérivation par rapport H_j Il ya deux cas :

☞ *1^{er} cas :*

$$H_i - H_j > 0 \Rightarrow |H_i - H_j| = (H_i - H_j) \quad (\text{II.A22})$$

$$\Rightarrow (H_i - H_j)^1 * (H_i - H_j)^{-0,46} = (H_i - H_j)^{0,54} \quad (\text{II.A23})$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial H_j} = 0,54 * (-1) * (H_i - H_j)^{0,54-1} = -0,54 * (H_i - H_j)^{-0,46} \quad (\text{II.A24})$$

$$\frac{\partial}{\partial H_j} = -0,54 * |H_i - H_j|^{-0,46} \quad (\text{II.A25})$$

☞ *2^{ème} cas :*

$$H_i - H_j < 0 \Rightarrow |H_i - H_j| = -(H_i - H_j) \quad (\text{II.A26})$$

$$\Rightarrow (H_i - H_j)^1 * (H_i - H_j)^{-0,46} = -(H_i - H_j)^1 * (H_i - H_j)^{-0,46} \quad (\text{II.A27})$$

$$= -(H_i - H_j)^{0,54} = -|H_i - H_j|^{0,54}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial H_j} = 0,54 * (1) * [-(H_i - H_j)^{0,54-1}] \quad (\text{II.A28})$$

$$\frac{\partial}{\partial H_j} = -0,54 * |H_i - H_j|^{-0,46} \quad (\text{II.A29})$$

b) *La dériver par rapport H_i :*

En utilise la matrice de hessienne et le gradient

$$\frac{\partial F^2}{\partial H_i} = 2 * \sum_{i=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial H_i} * f_i$$

Pour la dériver par pour Hi Il y a deux cas :

☞ 1er cas :

$$H_i - H_j > 0 \Rightarrow |H_i - H_j| = (H_i - H_j) \quad (\text{II.A30})$$

$$\Rightarrow (H_i - H_j)^1 * (H_i - H_j)^{-0,46} = (H_i - H_j)^{-0,46} \quad (\text{II.A31})$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial H_j} = 0,54 * (+1) * (H_i - H_j)^{0,54-1} = +0,54 * (H_i - H_j)^{-0,46} \quad (\text{II.A32})$$

$$\frac{\partial}{\partial H_j} = +0,54 * |H_i - H_j|^{-0,46} \quad (\text{II.A33})$$

☞ 2éme cas :

$$H_i - H_j < 0 \Rightarrow |H_i - H_j| = (H_j - H_i) \quad (\text{II.A34})$$

$$\Rightarrow (H_i - H_j) = -(H_j - H_i) \quad (\text{II.A35})$$

$$(H_i - H_j)^1 * (H_j - H_i)^{-0,46} = -(H_j - H_i)^1 * (H_j - H_i)^{-0,46}$$

$$= -(H_j - H_i)^{0,54} = - |H_i - H_j|^{0,54}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial}{\partial H_j} [-(H_j - H_i)^{0,54}] = -0,54 * (-1) * |H_i - H_j|^{-0,46}$$

$$\frac{\partial}{\partial H_j} = +0,54 * |H_i - H_j|^{-0,46} \quad (\text{II.A36})$$

c) **La deuxième dérivé de la loi des nœuds :**

Pour le deuxième dérivé il faut démontrer la loi suivante :

$$\frac{\partial^2 F_i}{\partial H_i \partial H_j} = \frac{\partial^2 F_i}{\partial H_j \partial H_i} \Rightarrow \frac{\partial^2 F_1}{\partial H_1 \partial H_2} = \frac{\partial^2 F_1}{\partial H_2 \partial H_1}$$

1^{ere} cas $\frac{\partial^2 F_1}{\partial H_1 \partial H_2}$

Pour démonter cette la loi en applique sur l'équation (II.A33)

$$\frac{\partial^2 f_1}{\partial H_1 \partial H_2} = \frac{\partial}{\partial H_1} \left(\frac{\partial f_1}{\partial H_2} \right) = \frac{-0,54}{R_1^{0,54}} * \frac{\partial}{\partial H_1} [|H_1 - H_2|^{-0,46}] \quad (\text{II.A37})$$

$\frac{-x}{|x|} \Rightarrow \frac{(H_i - H_j)}{|H_i - H_j|} \Rightarrow$ la dériver de la valeur absolue

$$\begin{aligned} \text{Donc} \Rightarrow (II.66) \frac{\partial^2 f_1}{\partial H_1 \partial H_2} &= \frac{-0,46 * (-0,54)}{R_{1-2}^{0,54}} * \frac{(H_1 - H_2)}{|H_1 - H_2|} * |H_1 - H_2|^{-1,46} \\ \frac{\partial^2 f_1}{\partial H_1 \partial H_2} &= \frac{0,46 * (0,54)}{R_{1-2}^{0,54}} * (H_1 - H_2) * |H_1 - H_2|^{-2,46} \end{aligned} \quad (II.A38)$$

2^{eme} cas $\frac{\partial^2 F_1}{\partial H_2 \partial H_1}$

Pour démontrer cette loi en appliquer sur l'équation (II.A33)

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f_1}{\partial H_2 \partial H_1} &= \frac{\partial}{\partial H_2} \left[\frac{0,54}{R_{1-R}^{0,54}} * |H_1 - H_R|^{-0,46} + \frac{0,54}{R_{1-2}^{0,54}} * |H_1 - H_2|^{-0,46} + \frac{0,54}{R_{1-4}^{0,54}} * |H_1 - H_4|^{-0,46} \right] \\ &= \frac{0,54}{R_{1-2}^{0,54}} * \frac{\partial}{\partial H_2} [|H_1 - H_2|^{-0,46}] \end{aligned} \quad (II.A39)$$

$$= \frac{-0,46 * (0,54)}{R_{1-2}^{0,54}} * \left(-\frac{(H_1 - H_2)}{|H_1 - H_2|} \right) * |H_1 - H_2|^{-1,46} \quad (II.A40)$$

$$\frac{\partial}{\partial H_2} \left[\frac{0,54}{R_{1-R}^{0,54}} * |H_1 - H_R|^{-0,46} + \frac{0,54}{R_{1-4}^{0,54}} * |H_1 - H_4|^{-0,46} \right] = 0 \text{ (pas de } H_2\text{).}$$

$$\frac{\partial^2 f_1}{\partial H_2 \partial H_1} = \frac{0,46 * (0,54)}{R_{1-2}^{0,54}} * (H_1 - H_2) * |H_1 - H_2|^{-2,46} \quad (II.A41)$$

L'équation (II.67) égale (II.70) donc la loi $\frac{\partial^2 F_1}{\partial H_1 \partial H_2} = \frac{\partial^2 F_1}{\partial H_2 \partial H_1}$ est démontrée

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 f_1}{\partial H_1 \partial H_2} = \frac{\partial^2 f_1}{\partial H_2 \partial H_1} = \frac{0,46 * (0,54)}{R_{1-2}^{0,54}} * (H_1 - H_2) * |H_1 - H_2|^{-2,46}$$

Donc

$$\frac{\partial^2 f}{\partial H_i^2} = \frac{\partial}{\partial H_i} \left(\frac{\partial f}{\partial H_i} \right)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 F}{\partial H_i \partial H_j} = \frac{\partial}{\partial H_i} \left(\frac{\partial f}{\partial H_j} \right) \\ \frac{\partial^2 F}{\partial H_j \partial H_i} = \frac{\partial}{\partial H_j} \left(\frac{\partial f}{\partial H_i} \right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 F}{\partial H_i \partial H_j} = \frac{\partial}{\partial H_i} \left[2 * \sum_{i=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial H_j} * f_i \right] = 2 * \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f_i}{\partial H_i \partial H_j} * f_i + \frac{\partial F}{\partial H_i} * \frac{\partial F}{\partial H_j} \right] \\ \frac{\partial^2 F}{\partial H_j \partial H_i} = \frac{\partial}{\partial H_j} \left[2 * \sum_{i=1}^n \frac{\partial f_i}{\partial H_i} * f_i \right] = 2 * \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f_i}{\partial H_j \partial H_i} * f_i + \frac{\partial F}{\partial H_j} * \frac{\partial F}{\partial H_i} \right] \end{cases}$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial H_i \partial H_j} = \frac{\partial^2 F}{\partial H_j \partial H_i} \text{ a démontrer.}$$

