

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



UNIVERSITÉ ABOU BAKR BELKAÏD TLEMÇEN

FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



**LABORATOIRE DE RECHERCHE : MOBILISATION ET
VALORISATION DES RESSOURCES EN EAU - ENSH**

Thèse présentée par :

Mme ABDELBAKI Chérifa Epouse : BOUKLI HACENE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Hydraulique

THEME

**Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution
à sa gestion à l'aide d'un SIG
- Cas du Groupement Urbain de Tlemcen -**

Soutenue publiquement le 11 décembre 2014 devant le jury composé de :

BOUANANI Abderezzak	Professeur	Président	UABT Tlemcen
TOUAIBIA Bénina	Professeur	Directrice de thèse	ENSH Blida
BEKKOUCHE Abdelmalek	Professeur	Examineur	CU d'Ain Temouchent
BETTAHAR Ahmed	Professeur	Examineur	UHBB Chlef
ERRIH Mohamed	Professeur	Examineur	USTO Oran
SEDDINI Abdelalli	Professeur	Examineur	UABT Tlemcen

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance à:

- *Mes chers parents pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis, pour tous les encouragements ainsi que pour leur soutien qui m'a permis de mener à terme le travail en question.*

Je le dédie également à:

- *Mon époux et mes enfants pour leur encouragement, patience et compréhension ;*
- *Mes chers frères, sœurs et gendres ;*
- *Toute ma grande famille et tous mes proches.*

Chérifa

Remerciements

Ce travail a vu le jour sous la direction de Mme TOUAIBIA Bénina, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida, qu'elle trouve ici l'expression de mes sincères remerciements pour avoir accepté de me diriger afin de mener à bien cette thèse. Pour ses conseils utiles, ses critiques fructueuses, je tiens à lui exprimer ici ma profonde reconnaissance.

Je remercie Pr BOUANANI Abderezzak d'avoir bien voulu m'honorer en acceptant de présider le jury chargé d'examiner ce travail.

Aussi, je remercie les professeurs BEKKOUCHE Abdelmalek, BETTAHAR Ahmed, ERRIH Mohamed et SEDDINI Abdelalli d'avoir accepté d'examiner ce travail malgré leurs nombreuses charges et préoccupations et je leur remercie pour l'intérêt qu'ils ont accordé à cette thèse.

Que Mr BESSEDIK Madani, Chef de département d'Hydraulique soit particulièrement remercié pour son aide et son soutien.

Je ne saurais oublier l'aide si précieuse de Messieurs: GOMER Dieter, ALLAL Mohamed Amine et DJELLOUL SMIR Sidi Mohamed ainsi que Mr TERKI HESSAINE Taha Amine, qu'ils acceptent ma profonde considération.

Je tiens également à remercier :

- *L'ensemble du personnel de l'Algérienne des Eaux*
- *L'ensemble du personnel de la Direction des Ressources en Eaux.*
- *L'ensemble du personnel de l'Agence Nationale du Cadastre*
- *L'ensemble du personnel de la GTZ (Algérie)*

Ma sympathie et profonde reconnaissance à tous les membres de la faculté de technologie pour leur aide précieuse et spontanée.

Un merci spécial est adressé à Messieurs KELLOUCHE Abdelhakim et MAHMOUDI Hacène, pour leur aide; ainsi qu'à tous mes ami(e)s pour le soutien moral.

Toute ma haute considération à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.

Un merci doit être adressé aux membres de ma famille, mes parents, mes sœurs, mes frères, mes gendres, à mes étudiants et spécialement à mon époux et mes enfants pour leur patience et leur compréhension.

A toutes les personnes qui m'ont assisté de près ou de loin, qu'ils trouvent dans ce modeste document l'expression de mes sincères remerciements.

Résumé : Ce travail consiste à modéliser le réseau d'alimentation en eau potable du groupement urbain de la ville de Tlemcen (GUT), Algérie, et à rechercher une approche de gestion de ce dernier via des outils d'investigation puissants que sont les systèmes d'information géographique (SIG). Le manque d'eau que subit ce groupement est dû non seulement à la conséquence de la sécheresse qu'a connue la ville cette dernière décennie, mais aussi à une gestion délicate et difficile du fait de l'utilisation d'outils d'investigation archaïques (archivage manuel, plans...). La tension relative à l'alimentation en eau potable qui règne actuellement ne cesse de croître avec le développement socio-économique, culturel et touristique du GUT, demandant une rationalisation de l'eau potable par crainte de voir s'instaurer un véritable souci pour son acquisition, si une politique d'anticipation, de planification et de contrôle ne suit pas. La croissance sociale dynamique conjuguée à la concentration de la population dans le centre urbain et à l'acuité des problèmes techniques liés à l'alimentation en eau confronte la maîtrise de la gestion du réseau et les interpelle pour une meilleure exploitation, voire pour une optimisation via l'acquisition et l'utilisation d'outils modernes que sont les SIG. Pour l'amélioration de la connaissance du réseau, la détection et la compréhension des désordres pouvant s'y produire, la simulation de son fonctionnement, le dimensionnement des extensions, la prévision des branchements particuliers, la décision sur le choix de l'emplacement et les situations futures, seule la gestion à l'aide d'un SIG pourra répondre à cette problématique. Dans un souci d'efficacité, une démarche méthodologique a été adoptée pour mettre en place le SIG de l'alimentation en eau potable du GUT, cette démarche est basée sur une approche systémique. Le SIG mis en place est couplé au modèle de simulation d'écoulement dans les réseaux de distribution « Epanet ». Des sous-programmes en langage MapBasic sont développés pour le couplage SIG - Epanet. Une enquête est ensuite menée, cette enquête a touché l'organisme gestionnaire du réseau de distribution d'eau potable et les abonnés du GUT. Les résultats sont prometteurs.

Mots clés : Approche systémique, Modélisation, SIG, Epanet, Réseau d'AEP, Gestion.

Abstract : This work aims to model a drinking water network and to seek a management approach for this latter for the Tlemcen city Urban Grouping (UGT), Algeria, using geographic information systems (GIS). Water shortages experienced by this grouping are not only a consequence of the drought which has occurred in the city over the last decade, but also a delicate and difficult management issue due to the use of archaic investigative tools (manual archiving, plans...). The current pressure on water supply keeps on growing along with socio-economic, cultural and tourism development of UGT, requiring rationalization of drinking water for fear of seeing a genuine concern being established regarding its availability, in the case where a policy of anticipation, planning and control did not follow. Due to the growth coupled with the social dynamics of population concentration in the urban centre, together with acute technical problems related to water supply, operators are faced with network management control and the challenge of a better practice, or even optimization through the acquisition and use of modern tools such as GIS. To improve the knowledge of the network, as well as the detecting and understanding of disorders that occur there, the simulation of operations, the design of extensions, the prediction of private connections, the decision making related to the location choice and future situations, only management using a geographic information system (GIS) is able to address this issue. In the interests of efficiency, a geographical information system is developed and coupled with "Epanet" simulation model of flow in distribution networks. MapBasic language subroutines are developed for coupling GIS-Epanet. A survey was conducted; this survey covered the organization managing of the water distribution network and subscribers of UGT. Results are promising.

Key words : Systemic approach, Modeling, GIS, Epanet, Water Distribution Network; Management

ملخص: يهدف هذا العمل الي نمذجة شبكة المياه الصالحة للشرب للمجمع الحضري لمدينة تلمسان و البحث عن طريقة لتسيير هاته الأخيرة باستعمال أنظمة جد مهمة ألا وهي أنظمة الاعلام الجغرافي. ان النقص في المياه الذي يعيشه هذا المجمع، ليس نتيجة الجفاف الذي عاشته المنطقة في العشرية الأخيرة فحسب، بل هو ناتج عن طرق التسيير البدائية المتبعة لتسيير هاته الشبكة. ان مشاكل الامداد بالمياه الصالحة للشرب بالمجمع الحضري بتلمسان تتزايد مع النمو الاجتماعي، الاقتصادي، الثقافي و السياحي للمجمع، وعليه فانه من المطلوب ترشيد استعمال المياه الصالحة للشرب. كما أن التزايد السكاني و كثافته على مستوى هذا المجمع يدعو مسيري المياه الى اتقان طرق التسيير و الاستغلال وكذا أخذ القرارات المناسبة فيما يخص الدراسات الخاصة بالترميم و التجديد وكذا توسيع شبكة المياه الصالحة للشرب. لذلك وجب استعمال أنظمة الاعلام الجغرافي، بل وأصبح ذلك أمرا حتميا كون هاته الأخيرة تستوفي المواصفات و تلبى الطلب في هذا المجال. في هذا الصدد، اقترحنا طريقة تعتمد على المقاربة النظامية، التي تم بعدها انشاء نظام الاعلام الجغرافي و ربطه ببرنامج Epanet، و قد تمت برمجة الرابط بواسطة MapBasic. وقمنا بعد ذلك بإنجاز تحقيق أو سبر للأراء، الهدف منه هو تحسين الخدمات بالمؤسسة المسيرة للمياه على مستوى المجمع الحضري بتلمسان و كذا زبائنه. وقد كانت النتائج المتحصل عليها مشجعة.

كلمات مفتاحية: مقارنة نظامية، نمذجة، أنظمة الاعلام الجغرافي، Epanet، شبكة الامداد بالمياه الصالحة للشرب، تسيير

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale	01
Chapitre I : Etude bibliographique	03
1. Notions de système & approche systémique (aperçu théorique)	04
1.1 Concepts généraux de l'approche systémique	04
1.2 Concepts fondamentaux de l'approche systémique	07
1.2.1 La complexité	07
1.2.2 Totalité ou globalité	08
1.2.3 Relation et interaction	08
1.2.4 Le système	09
1.3 Typologies et organisation des systèmes	09
1.4 Outils de modélisation systémique	10
1.4.1 Organisation en sous-systèmes	11
1.4.2. Représentation du système : mode graphique et matricielle	11
1.5. L'approche systémique et son application dans le domaine des ressources en eau	12
2. Les systèmes d'information géographique	14
2.1 Définitions	14
2.2. Structure et composantes d'un SIG	16
2.3. Base de données et système de gestion	17
2.3.1. Base de données	17
2.3.2. Système de gestion de base de données	18
2.3.3. Les modèles des SGBD	18
2.4. Modélisation spatiale	19
2.5. Mise en interaction des modèles et des SIG	20
2.5.1 Définition du couplage	21
2.5.2 Revue de littérature SIG	23
2.6. Couplage SIG modèle	25
3. Les réseaux d'alimentation en eau potable	26
3.1. Présentation des réseaux d'AEP	26
3.2 Classification des réseaux	26
3.3. Gestion des réseaux	26
3.4 Gestion informatisée des réseaux	27
3.5 Cartographie des réseaux	27
3.5.1 Mise a jour des plans	28
3.5.2 Fonds de plans	28
3.5.3 Cartographie des réseaux d'alimentation en eau potable a l'aide d'un SIG	29
3.6. Les indicateurs des services d'eau potable	30
3.7 Sectorisation des réseaux d'eau potable	32
3.8. Modélisation des réseaux d'AEP	33
3.9 Les logiciels de modélisation des réseaux d'AEP	33
4. Conclusion	36
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude - Le groupement urbain de Tlemcen-	37
1. Présentation du groupement urbain de Tlemcen	38
1.1 Climatologie	39
1.2 Géologie et hydrogéologie	39

1.3 Cadre topographique	40
1.4 Cadre démographique	41
1.5 Besoins en eau	42
2. Les ressources hydrauliques du GUT	42
2.1 Les eaux superficielles	42
2.2. Les eaux souterraines	43
3. Réseau de distribution	45
4. Rendements et performances du réseau d'AEP du GUT	47
4.1. Rendement du réseau du GUT	48
4.1.1 Rendement "production"	48
4.1.2 Rendement primaire	49
4.2 Indice linéaire des pertes en distribution	49
4.3 Indice linéaire de réparation	50
4.4 Taux moyen annuel de renouvellement du réseau	51
4.5. Taux de réclamations des abonnés	52
4.6. Pression de service	54
5. Interprétations et recommandations	54
6. Conclusion	55
Chapitre III : Approche systémique et modélisation conceptuelle des données du système d'alimentation en eau potable du GUT	56
1. Modélisation fonctionnelle du réseau d'AEP du GUT	57
1.1. Mesures techniques de performances	57
1.2 Production	58
1.3. Stockage	59
1.4. Distribution	60
2. Organisation structurelle du système d'AEP du GUT	61
3. Modélisation conceptuelle du système d'AEP du GUT	62
3.1. Présentation de la méthode Merise	62
3.2. Modèle conceptuel de données	63
3.2.1. Schéma conceptuel de données	66
3.2.2. Dictionnaire de données	68
3.3. Modèle logique de données (MLD)	70
3.4 Modèle physique de données (MPD)	71
3.5 Passage du modèle conceptuel au modèle logique de données	72
4. Conclusion	73
Chapitre IV : Mise en place du SIG et analyse de la complexité des données spatiales du réseau d'AEP du GUT	74
1. SIG et analyse de la complexité des données spatiales	75
2. Conception du SIG eau potable	76
2.1 Acquisition et inventaire des données	76
2.2. Analyse des données	77
2.3. Numérisation des données	78
2.4. Choix du SIG	80
2.5. Création de la base de données	80
2.6. Vérification et correction des erreurs	82
3. Requêtes SQL et analyses thématiques	83

3.1. Exemples de requêtes	83
3.2. Analyse des résultats des requêtes du réseau du GUT	85
3.3. Analyses thématiques	87
4. Création du modèle numérique de terrain du groupement urbain de Tlemcen	89
5. Sectorisation du réseau d'AEP du GUT	91
6. Conclusion	95
Chapitre V : Couplage SIG-Epanet et analyse du fonctionnement du réseau d'AEP du GUT	96
1. Choix du modèle de calcul	97
2. Démarche adoptée pour le couplage SIG Epanet	98
2.1. Passage SIG -Epanet	98
2.2. Simulation du fonctionnement du réseau d'AEP sous Epanet	100
2.3. Calage hydraulique du modèle	105
3. Synthèse et interprétations des résultats	105
4. Passage Epanet – SIG	111
5. Création de l'application « réseaux AEP »	115
5.1. Choix du langage de programmation	116
5.2. Présentation de l'application	116
6. Conclusion	120
Chapitre VI : Enquête et qualité de service pour l'AEP du GUT	121
1. Présentation de l'organisme gestionnaire de l'eau potable au niveau du GUT	122
1.1. Organisation de l'algérienne des eaux	123
1.2. Missions de l'algérienne des eaux	125
2. Démarche générale de l'enquête	125
2.1. L'enquête au niveau de l'ADE	126
2.2 L'enquête au niveau du GUT	126
3. Synthèse des résultats	127
3.1. Résultats de l'enquête au niveau de l'ADE	127
3.2. Résultats de l'enquête au niveau du GUT	130
4. Analyse des résultats de l'enquête	131
5. Recommandations et suggestions	134
6. Conclusion	136
Conclusion générale	138
Références bibliographiques	140
Annexes	161

LISTE DES FIGURES

- Figure I.1 : Définition de la systémique
Figure I.2 : Définition de la systémique
Figure I.3 : Quatre concepts de base de la systémique
Figure I.4: Typologie des différents systèmes
Figure I.5 : Eléments de la modélisation systémique
Figure I.6: Ensemble de processeurs représentés graphiquement et dans une matrice structurale correspondante
Figure I.7: Structure d'un système d'information géographique
Figure I.8: Spectre des constituants et de l'action du SIG
Figure I.9 : Les composantes informatiques d'un SIG
Figure I.10 : Les 4 grandes composantes d'un SIG
Figure I.11 : Modélisation du territoire par un modélisateur
Figure I.12: Schéma d'alimentation en eau potable
- Figure II.1 : Présentation de la région d'étude
Figure II.2 : Log lito stratigraphique synthétique des Monts de Tlemcen
Figure II.3 : Extrait de la carte topographique du GUT
Figure II.4 : Variation des rendements de production au niveau du GUT
Figure II.5 : Evolution des rendements primaires au niveau du GUT
Figure II.6 : Evolution de l'indice linéaire de pertes du GUT
Figure II.7 : Variation de l'indice linéaire de réparation pour le GUT
Figure II.8 : Variation des fuites réparées et les conduites rénovées au niveau du GUT
- Figure III.1 : Données de base et modélisation pour la fonction « Production »
Figure III.2 : Données de base et modélisation pour la fonction « Stockage »
Figure III.3 : Données de base et modélisation pour la fonction « Distribution »
Figure III.4 : Organisation structurelle d'un système d'AEP
Figure III.5 : Exemple de relation
Figure III.6 : Formalisme du modèle Entité – Association
Figure III.7 : Schéma conceptuel du réseau d'AEP
Figure III.8: Passage du schéma conceptuel au schéma relationnel
Figure III.9: Passage du schéma relationnel à la table relationnelle
- Figure IV.1 Préparation du fond de plan pour tracer le réseau d'AEP
Figure IV.2 : Extrait de plans à imprimer
Figure IV.3 : Définition de la structure de la table « Conduites »
Figure IV.4 : Structure de la table « Conduites »
Figure IV.5 : Extraits du réseau d'AEP du GUT (Partie Centre ville, Kiffane) sous SIG (Arc Gis 9.3.1)
Figure IV.6 : Résultat de requête pour l'affichage des conduites en Acier Galvanisé
Figure IV.7 : Résultat de requêtes affichant les conduites de refoulement

Figure IV.8 : Résultat de requêtes affichant les canalisations avec un diamètre inférieur à 80 mm

Figure IV.9 : Répartition des diamètres des canalisations dans le réseau d'AEP du GUT

Figure IV.10 : Différents diamètres des canalisations du réseau d'AEP du GUT

Figure IV.11 : Matériaux de construction des canalisations du réseau d'AEP du GUT

Figure IV.12 : Répartition des capacités de stockage dans le réseau d'AEP du GUT

Figure IV.13: Analyse thématique du réseau d'AEP du GUT selon la répartition des diamètres

Figure IV.14 : Création du MNT du GUT

Figure IV.15: La superposition du réseau d'AEP et le MNT du Groupement de Tlemcen

Figure IV.16 : Extrait de sectorisation du réseau d'AEP du GUT

Figure IV.17 : Exemple de détails de la chambre de vannes des réservoirs de Sidi Tahar et Chetouane 2

Figure V.1 : Passage SIG-EPANET

Figure V.2 : Le réseau du GUT importé sous EPANET

Figure V.3 : Exemple de saisie des données des canalisations

Figure V.4 : Exemple de saisie des données des nœuds

Figure V.5 : Exemple de saisie des données des réservoirs

Figure V.6 : Définition des options et lancement de simulations pour le réseau du GUT

Figure V.7 : Résultats de simulation du réseau du GUT

Figure V.8 : Résultats de simulation pour la zone d'Abou Tachfine à partir du réservoir de Kbassa-Tombeau du Raab

Figure V.9 : Résultats de simulation pour la zone de Birouana

Figure V.10 : Caractéristiques géométriques et hydrauliques d'une canalisation

Figure V.11 Exemple de répartition des débits dans le réseau d'AEP

Figure V.12 : Variation du débit au niveau du réservoir de Sidi Chaker

Figure V.13 : Pertes de charge calculées pour un diamètre donné

Figure V.14 : Répartition des vitesses en heure de pointe

Figure V.15 : Répartition de la vitesse pour le tronçon 199 (au cours de la journée)

Figure V.16 : Enveloppe des pressions au niveau du réseau d'AEP pour différentes périodes de simulation

Figure V.17 : Passage du format Epanet au format SIG pour la zone 2

Figure V.18 : Passage du format Epanet au format SIG pour la totalité du réseau

Figure V.19 : Conversion de format à l'aide du traducteur universel de Mapinfo

Figure V.20 : Résultat du passage Epanet - SIG

Figure V.21 : L'application « Réseaux d'AEP » développée

Figure V.22 : Répartition des débits de pointe au niveau du réseau de distribution

Figure V.23 : Extrait de la carte thématique du réseau d'AEP du GUT suivant la répartition de la vitesse et la pression

Figure V.24 : Présentation de l'application « Réseaux d'AEP »

Figure VI.1 : Organigramme de l'Algérienne des eaux unité de Tlemcen

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I.1 : Comparaison des approches analytiques et systémiques.
Tableau I.2 : Degrés de couplage tels que tirés de la littérature
Tableau I.3 : Indicateurs de services
Tableau II.1: Evolution démographique au niveau de la wilaya de Tlemcen
Tableau II.2: Evolution de la population au niveau du GUT
Tableau II.3: Evolution de la population au niveau du GUT pour l'horizon considéré
Tableau II.4 : Affectation des eaux des barrages vers le GUT
Tableau II.5 : Caractéristiques des principaux forages du groupement urbain de Tlemcen
Tableau II.6 : Débits exploités à partir des sources et des forages
Tableau II.7 : Réservoirs alimentant le GUT
Tableau II.8 : Requêtes commerciales et techniques du mois d'Aout 2008 au niveau du GUT
- Tableau III.1 : Pression au niveau des immeubles
Tableau III.2 : Démarche MERISE
Tableau III.3 : Attributs de la table « Conduites »
Tableau III.4 : Exemple de dictionnaire de données
Tableau III.5 : Les attributs de l'entité TRONÇON AEP
Tableau III.6 : Exemple de MPD
- Tableau IV.1 : Secteurs de distribution du réseau du GUT
Tableau VI.1 : Personnel de l'Algérienne Des Eaux
Tableau VI.2 : Répartition des zones étudiées
Tableau VI.3 : Synthèse des résultats concernant l'organisation au niveau de l'ADE
Tableau VI.4 : Synthèse des résultats concernant la gestion des ressources humaines
Tableau VI.5 : Synthèse des résultats concernant la culture et le climat du travail
Tableau VI.6 : Synthèse des résultats concernant les prestations de maîtrise d'œuvre
Tableau VI.7 : Synthèse des résultats concernant la prestation de service au niveau de l'ADE
Tableau VI.8 : Synthèse des résultats concernant la gestion du réseau
Tableau VI.9 : Synthèse des résultats concernant la qualité de prestation de service
Tableau VI.10 : Synthèse des résultats concernant la gestion du réseau (vision croisée, ADE – abonnés GUT)

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La mission d'un service d'eau potable est définie comme devant assurer la production et la distribution d'eau potable en quantité, qualité et pression convenues en fonction des capacités du système, en respectant la réglementation, en veillant à la sauvegarde du patrimoine et en assurant la sécurité des usagers, du public et du personnel. Ces exigences nécessitent de bien dimensionner le réseau mais également de le maintenir dans un état satisfaisant (Eisenbies P. et al., 2002). Aussi, la maîtrise, en quantité et en qualité, de l'alimentation en eau potable (AEP), impose des investigations précises dans le système de distribution pour prétendre à une gestion performante en termes de technicité, d'administratif et de planification.

En Algérie, la tension relative à l'AEP ne cesse de s'accroître face à une demande croissante. Les aléas climatiques observés, conjugués à une forte démographie en milieu urbain ont contribué à une pénurie incontournable des ressources mobilisables. Les politiques adoptées ces vingt dernières années, en termes de construction de barrages, de dessalement de l'eau de mer, restent insuffisantes (Allal et al., 2012). Une gestion non adaptée et insuffisamment planifiée s'est greffée, et a créé des tensions difficilement maîtrisables dans la distribution de l'eau potable (Bessedik, 2007 & 2011). Les pertes d'eau dans les réseaux ont dépassés les 55% (ADE, 2012). Ces déperditions sont dues à plusieurs facteurs, entre autres, la vétusté des conduites, une conception non adaptée au relief, des piquages illicites dus aux constructions anarchiques, une insuffisance de matériels adaptés (détection et réparation des fuites)..... ;

L'amélioration de la qualité de service rendu aux abonnés, la collecte et le rassemblement des informations liés à la localisation géographique du réseau de distribution sur un même support informatique devient alors nécessaire, voire obligatoire. Les systèmes d'information géographique (SIG) répondent à cette problématique, par la création d'une base de données non seulement géoréférencées par rapport à la position du réseau dans l'espace urbain (plans du réseau) mais aussi à toute information relative aux caractéristiques hydrauliques du réseau et son comportement dans cet espace. Cette capacité, qu'acquière les SIG, s'avère très efficace dans un processus de prise de décision, à chaque fois que la base de données est interrogée. Il est à noter que l'application seule des SIG dans le domaine de la distribution des eaux sans qu'elle ne soit couplée aux modèles de simulation hydraulique ne peut soutenir les objectifs visés d'une gestion requise. Conjugués aux modèles externes, l'intégration des SIG permet de renforcer leurs avantages. Pour mettre en exergue les performances des SIG dans la gestion d'un réseau de distribution d'eau potable, notre choix a porté sur le groupement urbain de Tlemcen, d'autant plus qu'il est complexe et difficile à mettre en œuvre.

Une méthodologie de mise en place du SIG pour ce réseau est élaborée consistant en un couplage d'un SIG (MAPINFO), à un code de calcul (EPANET) pour bénéficier d'un environnement performant de modélisation. Des sous programmes en langage MAPBASIC sont développés sous SIG, pour analyser le réseau. Ainsi, le travail présenté s'articule comme suit :

- En chapitre I, une étude bibliographique est entreprise consistant à l'étude de l'approche systémique, les systèmes d'information géographique et les réseaux d'alimentation en eau potable, ainsi que le développement des couplages entre les SIG et les modèles.
- Le chapitre II a consisté à présenter le groupement urbain de Tlemcen, les ressources en eau alimentant le GUT ainsi que les performances du réseau d'alimentation en eau potable.
- Dans le chapitre III, une analyse systémique de la situation de l'alimentation en eau potable au niveau du GUT est développée pour tracer l'architecture du système d'AEP et visualiser ces niveaux. Une modélisation conceptuelle est ensuite faite, dont le but est de développer un modèle propre au réseau d'AEP du GUT ;
- Un SIG est mis en place, dans le chapitre IV, en se basant sur une démarche systémique pour l'analyse du réseau d'AEP considéré.
- Le SIG en question est couplé au modèle de calcul Epanet dans le chapitre V. le développement du couplage a pour but d'améliorer la gestion du réseau d'AEP du GUT ;
- Une étude basée sur l'approche « qualité totale » est effectuée dans le chapitre VI, dont les fondements sont: i. Mise en place d'indicateurs de qualité, mesures et quantifications des écarts pour évaluer l'état de fonctionnement du réseau d'AEP; ii. Sondage auprès des employés de l'organisme gestionnaire et des abonnés (écoute client); iii. Actions correctives et préventives pour assurer respectivement le fonctionnement continu et la pérennité du service rendu ;
- En conclusion générale, une synthèse du travail réalisé est faite ainsi que ses extensions futures.

CHAPITRE I :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. NOTIONS DE SYSTEME & APPROCHE SYSTEMIQUE (APERÇU THEORIQUE)

Née aux Etats Unis au début des années 50, connue et pratiquée en France depuis les années 70, l'approche systémique ouvre une voie originale et prometteuse à la recherche et à l'action. La démarche a déjà donné lieu à de nombreuses applications, aussi bien en biologie, en écologie, en économie, dans les thérapies familiales, le management des entreprises, l'urbanisme, l'aménagement du territoire, etc (Desthieux, 2005). Elle repose sur l'appréhension concrète d'un certain nombre de concepts tels que: système, interaction, rétroaction, régulation, organisation, finalité, vision globale, évolution, etc. Elle prend forme dans le processus de modélisation, lequel utilise largement le langage graphique et va de l'élaboration de modèles qualitatifs, en forme de "cartes", à la construction de modèles dynamiques et quantifiés, opérables sur ordinateur et débouchant sur la simulation (Donnadieu et al., 2003).

1.1 Concepts généraux de l'approche systémique

L'approche systémique est une méthode permettant d'assembler et d'organiser les connaissances en vue d'une plus grande efficacité de l'action (De Rosnay, 1975). Elle s'appuie sur la notion de système. Cette notion, souvent vague et ambiguë, est pourtant utilisée aujourd'hui dans un nombre croissant de disciplines en raison de son pouvoir d'unification et d'intégration.

La systémique est constituée d'ensemble de concepts, de méthodes et de techniques utilisées pour l'étude d'un objet complexe naturel ou artificiel (Humbert et al., 1980). Elle permet :

- de décrire, reconstituer et prévoir le fonctionnement et l'évolution,
- de choisir les variables essentielles et construire un modèle représentatif en conservant une vision globale et transdisciplinaire,
- de construire un système d'observation et de mesure capable de fournir des informations représentatives,
- de contrôler le fonctionnement pour modifier ou conserver la stabilité,
- de faciliter la prise de décision pour passer de l'expérience à la connaissance et réciproquement de la connaissance à l'expérience ou à la pratique (Desthieux, 2005).

Pour décrire la Systémique, Durand (1996, 2010) propose un schéma (Figure I.1) et les fondateurs de la Revue Internationale de Systémique en donnent la définition suivante (Tissier, 1998) : « *Nouvelle discipline, la systémique regroupe les démarches théoriques, pratiques et méthodologiques relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste et qui pose des problèmes de frontière, de relation internes et externes, de structures, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe* ».

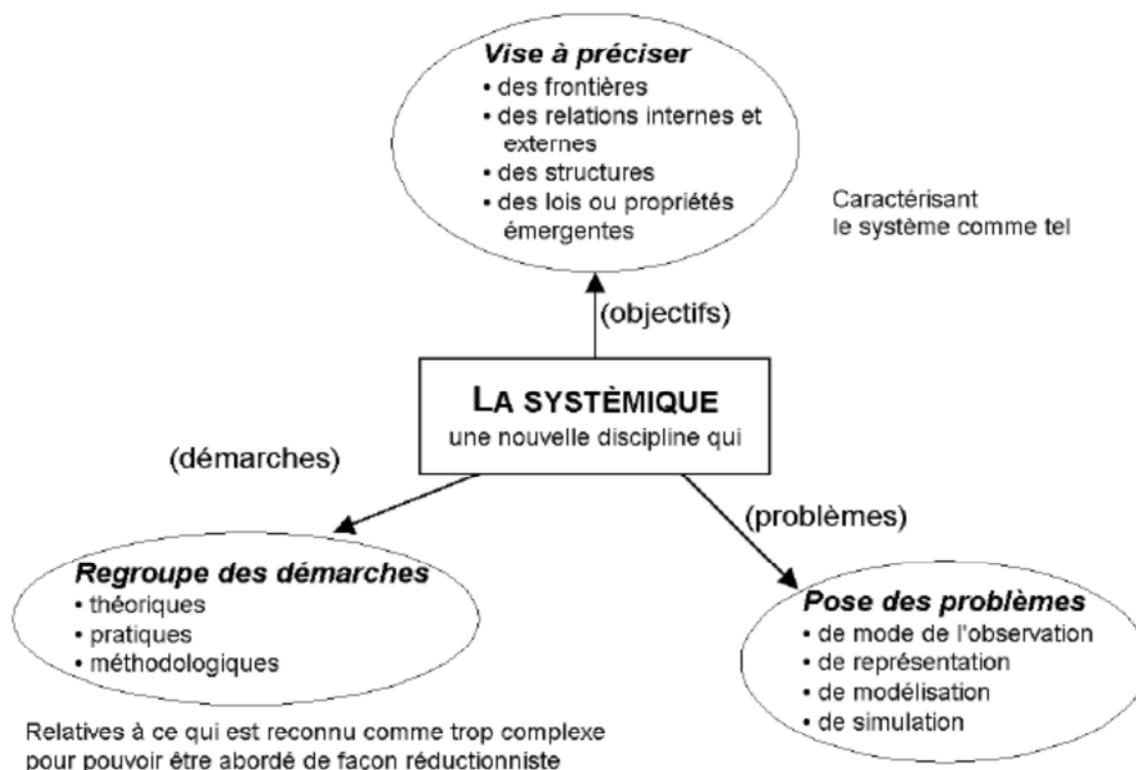


Figure I.1 : Définition de la systémique (Durand, 2010)

De Rosnay (1975) symbolise l'approche systémique par l'idée du microscope qui permet d'analyser l'infiniment complexe, en opposition avec le microscope (infiniment petit) et le télescope (infiniment grand).

Par ailleurs, selon Schwarz (1999), l'approche systémique se déploie en trois champs : (i) contextualiser (donner du sens) et exprimer la nature ontologique de l'objet, (ii) comprendre l'évolution et les mécanismes des systèmes, (iii) agir et évaluer l'incidence de l'approche systémique sur l'intervention dans les systèmes humains, sociaux et écologiques (Kositsakulchai, 2001).

Combinant en permanence connaissance et action, la systémique se présente comme l'alliance indissoluble d'un savoir et d'une pratique (Donnadieu et al., 2003). La considération du graphe de synthèse donné en figure I.2 conduit à présenter logiquement la systémique sous forme de deux parties distinctes:

- la systémique, un savoir et des concepts ;
- la systémique, une méthode et un apprentissage.

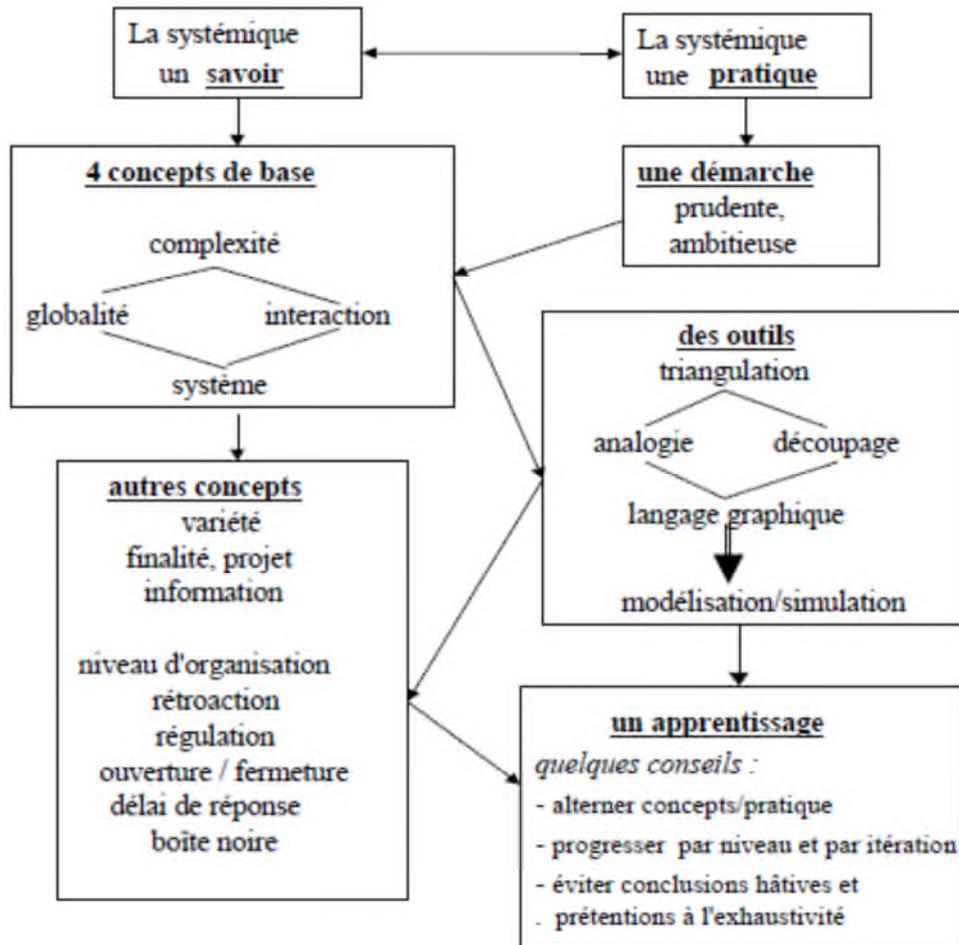


Figure I.2 : Définition de la systémique (Donnadieu et al., 2002, 2003)

L'approche systémique est souvent définie en opposition à l'approche analytique classique (De Rosnay, 1975) comme le montre le tableau I.1. Le Moigne (1977) propose quatre préceptes de l'approche systémique : (i) « convenir que tout objet se définit par rapport aux intentions implicites ou explicites du modélisateur » (pertinence ou prisme de perception) ; (ii) « considérer l'objet à connaître par notre intelligence comme une partie immergée et active au sein d'un plus grand tout » (globalisme) ; (iii) « interpréter l'objet non pas en lui-même, mais par son comportement vers une finalité donnée » (téléologie) ; et (iv) « convenir que toute représentation est simplificatrice » (agrégativité). L'approche systémique vise non pas à rejeter en bloc l'approche scientifique traditionnelle mais plutôt à la révolutionner et à l'ouvrir sur un plus grand réalisme, sur la finalité et sur la dynamique complexe des systèmes (Desthieux, 2005).

Tableau I.1 : Comparaison des approches analytiques et systémiques (adapté par De Rosnay, 1975 in Repetti, 2004).

Approche analytique	Approche systémique
Ramener le système à ses éléments constitutifs les plus simples	Considérer le système dans sa totalité, sa complexité et sa dynamique
Vision statique (système simple)	Vision dynamique (système complexe)
Isoler : se concentrer sur les éléments	Relier : se concentrer sur les interactions entre les éléments
Etudier la nature des interactions	Etudier les effets des interactions
Décomposer et préciser les détails	S'appuyer sur la perception globale
Validation expérimentale dans le cadre d'une théorie	Comparaison du modèle et de la réalité
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires ou circulaires et fortes
Connaissance des détails, buts mal définis	Connaissances des buts, détails flous
Conduite disciplinaire	Conduite interdisciplinaire

1.2 Concepts fondamentaux de l'approche systémique

Pour appréhender la complexité, la systémique fait appel à un certain nombre de concepts spécifiques se regroupant en quatre concepts de base à caractère général, comme le montre la figure I.3, qui sont articulés entre eux et pouvant donner lieu à une présentation simple (Donnadieu et al., 2003).

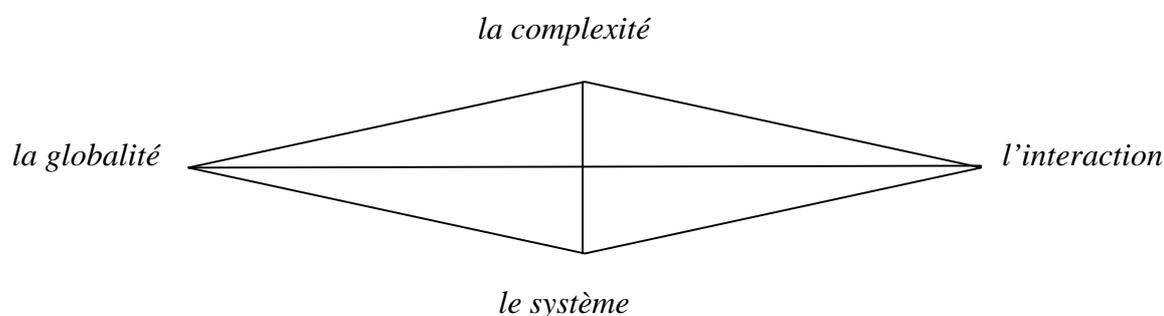


Figure I.3 : Quatre concepts de base de la systémique (Donnadieu et al., 2003)

1.2.1 La complexité

La prise de conscience de la complexité est la cause de la lente émergence de la Systémique. Sans complexité, le rationalisme analytique pouvait sembler suffisant pour appréhender le monde et la science. Ce concept renvoie à toutes les difficultés de compréhension (flou, incertain, imprévisible, ambiguë, aléatoire) posées par l'appréhension d'une réalité complexe et qui se traduisent en fait pour l'observateur par un manque d'information (accessible ou non) (Donnadieu et al., 2003). La logique cartésienne, en réduisant les ensembles à ses parties, a appris à simplifier tous les phénomènes en éliminant l'aléatoire et l'inconnu (Durand, 2002). Cependant, la complexité est omniprésente à des

degrés divers dans tous les systèmes. Ainsi, la pensée systémique aide à conserver et à mieux prendre en compte cette complexité, quitte à admettre qu'on ne puisse en saisir et en comprendre toute la richesse (Desthieux, 2005). La complexité, est définie comme étant l'incapacité que l'on a de décrire tout le système et de discerner son comportement à partir de la connaissance des comportements de ses parties (Mélèze, 1972). Selon De Rosnay (1975), elle est attribuable aux facteurs suivants : (i) grande variété des éléments d'un système, (ii) organisation de ces éléments en niveaux hiérarchiques et (iii) interactions non-linéaires et nombre de liaisons possibles. La complexité renvoie au degré d'organisation générale du système, aussi bien structurelle et fonctionnelle. Le Moigne (2006) qui a consacré un ouvrage à la modélisation des systèmes complexes, met en évidence l'interaction comme support essentiel de la complexité.

Selon Le Moigne 2006, Durand 2010 et Genelot 2011, la complexité n'est pas la complication. Un système compliqué est un système qu'on peut simplifier pour découvrir son intelligibilité (explication). Il est donc décomposable en éléments simples. Cette démarche se caractérise par une recherche d'exhaustivité.

En revanche, un système complexe est un système qu'on doit modéliser pour construire son intelligibilité (compréhension). Il est quasi-décomposable en éléments implexes. Ceci explique l'irréductibilité des systèmes complexes. Mais en simplifiant, en réduisant à un concept simplificateur, c'est-à-dire en mutilant, un système complexe, on détruit à priori son intelligibilité ».

Le Moigne (2006) invite alors « la science à passer de l'étude des questions compliquées et simplifiable à l'étude des situations complexes et pourtant intelligibles ».

1.2.2 Totalité ou globalité

Selon Bertalanffy (1969), les éléments d'un système en interaction dynamique constituent des ensembles ne pouvant être réduits à la somme des parties. Il s'agit d'une propriété des systèmes complexes, souvent traduite par l'adage "le tout est plus que la somme des parties" et selon laquelle on ne peut les connaître vraiment sans les considérer dans leur ensemble. Cette globalité exprime à la fois l'interdépendance des éléments du système et la cohérence de l'ensemble. Sous le nom d'approche globale, le concept désigne également la voie d'entrée dans la démarche systémique. On entend par là qu'il convient d'aborder tous les aspects d'un problème progressivement, mais non séquentiellement : partir d'une vue générale (globale) pour approfondir les détails, avec de nombreuses itérations et retours en arrière pour compléter ou corriger la vision antérieure (Donnadieu et al., 2003).

1.2.3 Relation et interaction

Ce concept, un des plus riches de la systémique, complète celui de globalité car il s'intéresse à la complexité au niveau élémentaire de chaque relation entre les constituants du système pris deux à deux. La notion d'interaction déborde largement la simple relation de cause à effet qui domine la science classique. Et connaître la nature et la forme de l'interaction est plus important pour le systémicien que de connaître la nature de chaque composant du système (Donnadieu et al., 2003).

1.2.4 Le système

Ce concept constitue le socle sur lequel repose la Systémique. Ethymologiquement, le mot provient du grec *sustêma* qui signifie "ensemble cohérent"(Donnadieu et al., 2003). Quelques définitions de la notion de système sont proposées par divers auteurs :

- De Rosnay (1975) le définit comme étant un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but.
- Pour Le Moigne (1977) un système est: « quelque chose (n'importe quoi, présumé identifiable), qui dans quelque chose (environnement), pour quelque chose (finalité ou projet), fait quelque chose (activité = fonctionnement), par quelque chose (structure = forme stable), qui se transforme dans le temps (évolution). »
- Larvet (1994) a retenu une définition en 7 points selon laquelle un système est : « (1) un ensemble d'éléments, (2) doté(s) d'une structure, (3) en interaction entre eux et avec l'environnement, (4) qui réalise des fonctions, (5) qui transforme de la matière, de l'énergie ou de l'information, (6) qui évolue dans le temps, (7) selon un objectif. »

1.3 Typologies et organisation des systèmes

De nombreuses typologies des systèmes ont été proposées par les chercheurs:

- systèmes ouverts / systèmes fermés sur leur environnement,
- systèmes naturels / artificiels/ sociaux,
- systèmes organisés hiérarchiquement / systèmes en réseau,
- une typologie intéressante, due à l'Américain M. Bunge (in Donnadieu et al., 2003) (figure I.4), est fondée sur l'ordre supposé d'apparition des différents systèmes dans le temps. Le graphe se lit de bas en haut. A partir des systèmes vivants, il y a émergence d'auto-organisation créatrice. De tels systèmes sont qualifiés de SHC : Systèmes Hyper Complexes (Donnadieu, 2003).

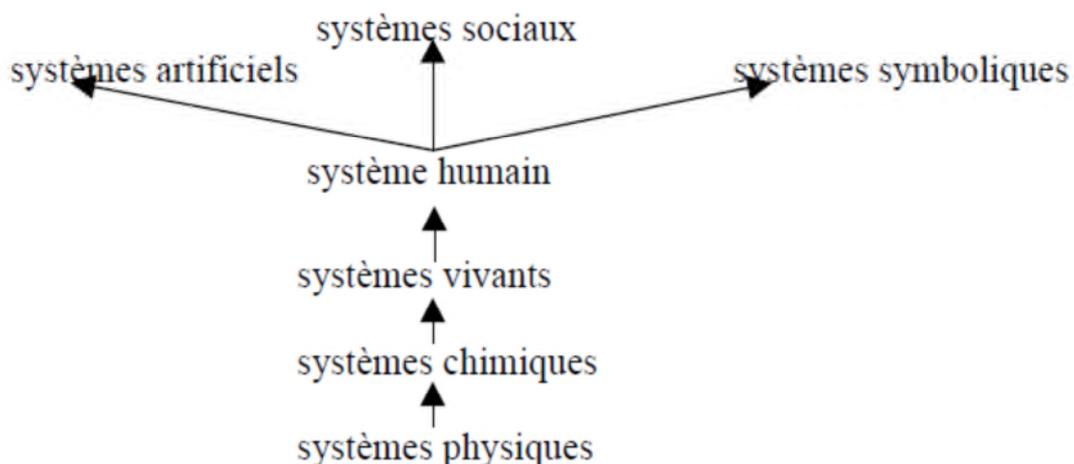


Figure I.4: Typologie des différents systèmes (Donnadieu, 2003)

L'unité évoquée en figure I.4 résulte d'une certaine forme d'organisation du système entre tous ses éléments, à la fois structurelle (représentable par un organigramme), fonctionnelle (représentable par un programme) (Loriaux, 1994 ; Durand, 2002).

- **L'organisation structurelle** renvoie à une description ontologique du système, c'est-à-dire ce que le système est (Le Moigne, 2006). Une description structurelle du système consiste à identifier et représenter clairement les éléments du système, leurs interrelations, les équations mathématiques qui définissent ces interrelations et la frontière qui sépare le système de son environnement.

- **L'organisation fonctionnelle** décrit l'activité du système. Alors que l'organisation structurelle est statique, l'organisation fonctionnelle permet de décrire le processus dynamique du système, ce qui introduit la notion de temps. Ainsi, sur la base des interrelations entre les éléments, on modélisera et simulera les flux de matière, d'énergie ou d'information, les entrées et sorties qui matérialisent les rapports du système avec son environnement (Desthieux, 2005).

1.4 Outils de modélisation systémique

La modélisation des systèmes est l'outil fondamental d'analyse de l'approche systémique (Repetti, 2004). Elle est un acte qui peut avoir différentes finalités (Allain, 2001), à savoir: mieux formuler, identifier et comprendre un problème complexe, étudier le fonctionnement dynamique d'un système pour le faire évoluer ou encore simuler une stratégie d'action. La modélisation rend intelligible une réalité, un phénomène perçu complexe (Le Moigne, 2006).

La modélisation définit l'organisation des principaux éléments du système à prendre en compte (Repetti, 2004). Le système est borné par une frontière qui le sépare de son environnement et qui autorise le passage de flux d'entrée et de sortie (énergie, information, matière) si le système est ouvert ou semi-ouvert (figure I.5). Il est doté d'une finalité qui induit un ensemble d'activités et de fonctions. Le système peut être composé de sous-systèmes qui ont leurs propres finalités, structures et fonctions. La structure est constituée par les composantes et les relations entre ces composantes.

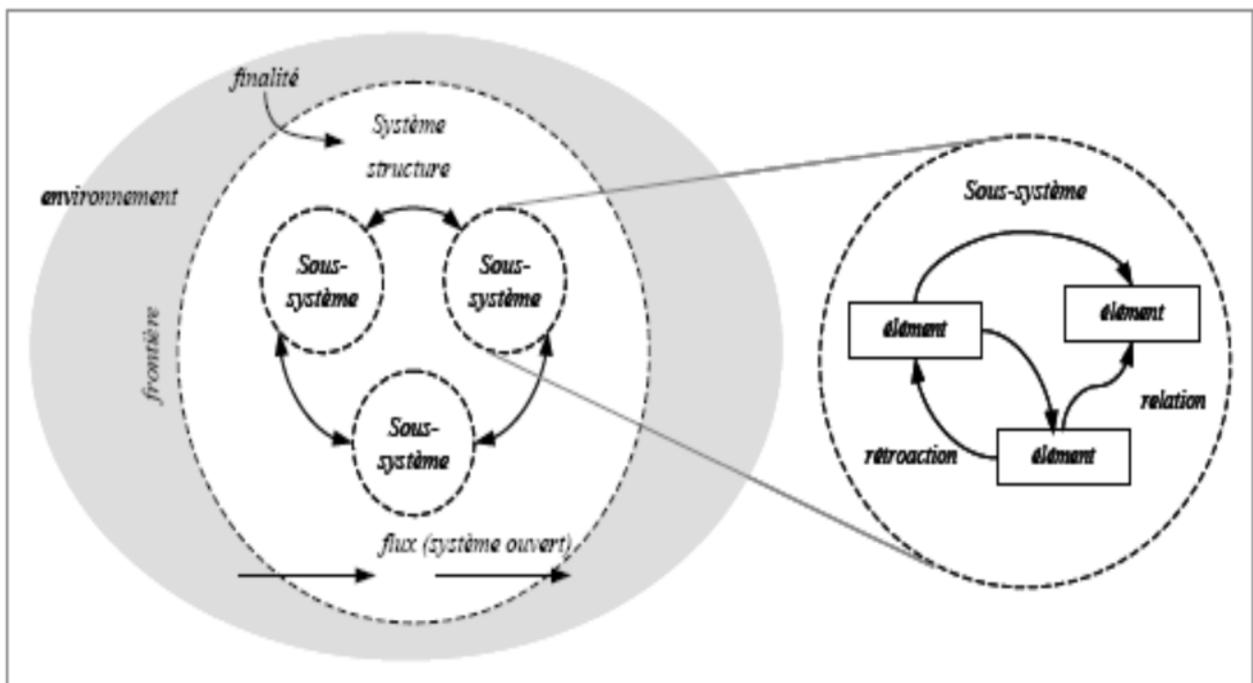


Figure I.5 : Eléments de la modélisation systémique (Repetti, 2003).

1.4.1 Organisation en sous-systèmes

Durand (2002) distingue deux modalités d'organisation. La première désigne l'articulation de modules ou sous-systèmes spécialisés pour une action ou un thème donné. Ces modules sont connectés entre eux. Par exemple, un système d'alimentation en eau potable comprend les sous-systèmes de production, stockage, distribution, etc.

L'autre modalité d'organisation est hiérarchique. Le niveau retenu comme objet d'étude, appelé processeur, correspond au niveau descriptif du système, qui est vu comme une « boîte noire » s'il n'est pas détaillé (Sauvant, 2003). Lorsque l'on considère des niveaux organisationnels inférieurs, le processeur est décomposé en un réseau de processeurs élémentaires, on se place alors dans une attitude explicative (Le Moigne, 1977). Au contraire, lorsqu'on se place à des niveaux plus élevés, c'est-à-dire plus englobant, on se situe dans une attitude synthétique ou agrégée. Ainsi le passage d'un niveau à un autre s'effectue par un changement d'échelle.

La structuration d'un système sur plusieurs niveaux de synthèse vise à renforcer l'utilité et la pertinence du système par rapport aux différents besoins. Il est en effet possible d'établir a priori une correspondance entre les niveaux du système et les projets ou les intentions du système de modélisation (Le Moigne, 1990). Ainsi, à chaque niveau est posée la question de quels éléments sont indispensables à sa représentation (De Sède et Moine, 2001).

1.4.2. Représentation du système : mode graphique et matricielle

Les éléments de l'organisation structurelle d'un système, à savoir les sous-systèmes, les composantes, les interrelations et les frontières peuvent être représentés conjointement dans ce que Le Moigne (2006) appelle la matrice structurale. La matrice structurale est un outil puissant de modélisation qui présente l'avantage d'être aisé à manipuler, de se prêter fort bien à la généralisation, la comparaison et l'informatisation (Le Moigne, 1977).

Un réseau de N processeurs se représente aisément par une matrice carrée. Cette matrice est quasi-décomposable en sous-matrices, elles aussi carrées, jusqu'aux processeurs élémentaires qui constituent les composantes des sous-matrices. Les différents niveaux sont visibles sur l'exemple présenté à la figure I.6. Le système analysé, que Le Moigne (2006) appelle système général, constitue une sous-matrice M1 bornée et semi-ouverte dans un environnement donné défini par M2. Le sous-système M1 est constitué par les composantes ou processeurs élémentaires A, B et C, tandis que l'environnement M2 est constitué de composantes ou de sous-systèmes non détaillés (P1, P2, R1, R2). Ce sont des processeurs frontières qui font de M1 un système ouvert.

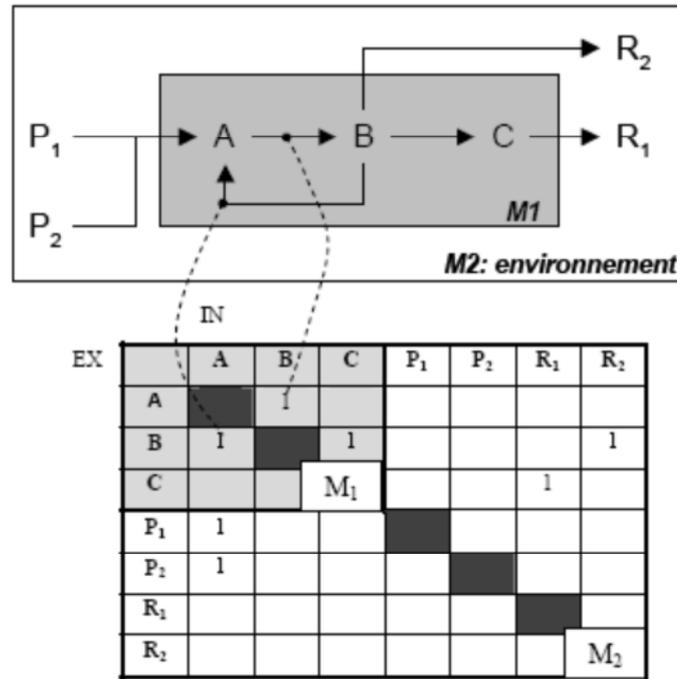


Figure I.6 : Ensemble de processeurs représentés graphiquement et dans une matrice structurale correspondante - Adapté de Le Moigne (1977).

