

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département Recherche Opérationnelle



Mémoire fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme Master eu Mathématiques Appliquées
Option : Modélisation Mathématique et Techniques de Décision

Thème

Analyse multicritère de la gestion d'un réseau d'AEP (Alimentation en Eau Potable)



Réalisé par :

M^{lle} CHIKER Kaïssa & M^{lle} BOUZIDA Fatiha

<u>Président du jury :</u>	M ^r N. KHIMOUM	M.A.A	Université de Bejaïa.
<u>Promoteur :</u>	M ^r D. AISSANI	Professeur	Université de Bejaïa.
	M ^{me} O. LEKADIR	M.C.A	Université de Bejaïa.
<u>Examineurs</u>	M ^{me} N. HALIMI	M.A.A	Université de Bejaïa.
	M ^{me} A. TOUCHE	M.A.A	Université de Bejaïa.

Année : 2015/2016

Remerciements

Nous tenons à remercier Pr AISSANI et Madame LEKADIR pour avoir dirigé ce travail.

Que Monsieur KHENTACHE de l'ADE, trouve ici l'expression de nos sincères reconnaissances pour tous ce qu'il a donné pour l'aboutissement de ce travail.

Nous remercions respectueusement Mr N.Khimoume pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider ce jury, d'autre part nous sommes reconnaissantes à *M^{me}N.Halimi* et à *M^{me}A.Touche* pour avoir accepté de y siéger.

Enfin nous remercions Samir, Yakoub, Naouel, Khalida , pour leur aide et leurs conseils, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon très cher frère MOKHTAR,
que dieu l'accueille dans ce vaste paradis.

À la mémoire de mon cher Djeddi,

À ma grand-mère yemma lili,

À mes chers parents,

À mes chers frères : Fatch, Ouali et yanis,

À ma sœur Djouja, son mari, et ses filles Dylia et Tania,

À toute ma famille,

À tous mes amis.

FATIHA

Dédicace

À la mémoire de mes grands-parents,
À ma famille,
À mon fiancé, et à ma belle-famille,
À tous mes amis,
Je dédie ce travail.

KAISSA

Table des matières

Table des matières	i
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vii
Introduction générale	1
1 Présentation de l’ADE de Béjaia	3
1.1 Présentation de l’ADE de Béjaia	3
1.1.1 Définition et création	3
1.1.2 Mission principale	3
1.1.3 Les objectifs de l’ADE	4
1.1.4 Les activités	4
1.1.5 Infrastructures hydrauliques	5
1.1.6 L’organigramme de l’Unité de Béjaia	5
1.1.7 Conclusion	6
2 Notions générales sur les réseaux d’AEP	7
2.1 Quelques rappels sur les réseaux d’AEP	7
2.1.1 Description d’un réseau d’AEP	7
2.1.2 Ressource	8
2.1.3 Production–Adduction	8
2.1.3.1 La station de pompage	8
2.1.3.2 Le dispositif d’adduction	9

2.1.4	Le traitement	9
2.1.5	Le stockage	9
2.1.6	Le réseau de distribution	10
2.1.6.1	Définition	10
2.1.6.2	Topologie du réseau AEP	10
2.1.6.2.1	Les réseaux ramifiés	11
2.1.6.2.2	Les réseaux maillés	11
2.1.6.3	Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable	11
2.1.7	Problèmes rencontrés dans un réseau d'AEP	14
2.2	Défaillances	15
2.2.1	Définition	15
2.2.2	Les différents types de défaillances	15
2.2.2.1	Les fuites	15
2.2.2.2	Les pertes	16
2.2.2.3	Dégradation de la qualité de l'eau	17
2.2.2.4	Les interruptions	17
2.2.2.5	Les plaintes des consommateurs	17
2.3	Durée de vie et défaillance	18
2.4	Fonctions utilisées en analyse de survie et prévision des défaillances	18
2.4.1	Fiabilité	18
2.4.2	Taux de défaillance	18
2.5	Diagnostic	19
2.5.1	Méthodologie de diagnostic	19
2.5.2	Phase enquête et recueil de données	19
2.5.3	Phase analyse de données	20
2.5.4	Analyse et détermination des paramètres du diagnostic	20
2.5.5	Estimation des coûts	20
2.6	Entretien des réseaux d'AEP	20
2.6.1	Entretien des réservoirs	20
2.6.2	Entretien des adductions et du réseau de distribution	21
2.6.2.1	Méthode de recherche à grande échelle	22
2.6.3	Recherche et réparation des fuites	24

2.6.4	Dispositions et moyens d'intervention	24
2.6.4.1	Moyens humains	24
2.6.4.2	Moyens matériels	25
2.7	Réhabilitation	25
2.7.1	Définition	25
2.7.2	Les différentes techniques de réhabilitation	25
2.7.2.1	Les revêtements internes au mortier-ciment	25
3	Méthodes d'optimisation multicritère	28
3.1	Introduction	28
3.2	Les méthodes d'optimisation multicritère	28
3.2.1	La théorie de l'utilité multi-attribut	28
3.2.2	Les méthodes de surclassement	29
3.2.3	Les méthodes interactives	29
3.3	Concepts de base d'un problème multicritère	30
3.3.1	Action et ensemble des actions potentielles	30
3.3.2	Critères et famille cohérente de critères	31
3.3.3	Poids des critères	31
3.3.4	La problématique d'aide à la décision	31
3.3.5	Les résultats	32
3.4	Formulation mathématique d'un problème de décision multicritère	32
3.5	Les méthodes ELECTRE	33
3.5.1	La méthode ELECTRE I	34
3.5.2	ELECTRE II	35
3.5.3	ELECTRE III	36
3.6	ELECTRE-Tri	37
3.6.1	Evaluation des indices de concordance	38
3.6.2	Calcul de l'indice de concordance global	38
3.6.3	Calcul de l'indice de discordance	38
3.6.4	Calcul de l'indice de crédibilité et définition de la relation de sur-classement floue	39
3.7	Conclusion	40

4	Modélisation et optimisation par la méthode ELECTRE TRI	41
4.1	Définition des actions	41
4.2	L'ensemble des actions potentielles	41
4.3	Les critères	42
4.4	Définition des actions de référence	42
4.5	Modélisation des critères	43
4.5.1	Modélisation de la fiabilité des tronçons	43
4.5.2	Modélisation du premier critère	43
4.5.3	Modélisation du deuxième critère	44
4.5.4	Modélisation du troisième critère	44
4.5.5	Modélisation du quatrième critère	44
4.5.6	Modélisation du cinquième critère	45
4.5.7	Modélisation du sixième critère	45
4.5.8	Modélisation du septième critère	45
4.6	Optimisation selon ELECTRE TRI	47
5	Optimisation de la gestion du réseau de Sidi Ahmed	48
5.1	Description du logiciel utilisé	48
5.2	Acquisition des données	48
5.3	Application au cas du réseau de sidi ahmed	49
5.3.1	Obtention des actions	49
5.3.2	Matrice de préférences (performances)	50
5.4	Paramètres de la méthode	52
5.5	Les étapes de l'application	53
5.5.1	Analyse de robustesse	61
5.5.1.1	Généralité	61
5.5.1.2	Les paramètres à tester dans l'étude de robustesse sont :	62
5.5.1.3	Niveau de coupe λ	62
5.5.1.4	Le seuil d'indéférence q et le seuil de préférence p	62
5.5.1.5	Le seuil de veto	63
5.5.1.6	Conclusion	63

Liste des tableaux

3.1	Problématiques de référence	32
3.2	Éléments constitutifs d'un problème multicritère	32
5.1	Valeurs des fonctions objectifs	51
5.2	Résultat des affectations Pessimistes et Optimistes des actions aux 3 catégories .	60

Table des figures

1.1	Organigramme du siège de l'unité.	6
2.1	Le processus de production et distribution de l'eau.	8
2.2	Réseau de distribution d'eau potable de la ville de Bejaia.	10
2.3	Représentation schématique d'un réseau d'alimentation en eau potable	11
2.4	poteau d'incendie	14
2.5	Evolution du taux de défaillance	19
3.1	Approches opérationnelles et méthodes	29
3.2	Illustration de la problématique de tri	37
3.3	Détermination de l'indice de concordance	38
3.4	Détermination de l'indice de discordance	39
4.1	Procédure d'optimisation par ELECTRE TRI	47
5.1	Sous réseau de Sidi Ahmed	50
5.2	Interface d'accueil	53
5.3	Seuil de coupe	53
5.4	Introduction des données	54
5.5	Définition des actions de référence	54
5.6	Performance des actions de référence	55
5.7	Seuil des actions de référence	55
5.8	Les catégories	56
5.9	Définition des actions	56
5.10	Les performances des actions	57

5.11 Statistiques de l'affectation	60
--	----

Introduction générale

L'âge et l'état actuel des réseaux d'AEP à la willaya de Béjaia laissent présager dans un avenir proche une nette augmentation des défaillances et risquent d'engendrer un surcoût économique lié à la nécessité de renouveler les conduites dégradées, ainsi, il convient dès maintenant de bien connaître le vieillissement des canalisations. Une étude menant à bien connaître l'état des conduites d'un réseaux d'AEP et leurs capacités d'assurer ou non sa fonction, s'impose.

Par ailleurs, une bonne gestion d'un réseau AEP suggère un plan de maintenance adéquat des conduites de ce réseau avec la possibilité d'application de différentes méthodes d'optimisation. Les objectifs de la gestion des réseaux AEP sont multiples, à savoir : éviter les ruptures des services, assurer la qualité des services rendus, tout en maîtrisant les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance. La prise de décision en matière de gestion des réseaux AEP est sensible à ces différents objectifs recherchés. Un outil interactif d'aide à la décision qui nous permettra d'avoir une vision stratégique sur les actions de maintenances et la mise en place des opérations d'intervention pour garantir un service satisfaisant et un coût minimal acceptable sera construit de manière à exploiter les méthodes d'analyse multicritères.

Dans ce mémoire, on a fait appel donc à ces méthodes, plus particulièrement à l'une des méthodes ELECTRE permettant de classer les conduites d'un réseau AEP en catégories descendantes selon les préférences du décideur. A partir du classement obtenu, le plan de maintenance sera établi. Notre objectif est d'obtenir cette classification pour l'un des réseaux AEP de la ville de Béjaia. Pour ce faire, on a réparti notre mémoire en cinq chapitres : le premier est consacré à la présentation de l'entreprise où nous avons effectué notre stage, à savoir l'Algérienne Des Eaux, unité de Béjaia.

Le deuxième chapitre, présente en premier lieu, un rappel général sur les réseaux d'AEP, avec un détail du réseau de distribution car c'est sur ce dernier que va porter essentiellement notre étude. En second lieu, un récapitulatif des différents problèmes de défaillance pouvant se manifester dans un réseau de distribution, le diagnostic et les techniques de réhabilitation des conduites y seront présentés. A la fin de ce deuxième chapitre, la présentation de la problématique traitée sera exposée.

L'objet du troisième chapitre, est de donner un aperçu sur les méthodes ELECTRE et de détailler la méthode retenue pour l'optimisation .

Dans le quatrième, nous formulons le problème posé et nous donnons la modélisation mathématique ainsi que sa réalisation par la méthode ELECTRE TRI.

La présentation du logiciel utilisé pour l'obtention d'une solution optimale, suivie d'une exécution sur un cas pratique (réseau de Sidi-Ahmed), fait l'objet du dernier chapitre. Enfin, ce mémoire sera clôturé par une bibliographie et deux annexes [3].

une

Présentation de l'ADE de Béjaia

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter l'entreprise, ses missions, ses objectifs principaux et ses différents départements.

1.1 Présentation de l'ADE de Béjaia

1.1.1 Définition et création

Définition

ADE-Béjaia : Algérienne Des Eaux-Béjaia

Création

Le 01 Août 2006 et conformément au décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001, l'EPDEMIYA devient l'Algérienne des Eaux, une Entreprise Publique à Caractère industriel et commercial, jouissant d'une autonomie financière et dotée d'une personnalité morale. L'ADE est placée sous la tutelle du Ministère des Ressources en Eaux.

1.1.2 Mission principale

La mission principale de l'Algérienne des Eaux est la production et la distribution de l'eau potable en effectuant les opérations suivantes :

-
- La maintenance des réseaux de distribution de l'eau ;
 - L'introduction de toutes techniques de préservation de l'eau ;
 - La lutte contre le gaspillage et les branchements illicites en développant des actions d'information, de formation et de sensibilisation ;
 - Planifier et mettre en œuvre le programme annuel et pluriannuel d'investissement ;
 - L'alimentation en eau potable des ménages, des services et de l'industrie ;
 - Préserver la santé publique en respectant les normes de la qualité de l'eau.

1.1.3 Les objectifs de l'ADE

L'établissement est chargé dans le cadre de la politique nationale de développement d'assurer sur tout le territoire national, la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable à travers la prise en charge de la gestion des services des eaux des communes, des opérations de productions, d'acheminement, de traitement, de stockage, d'adduction, d'approvisionnement en eau potable ainsi que la maintenance et le développement des ouvrages et infrastructures y afférentes.

1.1.4 Les activités

La production de l'ADE pour l'année 2015 était de **11040 m³**, elle alimente plus de **131 979 abonnés**.

Les sources de production

Les principales sources de production sont :

champs de captage : Oued Djemâa et Oued Zitouna ;

champs de captage Oued Agrioune ;

source de Toudja ;

source de Ainsar Azegza (Kherata) ;

Barage de Tichy Haf, (**82 millions m³**).

L'ADE a déployé **377 Km** comme réseaux de canalisation de production et **674 Km** comme réseaux de distribution. Pour assurer une bonne qualité d'eau conformément aux normes de

potabilité, l'ADE effectue des tests de chlore quotidiennement et des analyses bactériologiques sont assurées régulièrement par les services de la santé. Pour l'année 2015, le nombre de tests de chlore a atteint **27 711**, avec **1 783** analyses bactériologiques, selon les services concernés aucun cas de pollution n'a été remarqué.

1.1.5 Infrastructures hydrauliques

L'ADE compte en sa possession :

72 forages ;

35 sources ;

1 station de traitement ;

92 stations de pompage ;

306 réservoirs ;

62 GEP immergés ;

108 GEP horizontaux.

1.1.6 L'organigramme de l'Unité de Béjaia

L'Unité siège se compose de 05 assistants, 02 chefs de cellules, 01 contrôleur de gestion, 06 départements, 01 chef de laboratoire et 17 services. Au niveau des centres, nous comptons 05 centres de distribution, 06 secteurs et 03 échelons.

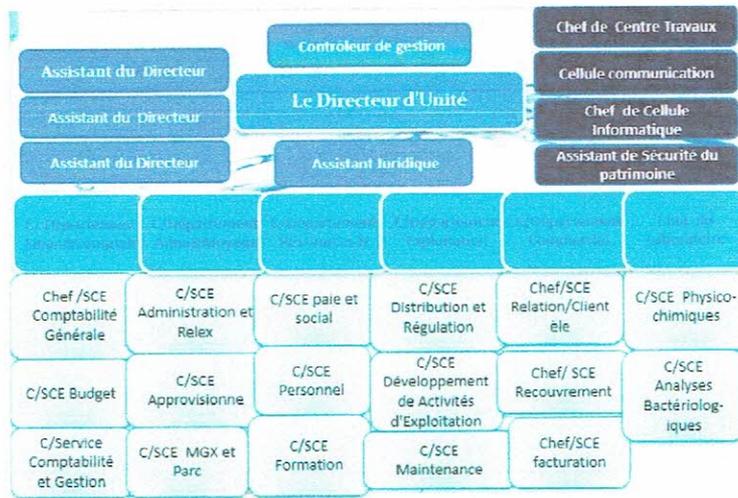


FIGURE 1.1 – Organigramme du siège de l'unité.

1.1.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement l'unité ADE-Béjaia, le détail des réseaux de canalisation fera l'objet du chapitre suivant.

Notions générales sur les réseaux d'AEP

Introduction

Dans ce chapitre nous allons décrire, dans sa première partie un réseau d'alimentation en eau potable ainsi que les différents problèmes pouvant survenir dans un tel réseau. Le détail de ces problèmes est illustré dans la deuxième partie .

Partiel

2.1 Quelques rappels sur les réseaux d'AEP

Le distributeur d'eau potable a pour objectif de couvrir les besoins des abonnés, en quantité suffisante et en qualité recommandée. Aussi, il a le souci de veiller à la bonne gestion et à la perfection de toutes les infrastructures concourant l'approvisionnement en eau.

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

2.1.1 Description d'un réseau d'AEP

Nous distinguons plusieurs étapes dans le processus de production et de d'acheminement de l'eau. La première étape est l'étape de Captage, qui consiste à recueillir les eaux souterraines ou de surfaces, vient ensuite l'étape d'Adduction qui permet de transférer l'eau de la zone de captage jusqu'à la proximité de la zone de distribution. Avant d'être distribuée l'eau doit subir

des traitements ce qui permet de transformer l'eau brute en eau potable.