☞ **Remarque**

$$\frac{\partial^2 F}{\partial H_1 \partial H_2} = \frac{\partial^2 F}{\partial H_2 \partial H_1}$$

$$\begin{aligned} \text{Donc } \frac{\partial^2 F}{\partial H_1 \partial H_2} &= 2 * \left[\left(\frac{\partial f_1}{\partial H_1 \partial H_2} * f_1 + \frac{\partial f_1}{\partial H_1} * \frac{\partial f_1}{\partial H_2} \right) + \left(\frac{\partial f_2}{\partial H_1 \partial H_2} * f_2 + \frac{\partial f_2}{\partial H_1} * \frac{\partial f_2}{\partial H_2} \right) \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{\partial F_3}{\partial H_1 \partial H_2} * F_3 + \frac{\partial F_3}{\partial H_1} * \frac{\partial F_3}{\partial H_2} \right) + \left(\frac{\partial F_4}{\partial H_1 \partial H_2} * F_4 + \frac{\partial F_4}{\partial H_1} * \frac{\partial F_4}{\partial H_2} \right) \right] \end{aligned}$$

II.8.2 Algorithme de newton :

$$x = x_0 - H^{-1} * \nabla f(x_0)$$

Avec :

X0 : et donnée

H⁻¹: matrice de hessienne

∇F(x): gradient

II.8.3 Model mathématique sur l'algorithme de newton

Soit la fonction suivante

$$F(x) = x^2_1 + x^2_2$$

$$\begin{matrix} x_0 = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} & \nabla f = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \end{bmatrix} & H = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} & H^{-1} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} \\ x = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} & - \begin{bmatrix} 0.5 & 0 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \end{bmatrix} & = \begin{bmatrix} 2 \\ -1 \end{bmatrix} & = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

4. Les étapes de programmation d'optimisation sans contrainte

- Calculer tous les R_{ij} ($R_{ij}=R_{ji}$) matrice $j \in i$;

- Calculer tous les fonctions

$$F_i = \sum_{j \in i} \underbrace{\frac{1}{R_{i-j}^{0,54}} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}}_{Q_{ij}} + q_i, \text{ vecteur } 1; n$$

- Calculer $F_{ii} = 0,54 \sum_{j \in i} R_{i-j} |H_i - H_j|^{-0,46}$ vecteur $1, n$
- Calculer $F_{ij} = F_{ji} - 0,54 R_{i-j} |H_i - H_j|^{-0,46}$, $F_{ij} = F_{ji}$ matrice $n*n$
- Calculer la méthode de newton

1. Résume les étapes de programmation sous forme d'équation

- $F = \sum_{i=1}^n f_i^2$
- $\nabla F = \frac{\partial F}{\partial H_i} = 2F_i * \frac{\partial F_i}{\partial H_i} + 2 * \sum_{j \in i} \frac{\partial F_j}{\partial H_i} * F_j$
- $F_i = \sum_{j \in i} R_{i-j} (H_i - H_j) |H_i - H_j|^{-0,46} + q_i = 0$
- $\frac{\partial F_i}{\partial H_i} = 0,54 \sum_{j \in i} R_{i-j} |H_i - H_j|^{-0,46}$
- $\frac{\partial F_i}{\partial H_j} = -0,54 R_{i-j} |H_i - H_j|^{-0,46}$
- $\frac{\partial F_j}{\partial H_j} = -0,54 R_{i-j} |H_i - H_j|^{-0,46}$
- $H_{ij} = \frac{\nabla F(j+\varepsilon) - \nabla F(j)}{\varepsilon} \quad (\varepsilon \rightarrow 0+)$

II.9 Equilibrage d'un réseau par l'optimisation avec contrainte :**II.9.1 Définition de l'optimisation avec contrainte :**

On rappelle qu'on se donne $X \subset \mathbb{R}^n$ où X est un ensemble fermé des contraintes, avec $U \pm \emptyset$; et $U \pm \mathbb{R}^n$. On se donne aussi la fonction

$$f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

On cherche à résoudre le problème de minimisation

$$\min_{x \in X} f(x)$$

C'est à dire, on cherche $x^* \in X$ tel que

$$f(x^*) \leq f(x); \forall x \in X$$

II.9.2 Les types de contrainte :

a) Les contraintes d'égalité :

Se forme suivante

$$\inf_{u \in V, f(v)=0} j(v) = 0$$

Avec

$F(v) = (F_1(v), \dots, F_M(v))$ une application différentiable de V dans \mathbb{R}^M

d) Les contraintes d'inégalité :

Se forme suivante

$$\inf_{u \in V, f(v) \leq 0} j(v) = 0$$

Où $F(v) \leq 0$ signifie que $F_i(v) \leq 0$ pour $1 \leq i \leq M$, avec F_1, \dots, F_M fonctions différentiables de V dans \mathbb{R} .

Tous les contraintes il faut continu dans les mêmes directions admissibles

II.10 Les Contrainte dans réseau d'AEP :

Dans le réseau de distribution il ya quatre contraintes se forme d'inégalité :

- Contrainte de diamètre ;
- Contrainte de pression ;
- Contrainte de vitesse ;
- Contrainte des lois des nœuds et mailles.

a) Contrainte de diamètre :

Le choix du diamètre d'une conduite résulte d'un compromis entre les dépenses d'investissement et les dépenses d'énergie.

$$\left\{ D_{Min} \leq D \leq D_{Max} \Rightarrow \text{linéaire (puissance} = 1) \right. \quad (II.29).$$

b) Contrainte de pression :

Dans chaque nœud du réseau, la pression P doit satisfaire la condition. P_{min} Et P_{max} dépendent des conditions de satisfaction de l'utilisation et de la nature du matériau utilisé.

P_{min} : La pression minimum résiduelle qui doit régner partout dans le réseau pour que les besoins en eau puissent être satisfaits.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{Min} \leq \frac{P}{\rho * g} \leq P_{Max} \\ 10 \text{ m} \leq P \leq 60 \text{ m} \end{array} \right.$$

Pour mesure la contrainte de pression en utilise l'équation suivante :

$$\begin{aligned} H_i &= \frac{P_i}{\rho * g} + \frac{v_i^2}{2 * g} + Z_i \Rightarrow \text{Comme } 0.5 \leq v \leq 1.5 \\ \Rightarrow \frac{v_i^2}{2 * g} &= \frac{(1,5)^2}{2 * (9,81)} = 0,115 \text{ m} = 11,5 \text{ cm (négligé)} \\ \Rightarrow H_i &= \frac{P_i}{\rho * g} + Z_i \Rightarrow \frac{P_i}{\rho * g} = H_i - Z_i \\ P_{Min} \leq H_i - Z_i &\leq P_{Max} \Rightarrow P_{Min} + Z_i \leq H_i - Z_i + Z_i \leq P_{Max} + Z_i \\ \Rightarrow \{P_{Min} + Z_i \leq H_i \leq P_{Max} + Z_i\} &\Rightarrow \text{léniaire} \quad (\text{II. 30}) \end{aligned}$$

c) Contrainte de vitesse :

Elles sont imposées par conditions de sécurité dans le réseau pour tout tronçon ; La contrainte s'exprime par :

$$\{v_{Min} \leq v \leq v_{Max}\}$$

☞ Remarque

V_{min} : La vitesse minimum nécessaire pour éviter la stagnation de l'eau et donc la formation de Dépôt et prolifération de bactéries qui le rendra impropre à l'alimentation.

($V_{min} \approx 0.5\text{m/s}$)

V_{max} : La vitesse au- dépôt de laquelle l'érosion dans les conduites se développe trop rapidement, ainsi que l'apparition des sous-pressions. ($V_{max} \approx 1.5$ m/s)

La relation de vitesse pour la section et le débit

$$V = \frac{Q}{S} / S = \frac{\pi * D^2}{4} \Rightarrow V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (II. 31)$$

Pour déterminer la relation de débit dans l'équation (II. 31) ($\sum \Delta H_{i-j} = 0$)

$$\Delta H_{i-j} = (H_i - H_j) = R_{i-j} * Q * |Q|^{0,852}$$

$$Q = \frac{1}{R_{i-j}^{0,54}} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}$$

$$R_{i-j} = \frac{10,6 * L}{C^{1,852} * D^{4,84}} \Rightarrow k_{i-j} = \frac{10,6 * L}{C^{1,852}} \Rightarrow R_{i-j} = \frac{k_{i-j}}{D^{4,84}} \Rightarrow \frac{1}{R_{i-j}} = \frac{D^{4,84}}{k_{i-j}}$$