Les colonnes correspondent aux relations intrantes (IN), tandis que les lignes désignent les relations extrantes (EX). Les relations sont représentées dans le tableau par des valeurs non nulles (1). Lorsque de telles valeurs se situent de part et d'autre de la diagonale, elles indiquent une rétroaction, comme c'est le cas entre A et B.

1.5. L'approche systémique et son application dans le domaine des ressources en eau

L'analyse de la bibliographie montre clairement l'émergence d'un nouveau paradigme vers la fin des années 1990 autour de la gestion de l'eau urbaine, en anglais: « urban water ». Ce nouveau paradigme considère le cycle de l'eau dans son ensemble depuis le prélèvement dans le milieu jusqu'au retour vers le milieu naturel en considérant l'ensemble des acteurs, des impacts directs et indirects, les flux de matières et d'énergie, des dispositifs techniques et des aménagements en lien avec la gestion de l'eau. Contrairement à l'approche classique, la nouvelle approche de gestion de l'eau urbaine s'appuie sur une approche systémique et une gestion intégrée de la ressource, avec des objectifs de durabilité à la fois des dispositifs, des aménagements et de la gouvernance (Cherqui et al, 2011). Les premiers travaux concernant l'approche systémique (définitions, notions de base...) ont été publiés par : Bertalanffy (1969), D. C. Phillips (1969), R. L. Ackoff (1974), P. K. McPherson (1974), De Rosnay Joël, (1975), Le Moigne, J. L. (1977), Jean-Christophe Poussin, (1987), Alan Beard (1989), Le Moigne, J. L. (1990), Friend A.M. et Rapport, D.J., (1991), Molle F. & Ruf T., (1994), Julian Barr (1998), Peter Bond and Paul Otterson (1998), Martorana, F. & Bellocchi, G., (1999), Faye Benedict (1999). Les travaux les plus récents sont ceux de : Gérard Donnadiou & Michel Karsky, (2002), Stéphane GRES (2002), Daniel Durand (2002), Gérard Donnadiou et al, (2003), Chorfa et Benmohamed, 2004, Dominique Bériot (2006), Jean-Louis Le Moigne

(2006), CERTU, (2007), Saysel Ali Kerem, (2007), Dassens (2008) et Genelot Dominique (2011). Nous citons ci-dessous quelques travaux trouvés dans la littérature concernant l'apport de l'approche systémique dans le domaine de la gestion des ressources en eau en milieux urbain et rural.

Corrado Diamantini & Bruno Zanon (2000) ont étudié l'apport de l'approche systémique dans la planification du développement urbain durable. Pierre-André Crausaz (2000) a étudié le rôle intégrateur des systèmes d'information à référence spatiale dans la gestion institutionnelle des eaux, la démarche adoptée dans son travail est systémique. Kositsakulchai (2001) a étudié la modélisation de la dynamique de l'hydrosystème du bassin du Mae Klong (Thaïlande). Sa démarche a été développée dans un cadre systémique. V. Rajasekaram et al., (2003) ont fait appel à l'outil informatique pour la mise en œuvre d'une approche systémique pour la résolution des conflits de l'eau. Repetti et Prélaz-Droux, (2003, 2004) ont étudié le concept de suivi participatif au service des villes en développement (y compris les réseaux avec tout leurs détails) pour la réalisation d'un observatoire urbain. La démarche adoptée a été faite en se basant sur la modélisation systémique. R., Warren Flint (2004) a développé une démarche de gestion de la durabilité des ressources en eau dans un cadre systémique. Gilles Desthieux (2005) a développé l'approche systémique et participative du diagnostic urbain, Christine Voiron & Jean-Pierre Chery (2005) ont développé, à leur tour, l'espace géographique pour une spatialisation et modélisation en dynamique des Systèmes. Aurélien Boutaud (2005) a fait le bilan et l'analyse des outils d'évaluation des politiques publiques locales en matière de développement durable en France, il a étudié l'émergence du changement dans les modes de faire au défi d'un changement dans les modes de penser sous l'angle de l'approche systémique. Simon Bell et Elisabeth Coudert (2006) ont élaboré un guide d'utilisation de 'Imagine' qui représente une analyse systémique des zones du littoral et ont étudié la prospective de la durabilité de ces zones. Dominique Urbani (2006) a élaboré une approche hybride SMA-SIG pour la définition d'un système d'aide à la décision dont l'application de la systémique a été faite dans la gestion de l'eau. Florent Joerin et al., (2006) ont fait une proposition méthodologique basée sur l'approche systémique pour le passage des indicateurs aux systèmes d'indicateurs pour la gestion de l'espace urbain. Dick Morris et al., (2006) ont étudié l'apport de l'approche systémique dans l'analyse des facteurs influençant la durabilité des terres en Herefordshire au Royaume Uni. Kevin Collins et al., (2007) ont appliqué l'approche systémique dans la gestion des captages d'eau au Royaume-Uni. Top et al., (2007) ont utilisé l'approche systémique et les SIG pour la gestion durable des infrastructures de drainage urbain. Audrey Dassens & Richard Launay (2008) ont analysé les risques par l'approche systémique. Fabien Christin (2008) a étudié la modélisation hydrodynamique de surface et hydraulique souterraine et de leur couplage dans un but d'aider à la gestion des hydrosystèmes aménagés dans le cadre de l'approche systémique. Franco Bontempi et al., (2008) ont proposé une démarche systémique pour l'entretien des systèmes structuraux complexes, A. I. Gaziulusoy et al., (2008) ont proposé aussi un cadre conceptuel systémique pour le développement durable de la technologie. Jaime Santos-Reyes & Alan N. Beard (2008) ont adopté l'approche systémique pour la gestion de la sécurité.

Les recherches les plus récentes dans le domaine sont faites par : Baghli Naoual et al., (2009), Damien Granger (2009), Bérengère Charnay, (2010), Daniel Durand (2010), Rouissat Boucherit, (2010), A. Vasan and Slobodan P. Simonovic (2010), Suely Schuartz Pacheco

Mestrinho , 2010, Lee Godden et al., (2011), Mohammad Reza Khaji & Rasoul Shafaei (2011), Songsong Liu et al., (2011), Qin Hua-Peng et al., (2011), F. Cherqui, et al., (2011), Abdelbaki et al., (2012), Clivillé Vincent (2012), Allaire Didier (2012), Françoise Bichai & Patrick W.M.H. Smeets , (2013), Mark Everard & Robert McInnes (2013), Suwan Park et al., (2013), Giuseppe Rossi & Antonino Cancelliere (2013), Taneha K. et al., (2013), Chou-Ping Yang et al., (2013), Philippe Marest et al., (2013), Pascal Bain (2013), ASTEE (2013), Christine Wamsler et al., (2013), Valtensbergs Visvaldis et al., (2013) et Jean-Philippe Antoni (2014).

2. LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Le concept de système d'information géographique (SIG) est apparu dans les années 1960-1970 avec un premier essai par Tomlinson (1967). Depuis ce temps, des définitions plus ou moins similaires et cohérentes ont fait leur apparition (Burrough 1986); Fischer et Nijkamp, 1993); Gagnon et Coleman, 1990; Goodchild et Kemp, 1990; Laurini et Milleret-Raffort, 1993; Maguire, 1991; Star et Estes, 1990; Tomlin, 1990) in (Pouliot, 1999). Afin de bien situer le rôle et l'usage du SIG dans ce travail, nous allons également en préciser sa définition.

2.1 Définitions

Un système d'information géographique est un ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision (in IAAT , 2003).

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement contribuant notamment à la gestion de l'espace (Dimitri S. et al., 2007).

La troisième façon de définir un SIG renvoie à l'analyse systémique (Le Moigne, 1990). Un SIG englobe en général quatre sous-systèmes (figure I.7) (Laurini et al., 1993) :

- un sous-système pour l'acquisition des données géographiques qui peuvent être d'origines diverses (environnement de la conduite avec les caractéristiques des sols, la géologie, la sismique...) ;
- un sous-système de gestion de données pour le stockage, l'organisation et la recherche de données ;
- un sous-système d'analyse spatiale pour le traitement et l'exploitation des données géographiques ;
- un système de présentation des résultats soit sous forme de carte par l'affichage graphique à l'écran ou par sorties cartographiques sur papier, soit sous forme de listes ou de tableaux.

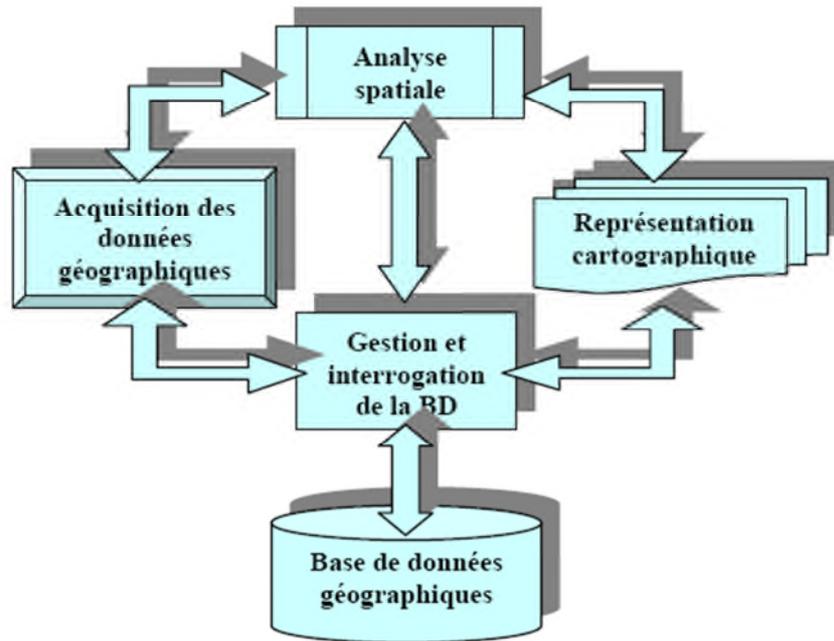


Figure I.7: Structure d'un Système d'Information Géographique (Laurini et al, 1993)

Un système d'information géographique est un ensemble d'équipements informatiques, de logiciels et de méthodologies pour la saisie, la validation, le stockage et l'exploitation de données, dont la majorité est spatialement référencée, destinée à la simulation de comportement d'un phénomène naturel, à la gestion et l'aide à la décision (Pornon, 1996). Le SIG se caractérise donc par des fonctionnalités de saisie, de stockage, de manipulation, d'analyse et de diffusion d'information à référence spatiale et où celui-ci peut soutenir diverses activités comme la gestion, la recherche et la planification. Afin de bien désigner et délimiter les actions du SIG, le spectre de ses constituants et de ses actions est résumé dans la Figure I.8.

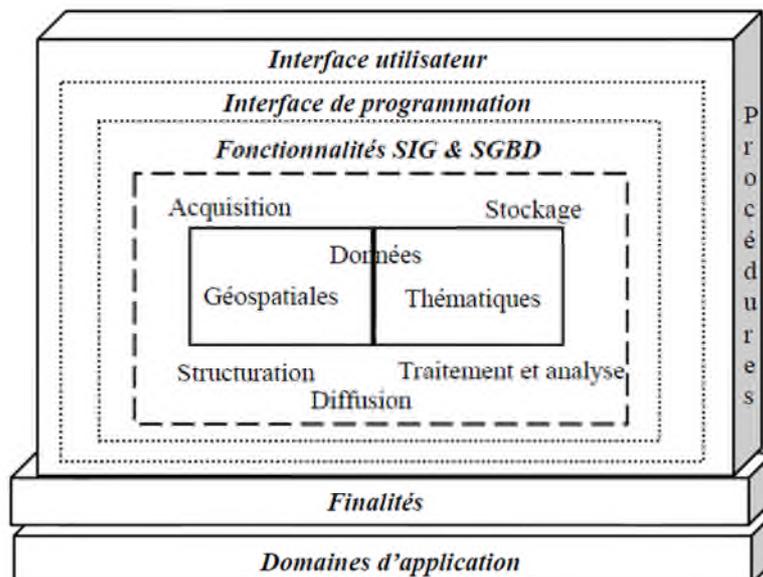


Figure I.8: Spectre des constituants et de l'action du SIG (Pouliot, 1999)

Un système d'information géographique peut être aussi défini par les questions auxquelles il apporte des réponses (Dimitri et al., 2007) :

- Qu'y a t il à cet endroit ? exprimant une localisation

Cette localisation peut être une adresse, un nom de rue ou de quartier ...

- Où est ce? exprimant une condition : Elle permet de trouver les localisations correspondantes à certaines conditions: où sont les canalisations en PVC?
- Qu'est ce qui a changé depuis? Exprimant les tendances : Elle permet de chercher les changements effectués pour les tronçons du réseau d'AEP.
- Quelle est la répartition spatiale de ce phénomène? Exprimant une répartition.

Elle permet de savoir la répartition spatiale des réservoirs, des points de piquage, des industries...

- Qu'est ce qui ce passe si? Exprimant une modélisation : Elle permet de savoir les perturbations qui peuvent être provoquées par un piquage sur un réseau existant d'AEP (Abdelbaki et al., 2012).

2.2. Structure et composantes d'un SIG

Les éléments d'information nécessaires pour les décideurs comprennent à la fois des données et des traitements. Les données associent une description spatiale et alphanumérique des entités et de leurs interrelations. Les traitements sont plus diversifiés et correspondent à trois rôles fondamentaux (Prélaz-Droux, (1995) et Repetti (2004) : (i) l'alimentation du système au travers d'une numérisation des données; (ii) l'exploitation des données au travers de traitements statistiques, topologiques et géométriques ; et (iii) la diffusion de l'information, sous forme de cartes, graphiques, tableaux, etc. Les différentes composantes d'un SIG qui permettent de gérer les données et les traitements sont illustrées en figure I.9.

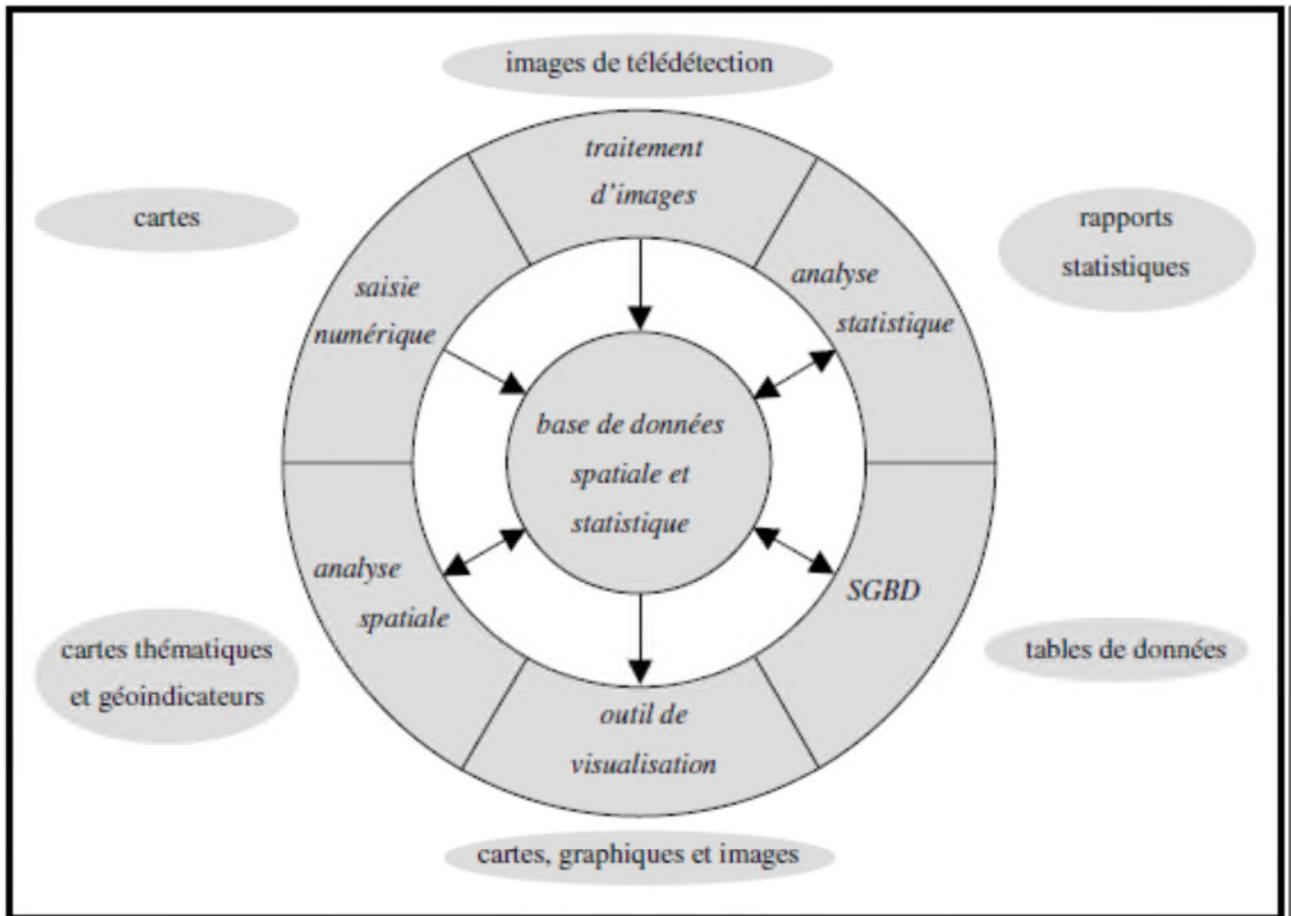


Figure I.9 : Les composants informatiques d'un SIG, adapté de Eastman (1991) et de Prélaz-Droux (1995) in Repetti (2004)

2.3. Base de données et système de gestion

Le constituant fondamental du SIG correspond à sa base de données et son système de gestion associé (Pouliot, 1999).

2.3.1. Base de données

Une base de données est un ensemble organisé et intégré de données. Elle correspond à une représentation fidèle de données et de leurs structures, avec le minimum possible de contraintes imposées par le matériel. Elle doit pouvoir être utilisée pour toutes les applications pratiques désirées sans duplication de données.

D'après Martin (1977) in (Rouet, 1993), une base de données sur une thématique est un ensemble de renseignements, qui répond à trois critères : l'exhaustivité, la non-redondance et la structure.

Selon M. Adiba et C. Delobel (in Pornon, 1992), une base de données est un ensemble structuré de données enregistrées sur des supports accessibles par l'ordinateur pour satisfaire simultanément plusieurs utilisateurs de façon sélective et en temps réel.

La base de données incarne la mémoire du système en enregistrant, en stockant et en structurant les informations. Ces informations peuvent provenir de différentes sources mais doivent être représentées de manière numérique. Elles se distinguent par des données thématiques et géoréférencées. Ces données représentent respectivement la base descriptive

des propriétés thématiques et spatiales du système. Les données thématiques et géoréférencées permettent donc de décrire et de caractériser le comportement du phénomène étudié. Les phénomènes et les propriétés sont respectivement nommés “entités” et “attributs” dans le contexte des SIG (Pouliot, 1999). L’ensemble des informations constituant cette base de données est inter-relié et exploité par des applications via un logiciel du type Système de Gestion de Base de Données (SGBD). Ses informations sont classées sous forme de fichiers et consultées à partir de critères précis (Abdelbaki, 2012).

2.3.2. Système de gestion de base de données

Un système de gestion de base de données est l’environnement adéquat conçu pour gérer les bases de données. Adapté à la particularité de ces dernières, il symbolise l’accumulateur de données, le fidèle agent et le juge compétent ; tantôt les interrogeant, tantôt les mettant à jour. Il coordonne les accès des programmes et la cohérence de la circulation des données et représente l’émérite technicien œuvrant pour l’optimisation de toutes les ressources (Laurini, 1993). Les notions de description, mémorisation, manipulation, traitement, sécurité, confidentialité et intégrité de données sont les actions spécifiques des systèmes de gestion de base de données (Rouet, 1993).

Les SIG ont leurs propres SGBD, qui possèdent la particularité de gérer la composante spatiale. Ces SGBD géographiques s’appuient à la fois sur un module de gestion de bases de données relationnelles et sur un système de fichiers pour les données spatiales. La correspondance entre les deux est assurée par un identifiant unique.

Les SIG ont également leur propre outil de visualisation. Il permet de représenter les données sous forme de cartes, de graphiques ou autres types d’images.

2.3.3. Les modèles des SGBD

Les modèles des systèmes de gestion de base de données utilisés se distinguent par la façon dont sont représentées les relations entre les données. La plupart des modèles traitent de manière identique les relations d’attributs, la différence existe dans le traitement des associations. Les modèles existants sont :

– Le modèle hiérarchique

Les données dans ce modèle sont représentées sous forme d’arbre par des enregistrements logiques reliés. La structure arborescente du modèle fait apparaître plusieurs niveaux d’informations successivement décroissantes et univoques, ce qui impose un chemin d’accès unique ; Un nœud père peut avoir plusieurs fils, un fils ne peut exister indépendamment de son père. L’inconvénient de ce modèle est principalement la redondance et la dissymétrie. En revanche, l’avantage d’un tel modèle est la représentation directe des liens et une rapidité lors de la recherche des données si la hiérarchie est bien définie au préalable (Laurini, 1993).

– Le modèle réseau

Ce modèle permet de remédier aux inconvénients du modèle précédent, à savoir la redondance et la dissymétrie. L’organisation des données est structurée en enregistrements. Les associations entre les ensembles d’entités sont représentées par des liens multiples. L’accès aux données n’est pas uniquement limité aux chemins descendants / ascendants, les relations sont donc de tous types. La recherche d’une donnée peut être lente et dépend

beaucoup de la structure de la base (Rouet, 1993).

– **Le modèle orienté objet**

Le but de sa conception récente est d'assurer globalement la cohérence, la sécurité, l'intégrité et la fiabilité des données géographiquement regroupées en un contexte unique d'objet (Laurini, 1993).

– **Le modèle relationnel**

Ce modèle envisage l'organisation de données sous forme de tables à deux dimensions, dans lesquelles les lignes sont des enregistrements et les colonnes des attributs. Ce modèle possède plusieurs objectifs :

- Proposer des schémas de données faciles à utiliser
- Améliorer l'indépendance logique et physique
- Optimiser les accès à la base de données
- Améliorer l'intégrité et la confidentialité
- Prendre en compte une variété d'applications

Le système de gestion de base de données relationnel a réussi à s'imposer en tant que système et modèle dans le monde de l'informatique (Rouet, 1993).

2.4. Modélisation spatiale

Construits pour des objectifs précis, les SIG intègrent l'information nécessaire aux fonctions du système, sous un mode qui permet de répondre aux questions posées avec les outils logiciels et matériels disponibles. Il y a toujours plusieurs manières de répondre à une question et les choix informationnels et techniques du SIG privilégient un mode de réponse (Joliveau T., 1996). Le SIG traduit le réel en fonction des besoins de la structure selon un certain modèle, et pas seulement un modèle de données.

La réalisation d'un Système d'information se base sur un modèle spatial (figure I.10), qui consiste en une représentation simplifiée par le biais d'une organisation relationnelle d'informations, qui décrit les phénomènes et les processus observés dans l'espace (Prélaz-Droux, 1995).

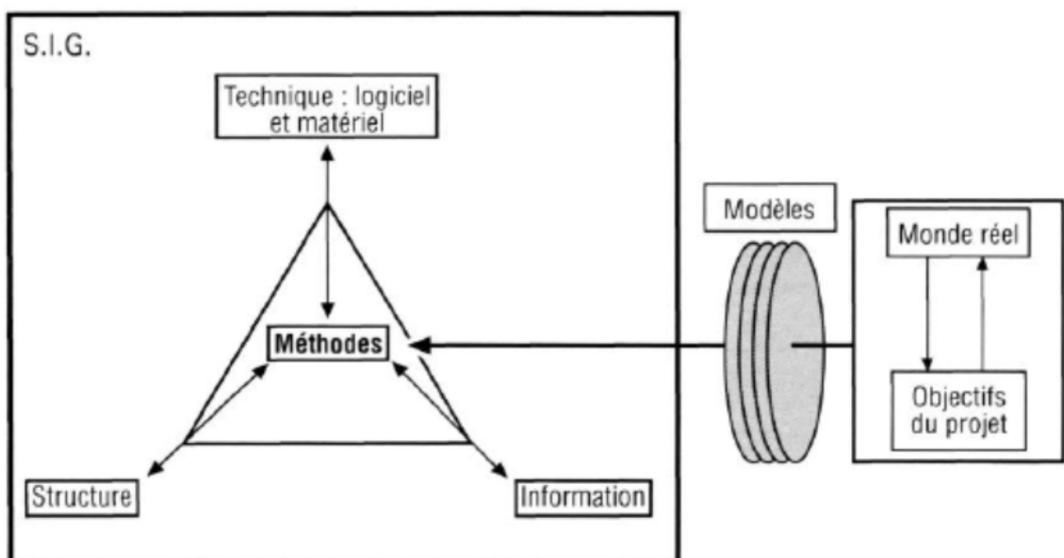


Figure I.10 : Les 4 grandes composantes d'un SIG (Joliveau T., 1996)

L'opération de modélisation consiste alors en un ensemble de méthodes qui permettent de passer des phénomènes et processus réels aux objets informatiques. Basée sur une approche systémique, la modélisation voit donc un modélisateur effectuer une observation de la réalité (Golay, 1992 ; Crausaz, 2000). Sur cette base, il élabore un modèle-type, correspondant à la finalité qu'il va donner à son modèle et contenant les éléments et leurs interrelations qui sont utiles à son raisonnement (Repetti, 2004). Par abstraction, le modélisateur va ainsi pouvoir établir un modèle conceptuel de sa perception de l'espace réel (figure I.11).

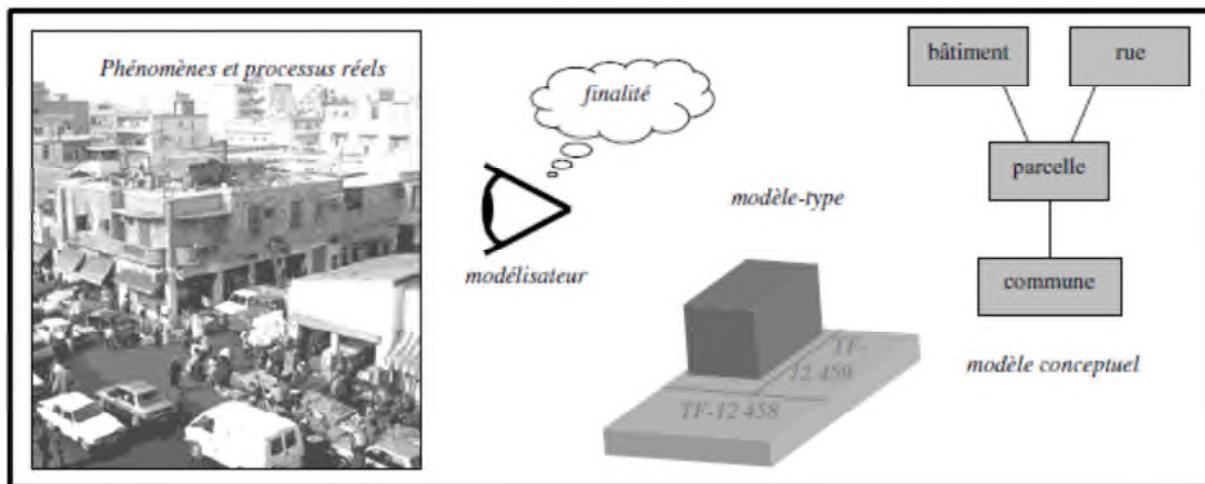


Figure I.11 : Modélisation du territoire par un modélisateur (Repetti, 2004).

2.5. Mise en interaction des modèles et des SIG

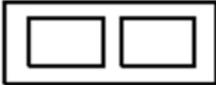
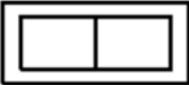
Une démarche de construction d'un SIG dépasse l'activité classique en système d'information, de modélisation des données et des traitements. La pertinence du SIG provient de l'adéquation des outils, de l'information et des modèles d'analyse aux procédures de décision. Comme le dit Le Moigne (1973), "il vaut mieux appliquer de bons modèles à une information de qualité moyenne que de collecter chèrement une information abondante et pertinente qu'on utilisera mal faute de bons modèles pour la traiter" (in Joliveau T., 1996).

La mise en interaction des modèles et des SIG soulève beaucoup d'intérêts de la part de communauté scientifique. Les SIG fournissent, en effet, un environnement flexible pour la gestion de données localisées (acquisition, structuration, stockage, visualisation et diffusion) et présentent des capacités d'analyse très avantageuses. Le modèle, de son côté, contribue pleinement à la représentation des phénomènes ayant un comportement dynamique. Cependant cette mise en interaction soulève également beaucoup de questions. Les problèmes les plus apparents et pragmatiques sont ceux du niveau technique reliés aux données tels que la disponibilité, l'origine, le format, la qualité, la validation, l'échelle de mesure et d'utilisation (Pouliot, 1999). Il est donc primordial de bien comprendre et circonscrire la nature de cette mise en interaction. Celle-ci peut intervenir entre diverses personnes, méthodes de travail, champ de recherche, techniques, outils, processus, données, (Burrough 1986; Fedra, 1996; (Long et Tedd, 1990; Wasserman, 1990 in Pouliot, 1999). Les sections suivantes présentent donc un résumé et une analyse des couplages retrouvés dans la littérature.

2.5.1 Définition du couplage

La première tâche associée à la caractérisation de la mise en interaction des modèles et des SIG, consiste à fournir quelques précisions sur le terme “couplage”. La littérature anglaise et française utilise un ensemble de termes variés pour décrire diverses manières d’effectuer la mise en interaction entre les modèles et les SIG (Goodchild, 1993). Dans ce contexte, et en s’inspirant de la définition de Thomas et Nejme (1992) in (Pouliot, 1999), le couplage sera défini comme une utilisation conjointe entre deux spécialités, caractérisée par une interactivité plus ou moins grande entre certaines de leurs composantes. L’intégration correspond à l’une des formes de couplage soit celle où les deux systèmes sont effectivement en interaction complète. Ils sont souvent traduits par des opérateurs (spatiaux et/ou logiques) participant à la construction de passerelles entre les deux spécialités et ne touchent généralement pas aux structures internes de celles-ci (Pouliot, 1999). Le tableau I.2 présente un résumé de chaque niveau.

Tableau I.2 : Degrés de couplage tels que tirés de la littérature (Pouliot, 1999)

Degré de couplage	Description
<p>Couplage faible <i>Loosely-coupled</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Le SIG et le modèle demeurent indépendants, l'échange se fait via le transfert de fichiers formalisés et structurés (import-export). • Les avantages sont: simplicité de mise en œuvre, un temps de développement réduit et des coûts modérés. Cette forme de couplage exploite au mieux chaque spécialité et nécessite uniquement la compatibilité entre les données échangées. • Les inconvénients sont: peu convivial, aucune présence de rétroaction et une perte de la richesse descriptive et spatiale des données. Il est également sujet aux erreurs de manipulation. •
<p>Couplage fort <i>Tightly-coupled</i></p> 	<p>Le SIG et le modèle demeurent indépendants mais partagent la même base de données (même mémoire) et souvent une interface commune pour la communication.</p> <p>Les avantages sont: conservation de l'intégrité des données et des relations entre elles, moins de manipulations et de risques d'erreurs et facilité de gestion et de mise à jour. Cette forme de couplage exploite au mieux les fonctionnalités de chaque spécialité et l'évolution de chaque spécialité demeure indépendante.</p> <p>Les inconvénients sont: une convivialité restreinte à la frontière commune (base de données) et l'intégrité n'est pas assurée totalement mais masquée par l'interface. Son implantation est difficile car elle exige un investissement en programmation et en gestion des données, une certaine ouverture des composantes et une bonne connaissance des deux spécialités.</p>
<p>Couplage total (intégré) integrated</p> 	<p>Le SIG et le modèle cohabitent et fonctionnent dans le même environnement informatique, soit le modèle est recodé dans l'environnement SIG ou bien certaines fonctionnalités SIG sont ajoutées au modèle.</p> <p>Les avantages sont: intégrité des données, des méthodes et des finalités, une convivialité assurée car toutes les opérations se font dans le même environnement, moins de risques d'erreur car peu de manipulation externe. Les fonctionnalités de chaque spécialité risquent d'être davantage compatibles.</p> <p>Les inconvénients sont: nécessité de connaître entièrement les deux spécialités et un temps de développement élevé et coûteux. Cette forme est peu portable car elle est liée à la plate-forme de développement choisie et elle exige un environnement flexible permettant le suivi et la mise à jour de chaque spécialité.</p>

2.5.2 Revue de littérature SIG

La notion de SIG n'est pas très ancienne. Les premières mentions de systèmes d'information à référence spatiale apparaissent sporadiquement tout à la fin des années 60 (Tomlinson, R.F., 1967) in (Jean-Paul Donnay & Dimos N. Pantazis, 1996), et de plus en plus fréquemment, tant en anglais qu'en français, dès le début des années 80, les premiers ouvrages largement diffusés portant sur le sujet sont ceux de (Aronoff, S., 1989) et (Burrough, P.A., 1986), tandis qu'il faut attendre le milieu des années 90 pour voir se multiplier les revues et les ouvrages spécialisés à caractère vraiment scientifique (Jean-Paul Donnay & Dimos N. Pantazis, 1996), Pornon H., 1992, Collet C., (1992), Rouet P., 1993, Bret P. & Strozyna J., (1994), Prelaz – Droux R., 1995, Claude Joly R., (1996), Pornon H., (1996). Les travaux les plus récents sont ceux de Jonathan Li et al., (2007), Sauvagnargues-Lesage et al., (2009), Kevin Ramsey, 2009, Tena-Chollet et al., (2010) ainsi que Mario, A., 2010. A noter que des conférences annuelles sont consacrées à ce thème spécifique (SIG) comme c'est le cas des conférences annuelles de Esri, 1999 (<http://www.esrifrance.fr/sig1999/>), 2000 (<http://www.esrifrance.fr/sig2000/>), 2001 (<http://www.esrifrance.fr/sig2001/>), 2002 (<http://www.esrifrance.fr/sig2002/>), 2003 (<http://www.esrifrance.fr/sig2003/>), 2004 (<http://www.esrifrance.fr/sig2004/>), 2005 (<http://www.esrifrance.fr/sig2005/>), 2006 (<http://www.esrifrance.fr/sig2006/>), 2007 (<http://www.esrifrance.fr/sig2007/>), 2008 (<http://www.esrifrance.fr/sig2008/>), 2009 (<http://www.esrifrance.fr/sig2009/>), 2010 (<http://sig2010.esrifrance.fr/>), 2011 (<http://sig2011.esrifrance.fr/>), 2012 (<http://sig2012.esrifrance.fr/>), 2013 (<http://sig2013.esrifrance.fr/>) et le lancement 2014 (<http://sig2014.esrifrance.fr/>), Rencontre des sciences géomatiques, 2013 (<http://rsg2013.amjgistes.org/>), et Les Systèmes d'Informations de l'Eau dans la Région Méditerranéenne 2014 (<http://wismeday.amjgistes.org/>), La conférence Géotunis 2006 ; 2007 (<http://www.geotunis.org/geotunis2007/>), 2008 (<http://www.geotunis.org/geotunis2008/>), 2009 (<http://www.geotunis.org/geotunis2009/>), 2010 (<http://geotunis.org/2010/>), 2011 (<http://geotunis.org/2011/>), 2012 (<http://geotunis.org/2012/>), 2013 (<http://geotunis.org/2013/>), 2014 (<http://geotunis.org/2014/>)...

L'utilité des SIG dans le domaine des ressources en eaux a été démontrée dans plusieurs recherches. Les premiers travaux concernant la gestion des réseaux urbains ont été effectués par Choux 1990, Mousty et al., 1990, Boule, 1991, Patry et al., 1992, Patel H.R, 1996, Takahashi S.& Matsushita M., 1996, Otero E. & Feanadez J., 1996, Tsihrintzis et al., 1996 Atkinson et al., 1997, et Hwang et al. (1998). Leurs travaux ont porté sur les méthodologies de mise en place des SIG dans le domaine des ressources en eau et la gestion de l'eau en milieu urbain.

En Algérie, les premiers travaux ont été développés par Zaoui, (1996), Chikh et al., (1997), Benhamouda et al., (1999) du centre national des techniques spatiales et l'institut national de cartographie et de télédétection et Touileb (1997) et Abdelbaki et al., 1999, 2001 de l'école nationale supérieure d'hydraulique de Blida et de Larfi (1997) de l'agence nationale des ressources hydriques.

Dans le domaine des ressources en eau, Hwang et al. (1998) ont développé une méthode pour évaluer la performance sismique d'un système de distribution de l'eau à l'aide d'un SIG. Simachaya et al. (2000), pour leur part, ont utilisé le SIG avec un modèle de simulation pour examiner la qualité de l'eau du bassin de la rivière Tha Chin. Par ailleurs, Brown et Mumme

(2000) ont utilisé les SIG pour identifier les tendances temporelles et spatiales de l'urbanisation dans les frontières américano-mexicaines et ont étudié les modes gestion des eaux usées dans le bassin versant transfrontalier de Tijuana en relation avec le problème posé par l'industrialisation. Kalivas et al, 2003 ont mis en place un SIG pour l'évaluation des changements spatio-temporelle de la lagune Kotychi, en Grèce. Bernard Biagioni., 2004 a étudié la gestion de l'approvisionnement en eau potable de l'agglomération phocéenne et de nombreuses communes du département des Bouches-du-Rhône à l'aide d'un SIG, ce dernier est utilisé pour localiser les réseaux et répondre aux besoins des exploitants et des agences délocalisées. Blindu, 2004 a développé un outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques à l'aide d'un SIG. Jeon et O'Rourke (2005) ont développé une méthode pour simuler l'état d'avarie d'un système de distribution d'eau à l'aide des SIG. Leonardo et al. (2006) ont étudié l'effet des perturbations sismiques sur les performances réelles de réseaux interdépendants (par exemple, la distribution de l'eau) et ont introduit les courbes de fragilité du réseau pour afficher l'effet de différentes forces. Udovyk (2006) a développé le contexte de la gestion des ressources en eau à l'aide des SIG, Gandin & Doutre 2007 ont mis en place le SIG du SEDIF, un outil performant au service de la gestion de l'eau potable au syndicat des eaux d'île de France. Des modèles à base de SIG ont été introduits pour la simulation et la gestion des systèmes d'eau (Schlüter et Rüger, 2007; Vairavamorthy, 2007). Yammani (2007) a appliqué les SIG pour identifier la qualité des eaux souterraines à des fins domestiques et d'irrigation dans la zone de Chittoor, en Inde. Engle et al. (2007) ont utilisé les SIG pour identifier neuf classes des estuaires pour estimer la sensibilité des estuaires aux effets des polluants. Nikolaidis et al. (2008) ont étudié la relation entre la pollution de l'eau potable et l'utilisation excessive d'engrais en Grèce à l'aide d'un SIG. Kevin Ramsey, 2009 a publié un travail sur SIG, la modélisation et la politique: qui portent sur les tensions de soutien de décision collaborative. Robert Sitzenfrei et al., 2013 ont développé une nouvelle approche utilisée pour estimer les coûts de construction des réseaux d'AEP projetés visant à traiter la croissance de la population ou à des comparaisons de différentes stratégies d'expansion dans la croissance. Les travaux les plus récents dans le domaines des réseaux d'eau potable sont ceux de :

G.I.M. Worm et al., 2010, Cheng-I Ho et al., 2010, Adel Gastli et al., 2010 Mahmoud R. Halfawy (2010), Yong Ge, 2010, Weifeng Li et al., 2011, D.A. Sampson, 2011, Jiping Jianga et al., 2012, Robert Sitzenfrei et al., 2013, Holguin -Gonzalez et al., 2013, B. Coelho & A. Andrade-Campos, 2014, Javier E. Holguin, Bakhtiar Feizizadeh et al., 2014, A.T. Kulkarni, et al., 2014

Le SIG est principalement sollicité pour ses capacités d'analyse reliées à la manipulation des données d'entrée du modèle (changement de formats et de structures, interrogation de la base de données et pré-traitements) (CGDD, 2012). Nous prétendons que les capacités analytiques du SIG devraient davantage être mises à profit pour le traitement des données intermédiaires et de sorties des modèles mais également pour la formulation du modèle lui-même. Lorsque les essais d'expérimentation avec le modèle sont effectués dans des environnements bien structurés, comme peuvent l'être les SIG, ceux-ci ouvrent la porte à de nouvelles formes d'interaction (Pouliot, 1999). Cet environnement de modélisation-couplage pourrait directement participer aux divers tests de validation, vérification et calibration du modèle. Une plus grande diversité et un meilleur contrôle des essais

d'expérimentation fourniraient ainsi une nouvelle manière d'exploiter les fonctionnalités d'analyses spatiales des SIG et ainsi conduire celui-ci vers son exploitation en tant que véritable outil de modélisation.

2.6. COUPLAGE SIG MODELE

Un SIG fournit également un environnement de visualisation cohérente pour afficher les données d'entrée et les résultats de sortie d'un modèle. Cette capacité de SIG est très utile dans un processus de prise de décision. Selon Tabesh et Delavar (2003), le développement d'un modèle de SIG et de la production de l'information requise dans les services d'eau est très long et coûteux. Il est clair, qu'au cours des dernières années, l'application des SIG sans aucun lien avec les modèles de simulation hydraulique ne peut pas soutenir tous les objectifs de gestion nécessaires. Le couplage des SIG aux modèles externes renforce leurs avantages (Bartolin et al., 2001 ; Argent, 2004; Leonardo et al. (2006) Vairavamorthy et al., 2007 ; Bartolin et al., 2008, et Panagopoulos et al, 2012).

Le coupleur cherche davantage à exploiter les capacités d'analyse du SIG pour le traitement des données d'entrée du modèle (analyse préparatoire). Le SIG est, en effet, souvent perçu comme une "technologie d'intégration" qui permet de relier un ensemble de données individuelles dans une structure commune (récipient pour l'entrée et la sortie des modèles) (Poulliot, 1999).

La littérature sur le couplage des modèles et des SIG est très abondante. A noter les conférences consacrées à cette thématique comme "Environmental Modeling with GIS" (Goodchild et al., 1993; 1996) ou "Applications of Geographic Information Systems in Hydrology et Water Resources Management" (Kovar et Nachtnebel, 1993; 1996). Certains livres ont également été destinés à ce thème (Fischer et Nijkamp, 1993; Fischer et al., 1996; Haines-Young et al., 1993; Singh et Fiorentino, 1996; Sample, 1994) in (Poulliot, 1999). Quelques exemples de couplage trouvés dans la littérature concernant les réseaux d'alimentation en eau potable sont cités dans les sections suivantes :

Kleiner et al. (2001) ont déterminé le temps approprié pour le remplacement des canalisations en utilisant une analyse mathématique dans lequel le logiciel EPANET (Rossman, 2000) a été couplé à un SIG pour la simulation hydraulique. Poulton et Conroy (2001) ont mis en place SIG pour évaluer le programme de remplacement. Alzamora et al. (2001) ont utilisé un SIG combiné à un modèle hydraulique pour gérer un réseau d'eau potable. Tabesh et al. (2004, 2009) et Burrows et al. (2001) ont présenté une méthodologie pour calculer les fuites au niveau des réseaux à l'aide d'un SIG couplé au modèle EPANET.

Les travaux les plus récents sont ceux de : M. Tabesh et al. 2010, Marco Franchini & Stefano Alvisi (2010) Worm et al., 2010; Guidolin et al., 2010, Tian Yu Ma Liya et al., 2010; M. Tabesh et al., 2011, Nianqing Zhou et al., 2011, I. E. Karadirek et al., 2012, Andrew S. Benson et al., 2012, Ramesh et al., 2012, M. Tabesh & H. Saber, 2012, Panagopoulos et al, 2012, Wojciech Kurek et Avi Ostfeld, 2013, Ni-Bin Chang et al., 2013, Robert Sitzenfrei et al., 2013, Abbas Roozbahani et al., 2013, Nilufar Islam et al, 2013, Robert Janke et al., 2013, M. Shafiqul Islam et al., 2013, G. Fattoruso et al., 2013, Lynn E. Johnson , 2013, W.R. Furnass et al., 2013 ,Padilla et al., 2013, Vasilis Kanakoudis et al., 2014 et Kegong Diao, et al, 2014, Taeho Choi & Jayong Koo (2014), Peter M. Bach et al., 2014

3. LES RESEAUX D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

3.1. Présentation des réseaux d'AEP

Les réseaux d'AEP conditionnent l'activité et le développement des agglomérations (Valiron, 1994). Afin d'appréhender leur fonctionnement l'étude des différentes composantes d'un réseau d'AEP est indispensable. Un réseau d'AEP a pour fonction principale de desservir en eau potable un ensemble de points tels que : Compteurs d'abonnés, Bouches de lavage, Poteaux d'incendie (Dupont, 1979)... Les principaux ouvrages constituant un réseau d'AEP sont schématisés dans la figure I.12.

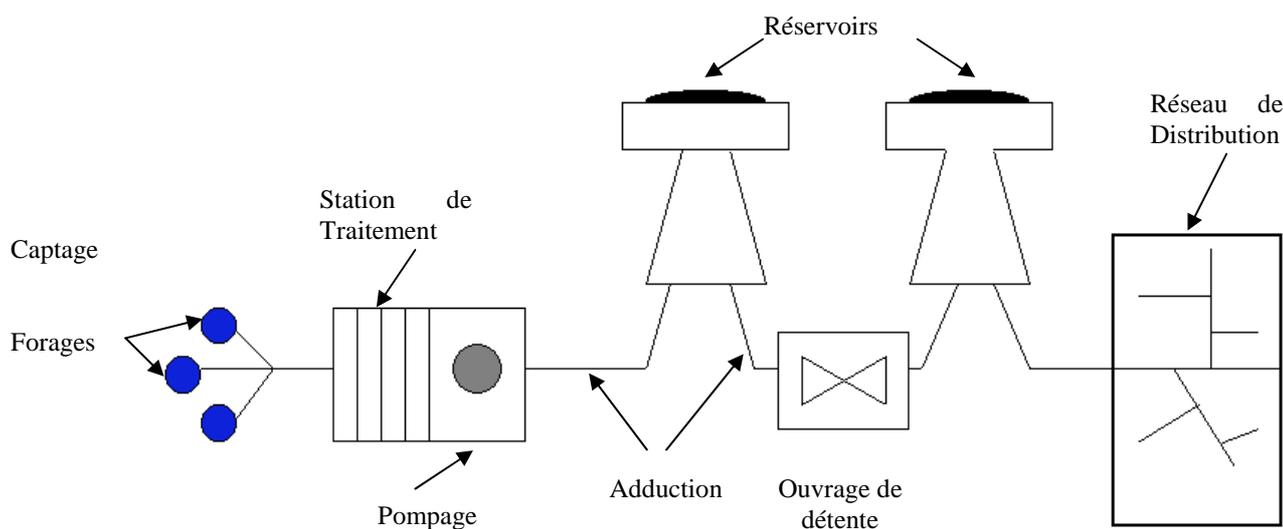


Figure I.12: Schéma d'alimentation en eau potable (Valiron, 1994)

3.2 Classification des réseaux

On distingue plusieurs types de réseaux, à savoir: les réseaux ramifiés, maillés, étagés et les réseaux à alimentation distinctes (Godart, 2000) Bonin (1986), Dupont (1979), Gomella (1985). Leur classification se fait en se basant sur la topographie du terrain (terrain accidenté, différence d'altitude importante) et l'occupation du sol. Ces réseaux peuvent être alimentés à partir d'un ou plusieurs réservoirs. Avec le réseau étagé, il est possible, de constituer des réseaux indépendants avec une pression limitée aux environs de 40 mètres d'eau (Dupont, 1979). Les réseaux à alimentation distinctes ne se justifient que dans les installations extrêmement importantes (Dupont, 1979).

3.3. Gestion des réseaux

La gestion d'un réseau d'AEP a pour principale mission d'assurer les fonctions de production, stockage et distribution. La gestion classique des réseaux présente beaucoup d'inconvénients. Les supports cartographiques sur lesquels sont portés les objets représentant les réseaux sont difficilement manipulables (Choux, 1990). Cette gestion est également très limitée, les informations caractérisant les réseaux représentés sont portées sur le support en même temps que les objets graphiques eux-mêmes. Ceci peut provoquer une surcharge du support pouvant rendre illisibles certaines informations (Abdelbaki, 2012).

Cette gestion présente les problèmes suivants:

- L'archivage des documents cartographiques et les fiches techniques du réseau.
- La perte de temps pour la recherche d'une information bien déterminée.
- La difficulté de la mise à jour.
- La facilité de perdre des informations à cause de la mémorisation et l'archivage.

3.4 Gestion informatisée des réseaux

La complexité des réseaux d'eau potable et la difficulté éprouvée par les gestionnaires de prévoir les phénomènes hydrauliques qui s'y déroulent, fait de la gestion informatisée une opération indispensable, rendue possible grâce aux progrès de l'informatique (Choux, 1990, Valiron, 1994).

Elle permet en effet :

- D'améliorer la connaissance des réseaux faisant l'objet d'une telle étude ;
- De détecter et de comprendre les désordres pouvant se produire sur le réseau : on peut par exemple localiser les zones où la pression est anormale et en déduire la présence de fuites ou l'existence d'éléments inconnus, s'apercevoir que les temps théoriques de fonctionnement de pompes sont bien inférieurs aux temps mesurés ou découvrir d'autres indices qui témoignent de dysfonctionnement ;
- De simuler sur une période d'au moins une journée le comportement du réseau afin d'optimiser les ressources, les capacités de stockage, les pompes ;
- D'étudier l'impact de nouvelles consommations ou d'éventuels incidents, de prévoir et adapter les installations pour faire face à de nouvelles contraintes ou à des situations de crises ;
- De dimensionner les extensions, les renforcements ou les aménagements nécessaires pour satisfaire les nouveaux besoins.

3.5 Cartographie des réseaux

C'est l'ensemble des études et opérations intervenants à partir d'une connaissance approfondie des réseaux (observations, exploitation ...) et l'établissement des cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que leurs utilisations (Abdelbaki, 2012).

Les plans de réseaux sont des outils indispensables à la bonne marche d'un service d'AEP. Ils sont utilisés par de nombreux intervenants tels que les agences d'urbanisme ou autres services publics. On distingue plusieurs plans à des échelles différentes selon leur utilisation.

– *Plans à petite échelle (de l'ordre de 1/ 10 000)*: Ils offrent une vue globale de l'ensemble du réseau. Ils sont utilisés par les services chargés de la planification et de l'élaboration des plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU). Cette échelle est souvent employée aussi dans les zones rurales où les réseaux sont étendus avec une basse densité de branchements et équipements (Valiron, 1994).

– *Plans à échelle moyenne (1/ 5000 à 1/ 1000)*: Ce sont les plans utilisés sur le terrain par les exploitants. Sur ces plans sont représentés les fonds de plans et les réseaux accompagnés des informations indispensables à l'exploitant (Valiron, 1994).

– **Plans à grande échelle (1/500 à 1/100):** Ils permettent une localisation précise des ouvrages existants. Ces plans sont généralement réalisés rue par rue, et présentent le positionnement des canalisations et des pièces spéciales, les branchements et les côtes exactes du réseau. Ces plans sont très utiles, compte tenu de la masse d'informations qu'ils contiennent (Valiron, 1994).

– **Plan de recollement:** Sur les plans d'exécution qui sont généralement à l'échelle du 1/500 sont reportés tous les réseaux nouvellement construits avec leurs caractéristiques (diamètre, type, nature), sont indiqués aussi les ouvrages annexes, les vannes et les côtes de radiers (Valiron, 1994).

A ce document sont annexés les profils en long, les ouvrages spéciaux, le carnet de branchement, ceux-ci étant numérotés rue par rue.

3.5.1 Mise à jour des plans

Les services d'eau disposent généralement des informations concernant les réseaux et d'un support cartographique correspondant à la voirie car la mise à jour demande une bonne coordination avec les services en charge des travaux de voirie afin que ceux-ci transmettent au service d'AEP les plans d'exécution des travaux (Valiron, Abdelbaki, 2012).

3.5.2 Fonds de plans

Les données cartographiques correspondantes à la voirie et le bâti sont tenues à jour par les services concernés tels que l'Institut National de Cartographie et de Télédétection ou les services du Cadastre qui sont les principaux fournisseurs des données cartographiques nécessaires aux organismes gestionnaires de réseaux.

Le plan cadastral est le document de référence de l'information cadastrale; c'est à dire à partir du plan que sont identifiés tous les biens soumis à impôt.

Le plan cadastral comporte principalement les informations suivantes:

- Les limites de commune, de section cadastrale, de lieu – dit, de parcelle et de subdivision fiscale, avec mention du toponyme ou du numéro.
- Les bâtiments (hachurés), les hangars, les mosquées, les cimetières, les calvaires, les moulins, les cheminées d'usine, les gazomètres, les gazoducs, les lignes de transport de forces.
- Les noms de voie et les numéros de police des immeubles bordant ces voies.
- Les repères géodésiques, les points de triangulation et de polygonalement cadastrale, les repères de nivellement, les bornes de propriétés.
- Les murs, les clôtures, les haies, les fossés, les cours d'eau, les lacs, les étangs, les ouvrages (quais, ponts), les bordures de chemins et de trottoirs...(Rouet, 1993).

Afin de mieux évaluer ce que peut apporter la cartographie informatisée, il convient de mettre en évidence les principaux inconvénients de la cartographie « papier » :

- la quantité d’information que peut contenir une carte est limitée, principalement pour des raisons de lisibilité ;
- une fois produite, la carte « papier » est un document figé. Il peut même arriver que des cartes soient périmées dès leur parution ;
- il est difficile d’extraire une information exacte (coordonnées géographiques d’un point situé en mer) ;
- aucune analyse quantitative ne peut être conduite entre deux cartes thématiques ;
- toute analyse spatiale à partir de plusieurs cartes est difficile, voire impossible. (Sauvagnargues-Lesage S. et al., 2009) (Tena-Chollet F. et al., 2010).

3.5.3 Cartographie des réseaux d’alimentation en eau potable à l’aide d’un SIG

La cartographie des réseaux d’alimentation en eau potable doit être fondée sur une parfaite connaissance de ces derniers et de tous leurs éléments constitutifs et leurs son fonctionnement.

Les cartes et plans des réseaux, tenus à jour, avec l’indication des différents points singuliers constituent le document de base de l’exploitant.

Ce document de base tend à se développer sur support informatique et constitue un système d’information géographique, véritable base de données fondée sur la représentation géographique des réseaux et de l’ensemble des informations qui y sont associées.

- La constitution d’un S.I.G dans l’élaboration des cartes réside dans la facilité de:
 - Mettre en place une cartographie numérique détaillée facile à mettre à jour.
 - Permettre des analyses spatiales en croisant les couches d’information stockées dans la base de données.
 - Permettre des études statistiques en procédant à des requêtes multiples.
 - Elaborer diverses cartes thématiques en croisant les différentes couches d’informations intéressant le thème.
- Les spécificités de cette cartographie sont liées :
 - A la mise en œuvre d’un projet de gestion technique.
 - A l’absence d’un projet global de bases de données urbaines dont il faut préserver la faisabilité.
 - Au fait que plusieurs collectivités indépendantes gèrent des réseaux de même nature, complémentaires les uns des autres, sur un espace géographique commun.