L'eau est ensuite acheminée vers les zones de stockage afin de réguler le débit dans le réseau et prévenir une pénurie en cas de défaillance ou d'une forte demande. L'eau est distribuée à travers le réseau d'alimentation d'eau potable aux usagers.[6]

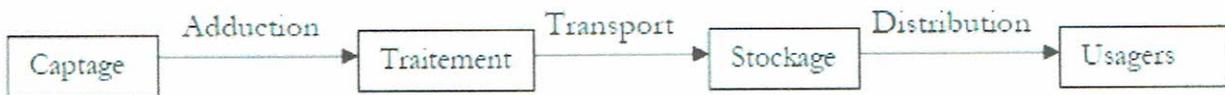


FIGURE 2.1 – Le processus de production et distribution de l'eau.

Avant de détailler le réseau de distribution, sur lequel va porter notre étude, nous allons d'abord décrire brièvement les autres structures :

2.1.2 Ressource

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

2.1.3 Production–Adduction

Cette structure est un ensemble constitué d'une station de pompage et d'un dispositif d'adduction (conduite et accessoires).

2.1.3.1 La station de pompage

C'est le dispositif de production. Sa capacité est fonction du ou des réservoirs de stockage. Elle est constituée des ouvrages et des équipements suivants [1] :

- bêche d'aspiration ;
- chambre de télé-contrôle et d'automatisation ;
- groupes 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.

2.1.3.2 Le dispositif d'adduction

La conduite d'adduction relie la prise d'eau au réservoir de stockage. C'est une conduite d'un gros diamètre car elle est destinée à transporter un débit très important.

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

- Ventouses aux points hauts du tracé pour l'évacuation d'air.
- Vidanges aux points bas du tracé.
- Brises charge pour éviter la surpression et la sous-pression dans la conduite.

2.1.4 Le traitement

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

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

2.1.5 Le stockage

Le réservoir de stockage est un bassin qui se remplit au cours des faibles consommations et qui se vide pendant les périodes de fortes consommations journalières. Pour l'emplacement d'un réservoir, selon que l'agglomération est située en plaine ou en terrain accidenté, il peut être soit enterré, soit semi-enterré, soit surélevé.

Il présente des utilités technique et économique par les fonctions qu'il remplit, sa capacité dépend du mode d'exploitation des ouvrages de la partie amont et de la variabilité de la demande [5, 9].

2.1.6 Le réseau de distribution

2.1.6.1 Définition

Du réservoir de stockage sort une conduite principale de gros diamètre. Celle-ci, en se prolongeant le long des rues de l'agglomération forme un ensemble de conduites maîtresses. Sur chacune de ces dernières, sont branchées des conduites de diamètres moindres dites conduites secondaires.

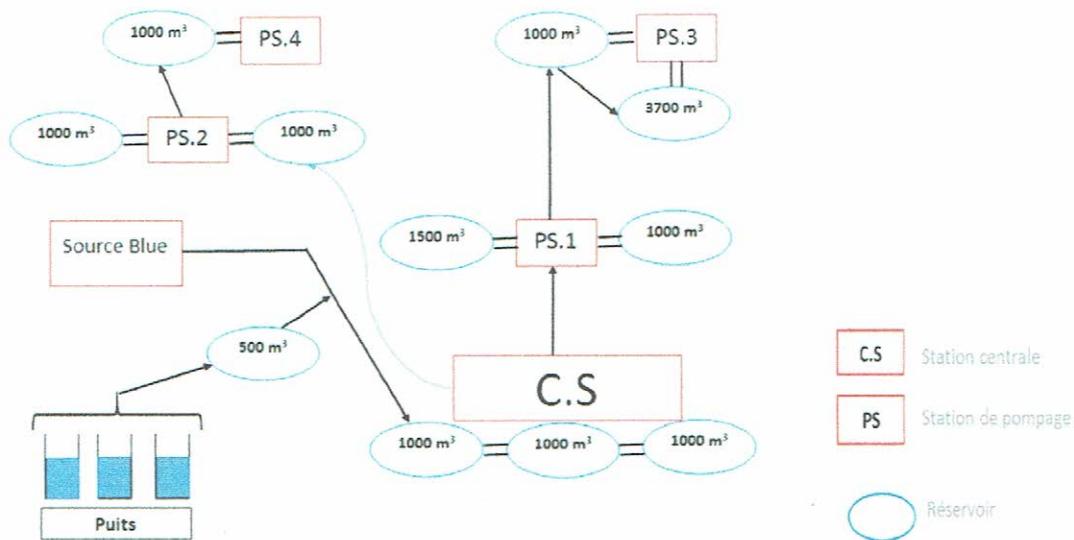


FIGURE 2.2 – Réseau de distribution d'eau potable de la ville de Bejaia.

L'ensemble de toutes ces différentes canalisations avec l'ensemble des équipements qui les accompagnent forment le réseau de distribution. C'est l'infrastructure la plus importante du réseau global, car il s'étend sur toute la surface de l'agglomération.

2.1.6.2 Topologie du réseau AEP

La topologie du réseau est la représentation schématique des différents noeuds d'un réseau et de leurs liaisons physiques (conduites, pompes, vannes). La disposition des noeuds et des conduites dépend de la localisation des abonnés, présence de routes, obstacles naturels, présence d'autres réseaux. En terme de topologie, nous distinguons :

2.1.6.2.1 Les réseaux ramifiés

Ce type de réseau se présente selon une structure arborescente à partir du noeud à charge fixée, assurant la mise sous pression. Cette configuration est justifiée par la dispersion des abonnés. Cependant, ce type de topologie réduit la fiabilité du réseau dans le cas d'une rupture d'une conduite, privant en eau les utilisateurs en aval du point de rupture. Elle caractérise généralement les réseaux de distribution d'eau en milieu rural.

2.1.6.2.2 Les réseaux maillés

Comportant un certain nombre d'antennes en boucle et pouvant assurer la distribution en eau, cette configuration caractérise les réseaux de distribution d'eau en milieu urbain où il existe une concentration des abonnés. La présence de boucle ou de maille réduit les risques de coupure en cas de rupture de conduites, car assurant une redondance dans l'acheminement de l'eau et limitant l'impact d'une rupture sur la desserte en eau. Dans la réalité les deux configurations coexistent dans un même réseau. En milieu rurale, le réseau sera formé par plus d'antenne et ramifications, alors qu'en milieu urbain on constatera plus de mailles.

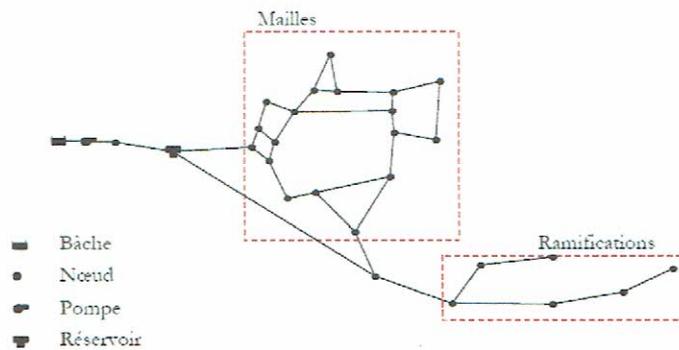


FIGURE 2.3 – Représentation schématique d'un réseau d'alimentation en eau potable

2.1.6.3 Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable

Les conduites

Les conduites permettent l'acheminement de l'eau d'un point à un autre point du réseau. Une conduite est un segment de tuyau ou canalisation délimitée par deux points de consommation d'eau appelés noeuds.

Nous distinguons entre les conduites en fonction de leur rôle dans le réseau et la nature du matériau les constituants. Le transport de l'eau vers les zones de stockage nécessite des conduites de diamètre important (300-800 mm). Pour la distribution, les conduites sont de diamètres inférieurs (80-250 mm) et enfin les branchements qui sont de plus faible diamètre (40-60 mm) qui permettent d'acheminer l'eau jusqu'au abonnés à partir des conduites de distribution. Une autre distinction peut être effectuée en se basant sur la nature du matériau constituant la conduite, plusieurs conduites sont disponibles présentant des caractéristiques physiques et mécaniques distinctes.

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.

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 types principaux 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.).

Les vannes

Certaines conduites de longueur fictive comportent des vannes qui permettent de limiter la pression ou le débit en des points précis du réseau. Les vannes sont caractérisées par :

- les noeuds d'entrée et de sortie,
- le diamètre,
- la consigne de fonctionnement et l'état de la vanne,
- coefficient de perte de charge singulière.

Une vanne peut être ouverte ou fermée, le fonctionnement de la vanne est fonction de consignes relatives à un noeud indexé généralement en rapport avec la pression.

Il existe plusieurs types de vannes qui satisfont à des besoins variés :

- Les vannes d'isolement,
- Les vannes à clapets de non-retour,
- Les vannes de réduction de pression .

Les ventouses

Les ventouses sont des organes de protection du réseau. Elles permettent de chasser l'air des canalisations autant lors de la mise en service qu'en exploitation. Celles-ci devront être dimensionnées en fonction du diamètre de la canalisation, de la pression de service (en liaison avec le débit d'air à évacuer) .

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[5, 9].

Les poteaux d'incendie(PI)

Par définition, il ressemble à un poteau qui sort du sol sur une hauteur de 700 à 800 mm équipé ou non d'un coffre. Ces PI sont toujours alimentés et prêts à entrer en action sur ouverture de la vanne associée au PI. Ils permettent de fournir aux pompiers l'eau dont ils ont besoin pour combattre les incendies[6].



FIGURE 2.4 – poteau d'incendie

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[6, 9].

2.1.7 Problèmes rencontrés dans un réseau d'AEP

Un réseau d'AEP peut être confronté à des problèmes de différentes origines, on cite :

- Les fuites et casses sur les conduites et leurs accessoires ;
- Les erreurs de compteurs ;
- Les problèmes environnementaux ;
- Pénétration de contaminants ;
- Chute de pression ;
- Les interruptions.

A ces problèmes s'ajoutent des problèmes de gestion du réseau :

- 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.

Partie2

Défaillances et réhabilitation

Dans cette partie, nous allons d'abord décrire les différentes défaillances susceptible de se manifester dans un réseau d'AEP, leurs cause et leurs effets. Elle portera aussi le diagnostic et l'entretien de ces réseaux. Enfin, elle aura pour objet l'illustration des différentes techniques de réhabilitation des conduites d'eau potable.

2.2 Défaillances

2.2.1 Définition

On appelle défaillance toute détérioration pouvant provoquer ou accentuer le risque de dysfonctionnement du réseau (ou de l'un de ses éléments), ou la diminution de son rendement. Elles peuvent indirectement déstabiliser la conduite en érodant le lit de pose, d'où rupture au niveau des points fragile du tuyau[6].

2.2.2 Les différents types de défaillances

2.2.2.1 Les fuites

Dues à la détérioration des joints ou à la corrosion des tuyaux. Une forte augmentation de leur nombre peut avoir une incidence directe sur le réseau et diminuer le rendement. Elles peuvent indirectement déstabiliser la conduite en érodant le lit de pose, d'où rupture au niveau des points fragiles du tuyau.

Causes des fuites

Ruptures dues à l'action combinée de la corrosion sur la conduite et de mouvements de sols (vibrations, séismes, travaux divers). Une rupture peut entraîner une intervention sur le réseau de plusieurs heures, pendant laquelle les abonnés sont éventuellement privés d'eau ou subissent une chute de pression.

Chacune de ces détériorations engendre, outre certains dommages que nous verrons dans le paragraphe suivant :

- Des pertes d'eau, d'où augmentation de la production ;
- Des pertes en énergie (augmentation du temps de pompage),
- Des interventions sur le réseau.

2.2.2.2 Les pertes

Dans un réseau, on distingue deux types de pertes et leurs causes sont diverses :

Les pertes techniques elles sont dues :

- Au débordement des réservoirs dues soit mauvais fonctionnement du flotteur ou de la vanne de vidange ;
- Aux fuites sur conduites et branchements particuliers engendrées par les casses et leurs différentes causes ;
- Aux fuites sur robinets, vannes et colliers dues à un mauvais serrage des joints, des presses étoupes des vannes et des colliers de prise.

Les pertes administratives ce sont les eaux consommées mais non comptabilisées. On citera :

- La consommation des organismes publics ;
- La défectuosité ou l'insensibilité des compteurs ;
- Absence de compteurs chez les abonnés ;
- Pertes par branchements illicites.

Les casses (ruptures)

Une rupture ou une casse est définie comme étant une détérioration induisant un arrêt momentané de l'alimentation en eau et qui nécessite une intervention sur le réseau[4].

Les causes des ruptures :

- Mouvement du sol ;
- Coup de bélier ;
- Travaux de chantier ;
- Trafic routier intense ;
- Conditions de pose ;
- Etc.

Les effets des ruptures

- Fuites et leurs conséquences ;
- Risque d'introduction d'eau polluée ;
- Interruption de l'alimentation en eau des abonnés.

2.2.2.3 Dégradation de la qualité de l'eau

De la source jusqu'à son arrivée aux usagers, l'eau peut subir de très nombreuses modifications de sa qualité intrinsèque. Une bonne connaissance des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'eau dans le réseau est indispensable pour les services d'exploitation afin d'anticiper et d'éviter des problèmes potentiels tels que les risques sanitaires[7].

2.2.2.4 Les interruptions

Une interruption est un arrêt momentané de l'alimentation en eau dans la durée réservée à la distribution. Cet arrêt dû soit au dysfonctionnement de quelques ouvrages hydrauliques (pompe, réservoir ...etc.), soit à une réparation d'une fuite, soit à une action ayant pour but d'éviter un danger qui menace la population (inondation, dégradation de la qualité de l'eau), soit à un sabotage sur le réseau.

2.2.2.5 Les plaintes des consommateurs

Les plaintes des usagers ne sont en réalité que les conséquences des différentes défaillances qui surviennent sur le réseau. Elles sont dues à la non satisfaction vis-à-vis de la qualité de service. Le plus souvent, on enregistre des plaintes sur le manque de pression, sur la qualité de l'eau et les interruptions fréquentes d'alimentation en eau.

2.3 Durée de vie et défaillance

La durée de vie d'une entité correspond au temps écoulé pendant lequel cette entité assure le service sans aucune anomalie. Au bout de ce temps, le système cesse de satisfaire aux conditions d'utilisation, cette transition correspond à la défaillance[11].

2.4 Fonctions utilisées en analyse de survie et prévision des défaillances

2.4.1 Fiabilité

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné. la fonction fiabilité est donnée par la formule suivante : $S(t) = P(T \geq t)$. [11] On définit également la fonction de défaillance qui donne la probabilité pour que l'entité ou le système soit en panne avant l'instant t . la fonction de défaillance est donnée par la formule suivante : $F(t) = P(T < t) = 1 - S(t)$. [11]

2.4.2 Taux de défaillance

Les conduites d'eau potable connaissent plusieurs défaillances avant leur renouvellement. λ et la MTBF sont les deux principaux indicateurs de la fiabilité utilisés industriellement.

Définition : λ représente le taux de défaillance ou le taux d'avarie. Il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps. Pour une période de travail donnée, durée totale en service actif :

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillances pendant le service}}{\text{Durée total de bon fonctionnement}}$$

La norme AFNOR définit le taux de défaillance de la manière suivante : « limite, si elle existe, du quotient de la probabilité conditionnelle pour que l'instant t d'une défaillance d'une entité soit compris dans un intervalle de temps donné $[t, t + dt]$ par la durée dt de l'intervalle de temps, lorsque (dt) tend vers zéro, sachant que l'entité n'a pas été défaillante entre 0 et t » [11].

$$h(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{t \leq T < t + dt}{dt}$$

L'allure de $h(t)$ peut être une courbe en baignoire, où l'on distingue trois périodes :

-
- $h(t)$ décroissante (1) : période de jeunesse.
 $h(t)$ constante (2) : période de vie utile.
 $h(t)$ croissante (3) : période de vieillesse[20].

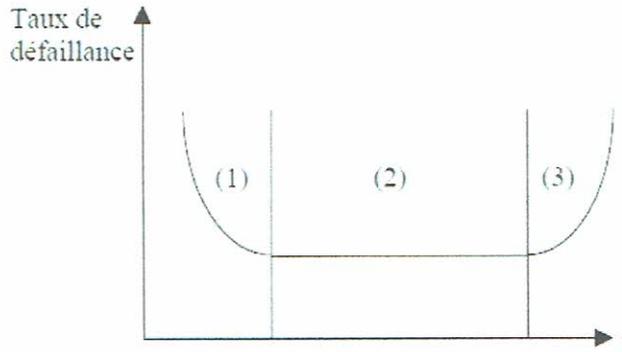


FIGURE 2.5 – Evolution du taux de défaillance

La fonction $h(t)$ rend compte de l'évolution du risque de défaillance au cours du temps et reflète donc le vieillissement des entités. En d'autres termes si les entités sont sujettes à un vieillissement $h(t)$ sera croissante. Si la défaillance est accidentelle $h(t)$ sera constante.