Remplacer la relation de débit dans l'équation (II. 31)

$$\Rightarrow V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4}{\pi * D^2} * \left(\frac{D^{4,84}}{k_{i-j}} \right)^{0,54} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}$$

$$V_{i-j} = \frac{4}{\pi * R_{i-j}^{0,54}} * D^{2,63} * D^{-2} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}$$

$$V_{i-j} = \frac{4}{\pi * R_{i-j}^{0,54}} * D^{0,63} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}$$

$$k'_{i-j} = \frac{4}{\pi * R_{i-j}^{0,54}}$$

$$V_{i-j} = k'_{i-j} * D^{0,63} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46}$$

$$V_{Min} \leq V \leq V_{Max}$$

$$\Rightarrow V_{Min} \leq \left| k'_{i-j} * D^{0,63} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46} \right| \leq V_{Max}$$

Remarque: $|a * b| = |a| * |b|$

$$\begin{aligned} \Rightarrow V_{\text{Min}} &\leq \left| k'_{i-j} * D^{0,63} * |H_i - H_j|^1 * |H_i - H_j|^{-0,46} \right| \leq V_{\text{Max}} \\ \Rightarrow V_{\text{Min}} &\leq k'_{i-j} * D^{0,63} * |H_i - H_j|^{0,54} \leq V_{\text{Max}} \dots \text{Divisé par } (k'_{i-j}): \\ \left\{ \frac{V_{\text{Min}}}{k'_{i-j}} \right. &\leq D^{0,63} * |H_i - H_j|^{0,54} \leq \frac{V_{\text{Max}}}{k'_{i-j}} \end{aligned} \quad (II.32)$$

d) **Contrainte des lois des nœuds et maille :**

☞ **Loi des mailles :** vérifie automatiquement dans le 2eme chapitre

☞ **Loi des nœuds :**

$$\sum Q_{i-j} + q_i = 0 \quad (II.2)$$

$$H_i - H_j = \frac{(10.96 * L_i - j)}{(C1.852 * D_i - j4.87)} * Q_{i-j} / Q_{i-j} / 0.852 \quad (II.33)$$

$$Q_{i-j} * \frac{j}{Q_i} - \frac{j}{0.852} = (H_i - H_j) * \frac{(C1.852D_i - j4.87)}{(10.69 * L_i - j)} \quad (II.34)$$

On a deux cas :

$$\begin{cases} Q_{i-j} > 0 & Q_{ij}^{1.852} \\ Q_{i-j} < 0 & -Q_{ij}^{1.852} \end{cases}$$

□ **1^{ere} cas :**

$$Q_{ij} = (H_i - H_j) * |H_i - H_j| - 0.46 * \frac{C_{ij} * D^{2.63}}{3.59 * L_{ij}^{0.54}} \quad (II.35)$$

Pour chaque nœuds i (i=1, ne)

$$\sum_{j \in i} Q_{ij} = (H_i - H_j) * |H_i - H_j| - 0.46 * \frac{C_{ij} * D^{2.63}}{3.59 * L_{ij}^{0.54}} \quad (II.36)$$

Alors le domaine de contrainte

$$\begin{aligned}
& 1. \quad D_{Min} \leq D^1 \leq D_{Max} \\
& 2. \quad P_{Min} + Z_i \leq H_i^1 \leq P_{Max} + Z_i \\
& 3. \quad \frac{V_{Min}}{k_{i-j}} \leq D^{0,63} * |H_i - H_j|^{0,54} \leq \frac{V_{Max}}{k_{i-j}} \\
& 4. \quad \sum \Delta H_{j \in i} * \frac{1}{k_{i-j}^{0,54}} * D_{i-j}^{2,63} * (H_i - H_j) * |H_i - H_j|^{-0,46} + q_1 = 0, i = 1 - n
\end{aligned}$$

Pour résoudre le problème des contraintes non linéaire en utilise la méthode de Zoutendijk

II.11 la méthode de Zoutendijk :

La méthode de Zoutendijk cherche elle aussi à trouver, à chaque itération, la direction dk Minimisant la dérivée directionnelle de f en x^k .

II.11.1 Résumé de la méthode de Zoutendijk : (cas Contraintes d'inégalité)

Initialisation Etape Choisissez un x_1 point de départ telle que $g_i(x_1) \leq 0$ pour $i=1, \dots, m$. soit $k=1$ et passez a l'étape principale.

Étape principale

- Laisser $I = \{i : g_i(x_k) = 0\}$ et résoudre le problème suivant:
- Minimiser Z
- Sujet à

$$\nabla f(x_k)^t d - Z \leq 0$$

$$\nabla g_i(x_k)^t d - Z \leq 0 \text{ pour } i \in I$$

$$-1 \leq d_j \leq 1 \text{ pour } j = 1; \dots, n$$

Soit τk une solution optimale au problème de recherche de ligne suivante:

- Minimiser $f(x_k + \tau dk)$
- Sujet à $0 \leq \tau \leq \tau_{max}$

II.11.2 Application de la méthode :

Considérons le problème suivant

- Minimiser $2x_1^2 + 2x_2^2 - 2x_1x_2 - 4x_1 - 6x_2$
- Sujet à $x_1 + 5x_2 \leq 5$

$$2x_1^2 - x_2 \leq 10$$

$$-x_1 \leq 0$$

$$-x_2 \leq 0$$

Nous allons résoudre le problème en utilisant la méthode de Zoutendijk. La procédure est initiée à partir d'un point réalisable $x_1 = (0.00, 0.75)^t$. Le lecteur peut remarquer que

$$\nabla f(x) = (4x_1 - 2x_2 - 4, 4x_2 - 2x_1 - 6)^t$$

Itération 1:

Recherche Direction Au point $x_1 = (0.00, 0.75)^t$,

Nous avons $\nabla f(x_1) = (-5.50, -3.00)^t$

Et les contraintes de liaison sont définies par $I = (3)$. Nous avons $\nabla g(x_1) = (-1.0)^t$

Le problème de la goniométrie est alors donné comme suit:

- Minimiser z

- Sujet $-5.5d_1 - 3.0d_2 - z \leq 0$

$$-d_1 - z \leq 0$$

$$-1 \leq d_j \leq 1 \text{ pour } j = 1, 2$$

En utilisant la méthode du simplexe, par exemple, on peut vérifier que la valeur optimale la solution est le :

$$d_1 = (1.00, -1.00)^t \text{ et } z_1 = -1.00 \text{ [10]}$$

Conclusion :

Une méthode d'optimisation est une méthode qui cherche la meilleure allocation des ressources rares aux activités dans une situation décrite par un modèle mathématique. et différentes technique.

L'optimisation joue un grand rôle économique et technique pour minimiser le cout (réseaux d'AEP et assainissement et....).

Chapitre III : Modèle de simulation

Introduction :

Le modèle de simulation EPANET est celui qui est utilisé dans le code. Il s'agit de la version classique d'EPANET qui traite les demandes comme satisfaites et calcule les pressions aux nœuds, celle-ci pouvant être négatives. Il existe une version modifiée (extension) d'EPANET dans la littérature qui délivre un débit au nœud en fonction de la pression résultante (Morley & 113 Tricarico, 2008). Par contre, cette extension n'est pas disponible gratuitement en ligne. En fonction de l'approche qu'on souhaite donner à la simulation et des objectifs souhaités pour la conception optimale du réseau, cette version pourrait être mieux adaptée. Si cette extension d'EPANET devrait être utilisée dans le code en remplacement de la version classique, des modifications doivent être apportées au code : de nouvelles variables s'ajoutent telles que les pressions minimales et souhaitables aux nœuds. Il faut alors modifier les fonctions de lecture et d'écriture des variables; modifier certaines classes de base telles que les attributs des nœuds; implémenter le calcul des fonctions objectives qui vont avec cette approche de calcul. [1]

EPANET est un logiciel développé pour la simulation du comportement des systèmes de distribution d'eau d'un point de vue hydraulique et également d'un point de vue qualité de l'eau.

Ce logiciel est distribué gratuitement par l'E.P.A (U.S. Environmental Protection Agency .EPA) depuis le mois de septembre 1993. Depuis, il est largement utilisé dans le monde entier grâce à :

- Ses algorithmes de calcul les plus avancés
- Son interface graphique conviviale et intuitive
- Aux possibilités de relations avec d'autres logiciels d'application
- À l'existence d'une liste d'utilisateurs, lieu de communications et d'échanges

L'utilisation d'EPANET est très diversifiée, et porte principalement sur

- la régulation des pressions dans le réseau
- le dimensionnement de travaux d'amélioration du réseau ou d'extension
- l'évolution de la qualité de l'eau et l'étude de traitement en différents points du réseau.

- l'amélioration de la gestion des équipements (marnage des réservoirs), des coûts Energétiques (fonctionnement des stations de pompage.....), du contrôle des débits d'eau (sectorisation du réseau.....), de la gestion de crise (suppression d'une ressource, rupture d'une canalisation maîtresse, introduction de contaminants dans le réseau...).