Les difficultés que rencontrent les services techniques dans la gestion et l’exploitation spatio-temporelle des réseaux d’eau potable nécessitent la mise en place d’une nouvelle dynamique et sens de gestion moyennant des dispositifs adéquats, structurés et planifiés pour qu’ils puissent connaître, apprécier et gérer ces dits réseaux, tels que les SIG en général et les applicatifs métiers dédiés à la gestion d’eau potable en particulier (SIG eau potable).

De tels outils permettront de :

- Acquérir une connaissance descriptive et fiable du réseau
- Géo localiser les différents ouvrages constituant le réseau,
- Visualiser les réseaux d'eau potable avec différentes configurations et à différentes échelles,
- Cartographier et analyser géographiquement les données du réseau,
- Disposer d'un véritable système d'aide à la décision, implantation d'ouvrages, interventions sur les réseaux
- Lancer des requêtes de recherches et des analyses thématiques
- Générer des statistiques et des plans à échelles voulues....
- Faire le suivi des dysfonctionnements du réseau,
- Programmer la distribution d'eau potable selon les résultats de calcul et les différents scénarios de distribution.....

3.6. Les indicateurs des services d'eau potable

Les activités concernant l'exploitation du réseau sont très variées et impliquent un grand nombre de données et de variables de différentes sources et qualités en fonction de leurs objectifs (diagnostic, interprétation, prédiction, planification de réhabilitation,...) et de leur exécution (court, moyen ou long terme). Le gestionnaire et le décideur doivent souvent prendre des décisions, argumentées et pertinentes, ce qui nécessite une stratégie d'étude efficace basée, d'une part sur la connaissance du comportement du système de distribution d'eau potable et d'autre part sur l'utilisation d'indicateurs appropriés sur l'évaluation des performances de fonctionnement du système (Blindu, 2004).

Les indicateurs du service de l'eau potable sont au nombre de 17, dont 3 indicateurs descriptifs. Ils couvrent tout le périmètre du service, depuis la protection des points de prélèvement jusqu'à la qualité de l'eau distribuée, en passant par la performance du service à l'utilisateur (Guérin-Schneider; 2002). Ils permettent d'avoir une vision de l'ensemble du service, du captage à la distribution, de sa performance et de sa durabilité à la fois sous l'angle économique, environnemental et social. Chaque indicateur est défini fournissant toutes les explications sur ses modalités de calcul et sur son interprétation et ses limites (observatoire national des services d'eau d'assainissement, 2012¹). Les indicateurs de services sont donnés dans le tableau I.3.

¹ <http://www.services.eaufrance.fr/observatoire/indicateurs/eau-potable>

Tableau I.3 : Indicateurs de services (Observatoire français des services d'eau et d'assainissement, 2012, ²)

Thème	Type	Libellé
Abonnés	Indicateur descriptif	Estimation du nombre d'habitants desservis
Abonnés	Indicateur descriptif	Prix TTC du service au m ³ pour 120 m ³
Abonnés	Indicateur descriptif	Délai maximal d'ouverture des branchements pour les nouveaux abonnés défini par le service
Qualité de l'eau	Indicateur de performance	Taux de conformité des prélèvements sur les eaux distribuées réalisés au titre du contrôle sanitaire par rapport aux limites de qualité pour ce qui concerne la microbiologie
Qualité de l'eau	Indicateur de performance	Taux de conformité des prélèvements sur les eaux distribuées réalisés au titre du contrôle sanitaire par rapport aux limites de qualité pour ce qui concerne les paramètres physico-chimiques
Réseau	Indicateur de performance	Indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable
Réseau	Indicateur de performance	Indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable
Réseau	Indicateur de performance	Rendement du réseau de distribution
Réseau	Indicateur de performance	Indice linéaire des volumes non comptés
Réseau	Indicateur de performance	Indice linéaire de pertes en réseau
Réseau	Indicateur de performance	Taux moyen de renouvellement des réseaux d'eau potable
Qualité de l'eau	Indicateur de performance	Indice d'avancement de la protection de la ressource en eau
Gestion financière	Indicateur de performance	Montant des abandons de créance ou des versements à un fonds de solidarité
Abonnés	Indicateur de performance	Taux d'occurrence des interruptions de service non programmées
Abonnés	Indicateur de performance	Taux de respect du délai maximal d'ouverture des branchements pour les nouveaux abonnés
Gestion financière	Indicateur de performance	Durée d'extinction de la dette de la collectivité
Gestion financière	Indicateur de performance	Taux d'impayés sur les factures d'eau de l'année précédente
Abonnés	Indicateur de performance	Taux de réclamations

² <http://www.services.eaufrance.fr/observatoire/indicateurs/eau-potable>

3.7 Sectorisation des réseaux d'eau potable

La sectorisation offre la possibilité d'obtenir des données à des échelles spatiales et temporelles plus fines, ce qui facilite la recherche et la localisation des fuites et permet une hiérarchisation des actions à mettre en œuvre. La sectorisation consiste à diviser le réseau d'AEP en plusieurs « sous-réseaux » appelés secteurs pour lesquels le suivi des débits mis en distribution est effectué par comptage des débits entrants et sortants. Les systèmes récents sont entièrement télé-gérés et permettent un rapatriement et un stockage des mesures en continu avec des pas de temps horaires voir infra horaires.

Physiquement, un secteur est une sous-partie connexe du réseau délimitée par :

- des extrémités d'antennes ;
- des vannes fermées ;
- des comptages.

Toutes les communications ouvertes avec les ouvrages (stations de pompage, réservoirs, ...) et avec des secteurs voisins doivent être équipées de comptage. Lorsque l'eau peut potentiellement circuler dans les deux sens, les comptages doivent être à double sens. Les éventuels ouvrages de stockage interne au secteur (bâches de reprises par exemple) doivent également être équipés de comptages (Renaud et al., 2012). La conception d'une sectorisation doit tenir compte des points suivants :

- *La configuration hydraulique du réseau* : la configuration des secteurs doit prendre en compte les infrastructures (réservoirs, stations de pompage). Elle est contrainte par la délimitation des UDI (Unités De Distribution) et des zones de pression. La sectorisation peut parfois conduire à des modifications du fonctionnement hydraulique du réseau (démaillage notamment), il faut alors s'assurer que la nouvelle configuration peut en permanence satisfaire les objectifs du service.

- *La mesurabilité du débit de nuit* : les appareils de comptage (compteurs et débitmètres) mesurent les volumes avec une certaine précision. Dans certains cas, notamment lorsque le débit du secteur est calculé à partir de plusieurs comptages, l'incertitude d'évaluation du débit du secteur peut être considérable tandis que le débit nocturne à mesurer est d'autant plus faible que le secteur est petit. Il convient donc d'adapter la taille du secteur pour que le débit nocturne soit mesurable. Usuellement, pour satisfaire cette contrainte, le nombre d'usagers des secteurs est compris entre 500 et 3000.

Au-delà de ces contraintes, la sectorisation doit tendre à satisfaire :

- *L'homogénéité des secteurs* : pour faciliter l'interprétation des indicateurs et la compréhension de leurs évolutions ;

- *L'adaptabilité aux évolutions* : en vue de créer ou modifier des secteurs en raison des évolutions de la demande sans tout remettre en cause ;

- *La facilité d'exploitation* : les systèmes mis en place doivent répondre à une logique commune et être compatibles entre eux, leur complexité doit être proportionnée aux capacités du service ;

- *Un coût modéré* (Renaud et al., 2012, Godart, 2000)..

3.8. Modélisation des réseaux d'AEP

La modélisation constitue une démarche d'investigation non destructive qui lorsqu'elle est menée dans de bonnes conditions, permet :

- Dans le cadre d'une étude diagnostique, de connaître le fonctionnement hydraulique du réseau en situation actuelle et prochaine, afin de déterminer ses points faibles et de planifier les renforcements nécessaires à court terme ;
- De coordonner et valider, par les responsables de la distribution, les petits travaux en vérifiant l'adéquation et la consistance.
- Du point de vue de l'exploitation, d'étudier les situations critiques liées à l'indisponibilité d'une ressource, d'ouvrages de pompage ou de stockage, ou d'une canalisation maîtresse, ou de rechercher les dispositions les mieux adaptées pour parvenir à un contrôle adéquat de la pression de distribution tout en réduisant les coûts d'exploitation.
- D'autre part, de concevoir, dimensionner et planifier les aménagements rendus nécessaires par l'évolution des consommations ou de la réglementation en matière de sécurité (Choux, 1990).

3.9 Les logiciels de modélisation des réseaux d'AEP

De nos jours, les outils de modélisation sont devenus incontournables à la gestion des réseaux d'eau potable. De plus en plus de gestionnaires de réseaux d'eau potable se dotent d'outils de modélisation pour encore mieux concevoir, gérer et prévoir l'évolution des ouvrages hydrauliques et la qualité de l'eau distribuée. Actuellement, il existe plusieurs logiciels pour la modélisation et la gestion des eaux, parmi ces logiciels on peut citer :

- **AQUIS**

AQUIS (B. Coelho & A. Andrade-Campos, 2014) est un outil pour la modélisation et la gestion de la distribution de l'eau, c'est un programme qui comprend non seulement la simulation hydraulique mais également la conception et optimisation du réseau. Il intègre des modules de calibrage, SCADA et SIG. Il a la capacité à travailler en temps réel et en ligne. AQUIS a été développé par la société danoise Sept Technologies et est basé sur la technologie de deux plates-formes établies - LICWATER et WATNET (www.7t.dk/aquis).

- **Aquadapt**, qui permet l'optimisation de l'énergie pour l'ensemble de réseau. il intègre un module SCADA; (www.derceto.com/Products-Services/Derceto-Aquadapt);

- **Eau Synergiee**

L'eau est le successeur Synergiee Stoner à leur origine les services Workstation Stoner. Eau Synergiee est basé autour du produit de base Synergiee développé pour le gaz et d'électricité et d'eau bien sûr. Stoner fait l'affirmation audacieuse que «Synergiee est la famille la plus avancée de la modélisation des réseaux et des applications de gestion des modules disponibles dans le commerce". Offert en format modulaire, a Synergiee modules pour permettre de relier les systèmes d'information à la clientèle, SCADA reliant, à l'isolement et la simplification du modèle principal ([Http://www.advantica.biz](http://www.advantica.biz)).

- **ElyxAqua**

Elyx Aqua est une application logicielle de gestion cartographique des réseaux, dédiée aux métiers de l'eau et de l'assainissement. Cette solution repose sur les modules de la suite logicielle Elyx : Elyx Office, Elyx Web, Elyx Manager et Elyx Mobile.

Elyx Aqua s'appuie sur un modèle de données éprouvé, complet et adaptable afin d'intégrer toutes les données et ainsi répondre aux besoins fonctionnels exprimés.

Les logiciels du Groupe STAR-APIC sont considérés comme les meilleures solutions SIG pour la gestion des réseaux d'eau et d'assainissement et ce, depuis de nombreuses années. En France et à ailleurs, de très nombreux gestionnaires de réseaux ont opté pour cette technologie. (<http://www.star-apic.com/>)

- **EPANET**

Le logiciel Epanet est né suite à une initiative du Congrès des Etats-Unis qui visait à protéger les ressources naturelles du pays. Dès lors, l'EPA (US Environmental Protection Agency) a été chargée de développer des techniques permettant de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l'eau dans un réseau d'adduction d'eau potable (www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html).

- **FINESSE**

FINESSE est un produit bien connu du SCP. FINESSE a été développé par l'eau Software Systems WSS - Royaume-Uni. (www.eng.dmu.ac.uk/wssys/software.htm)

- **Ganet**

Ganet est un produit de simulation basé sur l'utilisation d'Epanet et des algorithmes génétiques développés par l'Université d'Exeter en 1997 (<http://www.ex.ac.uk/optimalsolutions>)

- **H2ONet**

H2ONet est un package d'AutoCAD, composé d'une suite complète d'outils. Il a un fort accent sur la vitesse, la facilité d'utilisation, et aussi un accent ferme sur la conception du réseau et des modules offrant de réadaptation pour concepteur et le gestionnaire du réseau. <http://www.innovyze.com/products/>

- **InfoWorks**

Est le successeur de Windows InfoWorks Wallingford Software, basée sur le moteur de simulation WESNet. InfoWorks aussi est un module de simulation hydraulique et la qualité des eaux. Il est fortement basée sur le moteur de simulation WESNet (www.wallingfordsoftware.com/products/infoworks/).

- **Kanet**

KANET est un outil développé à Université de Karlsruhe les ingénieurs de l'IWG comme instrument de planification. Le logiciel KANET est basé sur la décomposition du graphe du

réseau et propose ainsi la possibilité de faire des simulations pour des parties du réseau simplifiées et pour différents cas de demande. De plus, le temps nécessaire aux calculs est réduit d'une manière efficace, ce qui est un facteur important lorsqu'il s'agit de traiter des données en temps réel www.kanet-wasserversorgung.de

- **NetBase**

NetBase est développé par Crowder, une entreprise anglaise (Crowder et co Ltd), en 1985 au Royaume-Uni. NetBase est un système intégré de gestion de distribution d'eau et des réseaux d'assainissement. Il fournit les outils pour surveiller les performances de plusieurs façons, pour répondre aux exigences réglementaires, planifier, développer et exploiter des réseaux afin de répondre à des stratégies particulières de l'utilisateur final. NetBase remplit un concept simple mais puissant d'une seule base de données intégrée pour la gestion de la distribution et les réseaux d'assainissement et les systèmes de drainage. Ses interfaces avec les données et les applications en font à la fois souple et dynamique

(http://www.crowderconsult.co.uk/lang/en/netbase/content_pages/)

- **PORTEAU**

Porteau est un logiciel de simulation hydraulique et de cinétique adapté aux réseaux d'eau sous pression. Il est développé par le Cemagref de Bordeaux en 2001. Il permet : une schématisation du réseau, la représentation de son fonctionnement en pointe, sur un horizon de plusieurs heures ou jours, la modélisation de la qualité avec temps de séjour, cinétique et traçage de provenances. Il est utile comme outil de gestion et d'aide au dimensionnement.

(<http://porteur.irstea.fr/>)

- **PICCOLO**

Piccolo est un logiciel de modélisation des réseaux d'eau potable, développé par le Safège en 1986. C'est un outil général de simulation des écoulements en charge dans les réseaux maillés. A partir des données du réseau, Piccolo calcule les vitesses, les pressions, les débits, l'évolution des niveaux de réservoirs...Les calculs peuvent concerner un régime statique ou dynamique, c'est un outil puissant de modélisation des réseaux de fluides (eau potable, eau surchauffée) (Pez G. et al., 1996) (<http://www.safege.fr/fr/innovation/modelisation/piccolo>).

- **RESODO**

RESODO permet de modéliser les réseaux de tout type et de toute dimension: petits réseaux ruraux, grands réseaux urbains, prise en compte d'une grande gamme d'équipements: réservoirs, pompes, vannes régulatrices, etc. Il propose de nombreux outils d'aide à l'utilisateur, parmi lesquels: calculs des pressions résiduelles, calculs de défense contre l'incendie, estimation des fuites, calculs de bilans, etc. RESODO utilise le moteur de calcul EPANET pour effectuer ses calculs hydrauliques et de qualité (<http://www.softeau.com/>).

- **StruMap**

StruMap est une version de Geodesys pour la modélisation hydraulique du progiciel SIG StruMap, en utilisant un moteur de simulation basée sur EPANET intégré au SIG. La

modélisation avec StruMap offre une gamme complète de fonctionnalités : modélisation de la qualité de l'eau, évaluation des fuites, etc. (www.geodesys.co.uk)

- **Water CAD**

Est une application conviviale qui permet de modéliser le comportement hydraulique et la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution. Pour gérer leurs infrastructures, de nombreux services publics, services municipaux et bureaux d'étude font confiance à Water CAD, un outil fiable et économique qui facilite la prise de décision. Du contrôle des systèmes de lutte contre les incendies à l'analyse de l'eau, de la consommation énergétique et à la gestion des coûts, Water CAD aide à analyser, concevoir et optimiser les réseaux de distribution d'eau <http://www.bentley.com/fr-FR/Products/WaterCAD/Product-Overview.htm>.

4. CONCLUSION

Ce chapitre est consacré à la recherche bibliographique des différentes notions étudiées dans le cadre de cette thèse, trois parties ont été développées à savoir l'approche systémique, les systèmes d'information géographique et les réseaux d'alimentation en eau potable.

- L'approche systémique a provoqué un changement considérable dans le monde scientifique jusqu'alors fortement empreint de la pensée cartésienne analytique. Nous avons pu voir la systémique comme un savoir et des concepts et la systémique comme une méthode et un apprentissage, deux notions importantes et complémentaires de la systémique. Cette dernière se base sur la propriété des systèmes (échange de matière, d'énergie et d'information) et vise à étudier l'évolution dynamique des systèmes vers une finalité souhaitée (Le Moigne, 2006).

- Les systèmes d'information géographique, qui sont souvent perçus comme des outils, des logiciels qui permettent de réaliser des requêtes, ainsi que des cartes, à partir de sources hétérogènes existantes. Il s'ensuit que des confusions apparaissent entre SIG et bases de données spatiales, entre création d'un SIG conçu en fonction d'une problématique donnée et création d'informations spatiales en vue de la rédaction de cartes, entre géotraitement en vue de l'analyse et de la simulation spatiales et manipulations informatiques. Or, concevoir, puis créer un SIG est une démarche intellectuelle reposant sur une approche systémique alors que la création d'information spatiale matérialise uniquement la structure des objets géographiques. D'une façon générale, la conception d'un SIG est avant tout un processus de modélisation d'une problématique intégrant une dimension spatiale ou géographique, de structuration des phénomènes retenus comme caractérisant, concrétisant celle-ci avant d'être un problème d'ordre informatique. Ces phénomènes sont à l'intersection de trois espaces ou ensembles, à savoir l'espace de la réalité observable (thématique, sémantique), l'espace spatial ou géographique et l'espace temporel. L'information spatiale ou géographique créée correspond à une des parties visibles des phénomènes et n'a de sens que rapportée à ces espaces pris ensemble (Françoise Pirot et Anne Varet-Vitu, 2004).

- Les réseaux d'AEP conditionnent l'activité et le développement des agglomérations (Valiron, 1994), les notions principales concernant la cartographie, la gestion et la modélisation ont été synthétisées dans cette partie. Ces trois parties sont développées pour le groupement urbain de Tlemcen dans les chapitres 3, 4 et 5.

**CHAPITRE II :
PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE**

**LE GROUPEMENT URBAIN DE
TLEMCEN**

CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE - LE GROUPEMENT URBAIN DE TLEMCEN-

Dans ce chapitre la zone d'étude est présentée, les ressources en eau alimentant le Groupement urbain de Tlemcen (GUT) ainsi que les besoins en eau de la population. Les indicateurs de performance sont développés pour décrire le fonctionnement du réseau d'AEP du GUT.

1. PRESENTATION DU GROUPEMENT URBAIN DE TLEMCEN

La wilaya de Tlemcen se situe à l'extrême Ouest de l'Algérie, elle est limitée géographiquement au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le royaume du Maroc, au Nord-est et à l'Est par les wilayas de Ain-Témouchent et de Sidi Bel-Abbès, et au Sud par la wilaya de Naâma. La wilaya de Tlemcen regroupe actuellement et depuis le découpage administratif de 1991, vingt daïras et cinquante-trois communes dont le chef-lieu de wilaya est Tlemcen (Zaoui et al. 2007). Elle s'étend sur une superficie de 9061 Km². Le territoire de la wilaya de Tlemcen est formé d'un ensemble de milieux naturels qui se succèdent de manière grossièrement parallèle. On distingue du Nord au Sud: la chaîne montagneuse des Traras, les plaines et plateaux limités au Sud par les monts de Tlemcen et enfin la zone steppique qui s'étend jusqu'aux frontières avec la wilaya de Naâma (Bensaoula et al., 2012)

Le groupement des communes de Tlemcen, Chetouane et Mansourah occupe environ 112,2 km² constituant le bassin intérieur de Tlemcen. Ce bassin est limité au Sud par la falaise de Lalla Setti, au Nord par la haute colline de Ain El Houtz, à l'Est par Oum El Allou et à l'Ouest par les monticules de Beni Mester (Abdelbaki et al., 2012). Les monts de Tlemcen correspondent à une vaste superficie de 300 km² où affleurent des roches carbonatées très karstifiées (80 %) (Bensaoula , 2007).

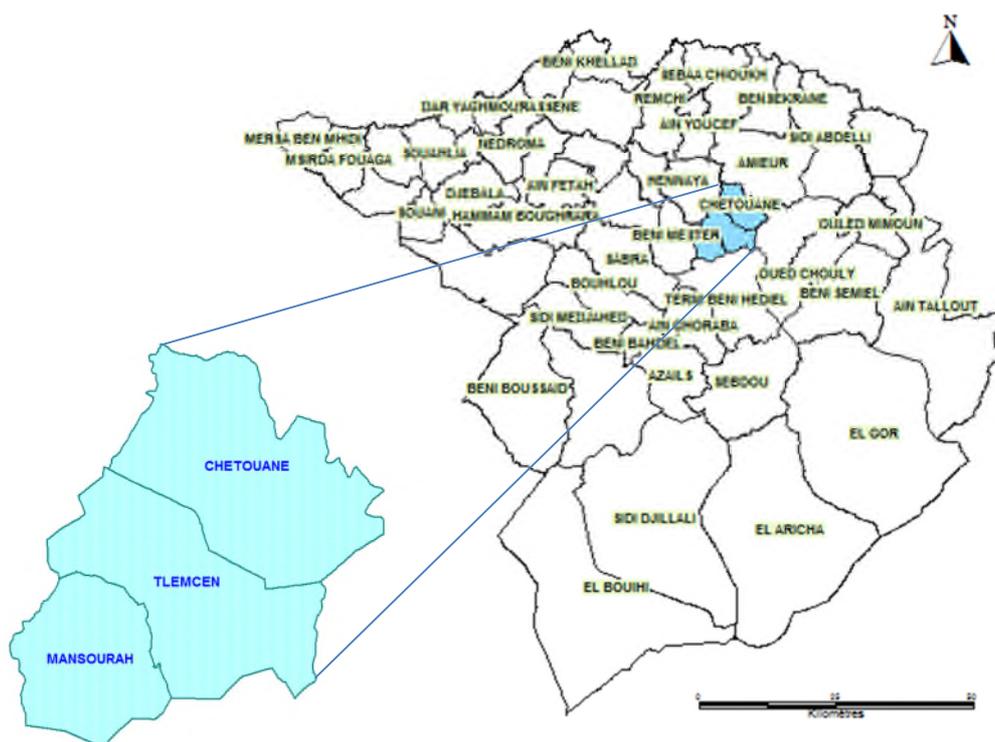


Figure II.1 : Présentation de la région d'étude

1.1 Climatologie

La région étudiée jouit d'un régime pluviométrique complexe influencé par un climat méditerranéen avec une saison sèche et chaude en été, et autre pluvieuse et froide en hiver. La distribution des précipitations annuelles montre une période de pluie qui s'étale d'Octobre à Avril avec un pic en Janvier. Les précipitations annuelles fluctuent entre 500 et 800 mm (Bensaoula , 2007). La moyenne pluviométrique calculée est de 560 mm /an, Les températures moyennes oscillent entre 5 °C en Janvier et 34 °C en Août (ONM, 2011)

1.2 Géologie et hydrogéologie

Le territoire étudié (Groupement Tlemcen-Mansourah-Chetouane) est située au pied des monts de Tlemcen, il est caractérisé par une géologie complexe et diversifiée. Ainsi, on y observe une succession de formations datées du Primaire jusqu'au Quaternaire (Bensaoula et al., 2012, Azzaz et al., 2012). Il est compris entre les horsts de Ghar Rhoubane à l'Ouest et le môle de Tiffrit à l'Est. Il est constitué de terrains d'âge Jurassique supérieur et Eo-crétacé. Le Lias et le Jurassique moyen n'affleurent que dans la partie occidentale, par contre le trias n'apparaît qu'en faveur de structures dia pyriques. Au Nord des monts de Tlemcen, le jurassique s'enfouit très rapidement sous des épaisseurs importantes du miocène essentiellement marneux. Ceci a été mis en évidence par diverses études géophysiques par sondages électriques menées dans la région (Algéo, 1979 in Bensaoula et al., 2005). Au Sud, le Jurassique disparaît aussi sous les dépôts néogènes essentiellement conglomératiques appelées conglomérats des hauts plateaux (Collignon, 1986 in Bensaoula et al., 2005). Dans les monts de Tlemcen, les dépôts du Plio –

Quaternaire ne sont présents que dans les fossés d'effondrement et des dépressions, tel que le fossé de Sebdou et le plateau de Terni. Dans le bassin miocène, seuls les grès tortoniens et les conglomérats plio-quaternaires sont aquifères et alimentent quelques sources à faible débit (Bensaoula, 1992). Les seuls niveaux intéressants sont les formations calcaréo dolomitiques de Tlemcen et de Terni (Figure II.2).

Les Monts de Tlemcen sont souvent appelés le château d'eau naturel de l'Ouest Algérien. Ils occupent la partie centrale de la wilaya et représentent 28% de la superficie totale.

Ces formations sont largement karstifiées et constituent les aquifères les plus importants de la wilaya de Tlemcen. Les ressources en eau karstiques des Monts de Tlemcen constituent la ressource en eau la plus mobilisée et qui alimente pour une grande part la population de Tlemcen. En effet, Les communes les mieux dotées en alimentation en eau potable sont celles alimentées à partir des ressources karstiques en question. Les communes de la partie centrale de la wilaya à titre d'exemple, le groupement urbain de Tlemcen qui comprend une population de plus de 230.000 habitants, est alimenté par des ressources en eau qui sont à 65% d'origine karstique (Bensaoula et al., 2012).

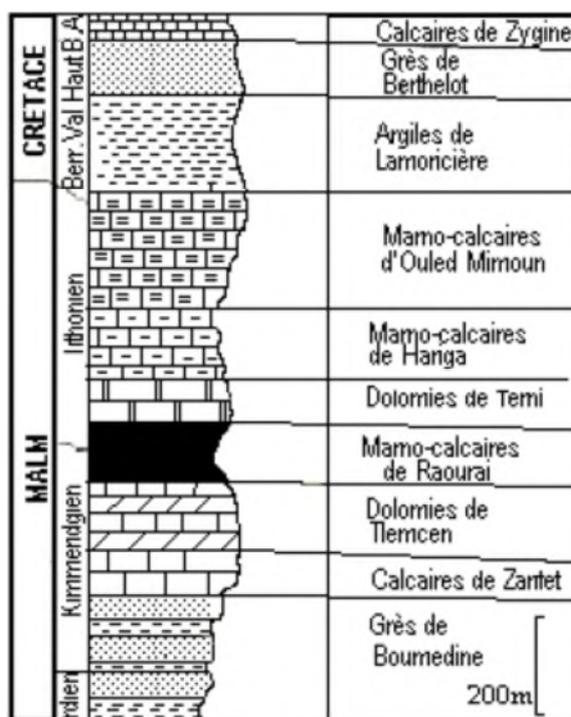


Figure II.2 : Log lito stratigraphique synthétique des Monts de Tlemcen (Benest et al. 1999) in Bensaoula et al., 2007

1.3 Cadre topographique

La topographie du groupement urbain de Tlemcen est constituée essentiellement d'un terrain accidenté avec des altitudes variant de 600 à 1100 m avec des dénivelées importantes ce qui crée des étages d'altitude de 100 à 500 m. L'occupation du sol est à dominance urbaine. L'espace bâti du groupement urbain de Tlemcen se confond presque avec les limites communales, il occupe près de 5200 ha soit 47% de la superficie totale (ANC, 2010). Un extrait de la carte topographique est donné dans la figure II.3

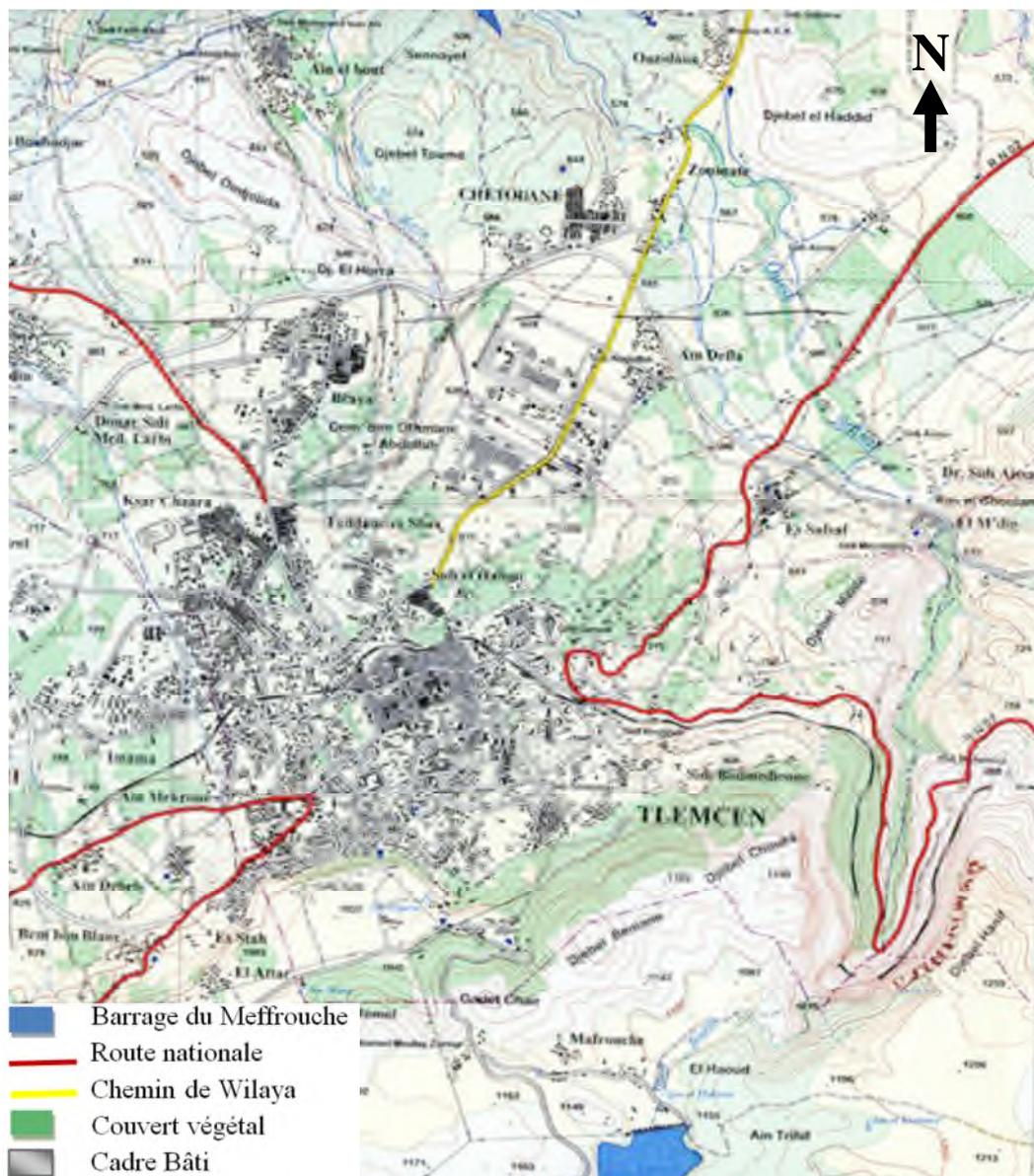


Figure II. 3 : Extrait de la carte topographique du GUT (Echelle 1/50 000)

1.4 Cadre démographique

En 2008, la population de la wilaya de Tlemcen était de 949135 habitants contre 707453 en 1987. Le tableau II.1 donne l'évolution de la population (ONS, 2008):

Tableau II.1: Evolution démographique au niveau de la wilaya de Tlemcen

1987	1998	2008
707453	846942	949135

Pour le Groupement urbain de Tlemcen, la population par commune est donnée dans le tableau II.2 soit un total de 236908 habitants avec un taux d'accroissement moyen de 2,5%

Tableau II.2: Evolution de la population au niveau du GUT (ONS, 2008)

Commune	Population	Taux de croissance annuel 1998/ 2008
Tlemcen	140 158	■ 0,6 %
Mansourah	49 150	■ 3,3 %
Chetouane	47 600	■ 3,1 %

La population future est estimée en utilisant la formule II.1

$$P_n = P_0(1 + \alpha)^n \quad (\text{II.1})$$

avec:

P_n : Population à l'horizon considéré

P_0 : Population de base

n : Intervalle des années considérées

α : Taux d'accroissement moyen de la population

Le résultat est donné dans le tableau II.3

Tableau II.3: Evolution de la population au niveau du GUT pour l'horizon considéré

1987	1998	2008	2035
/	/	236908	461450

1.5 Besoins en eau

Les besoins en eau sont calculés en se basant sur une dotation de 150 l/j/hab pour l'horizon 2035. Les besoins des équipements sont estimés à 15% des besoins domestiques (Gomella, 1986). Les pertes sont estimées à 35% (Dupont,1979).

2. LES RESSOURCES HYDRAULIQUES DU GUT

L'approvisionnement en eau potable du Groupement Urbain de Tlemcen est assuré à partir de trois catégories de ressources, souterraines, superficielles et eaux de dessalement.

2.1 Les eaux superficielles

Les barrages Meffrouche et Beni Bahdel et Sikkak assurent des volumes respectifs exploités et affectés au GUT (Tableau II.4)

Tableau II. 4 : Affectation des eaux des barrages vers le GUT (DRE Tlemcen, 2010)

Barrage	Capacité (Hm ³)	Réserve en 2010 (Hm ³)	Volume annuel affecté au GUT (m ³) 2010
Beni Bahdel	63	12,10	2698508
Mefrouche	15	1,36	4503354
Sikkak	27	7,38	4402658

Le volume exploité du barrage Béni Bahdel se répartit selon trois piquages:

- le piquage vers Tlemcen Nord avec un volume annuel : $V=1\ 208\ 490\ m^3$.
- le piquage vers Ain El Houtz avec un volume annuel: $V =151\ 148\ m^3$.
- le piquage à partir de BC1 (brise charge n°1) : $V=1\ 338\ 870\ m^3$, ce piquage a été réalisé en juillet 2003 pour permettre d'améliorer le taux de satisfaction des populations (DRE Tlemcen, 2010).

Le volume annuel total des eaux superficielles affecté au GUT est de $11604520\ m^3$. Ce prélèvement annuel ou quota est respecté par l'agence nationale des barrages et des transferts (ANBT) de façon à échelonner au maximum les réserves dans l'attente des premières pluies (DRE Tlemcen, 2010).

2.2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont exploitées afin de renforcer les volumes des eaux superficielles, en déficit pour satisfaire les besoins. Ainsi, 3 sources (Fouara supérieure, Fouara inférieure et Ain Bendou), et 28 forages (dont 23 opérationnels) ont été mis en service. Les caractéristiques des principaux forages sont données dans le tableau II.5.

Tableau II.5 : Caractéristiques des principaux forages du groupement urbain de Tlemcen

N°	Forage	X (m)	Y (m)
1	Ksaar Chaara	652628.62	3861981.83
2	Béni Boublène	651116.76	3858956.52
3	Minaret	651933.68	3859564.66
4	Imama	650269.74	3860281.44
5	Ain El Houtz	654386.02	3864531.40
6	Benzerdjeb	654144.88	3860099.59
7	Birouana	655428.90	3860379.31
8	Kalaa Supérieure (Djelissa)	654793.82	3859641.93
9	Saf Saf 3	656882.12	3863515.29
10	Chetouane	656017.59	3864676.78
11	Saf Saf 2	657750.93	3863861.42
12	GUT - Kiffane 2	651660.72	3861923.88
13	Hôpital	652610.70	3859990.93
14	Pépinière	655054.75	3860476.56
15	Mansourah 1	650063.63	3858783.38
16	Oliviers	652987.09	3862773.49
17	Ain Defla	656346.53	3863748.94
18	Ouzidane	656968.14	3866584.09
19	Mansourah 2	648812.67	3857682.85
20	Forage APC	653355.85	3861121.07
21	Chetoune 1	655937.00	3864969.99
22	Koudia	650216.99	3863213.00
23	Chetouane 2	655432.00	3865248.99
24	Oudjlida	652123.99	3865432.99
25	Fedène Sbaa	654137.00	3862530.99
26	Saf-Saf 3	656802.99	3863812.00
27	Béni Boublène 2	651005.00	3859455.00
28	SP3	650530.99	3859703.00

Le tableau II.6 présente les débits exploités pour les forages et les sources alimentant le GUT

Tableau II.6 : Débits exploités à partir des sources et des forages (DRE Tlemcen, 2010)

DESIGNATION	Débit exploité (m ³ /an)
Sources	1 348 359
Forages	5 239 575
Total	6 587 934

La somme du volume annuel exploité (eau souterraine et superficielle) pour alimenter le GUT est de 13 789 796 m³, soit 48% en eau souterraine et 52 % en eau superficielle. Ce volume annuel qui avoisine les 14 millions de m³ est presque stable ces dernières années (DRE Tlemcen ; 2010).

3. RESEAU DE DISTRIBUTION

Le réseau de distribution du Groupement Urbain de Tlemcen est un réseau mixte (maillé + ramifié) présentant dans la distribution différents étages de pressions ; il comporte plus de 430 km de long (350 km de distribution, plus de 50 km d'adduction et le reste c'est des conduites jouant le rôle d'adduction et de distribution en même temps). Le diamètre des conduites varie du 20/27 mm en acier galvanisé à 600 mm en acier enrobé pour la distribution et de 50/60 mm en acier galvanisé à 1100 mm en béton précontraint pour l'adduction (Abdelbaki et al., 2011).

Le réseau d'AEP du GUT est alimenté par les réservoirs donnés dans le tableau II.7. Le taux de branchement au réseau est estimé à 94% (DRE Tlemcen, 2011).

Tableau II.7 : Réservoirs alimentant le GUT (ADE, 2010)

N°	Commune	Réservoir	Capacité (m ³)	Type	Date mise en service
01	Tlemcen	Birouana	1500	CSE	1978
02	Tlemcen	Boudghène	2000	CSE	1970
03	Tlemcen	Sidi Chaker	2000	CSE	1962
04	Tlemcen	Kbassa T.Raab 1	2000	CSE	1978
05	Tlemcen	Kbassa T.Raab 2	2000	CSE	1978
06	Tlemcen	Cherbal 1	3000	CSE	1978
07	Tlemcen	Cherbal 2	3000	CSE	1978
08	Tlemcen	Zone Industrielle	1300x4	RSE	1976
09	Tlemcen	Sidi Tahar	700	CSE	1962
10	Tlemcen	Koudia	500	CSE	1992
11	Tlemcen	Pépénrière	2000	CSE	1978
12	Tlemcen	Sidi Chaker	2000	RSE	1902
13	Tlemcen	Attar	1500	CSE	1960
14	Tlemcen	Fouara Inférieure	2000	RSE	1900
15	Tlemcen	Lalla Setti	3000	CSE	2009
16	Mansourah	Mansourah	2000	CSE	1974
17	Mansourah	Mansourah	2000	CSE	1974
18	Mansourah	Petit Mansourah	100	RSE	1954
19	Mansourah	Béni Boulène	200	CSE	1988
20	Mansourah	Boudjmil I	2000	CSE	-
21	Mansourah	Boudjmil II	2000	CSE	-
22	Mansourah	Nouveau Mansourah	5000	CSE	2009
23	Mansourah	Petit Mansourah	100	CSE	2009
24	Chetouane	Saf Saf	200	CSE	1950
25	Chetouane	Chetouane 1	150	CSE	1950
26	Chetouane	Chetouane 2	1000	CSE	1990
27	Chetouane	Ain El Houtz	500	CSE	1978
28	Chetouane	Ouzidane	150	RSE	1950
29	Chetouane	Haouch El Ouaar 1	500	CSE	1988
30	Chetouane	Haoueh El Ouaar 2	1000	CSE	2003
31	Chetouane	Oudjlida 1	1 000	CSE	2000
32	Chetouane	Oudjlida 2	3 000	-	2003
33	Chetouane	Mdig Sidi Aissa	200	CSE	2008
34	Chetouane	Saf Saf	500	CSE	2007
35	Chetouane	Oudjlida	500	CSE	2007

La situation de l'AEP au niveau du GUT est marquée par une gestion difficile de la distribution. Cette gestion tient au fait que les efforts énormes entrepris en matière de mobilisation des ressources surtout par la réalisation des nouveaux barrages, n'ont pas suffi pour satisfaire aux besoins d'une population croissante à un rythme toujours plus élevé. Le changement des conditions pluviométriques et les modes de gestion du réseau d'AEP a contribué à aggraver la situation (DRE Tlemcen, 2010, Abdelbaki et al., 2011 et Allal et al., 2012). L'analyse de la situation fait ainsi ressortir les problèmes suivants :

- Un fonctionnement discontinu de la distribution avec une desserte limitée à quelques heures par semaine.
- Des problèmes d'hygiène et de santé résultant de ce mode de fonctionnement et du stockage au niveau des ménages, ainsi que les interconnexions du réseau d'assainissement avec les conduites vétustes.
- Des pertes d'eau, qui dans la plupart des parties du réseau dépassent 50%.
- Des installations en mauvais état par manque d'entretien et de maintenance
- Des installations trop vétustes qui nécessitent un renouvellement
- Des canalisations dans un état avancé de dégradation par corrosion
- Une dégradation des installations par manque d'eau et l'introduction d'air (vidange fréquente des conduites)
- Extensions dictées par l'urgence et non basées sur une conception étudiée.
- Qualité de construction souvent mauvaise dû à un contrôle de travaux insuffisant....

4. RENDEMENTS ET PERFORMANCES DU RESEAU D'AEP DU GUT

Dans le domaine de l'alimentation en eau potable, la mesure de performance par des indicateurs portant sur les résultats qualitatifs du service apparaît comme un outil propre à améliorer la maîtrise de la gestion (Guerin-Schneider, 2001). La mise en œuvre de cette méthodologie cherche à constituer un panel commun d'indicateurs balayant l'ensemble des missions des services d'alimentation en eau potable (Guerin-Schneider, 2002). Ces indicateurs, en nombre limité et souvent assez simples à calculer, sont hiérarchisés de manière à guider le choix de la collectivité, sans toutefois lui retirer la possibilité d'adapter la liste au contexte particulier de son service.

Pour une meilleure gestion et exploitation du réseau d'alimentation en eau potable du GUT, des indicateurs de qualité sont judicieusement choisis pour évaluer l'état de fonctionnement du réseau et assurer la pérennité du service rendu (Abdelbaki et al., 2011) (Allal et al., 2012). Ces indicateurs permettent de mieux identifier les forces et faiblesses dans la conduite du service des eaux. Ces indicateurs ont été répertoriés en indicateurs techniques et de service. Ils sont calculés en se basant sur les données des volumes produits, mis en distribution, consommés, comptabilisés au niveau du groupement urbain de Tlemcen....ainsi qu'à la qualité de service rendu aux abonnés, à la qualité des travaux de réparation et de réalisation et la pression de au niveau du réseau alimentant le groupement urbain de Tlemcen.

Pour la qualité du service, une enquête a été menée auprès des abonnés du groupement urbain de Tlemcen (Abdelbaki et al. 2011 et 2014; Bessedik, 2011 ; et Allal et al., 2012). Les détails de l'enquête sont donnés au chapitre 6. Les thèmes abordés dans cette enquête touchent essentiellement les services, l'accueil, l'écoute client et les travaux d'exécution. Les abonnés du groupement urbain de Tlemcen ont répondu positivement et ont coopéré d'une manière efficace. Un questionnaire a été adressé en parallèle, aux cadres et agents de l'organisme gestionnaire des eaux (Algérienne des eaux, Unité de Tlemcen). Les thèmes traités par le questionnaire reposent essentiellement sur l'organisation, la culture et le climat de travail, la gestion des ressources humaines, les contrats des prestations de maîtrise d'œuvre, la qualité et la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable (Abdelbaki et al., 2014).

Ces indicateurs indiquent d'une part le degré de prise en charge de la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable et d'autre part ils sont considérés comme critères influant sur la prise de décision dans la programmation des travaux de rénovation et de réhabilitation pour l'amélioration de la qualité de service rendu. Le suivi des indicateurs techniques (rendement primaire, indice linéaire de pertes et indice de réparation ...) a porté sur la chronique correspondante à la période 2000-2010 (Abdelbaki et al., 2014).

4.1. Rendement du réseau du GUT

Concernant la production et la distribution de l'eau potable, la première des économies à réaliser est bien sûr le rendement du réseau puisque chaque mètre cube d'eau produit, a consommé des kilowattheures perdus suite aux fuites dans le réseau (Guyard, 2011) (Carravetta et al., 2012 et 2013). Les rendements des réseaux sont rarement inférieurs à 70% dans les pays développés, cependant ils peuvent descendre à moins de 30% dans certaines exploitations urbaines en déshérence (Deruel, 2010). L'optimisation du service de distribution d'eau pour un rendement élevé implique la mise en place d'une gestion adaptée et efficace, qui combine à la fois les aspects de maintenance rapide du réseau, de renouvellement du réseau et d'amélioration de la gestion commerciale (Seligman, 2007).

4.1.1 Rendement "production"

Le rendement « production » est un indicateur important pour la gestion technique d'un réseau d'alimentation en eau potable (Valiron, 1994), définit selon la formule II.2.

$$\text{Rendement « production » (\%)} = \frac{\text{Volumestocké}}{\text{Volumeproduit}} \times 100 \quad (\text{II.2})$$

La figure II.4 représente le rendement de production du GUT. Il est acceptable, la moyenne est de 92%, la norme étant de 90% (Gomella, 1985).

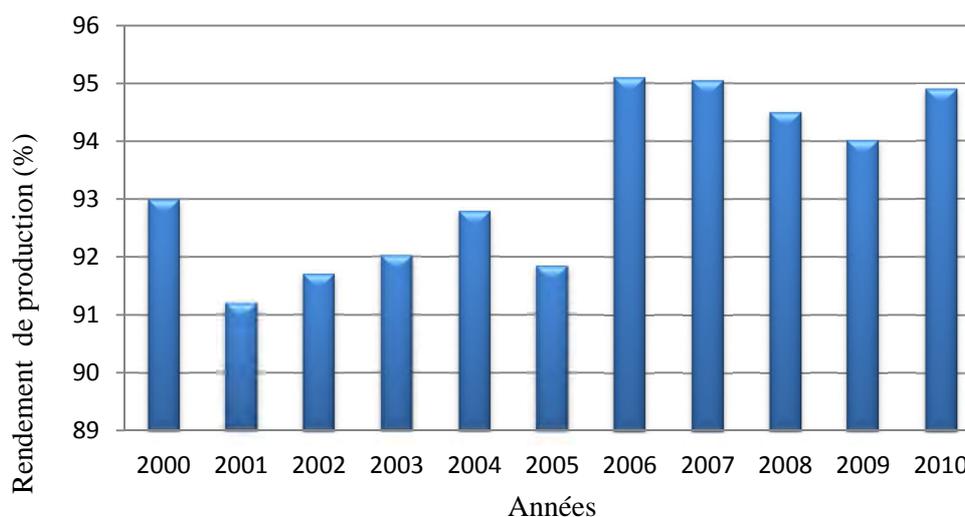


Figure II.4 : Variation des rendements de production au niveau du GUT

4.1.2 Rendement primaire

Ce rendement ou rendement technique, traduit la notion d'efficacité du réseau (Liemberger, 2002), puisqu'il compare la totalité de l'eau utilisée avec celle introduite dans le réseau (AFD, 2011 et Godart, 2000).

$$\text{Rendement primaire (\%)} = \frac{\text{Volume consommé comptabilisé}}{\text{Volume mis en distribution}} \times 100 \quad (\text{II.3})$$

C'est un élément important pour la gestion d'un réseau d'alimentation en eau potable, et généralement supérieur à 65% et peut atteindre, voire dépasser, 90% (Gomella, 1985). La figure II.5 représente les rendements primaires sur la période 2000-2010 pour le GUT.

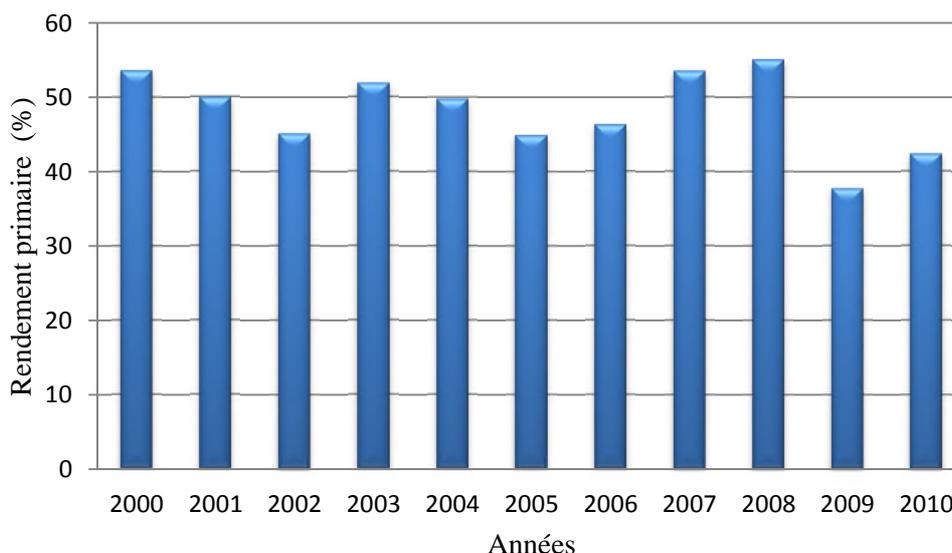


Figure II.5 : Evolution des rendements primaires au niveau du GUT

Les pertes d'eau pour la période s'étalant de l'année 2000 à 2010 dépassent les 45%. A titre d'exemple, l'année 2006 a enregistré une perte d'eau estimée à 7.204.476 m³ (7,2 Hm³), l'équivalent à plus de la moitié de la capacité du barrage Mefrouche (14 Mm³). Cependant, il est cependant difficile d'évaluer la performance d'un réseau d'eau uniquement avec cet indice (Guérin-Schneider, 2001).

L'indice linéaire de perte traduit, quant à lui, le volume d'eau perdu par unité de longueur (Godart H., 2000). C'est l'évolution dans le temps de ces deux indicateurs (rendement primaire + indice linéaire de perte) qui servira de base à tout plan d'amélioration de la performance du réseau.

4.2 Indice linéaire des pertes en distribution

Ce ratio varie suivant le type de réseau (Liemberger, 2002) et peut atteindre journalièrement 10 à 15 m³/km.j (Valiron,1994).

$$\text{ILP}(\text{m}^3/\text{km. j}) = \frac{\text{volume mis en distribution} - \text{volume comptabilisé}}{\text{linéaire} \times 365} \quad (\text{II.4})$$

La figure II.6 présente la variation de cet indice des pertes d'eau en distribution au niveau du Groupement urbain de Tlemcen. Cet indice varie entre 23 et 46 m³/j.km, représentant des pertes d'eau très élevées (Oieau, 2005), qui résultent d'une maintenance très limitée (Abdelbaki et al., 2014).

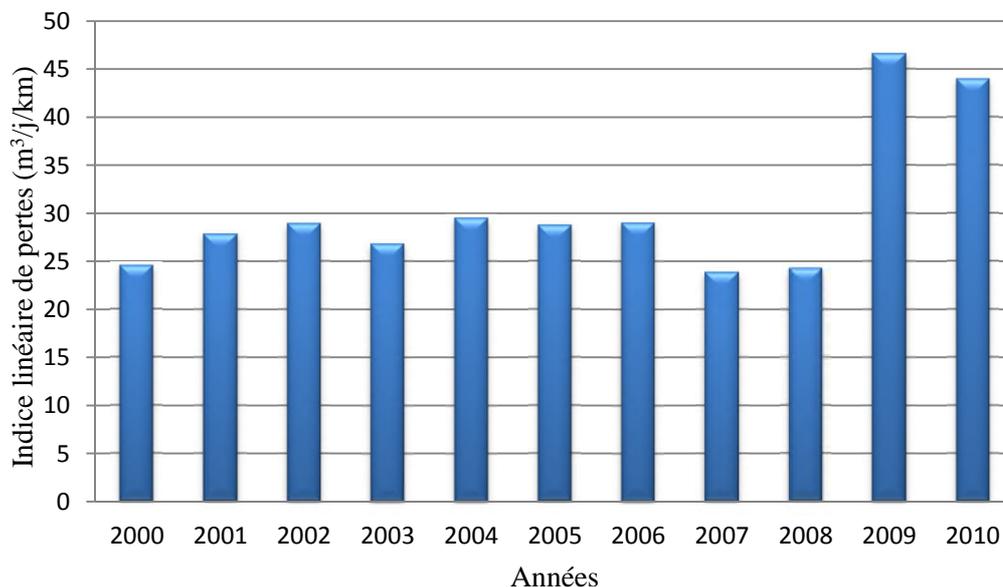


Figure II.6 : Evolution de l'indice linéaire de pertes du GUT

Dans le cas où l'indice des pertes est élevé, il est souhaitable de déterminer l'indice linéaire de réparation (Winarni, 2009).

4.3 Indice linéaire de réparation

L'indice linéaire de réparation est un indicateur sur l'état de dégradation des équipements et des canalisations du réseau d'alimentation en eau potable (Lambert et al., 1999) donné en formule II.5.

$$ILR \text{ (rép/km.an)} = \frac{\text{Nombre total annuel de réparations}}{\text{linéaire du réseau}} \quad (\text{II.5})$$

Les variations de l'indice linéaire de réparation sont représentées dans la figure II.7. Cette dernière montre que cet indice est nettement supérieur à 1 (rép/an.km) ce qui confirme que le réseau est vétuste et nécessite une réhabilitation et que les réparations des fuites d'eau ne sont pas réalisées selon les règles de l'art.