2.5 Diagnostic

Le diagnostic permet d'apprécier l'état qualitatif des ouvrages et d'en déduire les opérations d'entretien ou de maintenance à effectuer[20].

2.5.1 Méthodologie de diagnostic

La méthodologie de diagnostique s'établit en quatre phases :

2.5.2 Phase enquête et recueil de données

Elle consiste à :

- Réaliser une analyse fonctionnelle des composants du réseau ;
- Réaliser une analyse systématique des défaillances pour chaque élément maintenu ;
- Etablir des fiches d'interventions ;

-
- Constituer une base de donnée historique des évènements ;
 - Projections futures.

2.5.3 Phase analyse de données

Dans cette phase, on procède au traitement des données brutes à l'aide de la mise en oeuvre d'une politique de maintenance optimisée.

- Le traitement des données : il a pour objectif de déterminer le taux de défaillance et la fiabilité par application de modèles mathématiques. Il permet aussi de déterminer les coûts pour les différents types de maintenance.
- L'aide à la mise en oeuvre d'une politique de maintenance optimisée : elle permet de mesurer l'efficacité des actions décidées, les écarts entre la prévision et les résultats, d'aider et de guider l'exploitant vers la maintenance la mieux adaptée.

2.5.4 Analyse et détermination des paramètres du diagnostic

Cette phase permet de choisir le personnel et le matériel nécessaire pour les différents types de maintenance. Pour cela, on utilise les résultats obtenus par la phase précédente.

2.5.5 Estimation des coûts

Cette phase consiste à faire l'estimation des dépenses nécessaire pour l'application d'un type de contrôle. La recherche d'une optimisation du coût global et la meilleure valorisation du patrimoine conduisent à trouver un équilibre entre les ouvrages neufs et les travaux de conservation[19].

2.6 Entretien des réseaux d'AEP

L'entretien du système de distribution d'eau vise plusieurs objectifs comme le maintien d'un service fiable, d'une eau de bonne qualité et de coût d'opérations minimum.

2.6.1 Entretien des réservoirs

Cela consiste à faire :

-
- Une analyse de la qualité de l'eau ;
 - Vidange et nettoyage de l'ouvrage au moins une fois par an. Ces opérations doivent être suivies de désinfection de l'ouvrage et d'un contrôle de la qualité de l'eau après remise en eau de l'ouvrage ;
 - Des travaux de génie civil : ces travaux concernent la dégradation du béton et les défauts d'étanchéité ;
 - Réparation des équipements détériorés (vannes, clapets de vidange, flotteurs, etc.).

2.6.2 Entretien des adductions et du réseau de distribution

Les travaux d'entretien du réseau de distribution et de l'adduction concernent les conduites et tous les accessoires qui les accompagnent. Ces travaux sont :

- Surveillance et entretien ;
- Actions de réductions des pertes.

Surveillance et entretien

La surveillance et l'analyse des états physiques, hydrauliques et d'encrassement du réseau permettent de mieux appréhender les problèmes qui surviennent dans le réseau. Cela consiste à :

- Faire un entretien périodique (visite, graissage, révision) des organes mécaniques des appareils de fontainerie ;
- Vidanger et purger les régulateurs de pression ;
- Vérifier le bon fonctionnement des ventouses ;
- Resserrer les presse-étoupe des vannes.

Actions de réduction des pertes en eau

Pour réduire les pertes en eau dans l'adduction et dans le réseau de distribution, deux actions sont nécessaires pour l'exploitant, la première, la plus importante est la recherche et la réparation des fuites. La seconde plus ou moins importante est le comptage[1].

Recherche et réparation des fuites

Détection et gestion des fuites

Trouver, quantifier et gérer les fuites est un défi pour la plupart des systèmes d'approvisionne-

ment en eau existants. Elles représentent souvent la plus importante cause des pertes dans le système et peuvent atteindre jusqu'à 30 % de l'eau captée, même dans les systèmes bien gérés. Des taux de fuites de 80 à 90 % ne sont pas rares. Parmi les difficultés à gérer les fuites, on peut noter que[14] :

- Les fuites ne sont pas constantes. Elles augmentent avec la pression dans les conduites ;
- Les divers éléments des systèmes d'alimentation ne sont pas sensibles aux déperditions de la même manière. Il est possible d'identifier et même, ce qui est préférable, de quantifier les points de vulnérabilité ;
- L'évaluation sur le plan économique de l'importance des déperdition ne peut se faire que si elles ont pu être quantifiées (si possible avec un coefficient d'incertitude connu). Cela ne peut se faire qu'en présence de mesures fiables effectuées sur le système ;
- Les opérations de réparation et de gestion des déperditions sont des investissements rentables. Il s'avère en général moins coûteux de maîtriser les fuites que de prélever dans une nouvelle source d'approvisionnement le volume d'eau équivalent à l'eau économisée.

Plusieurs méthodes ont été développées afin de permettre la détection des fuites et même leur localisation avec une précision plus ou moins grande. Ces méthodes sont classées en trois catégories :

- Méthodes de recherche à grande échelle ;
- Méthodes acoustiques ;
- Méthodes modernes.

2.6.2.1 Méthode de recherche à grande échelle

Elle consiste à calculer la différence entre le volume introduit dans le réseau et le volume consommé et comptabilisé. Une différence de volume permet de soupçonner des fuites d'eau dans l'un des secteurs du réseau. La méthode fréquemment utilisée pour la délimitation de la zone de la fuite est l'isolement des tronçons soupçonnés de fuite et la pose de compteurs en amont et en aval de ceux-ci. Il reste ensuite à détecter la localisation exacte de la fuite par l'utilisation de méthodes plus fines[22].

Méthodes acoustiques

Les méthodes de détection utilisées sont toutes basées sur le bruit émis par les fuites. L'écoute du bruit causé par la fuite peut se faire soit par contact direct avec la conduite et tout ce qui y est raccordé (entrée de service, vanne, borne d'incendie), soit par écoute sur le sol. Le bruit de la fuite résulte du choc des molécules d'eau entre elles, de leur frottement contre les parois de l'orifice de la fuite ou finalement du choc de l'eau sur le terrain. L'écoute et l'analyse de ce bruit permettent de déterminer une zone plus ou moins importante de détection de la fuite. Cette zone est embrouillée par le bruit de fond (vent, trafic routier etc.). L'utilisation d'amplificateurs mécaniques ou électroniques ou encore de corrélateurs acoustiques permet l'élimination des bruits parasites[22].

Méthodes modernes

Plusieurs méthodes modernes sont actuellement employées dans la recherche des fuites. On citera [2] :

- Technique de photographie aérienne, notamment dans le domaine de l'infrarouge ; La prise de photographies permet de déceler des zones de températures différentes résultant de la fuite ;
- Utilisation des traceurs radioactifs : détection de radioactivité intense aux zone des fuites ;
- Utilisation de caméras qui permettent de déceler les différentes anomalies. (glissement de joints, infiltrations d'eaux polluées, branchements clandestins etc.

Réparation des fuites

Après la détection de la fuites, on procédera à sa réparation. Plusieurs dispositions sont à prendre lors de la réparation :

- Faire un terrassement profond pour éviter le retour d'eau polluée dans la canalisation après la coupe de la conduite ;
- Ne pas procéder à la vidange de la conduite avant la fin du terrassement et le dégagement total du tronçon au droit de la fuite ;
- Bien nettoyer à l'eau javellisée toutes les pièces de réparation ainsi que les parties du tuyau dégagé.

Avant la remise en service de la conduite, il est nécessaire de la rincer et de procéder au contrôle de la qualité de l'eau.

2.6.3 Recherche et réparation des fuites

Une partie considérable des pertes d'eau est due au sous comptage. Pour améliorer le comptage de l'eau du réseau, une bonne gestion des compteurs à la production et au niveau des abonnés s'impose. Cela consiste à :

- Vérifier la sensibilité des compteurs individuels ;
- Etendre le comptage dans les bâtiments publics sans compteurs ;
- Installation de compteurs pour les nouveaux abonnés.

2.6.4 Dispositions et moyens d'intervention

Pour assurer une organisation convenable d'un service d'entretien et de maintenance, il est utile de [19] :

- Faire des prévisions pluriannuelles des moyens en personnels, en matériels et en budget mis à la disposition des services d'études, d'exploitation et des groupes d'entretien ;
- Disposer d'un personnel compétent ;
- Posséder des plans de gestion donnant les caractéristiques des conduites et des autres organes du réseau, la localisation exacte des noeuds, plans qui sont à tenir à jour en permanence ;
- Connaître toutes les informations utiles relatives aux fonctionnalités et tous les renseignements statistiques annuels intéressant les interventions d'entretien et les réparations effectuées sur le réseau et les ouvrages ;
- Connaître les valeurs d'exploitation, des coûts et de la gestion proprement dite des personnels et matériels.

2.6.4.1 Moyens humains

Le personnel doit avoir des compétences techniques dans différents domaines : l'hydraulique, l'électricité, l'électromécanique et l'électronique. Le nombre d'agents composant l'équipe d'intervention dépend de l'importance du réseau, de la complexité de ses équipements et du budget annuel accordé au service.

2.6.4.2 Moyens matériels

Le choix du type et du nombre des moyens matériels à utiliser dépend du type d'intervention qui lui-même dépend du type de la défaillance. Les moyens matériels utilisés pour les interventions sont classés en deux catégories : Moyens simples (clefs, tournevis, poste à souder etc.) et des moyens lourds (bulldozers, pelle hydraulique, matériels de détection des fuites etc.).

2.7 Réhabilitation

2.7.1 Définition

Le dictionnaire Larousse définit la réhabilitation comme étant l'ensemble des opérations qui permettent de maintenir en état de fonctionnement un matériel susceptible de se dégrader, soit par réparation de l'ouvrage faillé, soit par un renouvellement total du matériel.

2.7.2 Les différentes techniques de réhabilitation

On distingue trois méthodes principales de réhabilitation dans le réseau de distribution[2].

- Les revêtements internes au mortier ciment.
- Les traitements par injection.
- Les gainages plastiques.

2.7.2.1 Les revêtements internes au mortier-ciment

Procédé par compression

Utilisé pour le traitement des canalisations en fonte et en acier dont le diamètre est compris entre 100 et 400 mm. Le mortier ciment est introduit à l'extrémité du tronçon. Un outil enducteur, tracté à faible vitesse, pousse devant lui la masse semi-liquide du mortier. Une partie de cette masse, fortement comprimée dans les parois du tronçon, obstrue les trous et les fissures.

Procédé par centrifugation

Une pompe à mortier est reliée à un malaxeur. Celle-ci, par l'intermédiaire d'un tuyau d'alimentation en mortier refoule le mortier dans un appareil muni d'une tête de projection rotative. Le mortier est alors projeté avec force sur les parois de la canalisation par l'appareil

tracté par le tuyau d'alimentation.

L'utilisation de cet appareil est limitée pour des canalisations de diamètre inférieur à 600 mm. Pour des diamètres supérieurs, on utilise une machine auto-tractrice.

L'inconvénient de la méthode de revêtement au mortier ciment est qu'elle est limitée pour des tronçons sans ramifications ni branchements.

Le traitement par injection

Contrairement à la méthode précédente, celle-ci ne traite pas toute la canalisation mais seulement le problème rencontré (l'endroit précis). Elle est utilisée surtout pour le contrôle des joints et les fissures. Le processus se fait de la manière suivante :

Après nettoyage soigné de la canalisation, on y introduit un appareil muni d'une caméra et d'un manchon gonflable. La caméra permet de visionner l'endroit du joint ou de la fissure. On y placera le manchon. L'étanchéité du joint est contrôlée après gonflement du manchon. Si le joint est détérioré, on injecte deux solutions chimiques qui, en se polymérisant, sortent par la fuite et se solidifient provoquant l'obstruction de la fuite. Sinon on passera au contrôle du joint suivant.

Le gainage plastique

Cette méthode est très intéressante dans la cas où la canalisation est très endommagée et son remplacement pose trop de difficultés ou de perturbations d'exploitation. Cette méthode utilise deux procédés :

- Utilisation des tuyaux en chlorure polyvinyle PVC,
- Utilisation d'une gaine de polyéthylène haute densité.

Utilisation des tuyaux PVC

Des tuyaux en PVC semi-rigides, de diamètre inférieur à celui des canalisations sont insérés à l'intérieur de celles-ci et sont soudés les uns aux autres par un thermosoudeur. Malgré la diminution de la section de la canalisation, le débit initial est rétabli par augmentation de la pression.

Cette méthode présente l'avantage de permettre de très bons résultats pour des petits tronçons à un faible coût. Toutefois, elle présente aussi deux principaux inconvénients ; la difficulté de

raccorder les tuyaux et risque problèmes engendrés la dilation de matériaux différents.

Utilisation de la gaine en polyéthylène HD

La gaine est introduite dans la canalisation et on utilise le poids d'une colonne d'eau pour la retourner avec le coté résine en contact avec la canalisation et le coté feuille vers la lumière de la conduite. Une fois la gaine complètement insérée, on utilise un circuit d'eau chaude (60C) afin de déclencher la polymérisation de la résine. Une fois l'opération terminée (en quelques heures) on a une vieille canalisation avec une face interne lisse et neuve et sans raccord.

Cette méthode présente de nombreux avantages :

- Elle convient à tous les types de tuyaux : acier, fonte, amiante-ciment, ...etc. même en très mauvais état ;
- Elle convient à toutes les sections à partir de 100 mm ;
- Utilisation sans ouverture de fouilles ;
- Très faible réduction de la section.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu que les défaillances, qui apparaissent dans le réseau, engendrent parfois des dégâts considérables qui nécessitent des investissement importants.

A ce niveau, le problème consiste à régler ces défaillance et à mieux gérer ces investsiment en tennant compte des différents critères, pour cela l'application d'une méthode ELECTRE sur le réseau d'AEP, aidera le dicideur à classer les conduites selon leurs états, pour prendre la meilleure de réparation ou de réhabilitation.

- Optimiser les coûts de l'entretien,
- Evaluer les coûts de réparation et ceux d'une réhabilitation des conduites et de prendre la meilleure décision,
- Choisir la meilleure technique de réhabilitation pour les conduites détériorées.

L'application des méthodes d'optimisation multicritère sur le cas des réseaux d'AEP aidera les gestionnaires à prendre la meilleure décision. Parmi ces méthodes, on retrouve les méthodes ELECTRE, notamment la méthode ELECTRE TRI sur la quelle va porter notre étude. L'illustration de ces différentes méthodes sera l'objet du chapitre suivant.

Méthodes d'optimisation multicritère

3.1 Introduction

Dans de très nombreux cas impliquant une décision, on entend fréquemment les principaux responsables parler de solution optimale. L'optimisation multicritère a pour but de résoudre des problèmes de décision en présence de critères d'optimalité multiples.

Du fait que ces critères se trouvent souvent en conflit, il n'existe pas de solution unique qui s'impose d'elle-même. L'aide multicritère à la décision et son formalisme jouent un rôle structurant, qui permet de mieux appréhender le problème et facilite le processus de décision.

3.2 Les méthodes d'optimisation multicritère

On distingue trois grandes familles de méthodes d'optimisation multicritère :

3.2.1 La théorie de l'utilité multi-attribut

Cette théorie repose sur le principe suivant : le scientifique pose des questions parfois difficiles et pertinentes au décideur. Les réponses de ce dernier lui permettent de maximiser ou minimiser une fonction $U = U(g_1, g_2, \dots, g_n)$ en posant des hypothèses mathématiques trop fortes. (g_1, g_2, \dots, g_n sont les points de vue pris en compte par le décideur)[21].

3.2.2 Les méthodes de surclassement

Contrairement à la théorie précédente, les méthodes de surclassement permettent à l'homme d'étude d'éviter l'introduction des hypothèses mathématiques trop fortes et les questions difficiles pour le décideur. Dans ces méthodes, l'homme d'étude essaye d'enrichir la relation de surclassement (dominance) par des éléments peu discutables, c'est-à-dire par les préférences solidement établies du décideur.

3.2.3 Les méthodes interactives

Elles consistent en une alternance d'étapes de calculs et de dialogue avec le décideur. La première étape de calcul fournit une première solution. Le décideur réagit à cette solution en apportant des informations supplémentaires sur ses préférences (étape de dialogue). Ces informations sont injectées dans le modèle utilisé par l'homme d'étude et permettent de fournir une nouvelle solution (nouvelle étape de calcul). Cette alternance d'étapes se poursuit jusqu'à atteindre la solution optimale.