III.1 La modélisation du réseau sur EPANET :

III.1.1 Paramètres du réseau maillé à étudier :

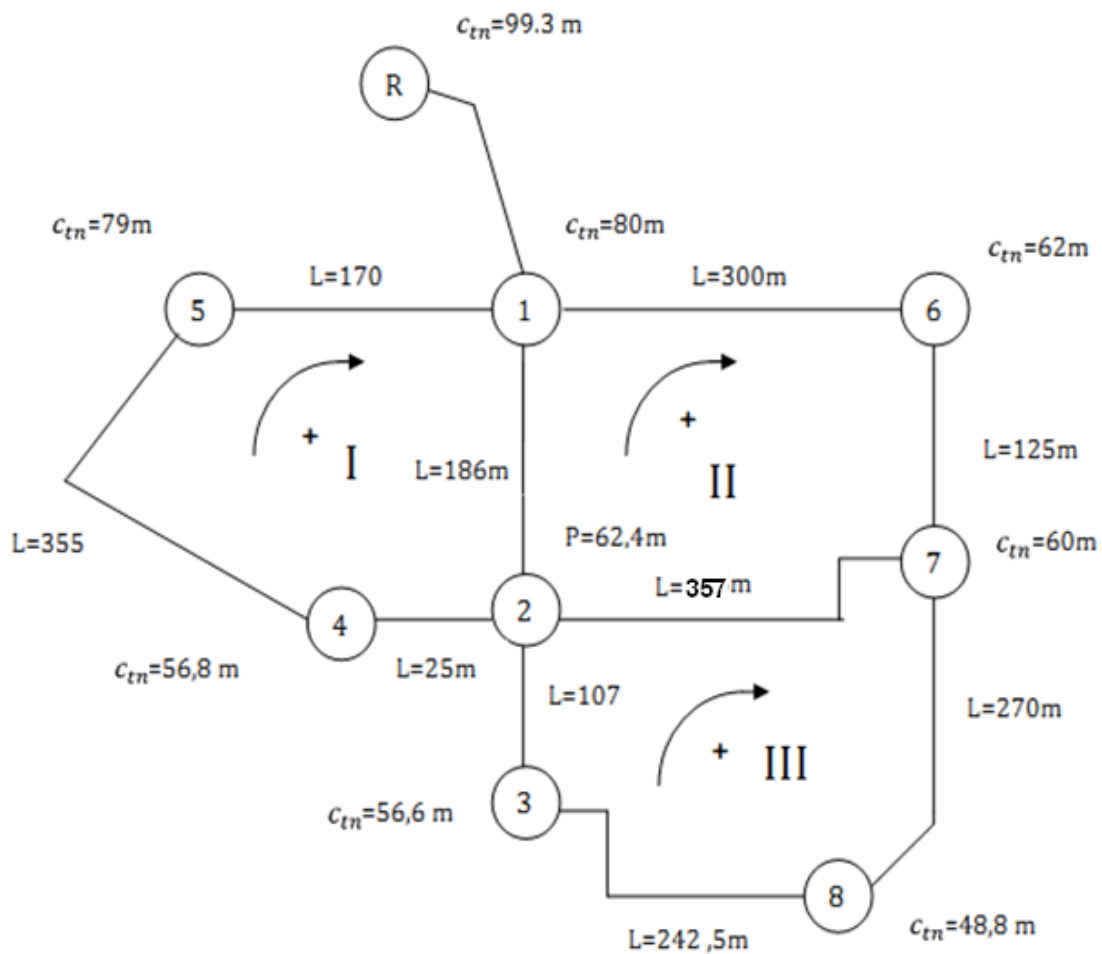


Fig. (III.1): Réseau maillé étudié [16]

Tableau 1 : Paramètres du réseau maillé à étudier [16]

N°	Tronçon	Diamètre (mm)	Chw	Longueur (m)	CTN (m)	
1	R-1	180.8	140	111	99,3	80
2	1-2	144.6	140	186	80	62.4
3	2-3	99.4	140	107	62.4	56,6
4	1-5	285	140	170	80	79
5	5-4	180.8	140	355	79	56,8
6	4-2	113	140	25	56,8	56,6
7	1-6	361.8	140	300	80	62
8	6-7	285	140	125	62	60
9	7-2	126.6	140	357	60	62,4
10	7-8	126.6	140	270	60	48,8
11	3-8	126.6	140	242.5	56,6	48,8

III.2 Les Étapes de l'Utilisation d'EPANET :

Les étapes classiques de l'utilisation d'EPANET pour modéliser un système de distribution d'eau sont les suivantes:

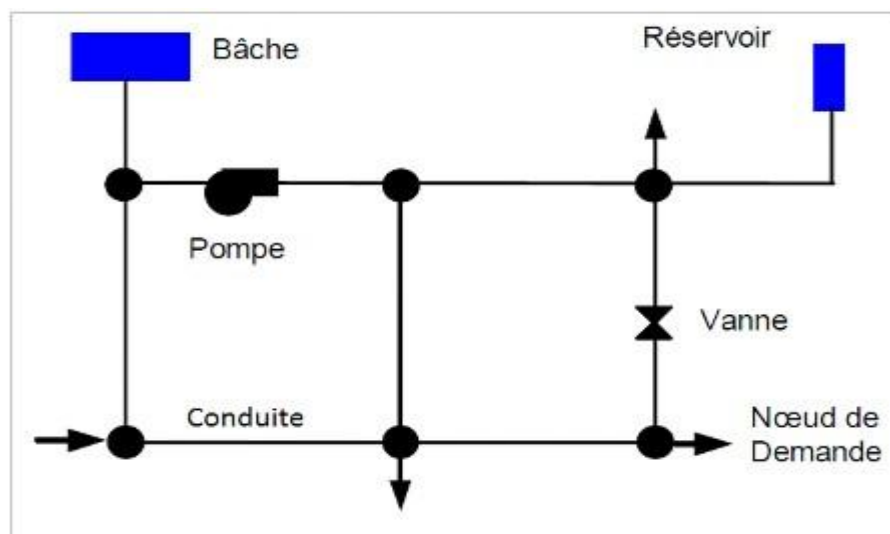
- Dessiner un réseau représentant le système de distribution ou importer une description de base du réseau enregistrée dans un fichier au format texte

- Saisir les propriétés des éléments du réseau
- Décrire le fonctionnement système
- Sélectionner un ensemble d'options de simulation
- Lancer une simulation hydraulique
- Visualiser les résultats d'une simulation

Cette partie expose les principes de base du travail du logiciel EPANET, au niveau des objets physiques constituant le réseau et les méthodes de calcul utilisés.

III.3 Composants physiques :

EPANET modélise un système de distribution d'eau comme un ensemble d'arcs reliés à des nœuds. Les arcs représentent des conduites, des pompes, et des vannes de contrôle. Les nœuds représentent des nœuds de demande, des réservoirs et des baches. La figure ci-dessous indique les liaisons entre les différents objets formant le réseau. [1]



III.3.1 Objet Nœud :

Dans le présent modèle numérique du réseau, l'objet nœud est subdivisé en trois sous objets : les nœuds de demande, les baches et les réservoirs.

a) *Objet Nœud de demande :*

Les nœuds de Demande sont les points du réseau où les arcs se rejoignent. Ce sont des points d'entrée ou de sortie d'eau et peuvent également ne pas avoir de débit. Les données requises

sur un nœud de demande sont l'altitude au-dessus d'un certain plan de référence (habituellement le niveau de la mer), la demande en eau et la qualité initiale de l'eau. L'état des nœuds de demande est caractérisé à chaque pas de temps de simulation par la pression et la qualité de l'eau La charge hydraulique.

b) *Objet Bâche :*

Les Bâches infinies sont des nœuds représentant une source externe de Capacité infinie. Elles sont utilisées pour modéliser des éléments tels que les lacs, les fleuves, les couches aquifères souterraines ou les arrivées de réseaux extérieurs.

Les données requises sur une bâche sont la charge totale (égale au niveau de la surface de l'eau si la bâche infinie n'est pas sous pression) puisqu'une bâche est un élément de frontière d'un réseau, la charge hydraulique de l'eau et la qualité initiale de l'eau.

c) *Objet Réservoir :*

Les réservoirs sont des nœuds avec une capacité de stockage et le volume d'eau stockée peut varier avec le temps. Les données requises sur un réservoir sont l'altitude du radier, le diamètre, les niveaux initial, minimal et maximal de l'eau et la qualité initiale de l'eau. L'état des réservoirs est caractérisé à chaque pas de temps de simulation par la pression et la qualité de l'eau.