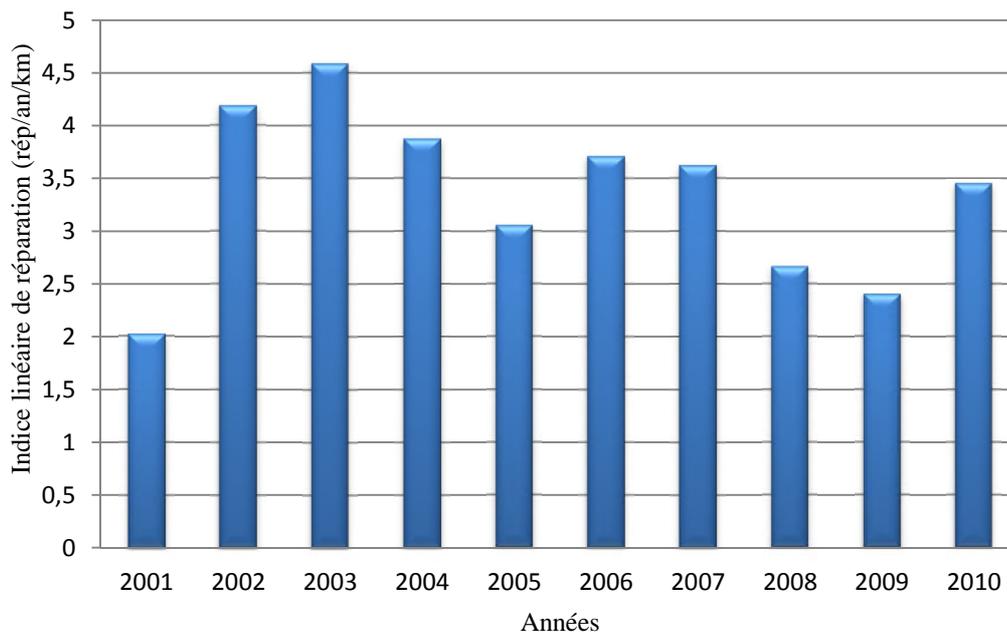


Figure II.7 : Variation de l'indice linéaire de réparation pour le GUT - 2001 à 2010

4.4 Taux moyen annuel de renouvellement du réseau

Ce taux indique le pourcentage du réseau renouvelé et donne une idée sur la prise en charge annuelle de l'opération de rénovation du réseau (ENGREF et OIEau, 2001). Il est estimé durant la période allant de 2000-2010 à environ 22%; soit 150 km de conduites renouvelées sur un linéaire total de 680 km (DRE Tlemcen, 2011). Ce taux moyen de renouvellement représente un équivalent de 32 années, soit la durée des travaux pour rénover la totalité du réseau d'alimentation en eau potable du Groupement Urbain de Tlemcen qui dépasse largement la durée de vie moyenne du réseau (25 ans). Pour une meilleure prise en charge de ce volet, il est souhaitable que la programmation en matière de rénovation de conduites d'alimentation en eau potable soit proportionnelle au linéaire total du réseau dont la moyenne d'âge est estimée à 25 ans. La figure II.8 donne les conduites renouvelées au niveau du GUT pendant la période 2001-2010.

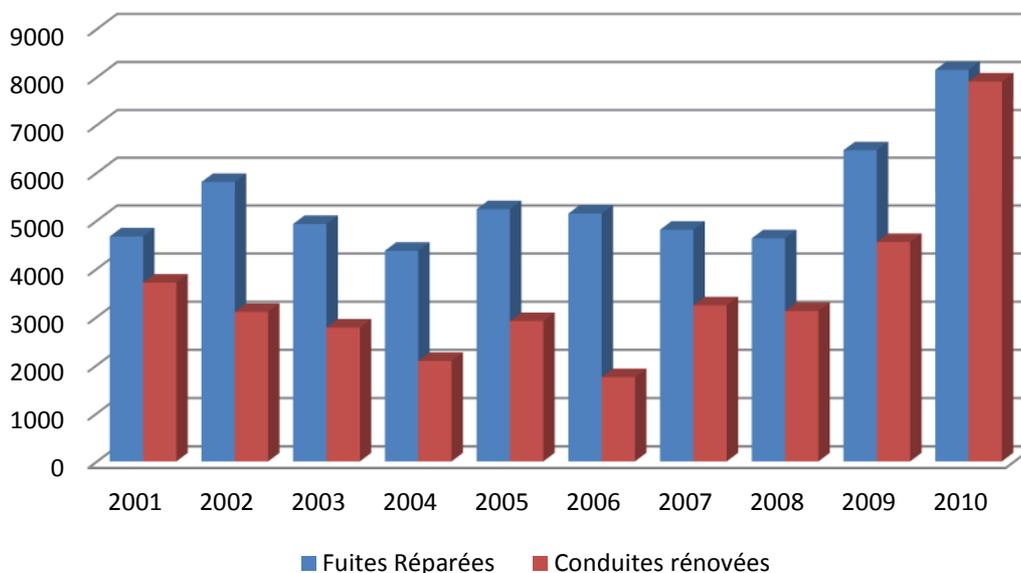


Figure II.8 : Variation des fuites réparées et les conduites rénovées au niveau du GUT (2001-2010).

4.5. Taux de réclamations des abonnés

Ce taux est le rapport entre le nombre de réclamations prises en charges quotidiennement et le nombre de réclamations reçues par l'organisme gestionnaire (ADE). Ces réclamations portent principalement sur les problèmes de fuite ou coupure d'eau, des problèmes de facturation ou sur des anomalies consécutives à des travaux d'interventions sur le réseau. Ce taux permet d'évaluer la prise en charge des doléances des abonnés du réseau d'alimentation en eau potable par l'ADE. Le tableau II.8 présente un exemple de requêtes.

Tableau II.8 : Requêtes commerciales et techniques du mois d'Aout 2008 au niveau du GUT (ADE, 2008).

Libelle motif	En cours ou début de période (A)	Requêtes reçues (B)	Traitées (C)	Dont			En cours fin période (A)+(B) – (C)	Délai dépassé
				Fav ¹	Déf ²	Ins ³		
Aux index relevés	1	8	4	1	1	2	5	0
Au changement de nom	7	80	81	77	4	0	6	1
Au changement de type	1	6	7	5	2	0	0	0
A la votre demande de branchement	107	126	184	117	16	51	49	11
Au vol de compteur	5	13	11	10	1	0	7	0
A l'état de votre compteur	1	1	2	1	0	1	0	0
A la pose d'un compteur	21	35	0	26	0	8	3	0
A votre demande d'échéancier	2	2	1	1	0	0	3	0
Autres techniques	9	1	0	0	0	0	10	0
TOTAUX	154	272	324	238	24	62	102	16

On remarque d'après les résultats du tableau II.8 que le taux de réclamation est de 76% reflétant un taux appréciable. Les 24% des réclamations non traitées sont dues essentiellement au dépassement des délais pour des raisons multiples, chose qui pousse à faire une réflexion censée et ce, dans le but de tracer des procédures fiables et rapides. Cet indice sera développée en chapitre 6.

¹ Favorable,
² Défavorable
³ En instance

4.6. Pression de service

La continuité d'un service d'eau intègre non seulement le débit, la qualité des eaux, mais aussi la pression. Les usagers doivent avoir une pression comprise entre un minimum et un maximum, avec le moins de variation possible. Toutefois, il est admis que « La pression maximale chez l'utilisateur ne doit pas dépasser 4 bars. Au-delà de cette valeur, il y a risque d'apparition de désordres (bruits, fuites d'eau, etc.). A l'inverse la pression à l'entrée doit être de 1 bar (Bremond., 1991, Valiron, 1994). La chute de pression par rapport aux pressions de services indique un dysfonctionnement du système de distribution d'eau. La pression au niveau du GUT sera étudiée en détail en chapitre 5.

5. INTERPRETATIONS ET RECOMMANDATIONS

D'après les résultats obtenus, on constate que le rendement primaire au niveau du groupement urbain de Tlemcen est nettement inférieur à celui généralement admis dans les normes. Ces faibles rendements sont dus à :

- La corrosion des conduites en acier dont la protection cathodique n'a pas été prévue à la pose;
- Pressions de service dépassant les normes requises ;
- Insuffisance de matériels appropriés de détection et de réparation des fuites d'eau ;
- Branchements non contrôlés et réalisation de tronçons sans étude au préalable ;
- Défaillance en matière de pièces spéciales de rechange.
- Absence de politique de maintenabilité du système.

Un certain nombre de mesures techniques peuvent être envisagées afin d'améliorer les résultats obtenus au terme de diagnostic et d'optimiser la gestion du réseau de distribution du GUT :

- Analyse des caractéristiques des conduites (âge, diamètre et matériau). Cette analyse est croisée avec les tronçons ayant connus des problèmes de fuites afin de déterminer une stratégie de renouvellement ;
- Analyse des volumes comptabilisés et facturés au rôle de l'eau durant les dernières années afin d'extrapoler l'évolution future des volumes consommés et du nombre d'abonnés.
- Analyse des volumes de production des ressources du GUT afin de déterminer la capacité de production minimale et maximale. Cette analyse croisée avec l'extrapolation de la population future va permettre de déterminer l'adéquation ressources-consommation mais également le cas échéant le nombre d'abonnés futurs raccordables au réseau de distribution;
- Amélioration de la pression de service, cela permet de réduire efficacement les risques de fuites sur le réseau. D'autre part, en fonction des conditions de pression sur le réseau, l'implantation de nouveaux appareils peut s'avérer indispensable.;
- Suivi régulier des volumes mis en distribution afin d'éviter les dérives et l'augmentation du volume de fuites.

6. CONCLUSION

Les activités concernant l'exploitation du réseau du GUT très variées et impliquent un grand nombre de données et de variables de différentes sources et qualités en fonction de leurs objectifs (diagnostic, interprétation, prédiction, planification de réhabilitation,...) et de leur exécution (court, moyen ou long terme). Le gestionnaire et le décideur doivent souvent prendre des décisions, argumentées et pertinentes, ce qui nécessite une stratégie d'étude efficace basée, d'une part sur la connaissance du comportement du système de distribution d'eau potable et d'autre part sur l'utilisation d'indicateurs appropriés sur l'évaluation des performances de fonctionnement du système.

CHAPITRE III :
APPROCHE SYSTEMIQUE ET
MODELISATION CONCEPTUELLE
DES DONNEES DU SYSTEME D'AEP
DU GUT

CHAPITRE III : APPROCHE SYSTEMIQUE ET MODELISATION CONCEPTUELLE DES DONNEES DU SYSTEME D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DU GUT

L'approche systémique aide à mieux représenter la complexité d'un système, quitte à admettre qu'on ne puisse en saisir et comprendre toute la richesse (Desthieux, 2005). L'approche systémique s'applique à tous les systèmes, notamment les réseaux urbains (AEP, Assainissement...). En effet, les systèmes urbains sont caractérisés par des interdépendances complexes entre les phénomènes. Des indicateurs à base conceptuelle ou non, peinent à donner une image de ces interdépendances. La prise en compte de ces dernières aide à comprendre la dynamique complexe des processus qui se déroulent sur le territoire urbain. (Repetti, 2004).

Les représentations conceptuelles des phénomènes urbains doivent faire l'objet d'une modélisation systémique. En effet, la modélisation facilite la mise en œuvre concrète et opérationnelle de l'approche systémique (Miralles, 2006), et contribue de ce fait à rendre intelligible la complexité du système urbain en particulier les réseaux d'AEP, objet de notre travail. Cette modélisation implique une double organisation des éléments d'un système, à la fois structurelle et dynamique.

1. MODELISATION FONCTIONNELLE DU RESEAU D'AEP DU GUT

Un réseau d'AEP a pour mission principale d'assurer les fonctions de production, de stockage et de distribution tout en satisfaisant une clientèle toujours exigeante en qualité et en quantité (Valiron, 1994, Abdelbaki et al., 2012). Ces trois principales fonctions sont modélisées en tenant compte de certaines mesures techniques qui conditionnent les données d'entrée et les résultats de sortie pour chaque fonction étudiée.

1.1. Mesures techniques de performances

A partir de ou des réservoirs, l'eau est distribuée dans un réseau de canalisations sur lesquelles les branchements seront piqués en vue de l'alimentation des abonnés. Les canalisations devront en conséquence présenter un diamètre suffisant, de façon à assurer le débit maximal avec une pression au sol compatible avec la hauteur des immeubles.

- **Débit** : Les conduites devront pouvoir transiter les plus forts débits instantanés en tenant compte du débit de pointe.
- **Diamètre** : Le choix des diamètres est basé sur les catalogues des fournisseurs. Compte tenu des débits importants que sont rarement d'un diamètre inférieur à 0,06 m, voire 0,08 m. Dans les tronçons sur lesquels est prévu l'installation de bouches d'incendie, le diamètre minimal sera de 0,100 m ou mieux encore 0,150 m
- **Vitesse** : La vitesse de l'eau dans les conduites est de l'ordre de 0,5 à 1 m/s. Les vitesses supérieures à 1,5 m/s, de même que celles inférieures à 0,5 m/s sont à éviter (Dupont, 1979).

- **Pression** : Le réseau doit être calculé pour satisfaire à certaines conditions de pressions. En vue de la bonne tenue des canalisations, il y a lieu d'éviter en ville des pressions supérieures à 40 m qui risquent d'apporter des désordres (fuites) et certains bruits désagréables dans les installations intérieures d'abonnés. Selon la hauteur des immeubles, on prévoit les pressions maximales données dans le tableau III.1.

Tableau III.1 : Pression au niveau des immeubles (Dupont, 1979)

Etage	Pression (m)
un étage	12 à 15 m
02 étages	16 à 19 m
03 étages	20 à 23 m
04 étages	24 à 27 m
05 étages	29 à 32 m
06 étages	32 à 36 m
07 étages	37 à 40 m

- **Matériaux** : Le choix des tuyaux utilisés est fonction de la pression et de la nature du terrain, des coûts de fourniture et de mise en œuvre, mais aussi de la facilité à réaliser les raccordements, les prises de branchements, les réparations en cas de fuite.

1.2 Production

La production se fait à partir de captages d'eau souterraine ou d'eau de rivière en fonction des possibilités de la ressource et des besoins. Sa modélisation est en figure III.1.

Les données d'entrée sont les besoins de la population, les ressources en eau, leur disponibilité, qualité et quantité ainsi que les différentes activités présentes au niveau du système étudié.

Les résultats de sortie sont des débits calculés en fonction des besoins moyens de la population et ainsi que les débits en heures de pointe.

Les facteurs qui influencent la modélisation de cette fonction sont d'ordre hydrologique, hydrogéologique, démographique.....

La fonction « Production » conditionne les fonctions de « Stockage » et « Distribution » car les résultats de sortie de cette fonction, sont des données d'entrée pour la modélisation des autres fonctions.

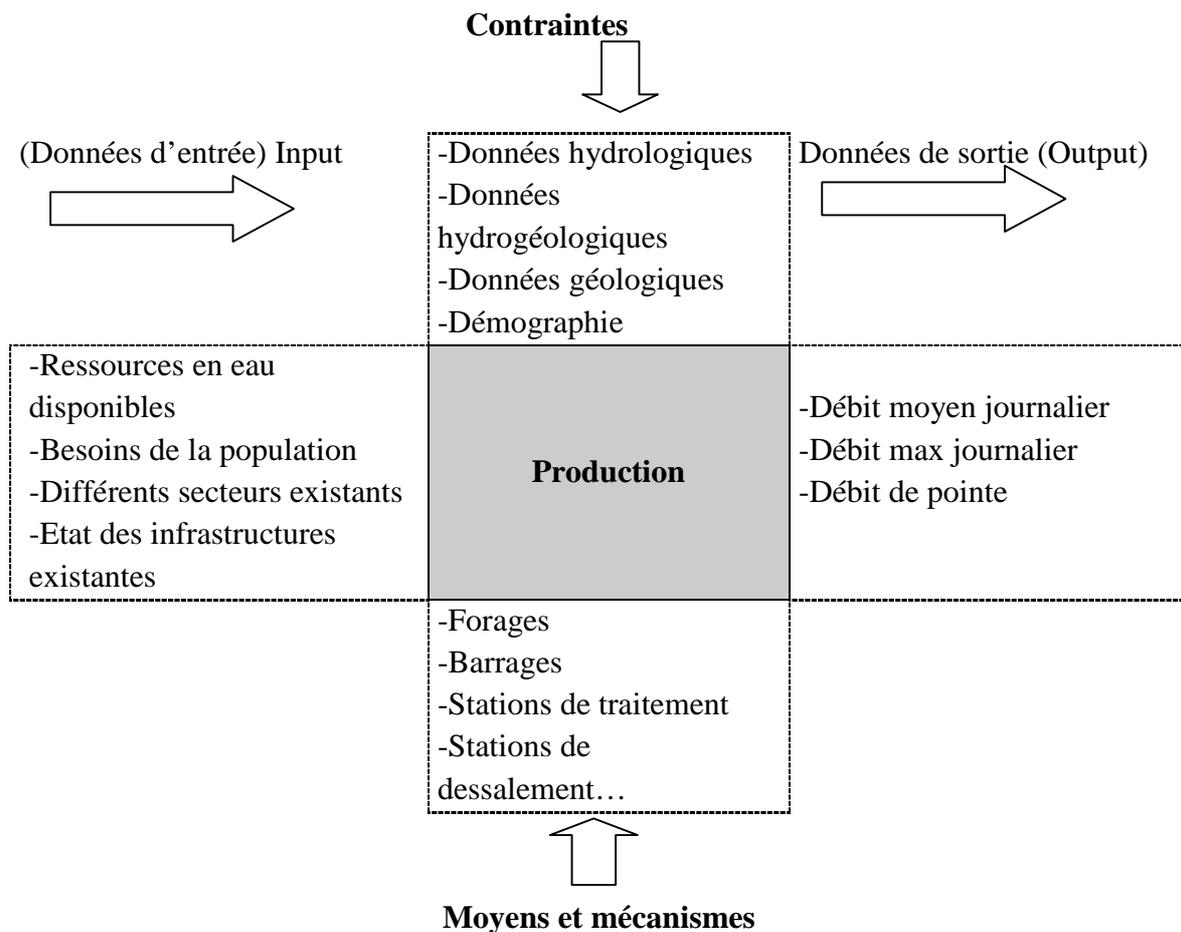


Figure III.1 : Données de base et modélisation pour la fonction « Production »

1.3. Stockage

Il s'effectue dans des réservoirs sis en amont de toute localité permettant une desserte gravitaire. Ces réservoirs, en plus de ce rôle principal, ils permettent de poursuivre la distribution en cas d'interruption de la production et de moduler le pompage (rôle tampon), pour profiter des meilleurs tarifs électriques en terme d'énergie consommée. Aussi, ils constituent un moyen pour limiter les risques de défaillance. Sa modélisation est illustrée en figure III.2.

Les données d'entrée de cette fonction sont les débits maxima journaliers, résultat de sortie de la fonction précédente ainsi que les capacités des ouvrages de production (capacité de traitement, Champs captant). Les résultats de sortie sont les capacités de stockage, l'emplacement de ces derniers....

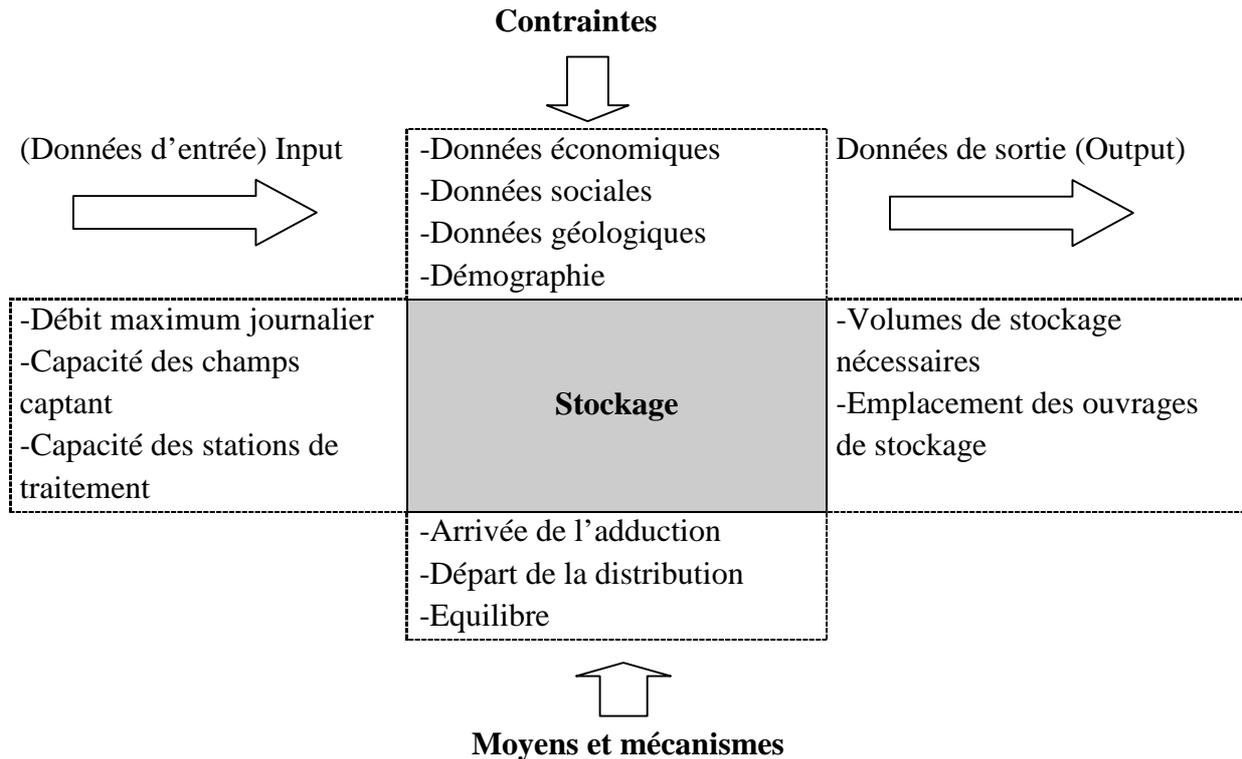


Figure III. 2 : Données de base et modélisation pour la fonction « Stockage »

1.4. Distribution

Elle se fait à partir des réservoirs, par des réseaux maillés, équipés de diverses vannes de sectionnement, pour accroître la sécurité et éviter les interruptions du service en cas de réparation. L'eau est amenée chez l'utilisateur par des branchements particuliers. Sa modélisation est donnée en figure III.3.

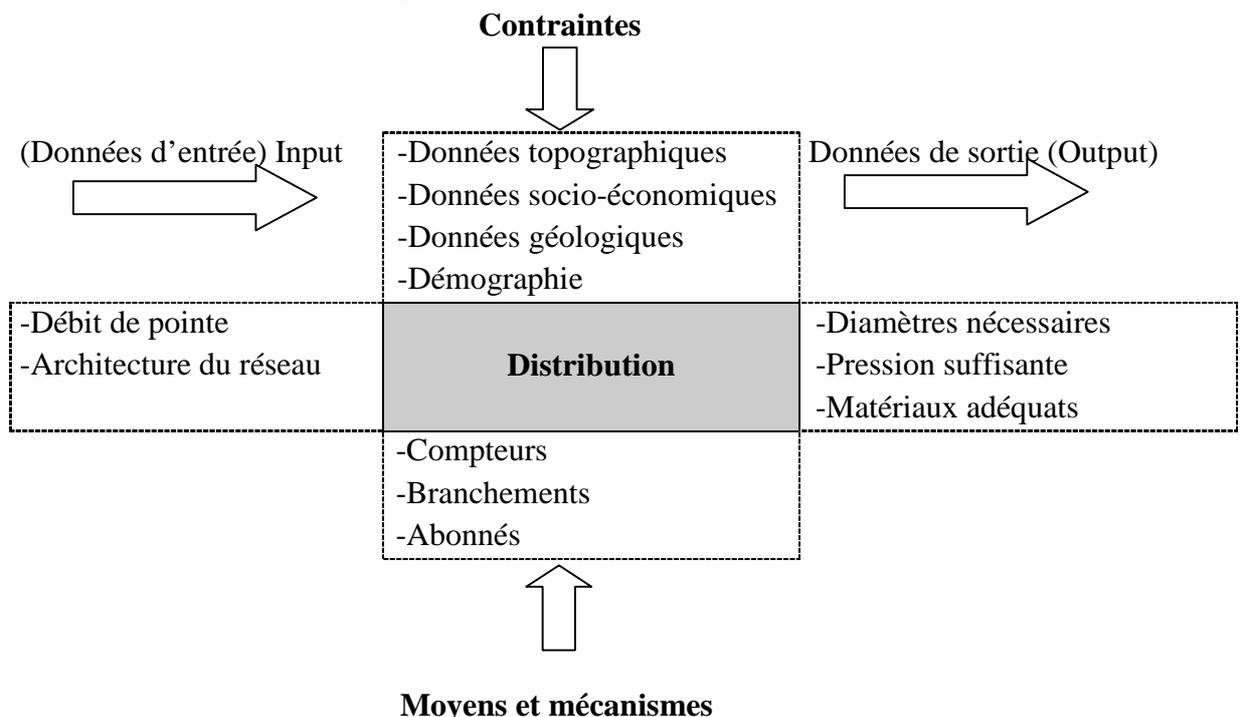


Figure III.3. Données de base et modélisation pour la fonction « Distribution »

2. ORGANISATION STRUCTURELLE DU SYSTEME D'AEP DU GUT

L'organisation structurelle du système étudié implique deux dimensions : verticale entre des sous-systèmes pouvant être de différents niveaux hiérarchiques ou d'agrégation, horizontale entre les composantes d'un même sous-système.

Le résultat de l'analyse systémique de l'alimentation en eau potable du GUT se fait de haut en bas, allant d'un niveau global de compréhension vers des niveaux de détail. L'organisation structurelle du système d'AEP est représentée par une décomposition descendante donnée en figure III.4 (Abdelbaki et al., 2012).

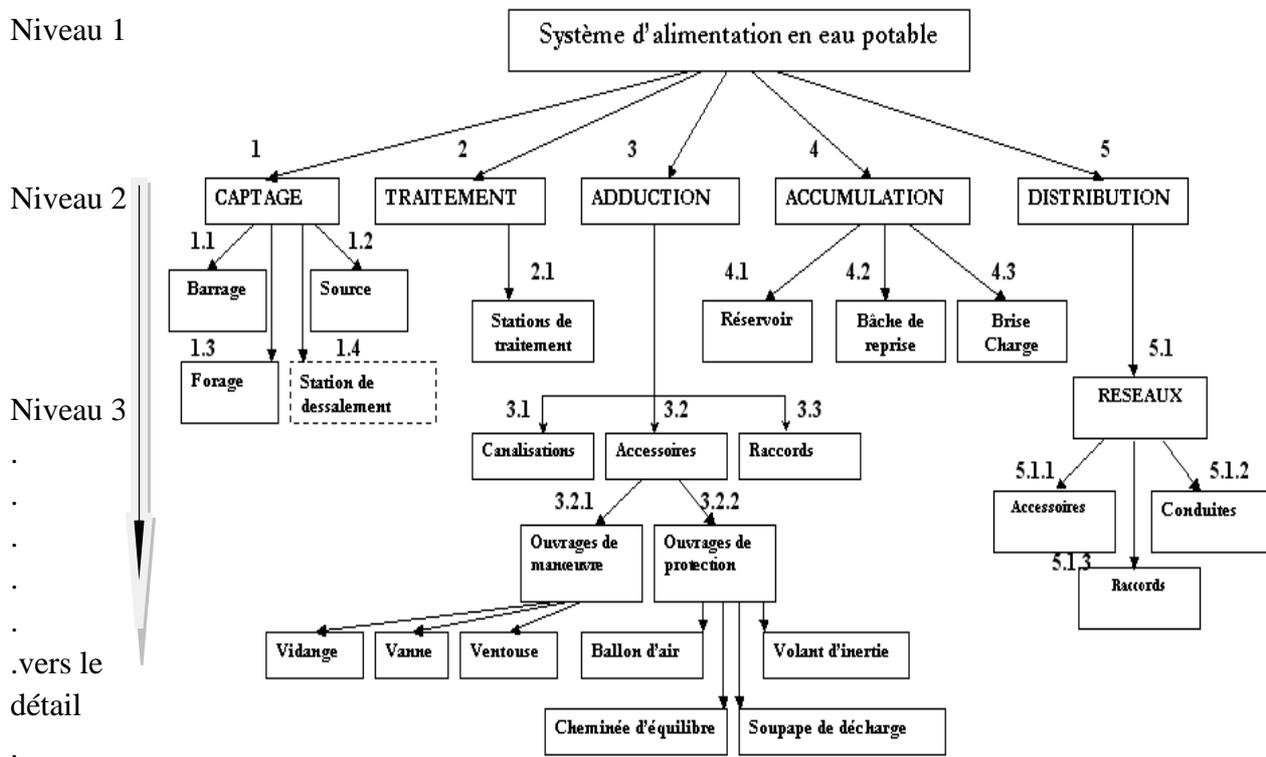


Figure III.4 : Organisation structurelle d'un système d'AEP

La compréhension du fonctionnement d'un système urbain ne doit cependant pas se limiter à la dimension structurelle, mais elle implique également de représenter la dynamique des interactions entre les phénomènes réels et entre les indicateurs (Repetti, 2004).

La modélisation systémique cherche à intégrer l'observateur dans le système qu'il conçoit, en l'aidant à identifier les composantes et relations les plus pertinentes à représenter par rapport à une finalité donnée.

La modélisation conceptuelle du système d'alimentation en eau potable est au centre de l'organisation structurelle, donnant naissance au système d'information géographique du

système AEP du groupement urbain de Tlemcen développé en chapitre 4; Cela donne déjà une bonne idée sur les composantes du système se représentent, à travers les relations fonctionnelles.

3. MODELISATION CONCEPTUELLE DU SYSTEME D'AEP DU GUT

La modélisation conceptuelle des données vient compléter l'organisation structurelle du système d'AEP étudié. C'est est une étape fondamentale dans la conception des bases de données. Elle permet de traduire le monde réel avec toute sa complexité par des structures de données. Elle a pour objet d'abstraire la réalité en mettant l'emphase sur les phénomènes d'intérêt et en éliminant ce qui ne concerne pas l'objectif poursuivi.

Pour concevoir et mettre en œuvre les systèmes d'informations du système d'AEP du GUT, on a recours aux modèles conceptuels. Ces modèles sont assimilables à des schémas respectant un certain nombre de formalismes et permettant à plusieurs concepteurs d'un même projet de se comprendre. C'est en s'appuyant sur les modèles que sont nées les méthodes présentes sur le marché de développement des logiciels. Parmi ces méthodes, MERISE occupe une place prépondérante. Le résultat de la modélisation conceptuelle se traduit concrètement par un modèle conceptuel de données (MCD), un modèle logique de données (MLD) et un modèle physique de données (MPD).

Le MCD schématise la réalité en montrant, sans redondance, les entités à inclure dans la base de données, leurs propriétés ainsi que leurs relations et les cardinalités de ces dernières (Abdelbaki, 2012). Ce modèle est un excellent outil suscitant la discussion et le dialogue entre les utilisateurs, cela va de soit qu'un bon modèle conceptuel doit être compréhensible et avoir l'aval des différents utilisateurs concernés par la conception de la future base de données.

3.1. Présentation de la méthode MERISE

MERISE n'est pas uniquement une méthode d'analyse, c'est aussi une démarche de conception et de développement du système d'information. En tant que méthode, MERISE se caractérise par une double démarche, par étapes et par niveaux (Mojeron, 1991).

La démarche par étapes vise à rendre le travail efficace et rigoureux, en intégrant dans l'étude des paramètres qui font qu'un système d'information se développe dans les règles de l'art.

La démarche par niveaux a pour objectif la formalisation du futur système sous ses différents aspects. Cette démarche constitue un des points forts de la méthode MERISE, elle tire partie de la modélisation des données qui se traduit par trois niveaux (tableau III.2):

- Le niveau conceptuel qui donne lieu à un modèle conceptuel de données (MCD)
- Le niveau organisationnel qui donne lieu à un modèle logique de données (MLD)
- Le niveau opérationnel qui donne lieu à un modèle physique de données (MPD)

Tableau III.2 : Démarche MERISE (Mojeron, 1991)

NIVEAU	Traitement	Données	Choix
Conceptuel	Modèle conceptuel	Modèle conceptuel	De gestion
Organisationnel	Modèle organisationnel	Modèle logique	D'organisation
Opérationnel	Modèle opérationnel	Modèle physique	Technique

La méthode MERISE utilise le modèle entité – association comme un outil conceptuel de la structuration des données (Mojeron, 1991, Abdelbaki, 2012). Le résultat de la modélisation se traduit concrètement par un modèle conceptuel de données, un modèle logique de données et un modèle physique de données.

3.2. Modèle conceptuel de données

Le MCD schématise la réalité en montrant, sans redondance, les entités à inclure dans la base de données, leurs propriétés ainsi que leurs relations et les cardinalités de ces dernières.

Ce modèle est un excellent outil suscitant la discussion et le dialogue entre les utilisateurs, cela va de soit qu'un bon modèle conceptuel doit être compréhensible et avoir l'aval des différents utilisateurs concernés par la conception de la future base de données.

Le formalisme le plus utilisé pour le niveau conceptuel est le modèle entité – relation baptisé entité – association. Les concepts de ce dernier sont simples à comprendre car proches du monde réel.

➤ Entités

Le monde réel est constitué d'objets ou d'entités groupés en catégories appelées classes d'entités (Laurini, 1993, Mojeron, 1991).

Point : PT (Vanne, Forage, Réservoir ...)

Exemple : **Vanne.PT**

Ligne : LIN (Conduite, Cours d'eau...)

Exemple : **Conduite.LIN**

Surface : SUR (Ilot, Bâti ...)

Exemple : **Ilot.SUR**

Ex : Tronçon 1 – 2 est une entité de la classe d'entités Conduite (Abdelbaki, 2012).

L'entité matérialise des objets simples et des objets complexes :

- Un objet simple tel que « Tronçon » est un objet qui n'est pas décomposable.
- Un objet complexe tel que « Conduite » est un objet décomposable en tronçons.

Un objet complexe peut être décomposé, soit en objets simples, soit en objets complexes, soit en objets simples et complexes.

➤ **Attributs (Identifiants)**

Les entités d'une même classe sont décrites par des informations appelées propriétés, attributs ou encore rubriques. Chaque entité de la classes d'entités doit être unique et être identifiable à l'aide d'un identifiant (clé). Elle peut posséder autant d'attributs que nécessaires (Laurini, 1993, Mojeron, 1991).

La classe d'entités « Conduite » est caractérisée par des attributs tels que ID_Conduite, Numéro, Longueur, Diamètre, ...

ID_Conduite est un identifiant, car il permet d'identifier de manière unique la Conduite (Abdelbaki, 2012). Un exemple est donné en tableau III.3.

Tableau III.3 : Attributs de la table « Conduite »

Conduite.LIN
Identificateur
Classe
Nom
Diamètre en mm
Longueur en m
Débit en l/s
Matériau
Nature
Rugosité en mm
Date de mise en service
Etat d'entretien
.....

➤ **Associations (Relations)**

Les entités de différentes classes d'entités sont susceptibles d'avoir des relations appelées associations avec d'autres classes d'entités (Laurini, 1993, Mojeron, 1991). Ainsi, si on précise que la Vanne 1-2 appartient au Tronçon 1-2, on met ainsi une évidence qu'il existe une association « Appartenir » entre la classe d'entités « Vanne » à laquelle appartient « Vanne 1-2 » et la classe d'entités Conduite dont fait partie le Tronçon 1-2 (Abdelbaki, 2012), comme le montre l'exemple donné dans la figure III.5.

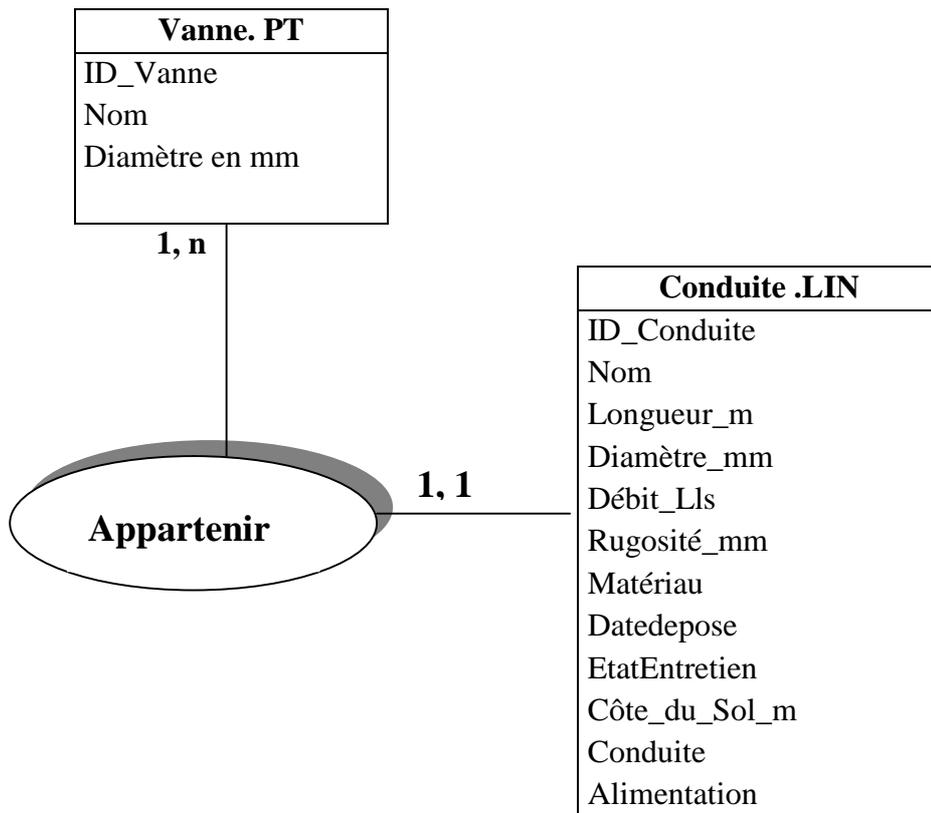


Figure III.5 : Exemple de relation

Diverses relations existent, à savoir :

- **Relations sémantiques**

Les relations sémantiques servent à décrire les relations entre les objets géographiques.

- La relation **est composé(e) de** décrit la composition d'un objet complexe, comprenant des objets simples et/ou complexes.

- La relation **est associé(e) à** est une relation sémantique entre des objets (jumelage entre deux îlots par exemple).

- **Relations de construction**

La représentation des objets s'appuie sur les primitives. Deux relations permettent de lier les objets simples avec les primitives.

- La relation **est présenté(e) par** permet d'associer à chaque objet simple une ou plusieurs primitives du même type (nœud pour objet ponctuel, face pour objet surfacique)

- La relation **est présenté(e) positivement/ négativement par** lie des objets simples linéaires à des arcs.

Le lien est positif si l'arc est pris dans le sens nœud initial, nœud final ; il est négatif si l'arc est pris dans le sens inverse nœud final, nœud initial.

➤ Cardinalités

Une association est caractérisée par ses cardinalités, qui s'expriment par deux nombres. Ceux ci indiquent combien à une entité de la classe de départ, correspondent au minimum et au maximum d'entités de la classe d'arrivée ; on distingue plusieurs types d'associations selon la valeurs des cardinalités maximales (1-1, 1-1) (un - un) ou (1-n,1-1), (1-1, 1-n) (un - plusieurs), (1-n, 1-n) (plusieurs – plusieurs).

Le formalisme Entité – Relation met en jeu des diagrammes forts simples à lire, où les classes d'entités sont représentées par des rectangles, les associations par des ovales (ou des losanges) reliés par des traits aux classes d'entités concernées (Laurini, 1993, Mojeron, 1991) comme le montre la figure III.6.

Le long de ces traits, on précise les cardinalités des associations.

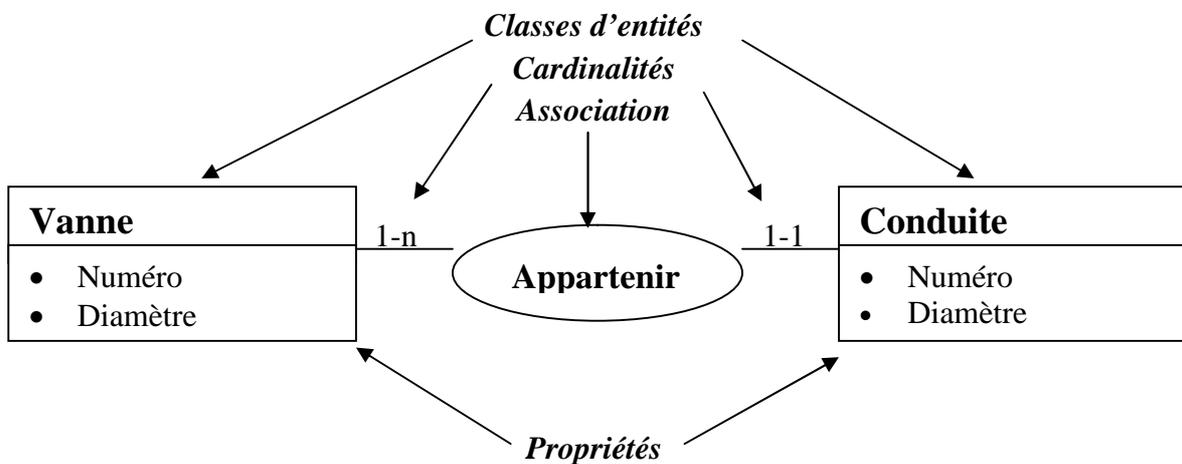


Figure III.6 : Formalisme du modèle Entité – Association (Mojeron , 1991)

Le modèle conceptuel de données (MCD) se compose d'un schéma conceptuel qui montre l'ensemble de données relatives aux réseaux d'AEP, qui les lient, et d'un dictionnaire de données qui est développé afin de faciliter le processus de définition des données.

3.2.1. Schéma Conceptuel de Données

Le schéma conceptuel de données décrit l'organisation d'un jeu de données conformément au Modèle Conceptuel de Données. Il précise les éléments (objets géographiques, primitives géométriques, relations, attributs) relatifs aux réseaux d'AEP.

Le schéma conceptuel permettra de définir les types de données élémentaires définissant les attributs, celles composées permettant de regrouper les attributs afin de décrire les entités et associations du monde réel et éventuellement les règles que devront suivre les données au cours de leur cycle de vie. Le schéma conceptuel de réseau d'AEP est illustré en figure III.7.

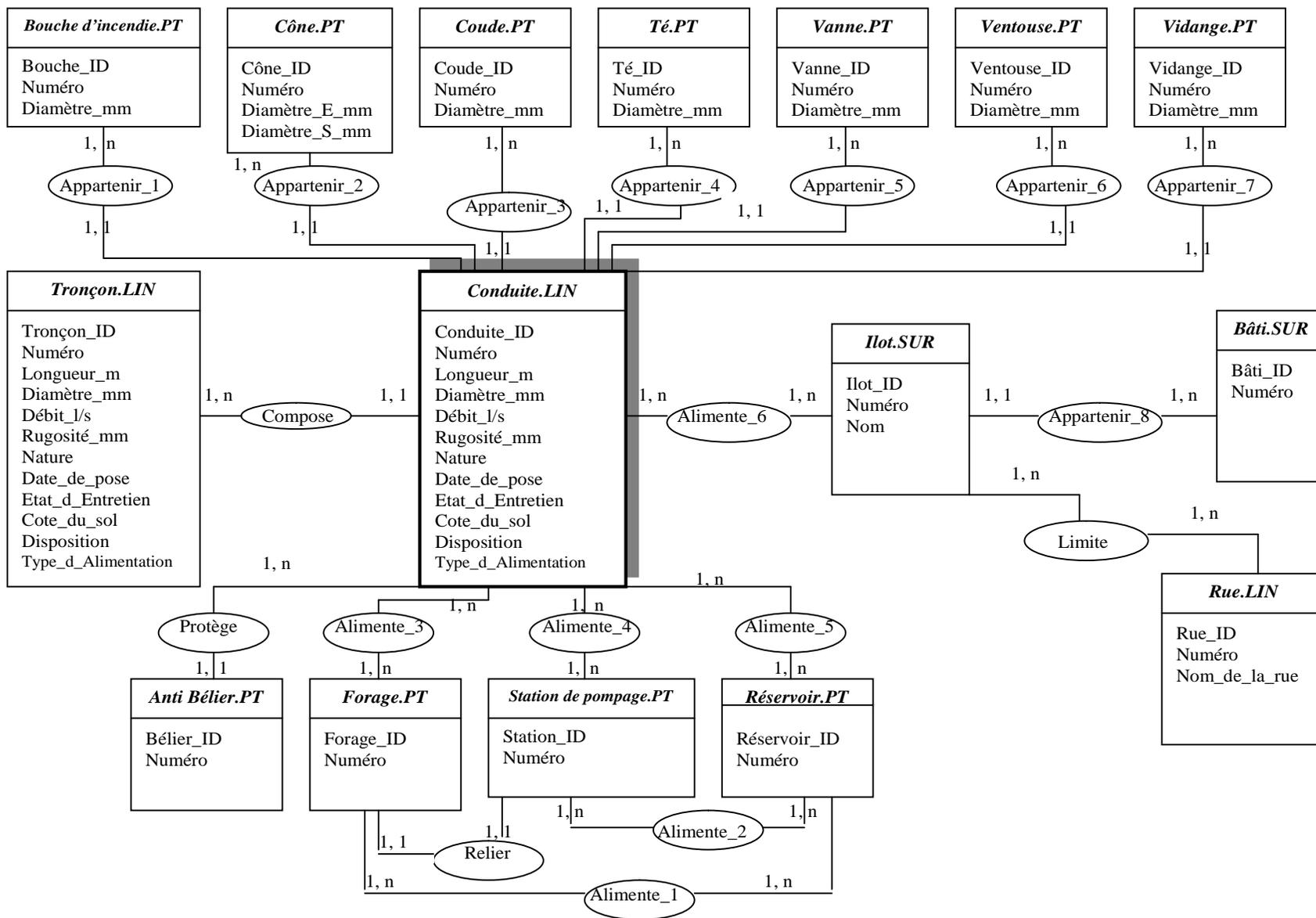


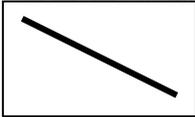
Figure III.7 : Schéma conceptuel du réseau d'AEP

3.2.2. Dictionnaire de Données

Savoir sur quel site et dans quelle base est stockée une donnée est une exigence fondamentale dans les bases de données réparties, et l'usage d'un dictionnaire de données (DD) s'avère être une solution intéressante pour résoudre les discordances. De manière plus précise, le DD est un répertoire structuré et exhaustif, développé en vue d'identifier les données et de leur attribuer une définition propre conforme aux normes majoritaires préétablies. Il inclut les différents schémas, règles et descriptions des données du Modèle Conceptuel de Données des réseaux d'AEP.

Le DD favorise l'utilisation optimale des données et complète la documentation des manuels du système en vue d'une connaissance parfaite de ses différentes composantes. Le DD peut être lui-même implanté dans le système comme une base de données. Il constitue alors une méta - base, c'est à dire une base décrivant les autres bases (Mojeron , 1991 ; Chikh et al., 1997 ; Abdelbaki et al., 2012). Le tableau III.4 en illustre un exemple

Tableau III.4 : Exemple de dictionnaire de données

Tronçon AEP	SECTION
DEFINITION : Une portion de la conduite d'AEP, spécialisé dans le transport de l'eau potable ayant une section constante et <u>un même sens</u> d'écoulement.	
TYPE DE REFERENCE :	 LIN
ATTRIBUTS :	
Tronçon_ID : Identifiant unique.	Domaine variable : Type Entier
Numéro : Numéro du tronçon.	Domaine variable : Type Caractère
Longueur_m : Longueur du tronçon exprimée en mètres.	Domaine variable : Type Flottant
Diamètre_mm : Diamètre de la conduite exprimé en millimètres	Domaine variable : Type Entier
Débit_l/s : Débit des eaux qui transitent par la conduite en litres par secondes.	Domaine variable : Type Numérique (Virgule Fixe)
Rugosité_mm : Rugosité de la conduite exprimée en mm.	Domaine variable : Type Flottant
Nature : Nature du matériau de la conduite (Fonte, Acier, Amiante - Ciment).	Domaine variable : Type Caractère
Date_de_pose : Date de pose de la conduite indiquant l'année de la réalisation ou du changement de la conduite.	Domaine variable : Type Caractère
Etat_d_entretien : Etat d'entretien de la conduite (Bon, Moyen, Mauvais, Inconnu).	Domaine variable : Type Caractère
Côte_du_sol_m : Côte du sol exprimée en mètres.	Domaine variable : Type Flottant
Disposition : Disposition de la conduite (Principale, secondaire).	Domaine variable : Type Caractère
Type_d_Alimentation : Type d'Alimentation de la conduite (Distribution, Refoulement).	Domaine variable : Type Caractère
RELATIONS :	
Compose :	Conduite

Le dictionnaire de données du réseau d'AEP est donné en annexe I.

3.3. Modèle logique de données (MLD)

Le MLD est un outil formel utilisé pour comprendre et interpréter le monde réel. Il permet de regrouper les objets en classes d'objets de nature identique et de décrire les associations entre classes d'entités. Il a pour objectifs :

- Traduire dans un formalisme plus proche du langage de l'ordinateur.
- Définir l'organisation logique des données traduisant le modèle conceptuel.

Le modèle le plus utilisé pour le niveau logique est le modèle relationnel. Il est une manière d'organiser les données sous forme de tables à deux dimensions, dans lesquelles les lignes sont des enregistrements et les colonnes des attributs.

Une grande souplesse caractérise son adaptabilité et son évolutivité (il possède des opérateurs de joins relationnels et des capacités d'interrogation très importantes)

Les concepts de base du modèle relationnel (Laurini, 1993; Mojeron, 1991) sont :

- **Domaine**

Un domaine D est un ensemble de valeurs atomiques, où chaque domaine est spécifié par un type de données (entier, réel, caractère...) dans lesquels ces dernières prennent leurs valeurs. Par exemple: Tronçon est un nom du réseau d'AEP sur 10 caractères, Rugosité est un ensemble de valeurs numériques sur 05 chiffres.

- **Attribut**

On appelle attribut le nom d'un rôle joué par un domaine D dans une relation. Il prend ses valeurs le dans domaine qui lui correspond. Il est caractérisé par un nom pour le distinguer du domaine.

- **Schéma de relation**

Un schéma de relation R, noté $R(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$, est un ensemble d'attributs $R = (A_1, A_2, A_3, \dots)$ qui correspond à une table.

Ex. : TRONÇON (ID_Tronçon, Numéro, Diamètre, Matériaux...) est le schéma de la relation dans lequel TRONÇON est le nom de la relation, ID_Tronçon qui représente sa clé, Numéro, Diamètre, Matériaux sont les attributs issus chacun d'un domaine.

- **N - uplets**

On appelle n - uplet (tuple en anglais) une suite ordonnée de n valeurs correspondant chacun à un attribut. L'ensemble des n- uplets représente l'extension de la relation R.

- **Clés ou identifiants**

Dans chaque relation, un ou plusieurs attributs deviennent des clés ou des identifiants. Dans l'exemple donné dans le tableau III.5, ID_Tronçon est un identifiant.

Tableau III.5 : Les attributs de l'entité TRONÇON AEP

TRONÇON AEP

(Tronçon_ID, Numéro, Longueur_m, Diamètre_mm, Débit_l/s, Rugosité_mm, Nature, Date_de_pose, Etat_d_entretien, Côte_du_sol_m, Disposition, Type_d_Alimentation)

Le modèle logique du réseau d'AEP est présenté en notation littérale en annexe II.

3.4 Modèle physique de données (MPD)

Le MPD correspond à la structure de stockage supportant les données. Il permet de décrire les données telles qu'elles sont stockées dans la machine. Il a pour objectif de proposer une solution technique optimale pour l'implantation physique des données et décrire celles-ci, ainsi que leurs liens dans le langage spécifique du système utilisé.

Les systèmes de gestion des bases de données (SGBD) proposent généralement deux types de langages : le Langage de Description de Données (LDD) et le Langage de Manipulation de Données (LMD). Ils permettent une déconnexion complète de la programmation.

Le LDD permet d'exprimer la traduction du Modèle Logique de Données en Modèle physique de Données ainsi que la communication de certains paramètres concernant l'implantation physique des données.

Le LMD permet quant à lui de naviguer dans la base afin de retrouver des éléments de données en vue de satisfaire une requête, de modifier ou supprimer ces données. Le LMD offre la possibilité d'accéder aux différentes données de la base sans qu'il soit nécessaire de spécifier les chemins physiques à suivre, cette tâche étant prise en compte automatiquement par le système (Laurini, 1993, Mojeron, 1991). Un exemple est présenté dans le tableau III.6.

Tableau III.6 : Exemple de MPD

Nom de la table : Conduite			
Indexée sur : Conduite, Anti Bélier, Coude, Cone, Forage, Bouche D'incendie, Vanne, Ventouse, Vidange, Te, Réservoir, Station De Pompage			
Par l'attribut : Conduite_ID			
CHAMPS	Type	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Conduite_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Longueur_m	Entier		
Diamètre_mm	Entier		
Débit_l/s	Virgule Fixe	8	3
Rugosité_mm	Flottant		
Nature	Caractère	16	
Date_de_pose	Caractère	10	
Etat_d_Entretien	Caractère	10	
Côte_du_sol_m	Virgule Fixe	8	3
Disposition	Caractère	16	
Type_d_Alimentation	Caractère	16	

Le modèle physique du réseau d'AEP est présenté en annexe III.

3.5 Passage du modèle conceptuel au modèle logique de données

Le passage du modèle conceptuel (entité – associations) au modèle logique (modèle relationnel) est une des étapes primordiales dans la conception des bases de données. Les principales règles de passage sont :

- Toute entité ou relation du modèle conceptuel de données se transforme en une table relationnelle.
- L'identifiant de l'entité ou de la relation devient la clé principale de la table.
- Les autres propriétés deviennent des attributs de la table.

Les figures III.8 et III.9 illustrent le passage du modèle conceptuel au modèle logique.