Le schéma suivant présente les différentes approches opérationnelles et méthodes d'optimisation multicritère [15] :

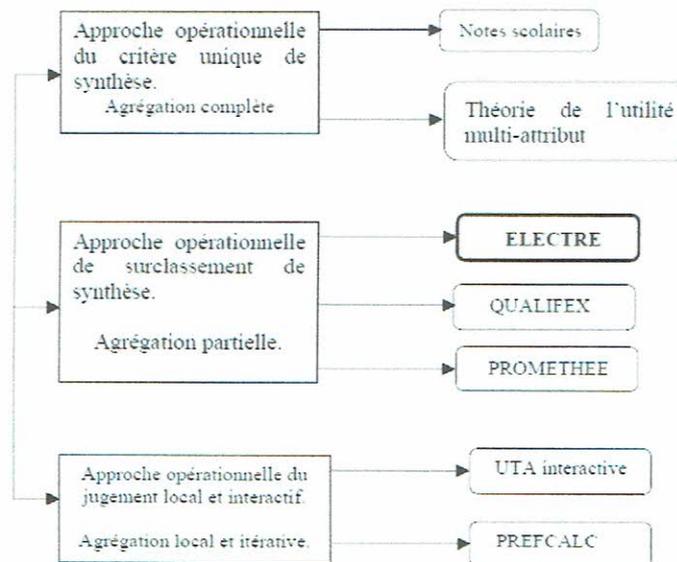


FIGURE 3.1 – Approches opérationnelles et méthodes

3.3 Concepts de base d'un problème multicritère

3.3.1 Action et ensemble des actions potentielles

Les éléments de réponse qu'un décideur attend de l'aide à la décision ont trait aux diverses actions qu'il peut envisager. Selon la nature des problèmes, ces actions peuvent se présenter de diverses manières :

- Sites pour une localisation,
- Réponses à un appel d'offre,
- Plan d'aménagement,
- Gestion des divers réseaux (eaux, télécommunications, gaz et électricité) - Etc.

Pour la clarté du travail d'aide à la décision, il est utile d'introduire les distinctions suivantes :

Action potentielle : c'est une action provisoirement jugée possible par un des intervenants au moins ou présumée telle par l'homme d'étude en vue de l'aide à la décision.

Action globale : c'est une action dont la mise à exécution est exclusive de toute autre action. Dans le cas contraire, on parle d'action fragmentaire.

Action de référence : c'est une action servant de référence par rapport à laquelle les actions potentielles sont examinées. Les actions de référence servent de limites à des catégories auxquelles les actions potentielles sont affectées.

L'ensemble des actions potentielles : c'est l'ensemble des objets, décisions, candidats, ... que l'on va explorer dans le processus de décision. Il est désigné par $A = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$ où les a_i sont les actions potentielles. Cet ensemble peut être défini :

En extension (par énumération de ses éléments) lorsqu'il est fini et suffisamment petit pour que l'énumération soit possible.

En compréhension (par une propriété caractéristique ou par des contraintes mathématiques) lorsqu'il est infini ou fini mais trop grand pour que l'énumération soit possible.

L'ensemble A peut aussi être :

Stable : s'il est défini a priori et n'est pas susceptible d'être changé au cours de la procédure.

Évolutif : s'il peut être modifié en cours de procédure, soit à cause des résultats intermédiaires que cette procédure fait apparaître, soit parce que le problème de

décision pose un environnement changeant[15, 21].

3.3.2 Critères et famille cohérente de critères

Un critère peut être défini comme un outil qui permet la comparaison des actions selon un point de vue. Lorsque le problème repose sur la considération de plusieurs critères, nous les notons $g_1, g_2, \dots, g_j, \dots, g_m$. L'évaluation d'une action a_i suivant le critère j est notée $g_j(a_i)$.

✕ On appelle famille cohérente de critères $F = (g_j : j = 1..m)$, l'ensemble de tous les critères pris en considération.

3.3.3 Poids des critères

L'importance donnée par le décideur à chacun des critères n'est pas toujours la même. Les méthodes d'aide à la décision traduisent cette importance relative par des nombres, souvent appelés « poids ». L'ensemble des poids est noté : $P = (P_j; j = 1..m)$. Si par exemple $P_j = 2P_h$ [×] _h *ind*, cela signifie qu'il attribue deux fois plus d'importance au critère j qu'au critère h .

3.3.4 La problématique d'aide à la décision

La problématique est la façon dont le problème de décision est posé. En matière d'aide à la décision, il est préférable, dans bien des cas, de chercher, au moins au départ, à formuler le problème en termes moins restrictifs. Dans cette optique, quatre problématiques de référence doivent être considérées, à savoir :

- Déterminer un sous-ensemble d'actions considérées comme les meilleures actions vis-à-vis de F (problème de choix),
- Partitionner A en sous-ensembles suivant des normes préétablies (problème de tri),
- Ranger les actions de A de la meilleure à la moins bonne (problème de rangement)[17].

Dans cette optique, quatre problématiques de référence sont considérées [17] :

Problématique	Objectif	Résultat	Procédure
α	Choix d'un sous-ensemble contenant les actions	Choix	Sélection
β	« les meilleures » ou à défaut, « satisfaisantes » Tri par affectation des actions à des catégories prédéfinies	Tri	Affectation
γ	Rangement de classes d'équivalence, composées d'actions, ces classes étant données de façon complète ou partielle	Rangement	Classement
δ	Éclairer la décision par une description, dans un langage approprié, des actions et de leurs conséquences	Description	Cognition

TABLE 3.1 – Problématiques de référence

3.3.5 Les résultats

L'appréciation de chacune des actions a_i sur chacun des critères g_j donne lieu à un résultat $g_j(a_i)$. L'évaluation des résultats peut être quantitative, qualitative ou ordinale. Le tableau suivant résume tous les éléments constitutifs d'un problème multicritère déjà cités [16] :

Action	Critères					
	Critère 1	Critère 2	...	Critère j	...	Critère m
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_m(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_j(a_2)$	...	$g_m(a_2)$
...
a_j	$g_1(a_j)$	$g_2(a_j)$	...	$g_j(a_j)$	...	$g_m(a_j)$
...
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_j(a_n)$	...	$g_m(a_n)$
poids	P_1	P_2	...	P_j	...	P_m

TABLE 3.2 – Éléments constitutifs d'un problème multicritère

3.4 Formulation mathématique d'un problème de décision multicritère

On appelle problème multicritère le couple (A, F) , où :

- A est un sous-ensemble de \mathbb{R}^n appelé ensemble des actions potentielles ;

- F une fonction vectorielle $g : A \subseteq R^n \rightarrow R$, qui a toute action $a_i \in A$ associe un vecteur

$$g(a_i) = (g_1(a_i), g_2(a_i), \dots, g_m(a_i)).$$

Les fonctions $g_j : A \rightarrow R, j = 1, 2, \dots, m$ sont appeles criteres ou fonctions objectifs.

Le décideur a pour objectif d'obtenir des valeurs optimales (maximales ou minimales pour chaque fonction objectif; autrement dit, trouver la meilleure solution

$$a_i^* \in A \text{ telle que } g(a_i^*) = \text{opt}(g_j(a_i)), \begin{cases} j = 1, \dots, m \\ a_i \in A \end{cases} \text{ donc une meilleure action.}$$

ideal etc

3.5 Les méthodes ELECTRE

Les méthodes d'analyse multicritère ont été développées suites aux besoins qui se sont fait sentir dans le domaine de l'aide à la décision. Les projets de grande envergure, en effet, nécessitent des choix qui font bien souvent intervenir des critères peu compatibles. Pour résoudre ce genre de problème, il faut donc faire appel à des méthodes de formalisation qui permettent d'effectuer des classements entre les diverses décisions. C'est le but des méthodes ELECTRE (Élimination Et Choix Traduisant Réalité) qui ont été mises au point par B. ROY. Ces méthodes se servent [15] :

- D'une hypothèse de surclassement,
- D'une notion de concordance et de non-discordance.

Relation de surclassement

Une action a_i surclasse une action a_k , s'il est possible d'affirmer : a_i est au moins aussi bonne que a_k .

Concordance

Si l'hypothese a_i surclasse a_k est emise, il est dit du critere j qu'il concorde avec l'hypothese si : $g_j(a_i) \geq g_j(a_k)$.

Non-discordance

La condition de non-discordance permet de refuser une hypothèse de surclassement, obtenue après application de la condition de concordance, lorsqu'il existe une opposition trop forte sur un critère au moins.

3.5.1 La méthode ELECTRE I ✕

Cette méthode proposée par (Roy,1968) permet de résoudre les problèmes multicritère de choix. Cette méthode permet d'identifier le sous-ensemble d'actions offrant le meilleur compromis possible. Souvent utilisée dans le choix de projets concurrents, afin d'identifier le sous-ensemble de projets le plus performant sur la base des critères considérés. Dans le cas de la méthode ELECTRE I, on définit de vrai-critères, on retrouve également une notion de concours dans cette méthode ; retenir les meilleurs.

On considère un ensemble A de m actions, qui représentent l'objet de la décision, dont le but est d'identifier un sous-ensemble d'actions offrant un meilleur compromis parmi l'ensemble de départ. On définit pour chaque critère une fonction d'évaluation g_j (où $j = 1$ à n , n est le nombre de critères), pour chaque critère, on évalue un poids k_j qui augmente avec l'importance du critère. L'indice de concordance pour deux actions a et b est noté par $C(a, b)$, compris entre 1 et 0, il mesure la pertinence de l'assertion « a surclasse b », comme suit :

$$C(a, b) = \frac{\sum_{\forall j: g_j(a) \geq g_j(b)} K_j}{K} \text{ avec } K = \sum_{j=1}^n K_j \quad \circ \quad \subset$$

L'indice de discordance $D(a, b)$ est défini par :

$$D(a, b) = \begin{cases} 0 & \text{si } \forall j : g_j(a) \geq g_j(b) \\ \frac{1}{\delta} \max_j [g_j(b) - g_j(a)] & \text{sinon} \end{cases}$$

avec δ est la différence maximale entre le meme critere pour deux actions donnee.

La relation de sur-classement pour ELECTRE I est construite par la comparaison des indices de concordance et de discordance à des seuils limites de concordance \hat{c} et de discordance \hat{d} .

Ainsi, a surclasse b , si :

$$aSb \implies C(a,b) \geq \hat{C} \quad \text{et} \quad D(a,b) \leq \hat{d}$$

3.5.2 ELECTRE II ~~X~~

La methode ELECTRE II releve de la problematique γ (procedure de classement) ; sont but est de classer les actions potentielles depuis les meilleures jusqu'aux moins bonnes, en tolerant les ex aquo.

ELECTRE II utilise deux sortes de classements :

- ~~X~~ { - surclassement fort : $a_i S F a_k$, concerne les surclassements avancés avec une grande certitude.
- surclassement faible : $a_i S f a_k$, concerne les surclassements qui sont sujets à caution.

Condition de concordance

Trois seuils de concordance (au lieu d'un seul dans ELECTRE I) sont definis ; ils sont note : c^+, c^0, c^- et suivent toujours l'ordre : $c^+ \geq c^0 \geq c^-$.

Le test de concordance est satisfait si

$$\left\{ \begin{array}{l} c_k \geq c^+ \quad \text{ou} \\ c_k \geq c^0 \quad \text{ou} \\ c_k \geq c^- \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \frac{p^+(a_i, a_k)}{p^-(a_i, a_k)} \geq 1$$

Test de non-discordance

Deux seuils de discordance sont definis : $D1$ et $D2$ tel que $D1 < D2$. Le test de discordance peut se resumer, pour $j \in j^-(a_i, a_k)$, comme suit :

- Si $g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D2$, alors il y a une certitude forte que le critere j ne presente pas une opposition majeure a l'hypothese de surclassement.
- Si $g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D1$, alors il y a une certitude faible que le critere j ne presente pas une opposition majeure a l'hypothese de surclassement.

Établissement de la relation de surclassement

Deux classements différents des actions sont opérés :

Classement direct les actions sommets du graphe sont classées en fonction de la longueur des chemins incidents qui y aboutissent, dans l'ordre croissant de ces longueurs.

Classement inverse les sommets sont classés en fonction de la longueur des chemins qui sont issus, dans l'ordre décroissant des longueurs.

3.5.3 ELECTRE III

La méthode ELECTRE III relève aussi de la problématique γ (procédure de classement). Dans l'hypothèse de surclassement, une nouvelle notion est introduite, celle de préférence faible qui marque l'hésitation entre l'indifférence et la préférence stricte. Pour chacun des critères, ces trois relations sont séparées par deux seuils dits d'indifférence (q) et de préférence stricte (p). Un troisième seuil, le seuil de veto, est utilisé dans la concrétisation de la notion de discordance. La méthode ELECTRE III utilise aussi la notion de pseudo-critère.

Pseudo-critère

Un pseudo-critère est une fonction g dont le pouvoir discriminant est caractérisé par les deux seuils $q(g)$ et $p(g)$ tels que :

$$\frac{q(g(a_k)) - q(g(a_i))}{g(a_k) - g(a_i)} \geq -1 \quad \text{et} \quad \frac{p(g(a_k)) - p(g(a_i))}{g(a_k) - g(a_i)} \geq -1$$

Indice de concordance

ELECTRE III utilise deux indices pour la concordance : indice de concordance par critère et indice de concordance globale.

Indice de concordance par critère noté $C_j(a_i, a_k)$, affirme dans quelle mesure l'action a_i est au moins aussi bonne que l'action a_k . Il est défini comme suit :

$$c(a_i, a_k) = \text{Min}1, (\text{Max} (0, \frac{g_j(a_i) - g_j(a_k) + P_j}{p_j - q_j}))$$

(Handwritten: $P_j \rightarrow P_j$ 12)

Indice de concordance globale noté C_{ik} , affirme dans quelle mesure il y a concordance avec l'hypothèse l'action a_i surclasse l'action a_k . Il est défini par la formule suivante

$$C_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cdot c_j(a_i, a_k)}{\sum_{j=1}^m P_j}$$

Indice de discordance

$$d_j(a_i, a_k) = (\text{Min } 1, \text{Max}(0, \frac{g_j(a_i) - g_j(a_k) + p_j}{v_j - p_j}))$$

3.6 ELECTRE-Tri

ELECTRE-tri est une méthode qui permet de résoudre des problèmes d'affectation, le principe de la méthode est d'assigner un ensemble de m d'alternatives ou d'actions noté $A = a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$ sur lesquelles se base la décision à des catégories ou classes bien définies. On note l'ensemble $F = 1, 2, \dots, n$ l'ensemble des indices des critères. Chaque action de l'ensemble A sera évaluée par une fonction réelle, exprimant l'évaluation de l'action pour un critère donné, on note $G = g_1, g_2, \dots, g_m$ l'évaluation de l'action pour les critères considérés.

L'importance des critères dans la prise de décision est évaluée par un ensemble de poids $K = k_1, k_2, \dots, k_n$. Par opposition aux autres approches, les alternatives qui constituent l'objet de la décision ne sont pas comparées entre elles, mais à des seuils traduisant la frontière entre les h classes prédéfinies, noté $C = C_1, C_2, \dots, C_h$. Chaque alternative sera comparée aux frontières de chaque catégorie, formant un profil $B = b_1, b_2, b_3, \dots, b_h$. La Figure 2 illustre la problématique de tri ou d'affectation.

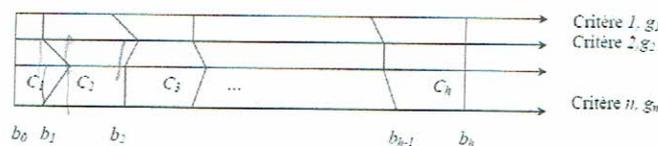


FIGURE 3.2 – Illustration de la problématique de tri

L'affectation des actions dans les catégories se base sur le concept de sur-classement. Une action a de l'ensemble A surclasse b_h , noté aSb_h , si a est aussi bonne que b_h sur tous les critères et a n'est pas mauvaise que b_h sur la majorité des critères (a_h peut être mauvaise que b_h sur certains critères).