III.3.2 Objet Arc :

Dans le présent modèle numérique du réseau, l'objet arc est subdivisé en trois sous objets : les conduites, les pompes et les vannes.

a) *Objet Conduite :*

Les conduites sont des arcs qui transportent l'eau d'un point du réseau à l'autre. EPANET suppose que tous les tuyaux sont pleins à tout instant. L'eau s'écoule de l'extrémité qui a la charge hydraulique la plus élevée (altitude + pression, ou énergie interne par poids d'eau) à celle qui a la charge hydraulique la plus faible.

Les données requises sur une conduite sont le nœud initial et final, le diamètre, la longueur et le coefficient de rugosité. L'état des conduites (ouvert, fermé, ou avec un clapet anti-retour)

Les valeurs calculées pour les tuyaux incluent :

- Le débit.

- La vitesse d'écoulement.
- La perte de charge.
- Le facteur de friction de Darcy-Weisbach.
- la vitesse moyenne de réaction (le long du tuyau).

b) Objet Pompe :

Les pompes sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique. Les données requises sur une pompe sont le nœud d'aspiration et de refoulement, la courbe caractéristique et la courbe de modulation de la vitesse. L'état des pompes est caractérisé à chaque pas de temps de simulation par le débit et la hauteur d'eau.

EPANET peut également calculer la consommation d'énergie et le coût d'une pompe. A chaque pompe, il peut assigner une courbe de rendement et une courbe de modulation qui reflète les fluctuations du prix de l'énergie. Si ceux-ci ne sont pas fournis, un ensemble de valeurs globales assignées au projet sera utilisé. EPANET ne permet pas aux pompes de fonctionner en dehors des intervalles de leur courbe caractéristique. Si les conditions du système exigent une charge hydraulique plus élevée que la pompe peut fournir, EPANET arrête la pompe. Si la demande du réseau excède le débit maximum, EPANET extrapole la courbe caractéristique de la pompe jusqu'au débit exigé, même si la charge hydraulique correspondante est négative. Dans les deux cas un message d'avertissement apparaît dans l'écran.

c) Objet Vanne :

Les vannes sont des arcs qui limitent la pression ou le débit en un point précis du réseau. Les données requises sur une vanne sont le nœud d'entrée et de sortie, le diamètre et le consigne de fonctionnement. L'état des vannes est caractérisé à chaque pas de temps de simulation par le débit et la perte de charge.

Les différents types de vannes qu'offre EPANET sont:

- Vanne stabilisatrice aval (en anglais PRV)
- Vanne stabilisatrice amont (en anglais PSV)
- Vanne brise-charge ou réducteur de pression (en anglais PBV)
- Vanne régulatrice de débit ou limiteur de débit (en anglais FCV)
- Vanne diaphragme (en anglais TCV)

- Vanne d'usage général (en anglais GPV)

III.3.3 Objet Point de passage :

Un point de passage représente ici un point de transition emprunté par une conduite pour aller vers son nœud final. Ces points permettent de refléter la courbure du chemin suivi par la conduite. Les seules données requises pour ces points sont leurs coordonnées qui ne sont pas utilisées lors de la simulation et servent uniquement pour la visualisation graphique du réseau.

III.3.4 Objet Texte :

Le texte ici permet d'ajouter des étiquettes à certains éléments du réseau pour les décrire. Le texte n'est pas pertinent pour la simulation. Il sert uniquement pour la visualisation graphique du réseau.

III.4 Objets non physiques :

En plus des composants physiques, EPANET utilise trois types d'objets non physiques: des courbes de modulation et des commandes de contrôle. Ils décrivent le comportement et les aspects fonctionnels d'un système de distribution.

III.4.1 Courbes :

Les courbes en général sont des objets qui contiennent des couples de données ayant une relation entre elles. Deux objets ou plus peuvent partager la même courbe. Dans EPANET, on peut appliquer les types de courbes suivants:

- Courbe caractéristique.
- Courbe de rendement.
- Courbe de volume.
- Courbe de perte de charge.

a) Courbe de volume (d'un réservoir) :

Une courbe de volume décrit comment le volume d'eau dans un réservoir de stockage (axes-Y) en mètres cube, évolue en fonction du niveau d'eau (axe X), en mètres. Elle est utilisée quand il est nécessaire de décrire précisément les réservoirs dont la section change avec le niveau. Les niveaux d'eau le plus bas et le plus haut de la courbe doivent contenir les niveaux

le plus bas et le plus haut entre lesquels le réservoir fonctionne. Un exemple de courbe de volume de réservoir est donné ci-dessous.

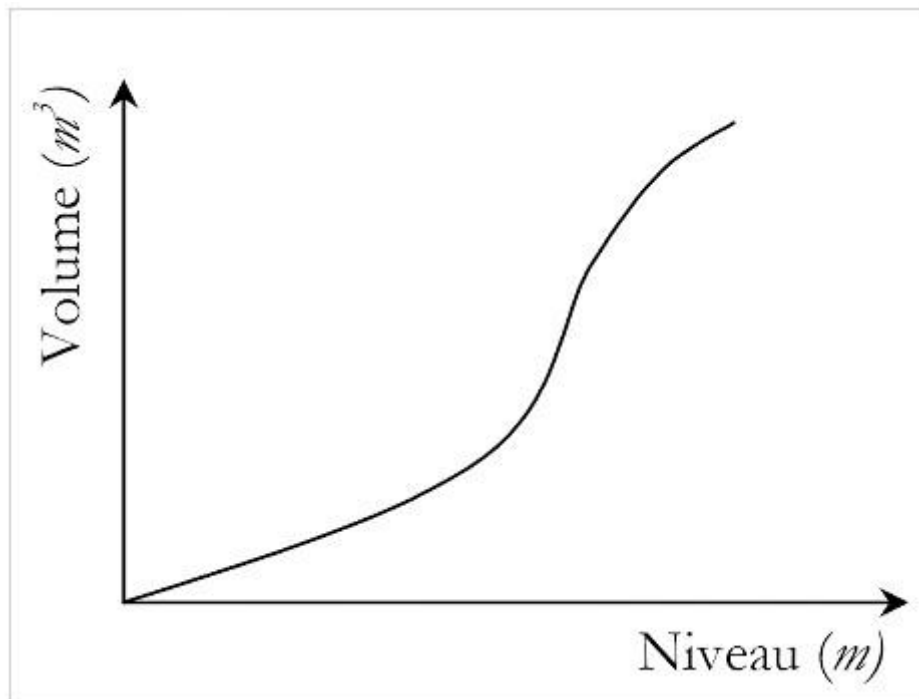


Fig. (III.2):Courbe de Volume para pore au Niveau

b) Courbe de perte de charge (d'une vanne d'usage général) :

Une courbe de perte de charge est utilisée pour décrire la perte de charge en mètres (axes-Y) d'une vanne d'usage général en fonction du débit, dans les unités de débit choisies (axe X). Des vannes d'usage général sont employées pour représenter des arcs où l'utilisateur prévoit une relation spécifique entre le débit et la perte de charge, plutôt que de suivre une des formules hydrauliques standard. Elles peuvent être employées pour modéliser des turbines, L'abaissement des eaux souterraines ou des vannes stabilisatrices aval contrôlées par le débit.

c) Courbes de modulation :

Une courbe de modulation est un ensemble de multiplicateurs qui peuvent être appliqués à une valeur de base pour lui permettre d'évoluer au cours du temps. On peut assigner des

courbes de modulation à la demande d'un nœud, au niveau d'une bêche, à la vitesse de rotation d'une pompe, à la qualité de l'eau dans une source et au prix de l'énergie.

III.4.2 Objet Courbe de modulation :

Une courbe de modulation est composée ici d'un ensemble de multiplicateurs qui peuvent être appliqués à une valeur de base pour lui permettre de varier dans le temps. On peut assigner des courbes de modulation à la demande d'un nœud, au niveau d'une bêche, à la vitesse de rotation d'une pompe, à la qualité de l'eau dans une source et au prix de l'énergie.

III.4.3 Commandes :

Les commandes sont des instructions qui déterminent comment le réseau est géré pendant la simulation. Elles indiquent l'état d'arcs déterminés en fonction du temps, l'état des niveaux d'eau aux réservoirs et la valeur de la pression à certains points du réseau. Deux catégories de commandes peuvent être utilisées:

- Commandes simples.
- Commandes élaborées.

a) *Objet Commande simple*

Une commande simple permet de changer l'état ou la consigne de fonctionnement d'un arc selon le niveau d'eau dans un réservoir, la pression à un nœud ou un instant précis donné. Ces commandes sont régulièrement vérifiées et exécutées au cours de la simulation.

b) *Objet Commande élaborée*

Une commande élaborée permet de déterminer l'état ou la consigne d'un arc basé sur une combinaison de conditions pour le pas de temps en cours.