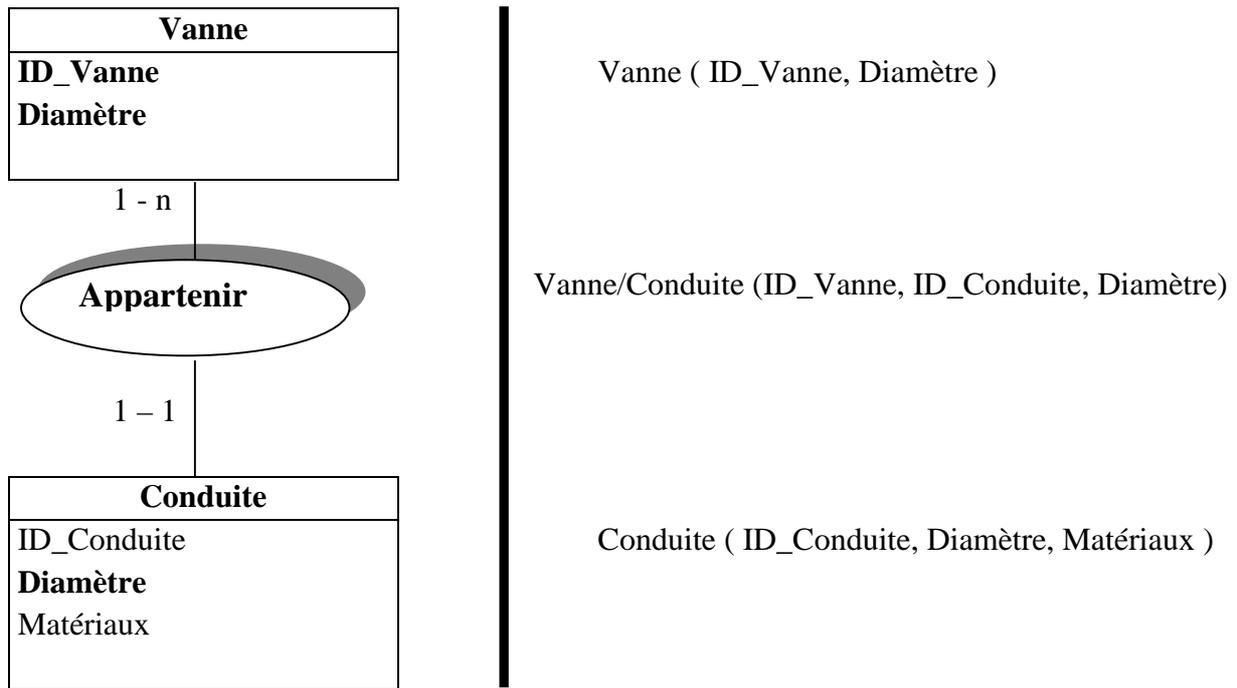


Figure III.7: Passage du schéma conceptuel au schéma relationnel

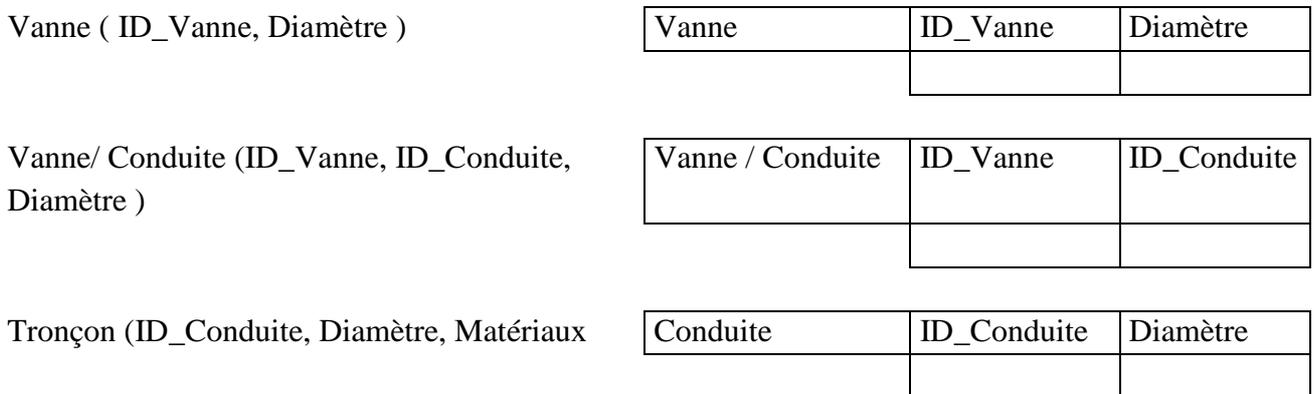


Figure III.9: Passage du schéma relationnel à la table relationnelle

4. CONCLUSION

Mettre en œuvre un système d'information, dans un cadre systémique, est une action coûteuse en moyens matériels et logiciels, en données et en personnels. Une réflexion importante doit être menée pour évaluer les besoins du concepteur et/ou utilisateur (Tena-Chollet et al., 2010). Pour ce faire, une démarche a été adoptée de manière à définir un modèle conceptuel de données (MCD) qui constitue la base du système d'information géographique (SIG) développé dans le chapitre 4. En parallèle à cette réflexion, il est bien souvent nécessaire de sélectionner des solutions logicielles et informatiques qui seront nécessaires à la réalisation de ce travail.

CHAPITRE IV :
MISE EN PLACE DU SIG ET ANALYSE
DE LA COMPLEXITE DES DONNEES
SPATIALES

CHAPITRE IV : MISE EN PLACE DU SIG ET ANALYSE DE LA COMPLEXITE DES DONNEES SPATIALES DU RESEAU D'AEP DU GUT

Pour Pirot et Varet-Vitu (2004), « créer un SIG est une démarche intellectuelle reposant sur une approche systémique alors que la création d'information spatiale matérialise uniquement la structure des objets géographiques ». Selon Kerouanton, (2010) ; il ne s'agit donc pas seulement de gérer les données pour les organiser facilement sur une carte grâce à une simple manipulation informatique.

Ce chapitre décrit les démarches qui ont permis de concevoir le SIG « Eau potable » du groupement urbain de Tlemcen. Les paragraphes suivants illustrent le type de données utilisées, leur acquisition et les possibilités offertes par les SIG pour faciliter leur traitement, permettant ainsi une connaissance fiable de l'hétérogénéité spatiale de l'état structurel du réseau.

1. SIG ET ANALYSE DE LA COMPLEXITE DES DONNEES SPATIALES

Les systèmes de distribution d'eau potable appartiennent, au même titre que les autres réseaux techniques, à un environnement urbain et périurbain dans lequel, ils agissent et interagissent avec les autres réseaux (Blindu, 2004).

L'exploitant d'un réseau d'alimentation en eau potable se trouve généralement confronté à la difficulté de connaître avec précision son réseau compte tenu de sa diversité (généralement de multiples tranches de travaux réalisées selon des techniques différentes et sur plusieurs années) de son étendue et des difficultés d'accès (Abdelbaki, 2012 ; Blindu, 2004). Pour rationaliser la gestion d'un réseau d'AEP, il est nécessaire :

- de connaître avec précision l'ensemble des éléments le composant ;
- de pouvoir prévenir les incidents ;
- d'avoir un outil de diagnostic pour remédier le plus rapidement possible aux incidents.

Ainsi, il est indispensable de garder trace des interventions effectuées pour constituer une « mémoire » des événements marquants afin de cibler le mieux possible les décisions en matière de programmation et d'investissements(Blindu, 2004).

Le réseau d'AEP du groupement urbain de Tlemcen connaît des contraintes de gestion de plus en plus fortes qui demandent l'utilisation de plus en plus fréquente de données représentatives de l'ensemble du réseau. Ces données sont nécessaires pour une gestion efficace d'un patrimoine que l'on souhaite voir fonctionner continuellement de manière rentable avec un niveau de service adapté aux attentes des clients.

La mise en place d'un SIG pour le gestionnaire du réseau d'eau potable avec la constitution des bases de données descriptives du réseau et de son environnement est indispensable et reste un pré-requis à toute tentative d'analyse.

2. CONCEPTION DU SIG EAU POTABLE

Les décisions à prendre dans les services gestionnaires des réseaux d'AEP vont au-delà du simple fait d'afficher une carte ou de retrouver une adresse. Il s'agit de construire un équipement, d'aménager ou de gérer une zone, de gérer un service public, ou encore d'intervenir en cas d'incident sur le réseau. Cela suppose de prendre des décisions impliquant de nombreuses personnes et d'agir en mettant en œuvre des moyens importants. En effet, il peut s'avérer plus rentable de mettre en place une information organisée, entretenue et gérée en permanence, prête pour plusieurs besoins ou pour un besoin imprévu, plutôt que de réagir au coup par coup avec les moyens du bord (déplier une carte, faire appel aux souvenirs, faire une visite sur le terrain...).

Dans ce cadre, un des préalables essentiels avant de se lancer dans la mise en œuvre d'une application SIG est le questionnement relatif à l'utilisation envisagée (ou envisageable) de l'information géographique. Ces possibilités peuvent être regroupées en grandes catégories:

– *l'accumulation de connaissances éparses*. Il est souvent difficile pour un problème donné d'acquérir une connaissance rapide et exacte du terrain. Les informations sont souvent réparties entre plusieurs gestionnaires (réseaux, géologie, etc.), d'origine plus ou moins ancienne, connues éventuellement d'un groupe restreint de spécialistes (données archéologiques). Dans ce cas, actualisation et connaissance de la précision des données sont impératives ;

– *l'usage opérationnel de plans actualisés*. L'utilisateur souhaite disposer d'informations précises (cartographiques et alphanumériques) et homogènes de la réalité du terrain au moment où il doit intervenir (par exemple, canalisations diverses enterrées sous une voirie). Toutefois, ces données (érosion, modification de tracés, modification de caractéristiques...) évoluent dans le temps.

L'actualisation est donc indispensable, de même que la traçabilité du mode de collecte des informations (Sauvagnargues-Lesage et al., 2009)

– *la représentation de « clichés instantanés » archivés*. Certaines situations nécessitent de conserver l'image de situations antérieures, notamment pour l'étude de phénomènes évolutifs, que ce soit pour les données graphiques (par exemple, l'évolution d'une zone inondée) ou pour les données descriptives (évolution de la population) ;

– *la simulation d'événements*. L'étude de l'impact d'un événement (accident, aménagement d'une zone, effet de la fermeture d'une vanne d'un réseau) nécessite une lisibilité des résultats et un caractère opérationnel des données. La modélisation nécessite alors d'établir des relations fonctionnelles entre les données aussi précises que possible (relations topologiques notamment) (Tena-Chollet et al., 2010)

2.1 Acquisition et inventaire des données

Le volume important d'informations à collecter, la grande quantité de documents à inventorier ainsi que la diversité des organismes détenteurs d'informations représentent une grande difficulté dans le processus d'élaboration d'une base de données. L'opération d'inventaire consiste à identifier, décrire et localiser les données relatives au réseau d'Alimentation en eau potable du groupement urbain de Tlemcen. Pour mener à bien cette

tâche, d'importants efforts ont été déployés. Ceci a permis de recueillir diverses informations et documentations (plans, rapports, données statistiques ...) de plusieurs sources, citons :

- DRE : Direction des Ressources en Eaux
- APCT : Assemblée populaire communale de Tlemcen
- ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire
- URBAT : Centre d'Etudes et de Réalisation en Urbanisme
- SOGERWIT : Société des travaux hydrauliques de la wilaya Tlemcen
- DLEP : Direction du Logement et des Equipements Publics
- OPGI : Office de Promotion et de Gestion Immobilière
- ENPI ex EPLF : Entreprise Nationale de la Promotion Immobilière
- AFIT : Agence Foncière et Immobilière de Tlemcen
- NEE : Nationale Eau et Environnement
- ANC : Agence Nationale du Cadastre
- ADE : Algérienne des eaux
- GTZ : Société allemande pour la coopération technique
- IGIP : Bureau d'Etudes Allemand (<http://www.igip.com/>)

Les données recueillies sont des données cartographiques prises à partir des plans de différentes échelles représentant quelques parties du réseau d'alimentation en eau potable du Groupement Urbain de Tlemcen :

- Fond de plan vectorisé à l'échelle 1/4.000 couvrant 52 km² daté de 1997.
- Ortho photos aériennes datées de 1994, livrées en partie couvrant 120 km² sur 142,2 km² estimés pour le GUT.
- Plan d'exécution du centre ville à l'échelle 1/2000 daté de 1994
- Une couverture de courbes de niveau couvrant 120 km² du GUT

2.2. Analyse des données

L'analyse des données consiste à déterminer les caractéristiques des documents à retenir, pour bien appréhender et supporter la représentation du réseau d'AEP du groupement urbain de Tlemcen. Car il est difficile de définir à l'avance toutes les utilisations possibles et imaginables qui pourraient être faites par le système d'information géographique. Ajoutant à ces difficultés, les nombreuses lacunes enregistrées au niveau de la cartographie des réseaux d'AEP, dont nous avons récapitulé les plus importantes :

- Fond de plan non géoréférencé;
- Absence de légende récapitulant les signes conventionnels relatifs aux réseaux ;
- Plans anciens non actualisés ;

- Absence de mentions relatives aux caractéristiques géométriques de certains tronçons du réseau ;
- Echelle différente d'un plan à l'autre ;
- Système de projection non mentionné sur les plans ;
- La confrontation des plans montre parfois une certaine contradiction ;
- Date d'établissement et date de mise à jour des plans non mentionnés ;
- Absence de la flèche directionnelle du Nord ;
- Inexistence des points géodésiques qui permettent le rattachement des coupures cartographiques à un système général.

Pour que le support cartographique soit exploité, on était obligé de remédier à certaines lacunes, à savoir :

- Géoréférencer le fond de plan, la projection du fond de plan du Groupement Urbain de Tlemcen est UTM 30. Cette opération recèle une grande importance pour la phase de numérisation ;
- Corriger les contradictions que présentent les plans par confrontation et croisement de ces derniers ;
- Corriger certains tracés en plans non conformes aux documents retenus ;
- Compléter les informations manquantes des plans à partir des documents jugés fiables.

2.3. Numérisation des données

La numérisation consiste à remplacer les traditionnels plans papier difficiles à manipuler et complexes à mettre à jour par des plans numérisés où l'on retrouve de manière bien différenciée (symboles, couleurs...), les rues, les bâtis... issus du plan vectorisé avec l'ensemble du réseau d'AEP qui y a été reporté.

Cette méthode se révèle la mieux adaptée aux nécessités de ce travail car elle permet de saisir la géométrie des objets graphiques élémentaires : Point, Ligne ou Polygone.

La plupart des conduites, points d'eau, accessoires hydrauliques ainsi que l'ensemble des éléments constituant le système d'alimentation en eau potable du GUT ont été tracés en couvrant le fond de plans vectorisés par un quadrillage. Cette opération est effectuée pour remédier au manque des plans de recollement du réseau d'alimentation en eau potable du groupement Urbain de Tlemcen (à l'exception de 12 km de conduites tracées pour un plan de rénovation (1994) situées au centre ville de Tlemcen),

Les plans sont ensuite numérotés et imprimés à différentes échelles 1/200, 1/500 et 1/1000 pour tracer les conduites et les accessoires en faisant appels aux chefs de distribution de l'Algérienne des Eaux.

Pour les parties non couvertes par le fond de plan vectorisé (Extensions de : Champ de Tir, Oudjlida, Ain El Houtz, Ouzidane et Chetouane, une grande partie de conduites est tracée avec l'assistance des chefs de distribution de l'ADE sur ortho - photos aériennes et en se référant aux plans remis par les acteurs cités au IV.2.1. La phase initiale de saisie a consisté à digitaliser le réseau et à attribuer aux conduites les caractéristiques relevées sur les plans.

D'un point de vue cartographique, le réseau est représenté par l'ensemble des segments le long desquels les diamètres, le matériau, la longueur, l'état, la date de mise en service, etc. ont été indiqués.

Tous les éléments du réseau tels que les vannes, les ventouses, les poteaux et bouches d'incendies, les types et l'importance de conduite (branchement, conduite principal, artère) etc. ont été répertoriés et identifiés par différents codes. Les tracés des conduites ont été vérifiés et corrigés.

La figure IV.1 montre la procédure adoptée pour couvrir le fond de plan du groupement urbain de Tlemcen afin d'y reporter le réseau d'AEP.

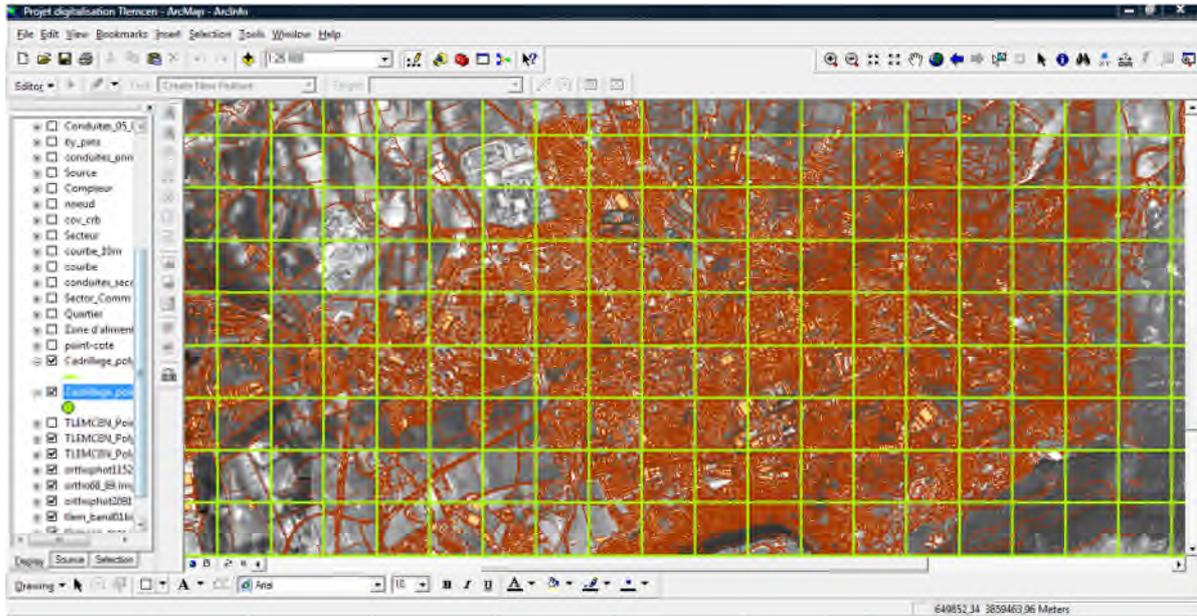


Figure IV.1 Préparation du fond de plan pour tracer le réseau d'AEP

La figure IV.2 montre un extrait d'une partie préparée à être imprimé pour tracer le réseau de distribution en collaboration avec les chefs de distribution des trois centres de distribution (Tlemcen, Mansourah et Chetouane)

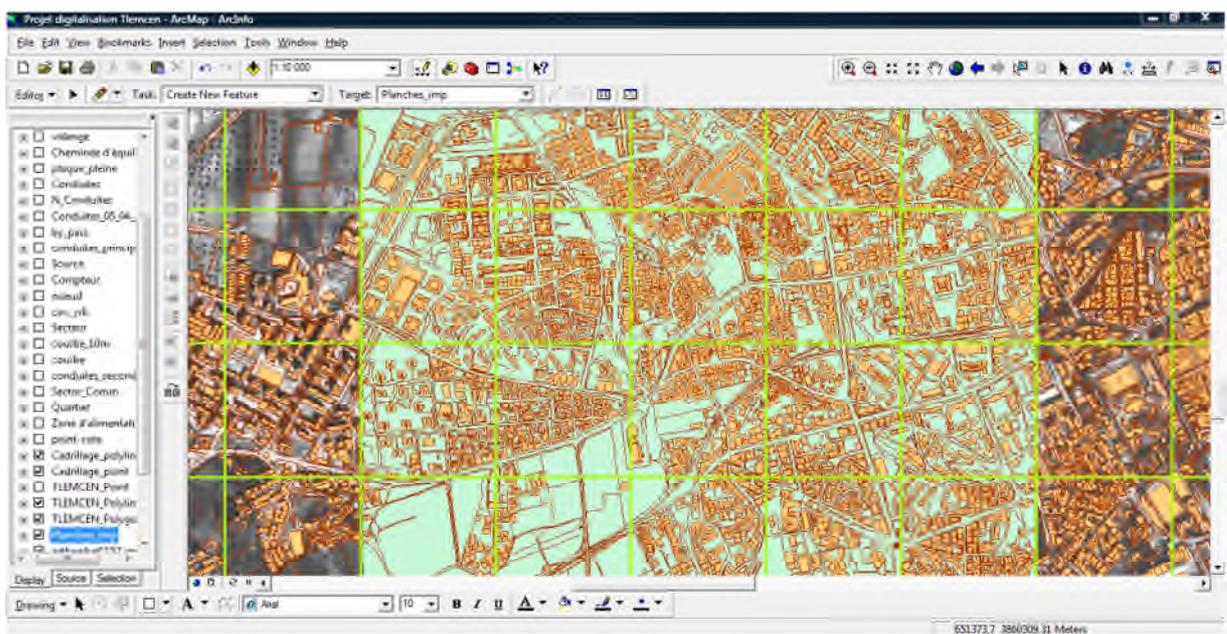


Figure IV.2 : Extrait de plans à imprimer

2.4. Choix du SIG

Confrontés aux nombreux systèmes d'information géographique adaptés au monde de la micro informatique, Le choix s'est porté sur les systèmes d'information géographique ArcView 3.2, Mapinfo 8.0 et ArcGis 9.3.1 pour cette phase pour bénéficier d'un ensemble de produits performants et évolutifs. Ces produits permettent de créer, d'afficher, de modifier toutes formes d'informations géographiquement référencées.

On peut résumer leurs principales caractéristiques comme suit :

- Opérations de superpositions : superposition de couches thématiques
- Traitements statistiques
- Types de sortie : représentations cartographiques, valeurs numériques ou textuelles, histogrammes, graphiques ...
- Disponibilité d'une bibliothèque de symboles, de traits, de trames et de légendes modifiables de façon interactive.
- Echange de données avec les logiciels de CAO et DAO tel que AUTOCAD
- Doté d'un langage SQL étendu pour la gestion des données descriptives.

Parmi leurs fonctionnalités, on peut citer :

- Efficacité dans la gestion des bases de données
- Fonctionnalités graphiques sont importantes
- Puissant langage de requêtes permet de mixer les entrées graphiques et non graphiques
- Indépendance vis à vis du choix du matériel
- Capacité à intégrer de données externes et à exporter des données vers d'autres systèmes

2.5. Création de la base de données

Les données sont des observations brutes. Après leur traitement, on arrive à des informations utiles pour la conception de la base de données. Ils sont de différents natures:

- nature variable (fichier géographique)
 - un point (vanne, forage, réservoir ...)
 - une ligne (conduite, route ...)
 - une surface ou région (îlot, bâti ...)
- structure variable
 - maillée ou raster (image satellitaire...)
 - vectorielle (limites des îlots...)
- source variable
 - soit des tableaux de chiffres (fichiers de forages...)
 - soit différentes cartes et plans réalisés pour la zone d'étude considérée (Plans de réseaux, profils en long ...)

Les données associées sont organisées sous forme de tables. Les noms d'attributs sont introduits champ par champ selon leurs types (caractère, entier, flottant, virgule fixe, date...).

Chaque entité géométrique (conduite) est reliée à sa description exhaustive, ce lien se fait au moyen d'un identifiant interne.

Les figures IV.3 et IV.4 montrent la définition et la structure de la table Conduites

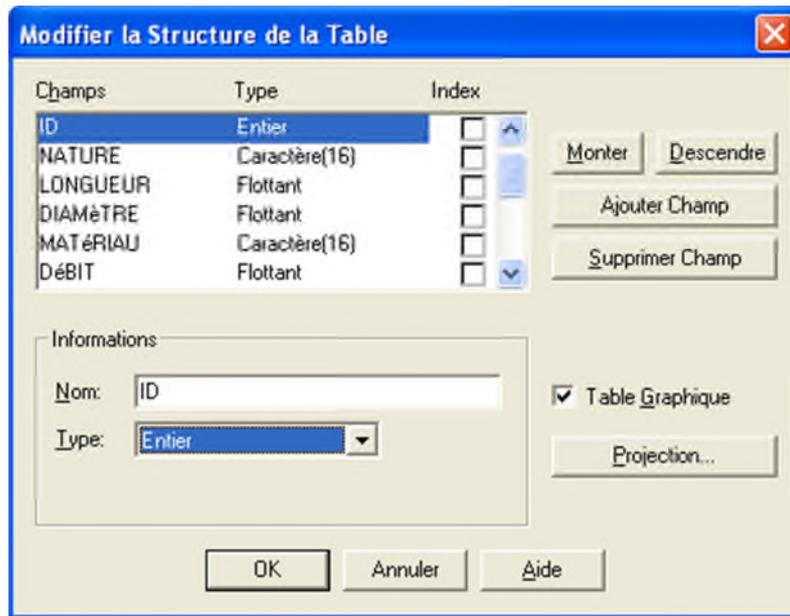


Figure IV.3 : Définition de la structure de la table « Conduites »

ID	NATURE	LONGUEUR	DIAMÈTRE	MATÉRIAU	DÉBIT
39	Distribution	56.1087	80	Fonte ductile	
40	Distribution	305.532	250	Fonte ductile	
41	Adduction	662.23	400	Fonte ductile	
42	Distribution	268.238	300	Fonte Grise	
43	Distribution	8.74465	250	Fonte Grise	
44	Distribution	58.9454	400	Fonte Grise	
45	Distribution	151.011	250	Fonte grise	
46	Distribution	445.96	150	Fonte grise	
47	Distribution	129.937	50	Acier Galvanisé	
48	Distribution	15.5383	200	Fonte grise	
49	Distribution	123.173	150	Fonte grise	
50	Distribution	216.616	80	Acier Galvanisé	
51	Distribution	84.5719	60	Fonte grise	
52	Distribution	198.604	40	Fonte grise	

Figure IV.4 : Structure de la table « Conduites »

2.6. Vérification et correction des erreurs

Toutes les entités spatiales et leurs données descriptives peuvent être entachées d'erreurs ou d'imprécision. L'opération consiste d'une part à établir le lien entre données spatiales et descriptives afin de vérifier les erreurs suivantes :

- Les entités spatiales sont parfois mal positionnées ou avoir des formes erronées
- Un grand nombre de conduites ou de nœuds dupliqués

Et d'autre part de faire des tirages des plans à grande échelle (1/500,1/1000 et 1/2000) du GUT entier et de vérifier les données du réseau.

La bonne connaissance du réseau d'AEP de la part des chefs de distribution l'ADE dans les trois zones (Tlemcen Mansourah et Chetouane) a permis de corriger et d'actualiser les plans du réseau. La correction a été vérifiée avec les résultats des sondages faits par le bureau d'études National Eau et Environnement dans le cadre du projet de coopération ADE-GTZ (2002-2003). La figure IV.5 illustre un extrait du SIG du réseau d'AEP du groupement urbain de Tlemcen.

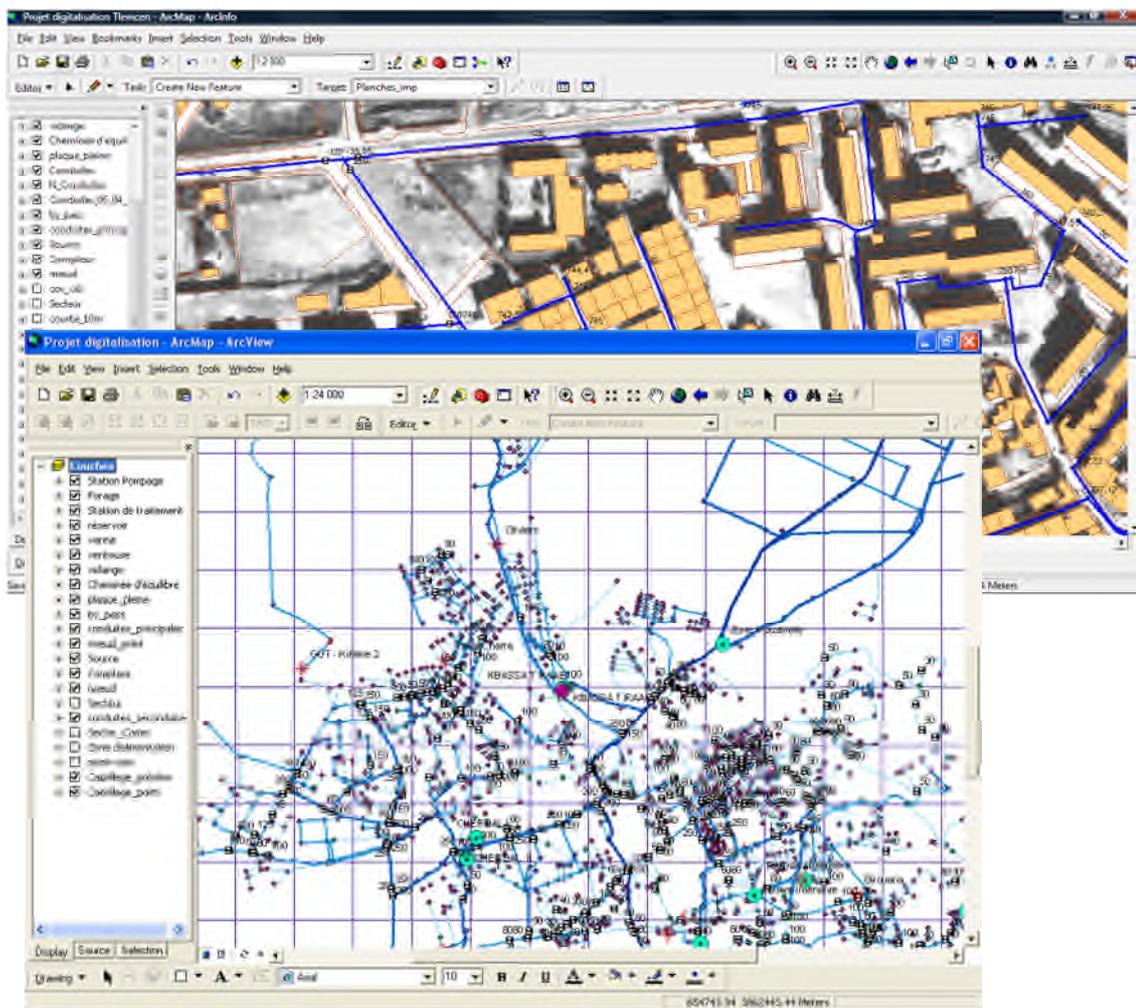


Figure IV.5 : Extraits du réseau d'AEP du GUT (Partie Centre ville, Kiffane) sous SIG (Arc Gis 9.3.1)

3. REQUETES SQL ET ANALYSES THEMATIQUES

L'établissement d'une base de données consiste à ressortir des requêtes. L'interrogation des bases de données relationnelles se fait grâce à l'algèbre relationnelle ou mieux par l'intermédiaire d'un langage de requêtes qui s'appuie sur cette dernière. Grâce à l'algèbre relationnelle et à ses opérateurs ensemblistes, il est possible de rechercher toutes les informations répondant à un ensemble de critères sur les attributs. Ce sont des requêtes alphanumériques ou attributaires.

Le langage SQL (Structured Query Language) permet de formuler des requêtes sur une base de données en s'appuyant sur les opérateurs de l'algèbre relationnelle. La commande SQL la plus importante et la plus riche sémantiquement est l'ordre SELECT dont la forme la plus simple comprend les clauses : SELECT, FROM et WHERE :

```
SELECT (liste d'attributs)
FROM (liste des tables)
WHERE (condition)
```

La clause SELECT permet d'exprimer la projection sur la liste d'attributs que l'on désire conserver, la clause FROM permet de citer la liste des tables concernées par la requête SQL. Et la clause WHERE regroupe un ensemble de conditions et permet aussi d'exprimer l'objet de la restriction (Laurini, 1993).

3.1. Exemples de requêtes

La mise en œuvre du SIG pour le réseau d'alimentation en eau potable du GUT a permis d'analyser le réseau selon différents critères : diamètre, matériaux de construction, nature et âge des canalisations.....Les figures IV.6, IV.7 et IV.8 en illustrent quelques-unes. La figure IV.6 montre une sélection des canalisations selon le matériau de construction « Acier galvanisé ».

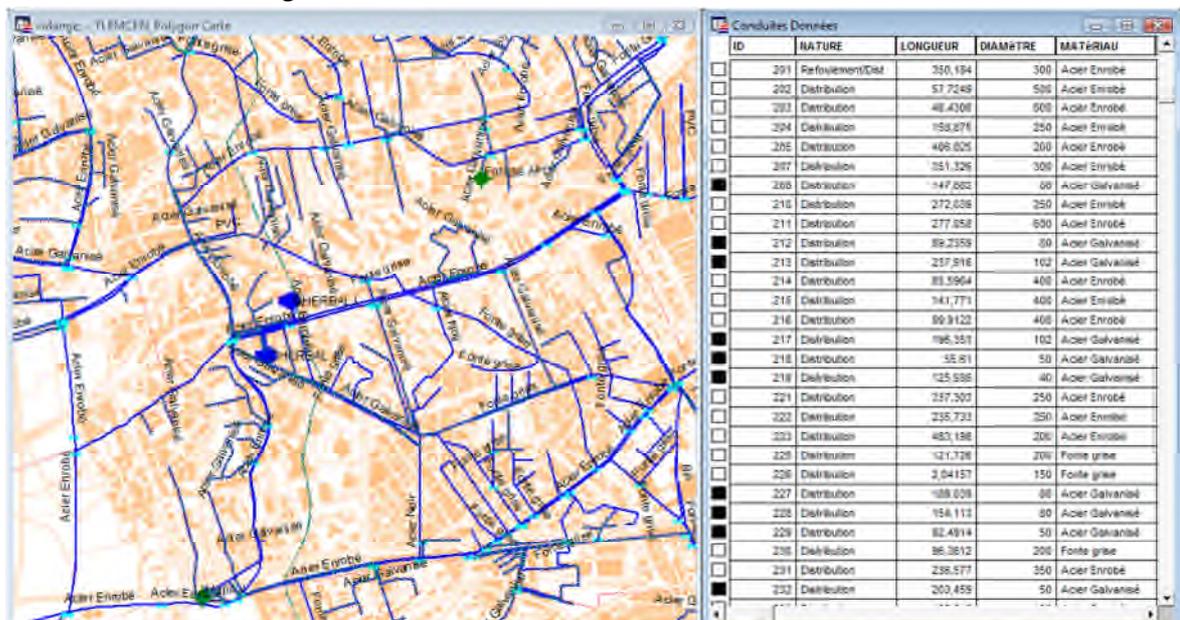


Figure IV.6 : Résultat de requête pour l'affichage des conduites en Acier Galvanisé

La figure IV.7 présente le résultat de la requête concernant la classification des canalisations selon la fonction « Refoulement ».

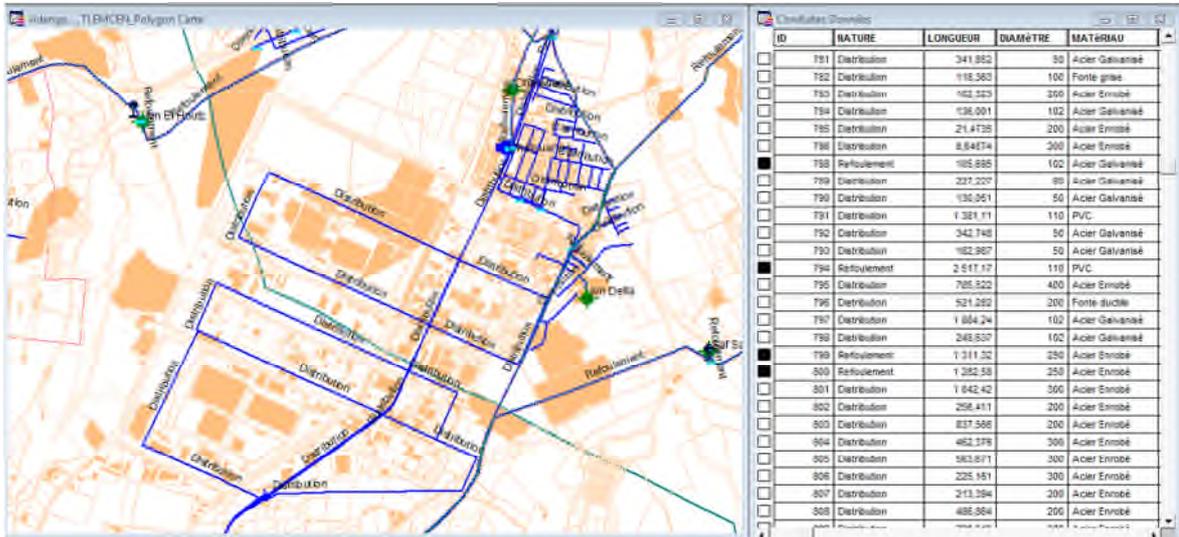


Figure IV.7 : Résultat de requêtes affichant les conduites de refoulement

La figure IV.8 affiche les canalisations ayant un problème de sous dimensionnement (diamètre inférieur à 80 mm).

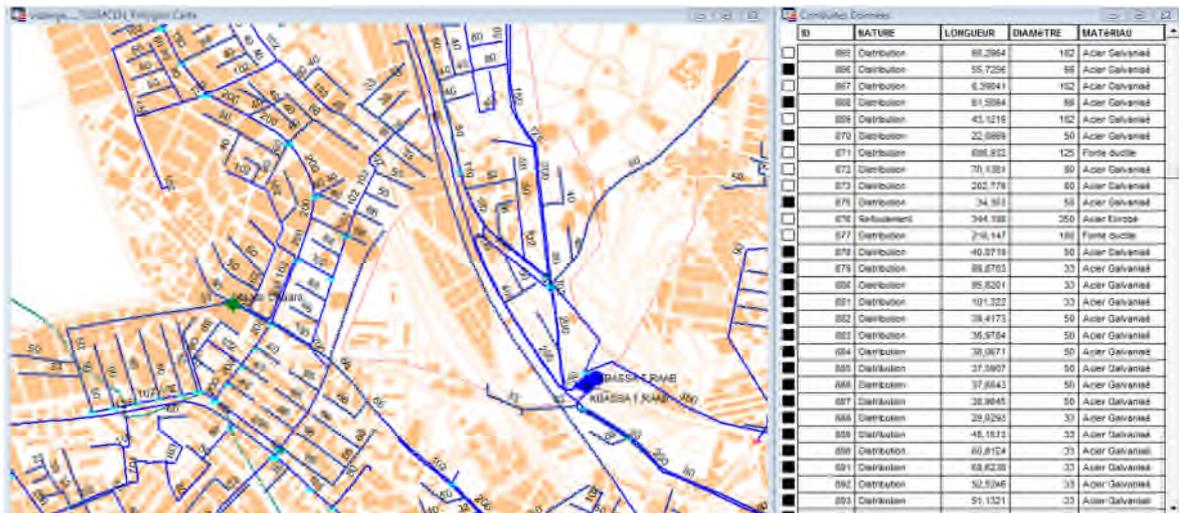


Figure IV.8 : Résultat de requêtes affichant les canalisations avec un diamètre inférieur à 80 mm

Les résultats des requêtes obtenues constituent une première forme de diagnostic. Par repérage des points de dysfonctionnements, l'exploitant peut identifier, dans un premier temps, les zones du réseau a priori problématiques et prendre des décisions pour améliorer l'état du réseau (Blindu, 2004).

3.2. Analyse des résultats des requêtes du réseau du GUT

En se basant sur les requêtes établies, quelques caractéristiques du réseau de distribution du GUT sont données dans ce qui suit :

- **Répartition des diamètres**

Le choix des diamètres est basé sur les catalogues des fournisseurs. Compte tenu des débits importants que les conduites de distribution doivent véhiculer, elles sont rarement d'un diamètre inférieur à 0,060 m voire 0,080 m (Bonin, 1986, Dupont, 1979). Les différentes extensions réalisées au niveau du GUT sont dictées par l'urgence et non basées sur une conception étudiée (Abdelbaki et al., 2012, 2014); raison pour laquelle 38% des canalisations dites principales ont un diamètre inférieur à 80 mm, comme le montre la figure IV.9, soit sous dimensionnés.

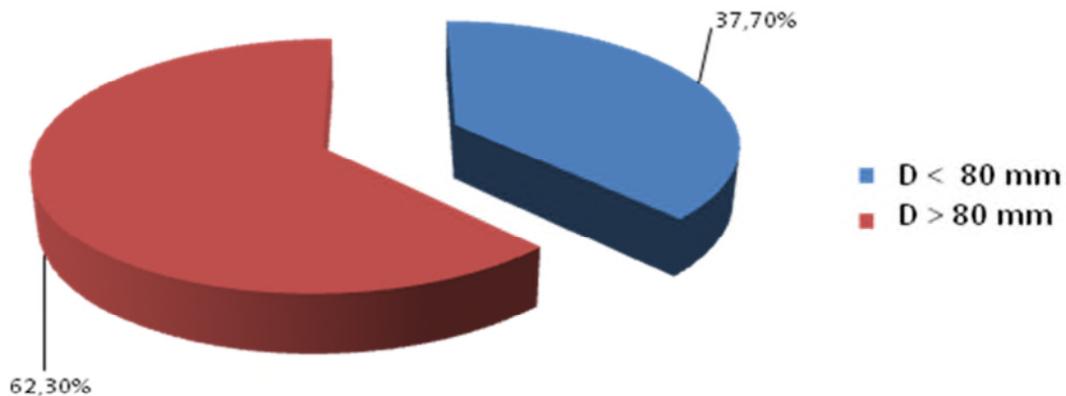


Figure IV.9 : Répartition des diamètres des canalisations dans le réseau d'AEP du GUT

Compte tenu des débits importants que les canalisations principales doivent véhiculer, elles sont rarement d'un diamètre inférieur à 150 mm (Valiron, 1994).

La répartition des canalisations selon les diamètres (figure IV.10) montre que 67% ont un diamètre inférieur à 150 mm et seuls 31% ont un diamètre supérieur à 150 mm (Abdelbaki et al., 2012, 2014).

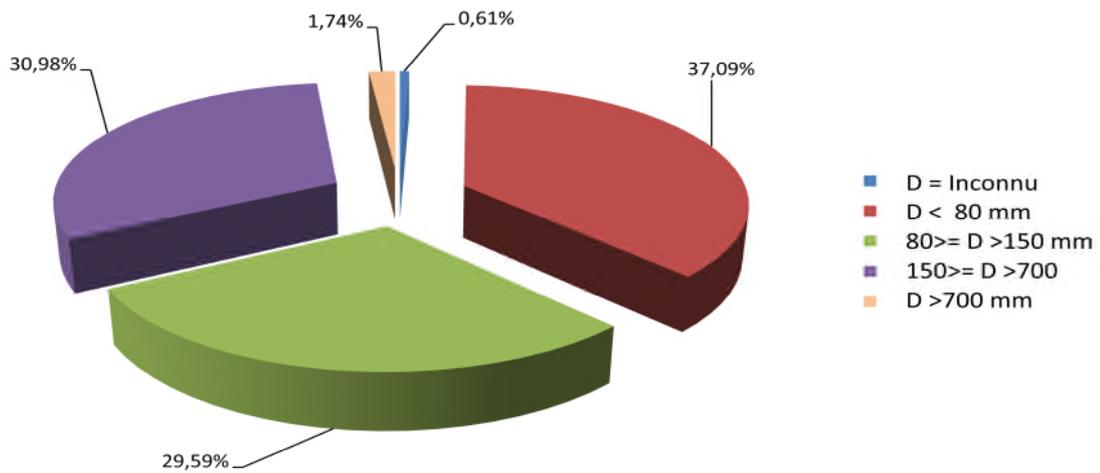


Figure IV.10 : Différents diamètres des canalisations du réseau d'AEP du GUT

• **Répartitions des matériaux**

Le choix des tuyaux utilisés est fonction de la pression et de la nature du terrain, des coûts de fourniture et de mise en œuvre, mais aussi de la facilité à réaliser les raccordements, les prises de branchements, les réparations en cas de fuite (Bonin 1986), (Valiron, 1994). La figure IV.11 montre que 15% des canalisations sont en fonte grise, ces canalisations datent des années 1950. 47% des canalisations sont en acier galvanisé, elles ont un diamètre inférieur à 100 mm, causant des problèmes quant à la répartition des pressions au niveau du réseau de distribution. 38 % de canalisations restantes sont de différents matériaux (fonte ductile pour la partie rénovée (5%) béton précontraint (24%), PVC (4%), acier enrobé (3%)).

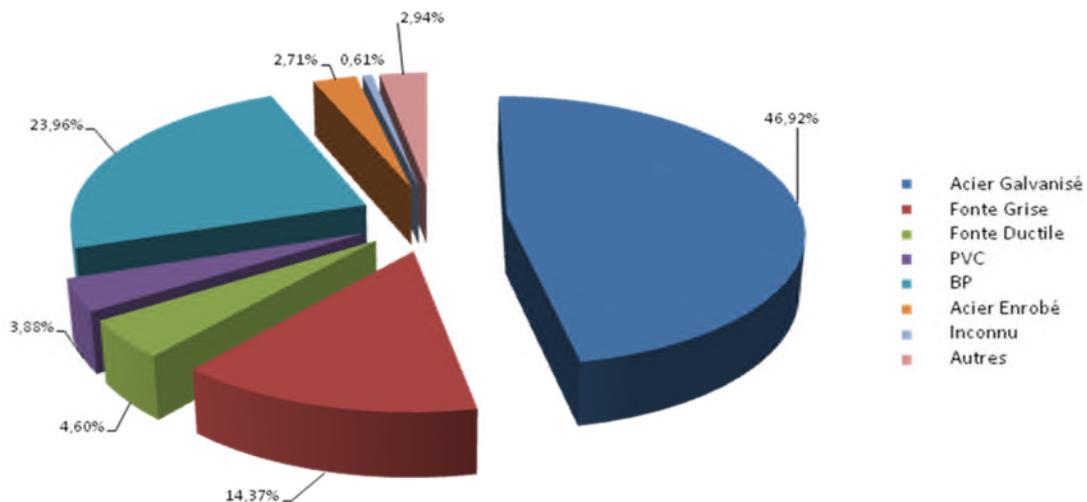


Figure IV.11 : Matériaux de construction des canalisations du réseau d'AEP du GUT

On peut signaler qu'une portion importante des canalisations est dans un état avancé de dégradation suite au fonctionnement discontinu de la distribution (vidanges fréquentes des conduites ...) et au mauvais état des installations (Abdelbaki et al., 2012, 2014).

- **Capacités de Stockage**

Les capacités de stockage alimentant le groupement urbain de Tlemcen sont au nombre de 35 (ADE, 2011) d'une capacité de stockage totale de 50600 m³. 81% des capacités de stockage représentent des réservoirs d'alimentation et 19% ce sont des capacités qui jouent des rôles tampon (Brise Charge, répartiteur...) comme le montre la figure IV.12.

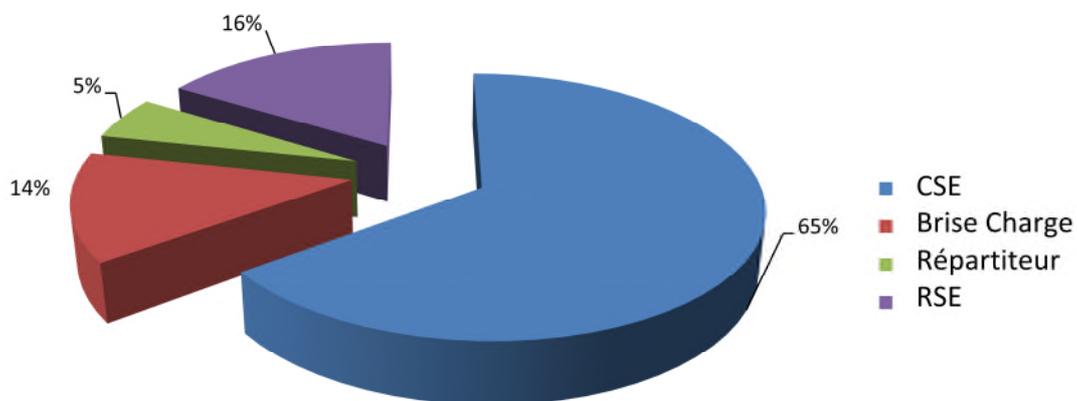


Figure IV.12 : Répartition des capacités de stockage dans le réseau d'AEP du GUT

3.3. Analyses thématiques

Dans le domaine des SIG, l'analyse thématique permet de construire des cartographies thématiques. Celles-ci sont des cartes géographiques illustrant, par l'utilisation de divers paramètres graphiques (couleur, symbolique, taille, etc.), le comportement d'un phénomène en relation avec sa localisation spatiale. Un exemple pour le réseau du groupement urbain de Tlemcen est illustré dans la figure IV.13. Cet exemple présente la répartition des diamètres au niveau du réseau d'AEP du GUT.

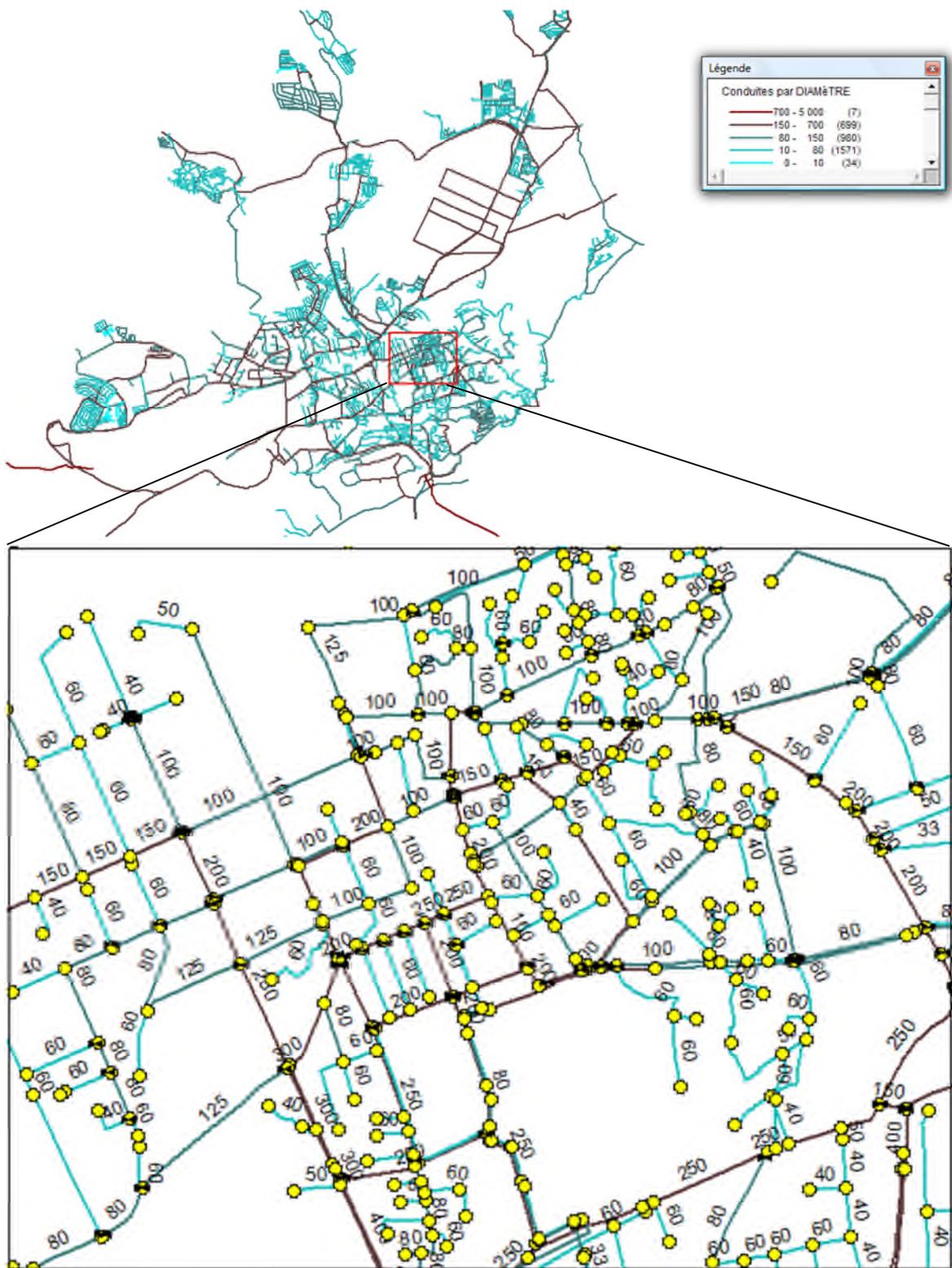


Figure IV.13 : Analyse thématique du réseau d'AEP du GUT selon la répartition des diamètres

4. CREATION DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN DU GROUPEMENT URBAIN DE TLEMCEN

L'outil Vertical Mapper a été choisi pour la création du MNT du groupement urbain de Tlemcen. La méthode d'interpolation utilisée est l'Interpolation par triangulation irrégulière (TIN) pour la construction du MNT. La triangulation irrégulière utilise un réseau de triangles aussi équilatéraux que possible qui vont connecter les points du lot de données. Cette triangulation est appelée triangulation de Delaunay. Cette solution est très utile pour travailler sur des lots de données de répartition spatiale quelconque où l'on souhaite faire participer chaque information à la constitution du résultat (Barbier, 2002). Le MNT du GUT est créé à partir des courbes de niveau d'une équidistance de 10 m et des points de côte digitalisés sur les mêmes cartes. Ces courbes ont été digitalisées à partir de plusieurs cartes topographiques du GUT données à différentes échelles (1/25000, 1/50000, 1/200000); Les cartes sont obtenues auprès de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection. La figure IV.14 représente les différentes étapes de création du MNT.