L'approche ELECTRE-TRI s'appuie sur les étapes suivantes :

3.6.1 Evaluation des indices de concordance

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(b_h) - g_j(a) \geq p_j(b_h) \\ 1 & \text{si } g_j(b_h) - g_j(a) \leq -p_j(b_h) \\ \frac{p_j(b_h) + g_j(a) - g_j(b_h)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} & \text{sinon} \end{cases}$$

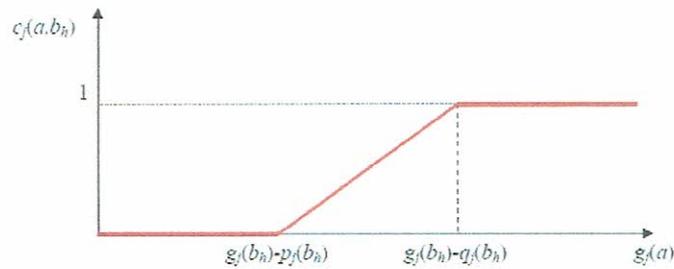


FIGURE 3.3 – Détermination de l'indice de concordance

3.6.2 Calcul de l'indice de concordance global

$$c(a_h, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} k_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} k_j}$$

3.6.3 Calcul de l'indice de discordance

$$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0 & \text{si } g_j(a_h) \leq g_j(b_h) + p_j(b_h) \\ 1 & \text{si } g_j(a_h) > g_j(b_h) + v_j(b_h) \\ \in [0, 1] & \text{sinon} \end{cases}$$

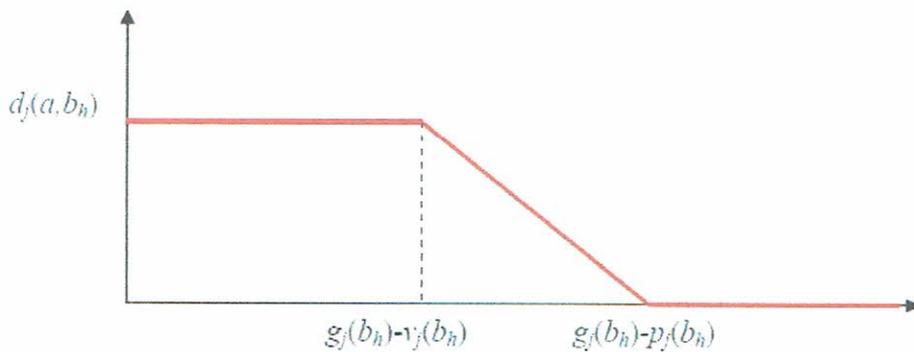


FIGURE 3.4 – Détermination de l'indice de discordance

3.6.4 Calcul de l'indice de crédibilité et définition de la relation de sur-classement floue

$$\delta(a, b_h) = c(a, b_h) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c_j(a, b_h)} \quad \text{avec} \quad \bar{F} = \{j \in F : d_j(a, b_h) > c_j(a, b_h)\}$$

On définit l'indice de coupe λ comme le paramètre qui détermine la situation de préférence entre a et b_h *soit soit*

La relation de sur-classement définie se base sur l'indice de crédibilité $\sigma(a, b_h)$ et l'indice de coupe λ tel que :

- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ et $\sigma(b_h, a) \geq \lambda \Rightarrow a S b_h$ et $b_h S a \Rightarrow a I b_h$, a est indifférent à b_h
- $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$ et $\sigma(b_h, a) < \lambda \Rightarrow a S b_h$ et b_h ne surclasse pas $a \Rightarrow a$ surclasse b_h
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$ et $\sigma(b_h, a) < \lambda \Rightarrow a S b_h$ a ne surclasse pas b_h et $b_h S a \Rightarrow b_h$ surclasse a ~~a~~
- $\sigma(a, b_h) < \lambda$ et $\sigma(b_h, a) < \lambda \Rightarrow a S b_h$ a ne surclasse pas b_h et b_h ne surclasse pas a , dans ce cas a et b sont incomparables.

Deux procédures d'affectation sont possibles

Procédure pessimiste

- a) Comparer successivement a à b_i , tel que $i = p, p-1, \dots, 0$
- b) Si $a S b_h$, a est assigné à la catégorie C_{h+1} .

Procédure optimiste

- a) Comparer successivement a à b_i , tel que $i = 1, 2, \dots, p$
- b) Si $b_h Sa$, a est assigné à la catégorie C_h .

3.7 Conclusion

L'approche de surclassement de synthèse (méthodes ELECTRE) constitue une famille de méthodes d'aide multicritère à la décision très efficaces pour la comparaison d'actions potentielles.

Pour notre étude, nous avons choisi d'appliquer le méthode ELECTRE TRI. Cette méthode est très intéressante car elle permet de considérer un nombre d'actions

potentielles très important que les autres méthodes ELECTRE. Elle permet aussi de classer les actions en catégories et de comparer les actions non plus entre-elles, mais par rapport à une référence stable, ce qui n'est pas le cas pour les autres méthodes ELECTRE.

L'étape suivante de notre étude sera consacrée à la définition des actions potentielles et à la modélisation des critères de décision, en se basant sur les principes de la méthode ELECTRE TRI. Ce sera l'objet du chapitre suivant.

Modélisation et optimisation par la méthode ELECTRE TRI

Introduction

Le problème de l'aide à la décision est habituellement abordé en explicitant dans un premier temps les actions potentielles. Il est ensuite nécessaire de définir les critères permettant d'évaluer et de comparer les actions entre elles ou à des actions de référence.

L'objectif de ce chapitre est de fournir un modèle mathématique permettant, pour la gestion d'un réseau de distribution d'eau potable, de garantir une meilleure qualité de service pour les consommateurs avec des coûts moindres.

4.1 Définition des actions

Dans notre cas, les actions potentielles correspondent aux tronçons du réseau de distribution, sur lesquels il faut intervenir, en d'autres termes, les tronçons présentant une ou plusieurs défaillances ; un tronçon T_i est préféré au tronçon T_k vis-à-vis du critère h , si le problème associé au critère h est plus prononcé sur le tronçon T_i que sur le tronçon T_k .

4.2 L'ensemble des actions potentielles

Les tronçons du réseau de distributions constituent les éléments de l'ensemble des actions potentielles.

-
- Cet ensemble est défini en compréhension vu la présence de contraintes : limitation des ressources humaines et matérielles.
 - Cet ensemble est fragmenté vu que les moyens matériels, humains et financiers peuvent être partagés par plusieurs tronçons défaillants.
 - Cet ensemble est évolutif vu la variation des types de défaillances et des techniques de réhabilitation.

4.3 Les critères

Les critères pris en considération dans notre étude, sont les différents objectifs de tout gestionnaire d'un réseau de distribution d'eau potable soucieux d'une bonne optimisation de la gestion. Ces objectifs sont :

- Satisfaire les besoins des consommateurs en eau,
- Minimiser le nombre de fuites sur les canalisations,
- Minimiser le nombre de casses sur les canalisations,
- Minimiser la fréquence des interruptions dues aux casses répétées,
- Minimiser les coûts annuels des réparations et des réhabilitations.
- Garantir une eau de meilleure qualité pour les consommateurs,
- Minimiser les plaintes des consommateurs dues à une mauvaise qualité de service.

4.4 Définition des actions de référence

Les tronçons (conduites) du réseau seront affectés dans trois catégories distinctes :

- Conduites en bon état ;
- Conduites en état moyen ;
- Conduites en mauvais état.

Les actions de référence seront représentées par des valeurs qui délimitent inférieurement et supérieurement chacune des catégories.

4.5 Modélisation des critères

L'affectation de chacun des tronçons du réseau à une catégorie définie afin de choisir la meilleure décision se fera sur la base de l'évaluation des différents tronçons selon un certain nombre de critères (fonctions objectifs).

La modélisation du premier et du cinquième critère étant liée à la fiabilité et au taux de défaillance de chaque tronçon, il est donc raisonnable de modéliser d'abord la fiabilité de chacun de ces tronçons[18].

4.5.1 Modélisation de la fiabilité des tronçons

Conduites n'ayant pas subi de défaillances

La fiabilité est une loi de Weibull avec les paramètres de position et de forme respectifs suivants : $\gamma = 0$; $\beta = 1,27$.

$$\text{taux} = 0,0148 \times t^{0,27} \times \exp(0,49 \times \ln(\text{long } 500) - 0,39 \times \ln(\text{diam } 60) - 0,45 \times \text{trafic})$$

Conduites déjà défaillantes

$$\text{taux} = 0,07 \times \exp(0,49 \times \ln(\text{long } 500) - 0,39 \times \ln(\text{diam } 60) - 0,45 \times \text{trafic})$$

avec :

taux : taux de défaillance de la conduite à diagnostiquer ;

t : temps séparant la mise en service de la conduite et la période de diagnostic (en mois) ;

long : longueur de la conduite (m) ;

diam : diamètre de la conduite (mm) ;

trafic : intensité du trafic routier au-dessus de la conduite (trafic = 1 pour un trafic intense et trafic = 0 pour un trafic faible).

4.5.2 Modélisation du premier critère

Il s'agit de compenser l'eau perdue dans chaque tronçon du réseau par un pompage supplémentaire[16].

$$S_b = \text{coût du } m^3 \times \text{volume total } (V_{distr} + V_{e.per}) \leftarrow$$

La formule régissant ce critère varie suivant que le tronçon est desservant ou non :

Tronçon desservant

$$S_b = C_e [q_{ci} + (1 - R_i(t))q_i]$$

Tronçon non desservant

$$S_b = C_e (1 - R_i(t))q_i$$

C_e : coût du mètre cube d'eau (Da/m^3);

q_{ci} : débit de consommation associé au tronçon i .

q_i : débit transitant par la conduite i .

$R_i(t)$: taux de défaillance du tronçon i .

4.5.3 Modélisation du deuxième critère

Il s'agit de réduire le nombre de fuites sur toute la longueur du tronçon considéré[13].

$$T_f = \frac{N_f/an}{L_t} \times 100$$

avec :

T_f : Taux de fuite observé sur le tronçon i .

N_f : Nombre de fuites enregistrées sur le tronçon i .

L_t : Longueur du tronçon i .

4.5.4 Modélisation du troisième critère

Cela consiste à réduire le nombre de casses sur la longueur du tronçon[13].

$$T_c = \frac{N_c/an}{L_t} \times 100 \text{ [care - w]}$$

avec :

T_c : taux de casse annuel du tronçon i .

N_c : nombre de casses enregistrées sur le tronçon i .

4.5.5 Modélisation du quatrième critère

$$F_i = T_c \times D_{mr} \times L_t \text{ [care - w]}$$

avec [13] : F_i : fréquence des interruptions sur le tronçon i .

D_{mr} : durée moyenne d'une réparation.

4.5.6 Modélisation du cinquième critère

$$CAR = h_i(t) \times C_r [care - w]$$

avec :

$h_i(t)$ = taux de défaillance du tronçon i

C_r = coût d'une réparation.

$$C_r = C_{mh} + C_{mm} + C_{fg}$$

C_{mh} : coût sur les moyens humains.

C_{mm} : coût sur moyens matériels

C_{fg} : frais généraux estimés à 20 % du coût de la réparation ($C_{mh} + C_{mm}$).

$$C_{mh} = C_{ho} \times N_h \times N_o \quad \text{avec :}$$

C_{ho} : coût horaire moyen par ouvrier.

N_o : nombre d'ouvriers.

N_h : nombre moyen d'heures de travail par ouvrier[13].

4.5.7 Modélisation du sixième critère

Il s'agit maximiser le nombre de paramètres agissant sur la qualité de l'eau conformément aux normes algériennes de potabilité des eaux de consommation.

$$T_{conf} = \frac{N_{tc}}{N_{tt}} \times 100 [care]$$

avec :

T_{conf} : Taux de conformité des tests réalisés sur différents paramètres agissant sur la qualité de l'eau.

N_{tc} : Nombre de tests conformes.

N_{tt} : Nombre total des paramètres sur lesquels les tests ont été réalisés[13].

4.5.8 Modélisation du septième critère

$$T_p = \frac{N_{ps}}{N_{br}} \times 100 [care]$$

avec :

T_p : Taux de plaintes des consommateurs liés au tronçon considéré.

N_{ps} : Nombre de plaintes sur la qualité de service des abonnés connectés au tronçon i .

N_{br} : Nombre de branchements associés au tronçon considéré [13].

4.6 Optimisation selon ELECTRE TRI

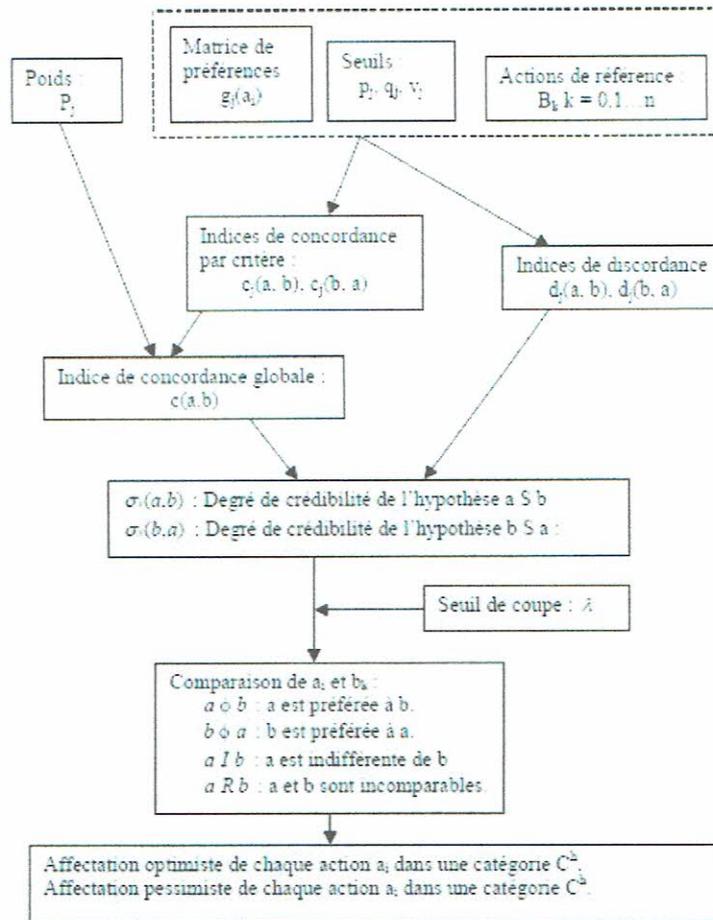


FIGURE 4.1 – Procédure d'optimisation par ELECTRE TRI

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini les actions potentielles et les critères qui permettent au gestionnaire d'un réseau d'A.E.P d'atteindre la solution optimale. Nous avons, ensuite, formulé la modélisation des différents critères. La modélisation est une étape très importante dans le processus de décision, car elle joue un rôle déterminant dans la conception de la base de données et l'élaboration d'un modèle informatique se basant sur les principes d'application de la méthode ELECTRE TRI. L'élaboration de ce modèle et l'application sur un cas réel sera l'objet du chapitre suivant.

Optimisation de la gestion du réseau de Sidi Ahmed

Introduction

Après la collecte des informations nécessaires concernant le système à étudier (réseau d'AEP), vient l'étape de la mise en évidence du modèle informatique élaboré, qui permet de créer des projets, de visualiser leurs données et d'optimiser leur gestion en se basant sur la méthode ELECTRE TRI, décrite précédemment. Enfin, nous terminerons ce chapitre par l'exécution de notre application sur un cas réel (réseau du chef lieu Sidi Ahmed), et la comparaison et la discussion des résultats de l'exécution.

5.1 Description du logiciel utilisé

Dans notre étude, nous avons choisi, pour le développement de notre application, le logiciel ELECTRE Tri, qui a été développé au centre **LAMSADE** (Laboratoire D'analyse et Modélisation de Système pour l'Aide à la Décision), établi en 1974.

5.2 Acquisition des données

Toute étude commence d'abord par rassembler les données concernant le système à étudier. Pour mener à bien l'acquisition des données caractéristiques du réseau d'AEP, il faut se rapprocher des organismes spécialisés dans la gestion et la réalisation des réseaux d'A.E.P du site

à étudier, afin de recueillir les informations et la documentations relatives au réseau (plans, rapports, données, statistiques, ...).