III.5 Simulation EPANET et enregistrement des résultats :

Afin de préparer le modèle à une simulation EPANET, le programme écrit les données enregistrées dans le fichier d'entrée EPANET. Il écrit également une copie en format texte afin de s'assurer (au besoin) manuellement que les données ont été transcrites de façon fidèle. Une série de commandes dos est introduite pour lancer la simulation EPANET et sauvegarder les résultats de cette simulation dans un fichier texte. Le rapport sauvegardé est un rapport complet tel que spécifié dans le fichier d'entrée.

Le programme EPANET enregistre également la consommation journalière d'énergie et pour cela, il faut s'assurer d'avoir entré un coût d'énergie dans le fichier d'entrée.

III.6 Algorithme de la simulation par EPANET :

La méthode utilisée par EPANET pour calculer les équations de perte de charge et de conservation de masse, qui caractérisent l'état hydraulique du réseau à un instant donné, peut être décrite par le nom "approche hybride de nœud-circuit"(en anglais: hybrid node-loop approach). Todini et Pilati (1987) et plus tard Salgado et al. (1988) l'ont appelé la "Méthode du Gradient". (Gradient Method). Des approches similaires ont été décrites par Hamam et Brameller (1971) (the "Hybrid Method") et par Osiadacz (1987) (the "Newton Loop-Node Method"). [2]. [3]. [4]. [5]. [6].

La seule différence entre ces différentes méthodes est la manière dont les débits à travers les arcs sont mis à jour après que le logiciel a trouvé une nouvelle solution pour la charge aux nœuds. Comme l'approche de Todini est la plus simple, elle a été retenue pour être appliquée dans EPANET. [7]

III.7 La simulation hydraulique de réseau dans l'EPANET :

III.7.1 Les résultats obtenir :

Tableau 2 : des nœuds – arcs.

ID	Nœud	Nœud	Longueur	Diamètre
Arc	Initial	Final	M	mm
1	1	réservoir	111	180,8
2	2	1	186	144,6
3	2	3	107	99,4
4	5	1	170	285
5	4	5	355	180,8
6	2	4	25	113
7	6	1	300	361,8
8	7	6	125	285
9	2	7	357	126,6
10	8	7	270	126,6
11	3	8	242,5	126,6

Tableau 3 : Résultats aux nœuds.

ID	Demande	Charge	Pression
Nœud	M3H	M	Pression
1	0	101,89	21,89
2	0	102,34	39,94
3	0	102,16	45,56
4	0	102,15	45,35
5	0	101,9	22,9
6	0	101,89	39,89
7	0	101,9	41,9
8	0	102,04	53,24
Réservoir	0	101,3	2

Tableau 4 : Résultats aux arcs.

ID	Débit	Vitesse	P. Charge U.	État
Arc	M3H	m/s	m/km	
1	0	0	0	Ouvert
2	0,02	0	0	Ouvert
3	0,01	0	0	Ouvert
4	0,01	0	0	Ouvert
5	0,01	0	0	Ouvert
6	0,01	0	0	Ouvert
7	0,01	0	0	Ouvert
8	0,01	0	0	Ouvert
9	0,01	0	0	Ouvert
10	0,01	0	0	Ouvert
11	0,01	0	0	Ouvert

III.7.2 L'optimisation de réseau :

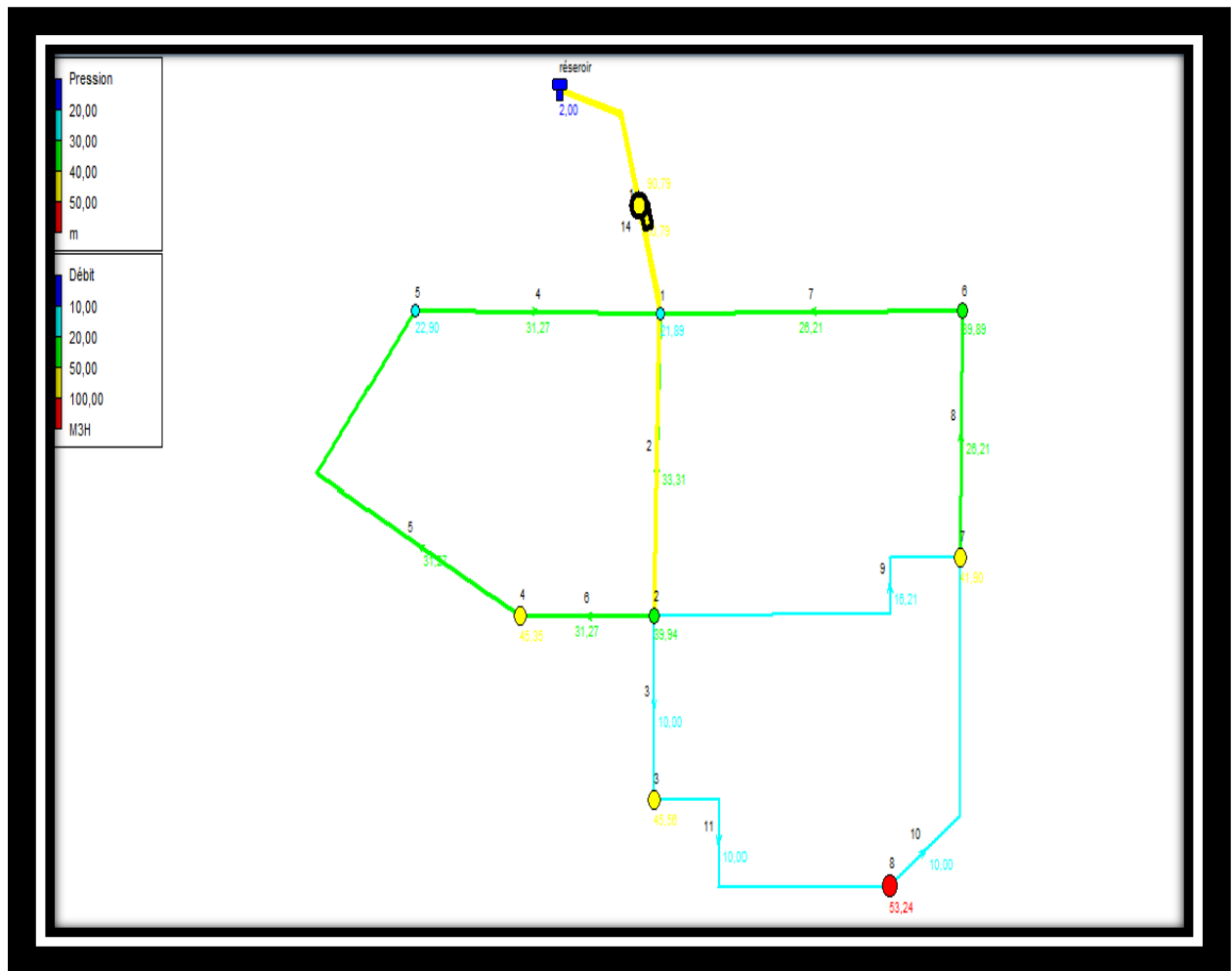


Fig. (III.3): L'optimisation de réseau.

Tableau 5 : Tableau des nœuds – arcs.

ID	Nœud	Nœud	Longueur	Diamètre
Arc	Initial	Final	M	mm
1	1	réservoir	111	180,8
2	2	1	186	144,6
3	2	3	107	99,4
4	5	1	170	285
5	4	5	355	180,8
6	2	4	25	113
7	6	1	300	361,8

8	7	6	125	285
9	2	7	357	126,6
10	8	7	270	126,6
11	3	8	242,5	126,6
14	réservoir	2	Sans Valeur	Sans Valeur Pompe

Tableau 6 : Consommation et coût d'énergie.

	Pourc	Rendem	kWh	P.Moyen.	P.Maxim	Coût
Pompe	Utilis	Moyen	/m3	kW	kW/jour	
14	100	75	0	0,34	0,34	0
					Prix Demande Maximale:	0
					Coût Total:	0

Tableau 7 : Résultats aux nœuds.