Chapitre IV : Mise en place du SIG et analyse de la complexité des données spatiales du réseau d'AEP du GUT

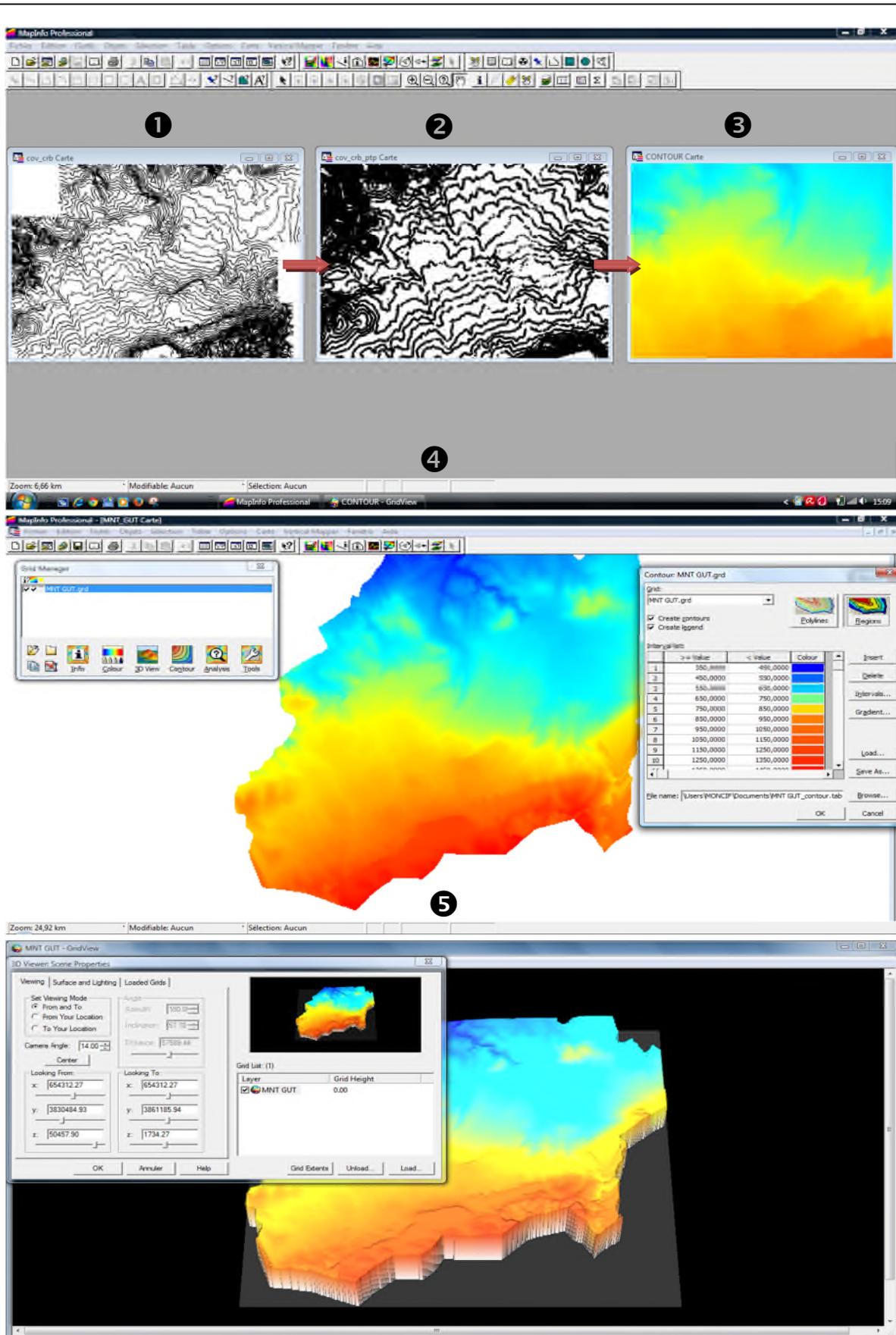


Figure IV.14 : Création du MNT du GUT

Le résultat de l'interpolation se traduit par le MNT du groupement urbain de Tlemcen, la superposition du MNT et du réseau du GUT est donnée en figure IV.15

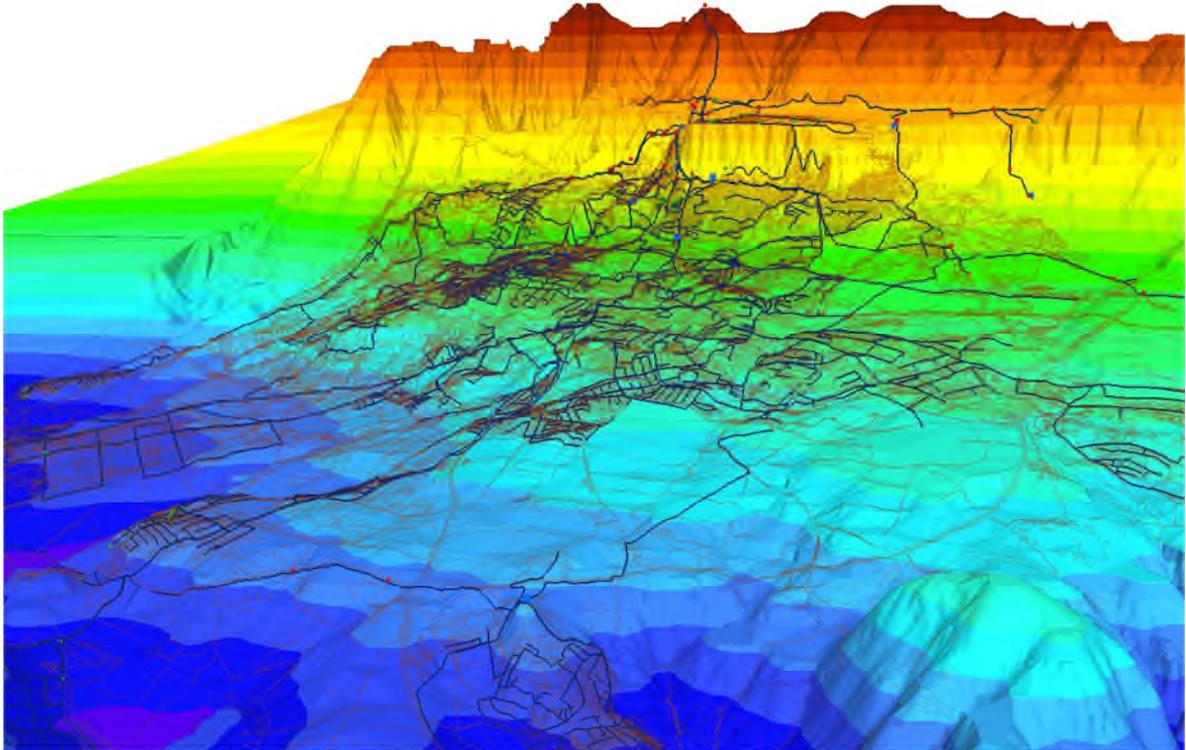


Figure IV.15: La superposition du réseau d'AEP et le MNT du Groupement de Tlemcen

5. SECTORISATION DU RESEAU D'AEP DU GUT

La sectorisation du réseau est une démarche qui consiste à le décomposer en un ou plusieurs sous ensembles en posant des compteurs au niveau des secteurs de distribution de façon à pouvoir appréhender plus facilement le comportement de l'unité ainsi créée. Cette sectorisation est à la base de toute politique visant à améliorer la connaissance du réseau, à fortiori son fonctionnement. Cette étape permet un suivi global des volumes mis en distribution et des incidents survenus sur le réseau. En facilitant la localisation des casses ou des dysfonctionnements, elle permet de hiérarchiser les interventions de réparations ou de maintenance en agissant en priorité sur les fuites les plus importantes (Corbet, 2009).

La sectorisation du réseau du GUT a été faite : deux cas ont été choisis, une sectorisation en 24 zones et une autre en 18 zones. La sectorisation en 18 secteurs ou zones de distribution a été retenue. Ces zones sont créées par des vannes manipulables (ouverte/fermée) sur le réseau. Les secteurs sont présentés dans le tableau IV.1.

Tableau IV.1 : Secteurs de distribution du réseau du GUT

N° du secteur	Secteur
1	Sidi Chaker
2	Cherbal
3	Tombeau du Raab
4	Boudjmil
5	Sidi tahar
6	Birouana 1
7	Birouana 2
8	Lala setti
9	Boudhghène
10	Petit Mansourah
11	Koudia
12	Saf saf
13	Ain defla
14	Ain El Houtz
15	Oudjlida
16	Zone Indudtrielle
17	Chetouane
18	Ouzidane

La figure IV.16 présente un extrait du schéma de sectorisation du réseau d'AEP du GUT. Cette opération s'avère d'une grande importance pour la modélisation du réseau.

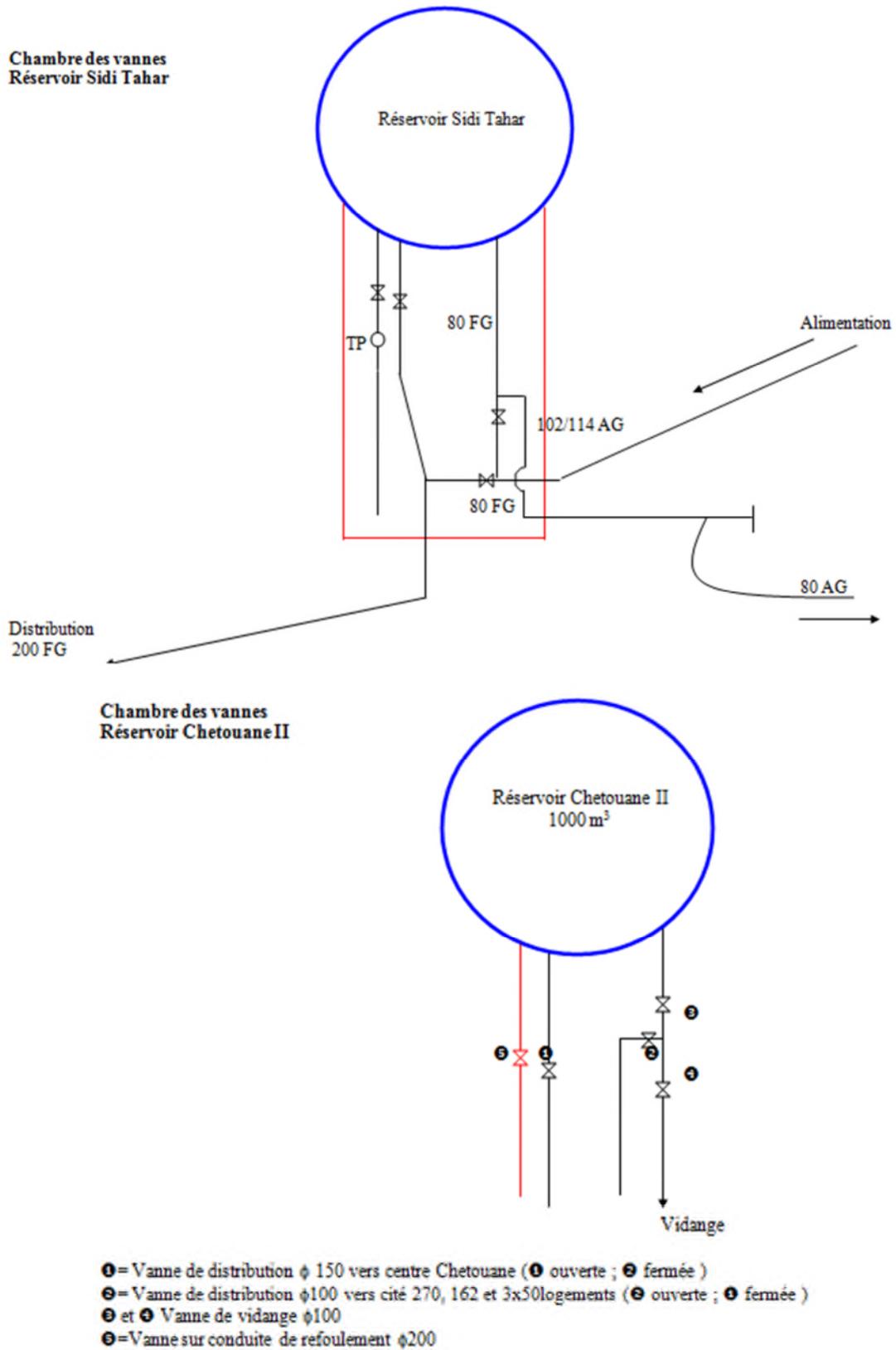


Figure IV.17 : Exemple de détails de la chambre de vannes des réservoirs de Sidi Tahar et Chetouane 2

6. CONCLUSION

Ce chapitre a consisté à décrire le développement des bases de données géographiques indispensables pour la zone d'étude. A partir des différentes données concernant le réseau (diamètre, matériaux...) et son environnement et à l'aide de SIG, il est possible d'obtenir une description alphanumérique des conduites. Les requêtes établies sur les données spatiales et descriptives sur le réseau ont permis de détecter certaines anomalies de conception du réseau du GUT. Cette étape a mis en évidence un certain nombre de problèmes, absence de données par exemple, état de fonctionnement, etc...

CHAPITRE V :
COUPLAGE SIG EPANET ET
ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU
RESEAU D'AEP DU GUT

CHAPITRE V : COUPLAGE SIG-EPANET ET ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU D'AEP DU GUT

La communauté scientifique reconnaît de plus en plus l'utilité du couplage des systèmes d'information géographique (SIG) et des modèles de comportement car celui-ci permet, entre autres, d'introduire la différenciation spatiale (par l'intermédiaire de données localisées) dans la description des processus étudiés (Burrough et al., 1988; Goodchild et al., 1993 et 1996; Fischer et al., 1996; Kemp, 1992; Kovar and Nachtnebel, 1993 et 1996) in Pouliot, 1999). Les SIG fournissent en effet un environnement flexible pour la gestion de données localisées (acquisition, structuration, stockage, visualisation et diffusion) et présentent des capacités d'analyse spatiale très avantageuses. Le modèle de son coté contribue parfaitement à la représentation dynamique des phénomènes observés.

1. CHOIX DU MODELE DE CALCUL

Notre choix s'est porté sur le code de calcul Epanet. Celui-ci (Rossman, 2000) est un code de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans les réseaux d'eau potable. EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution.

Un réseau d'eau potable se définit par des tuyaux (tronçons sur le logiciel), des nœuds (intersection de deux tuyaux et extrémité d'une antenne) mais également d'autres organes (réservoirs, pompes, clapets, différents types de vannes,...).

Epanet permet de calculer le débit parcourant chaque tuyau, la pression à chacun des nœuds mais également le niveau de l'eau à n'importe quel moment de la journée. Le moteur de calcul hydraulique intégré permet de traiter des réseaux de taille illimitée. Il dispose de plusieurs formules de calcul de pertes de charges (voir Annexe 4), il inclut les différentes pertes de charge singulières et modélise les pompes à vitesse fixe et variable (Générale des eaux, 2003). En résumé, Epanet présente les outils nécessaires pour remplir les objectifs suivants :

- Régulation des pressions dans le réseau ;
- Détection des zones de fonctionnement déficitaire ;
- Dimensionnement de réseaux ;
- Amélioration de la gestion des équipements d'eau.

Epanet possède les mêmes fonctionnalités et possibilités que les autres codes de modélisation des réseaux d'eau potable tels Porteau ou Piccolo. Il présente une convivialité au niveau de son interface qui permet de le rendre assez facilement accessible (Générale des eaux, 2003).

Epanet (Rossman, 2000) est utilisé dans divers domaine de recherche, d'où une perpétuelle amélioration suivie d'extensions est développé, conjuguée aux SIG, les travaux les plus récents sont faits par : Stefan et al , 2000; Burrows et al., 2000; Bell et al., 2000; Bartolin et al., 2001; Bahadur et al, 2001; Brown et al., 2002; Daene et al., 2002, Gumbo et al., 2003; Argent, 2004; Alonso et al., 2004; Biagioni., 2004; Ardeshir, et al., 2006; Tao Zhang, 2006; Zheng Yi Wu et al., 2006; Marunga et al., 2006 ; Martinez et al., 2007; Yong Liu et

al., 2007; Vairavamoorthy et al., 2007; Haifeng et al., 2008; Jun et al., 2008; Bartolin et al., 2008; Tabesh et al., 2009; Torres et al., 2009; Kenneth et al., 2009, Tabesh et al., 2010; Worm et al., 2010; Guidolin et al., 2010, Tian Yu Ma Liya et al., 2010; Daoyi et al., 2010, Franchini et Alvisi, 2010; Tabesh et al., 2011; Zhou et al., 2011; Karadirek et al., 2012; Benson et al., 2012; Ramesh et al., 2012; Tabesh et Saber, 2012; Panagopoulos et al., 2012; Kurek et Ostfeld, 2013; Ni-Bin Chang et al., 2013; Sitzenfrei et al., 2013; Roozbahani et al., 2013; Nilufar al., 2013; Janke et al., 2013 ; Shafiqul et al., 2013; Fattoruso et al., 2013; Lynn, 2013; Furnass et al., 2013; Padilla et al., 2013; Kanakoudis et al., 2014; Choi et Koo 2014, Bach et al., 2014 et Diao et al., 2014.

2. DEMARCHE ADOPTEE POUR LE COUPLAGE SIG EPANET

Le couplage permet aux SIG d'emprunter les capacités analytiques des modèles et de l'autre côté les modèles empruntent les capacités graphiques et de gestion des données du SIG (Nyerges, 1992). L'objectif à atteindre pour le réseau du groupement urbain de Tlemcen est de faciliter l'accès aux données des différentes bases, assurer la communication entre le code de calcul et l'utilisateur dans les différentes tâches à accomplir : chargement de données, lancement de calcul, modification, affichage des résultats... etc.

2.1. Passage SIG -EPANET

Cette étape consiste à faire le passage du SIG vers Epanet afin d'effectuer la simulation hydraulique à partir de données SIG au sein d'Epanet. Un géotraitement permet de générer un fichier « inp » (fichier texte) pouvant être traité par Epanet pour les conduites composant le réseau uniquement (les autres ouvrages devront être ajoutés manuellement par la suite). Il est nécessaire de contrôler la topologie du réseau avant de lancer le géotraitement. En effet, Epanet ne tolère pas d'erreur topologique pour effectuer la simulation hydraulique. Par topologie « propre » il est entendu les points suivants :

- Interruption des conduites au droit de chaque intersection ;
- Pas de superposition d'objets conduites ;
- Pas d'objets conduits multi-parties ou de longueur nulle ;
- Vérification de la connectivité des conduites les unes aux autres.

Le passage SIG - EPANET (Figure V.1) a été réalisé à l'aide de l'outil DXF2EPA (Salomons, 2005). C'est un programme qui convertit tous les éléments de classe lignes et polygones (dans des couches en format DXF) en un ensemble de canalisations et raccords sous EPANET (Rossman, 2000). Des éléments supplémentaires doivent être ajoutés manuellement au modèle sous EPANET (Worm et al., 2010) tels que les réservoirs, les pompes et les vannes.

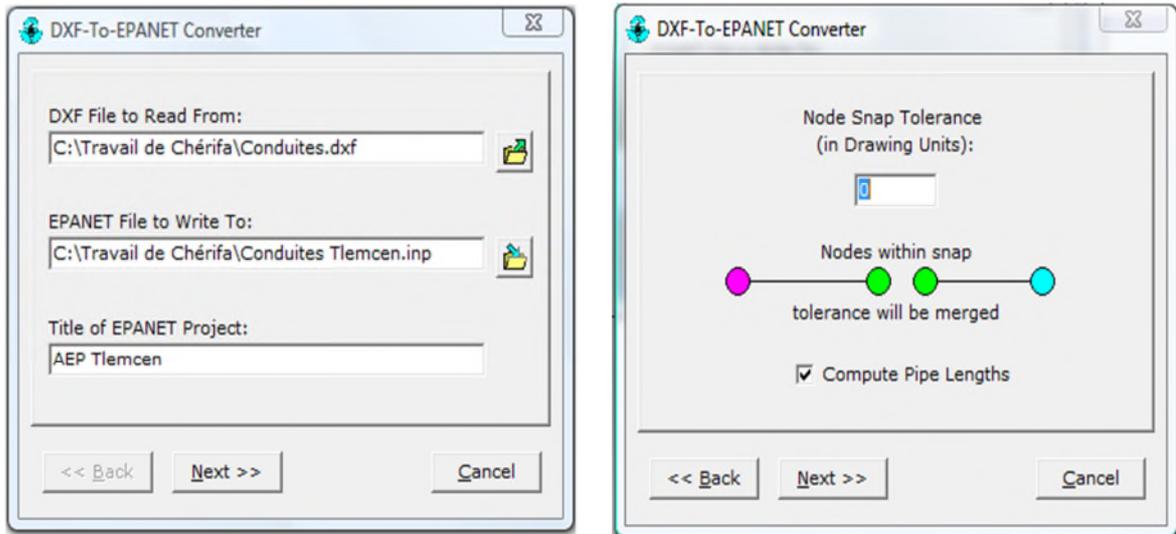


Figure V.1 : Passage SIG-EPANET

Le programme de conversion peut calculer les longueurs des canalisations, les autres données du réseau telles que les altitudes des nœuds, les demandes et les diamètres des canalisations doivent être introduites manuellement dans EPANET (Rossman, 2000) après que le fichier converti est chargé. La figure V.2 illustre le réseau importé sous EPANET.

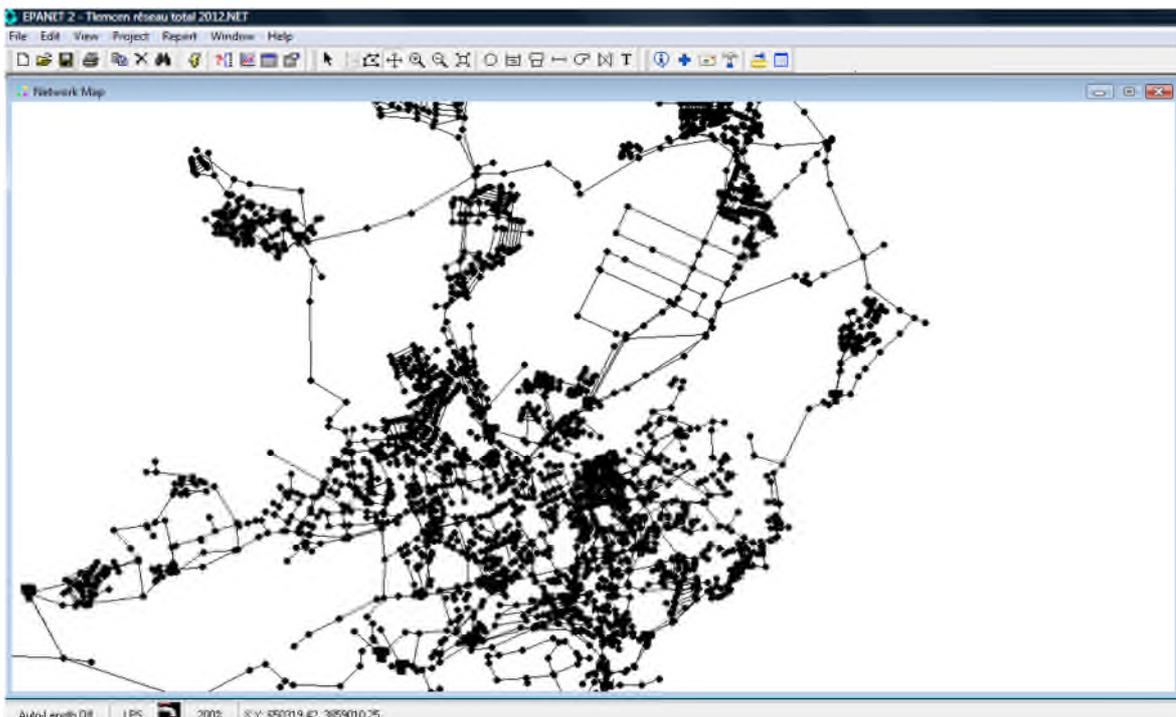
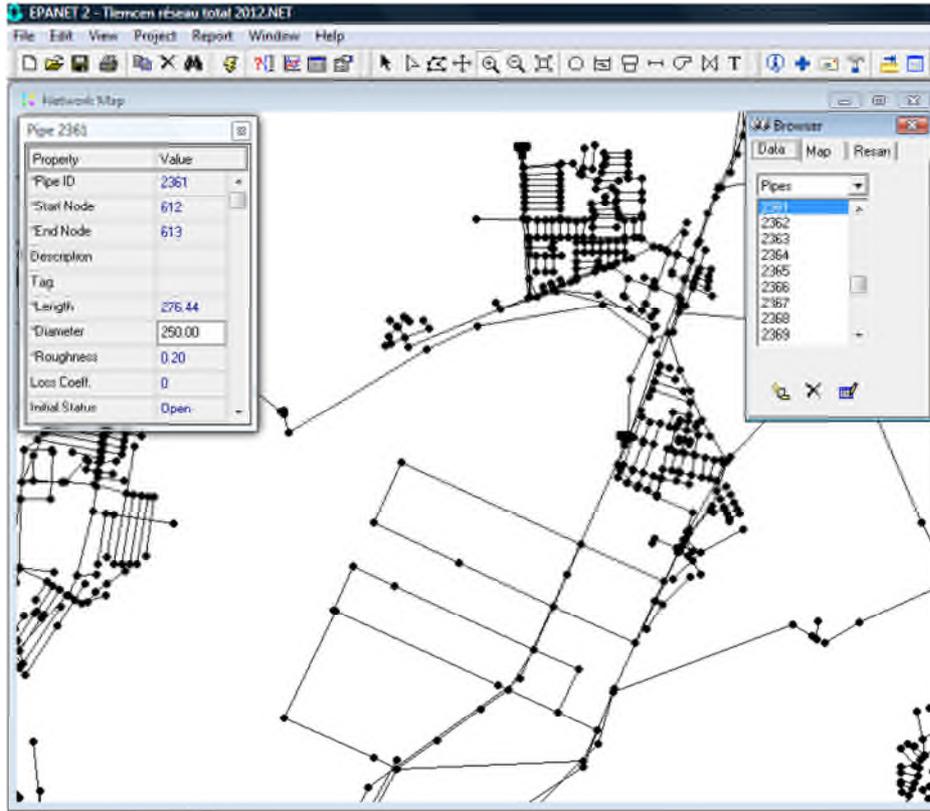


Figure V.2 : Le réseau du GUT importé sous EPANET

2.2. Simulation du fonctionnement du réseau d'AEP sous EPANET

Après la conversion des différentes couches sous EPANET (Rossman, 2000), les données du réseau sont saisies, tels que les diamètres et la rugosité pour les canalisations, les altitudes et les demandes de base pour les nœuds ainsi que les caractéristiques des réservoirs et des vannes. Les figures V.3, V.4 & V.5 illustrent le chargement des données pour les différentes composantes du réseau d'AEP du GUT.



Figures V.3 : Exemple de saisie des données des canalisations

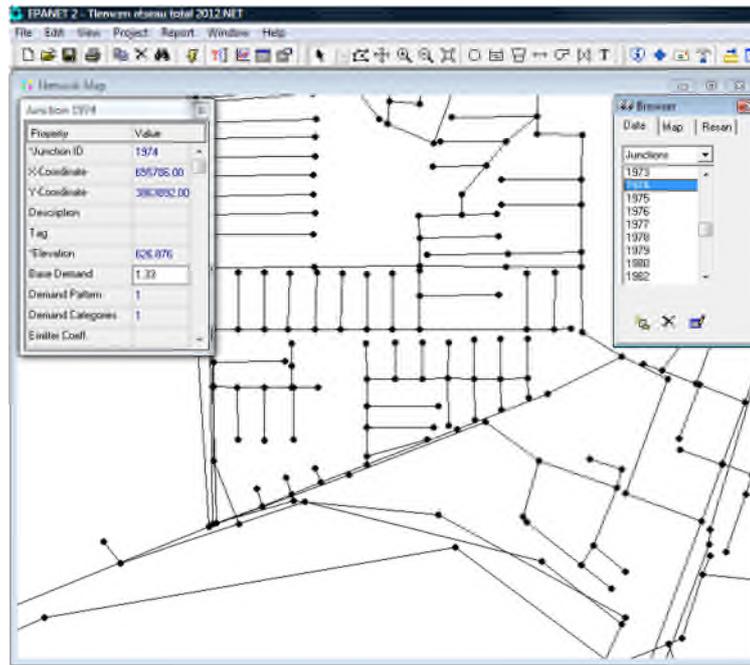


Figure V.4 : Exemple de saisie des données des nœuds

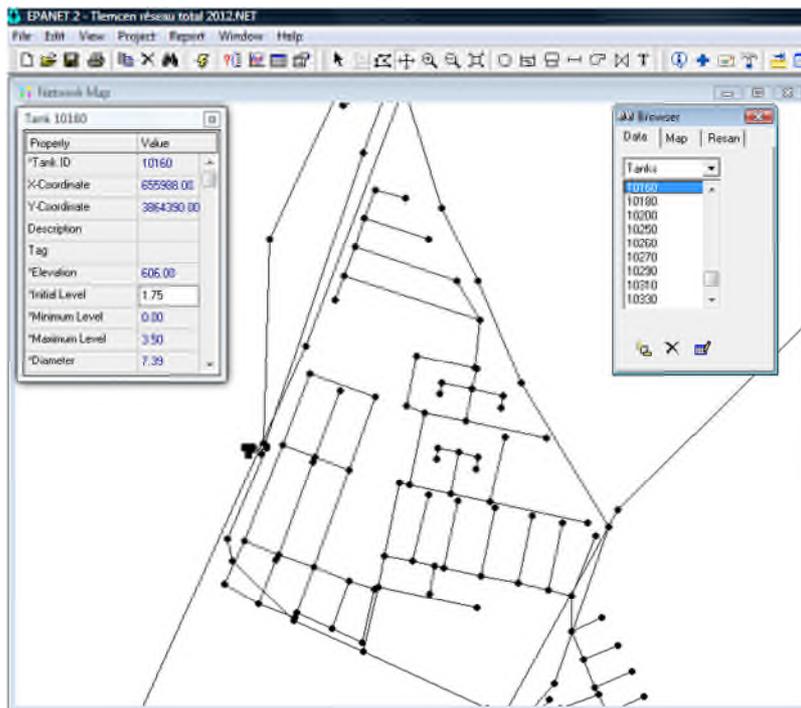


Figure V.5 : Exemple de saisie des données des réservoirs

Les consommations du réseau sont définies aux nœuds. L'intérêt de cette étape est de pouvoir établir un profil de consommation propre à chaque partie du réseau à partir de la demande des nœuds du réseau du GUT et le débit de pointe du réseau. Une fois les options de simulation sont définies, la simulation est lancée pour chaque secteur à part ainsi que pour la totalité du réseau (18 secteurs). La figure V.6 et V.7 représentent respectivement le lancement d'une simulation et le résultat de cette dernière pour le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable.

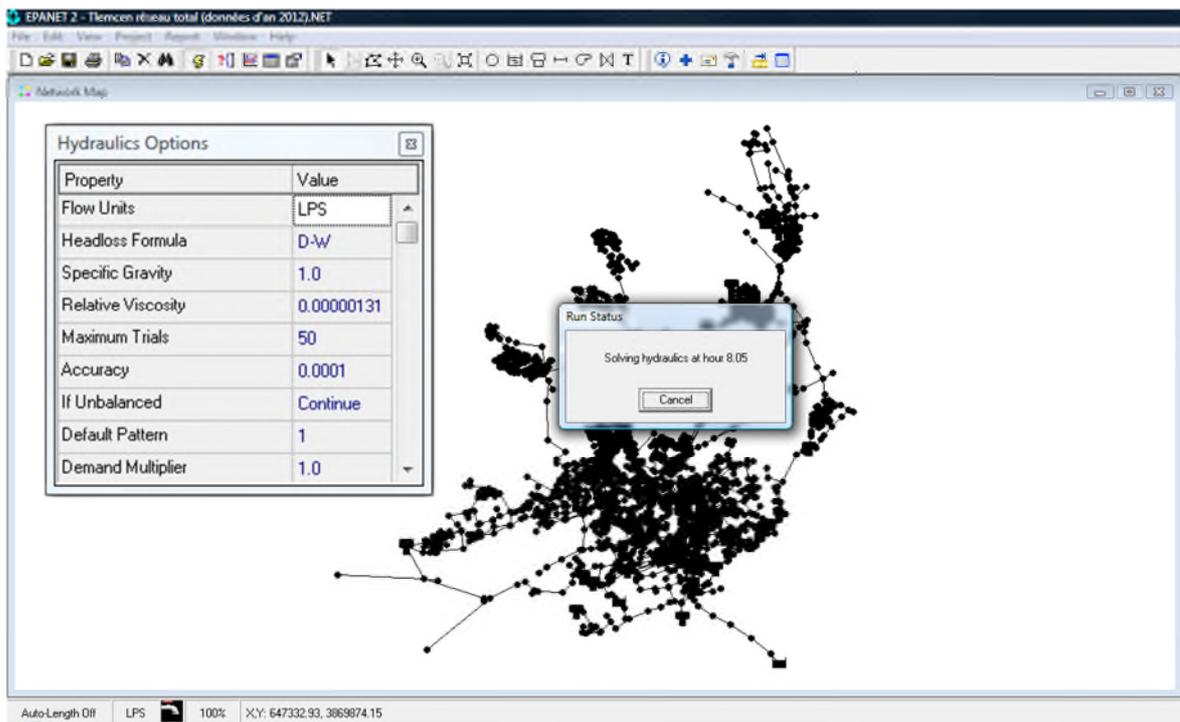


Figure V.6 : Définition des options et lancement de simulations pour le réseau du GUT

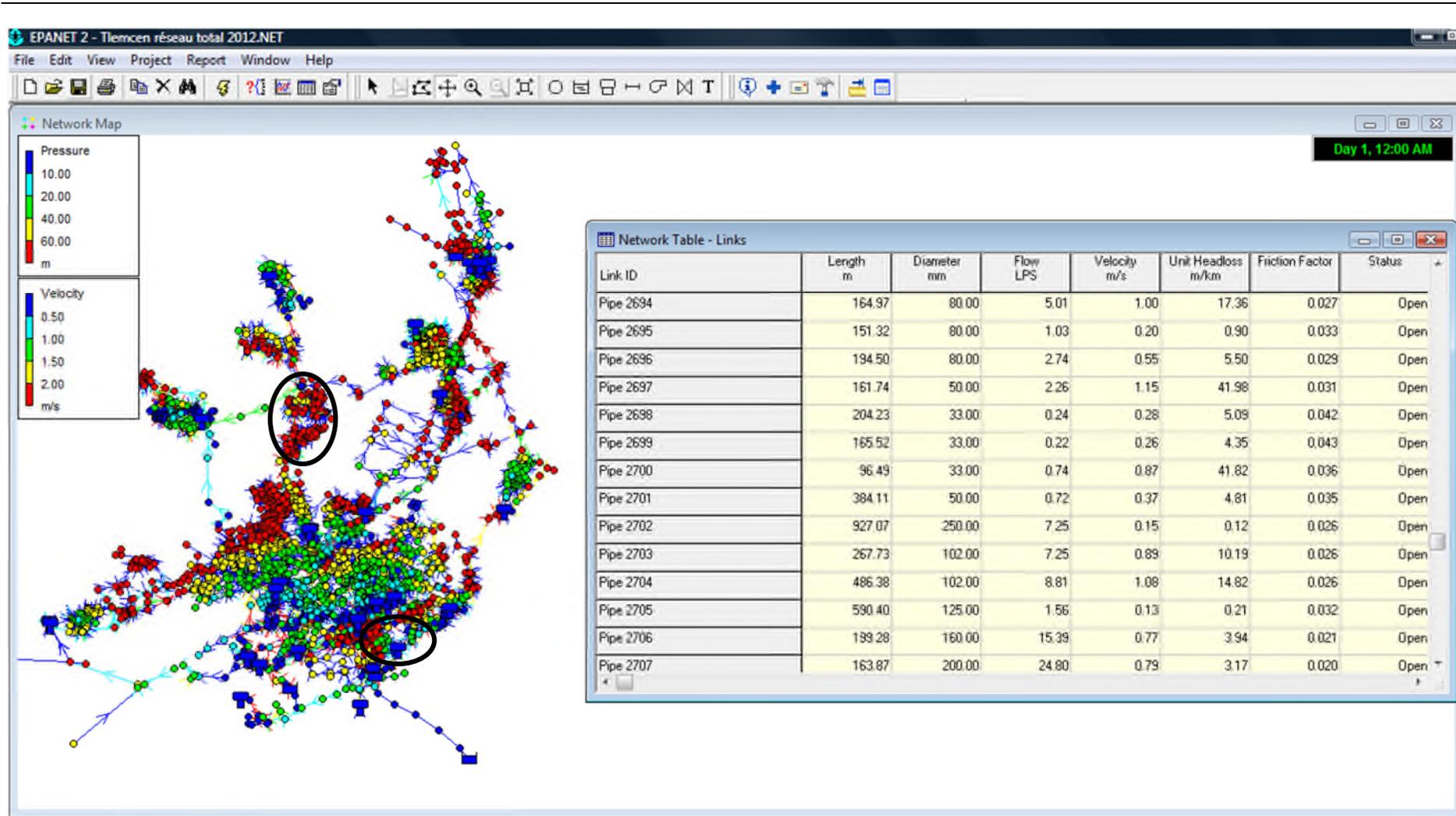


Figure V.7 : Résultats de simulation du réseau du GUT

Les figures V.8 et V.9 représentent respectivement les simulations pour les zones d'Abou Tachfine et Birouana. Les résultats de simulation pour les 18 zones sont donnés en Annexe 5.

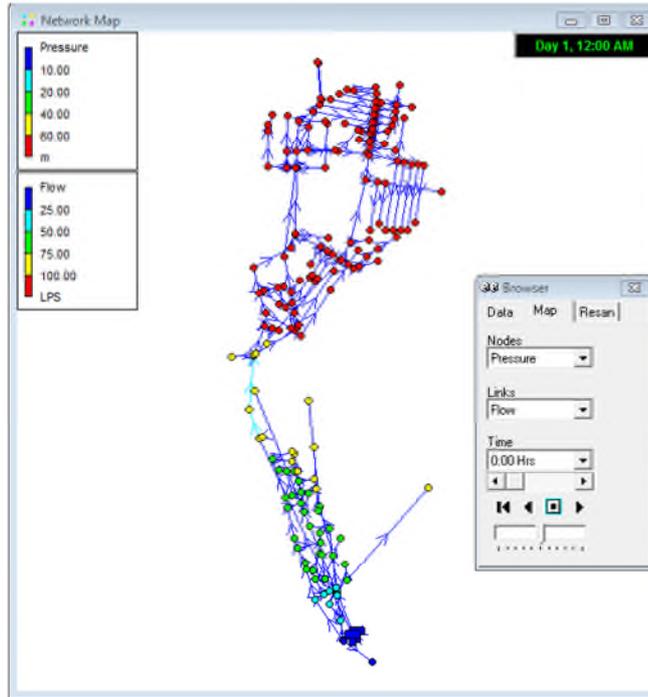


Figure V.8 : Résultats de simulation pour la zone d'Abou Tachfine à partir du réservoir de Kbassa-Tombeau du Raab

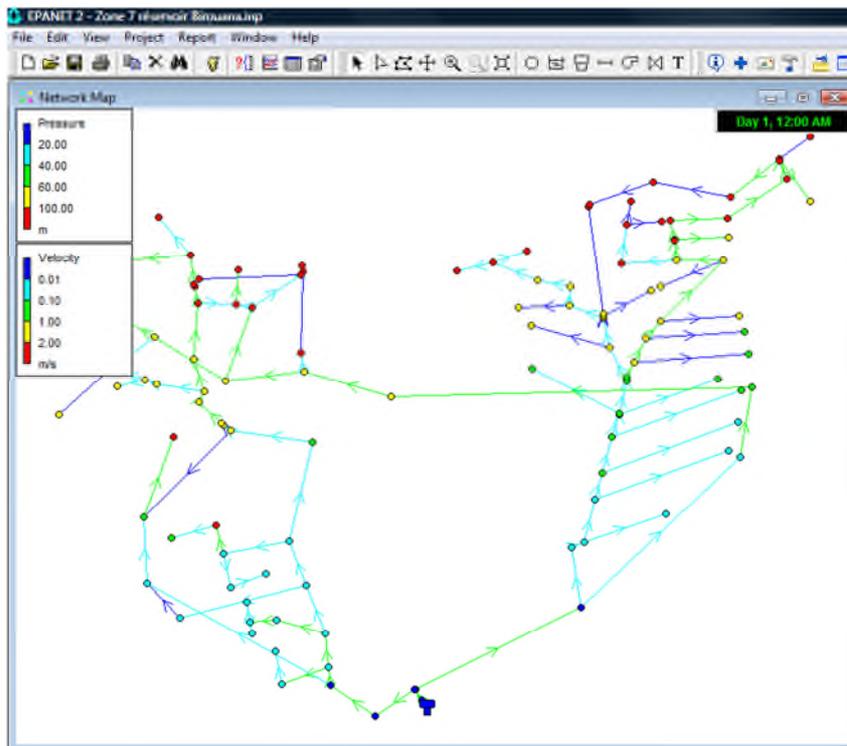


Figure V.9 : Résultats de simulation pour la zone de Birouana

2.3. Calage Hydraulique du modèle sous EPANET

Le calage a pour objectif de rapprocher le comportement du modèle de celui du système réel. Il s'agit de rendre le modèle représentatif de la réalité. Pour cela, des mesures de pressions et de débits ont été réalisées au niveau des sorties des réservoirs du réseau. A partir de ces mesures faites dans des situations données (niveau dans le réservoir...), des rugosités ont été affectées aux canalisations. Les campagnes de mesures ont été faites en collaboration avec l'Algérienne des eaux – Unité de Tlemcen.

3. SYNTHÈSE ET INTERPRÉTATIONS DES RESULTATS

Plusieurs scénarios ont été étudiés à savoir le comportement du réseau en heure de pointe et des scénarios de simulation au cours de la journée. La figure V 10 présente les caractéristiques géométriques et hydrauliques d'une canalisation après la simulation.

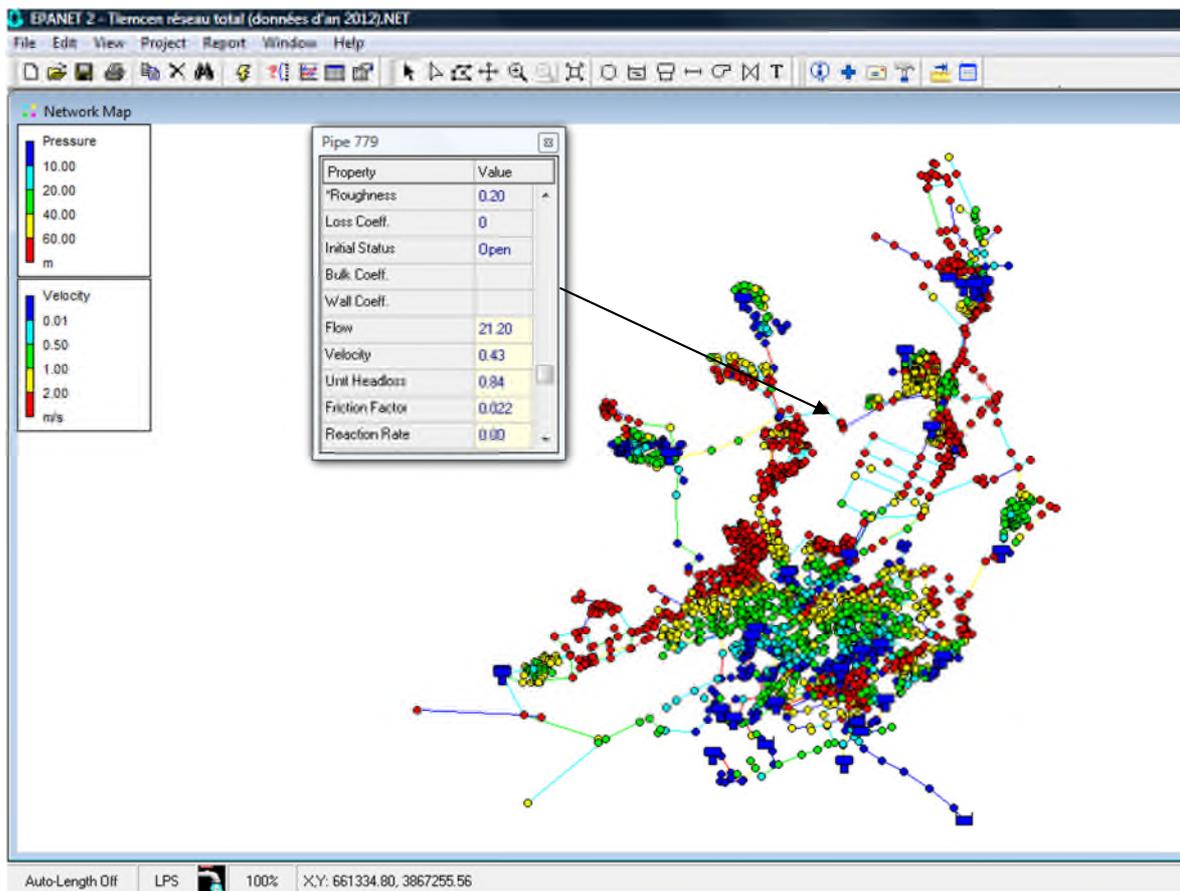


Figure V.10 : Caractéristiques géométriques et hydrauliques d'une canalisation

Les paramètres pris pour l'analyse du fonctionnement du réseau sont : les débits, les vitesses et les pressions. Les résultats sont synthétisés dans les sections suivantes :

- **Débit** : Les conduites devront pouvoir transiter les plus forts débits instantanés en tenant compte du débit de pointe. Les figures V.11 représente la variation globale du débit des dans le réseau d'AEP ainsi qu'un exemple pour un tronçon du réseau.



Figure V.11 Exemple de répartition des débits dans le réseau d'AEP

Au niveau des capacités de stockage, la demande varie selon le mode de consommation, la figure V.12 montre la variation du débit en fonction du temps pour le réservoir de Sidi Chaker.

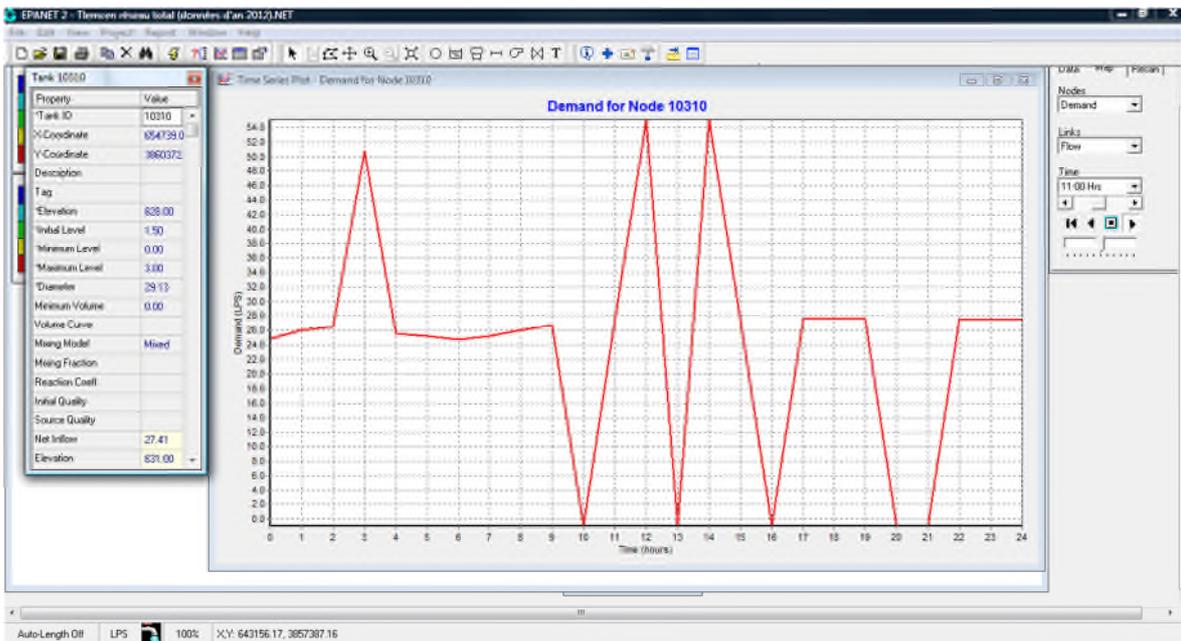


Figure V.12 : Variation du débit au niveau du réservoir de Sidi Chaker

Les figures V.13 montre les pertes de charge calculées en fonction des débits au niveau de la canalisation ainsi que le diamètre du tronçon considéré.

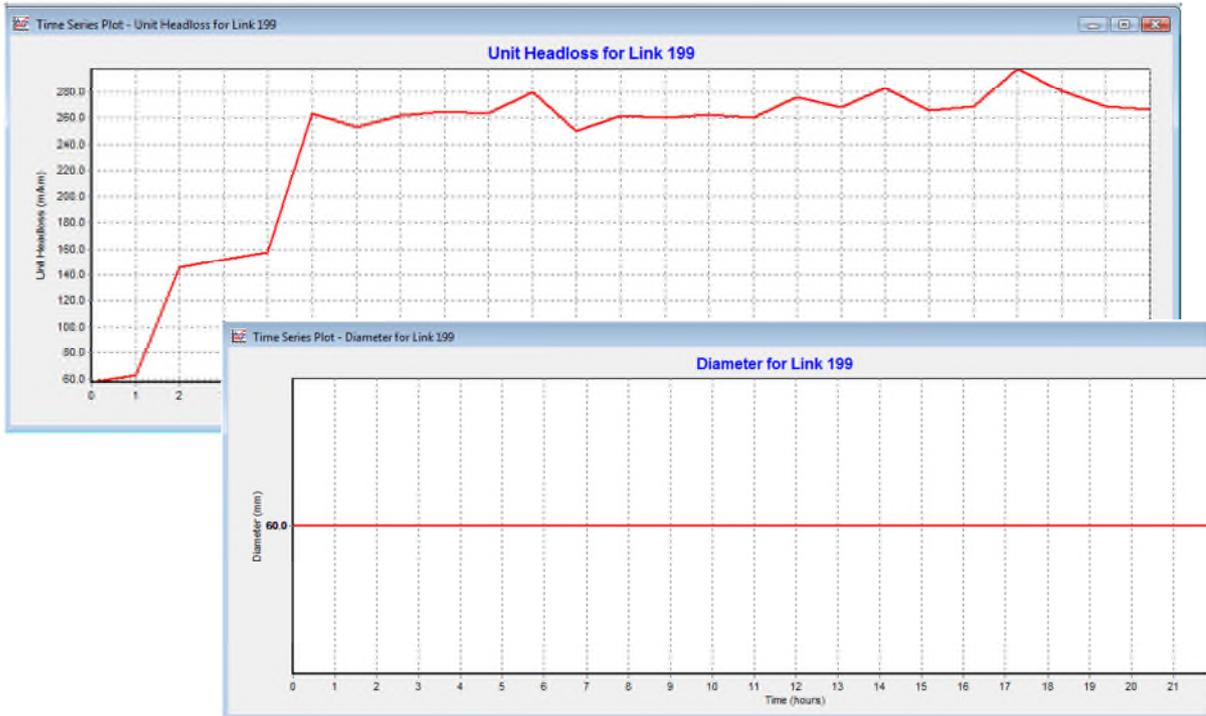


Figure V.13 : Pertes de charge calculées pour un diamètre donné

- Vitesse :** La vitesse de l'eau dans les conduites est de l'ordre de 0,5 à 1 m/s. Les vitesses supérieures à 1,5 m/s, de même que celles inférieures à 0,5 m/s sont à éviter (Dupont, 1979). Les faibles vitesses favorisent la formation des dépôts, difficiles à évacuer et celles supérieures à 1,5 m/s permettent d'envisager des augmentations de consommation sans que l'utilisateur n'en souffre trop (Valiron, 1994). La figure V.14 illustre la répartition des vitesses dans le réseau d'AEP en heure de pointe.

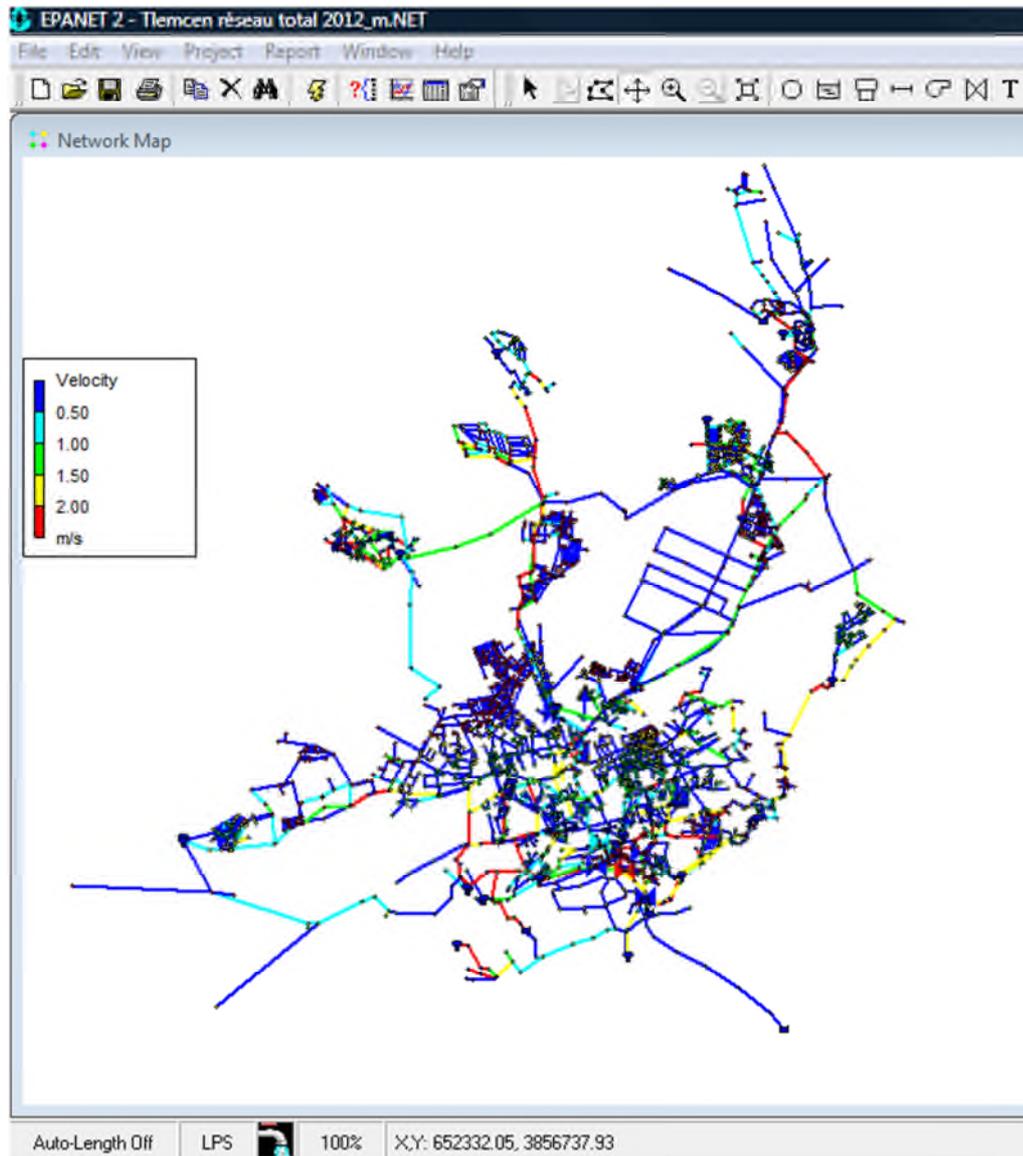


Figure V.14 : Répartition des vitesses en heure de pointe

Selon l'analyse du réseau d'alimentation en eau potable selon le critère « vitesse en heure de pointe », 70 % des canalisations, soit 2639 tronçons de conduites risquent d'avoir des problèmes de dépôts suite aux faibles vitesses d'écoulement ($v < 0,5$ m/s). 17% des canalisations, soit 641 ont une vitesse comprises entre 0,5 et 1,5 m/s (dans les normes) et 13% des canalisations, soit 489 risquent d'avoir les problèmes d'érosion interne suite aux fortes vitesses ($v > 1,5$ m/s).

La répartition des vitesses a été faite. La figure V.15 présente les vitesses d'un tronçon du réseau et sa variation au cours de la journée.