5.3 Application au cas du réseau de sidi ahmed

La réseau d'AEP de Bejaia se divise en 3 réseaux principaux :

- Sidi Ahmed
- Iheddaden
- Fouka

Vu la complexité de réseau de la ville de béjaia et le manque de données au niveau de l'ADE concernant les deux autres réseaux principaux, on s'est limité à modéliser le réseau de Sidi Ahmed que montre la figure ci dessous :

5.3.1 Obtention des actions

Les actions étant les conduites du réseau, le nombre de ces dernières est de 267 conduites, dans un premier temps, on étudiera la partie haute du réseau (Voisinage du réservoir). Voir la figure suivante :

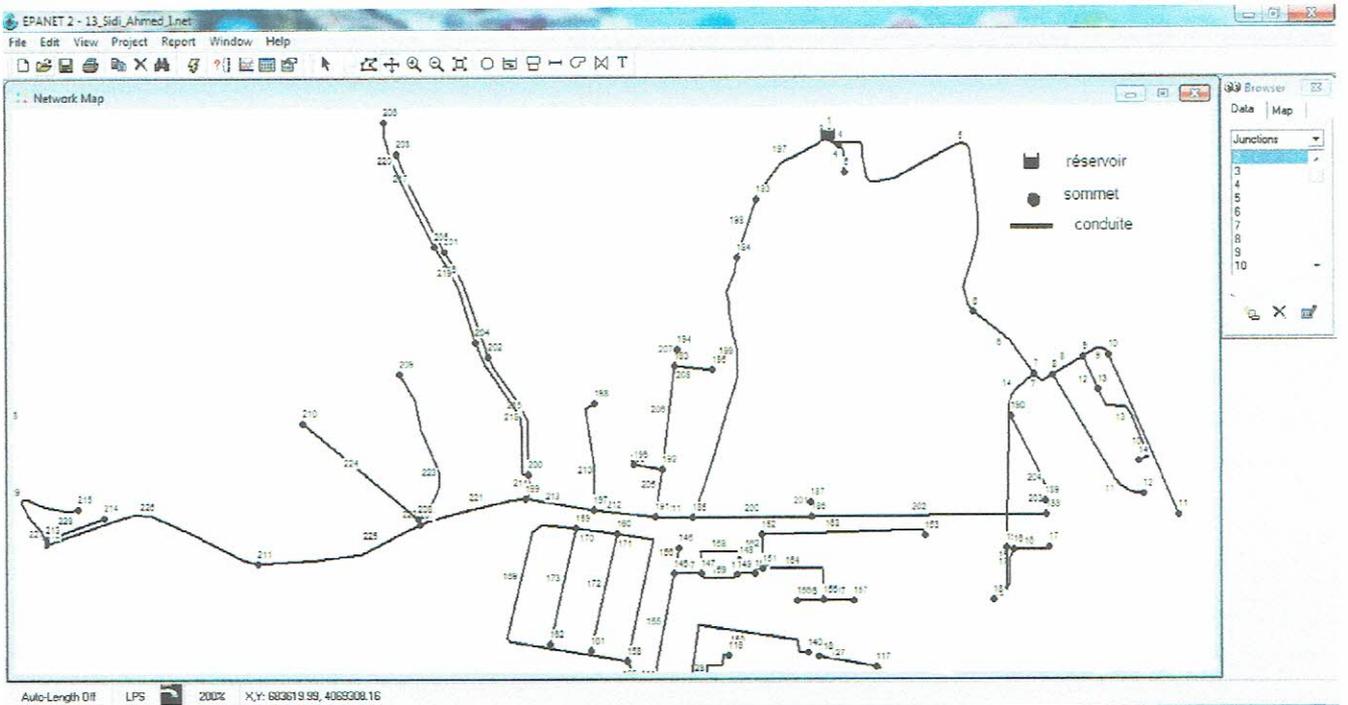


FIGURE 5.1 – Sous réseau de Sidi Ahmed

Le sous réseau de Sidi Ahmed contient 50 conduites donc, 50 actions.

5.3.2 Matrice de préférences (performances)

Elle nous donne l'évaluation des (07) critères pris en considération en tenant compte des données concernant les conduites (voir l'annexe) . Nous avons utilisé les paramètres de diagnostic suivants :

- Durée d'étude : 1 an
- Temps de pompage : 18 heures
- Prix de l'eau : 13,5 Da / m^3
- Prix approximatif de pompage de l'eau : 2 Da / m^3

La matrice de performance est la suivante

N d'action	satisfaction des besoins (g1)(-)	taux de fuite (g2)(%)	taux de casse (g3)(%)	taux de conformité (g4)(%)	taux de plaintes (g5)(%)	fréquences des interruptions (g6)(-)	cout annuel de réhabilitation (g7)(DA)
pipe1	11783,009	0,132	0	0	70,067	7,143	0
pipe2	3112,118	0	0	0	119,297	7,143	0
pipe3	52768,557	0,047	0	0	157,264	7,143	5
pipe4	8089,28	0,103	0	0	119,094	7,143	2
pipe5	298241,959	0	0	0	0	7,143	2
pipe6	7977,118	0,292	0	0	42,951	7,143	0
pipe7	51048,959	0,046	0,046	168,912	152,097	7,143	0
pipe8	6669,174	0,046	0	0	89,249	7,143	5
pipe9	19697,955	0	0	0	0	7,143	10
pipe10	155517,471	0	0,064	9,061	9,485	8,571	0
pipe11	5436,856	0	0	0	0	7,143	10
pipe12	22893,352	0	0	0	0	8,571	6,667
pipe13	43062,885	0	0	0	0	8,571	0
pipe14	70747,017	0	0	0	0	8,571	0
pipe15	13150,121	0	0	0	0	8,571	0
pipe16	14189,95	0	0	0	0	8,571	5
pipe150	90348,718	0	0	0	0	8,571	26,667
pipe154	13999,927	0	0	0	0	8,571	5
pipe155	12522,855	0	0	0	0	8,571	0
pipe156	22422,04	0	0	0	0	8,571	40
pipe157	9176,343	0	0	0	0	8,571	0
pipe158	8415,651	0	0	0	0	8,571	0
pipe159	9741,661	0	0	0	0	8,571	10
pipe160	5297,737	0	0	0	0	8,571	20
pipe161	45411,618	0	0	0	0	8,571	6,667
pipe162	49847,782	0	0	0	0	8,571	0
pipe163	16457,199	0	0	0	0	8,571	5
pipe164	35560,61	0	0	0	0	8,571	13,333
pipe193	27052,329	0	0	0	0	8,571	30
pipe199	33105,093	0	0	0	0	8,571	0
pipe198	14758,052	0	0	0	0	8,571	30
pipe197	20434,049	0	0	0	0	8,571	0
pipe127	15703,159	0	0	0	0	8,571	10
pipe128	48332,678	0	0	0	0	8,571	20
pipe170	18918,964	0	0	0	0	8,571	10
pipe173	18917,484	0	0	0	0	8,571	10
pipe172	26573,564	0	0	0	0	8,571	5
pipe171	4162,717	0	0	0	0	8,571	20
pipe169	15417,284	0	0	0	0	8,571	0
pipe167	64325,317	0	0	0	0	8,571	25
pipe166	6177,561	0	0	0	0	8,571	0
pipe200	13294,618	0	0	0	0	8,571	0
pipe201	246,613	0	0,145	15,021	26,219	10	0
pipe202	46235,7	0	15,21	21,69	0	0	20
pipe203	4172,8	0,046	0	0	215,26	8,571	5
pipe204	4224,64	0	0	0	0	8,571	40
pipe205	2975,73	0	0	0	0	0	0
pipe206	1764,56	375,13	0	16,19	0	0	40
pipe207	7779,17	0,046	0	0	89,249	7,143	10
pipe208	642,613	0	0,145	15,021	26,219	10	0

TABLE 5.1 – Valeurs des fonctions objectifs

5.4 Paramètres de la méthode

Pour exploiter la différence apparente entre les performances des actions, nous allons introduire les paramètres suivants :

- Seuil de préférence stricte,
- Seuil d'indifférence,
- Seuil de veto,
- Poids des critères,
- Sens d'optimisation (minimisation, maximisation)

La modélisation

Les données du tableau suivant présentent les paramètres de la modélisation :

	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7
pr01	1000	0.05	0.03	160	10	0	2
pr02	250000	0.2	0.12	10	155	10	30
poids	18	25	30	5	8	12	2
Seuil de concordance q_j	500	0.02	0.008	50	5.5	0.2	0.5
Seuil de préférence p_j	1000	0.04	0.016	100	11	0.4	1
Seuil de veto v_j	5000	0.1	0.1	150	12	2	5
Sens d'optimisation	min	min	min	max	min	min	min

Avec pr01 et pr02 : les actions de référence .

5.5 Les étapes de l'application

- Etape 1 :

Consiste, l'introduction de la description du probleme à étudier, voir la figure suivante :

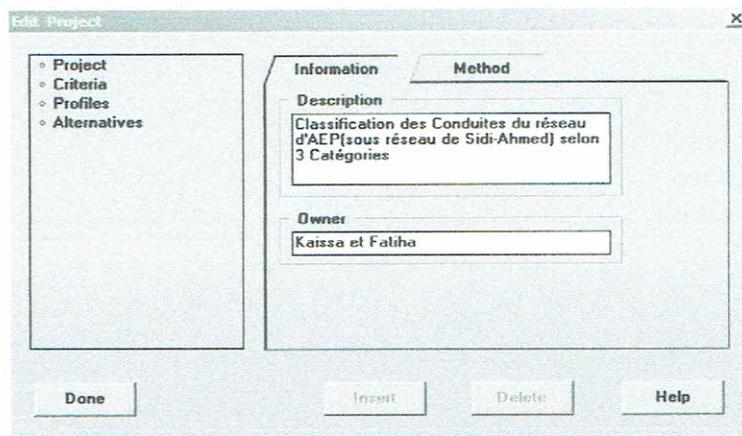


FIGURE 5.2 – Interface d'accueil

Consiste, l'introduction du seuil de coupe qu'on a choisi $\lambda=0.75$, voir la figure suivante :

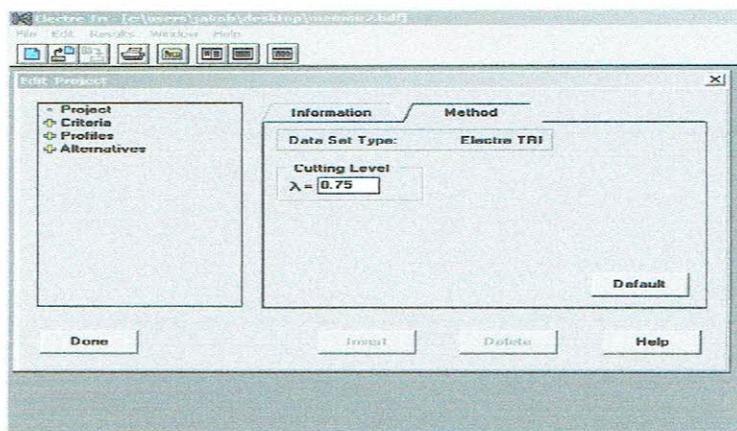


FIGURE 5.3 – Seuil de coupe

• **Etape 2 :**

L'introduction des nombres des 7 critères de g_1 à g_7 , leurs noms, leurs codes, leurs poids respectifs, ainsi que le sens d'optimisation de chacun, comme le montre la figure suivante :

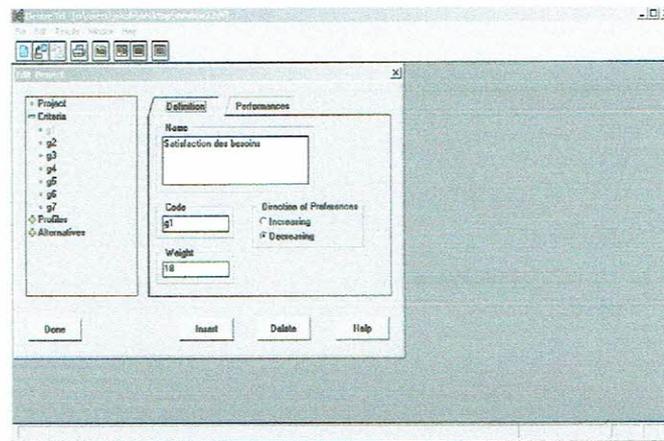


FIGURE 5.4 – Introduction des données

• **Etape 3 :** Les actions de référence :

Nous introduisons les deux actions de référence, leurs noms et leurs code comme le montre la figure suivante.

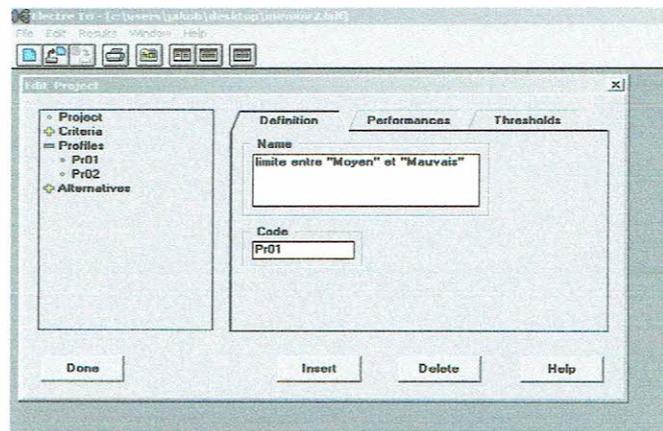


FIGURE 5.5 – Définition des actions de référence

Nous saisissons les performances de chaque action de référence par rapport à chaque critère g_i ; $i = \overline{1,7}$ comme le montre la figure suivante :

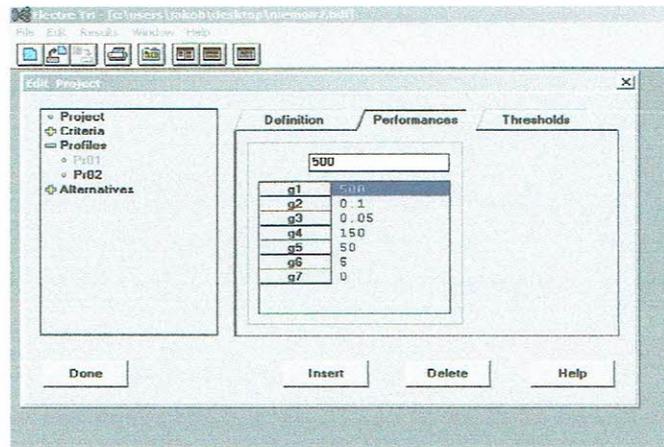


FIGURE 5.6 – Performance des actions de référence

Indice de concordance, indice de discordance et seuil de veto pour chaque profil selon les fonctions objectifs comme le montre la figure suivante :

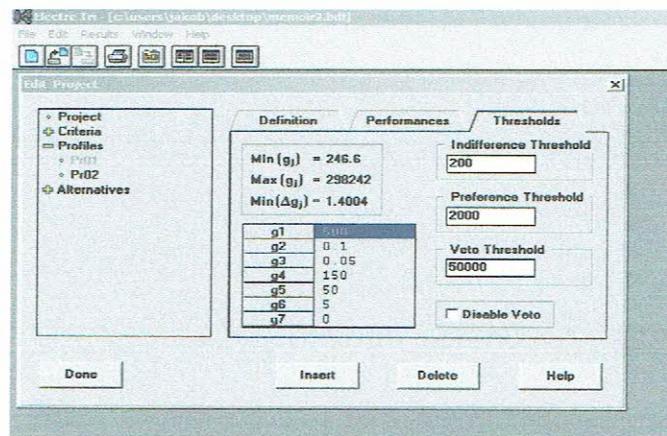


FIGURE 5.7 – Seuil des actions de référence

La saisie des noms des 3 catégories bon, moyen et mauvais comme le montre la figure suivante :

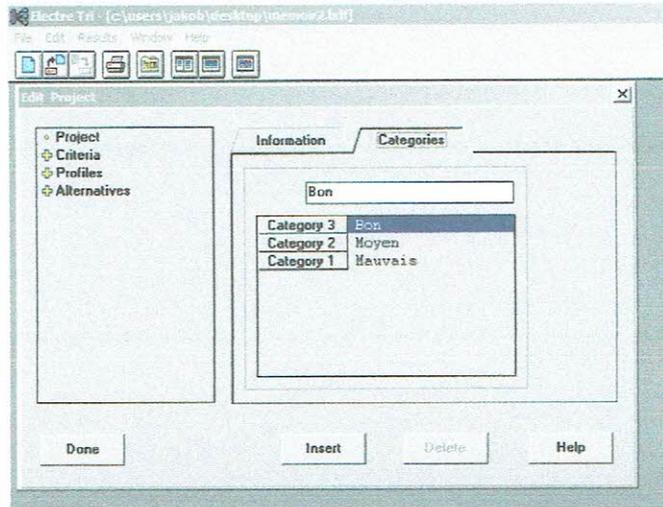


FIGURE 5.8 – Les catégories

●**Etape 4** :Définition des 50 actions

Introduction des noms des 50 actions et leurs codes, comme le montre la figure suivante :

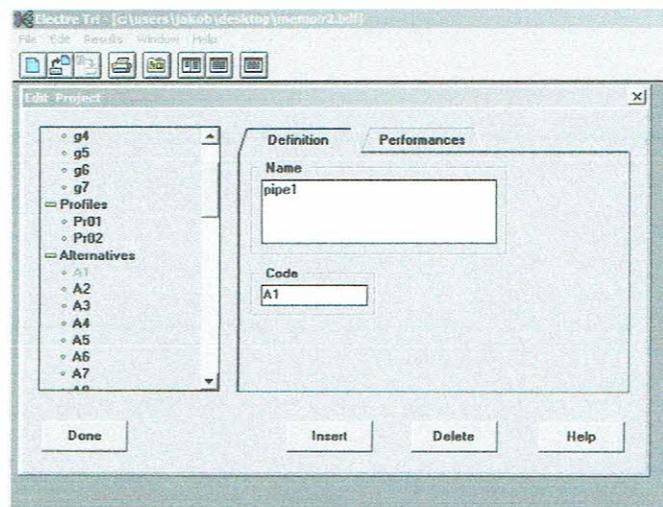


FIGURE 5.9 – Définition des actions

Saisir les performances de toutes les actions selon les 7 critères déjà définis, comme la montre la figure suivante :

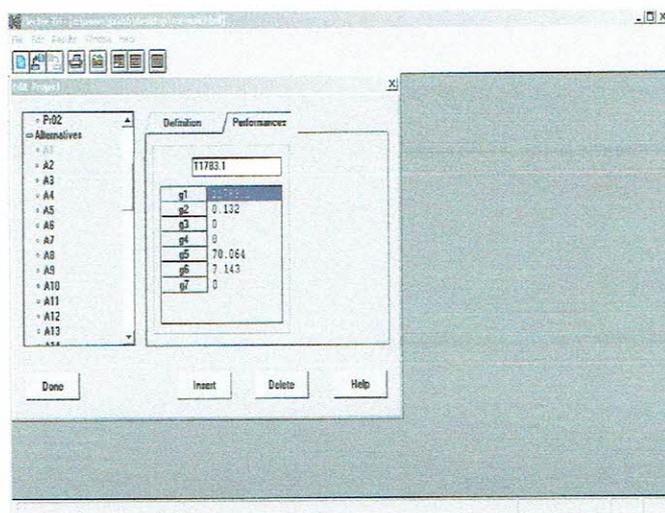


FIGURE 5.10 – Les performances des actions

Les résultats que l'application fournira

Cette application nous donne :

- Affectation aux catégories ;
- Affectation aux alternatives ;
- Comparaison des profils ;
- Performances des alternatives ;
- Matrice des degrés de crédibilité ;
- Visualisation des alternatives ;
- Statistic de l'affectation .