ID	Demande	Charge	Pression
Nœud	M3H	m	Pression
1	0	101,89	21,89
2	0	102,34	39,94
3	0	102,16	45,56
4	0	102,15	45,35
5	0	101,9	22,9
6	0	101,89	39,89
7	0	101,9	41,9
8	0	102,04	53,24
Réservoir	0	101,3	2

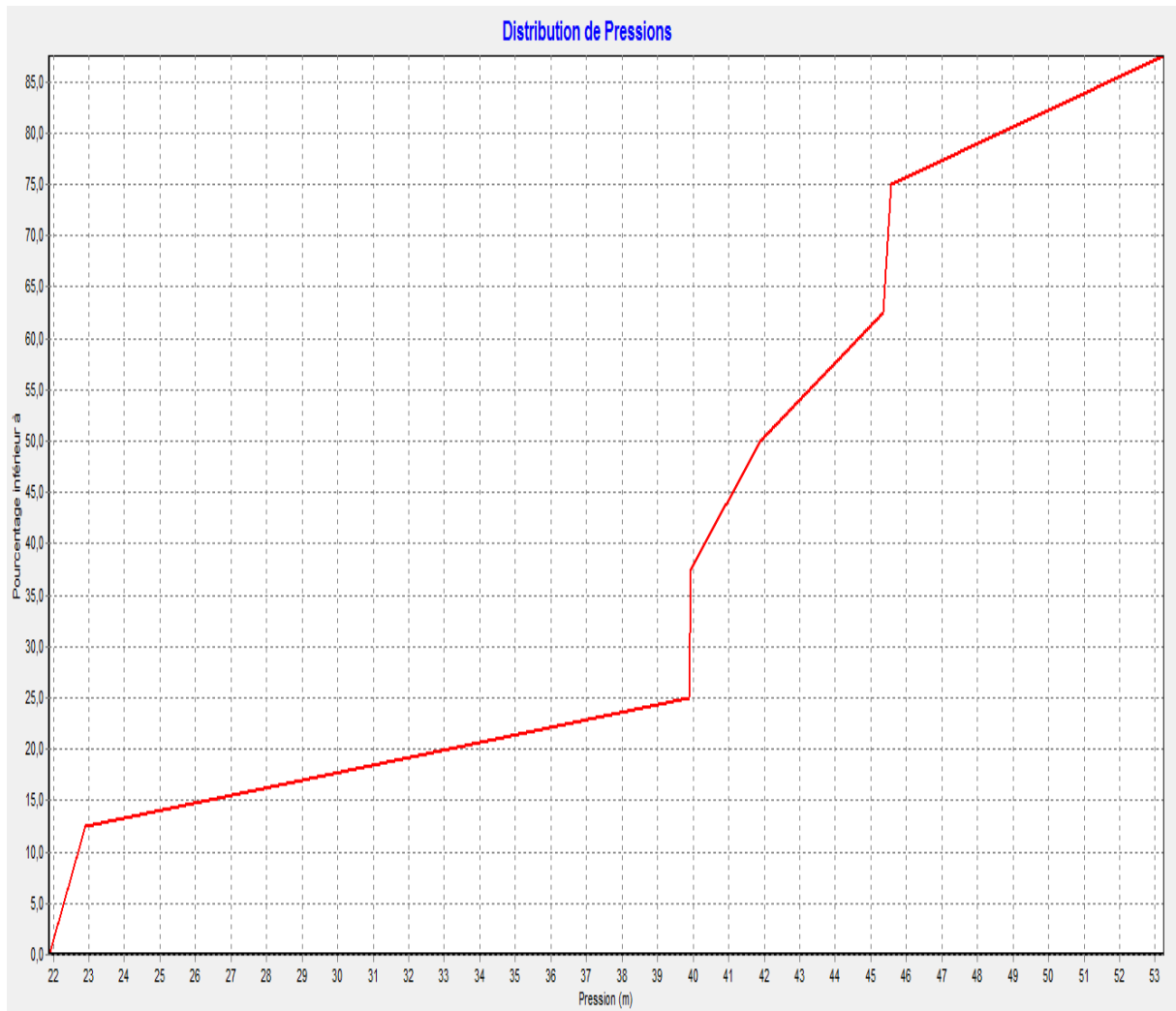


Fig. (III.3): distribution de pressions.

Tableau 8 : Résultats aux arcs.

ID	Débit	Vitesse	P. Charge U.	État
Arc	M3H	m/s	m/km	
1	90,79	0,98	5,29	Ouvert
2	33,31	0,56	2,44	Ouvert
3	10	0,36	1,68	Ouvert
4	31,27	0,14	0,08	Ouvert
5	31,27	0,34	0,71	Ouvert
6	31,27	0,87	7,45	Ouvert

7	26,21	0,07	0,02	Ouvert
8	26,21	0,11	0,06	Ouvert
9	16,21	0,36	1,23	Ouvert
10	10	0,22	0,51	Ouvert
11	10	0,22	0,51	Ouvert
14	90,79	0	1,04	Ouvert