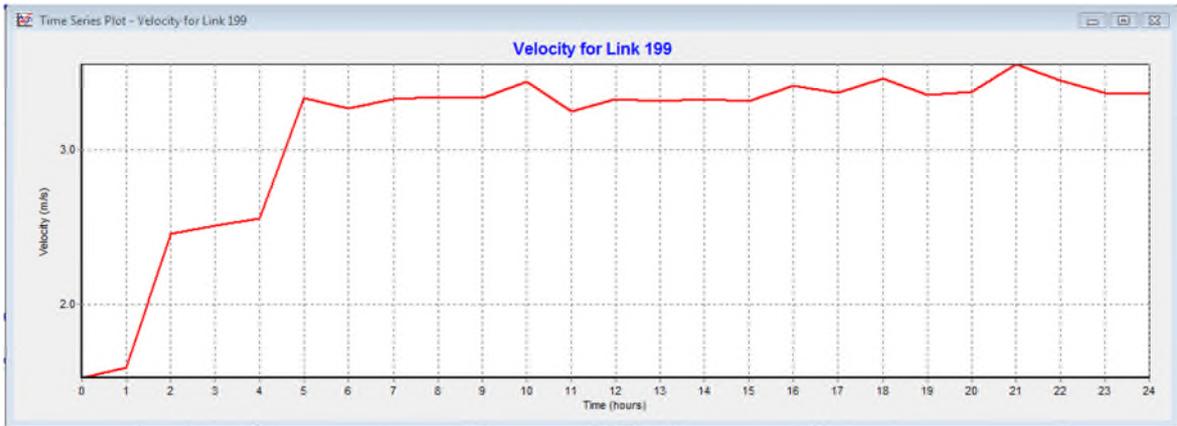


Figure V.15 : Répartition de la vitesse pour le tronçon 199 (au cours de la journée)

- **Pression :** En vue de la bonne tenue des canalisations, il y a lieu d'éviter en ville des pressions supérieures à 40 m qui risquent d'apporter des désordres (fuites) et certains bruits désagréables dans les installations intérieures d'abonnés (Dupont, 1979, Gomella, 1986, Bonnin, 1986). L'enveloppe des pressions au niveau du GUT est donnée dans la figure V.16 pour différentes périodes de simulation

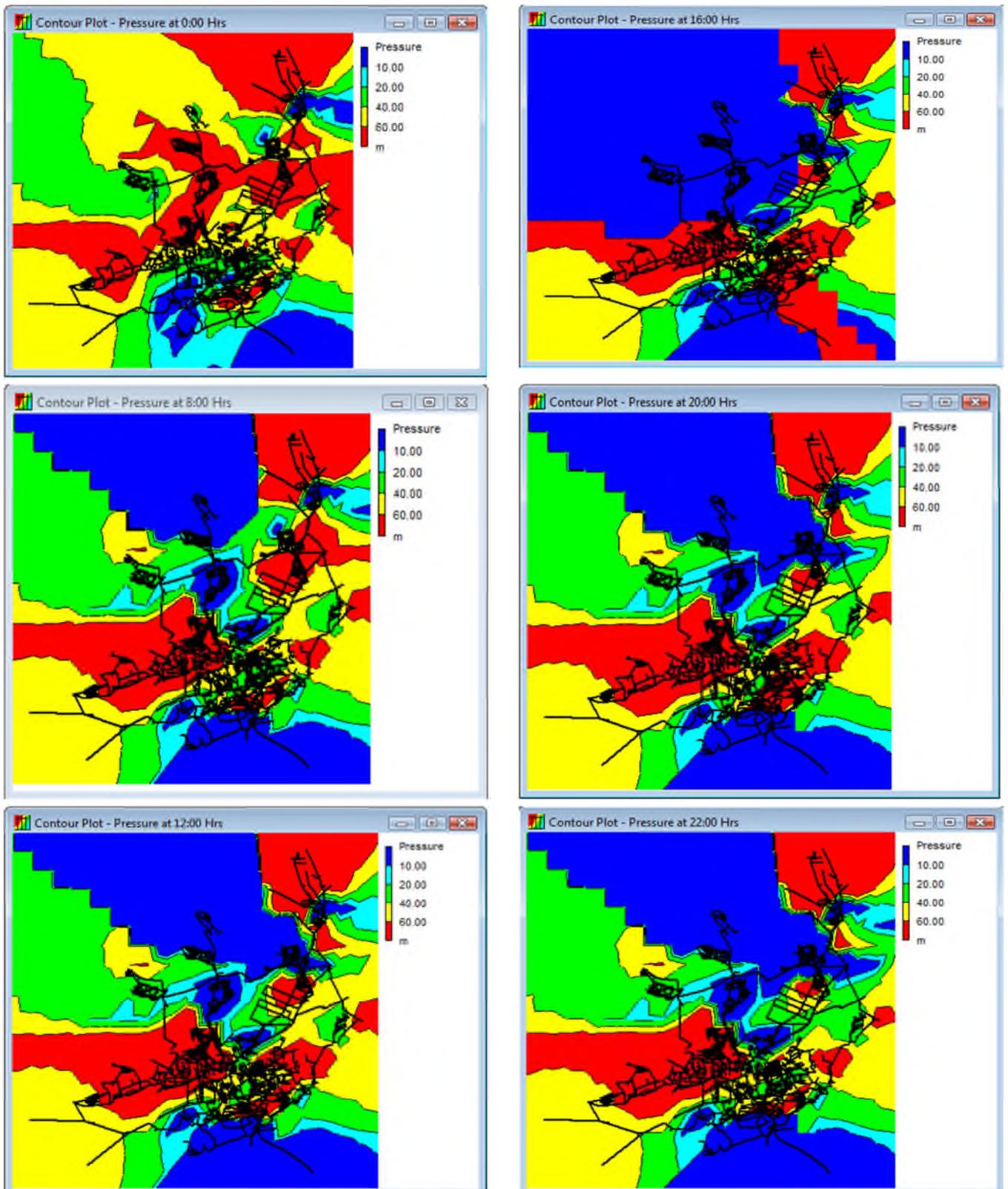


Figure V.16 : Enveloppe des pressions au niveau du réseau d'AEP pour différentes périodes de simulation

Dans 31% des nœuds du réseau d'alimentation en eau potable du GUT, soit 1097 nœuds, la pression dépasse 60 m, ce qui explique les pertes considérables en distribution dépassant 50% (Abdelbaki et al., 2012 et 2014). Dans 14 % des nœuds soit 481, la pression est inférieure à 10 m, ce qui est à l'origine de la desserte limitée des abonnés. A cela s'ajoute des problèmes d'hygiène et de santé résultant du mode de fonctionnement et du stockage au niveau des ménages (Allal et al, 2012). Quant au 55 % restante soit, 1906 nœuds, les pressions sont comprises entre 10 et 60 m d'eau (dans les normes de distribution).

En se basant sur les résultats obtenus pour le réseau d'AEP du GUT, quelques recommandations sont faites pour améliorer la situation de l'AEP au niveau de ce dernier :

- La géométrie du réseau est à revoir et des opérations de réhabilitation sont indispensables pour corriger les caractéristiques géométriques du réseau. Cette opération est d'une grande importance pour avoir des caractéristiques hydrauliques satisfaisantes pour les vitesses et les pressions.
- La mise en place des appareils régulateurs de pressions (vannes stabilisatrices par exemple), pour les zones où les pressions sont très importantes (pression > 60 m), est indispensable pour régulariser la pression surtout au niveau des zones de Kiffane, Ouzidane, Sidi Tahar....
- Le renforcement de l'alimentation en eau potable pour les zones de Chetouane, Ain el Houtz, Abou Tachfine, Koudia, Oudjlida en implantant des nouvelles capacités de stockage.
- Le développement d'un modèle de consommation propre au GUT, pour mieux représenter le mode de consommation de la population

4. PASSAGE EPANET – SIG

Le passage Epanet - SIG a été réalisé à l'aide de l'outil Epa2gis (<http://www.zonums.com/epa2gis.html>, 2007). Epa2GIS exporte le réseau et les résultats de simulation (*.NET) sous Epanet et crée des couches thématiques pour les composants du réseau en utilisant le format SIG (SHP). Les couches ainsi créés peuvent être ouvertes dans ArcView et ArcMap, ou toute autre application qui prend en charge les fichiers ESRI. Les figures V.17 et V.18 illustrent ce passage respectivement, pour une partie et pour la totalité du réseau.

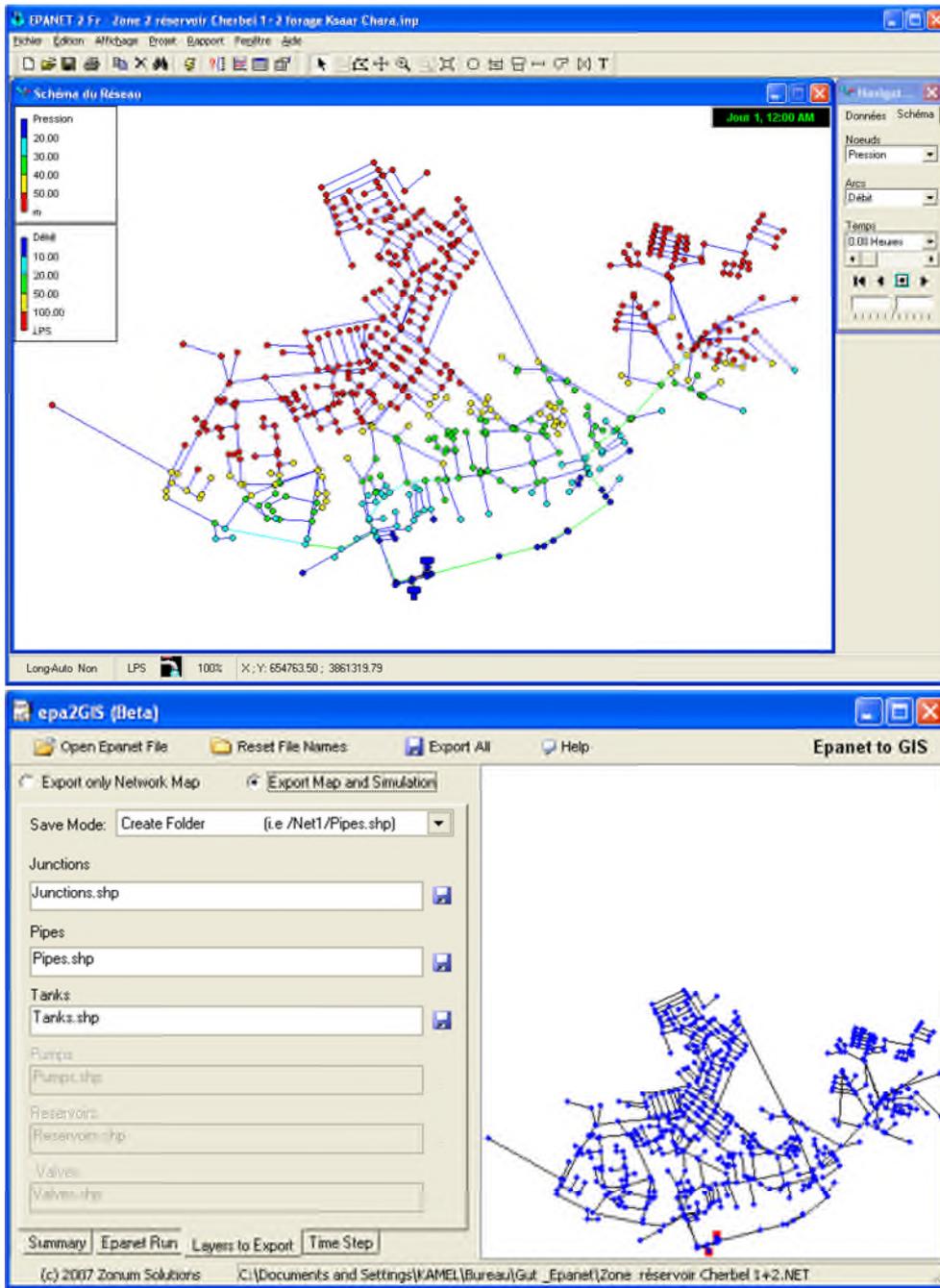


Figure V.17 : Passage du format Epanet au format SIG pour la zone 2

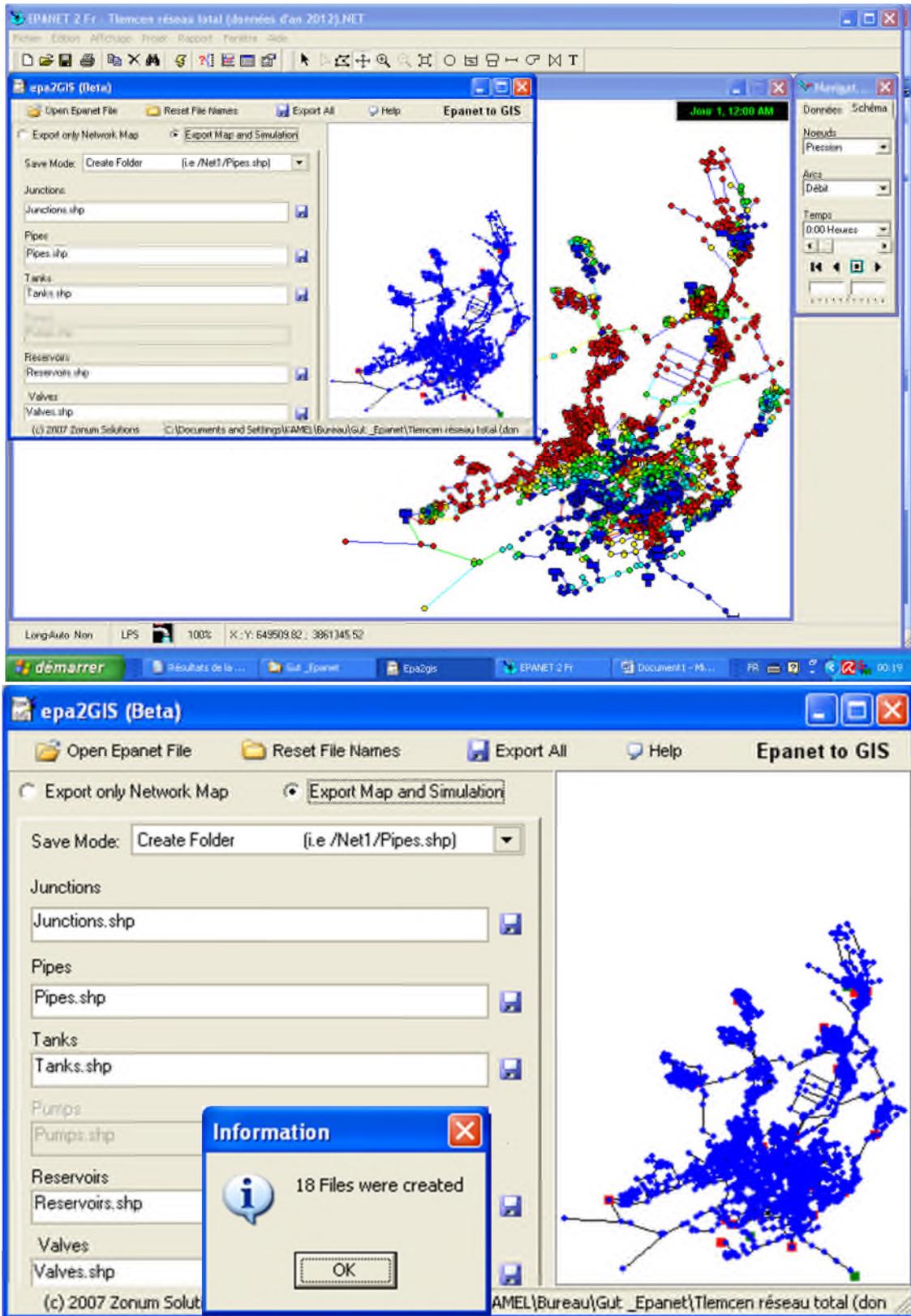


Figure V.18 : Passage du format Epanet au format SIG pour la totalité du réseau

Le réseau ainsi exporté ne peut pas être exploité sous MapInfo, une conversion de format via le traducteur universel de MapInfo est alors indispensable. La conversion est illustrée dans la figure V.19.

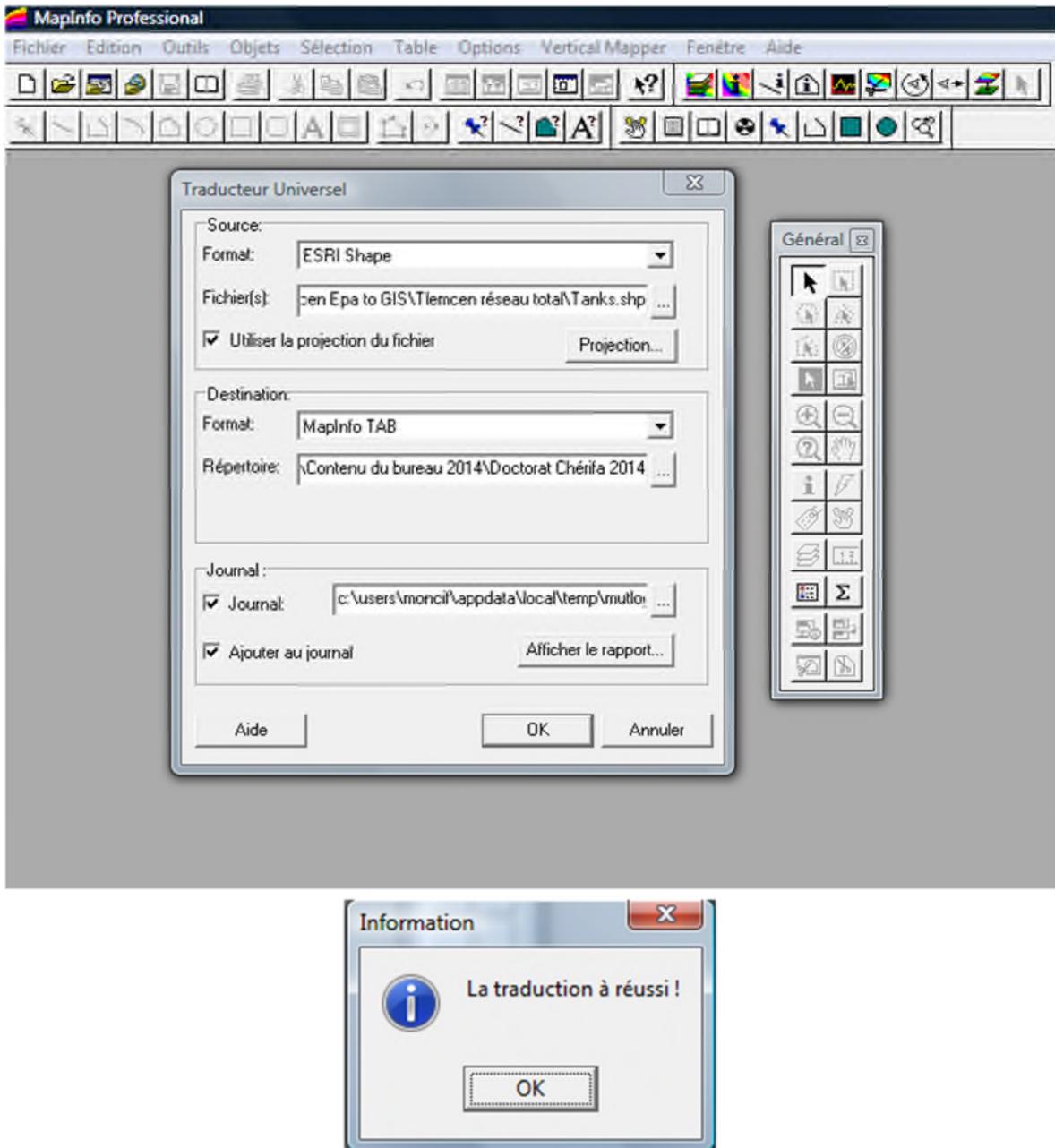


Figure V.19 : Conversion de format à l'aide du traducteur universel de Mapinfo

Le résultat de la traduction est donné, pour la totalité du réseau, dans la figure V.20

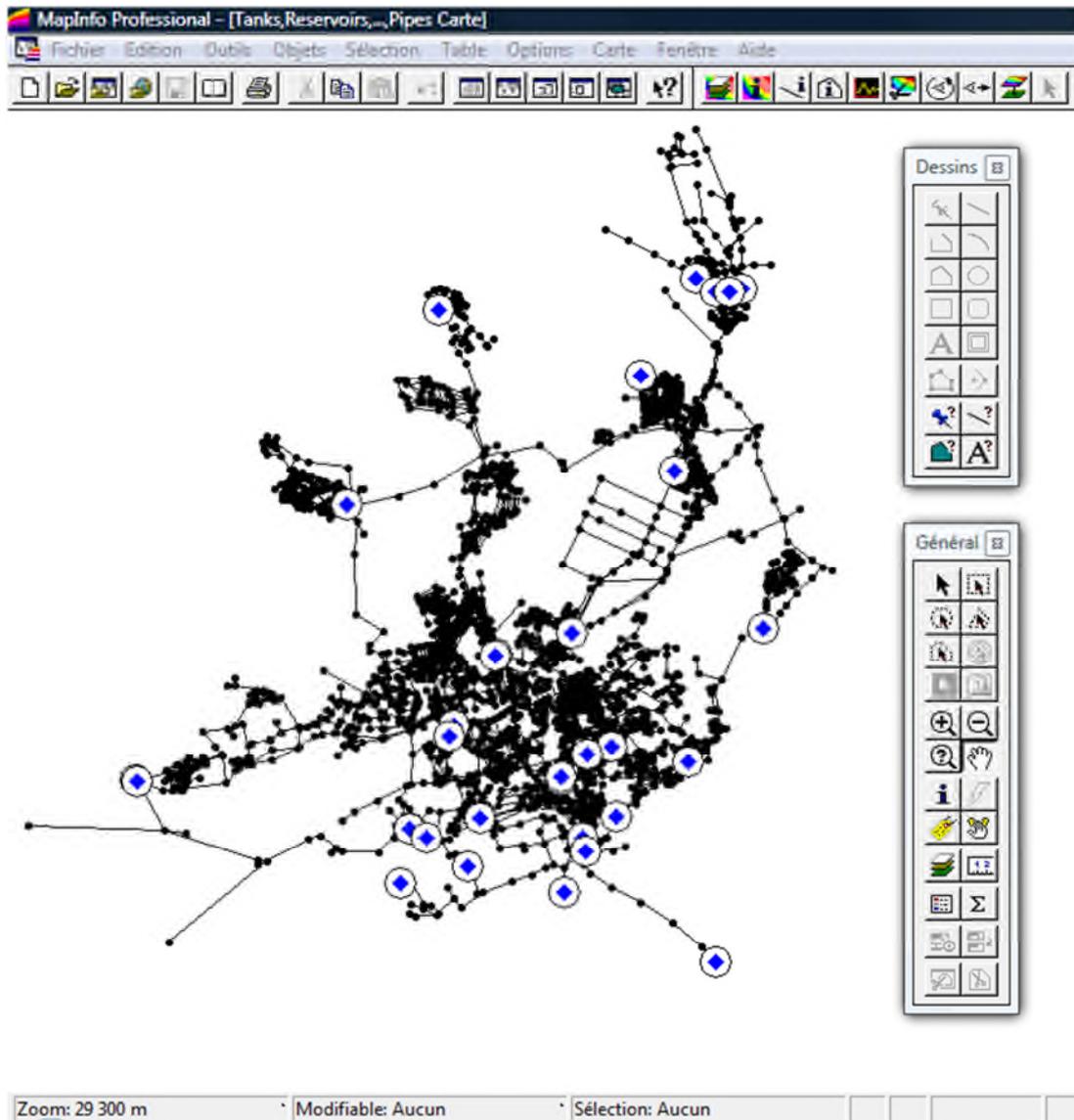


Figure V.20 : Résultat du passage Epanet - SIG

5. CREATION DE L'APPLICATION « Réseaux AEP »

Un programme en langage MapBasic a été élaboré, permettant d'une part, l'affichage du fond de plan du GUT et d'autre part l'affichage du réseau d'AEP avec ses caractéristiques géométriques et hydrauliques en se basant sur la simulation de ce dernier pour tester sa faculté de distribution (répartition des débits, des pressions ...). L'objectif à atteindre est de faciliter l'accès aux données des différentes bases, assurer la communication entre le logiciel et l'utilisateur dans les différentes tâches à accomplir : chargement de données, affichage des résultats...

5.1. Choix du Langage de programmation

MapBasic a été choisi comme langage de programmation pour les raisons suivantes:

- MapBasic est un langage de programmation idéal pour la personnalisation des applications MapInfo
- MapBasic intègre le langage standard des requêtes SQL
- Les programmes MapBasic peuvent être exécutés sous environnement MapInfo (mbx) (Barbier, 2002, MapInfo, Mapbasic, 2005, Kellouche, 2009).

5.2. Présentation de l'application

L'application développée est organisée par un ensemble de menus et de routines : Au menu standard de MapInfo, le menu "Réseaux d'AEP" est ajouté, ce dernier a pour tâche de faire appel aux sous menus de chargement et d'affichage des données, la figure V.21 présente l'application développée.

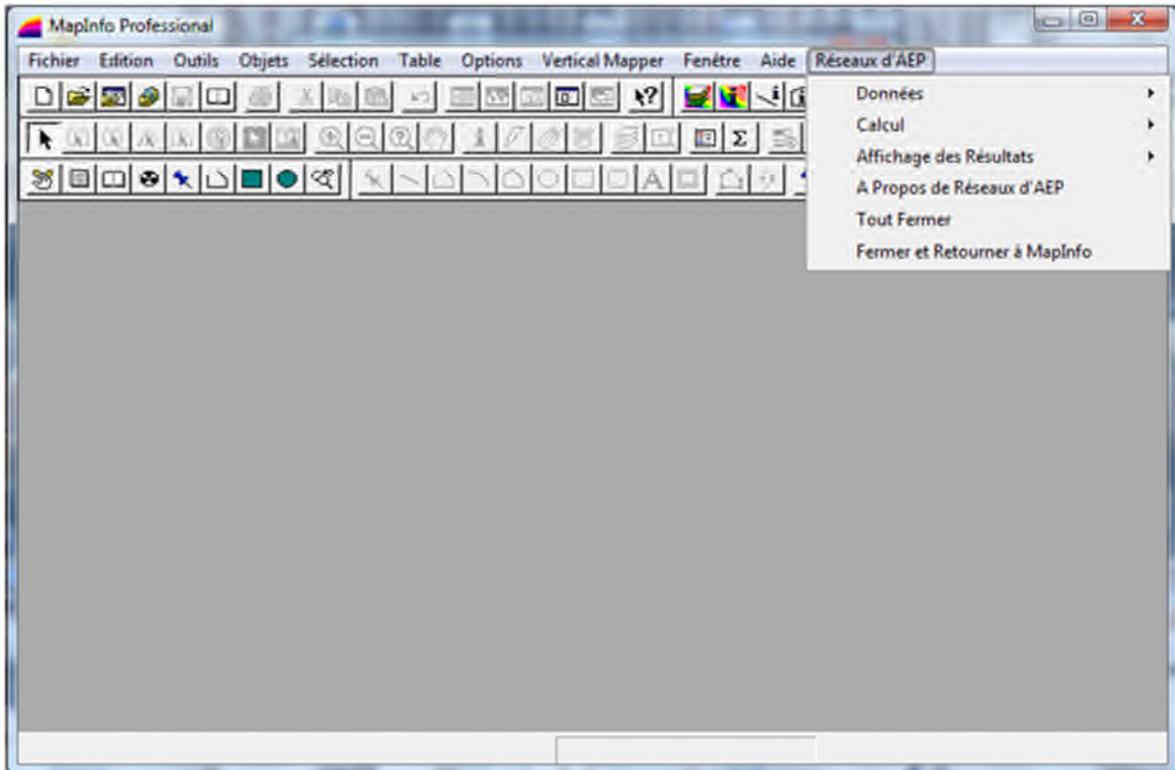


Figure V.21 : L'application « Réseaux d'AEP » développée

Le menu « Réseaux d'AEP » a pour tâche de faire appel aux sous menus suivants :

- **Menu Données** : il est composé de trois autres sous menus :
 - **Fond de plan** : permet à l'utilisateur de charger les données du groupement urbain de Tlemcen telles que Bâti, Ilot, et Rue. Cette application affiche sur écran le plan du groupement urbain de Tlemcen.
 - **Adduction** : permet à l'utilisateur l'ouverture et le chargement des cartes et tables de données de l'adduction à partir des forages jusqu'aux réservoirs. Son exécution affiche sur écran les conduites d'adduction, les forages, les réservoirs, et les accessoires des conduites d'adduction.

- **Distribution** : permet à l'utilisateur de charger les données et cartes de distribution à partir des réservoirs. Son exécution permet de visualiser le réseau de distribution et ses accessoires.
- **Menu Calcul** : Il comporte deux autres sous menus :
 - **Répartition des débits** : cette application permet d'afficher la répartition des débits en heure de pointe. La figure V.22 illustre la répartition des débits de pointe au niveau du réseau du GUT.

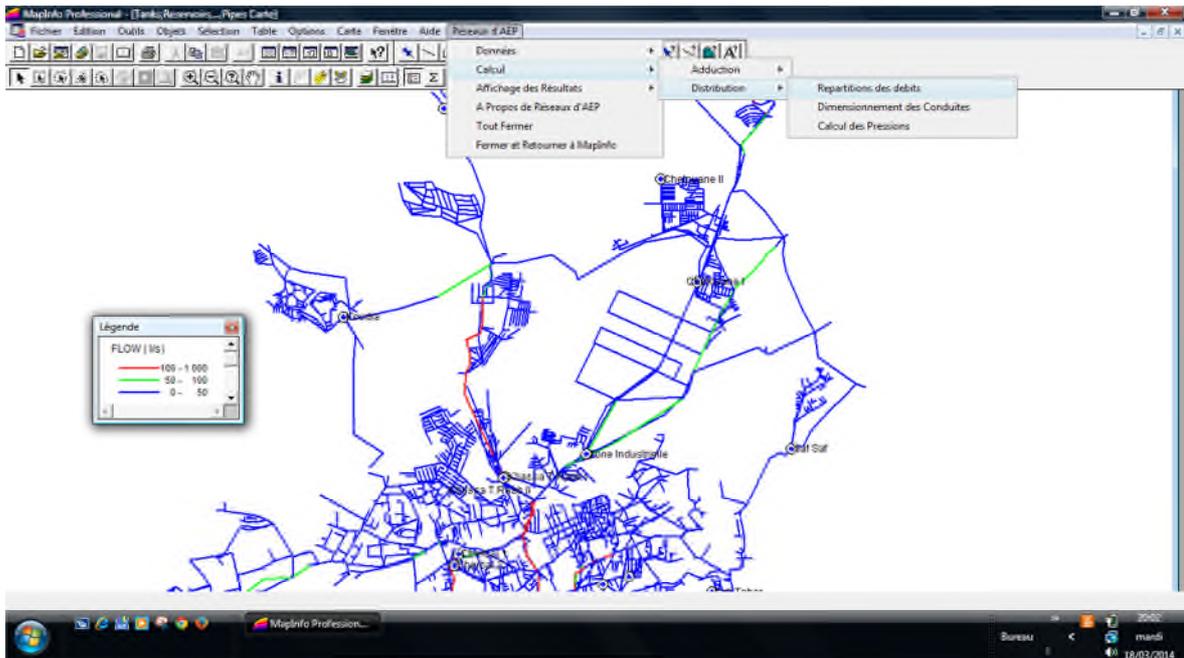


Figure V.22 : Répartition des débits de pointe au niveau du réseau de distribution

- **Adduction** : cette application permet de calculer les paramètres d'adduction (vitesses, pertes de charge, pressions...) à partir des débits refoulés des forages vers les réservoirs.
- **Distribution** : l'application permet de dimensionner le réseau de distribution, et de calculer la perte de charge et la pression en tout point
- **Menu Affichage des Résultats** : Il comporte trois sous menus :
 - **Adduction** : Ce sous menu comporte lui-même deux sous menus :
 - Répartition des vitesses* : l'application permet d'afficher la carte thématique de l'adduction suivant la répartition des vitesses.
 - Répartition des pressions* : l'application permet d'afficher la carte thématique de l'adduction suivant la répartition des pressions.
 - **Distribution** : Ce sous menu comporte lui-même deux sous menus :
 - *Répartition des vitesses* : l'application permet d'afficher la carte thématique de la distribution suivant la répartition des vitesses.
 - *Répartition des pressions* : l'application permet d'afficher la carte thématique de la distribution suivant la répartition des pressions.

La figure V.23 présente la répartition des vitesses et des pressions pour le débit de pointe de la journée.

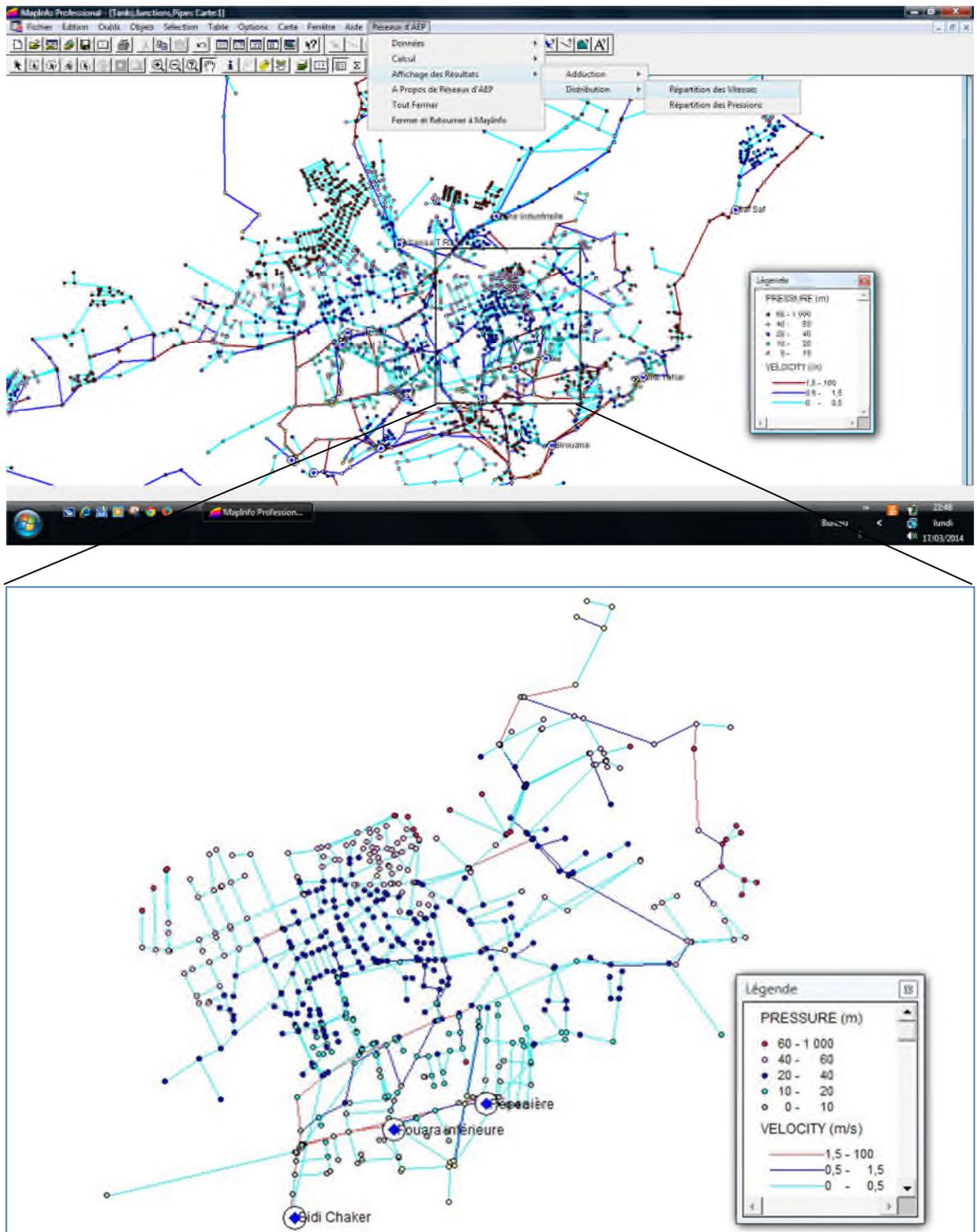


Figure V.23 : Extrait de la carte thématique du réseau d'AEP du GUT suivant la répartition de la vitesse et la pression

- **Menu à propos de « Réseaux d'AEP »** : Permet de définir l'application Réseaux comme illustré dans la figure V.24.

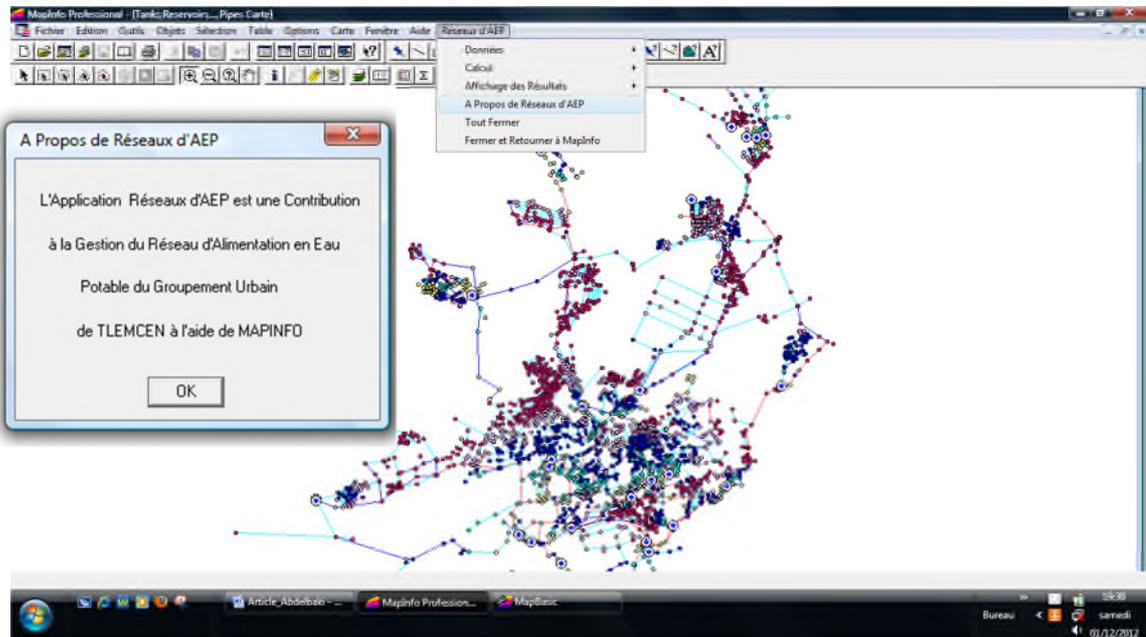


Figure V.24 : Présentation de l'application « Réseaux d'AEP »

- **Menu Tout Fermer** : Permet à l'utilisateur de fermer toutes les applications exécutées.
- **Menu Fermer et Retourner à MapInfo** : Permet à l'utilisateur de fermer toutes des applications et retourner au menu standard de MapInfo.

Le couplage SIG Epanet et les analyses établies contribuent efficacement à la gestion du réseau d'alimentation en eau potable du GUT. L'application «Réseaux d'AEP » développée est un outil d'aide à la décision pour l'exploitation du réseau d'AEP du GUT. Les opérations de saisie, stockage et mise à jour des données permettent d'emmagasiner un historique des problèmes d'exploitation (ruptures, renouvellement, modification du tracé...) utile pour les prévisions d'interventions sur le réseau.

6. CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a identifié, compte tenu des données disponibles, les performances hydrauliques (pression, vitesse, débit...) du réseau d'AEP du GUT et cela en développant un couplage entre le SIG Mapinfo et le modèle de calcul Epanet. L'outil développé pour la gestion du réseau d'alimentation en eau potable du GUT à l'aide d'un SIG offre aux exploitants du réseau un outil de gestion qui permet de :

- Connaître le réseau en tout point
- Analyser les dysfonctionnements avec une réponse instantanée pour n'importe quel incident pouvant s'y produire.
- Faciliter la connaissance des travaux effectués sur le réseau.
- Connaître l'état du point particulier sélectionné.

C'est un outil d'exploitation permettant au gestionnaire d'effectuer le diagnostic de son réseau, d'étudier les solutions aux problèmes rencontrés et de prévoir les situations futures. Les avantages de tels systèmes ne sont plus à démontrer, mais la collecte et la saisie des données représentent un travail considérable, les informations mémorisées sont nécessaires à la bonne gestion du réseau d'alimentation en eau potable du Groupement urbain de Tlemcen.

CHAPITRE VI :
ENQUETE ET QUALITE DE SERVICE
POUR L'AEP DU GUT

CHAPITRE VI : ENQUETE ET QUALITE DE SERVICE POUR L'AEP DU GROUPEMENT URBAIN DE TLEMCCEN

Dans le cadre de l'approche systémique adoptée pour comprendre le système d'AEP du GUT, l'approche qualité vient compléter ce qu'on avait déjà développée, elle peut aider à apporter une solution rationnelle en palliant aux différentes carences et défaillances dans la gestion du réseau d'AEP par l'organisme gestionnaire, en identifiant les moyens nécessaires, matériels et humains à mobiliser, pour une meilleure qualité de gestion du système d'AEP du GUT.

Dans un souci d'amélioration et d'optimisation des performances du réseau d'AEP, cette partie basée sur l'approche qualité totale est effectuée dont les fondements sont: i. Mise en place d'indicateurs de qualité, mesures et quantifications des écarts pour évaluer l'état de fonctionnement du réseau d'AEP; ii. Sondage auprès des employés de l'organisme gestionnaire et des abonnés (écoute client); iii. Actions correctives et préventives pour assurer respectivement le fonctionnement continu et la pérennité du service rendu. Il est à noter que la mise en place des indicateurs de qualité a été déjà développée au chapitre II.

1. PRESENTATION DE L'ORGANISME GESTIONNAIRE DE L'EAU POTABLE AU NIVEAU DU GUT

L'Algérienne des eaux (ADE) créé par décret exécutif n°01-101 du 21 avril 2001 (selon le Journal officiel n°24 du 22.04.2001), est un établissement public national à caractère industriel et commercial chargé d'assurer sur tout le territoire national la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau potable par la prise en charge des activités de gestion, des opérations de production, de transport, de traitement, de stockage, d'adduction, de distribution et d'approvisionnement en eau potable et industriel.

Pour l'unité de Tlemcen, la gestion de l'alimentation en eau potable des différentes communes s'est axée essentiellement sur le groupement urbain de Tlemcen et d'autres communes, répartis par centre comme suit :

- **Centre de Tlemcen** : Communes de Tlemcen ; Mansourah et Chetouane.
- **Centre de Maghnia** : Communes de Maghnia ; Sabra et Bab el Assa.
- **Centre de Remchi** : Communes de Remchi; Hennaya; Ain Youcef; et Ouled Mimoun.
- **Centre de Ghazaouet** : Communes de Nedroma ;Ghazaouet et Souahlia.

1.1 Organisation de l'Algérienne Des Eaux

L'unité ADE de Tlemcen fait partie d'un ensemble d'unités opérationnelles relevant de l'autorité hiérarchique de la zone d'Oran à savoir : Tlemcen, Oran, Mascara, Ain Temouchent. La direction de l'unité est située dans la zone semi industrielle à Abou Tachfine. La répartition du personnel est donnée dans le tableau VI.1.

Tableau VI.1 : Personnel de l'Algérienne Des Eaux (ADE, 2010)

Catégories	Personnel d'encadrement	Personnel de maîtrise	Personnel d'exécution	Total
Nombre	60	90	150	300
Pourcentage	20%	30%	50%	100%

L'unité de l'ADE de Tlemcen regroupe cinq départements sous l'autorité hiérarchique d'un directeur; et quatre centres de distribution d'eau au niveau des communes de Tlemcen, Maghnia, Remchi et Ghazaouet. Les centres à leur tour sont composés de secteurs. Le nouveau organigramme de l'unité de Tlemcen ADE a été mis en œuvre, dans le but de veiller au bon fonctionnement de l'entreprise et ce en se basant sur les organigrammes des anciennes entreprises gestionnaires voir (figure VI.1).

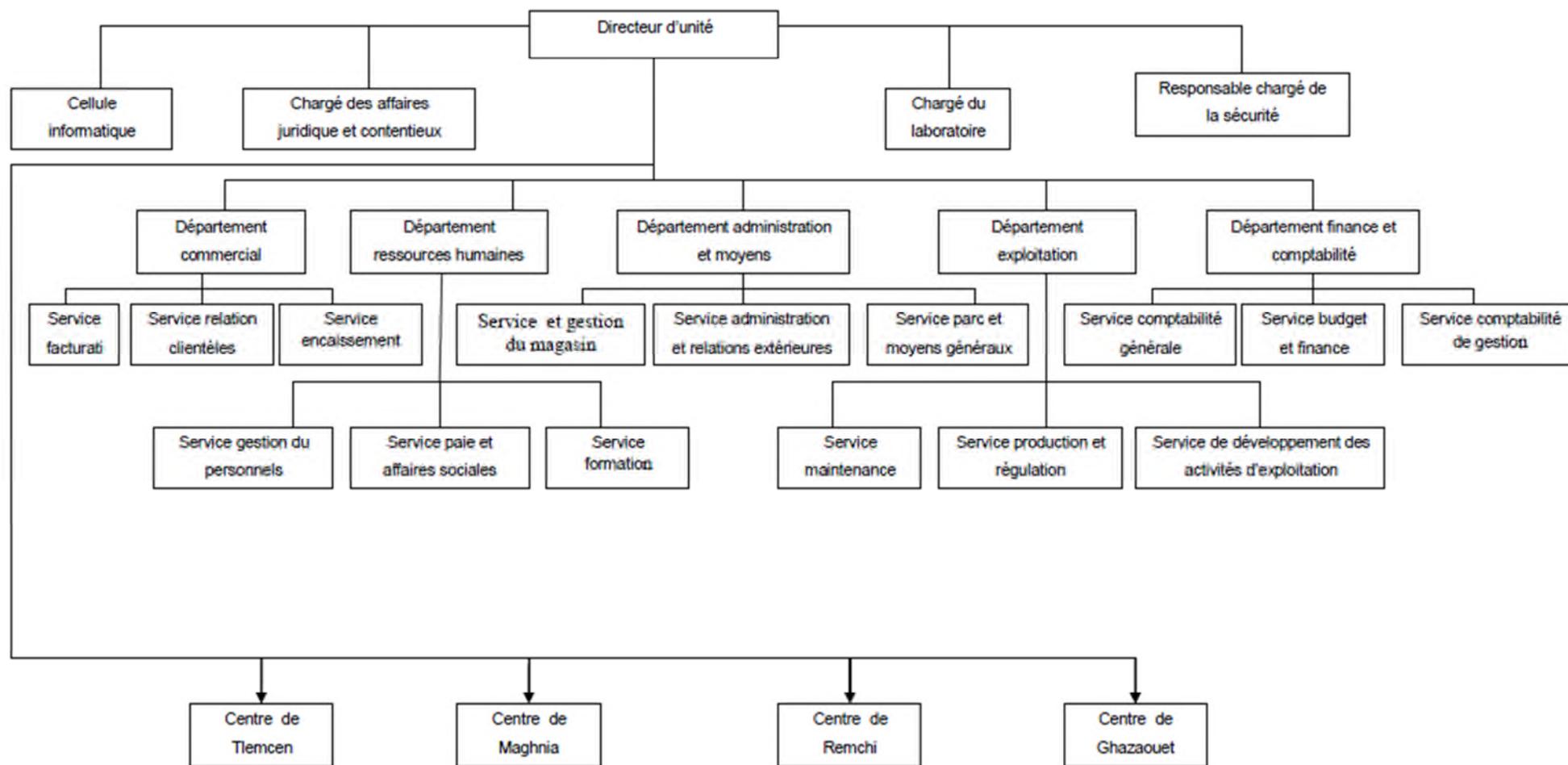


Figure VI.1 : Organigramme de l'Algérienne des eaux unité de Tlemcen (Source : ADE, 2007 in Allal et al., 2012)

1.2 Missions de l'Algérienne Des Eaux

Les missions de l'ADE dans le cadre du service public peuvent être énumérées comme suit :

- Le service public de l'eau visant à assurer la disponibilité de l'eau aux citoyens
- L'exploitation (gestion et maintenance) des systèmes et installations permettant la production, le transfert ; le stockage et la distribution de l'eau potable et industriel ;
- La normalisation et la surveillance de la qualité de l'eau distribuée ;
- La maîtrise d'ouvrages et la maîtrise d'œuvres pour son propre compte et/ou celui des collectivités locales ;
- La police des eaux ;
- L'initiation de toute action visant l'économie de l'eau (lutte contre le gaspillage).

2. DEMARCHE GENERALE DE L'ENQUETE

En alimentation en eau potable, la mesure de performance par des indicateurs portant sur les résultats qualitatifs du service apparaît comme un outil propre à améliorer la maîtrise de la gestion (Guérin Schneider, 2001, 2002). Ces indicateurs sont hiérarchisés de manière à guider le choix de la collectivité, sans toutefois lui retirer la possibilité d'adapter la liste au contexte particulier de son service. Dans ce cadre de cette thèse, ces indicateurs ont été répertoriés en indicateurs techniques et de service. Les indicateurs techniques ont été présentés dans le chapitre II. Les indicateurs de service montrent le niveau de satisfaction des usagers ou des consommateurs et la qualité du service.

Pour cela, une enquête a été menée et un questionnaire (voir annexe 6) a été établi pour les abonnés du GUT, basé sur des thèmes touchant essentiellement, la qualité du service, l'accueil, l'écoute client et les travaux d'exécution. De même, l'enquête menée sous forme de questionnaire a été adressée aux employés du service gestionnaire, dont les thèmes traités, reposent essentiellement sur l'organisation, la culture et climat de travail, la gestion des ressources humaines, les contrats des prestations de maîtrise d'œuvre, la qualité et la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. Les objectifs de l'enquête sont :

- Diagnostic du mode de fonctionnement du réseau d'AEP du groupement urbain de Tlemcen ;
- Diagnostic du mode de gestion de l'ADE du réseau d'AEP, vu par deux regards croisés, celui des usagers du GUT et des employés de l'ADE ;
- Mesure des perceptions des usagers et du personnel de l'ADE en ce qui concerne la gestion du réseau d'AEP;
- Amélioration de la situation de l'AEP au niveau du GUT.

2.1 L'enquête au niveau de l'ADE

L'enquête menée a été adressée à cinquante (50) employés du service gestionnaire (ADE) du groupement urbain de Tlemcen. Le questionnaire a été remis au personnel de l'ADE (direction et différents centres) dont le but est de récolter leur avis sur les différentes interventions et relations entreprises par l'organisme ADE dans le cadre de la gestion du réseau d'AEP. Plusieurs entretiens avec le personnel ont été indispensables. Des explications et commentaires ont été échangés. Certains employés ont coopéré facilement et accepté de répondre aux questions, d'autres ont répondu négativement.

Des explications et éclaircissements étaient nécessaires pour la bonne marche de cette enquête. Il est utile de signaler que dans le cadre de cette enquête, le taux de participation est de 60%. Le reste pour différentes contraintes et difficultés n'a pas donné de suite.

2.2 L'enquête au niveau du GUT

L'enquête effectuée a touché cent (100) abonnés de la zone d'étude du groupement urbain de Tlemcen. Pour la remise des questionnaires, les abonnés ont été contactés à domicile et au niveau des caisses de paiement des factures de consommation d'eau des trois centres (Tlemcen, Mansourah, Chetouane). Le questionnaire a été expliqué aux abonnés. Certains abonnés ont répondu aux questions posées sur place. Pour les autres, ils ont préféré les lire et les remplir à la maison.

Les thèmes abordés touchent essentiellement les services, l'accueil et l'écoute client et les travaux d'exécution. Les abonnés ont répondu positivement et ont coopéré d'une manière plus efficace. Les zones touchées par cette enquête sont présentées dans le tableau VI.2.

Tableau VI.2 Répartition des zones étudiées

Zones	Commune de Tlemcen	Nombre de ménages	Commune de Mansourah	Nombre de ménages	Commune de Chetouane	Nombre de Ménages	
Lieux d'enquête	Koudia	07	Ancien village de Mansourah	07	Ain Defla	07	
	Boudghène	07	Village de Kounda	06	Ain El Houtz	06	
	Centre ville de Tlemcen	07	Cité 1060 logements	06	Ouzidane	06	
	Sidi Said	06	Cité des Roses	07	Centre ville de Chetouane	07	
	Kiffane – Dalias	07	Ancien village Imama	07	El Hamri	07	
Total	34	Total	33	Total	33	Total général: 100	

Ces zones ont été choisies pour avoir une vue d'ensemble assez proche de la réalité représentant les différentes couches de la population du groupement urbain de Tlemcen.

3 SYNTHÈSE DES RESULTATS

3.1 Résultats de l'enquête au niveau de l'ADE

Les réponses aux questions sont synthétisées dans les tableaux VI.3, VI.4, VI.5, VI.6, VI.7, VI.8, VI.9 et VI.10. Cette synthèse est donnée par thème.

➤ **Organisation**

Le tableau VI.3 présente la synthèse des résultats du questionnaire adressé au personnel de l'ADE concernant l'organisation.

Tableau VI.3 : Synthèse des résultats concernant l'organisation au niveau de l'ADE

Questions	Oui	Non	Autres
Respect de l'organigramme de l'ADE	27%	14%	59%
Respect de l'hierarchie	70%	17%	13 %
L'existence d'un département Qualité	23%	74%	3 %
Définition formelle des missions de chaque agent	53%	47%	/

➤ **Gestion des ressources humaines**

Les résultats de l'enquête concernant la gestion des ressources humaines sont donnés dans le tableau VI.4.

Tableau VI.4 : Synthèse des résultats concernant la gestion des ressources humaines

Questions	Oui	Non	Autres
Sanction à l'encontre des agents.	77%	23%	/
Sanction des agents pour un travail mal fait.	60%	17%	23 %
Salaire attribué suivant compétence.	57%	43%	/
Clarté et transparence des critères d'amélioration du rendement.	50%	50%	/
Communication des critères de notation aux agents de l'ADE.	37%	63%	/

➤ **Culture et climat de travail**

Concernant la culture et le climat du travail, les résultats sont synthétisés dans le tableau VI.5.

Tableau VI.5 : Synthèse des résultats concernant la culture et le climat du travail

Questions	Oui	Non	Autres
Respect des horaires de travail.	90%	10%	/
Circulation de la communication entre le personnel.	60%	37%	3%
Existence de la formation pour les agents.	64%	33%	3%
Récompense pour un travail bien fait.	51%	49%	/
Existence d'un climat de travail motivant.	20%	20%	60 %
Existence d'une culture interne.	40%	60%	/

➤ **Contrats des prestations de maîtrise d'œuvre**

Le tableau VI.6 synthétise les résultats de l'enquête portant sur les contrats de prestation de maîtrise d'œuvre au niveau de l'ADE.

Tableau VI.6 : Synthèse des résultats concernant les prestations de maîtrise d'oeuvre

Questions	Oui	Non	Abstention
Le choix du cocontractant se fait suivant des critères :			
● Édicté sur cahier de charge.	40 %	/	43 %
● Attribution à des cocontractants.	17 %	/	/
Le mode de passation des contrats selon :			
● Appel d'offre.	59 %		
● Grés à grés.	11 %		
● Consultation restreinte.	30 %		
L'évaluation de la qualité des travaux se fait :			
● Suivant cahier de charge.	53 %		17 %
● Conformément aux normes techniques.	30 %	/	
● Exigence de la qualité du service gestionnaire auprès des cocontractants.	86 %		14%
L'ADE dispose t'elle des plans de recollement des réseaux existants ?	53 %	37 %	10 %
Mise à jour des plans de recollement.	50 %	37 %	13 %

➤ **Qualité de prestation de service**

Pour la qualité de prestation de service de l'organisme gestionnaire, les résultats sont synthétisés dans le tableau VI.7.