Dans ce qui suit, tous ces résultats seront représentés dans des tableaux respectifs.

Matrice des degrés de crédibilité :

/	Pr2		Pr1		/	Pr2			Pr1
	conduite	$\delta(A_i, Pr2)$	$\delta(Pr2, A_i)$	$\delta(A_i, Pr1)$		$\delta(Pr2, A_i)$	conduite	A	B	C	D
A1	1	0	0	0.68	A162	1	0	0	0.364
A2	1	0	0	0.43	163	1	0	0	0.384
A3	1	0	0	0.7	A164	1	0	0	0.384
A4	1	0	0	0.7	A193	1	0	0	0.384
A5	0	0	0	0.384	A199	1	0	0	0.364
A6	0.4	0	0	0.68	A198	1	0	0	0.384
A7	1	0	0	0.98	A197	1	0	0	0.364
A8	1	0	0	0.7	A127	1	0	0	0.384
A9	1	0	0	0.384	A128	1	0	0	0.384
A10	1	0	0	0.73	A170	1	0	0	0.384
A11	1	0	0	0.384	A173	1	0	0	0.384
A12	1	0	0	0.384	A172	1	0	0	0.384
A13	1	0	0	0.364	A171	1	0	0	0.384
A14	1	0	0	0.364	A169	1	0	0	0.364
A15	1	0	0	0.364	A167	1	0	0	0.384
A16	1	0	0	0.384	A166	1	0	0	0.364
A150	1	0	0	0.384	A200	1	0	0	0.364
A154	1	0	0	0.384	A201	0.7	0	0	0.639
A155	1	0	0	0.364	A202	0	0	0	0.684
A156	0	0	0	0.384	A203	0	0	0	0.7
A157	1	0	0	0.364	A204	0	0	0	0.384
A158	1	0	0	0.364	A205	1	0	0	0.364
A159	1	0	0	0.384	A206	0	0	0	0.635
A160	1	0	0	0.384	A207	1	0	0	0.7
A161	1	0	0	0.384	A208	0.7	0	0	0.73

Comparaison avec profil :

/	Pr2	Pr1	/	Pr2	Pr1
A1	Y	R	A162	Y	R
A2	Y	R	A163	Y	R
A3	Y	R	A164	Y	R
A4	Y	R	A193	Y	R
A5	R	R	A199	Y	R
A6	R	R	A198	Y	R
A7	Y	Y	A197	Y	R
A8	Y	R	A127	Y	R
A9	Y	R	A128	Y	R
A10	Y	R	A170	Y	R
A11	Y	R	A173	Y	R
A12	Y	R	A172	Y	R
A13	Y	R	A171	Y	R
A14	Y	R	A169	Y	R
A15	Y	R	A167	Y	R
A16	Y	R	A166	Y	R
A150	Y	R	A200	Y	R
A154	Y	R	A201	R	R
A155	Y	R	A202	R	R
A156	R	R	A203	R	R
A157	Y	R	A204	R	R
A158	Y	R	A205	Y	R
A159	Y	R	A206	R	R
A160	Y	R	A207	Y	R
A160	Y	R	A208	R	R

Affectation des actions aux catégories :

		Pessimiste		
		Bon	Moyen	Mauvais
optimiste	Bon		A7	A1-A2-A9-A10-A11-A12-A13-A14-A15- A16-A150-A154-A5-A202-A193-A199-A198 A197-A127-A128-A170-A173-A172-A171 A169-A167-A166-A200-A201-A204-A205 A208A1-A3-A4-A7-A8-A207-A6-A203-A206
	Moyen			
	Mauvais			

TABLE 5.2 – Résultat des affectations Pessimistes et Optimistes des actions aux 3 catégories

Les statistiques de l'affectation sont montrées dans la figure suivante :

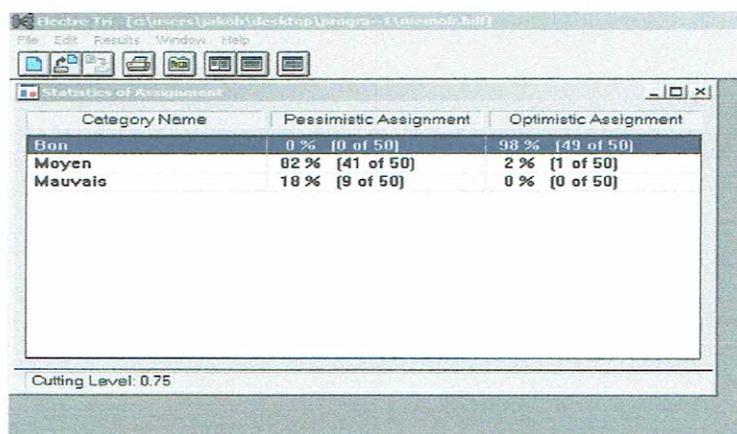


FIGURE 5.11 – Statistiques de l'affectation

Les pessimistes ont classé toutes les actions mauvaises sauf l'action A7 (Moyen). Les optimistes, par contre les ont toutes classées bonnes.

Discussion des résultats

La question que l'on doit se poser en analysant ces résultats est la suivante :

Est ce que ce classement est stable si on perturbe certains paramètres de la modélisation, pour répondre à cette question, on procède par l'analyse de robustesse.

Analyse de stabilité des résultats

La difficulté de la méthode multicritère vient du fait que le résultat final obtenu dépend :

- des données et du modèle de prédiction mais aussi ;
- des profils de référence et des seuils d'indifférence q , de préférence p , et de veto v ;
- des poids des critères ;
- du seuil de coupe (λ) utilisé pour la comparaison finale de deux actions a et b ;

Cela nécessite d'étudier la stabilité et les intervalles de variations des résultats obtenus.

5.5.1 Analyse de robustesse

5.5.1.1 Généralité

Afin d'étudier la stabilité ou la fragilité des résultats d'affectation, il est nécessaire d'élaborer une analyse de robustesse qui consiste à étudier l'impact sur les résultats d'affectation obtenus en faisant varier les valeurs attribuées aux divers paramètres préférentiels (seuils de discrimination, poids des critères, niveau de coupe). L'analyse de robustesse cherche à élaborer des recommandations aussi synthétiques que possible, acceptables pour une vaste gamme de valeurs des paramètres. C'est en effectuant une telle analyse qu'il est possible de vaincre les réticences, aussi bien du décideur que de l'homme d'étude, quant aux valeurs initiales des paramètres.

Si, en faisant varier les paramètres autour de la valeur initiale, les résultats ne sont pas modifiés de manière importante, la recommandation ou l'affectation est dite stable. En d'autres termes, on cherche à déterminer le domaine de variation de certains paramètres dans lequel l'affectation reste stable. (Maystre et al, 1994) considère que l'analyse de robustesse sert à fournir au décideur une recommandation stable et robuste, qui l'informe quant à la capacité de la solution proposée à résister à des variations entre la réalité et le modèle censé la représenter [12].

5.5.1.2 Les paramètres à tester dans l'étude de robustesse sont :

- le niveau de coupe (λ);
- le seuil d'indifférence q et le seuil de préférence p associés à chaque critère;
- le seuil de veto v associés à chaque critère.

5.5.1.3 Niveau de coupe λ

λ	(Moyen,Mauvais)	(bon,Moyen)	(Bon,Mauvais)	(Moyen,Moyen)	(Bon,Bon)
0.5	4	34	3	9	0
0.65	1	35	6	8	0
0.70	1	36	6	7	0
0.75	0	40	9	1	0
0.80	0	40	9	1	0
0.86	0	40	9	1	0

Le tableau ci-dessus montre que les résultats de l'intervalle des valeurs [0.75 ; 0.86] sont bien stables ce qui montre en fin de compte la robustesse des nos affectations.

5.5.1.4 Le seuil d'indéférence q et le seuil de préférence p

Dans le logiciel les valeurs des deux seuils d'indifférence q et de préférence p sont liées par un ratio égal à 2. Avant de déterminer l'intervalle de variation de chaque seuil nous avons testé l'influence d'un changement du ratio p/q sur les résultats finaux. Le Tableau suivant présente un ratio de 1.5 entre p_i et q_i sur le critère i . Le changement du ratio entre p et q est fait critère par critère.

	g1	g2	g3	g4	g5	g6	g7
pr01	1000	0.05	0.03	160	10	0	2
pr02	250000	0.2	0.12	10	155	10	30
poids	18	25	30	5	8	12	2
seuil de concordance q_j	500	0.02	0.008	50	5.5	0.2	0.5
seuil de prérence p_j	750	0.03	0.012	75	0.25	0.3	0.75
seui de veto v_j	5000	0.1	0.1	150	12	2	5
sens d'optimisation	min	min	min	max	min	min	min

Les séries montre que le ratio entre les seuils p et q n'a pas beaucoup d'influence sur l'affectation des conduites au sein des catégories de priorité. Autrement dit ce ces résultats sont bien stables en (bon, moyen).

5.5.1.5 Le seuil de veto

Le rôle du seuil de veto revient à modifier l'importance d'un critère vis-à-vis des autres critères. Si ce seuil est atteint les 2 actions considérées peuvent être incomparables selon la procédure ELECTRE TRI. C'est le cas, par exemple, lorsqu'une conduite (A1) ne peut plus être classée comme meilleure que la conduite (A2) bien que les performances sur tous les critères soient meilleures car pour au moins un critère le seuil de veto est atteint. L'étude des relations entre les critères utilisés semble indispensable pour comprendre l'effet du changement du seuil de veto d'un critère sur les autres critères[10].

5.5.1.6 Conclusion

L'objet de ce chapitre était de présenter le modèle informatique pour l'optimisation de la gestion multicritère d'un réseau d'AEP par l'exécution de notre applixcation sur le cas du réseau de Sidi Ahmed nous avons pu ressortir les conclusions suivantes : ce sont les actions appartenant à la case (Bon, Moyen) qui sont les meilleures actions, en d'autres termes, les conduite de cette catégorie sont les conduites en bon état.

- Les conduites appartenant à la case (Moyen,Mauvais) sont les conduites en mauvais état.
- Les conduites appartenant à la case (Moyen,Moyen) sont les conduites en moyen état.

Annexe

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	Longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 1	1	2	1.72	300	165.90
Pipe 2	2	3	1.16	300	112.17
Pipe 3	3	4	18.21	80	0.24
Pipe 4	4	5	35.80	80	0.12
Pipe 5	3	6	431.35	350	111.93
Pipe 6	6	7	106.80	350	111.45
Pipe 7	7	8	28.52	125	5.13
Pipe 8	8	9	42.68	100	3.06
Pipe 9	9	10	38.02	100	1.14
Pipe 10	10	11	212.36	100	0.48
Pipe 11	8	12	187.47	96.8	0.87
Pipe 12	9	13	44.72	79.2	1.35
Pipe 13	13	14	124.64	55.4	0.57
Pipe 14	7	15	226.40	350	105.45
Pipe 15	15	16	9.69	79.2	1.11
Pipe 16	16	17	44.82	79.2	0.21
Pipe 17	16	18	72.40	79.2	0.33
Pipe 18	15	19	251.61	350	103.74
Pipe 19	19	20	104.46	250	48.78
Pipe 20	20	21	43.84	250	42.99
Pipe 21	21	22	17.66	250	41.88
Pipe 22	22	23	211.30	100	0.72
Pipe 23	21	24	97.59	50	0.45
Pipe 24	22	25	19.82	250	40.38
Pipe 25	25	26	190.33	100	0.87
Pipe 26	25	27	166.78	250	37.86
Pipe 27	27	28	3.55	250	34.17

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	Longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 28	28	29	2.15	250	31.56
Pipe 29	29	30	19.29	250	30.7
Pipe 30	30	31	45.44	250	28.86
Pipe 31	31	32	10.80	250	24.78
Pipe 32	32	33	11.52	250	23.52
Pipe 33	33	34	100.85	250	21.12
Pipe 34	34	35	96.35	200	19.77
Pipe 35	35	36	11.17	200	17.52
Pipe 36	36	37	180.74	100	1.50
Pipe 37	37	38	35.22	66	0.72
Pipe 38	27	39	91.25	79.2	2.49
Pipe 39	39	40	59.35	79.2	0.57
Pipe 40	39	41	42.67	79.2	1.02
Pipe 41	41	42	90.53	55.4	0.42
Pipe 42	40	43	29.73	55.4	0.15
Pipe 43	29	44	77.41	96.8	0.36
Pipe 44	28	45	52.60	100	2.34
Pipe 45	45	46	77.79	100	0.36
Pipe 46	45	47	79.61	100	1.02
Pipe 47	47	48	68.84	100	0.33
Pipe 48	30	49	92.08	80	1.26
Pipe 49	49	50	90.35	80	0.42
Pipe 50	31	51	9.58	100	3.84
Pipe 51	51	54	61.69	100	0.27
Pipe 52	51	52	8.19	80	3.21
Pipe 53	52	53	172.65	80	0.79
Pipe 54	53	52	172.46	80	-0.80
Pipe 55	32	55	128.93	55.4	0.60
Pipe 56	33	56	29.18	100	1.89
Pipe 57	56	57	34.69	100	0.15
Pipe 58	56	58	156.11	100	0.72
Pipe 59	34	59	72.92	50	0.33
Pipe 60	35	60	20.85	100	1.77
Pipe 61	60	61	86.06	100	1.29
Pipe 62	61	62	47.79	100	0.21
Pipe 63	61	63	49.77	100	0.24
Pipe 64	36	88	98.78	150	15.12
Pipe 65	64	65	113.44	100	1.56
Pipe 66	65	66	153.84	80	0.72
Pipe 67	91	68	129.82	80	0.60

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	Longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 68	64	70	27.43	125	12.27
Pipe 69	70	69	49.41	100	6.80
Pipe 70	67	69	149.91	80	-2.85
Pipe 71	69	75	18.99	100	3.02
Pipe 72	75	74	83.44	100	1.94
Pipe 73	74	73	39.31	100	0.98
Pipe 74	73	72	64.03	100	-0.46
Pipe 75	72	71	89.57	100	-2.11
Pipe 76	71	70	99.96	100	-4.87
Pipe 77	71	86	23.61	80	2.04
Pipe 78	75	76	11.03	80	0.69
Pipe 79	76	77	33.29	80	0.17
Pipe 80	77	76	35.73	80	-0.16
Pipe 81	74	80	46.19	80	0.99
Pipe 82	80	81	38.14	80	0.19
Pipe 83	81	80	46.75	80	-0.20
Pipe 84	86	74	29.66	80	0.78
Pipe 85	86	78	13.53	80	1.02
Pipe 86	78	79	45.28	80	0.25
Pipe 87	79	78	60.55	80	-0.23
Pipe 88	72	82	18.87	66	1.05
Pipe 89	82	83	52.12	66	0.24
Pipe 90	83	82	55.66	66	-0.24
Pipe 91	73	84	21.40	66	0.99
Pipe 92	84	85	52.42	66	0.21
Pipe 93	85	84	44.76	66	-0.24
Pipe 94	38	87	61.03	50	0.27
Pipe 95	88	64	17.20	150	14.10
Pipe 96	88	89	15.86	50	0.66
Pipe 97	89	90	29.54	50	0.15
Pipe 98	89	90	34.64	50	0.15
Pipe 99	67	91	37.01	80	2.04
Pipe 100	91	92	5.94	50	0.69