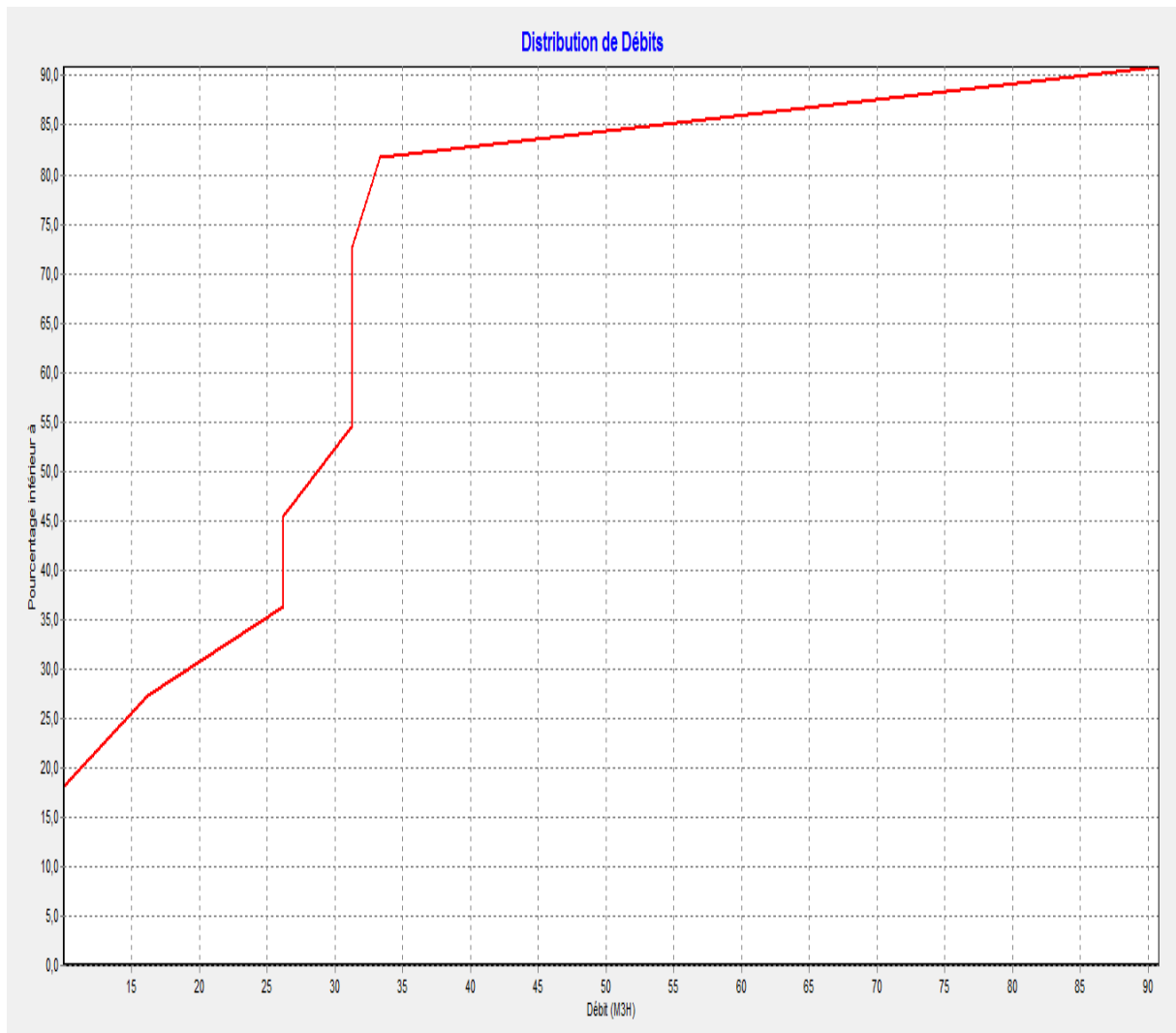


Fig. (III.4): *distribution de Débits.*

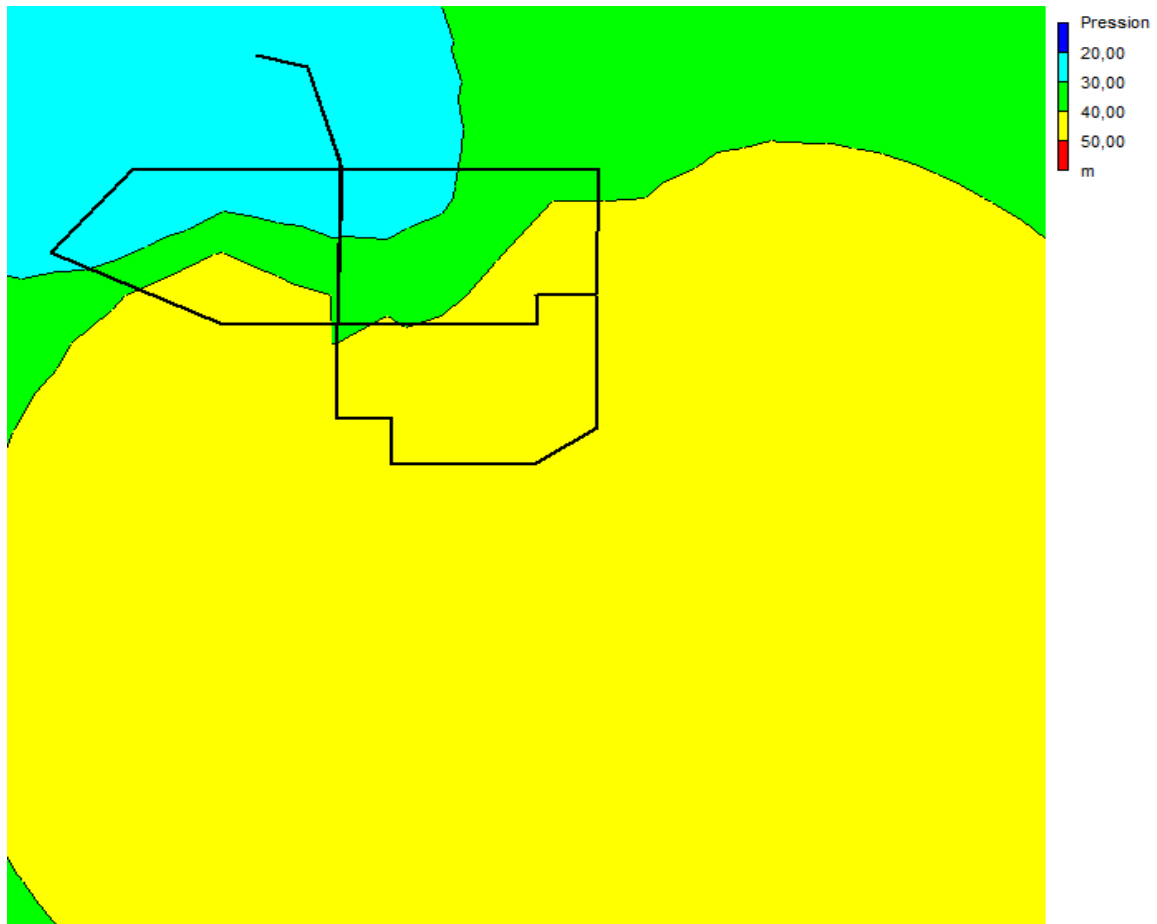


Fig. (III.5): profil longitudinal.

Conclusion :

Le présent travail traite la possibilité d'utiliser l'optimisation sous contrainte de référence .

Suite aux résultats obtenus il est à remarquer que : Les pressions et les débits obtenus se sont normalisés.

L'eau n'écoule pas dans le réseau et les pressions supposées avant la correction sont quasi identiques dans ce cas.

On utilisant une pompe comme un objet de correction pour obtenir des résultats acceptables .

CONCLUSION GENERAL

L'objectif du modèle d'optimisation est de concevoir, à un coût minimum, un système de distribution d'eau tout en vérifiant les contraintes physiques traduites par les lois de conservation d'énergie et de continuité aux nœuds, les contraintes hydrauliques relatives aux bornes de pressions nodales et de vitesses garantissant ainsi le respect des performances souhaité, et en fin, les contraintes commerciales exprimées par les gammes des prix des éléments composant le réseau. Afin d'atteindre cet objectif, trois taches complémentaires ont été fixées :

Elaboration d'un modèle de simulation des réseaux : Les essais numériques appliqués sur réseaux, en utilisant différents méthodes permettent de représenter le problème d'équilibrage des réseaux de distribution maillés. La méthode de linéarisation des pertes de charges a été incorporée afin de fournir une solution initiale proche de la solution finale, améliorant ainsi la convergence de la méthode. Basée sur les techniques de la programmation mathématique déterministe.

Pour une bonne exploitation et pour une amélioration des résultats, une investigation basée sur les algorithmes comme méthode d'optimisation, et sur une méthode d'optimisation déterministe (méthode mixte) pour l'évaluation des données initiale, est suggérée.

Recommandations pratiques : de par la structure des programmes, Le logiciel EPANET, constitue un support de base pour l'élaboration des solutions traitant les problèmes relatifs aux réseaux de distribution d'eau.

Bibliographie :

- [1]. BEN ISMAIL, R. et BEN RACHID, M. S. *Epidémiologie des leishmanioses en Tunisie. Maladies tropicales transmissibles* Ed AUPELF-UREE John Libbey Eurotext Paris, 1989, p. 73-80.
- [2]. LIU, Yuan, CANU, Stéphane, HONEINE, Paul, et al. *Une véritable approche ℓ_0 pour l'apprentissage de dictionnaire*. arXiv preprint arXiv:1709.05937, 2017.
- [3]. BELMIHOUB, Mohamed Cherif. *La complexité des biens publics, par opposition aux biens privés, et la nature des «marchés» dans lesquels s'opèrent les échanges et l'allocation*.
- [4]. BOIX, Marianne, MONTASTRUC, Ludovic, AZZARO-PANTEL, Catherine, et al. *Optimization methods applied to the design of eco-industrial parks: a literature review*. *Journal of Cleaner Production*, 2015, vol. 87, p. 303-317.
- [5]. GINHOUX, Romuald, GANGLOFF, Jacques, DE MATHELIN, Michel, et al. *Active filtering of physiological motion in robotized surgery using predictive control*. *IEEE Transactions on Robotics*, 2005, vol. 21, no 1, p. 67-79.
- [6]. BIERLAIRE, Michel. *Introduction à l'optimisation différentiable*. PPUR presses polytechniques, 2006.
- [7]. DESTUYNDER, Philippe. *Méthodes numériques pour l'ingénieur*. Hermès Science publications, 2010.
- [8]. LAHIOUEL, Yasmina, LAHIOUEL, Rachid, et AZARI, Zitouni. *Simulation pseudo-stationnaire des réseaux de distribution d'eau*. S03 *Ingénierie environnementale*, 2015.
- [9]. DE MARINIS, G., GARGANO, R., KAPELAN, Z., et al. *Risk-cost based decision support system for the rehabilitation of water distribution networks*. In : *Water Distribution Systems Analysis 2008*. 2008. p. 1-13.
- [10]. GÉLINEAU, Martine. *Détermination des lieux de transformation des sulfates dans le bassin versant du lac Laflamme (parc des Laurentides, Québec) à l'aide des isotopes stables du soufre et de l'oxygène*. 1987. Thèse de doctorat. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.

- [11]. MARTIN, Claude. *Planification, aménagement et gestion des ressources en eau: E. Plate et N. Buras, Scientific Procedures Applied to the Planning. Design and Management of Water Resources Systems. In : Annales de géographie. Société de géographie, 1987. p. 750-751.*
- [12]. SALGADO, Mario E., GOODWIN, Graham C., et MIDDLETON, Richard H. *Modified least squares algorithm incorporating exponential resetting and forgetting. International Journal of Control, 1988, vol. 47, no 2, p. 477-491.*
- [13]. HAMAM, Y. M. et BRAMELLER, A. *Hybrid method for the solution of piping networks. In : Proceedings of the Institution of Electrical Engineers. IET Digital Library, 1971. p. 1607-1612*
- [14]. OSIADACZ, Andrzej. *Simulation and analysis of gas networks. 1987.*
- [15]. TODINI, Ezio. *On the convergence properties of the different pipe network algorithms. In : Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006. 2008. p. 1-16.*
- [16]. A. BEDJAOUI, B. ACHOUR *Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS Université de Biskra, BP 145 RP, 07000, Biskra, Algérie(2014).*