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	longueur (m)	Diametre(mm)	débit(L/S)
Pipe 101	92	93	35.30	50	0.17
Pipe 102	93	92	38.05	50	-0.16
Pipe 103	20	94	41.64	125	5.01
Pipe 104	94	95	44.61	79.2	2.43
Pipe 105	95	96	40.29	79.2	1.14
Pipe 106	96	97	105.38	55.4	0.48
Pipe 107	95	98	98.90	55.4	0.45
Pipe 108	94	99	194.98	125	1.56
Pipe 109	99	100	48.69	55.4	0.18
Pipe 110	99	110	58.19	125	0.27
Pipe 111	19	102	8.61	250	54.15
Pipe 112	102	103	24.61	250	52.47
Pipe 113	103	104	39.45	250	50.94
Pipe 114	104	105	19.94	250	49.29
Pipe 115	105	106	14.19	250	46.65
Pipe 116	106	107	52.99	250	40.86
Pipe 117	107	108	88.96	250	39.57
Pipe 118	108	109	66.91	250	35.43
Pipe 119	109	110	44.29	250	31.71
Pipe 120	110	111	14.31	250	25.14
Pipe 121	102	112	4.25	80	1.56
Pipe 122	112	113	102.84	80	0.48
Pipe 123	112	114	67.07	55.4	0.30
Pipe 125	103	116	144.29	80	0.66
Pipe 126	104	117	86.26	100	1.05
Pipe 127	117	118	70.80	79.2	0.33
Pipe 128	105	119	277.27	79.2	1.26
Pipe 129	106	120	34.61	100	5.43
Pipe 130	120	121	77.33	55.4	0.36
Pipe 131	120	122	63.26	100	4.38
Pipe 132	122	123	35.79	96.8	1.73
Pipe 133	123	128	162.36	102	0.86
Pipe 134	122	124	47.08	102	2.08

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 135	124	125	38.17	55.4	0.18
Pipe 136	124	126	18.38	102	1.42
Pipe 138	126	128	73.05	96.8	0.22
Pipe 139	126	129	68.91	102	0.45
Pipe 140	129	130	14.24	55.4	0.06
Pipe 141	107	131	12.75	96.8	0.75
Pipe 142	131	132	30.11	55.4	0.15
Pipe 143	131	133	44.67	55.4	0.21
Pipe 144	108	137	42.29	100	3.45
Pipe 145	134	135	51.28	66	0.24
Pipe 146	134	136	58.80	100	2.55
Pipe 147	136	137	156.77	100	1.56
Pipe 148	137	138	77.87	80	0.48
Pipe 149	138	139	15.37	50	0.06
Pipe 150	109	140	229.75	79.2	1.05
Pipe 151	109	141	13.87	79.2	1.20
Pipe 152	14	142	33.92	55.4	0.15
Pipe 153	141	143	51.00	55.4	0.24
Pipe 154	141	144	41.76	55.4	0.18
Pipe 155	110	145	142.44	220.4	5.88
Pipe 156	145	146	32.19	220.4	0.12
Pipe 157	145	147	33.06	176.2	5.04
Pipe 158	147	148	84.39	79.2	0.39
Pipe 159	147	149	49.13	176.2	3.93
Pipe 160	149	150	22.16	176.2	3.63
Pipe 161	150	151	13.01	96.8	3.51
Pipe 162	151	152	42.94	44	1.59
Pipe 163	152	153	202.11	40	0.69
Pipe 164	151	155	111.78	79.2	1.17
Pipe 166	155	156	31.54	55.4	0.15
Pipe 167	155	157	36.86	55.4	0.18
Pipe 168	11	158	34.24	100	8.31
Pipe 169	158	159	341.71	100	2.44
Pipe 170	159	160	49.87	100	-0.71

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 171	160	158	198.41	100	-3.23
Pipe 172	160	161	148.54	79.2	0.69
Pipe 173	159	162	147.59	79.2	0.69
Pipe 174	11	163	125.28	250	16.05
Pipe 175	163	164	86.11	150	2.13
Pipe 176	164	165	82.97	102	0.39
Pipe 177	164	166	102.48	102	0.48
Pipe 178	163	167	21.93	250	12.84
Pipe 179	167	168	154.70	100	0.72
Pipe 180	167	169	49.06	250	11.07
Pipe 181	169	170	136.93	100	0.63
Pipe 182	169	171	66.12	250	9.27
Pipe 183	171	172	50.71	100	2.04
Pipe 184	172	173	194.87	55.4	0.90
Pipe 185	171	174	51.13	250	6.45
Pipe 186	174	175	30.49	250	5.68
Pipe 187	174	175	77.96	55.4	0.05
Pipe 188	175	176	70.22	250	4.92
Pipe 189	176	177	151.71	250	2.27
Pipe 190	177	178	46.60	250	0.12
Pipe 191	177	179	13.47	100	1.70
Pipe 192	176	181	11.42	100	1.99
Pipe 193	181	179	156.72	100	0.10
Pipe 194	179	180	108.89	80	0.90
Pipe 195	180	181	212.73	80	-0.63
Pipe 196	180	182	48.73	50	0.21
Pipe 197	2	183	119.02	300	53.73
Pipe 198	183	184	75.11	250	53.73
Pipe 199	184	185	332.89	250	53.73
Pipe 200	185	186	144.21	300	3.81
pipe201	186	187	17.97	100	0.09
Pipe 202	186	188	283.57	300	2.16
Pipe 203	188	189	17.02	50	1.11

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 204	189	190	113.16	55.4	0.51
Pipe 205	191	192	58.92	100	2.37
Pipe 206	192	193	128.16	100	1.20
Pipe 207	193	194	20.67	100	0.09
Pipe 208	193	195	45.42	79.2	0.21
Pipe 209	192	196	35.36	79.2	0.15
Pipe 210	197	198	137.66	40	0.63
Pipe 211	185	191	44.68	300	49.26
Pipe 203	188	189	17.02	50	1.11
Pipe 204	189	190	113.16	55.4	0.51
Pipe 205	191	192	58.92	100	2.37
Pipe 206	192	193	128.16	100	1.20
Pipe 207	193	194	20.67	100	0.09
Pipe 208	193	195	45.42	79.2	0.21
Pipe 209	192	196	35.36	79.2	0.15
Pipe 210	197	198	137.66	40	0.63
Pipe 211	185	191	44.68	300	49.26
Pipe 212	191	197	74.32	300	46.20
Pipe 213	197	199	84.71	300	44.40
Pipe 214	199	200	32.60	96.8	6.39
Pipe 215	200	202	158.16	79.2	2.40
Pipe 216	202	201	140.58	79.2	1.38
Pipe 217	201	203	133.06	79.2	0.45
Pipe 218	200	204	184.49	79.2	2.67
Pipe 219	204	205	128.10	79.2	1.59
Pipe 220	205	206	166.12	55.4	0.57
Pipe 221	199	207	130.17	300	37.11
Pipe 222	207	208	7.22	80	2.61
Pipe 223	208	209	196.22	55.4	0.69
Pipe 224	208	210	182.96	80	0.63
Pipe 225	207	211	206.81	300	33.33
Pipe 226	211	212	275.76	216	31.68
Pipe 227	212	213	5.43	50	1.59

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	Longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 228	213	214	76.10	50	0.36
Pipe 229	213	215	128.50	33	0.45
Pipe 230	212	216	105.91	216	28.77
Pipe 231	216	217	2.40	110	9.87
Pipe 232	217	218	164.56	50	0.57
Pipe 233	217	219	270.67	110	7.80
Pipe 234	219	220	36.87	110	5.43
Pipe 235	220	221	28.75	110	3.60
Pipe 236	219	222	320	90	0.66
Pipe 237	220	223	174.09	40	0.81
Pipe 238	221	224	157.64	40	0.72
Pipe 239	221	225	300.11	63	1.02
Pipe 240	216	226	103.07	216	18.18
Pipe 241	226	227	71.13	50	0.24
Pipe 242	226	228	16.62	216	17.28
Pipe 243	228	229	236.61	80	0.81
pipe 244	228	230	159.40	216	15.06
Pipe 245	230	231	86.70	96.8	6.72
Pipe 246	231	232	9.90	96.8	0.03
Pipe 247	231	233	26.28	96.8	6.27
Pipe 248	233	234	24.11	96.8	3.09
Pipe 249	234	235	118.05	96.8	0.42
Pipe 250	234	236	475.86	96.8	1.08
Pipe 251	233	237	183.78	96.8	2.37
Pipe 252	237	238	46.38	96.8	0.15
Pipe 253	237	239	37.34	96.8	1.29
Pipe 254	239	240	64.65	96.8	0.21
Pipe 255	239	241	105.25	80	0.36
Pipe 256	230	242	58.67	150	7.29
Pipe 257	258	259	4.48	150	7.08
Pipe 258	243	244	80.79	100	3.27
Pipe 259	244	245	46.54	100	1.62

conduite	N° Noeud amont	N° Noeud aval (m)	Longueur (m)	Diametre(mm)	Débit(L/S)
Pipe 260	245	246	48.22	100	0.21
Pipe 261	244	247	116.86	55.4	0.54
Pipe 262	245	248	105.86	55.4	0.48
Pipe 263	243	249	196.16	100	2.76
Pipe 264	249	253	67.12	44	0.30
Pipe 265	249	250	56.33	100	1.29
Pipe 266	250	252	64.21	44	0.30
Pipe 267	250	251	73.59	100	0.24
Pipe 261	244	247	116.86	55.4	0.54
Pipe 262	245	248	105.86	55.4	0.48
Pipe 263	243	249	196.16	100	2.76
Pipe 264	249	253	67.12	44	0.30
Pipe 265	249	250	56.33	100	1.29
Pipe 266	250	252	64.21	44	0.30
Pipe 267	250	251	73.59	100	0.24

Conclusion générale

Les casses ou défaillances des conduites d'eau potable apparaissent comme le critère caractérisant leur vieillissement le plus simple à prendre en compte.

La décision de renouvellement doit tenir compte du réseau dans son ensemble. Elle s'effectue à l'échelle du réseau et non pas à l'échelle de la conduite. Il est donc important d'évaluer l'impact de l'indisponibilité d'une conduite sur le fonctionnement du réseau.

Afin de permettre aux gestionnaires des réseaux d'A.E.P, de faire une bonne gestion optimale, il est nécessaire de faire une étude de diagnostic approfondie. L'approche multicritère à la décision aide les gestionnaires à prendre la meilleure décision.

En s'appuyant sur les principes d'application de la méthode ELECTRE TRI, nous avons pu modéliser le problème, par la définition des actions potentielles, des actions de référence et des critères retenus pour atteindre la solution optimale. Nous avons fini notre travail par l'élaboration d'un modèle informatique et une exécution de ce modèle sur un cas réel (réseau d'A.E.P de Sidi Ahmed). Cette exécution sur le réseau de Oued-Ghir nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- l'obtention des mêmes meilleures actions pour différentes modélisations.
- L'existence d'actions qui occupent des catégories différentes pour les différentes modélisations est justifiée par l'utilisation des seuils impliquant le flou dans la préférence.

Les lois utilisées pour la modélisation du problèmes sont basées sur des études statistiques, ce qu'on ne retrouve pas chez les exploitants des réseaux algériens, c'est pour cela que nous recommandons aux services exploitants des réseaux d'A.E.P algériens l'établissement de fiches techniques où seront répertoriées les différentes défaillances et les différentes interventions effectuées sur le réseau pour pouvoir concevoir une base de données qui permettra d'obtenir le taux de défaillance qui reflète les caractéristiques spécifiques des réseaux d'A.E.P algériens.

Bibliographie

- [1] A.G.H.T.M
« **Les stations de pompage d'eau** »
Lavoisier, Tec. Et Doc., Paris, 1994.
- [2] Association Française pour l'Etude des Eaux
« **Fiabilité de la distribution d'eau potable – L'entretien des réseaux d'eau** »
Centre National de Documentation et de l'Information sur l'Eau, Paris, 1985
- [3] BLINDU I.(2004).Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle de dysfonctionnements hydraulique, Thèse doctorat, école nationale supérieur des mines Saint Etienne, France, 263p.
- [4] BELHOCINE M.
« Analyse multicritère pour l'optimisation de la gestion des réseaux d'A.E.P »
Mémoire de magistère, département d'hydraulique, Université de Béjaia, septembre 1999
- [5] BONIN J.
« Hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance »
Eyrolles, Paris, 1977
- [6] BRIERE F.G
« distribution et collecte des eaux »
Ecole polytechnique, Montréal, 2000
- [7] CELERIER J.L. et FABY J.A. « La dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux »
FNDAE – Office international de l'eau, Document Internet 98p



- [8] CHERRARED M. et TAHAKOURT A.
« Réflexion sur l'optimisation de la maintenance des réseaux d'A.E.P et l'élaboration d'un outil d'aide à la décision » 2^{me} séminaire maghrébin sur l'eau, Tizi Ouzou, juin 1998
- [9] DUPONT A.
« Hydraulique urbaine : Ouvrages de transport, élévation et distribution des eaux » - Tome 2 Eyrolles, Paris, 1979
- [10] CHERRARED M. et TAHAKOURT A. « Réflexion sur l'optimisation de la maintenance des réseaux d'A.E.P et l'élaboration d'un outil d'aide à la décision » 2^{ème} séminaire maghrébin sur l'eau, Tizi Ouzou, juin 1998
- [11] HAIDAR H.
« Réhabilitation des réseaux d'eau potable, amélioration du modèle CARE-W MARKOV (modèle de vieillissement d'une population de conduites »
Mémoire de DEA Génie civil Option Hydrologie urbaine Ecole doctorale MEGA – INSA-Lyon – ENTPE – ESIGEC, septembre 2003
- [12] Malandain J., (1999) Modélisation de l'état de santé des réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de la maintenance. Étude du patrimoine de l'agglomération de Lyon. Thèse de Doctorat n° 99 ISAL 0040 de l'INSA de Lyon, URGC / Hydrologie Urbaine, 206 p.
- [13] LEGAUFFRE P.
« Aided Computer Rehabilitation Water »
INSA-Lyon – URGC, Juin 2000
- [14] MAKSIMOVIC C. et TAJADA-GUIBERT J.A. et ROCHE P.A.
« Les nouvelles frontières de la gestion urbaine de l'eau »
Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 2001
- [15] MAYSTRE L.Y et PICTET J et SIMOS J.
« Les méthodes ELECTRE »
Presses Polytechniques et Universitaires.
- [16] MERAH F.
« Elaboration d'un modèle informatique d'aide multicritère pour la gestion des contrôles d'un réseau d'A.E.P »
Mémoire de magistère, département d'hydraulique, université de Béjaia, septembre 2002.

-
- [17] GAUFFRE P., LAFFRECHINE K., BAUR R., POINARD D., HAIDAR H., SCHIATTI M. (2004). Aide multicritère aux décisions de réhabilitation d'un réseau d'eau potable, XXIIe Rencontres Universitaires de génie civil, Marne-La-Vallée, France.
- [18] E. Chekroun, Aide à la décision, éditions Sirey, mars 1985.
- [19] SATIN M. et SELMI B.
« Guide technique de l'assainissement »
Le moniteur, Paris, 1999
- [20] VALIRON F (sous sa direction)
« Mémento de l'exploitant de l'eau, A.E.P et assainissement »
- [21] VINCKE P.
« L'aide multicritère à la décision »
Ellipses, Bruxelles
- [22] YAHIAOUI H. et KARTOUT M.
« Modélisation multicritère de la gestion des contrôles des réseaux d'A.E.P »
PFE Département recherche opérationnelle, Université de Béjaia, septembre 2000

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons entrepris l'étude de « l'optimisation multicritère de la gestion d'un réseau AEP » par la méthode ELECTRE TRI. Une étude de ce genre commence d'abord par l'obtention de toutes les données fonctionnelles et descriptives du réseau à étudier. Cette étape, suivie d'une étude de diagnostic approfondie, nous mène à construire une base de données du réseau. La modélisation mathématique des données du réseau est nécessaire pour l'élaboration d'un outil intelligent qui, dans notre étude, se base sur les principes de la méthode ELECTRE TRI. Ce modèle constitue un outil d'aide à la décision permettant aux gestionnaires des réseaux d'AEP de gérer et d'exploiter ces derniers d'une façon optimale, c'est-à-dire offrir une meilleure qualité de service pour les consommateurs et satisfaire tous leurs besoins, et ceci avec la prise en compte du facteur économique. On trouvera à la fin de ce mémoire, une application et une exécution du modèle sur un cas réel (le réseau d'A.E.P de Sidi Ahmed-Béjaia).

Mots clés : Conduite, défaillance, diagnostic, ELECTRE TRI, gestion, optimisation, outil d'aide à la décision.