Tableau VI.7 : Synthèse des résultats concernant la prestation de service au niveau de l'ADE

Questions	Oui	Non
Existence d'une stratégie de management qualité	13 %	87 %
Moyens adéquats pour l'instauration d'un système de management qualité.	27 %	73 %
L'ADE est-elle certifiée ISO ?	3 %	97 %
Sur quel plan faut-il se focaliser le plus d'effort?		
● Plan organisationnel	57 %	/
● Plan matériel	28 %	/
● Plan financier	15 %	/

➤ **Gestion du réseau**

Les principaux résultats concernant la gestion du réseau sont synthétisés dans le tableau VI.8.

Tableau VI.8 : Synthèse des résultats concernant la gestion du réseau

Questions	Oui	
	Agents	Abonnés
Que représente la qualité pour les agents de l'ADE ?		
- Qualité de service livré.	43%	/
- Qualité des réseaux d'AEP	22%	/
- Qualité de l'eau.	35%	/
Existence d'équipe de détection des fuites au niveau de chaque secteur.	60%	/
L'ADE dispose-t-elle d'outils de détection de fuites d'eau ?	43%	/
Réparation des fuites d'eau dans les délais raisonnables.	93%	9%
Y a-t-il un programme de distribution ?	97 %	/
Respect du programme de distribution	73 %	39%

3.2 Résultats de l'enquête au niveau du GUT

- **Qualité de prestation de service**

Pour la qualité de prestation de service, le tableau VI.9 résume les principaux résultats de l'enquête. Ces résultats sont basés sur les regards croisés du personnel de l'ADE et des abonnés du GUT.

Tableau VI.9 : Synthèse des résultats concernant la qualité de prestation de service

Questions	Oui	
	Personnel ADE	Abonnés GUT
Connaissance parfaite du client.	65%	/
Prise en charge des réclamations des abonnés:	87%	21%
Accueil réservé aux clients :		
- Bon	50%	27%
- Moyen	37%	55%
- Mauvais	13%	18%

- **Gestion du réseau**

Pour la gestion du réseau d'AEP, le tableau VI.10 résume les principaux résultats de l'enquête concernant la vision croisée des agents de l'ADE et des abonnés de GUT.

Tableau VI.10 : Synthèse des résultats concernant la gestion du réseau
(vision croisée, ADE – abonnés GUT)

Questions	Oui	
	Agent	Abonnés
L'entretien des compteurs est- il pris en charge par l'ADE ?	67 %	18%
Généralisation du système de comptage	97 %	99%
La facturation au forfait est- elle bénéfique pour l'entreprise ADE ?	27 %	22%
Contrôle systématique des travaux des réseaux.	67 %	/
Qualité des travaux de réparation		
• Bonne	17%	3%
• Moyenne	73%	28%
• Mauvaise	10%	69%

4. ANALYSE DES RESULTATS DE L'ENQUETE

A la lumière des questionnaires renseignés aussi bien des abonnés que du service gestionnaire, il en ressort que l'organisme gestionnaire explicite nettement une hiérarchie structurée à la verticale inadaptable à la mission principale allouée, s'articulant essentiellement sur service rendu de qualité. Cette rigidité se répercute négativement sur les prestations de service rendues aux abonnés et entrave toute action d'amélioration. Ceci apparaît clairement lors de l'enquête menée auprès des employés du service gestionnaire d'une part et les abonnés du groupement urbain de Tlemcen d'autre part, confirmé par la lenteur des procédures habituellement employées pour remédier à toute anomalie rencontrée (réparation de fuites d'eau, cross connexion des réseaux d'AEP et d'assainissement, panne hydromécanique, etc.).

- L'opacité dans l'affectation des missions et des tâches avec l'interférence des services techniques et administratifs influencent négativement sur la qualité de service. Il est à remarquer que certains postes de travail sont «sous encadrés» (ex. un administrateur occupant un poste technique) alors qu'il existe des postes « sur encadrés»(ex. un ingénieur chargé du travail d'un agent technique).

- D'autre part, le respect par les employés des horaires de travail et de discipline ne reflètent en aucun cas leur imprégnation de la culture interne et le climat de travail mais plutôt au système répressif basé sur des sanctions (voir tableau VI.4). Pour un organisme gestionnaire, cherchant à améliorer la qualité de service envers ces abonnés, il est indispensable de développer une culture interne, appropriée, basée sur une approche participative.

- La formation et le recyclage du personnel sont, en partie, prises en charge par l'entreprise. Toute fois un nombre appréciable du personnel ne bénéficie pas de cette formation, ce qui peut induire une démotivation.
- Par ailleurs, les contrats se font conformément au code des marchés publics comme le montrent le tableau VI.6. Néanmoins le maître de l'ouvrage doit associer l'agent chargé du suivi depuis l'inscription de l'opération jusqu'à la réception des travaux, en vue d'éliminer toute opacité et faciliter la tâche qui lui a été confiée. (ex. Un technicien chargé du suivi qui n'est pas associé au projet dès sa mise en place peut agir négativement sur la réalisation).
- Etant donné, la réponse mitigée des employés du service gestionnaire, en ce qui concerne l'étude et la réalisation des réseaux d'alimentation en eau potable, celui-ci ne procède pas réellement aux études et travaux de réalisation des grands projets d'alimentation en eau potable (réseau de distribution d'eau, les grands transferts d'eau, etc.). Les projets réceptionnés par le maître de l'ouvrage (Direction des ressources en eau (DRE), Assemblée populaire communale (APC) etc.) sont directement pris en charge par l'ADE pour sa gestion et exploitation sans se soucier de la qualité de réalisation du projet et sans pour autant avoir fait le suivi au préalable.
- D'après l'enquête effectuée et l'analyse des questionnaires dûment remplis par les employés du service gestionnaire, ce dernier confirme ne pas disposer de la totalité des plans de recollement. La mise à jour de ces plans n'est pas effectuée ce qui peut entraver le bon déroulement de la gestion et retarder parfois l'intervention pour la réparation des fuites d'eau dues aux manques d'informations.
- Dès sa création, l'entreprise gestionnaire active suit des modes de gestion légués (héritage) par les différents organismes qui l'ont précédé dans ce domaine, sans pour autant se soucier des performances d'amélioration dans les prestations de service vu le monopole qu'elle détient dans la distribution au profit des abonnés non satisfaits.
- L'absence de la notion de la qualité entraîne des dépenses conséquentes pour la rénovation, la réfection et la mise en service des réseaux d'AEP lors des interventions courantes (ex. Fuite d'eau, rénovation de tronçon corrodé, installation d'équipement hydromécanique et électrique, etc.).
- Interrogés sur la qualité d'accueil réservé aux abonnés, les employés de l'entreprise gestionnaire estiment à 50% ses prestations servies contre 27% de la part des abonnés. Ce qui oblige une certaine motivation de la part de l'organisme gestionnaire dans l'amélioration de son procédé d'accueil par une formation du personnel chargé pour mener à bien cette mission.
- De ce fait, la majorité des abonnés estiment que la prise en charge des réclamations est loin d'être acquise. En outre, pour améliorer sa qualité de gestion, l'entreprise doit impérativement prendre en charge les doléances des abonnés et agir en moment opportun lorsqu'un problème surgit.
- Dans le contexte de la gestion des réseaux d'AEP, la majorité du personnel questionné accorde une importance à la qualité de service livré en dépit de la qualité du réseau qui vient en dernier lieu, bien que cette dernière constitue l'élément essentiel de la qualité de service. Ainsi, plusieurs facteurs influencent la bonne gestion des réseaux d'AEP, à savoir : La corrosion, l'âge de la conduite et la nature du sol favorisant l'apparition des fuites d'eau fréquemment et

entravant le programme de distribution d'eau.

- Vu les moyens d'intervention humains et matériels, limités, la réparation des fuites d'eau est plutôt anarchique. Dans ce contexte, 69% des abonnés confirment la mauvaise qualité de réparation des fuites d'eau à l'opposé de 73% du personnel de l'entreprise estimant le contraire.

- L'absence de compteurs au niveau des réseaux d'adduction et de distribution ne permet pas à l'entreprise d'évaluer les débits de fuites, comptabilisés forfaitairement à la charge des abonnés. En ce sens, l'entreprise avoue que le taux des fuites reste un indicateur pour la prise de décision dans la rénovation ou la réhabilitation des réseaux d'AEP.

- Le gestionnaire confirme que les abonnés se plaignent de la facturation. La facturation au forfait, encore en cours pour certains, n'intéresse ni les abonnés ni l'entreprise, car les volumes d'eau consommés ne sont pas réellement facturés et pour cause défaillance ou l'inexistence des compteurs. Pour pallier à cette défaillance, l'entreprise a lancé un programme de généralisation des compteurs au niveau des abonnés. Ainsi, l'organisme gestionnaire doit en outre procéder à l'emplacement de compteurs de zone de distribution et l'entretien périodique de ces compteurs. D'après le sondage 82% des usagers déclarent que l'entretien des compteurs d'eau ne se fait pas, ce qui n'est pas confirmé par les employés de l'entreprise. L'entretien et la mise en place des compteurs permettront l'estimation plus ou moins exacte des fuites d'eau au niveau du réseau et la détection des piquages illicites.

- Questionnés sur le respect du programme de distribution d'eau, une discordance entre les abonnés et les employés de l'entreprise est nettement remarquable (61% des abonnés estiment que le programme de distribution n'est pas respecté à l'opposé de 73% des employés de l'ADE qui confirment que le programme en question est respecté).

De ce fait, l'ADE doit réétudier les principaux facteurs qui influencent sur la perturbation du programme à savoir:

- Manque de groupe électrogène de secours en cas de panne ou coupure d'électricité ;
- Manque de pompes de secours ;
- Existence de fuites d'eau massives.

D'après les enquêtes effectuées, les employés de l'ADE estiment que 87% des réclamations des abonnés sont prises en charge par leur service. Par contre les abonnés totalisent un pourcentage de 76% de négation. Etant donné ces résultats contradictoires, il est souhaitable que l'organisme gestionnaire prenne en charge ce volet en adressant aux abonnés une réponse à leurs doléances par tout moyen de communication.

Pour mener à bien sa mission de gestion de qualité de réseau, l'entreprise doit dans ces cas informer par tous les moyens de communication et d'information (média, affichage, presse, numéro vert, etc.) ses abonnés afin que leur doléances soient prises en charge dans l'immédiat, à savoir :

- Changement dans la qualité de l'eau (couleur, odeur, goût) ;
- Pression insuffisante au niveau du robinet ;
- Programme de distribution d'eau non respecté ;
- Volume facturé ne coïncidant pas avec le volume affiché dans les compteurs ;
- Mode de paiement (facilité les conditions de paiement soit par chèque, à domicile, etc.).

Dans le but d'instaurer la notion de la qualité totale qui relève davantage d'une dynamique mondiale porteuse d'un nouveau modèle des organisations de prestation de service et en vu d'une meilleure gestion des réseaux d'AEP, quelques recommandations et suggestions sont faites. Elles nous apparaissent utiles et nécessaires pour améliorer la situation de l'AEP au niveau du GUT.

5. RECOMMANDATIONS ET SUGGESTIONS

En vue d'aboutir une qualité totale pour la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable, nous préconisons certaines recommandations utiles et nécessaires pour mener à bien la tâche réservée à l'organisme gestionnaire:

- L'actuel organigramme de fonctionnement de l'entreprise doit faire l'objet d'un aménagement en vue d'atteindre un objectif de décentralisation des prises de décisions au niveau des différents postes de responsabilité ; pour cela, les démarches participatives sont recommandées. Ceci permettra à l'entreprise d'instaurer un système de management de la qualité totale permettant de régir les forces en équilibre au sein de l'entreprise et les orienter vers la satisfaction clientèle;
- Introduire une structure qualité au niveau de l'organigramme de l'entreprise.
- Instaurer un climat de confiance et de transparence au sein de l'organisme fondés sur les relations de franchise permettant de rentabiliser les efforts du personnel. Ces efforts sont obtenus grâce à la facilité de la circulation de l'information, à l'égalité des chances dans la formation, à une politique de motivation juste et transparente, à une visibilité dans les plans de carrière et tout acte qui a pour conséquence une influence positive sur l'amélioration des relations entre le personnel du service gestionnaire;
- La mise en place d'une politique de formation est primordiale et permet à l'organisme gestionnaire d'atteindre ses objectifs de qualité. L'instauration d'un centre de formation spécialisé pour chaque catégorie de personnels est plus que nécessaire ;
- Le développement de la communication interne comme outil de management ;
- Opter pour un système d'amélioration continu se basant sur la détection des dysfonctionnements et des défaillances éventuelles rencontrées dans les réseaux d'alimentation en eau potable pour faire évoluer la qualité des prestations par l'acquisition d'un matériel adéquat et un personnel compétent ;
- l'entreprise doit prendre en charge le système d'accueil des abonnés avec des structures modernes et traiter leurs réclamations de façon rapide, continue et efficace afin d'améliorer la qualité du service ;
- Favoriser l'acquisition des technologies nouvelles utilisées dans le domaine de gestion du système d'AEP ;
- Introduction dans l'organigramme de l'entreprise d'un service spécialisé dans l'évolution de la recherche, l'innovation et le développement ;
- Instaurer une politique d'économie de l'eau par :
- Sensibilisation de la population, en particulier les femmes doivent être impliquées dans les différents tâches de contrôle : signalisation des incidents (fuites d'eau) et gaspillages, et formation à une utilisation hygiénique de l'eau (stockage dans les foyers) ;

- La détection à distance des fuites d'eau par l'utilisation des moyens modernes tels que la télégestion ;
- La réparation des fuites d'eau dans les délais raisonnables et suivant les règles de l'art ;
- Initier des programmes de réduction des pertes d'eau dont l'objectif serait d'améliorer à la fois la dotation nette chez les l'usager et les performances de qualité du service public de l'eau;
- Procéder à une maintenance préventive en dressant un programme relatif aux opérations d'entretien, d'inspection et de mise en service ;
- La modernisation des services de gestion de la qualité des réseaux d'AEP par la mise à jour du système d'informations géographiques (SIG). Ceci permettront d'apporter une aide à la décision et contribuer à l'actualisation et l'exploitation des plans des systèmes d'AEP ;
- Il faut que l'organisme gestionnaire s'implique lors de la planification et la proposition des projets qui visent l'amélioration des conditions de vie des citoyens afin d'apporter les solutions possibles aux points à risque, lors de l'approbation des études techniques et même lors du lancement et suivi des travaux de réhabilitation, de rénovation des réseaux d'AEP ;
- Revoir le mode d'établissement de la facture d'eau tout en introduisant :
 - Les tranches de consommations d'eau avec leurs prix unitaires correspondants ;
 - Les pourcentages des taxes réservées aux services (qualité, assainissement, entretien de compteur, etc.) ;
- Mode de paiement (cheque, CCP, carte bancaire) ;
- Créer une cellule d'écoute au niveau de chaque centre de l'entreprise qui s'en chargera de transmettre les problèmes, réclamations et doléances des usagers à l'unité en vue de les étudier et de leur trouver des solutions adéquates;
- Pour une meilleure maîtrise de la qualité de la gestion du système d'AEP du GUT, une sectorisation au niveau de ce système par la mise en place des pièces accessoires (réducteurs de pression, vannes de sectionnement, vannes ventouses, vannes vidanges, etc.) s'avère nécessaire ;
- L'entreprise doit exiger une uniformisation du système de fermeture des niches de comptage d'eau au niveau de toutes les habitations, pour permettre à l'agent releveur l'accès facile à toutes les informations nécessaires à la facturation ;
- On remarque que les programmes de logements n'intègrent en rien la contrainte de la rareté de l'eau en prévoyant, de façon volontaire le type d'équipements économiseur d'eau. A cet effet les promoteurs de logements doivent introduire l'installation d'équipements à faible consommation d'eau qui répondent aux critères d'efficacité et d'économie.
- Revoir le système de recouvrement des créances par la mise en place des moyens humains et matériels plus efficaces.
- Enfin, l'entreprise doit renforcer ses moyens en matière de spécialistes intervenant sur terrain pour mieux cerner les problèmes techniques rencontrés au niveau des systèmes d'AEP.

6. CONCLUSION

Pour mieux éclaircir le problème de la qualité dans les services gestionnaires de l'eau en Algérie, deux types de questionnaires ont été établis et remis aux personnels de l'entreprise et aux abonnés du GUT, dont la majorité ont collaboré et nous ont aidé à mieux interpréter et analyser la situation relative à la gestion des réseaux d'AEP.

Pour l'entreprise, unité de Tlemcen, son intervention reste sans vision, sans objectifs précis du fait qu'il n'y a pas une réelle évaluation de la qualité des services fournis. Cette intervention ne repose guère sur des vrais indicateurs de qualité et ses efforts se limitent à la recherche de la qualité de l'eau « produit » au détriment de la qualité du système gestionnaire.

A la lumière des résultats obtenus, nous avons proposé un ensemble de suggestions et de recommandations que nous avons jugés utiles pour améliorer la qualité dans la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable à savoir:

- Mettre en place une démarche qualité conséquence d'une politique qualité globale, et instaurer une culture de la qualité ;
- Introduire un département qualité au niveau de l'organigramme de l'Algérienne des eaux ;
- Définir et mettre en place une politique de motivation juste et équitable ;
- Mettre en action une politique de formation des personnels techniques et administratifs;
- Opter pour un système d'amélioration continu se basant sur la détection des dysfonctionnements et des défaillances éventuelles rencontrées dans les réseaux d'alimentation en eau potable pour faire évoluer la qualité des prestations par l'acquisition d'un matériel adéquat et un personnel compétent.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Ce travail a consisté à mettre en place un outil méthodologique, capable de gérer le réseau d'alimentation en eau potable du Groupement urbain de Tlemcen, à l'aide d'un système d'information géographique. Il offre aux exploitants du réseau un outil performant de gestion, disposant d'une base de données relationnelle, pouvant être interrogée en tout instant. Pour toute analyse de dysfonctionnement, une réponse instantanée est donnée. Aussi, il facilite la programmation de l'intervention pouvant être effectuée en tout point du réseau. Il reste un outil d'exploitation permettant au gestionnaire d'effectuer le diagnostic de son réseau, d'étudier les solutions aux problèmes rencontrés et de prévoir les situations futures.

Compte tenu des données disponibles, les performances hydrauliques (pression, vitesse, débit...) du réseau d'AEP du GUT ont été étudiées et cela en développant un couplage entre le SIG Mapinfo et le modèle de calcul Epanet.

Les résultats ont montré que le réseau du GUT doit être restructuré, des opérations de réhabilitation sont indispensables pour corriger les problèmes de pressions au niveau du réseau. Aussi, l'implantation de nouvelles capacités de stockage est d'une importance capitale, ceci permettra d'avoir une enveloppe de pression convenable surtout en heures de pointe. Des organes accessoires doivent être prévus pour limiter les pressions trop importantes, cause principales d'apparition des fuites.

Les opérations de saisie, de stockage et de mise à jour des données permettent d'emmagasiner un historique des problèmes d'exploitation (ruptures, renouvellement, modification du tracé ...) pour les prévisions d'interventions sur le réseau.

Les avantages d'un tel système ne sont plus à démontrer, mais la collecte et la saisie des données représentent un travail considérable. Les informations mémorisées sont nécessaires à la bonne gestion du réseau d'alimentation en eau potable du GUT.

Il faut signaler que le couplage SIG-modèle n'est pas si simple à réaliser et on peut mettre en évidence quelques problèmes techniques, conceptuels et sémantiques. On peut évidemment mentionner les problèmes techniques reliés aux données tels que la disponibilité, l'origine, le format, la qualité, l'échelle de mesure et d'utilisation, et la résolution temporelle et spatiale.

La méthode des indicateurs est une méthode de diagnostic rapide qui permet d'appréhender la qualité du service rendu, avec un minimum de données. Ce constat n'est efficace que si l'inventaire du patrimoine et des données d'exploitations courantes et financières de leur service sont archivés. Ces indicateurs judicieusement choisis permettront à mieux identifier les forces et faiblesses dans la conduite du service des eaux. De point de vue opérationnel, avoir des indicateurs de qualité consensuels et donnant une vision, certes simplifiée, mais synthétique et interprétable.

En élaborant, le tableau de bord, à partir des indicateurs de performance et de qualité, il devient facile de franchir un pas supplémentaire vers une gestion plus efficiente en analysant, le « pourquoi ? », le « comment ? » et « avec quoi ? ».

En disposant d'une analyse systémique, les gestionnaires permettent d'évaluer l'efficacité et la pérennité de leur service. L'étude de l'évolution de ces indicateurs sur plusieurs exercices permet d'apprécier les efforts entrepris, les écarts, ainsi que les actions

correctives à mettre en place en vue de pérenniser l'amélioration continue pour l'exploitation du service.

Ainsi, la démarche proposée pour le réseau du GUT a permis d'aller dans le détail du système et de comprendre son fonctionnement, permettant d'analyser tous les processus liés à ce dernier. Cette approche d'intégration du système d'alimentation en eau potable du groupement urbain de Tlemcen à caractère globalisant permet une vision pertinente par rapport à l'objectif du concepteur et de l'exploitant en modélisant le comportement global du système dans son environnement.

Ce travail constitue une première étape d'un processus global dont le but est de développer des techniques d'aide à la gestion des réseaux urbains en général, et les réseaux d'AEP en particulier, au moyen d'un système d'information géographique.

Plusieurs axes de recherche sont à développer pour améliorer le modèle proposé pour le GUT, à savoir :

- Développement d'un modèle de consommation propre pour le GUT
- Modélisation de la qualité de l'eau dans le réseau
- Corriger, compléter et mettre à jour le fond de plan
- Compléter et mettre à jour le système d'alimentation en eau potable du GUT
- Compléter et actualiser la banque de données par les informations jugées fiables et utiles auprès de la DRE, ANRH ... (rénovation, réhabilitation.....)
- Créer une base de données pour le service clientèle et développement d'un géocodage, pour faciliter les interventions sur le réseau

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Abdelbaki C., Chikh M., Benhamouda F., 1999, Contribution à la gestion d'un réseau d'AEP à l'aide d'un SIG, 1^{er} Séminaire International sur la Gestion des Villes, M'SILA, pp. 51 – 57.
- Abdelbaki Chérifa, 2001, Contribution à la gestion d'un réseau d'alimentation en eau potable à l'aide d'un système d'information géographique : application à la ville de Birtouta, Mémoire de magister, ENSH Blida, 100 p.
- Abdelbaki C. & Touaibia B., 2011, Modélisation d'un réseau d'alimentation en eau potable et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG – Cas du groupement urbain de Tlemcen, Algérie, 4^{ème} colloque international sur les ressources en eau et le développement durable 22 & 23 février 2011, Alger, Algérie.
- Abdelbaki C., Allal M. A., Djelloul Smir S. M., L'approche Total Quality Management (TQM) pour la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. Cas du groupement urbain de Tlemcen – Algérie, Colloque international CITEF / IUT du Limoges, Limoges, France, Octobre 2011.
- Abdelbaki C., Allal M. A. & Djelloul Smir S. M. 2012, Une démarche qualité pour la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable; cas du groupement urbain de Tlemcen (Algérie), 6^{ème} conférence internationale des ressources en eau dans le bassin méditerranéen 10 –12 Oct. 2012, Sousse, Tunisie
- Abdelbaki C., Allal M. et Djelloul Smir S. M., 2012, Le réseau d'alimentation en eau potable du groupement urbain de Tlemcen – Algérie : Rendements et performances, 6^{ème} conférence internationale ressources en eau dans le bassin méditerranéen 10–12 Octobre 2012, Sousse, Tunisie, pp.51-60
- Abdelbaki C., Benhamouda F., Chikh M., 2012, SIG: Outils de gestion des réseaux d'alimentation en eau potable , Cas du réseau de la ville de Birtouta -Alger, Algérie, Editions universitaires européennes, ISBN : 978-3-8417-8907-5.
- Abdelbaki C., Touaibia B., Allal M. A. et Kara Slimane F., 2012, Applied Systemic Approach to Water Supply Network the Case of an Urban Cluster of Tlemcen – Algeria, Procedia Engineering, 2012 .Vol. 33, pp. 30–37
- Abdelbaki C., Touaibia B., Mahmoudi H., Djelloul Smir S. M., Allal M. A. et Goosen M., 2014, Efficiency and performance of a drinking water supply network for an urban cluster at Tlemcen Algeria, Desalination and Water Treatment, 52:10-12, 2165-2173, DOI: 10.1080/19443994.2013.870497
- Abdelbaki C. et Touaibia B., 2014, Apport des systèmes d'information géographique et de la modélisation hydraulique dans la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable - Cas du groupement urbain de Tlemcen (Algérie), TSM (5) 52-60 (2014), DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/tsm/201405052>
- Ackoff R. L., 1974, The systems revolution, Long Range Planning, 7 (6) (1974) 2.
- ADE, 2008, Extrait d'un rapport contenant les requêtes commerciales et techniques du mois d'août 2008
- ADE, 2010, Rapport technique, Division d'exploitation, 42 p.

- Agence Française de Développement (AFD), Etude sur les rendements des réseaux d'eau potable des communes de l'île de la Réunion, Etat des lieux, Rapport d'étude, Juillet 2011, 121 p.
- Allain, J.-C., 2001. Approche systémique : questions d'environnement. Notes de cours, IUFM de Bourgogne, Dijon.
- Allaire Didier, 2012, Développement d'une approche systémique de la gestion patrimoniale d'un parc immobilier d'envergure nationale pour améliorer sa performance énergétique- Une application réalisée sur le parc immobilier de l'Etat utilisé par le ministère de la défense, Thèse de doctorat de l'Université Paris-Est, Spécialité : Génie Urbain, 634 p.
- Allaire Didier, 2012, Développement d'une approche systémique du parc immobilier pour l'amélioration de sa performance énergétique, Actes des 30ème rencontres universitaires du génie civil, Concours jeunes chercheurs - prix René Houpert, 6-8 juin 2012, Chambéry, Ed. AUGC, pp. 24-31. (disponible sur le site Internet : http://www.augc.asso.fr/augc_documentation.cfm?article_id=169)
- Allal M. A., Abdelbaki C. et Djelloul Smir S. M. Une approche qualité totale pour la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable - Cas du groupement urbain de Tlemcen (Algérie), Editions universitaires européennes, 2012, 168 p.
- Alonso J. M., Alvarruiz F., Guerrero D., Hernandez V., Llopis J. D., Ramos E, Martinez F., Bou V., Bartolin H., 2004, Simulation of Control Strategies in Water Distribution Systems, using Scada in Conjunction with Calibrated Models Obtained from GIS, 6th International Conference on Hydroinformatics, pp 1-8, 2004.
- Alzamora, F. M.; Ayala, H. J. B.; Roca, N. M., (2001). Connecting ArcView3.2 to EPANET2 – A full environment to manage water distribution systems using models. In Proceeding of the CCWI (2001): Water Software Systems: Theory and Applications, Ulanichi, B.; Coulbeck, B.; Rance, J. (Eds.), 2, 355-368.
- ANC, 2010, Note technique pour la topographie du GUT.
- Anceaux D., Joannis C., Bien concevoir, bien réaliser, bien réceptionner et bien exploiter sont les quatre clefs d'un réseau pérenne et fiable, Techniques Sciences Méthodes, 2000, N°6, p. 184-195
- Antoni Jean-Philippe, 2014, Modélisation et anticipations urbaines - éléments théoriques pour une approche géo-ergonomique, Rapport d'habilitation à diriger des recherches, Université de Franche-Comté, 107 p.
- Ardeshir A., Saraye M., Sabour F. & Behzadian, K., 2006, Leakage Management for Water Distribution System in GIS Environment. World Environmental and Water Resource Congress, May 21-25, 2006, Omaha, Nebraska, USA, pp. 1-10.
- Argent R.M., 2004, An overview of model integration for environmental application components, frameworks and semantics. Environmental Modeling and Software 19 (3), 219-234.
- Aronoff, S., 1989, Geographic Information System : A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa, 294 p.
- ASTEE, 2013, Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable, politiques d'investissement et gestion des immobilisations : cadre et bonnes pratiques -Une

vision à la croisée des approches techniques, comptables et financières, Guide technique, 26 p.

- Atkinson R.M., Morley M.S., Walters G.A., D. Savic, 1997, GANET: The Integration of GIS, Network Analysis and Genetic Algorithm Optimization Software for Water Network Analysis, University of Exeter, School of Engineering, Exeter, UK (<http://www.ex.ac.uk/optimalsolutions>)
- Azzaz H., Khaldi A., Meddi M., Bekkoussa B. (2012), Etude du rôle de la zone non saturée dans le fonctionnement des systèmes karstiques des monts de Tlemcen par l'utilisation des éléments de l'équilibre Calco- Carboniques, Journal de l'eau et de l'environnement, N°20, 17-28.

B

- Bach Peter M., Rauch Wolfgang, Mikkelsen Peter S., McCarthy David T., Deletic Ana, 2014, A critical review of integrated urban water modelling – Urban drainage and beyond, Environmental Modelling & Software 54 (2014) 88-107
- Baghli N., Megnounif A., Bouanani A & Terfous A., 2009, Introduction à la modélisation systémique dans la gestion des ressources en eau, Journal de l'eau et de l'environnement, N13 & 14, 42-49.
- Bahadur, R, Jonathan Pickus, David Amstutz and William Samuels. 2001 “A GIS-based Water Distribution Model for Salt Lake City, UT”. Proc. 21st Annual ESRI Users Conference, San Diego, CA, July 2001.
- Bain Pascal, 2013, Research efforts on sustainable cities: first reviews of the ANR program, Introduction publication to the 92nd ASTEE Congress, 4-7 June 2013, Nantes (France), pp.134- 136
- Barbier P., 2002, Cours Vertical Mapper V.2.6 – livret 1, Version du Cours V1.0, IGN- ENSG-CERSIG, 32 pages
- Barbier P., 2002, Module d'initiation à la programmation MAP-BASIC V.5.0.1, 2002, ENSG, 47 p.
- Barr Julian, 1998, The systems approach to research and extension in the Bangladesh floodplains, The rural extension bulletin, 44-48
- Bartolin H., Martinez F. & Monterde N., 2001, Connecting ArcView 3.2 to EPANET 2. A full environment to manage water distribution systems using models. Water software systems: theory and applications. International Conference on Computing and Control for the Water Industry (CCWI'01). Montfort University, Leicester (UK), 6-9 Sept. 2001. pp. 355-368
- Bartolín H., Martínez F. & Cortés J., 2008, Bringing up to date WDS models by querying. An EPANET-Based GIS Geodatabase, Eighth Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium (WDSA), Cincinnati, Ohio, USA, pp. 1-17.
- Beard Alan, 1989, Some Ideas on a Systemic Approach, Fire Safety Journal, 14 (1989) 193 - 197
- Bell Simon, Coudert Elisabeth, 2006, Guide d'utilisation de 'Imagine', Analyse Systémique et Prospective de Durabilité, les cahiers du plan bleu, 58 p.

- Bell M., Dean C., Blake M., 2000, Forecasting the pattern of urban growth with PUP: a web-based model interfaced with GIS and 3D animation, *Computers, Environment and Urban Systems* 24 (2000) 559-581
- Benedict Faye ,1999, A Systemic Approach to Sustainable Environmental Education, *Cambridge Journal of Education*, 29:3, 433-446, DOI: 10.1080/0305764990290311
- Benhamouda, F.; Chouieb, M.; Chikh M.; Lattoui, A., 1999, Inventory and the flora cartography methodology using the combination of remote sensing and geographical information system. Case of the Ain Rich region (Algeria), *Geoscience and remote sensing symposium, 1999. Igarss '99 proceedings. IEEE 1999 International* (5) 2566 – 2568, IEEE conference publications
- Bensaoula F. (1992). Carte hydrogéologique d'Ouled-Mimoun et notice explicative au 1/50000, thèse de Magister, Université d'Es-Sénia, Oran.
- Bensaoula F., Bensalah M., Adjim M., 2005. Les forages récents dans les aquifères karstiques des monts de Tlemcen, *Larhyss Journal*, N°4, 7-15.
- Bensaoula F., Adjim M., Bensalah M., 2007, L'importance des eaux karstiques dans l'approvisionnement en eau de la population de Tlemcen, *Larhyss journal*, N° 6, 57-64.
- Bensaoula F., Derni I. et Adjim M., 2012, Trente années de prospection et de mobilisation des ressources en eau souterraine, par forages, dans la wilaya de Tlemcen, *Larhyss Journal*, 2012 , N°10, p.91- 99
- Benson Andrew S., Dietrich Andrea M. & Gallagher Daniel L. (2012) Evaluation of Iron Release Models for Water Distribution Systems, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42:1, 44-97
- Berland J. M., Faby J. A., Juery C., La gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable: enjeux et recommandations, 2005, Etude réalisée par l'Office International de l'Eau, 42 p.
- Bertalanffy, Von L. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*, Revised ed. New York : George Braziller, 1969. 295 p. (12th paperback printing, 1998).
- Bériot Dominique, 2006, *Manager par l'approche systémique*, Groupe Eyrolles, 2006, ISBN: 2-7081-3626-7
- Bessedik Madani, 2007, *Vers une gestion durable de l'eau dans les villes algériennes*", MAP (Mediterranean Action Plan) Technical Reports Series N° 168, décembre 2007, pp. 1051-1060
- Bessedik M., *Pratiques de l'eau en situation de pénurie dans la ville de Tlemcen*, Editions Universitaires Européennes, 2011.
- Biagioni Bernard, 2004, Reportage, *Géomatique Expert* - N° 39 - décembre 2004, p.30-34
- Bichai Françoise, Patrick W.M.H. Smeets , 2013, Using QMRA-based regulation as a water quality management tool in the water security challenge: Experience from the Netherlands and Australia, , *water research* 47 (2013) 7315 -7326

- Blindu, I., 2004. Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des mines de Saint-Etienne, France, 304 p.
- Bond Peter and Otterson Paul, 1998, Creativity enhancement software: a systemic Approach, Int. J. Technology Management, Vol. 15, Nos 1/2, 1998, 173-191
- Bonin J., Hydraulique Urbaine Appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance, Edition Eyrolles, 1986, 228 p.
- Bontempi Franco, Gkoumas Konstantinos & Arangio Stefania, 2008, Systemic approach for the maintenance of complex structural systems, Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, 4:2, 77-94, DOI: 10.1080/15732470601155235
- Boule G., L'exploitant de réseaux d'eau ou d'assainissement face à la cartographie informatisée, Techniques Sciences Méthodes, 1991, N° 11, p.539-542.
- Boutaud Aurélien, 2005, le développement durable : penser le changement ou changer le pansement ? Thèse de doctorat en science et génie de l'environnement, Ecole nationale supérieure des mines de Sait Etienne & l'université Jean Monnet, 320 p.
- Bremond Bernard, La quantification des fuites dans les réseaux d'eau potable, *L'eau, L'industrie, Les nuisances*, n°66, (1991).
- Bret P., Strozyna J., 1994, Un système d'information géographique d'une ville moyenne Thionville, Géomètre N°10, pp. 27 – 29.
- Brown A.L., Affum J.K., 2002, A GIS-based environmental modelling system for transportation planners, Computers, Environment and Urban Systems 26 (2002) 577–590.
- Brown, C. P., & Mumme, S. (2000). Applied and theoretical aspects of binational watershed councils (consejos de cuencas) in the U.S.–Mexico borderlands. *Natural Resources Journal*, 40(4), 895–929.
- Burrough, P.A., 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Clarendon Press, Oxford, 193 p.
- R. Burrows, G.S. Crowder, J. Zhang, 2000, Utilisation of network modelling in the operational management of water distribution systems, Urban Water 2 (2000) 83-95
- Burrows, R.; Crowder, G. S.; Zhang, J., (2001). Application modeling for operational management of water distribution systems. In: Proc. of Water Industry Systems: Modeling and Optimization Applications, D. Savic (Ed.), 229-241.

C

- Carravetta, A., Del Giudice, G., Fecarotta, O., & Ramos, H. M., PAT Design Strategy for Energy Recovery in Water Distribution Networks by Electrical Regulation. *Energies*, 6(1), (2013), 411-424.
- Carravetta, A., Del Giudice, G., Fecarotta, O., & Ramos, H. M.. Energy Production in Water Distribution Networks: A PAT Design Strategy. *Water Resources Management*, (2012) 1-13.

- CERTU, 2007, Une introduction à l'approche systémique, Appréhender la complexité, Rapport d'étude, 86 p.
- Charnay Bérengère, 2010, Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne. Le cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie), Thèse de doctorat en géographie, l'Université de Savoie, 504 p.
- Chang Ni-Bin, Natthaphon P. Pongsanone, Andrew Ernest, 2013, A rule-based decision support system for sensor deployment in small drinking water networks, *Journal of Cleaner Production* 60 (2013) 152-162
- Cheng-I Ho, Min-Der Lin, Shang-Lien Lo, 2010, Use of a GIS-based hybrid artificial neural network to prioritize the order of pipe replacement in a water distribution network, *Environ Monit Assess* (2010) 166:177–189, DOI 10.1007/s10661-009-0994-6
- Cherqui F. Baati S., Chocat B., Le Gauffre P., Granger D., Loubière B., Nafi A., Patouillard C., Tourne A., Toussaint J.-Y, Vareilles S., Werey C., 2011, Outil Méthodologique d'aide à la Gestion intégrée d'un système d'Assainissement – Approche systémique du système de gestion des eaux urbaines, Rapport de Projet de recherche financé par l'ANR, Programme de Recherche Villes Durables – 2009, 32p.
- Chikh M., Benmohamed L., Trache M., 1997, Modélisation des données d'un réseau d'assainissement dans une base de données de type SIG, 2^{ème} colloque maghrébin sur l'hydraulique, Zéralda, pp. 56 – 63.
- Choi Taeho & Koo Jayong, 2014, A water supply risk assessment model for water distribution network, *Desalination and Water Treatment*, DOI: 10.1080/19443994.2014.892440
- Chorfa B., Benmohamed L., 2004, Contribution To The Setting Up Of A Geographical Information System For The Local Management- Technical Aspect Of The Systemic Approach, www.Cartesia.Org/Geodoc/Isprs2004/Yf/Papers/939.Pdf
- Chou-Ping Yang , Pen-Chi Chiang , E-E Chang , Tsair-Fuh Lin & Chih-Ming Kao (2013): Using a systematic approach to develop water quality management strategies in the Nankan River, Taiwan, *Desalination and Water Treatment*, DOI:10.1080/19443994.2013.792526
- Choux B., 1990, Modélisation des réseaux d'eau potable, compatibilité avec la cartographie informatisée, *L'eau – L'industrie – Les nuisances* N°141, pp. 48 – 50.
- Christin Fabien, 2008, Etude de la modélisation hydrodynamique de surface et hydraulique souterraine et de leur couplage dans un but d'aider à la gestion des hydrosystèmes aménagés, Thèse de Doctorat en Sciences de l'eau, l'institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech), 408 p.
- Claude Joly R., 1996, Du papier à l'informatique, *Géomètre* 10, pp. 40 – 43.
- Clivillé Vincent, 2012, Approche systémique et méthode multicritères pour la définition d'un système d'indicateurs de performance, Thèse de doctorat en Génie Industriel, Université de Savoie, 219 p.
- Coelho, A. Andrade-Campos, 2014, Efficiency achievement in water supply systems—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (2014)59–84

- Collet C., 1992, Systèmes d'information géographique en mode image, Presses polytechniques et universitaires romandes 1992.
- Collins Kevin, Blackmore Chris, Morris Dick, Watson Drennan , 2007, A systemic approach to managing multiple perspectives and stakeholding in water catchments: some findings from three UK case studies, *environmental science & policy* 10 (2007) 564 – 574
- Commissariat général au développement durable (CGDD), 2012, Modélisation urbaine : de la représentation au projet, Synthèse de travaux, 328 p.
- Corbet Sébastien, 2009, Télégestion, Vers des réseaux intelligents, N° 321 - l'Eau, l'Industrie, les Nuisances, p.69-76
- Crausaz Pierre-André, 2000, Du rôle intégrateur des systèmes d'information à référence spatiale dans la gestion institutionnelle des eaux: analyse, méthode, limites et perspectives, Application à l'administration cantonale vaudoise, Thèse de Doctorat en Génie Rural, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 230 p.

D

- Daene C. Mckinney et Ximing CAI.,2002, Linking GIS and water resources management models: an object-oriented method, *Environmental Modelling & Software*, 2002, Vol.17, 413–425
- Daoyi C., Shahriar S., Ce´Sar C. M. et Andrea L., 2010, Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries, *Journal of Hydro-environment Research*, 2010, vol. 4, 253-264
- Dassens Audrey, Launay Richard, 2008, Etude systémique de l'analyse de risques - Présentation d'une approche globale, *Techniques de l'Ingénieur*, Référence AG1585
- Deruel Antoine, 2010, Gestion et rendements : les réseaux d'eau potable font leur mue, l'eau, les nuisances, l'industrie, 330, 37-51.
- De Rosnay Joël, 1975, Le microscope: vers une vision globale, Edition du seuil, Paris, 295 p.
- De Sède M. H. et Moine A., 2001, Systémique et bases de données territoriales, *Revue Internationale de Géomatique*, 11 (3-4) : 333-358.
- Desthieux Gilles, 2005, Approche systémique et participative du diagnostic urbain : Processus de représentation cognitive du système urbain en vue de l'élaboration d'indicateurs géographiques, Thèse de doctorat de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse
- Diamantini Corrado, Zanon Bruno, 2000, Planning The Urban Sustainable Development The Case Of The Plan For The Province Of Trento, Italy, *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 20, Issue 3, June 2000, 299–310
- Diao Kegong, Wang Zhengji, Burger Gregor, Chen Chien-Hsun, Rauch Wolfgang, Zhou Yuwen, 2014, Speedup of water distribution simulation by domain decomposition, *Environmental Modelling & Software* 52 (2014) 253-263

- Dimitri S., Bakary D., 2007, L'utilisation des systèmes d'information géographiques dans les Instituts/Bureaux nationaux de statistique africains, *African Statistical Journal* Vol 5, pp.161-181
- Donnadiou Gérard & Karsky Michel, *La systémique: penser et agir dans la complexité*, Liaisons, 2002
- Donnadiou Gérard, Durand Daniel, Neel Danièle, Nunez Emmanuel, Saint-Paul Lionel, 2003, *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? Synthèse des travaux du Groupe AFSCET*, " Diffusion de la pensée systémique", septembre 2003, 11 p.
- DRE, 2010, Rapport technique, 19 p.
- DRE, 2011, Rapport technique, 23 p.
- Dupont A., *Hydraulique urbaine*, Tome 2, Edition Eyrolles, 1979, 484 p.
- Durand, D. *La systémique*, 7e éd. Que sais-je?, n° 891. Paris : Presses Universitaires de France (PUF), 1996. 126 p. (1^{ère} éd. : 1979).
- Durand Daniel, 2002, *La systémique*, Que Sais-Je, PUF, Paris, 9ème édition.
- Durand Daniel, 2010, *La systémique*, 11ème édition, PUF, 102p.
- Donnay Jean-Paul & Dimos N. Pantazis, 1996, *L'ambiguïté des Systèmes d'information Géographique en Géographie Appliquée*, Partie de l'ouvrage : *Recherches de géographie humaine*, Liège, 345-351

E

- Eisenbies P., Werey C., Laplaud C., *L'enregistrement des défaillances pour améliorer la connaissance des réseaux d'eau potable*, *Techniques Sciences Méthodes*, 2002, N° 6 - p 42-54
- Engle, V. D., Kurtz, J. C., Smith, L. M., Chancy, C., & Bourgeois, P. (2007). A classification of U.S. estuaries based on physical and hydrologic attributes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129, 397–412. doi:10.1007/s10661-006-9372-9.
- ENGREF et OIEau, 2001, *Mesure de performance et régulation des services d'eau et d'assainissement – information, contrôle ou indication ? Fondements et pratiques françaises et internationales*, Actes édités
- Everard Mark, McInnes Robert, 2013, *Systemic solutions for multi-benefit water and environmental management*, *Science of the Total Environment* 461–462 (2013) 170–179

F

- Fattoruso G., De Chiara D., De Vito S., La Ferrara V., Di Francia G., Leopardi A., Cocozza E., Viscusi M., and Fontana M., 2014, *Simulation of Chlorine Decay in Drinking Water Distribution Systems: Case Study of Santa Sofi a Network (Southern Italy)*, *Sensors and Microsystems*, 467-470 (2014). http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-00684-0_90.

- Fedra K. et Jamieson D. G., 1996. The 'WaterWare' decision-support system for river-basin planning. 2. Planning capability. *Journal of Hydrology*, Vol 177, 3-4. pp 177-198.
- Feizizadeh Bakhtiar, Jankowski Piotr, Blaschke Thomas, 2014, A GIS based spatially-explicit sensitivity and uncertainty analysis approach for multi-criteria decision analysis, *Computers & Geosciences* 64 (2014) 81–95
- Flint R. Warren, 2004, The sustainable development of water resources, *Water Resources Update*, Issue 127, 41-51
- Franchini Marco & Alvisi Stefano (2010) Model for hydraulic networks with evenly distributed demands along pipes, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 27:2, 133-153
- Friend, A.M. and Rapport, D.J., 1991. Evolution of macro-information systems for sustainable development. *Ecological Economics*, 3: 59-76.
- Furnass W.R., Mounce S.R., Boxall J.B., 2013, Linking distribution system water quality issues to possible causes via hydraulic Pathways, *Environmental Modelling & Software* 40 (2013) 78-87

G

- Gandin F. & Doutre O., 2007, Le SIG du SEDIF : un outil performant au service de la gestion de l'eau potable, *L'eau, les nuisances, l'industrie*, 303, 53-56
- Gastli Adel, Charabi Yassine, Zekri Slim, 2010, GIS-based assessment of combined CSP electric power and seawater desalination plant for Duqum—Oman, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010) 821–827
- Gaziulusoy , C. A. Boyle & R. McDowall (2008) A conceptual systemic framework proposal for sustainable technology development: incorporating future studies within a co-evolutionary approach, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 25:4, 301-311, DOI: 10.1080/10286600802002999
- Ge Yong, Xing Xitao, Chenga Qiuming, 2010, Simulation and analysis of infrastructure interdependencies using a Petri net simulator in a geographical information system, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12 (2010) 419–430
- Genelot Dominique, Manager dans la complexité. Réflexions à l'usage des dirigeants, 2011, Insep Consulting, 4^{ème} édition, 357p.
- Générale des eaux, 2003, EPANET 2.0, Simulation Hydraulique et Qualité pour les Réseaux d'Eau sous Pression, Manuel de l'Utilisateur, 222 p.
- Godart, H., Adduction et distribution d'eau, *Techniques de L'ingénieur*, (2000) , réf : C5195
- Godden Lee , Ison Raymond L.& Wallis Philip J., 2011, Water Governance in a Climate Change World: Appraising Systemic and Adaptive Effectiveness , *Water Resources Management* (2011) 25:3971–3976, DOI 10.1007/s11269-011-9902-2

- Golay, F., 1992, Modélisation des systèmes d'information à référence spatiale et de leurs domaines d'utilisation spécialisés; aspects méthodologiques, organisationnels et technologiques, thèse de doctorat de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Gomella C., 1985, Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines et rurales Tome I : La distribution, Edition Eyrolles, Paris, 1985, 227 p
- Goodchild, M. F., 1993. Data models and data quality: problems and prospects. *Environmental modeling with GIS*. pp 94-103.
- Goodchild M. F., 1993. The state of GIS for environmental problem-solving. *Environmental modeling with GIS*. pp 8-15.
- Granger Damien, 2009, Méthodologie d'aide à la gestion durable des eaux urbaines, Thèse de doctorat en génie civil urbain, Institut National des sciences appliquées de Lyon, 210 p.
- GTZ, 2002, Rapport relatif à l'étude de faisabilité de mise en place d'un SIG pour le réseau d'AEP du GUT.
- Guérin-Schneider L., L'intérêt des indicateurs de performances dans la gestion des services d'eau et d'assainissement, Colloque SHF, Paris, 2002.
- Guérin-Schneider Lætitia, 2001, Introduire la mesure de performance dans la régulation des services d'eau et d'assainissement en France, Instrumentation et organisation, thèse de doctorat en Gestion & Science de l'eau, Ecole Nationale du Génie Rural, Des Eaux et des Forêts, 575 p.
- Gres Stéphane, 2002, Approche pour la conception de systèmes Complexes, techniques de l'ingénieur, Référence : AG 1 560
- Guidolin M., P. Burovskiy, Z. Kapelan et D.A. Savić., 2010, CWSNet: An object-oriented toolkit for water distribution system simulations, *Water Distribution System Analysis*, WDSA2010, Tucson, AZ, USA, Sept. 12-15, 2010, 1694 p.
- Gumbo Bekithemba, Juizo Dinis, Pieter van der Zaag, 2003, Information is a prerequisite for water demand management: experiences from four cities in Southern Africa, *Physics and Chemistry of the Earth* 28 (2003) 827–837
- Guyard Christian, Eau potable : réduire les coûts à tous les niveaux, L'eau, L'industrie, Les Nuisances, N° 346, (2011), p.83-96

H

- Haifeng JIA, Wei WEI, Kunlun XIN, 2008, Hydraulic model for multi-sources reclaimed water pipe network based on EPANET and its applications in Beijing, China, *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2008, 2(1): 57–62
- Holguin-Gonzalez Javier E., Boets Pieter, Alvarado Andres, Cisneros Felipe, Carrasco Maria C., Wyseure Guido, Nopens Ingmar, Goethals Peter L.M., 2013, Integrating hydraulic, physicochemical and ecological models to assess the effectiveness of water quality management strategies for the River Cuenca in Ecuador, *Ecological Modelling* 254 (2013) 1– 14

- Humbert, L. *et al.* "La systémique dans les sciences de la Terre." In : Lesourne, J. (ed.). *La notion de système dans les sciences contemporaines*. Colloque CNRS "Analyse de Système", Lyon, 1980. Aix en Provence : Librairie de l'Université, 1980. p 273-351.
- Hwang, H. H. M., Lin, H., & Shinozuka, M. (1998). Seismic performance assessment of water distribution systems. *Journal of Infrastructure Systems*, 4(3), 118–125. doi:10.1061/(ASCE)1076-0342(1998)4:3(118).

I

- IAAT, 2003, Cahier méthodologique sur la mise en œuvre d'un SIG, 34 p.

J

- Jaime Santos-Reyes, Alan N. Beard, 2008, A systemic approach to managing safety, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 21 (2008) 15–28
- Janke Robert, Tryby Michael E. Clark & Robert M., 2013, Chapter 2: Protecting Water Supply Critical Infrastructure: An Overview, www.springer.com, 57 p.
- Jeon, S. S., & O'Rourke, T. D. (2005). Northridge earthquake effects on pipelines and residential buildings. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(1), 294–318. doi:10.1785/0120040020.
- Jia Haifeng, Wei Wei, Xin Kunlun, 2008, Hydraulic model for multi-sources reclaimed water pipe network based on EPANET and its applications in Beijing, China, *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2008, 2(1): 57–62
- Jiping Jianga, Peng Wang, Wu-seng Lung, Liang Guo, Mei Li, 2012, A GIS-based generic real-time risk assessment framework and decision tools for chemical spills in the river basin, *Journal of Hazardous Materials* 227– 228 (2012) 280– 291
- Joerin Florent, Rondier Pierre, Lebreton Marcel, Desthieux Gilles, 2006, Des indicateurs aux systèmes d'indicateurs Proposition méthodologique basée sur l'approche systémique, Atelier« Les indicateurs socio-territoriaux », février 2006, université de Laval, Canada
- Joliveau T., 1996 - Gérer l'environnement avec les SIG. Mais qu'est-ce qu'un S.I.G.?, *Revue de Géographie*. Lyon, 71/2: 101-110.
- Jonathan Li, Sisi Zlatanova, Andrea Fabbri, 2007, *Geomatics Solutions for Disaster Management*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 451 p.
- Journal officiel n°24 du 22.04.2001
- Jun H., Loganathan G. V., Kim J. H., Park S., 2008, Identifying Pipes and Valves of High Importance for Efficient Operation and Maintenance of Water Distribution Systems, *Water Resources Management* (2008) 22:719–736

K

- Kalivas D.P., Kollias V.J. & Karantounias G., 2003, A GIS for the assessment of the spatio-temporal changes of the Kotychi lagoon, western Peloponnese, Greece. *Water Resources Management* 17(1):19–36
- Kanakoudis Vasilis, Tsitsifli Stavroula, Samaras Petros, Anastasios I. Zouboulis, 2014, Water Pipe Networks Performance Assessment: Benchmarking Eight Cases Across the EU Mediterranean Basin, Water Quality, Exposure and Health, Mars 2014, DOI 10.1007/s12403-014-0113-y
- Karadirek E., Kara S., Yilmaz G., Muhammetoglu A., Muhammetoglu H., 2012, Implementation of Hydraulic Modelling for Water-Loss Reduction Through Pressure Management, *Water Resources Management* (2012) 26:2555–2568
- Kegong Diao, Zhengji Wang, Gregor Burger, Chien-Hsun Chen, Wolfgang Rauch, Yuwen Zhou, 2014, Speedup of water distribution simulation by domain decomposition, *Environmental Modelling & Software* 52 (2014) 253-263
- Kellouche A., 2009, Pilotage de MapInfo par Delphi, (www.developpez.com)
- Kenneth R. Friedman and James P. Heaney, Water Loss Management: Conservation Option in Florida’s urban water systems, *Florida Water Resources Journal*, (2009), p.24-32
- Kerouanton Jean-Louis, « Pour l’utilisation des SIG (systèmes d’information géographique) en histoire des techniques : entre documentation et analyse spatiale », Documents pour l’histoire des techniques [En ligne], 18 | 2^e semestre 2009, mis en ligne le 29 décembre 2010, consulté le 29 mars 2014. URL : <http://dht.revues.org/299>
- Kleiner , Y.; Adams, B. J.; Rogers, J. S., (2001). Water distribution network renewal planning. *J. Computat. Civil. Eng., ASCE.*, 15 (1), 15-26
- Kositsakulchai Ekasit, 2001, Modélisation de la dynamique de l’hydrosystème du bassin du Mae Klong (Thaïlande) Une esquisse de système interactif d’aide à la décision pour la gestion de l’eau, Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 432 p.
- Kulkarni A.T., Mohanty J., Eldho T.I., Rao E.P., Mohan B.K., 2014 A web GIS based integrated flood assessment modeling tool for coastal urban watersheds, *Computers & Geosciences* 64 (2014) 7–14
- Kurek Wojciech, Ostfeld Avi, 2013, Multi-objective optimization of water quality, pumps operation, and storage sizing of water distribution systems, *Journal of Environmental Management* 115 (2013) 189-197

L

- Lambert A.O., Brown T.G., Takizawa M. D. W. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Aqua*, 48, (1999) pp 227-237.
- Larfi B., 1997, Méthodologie de réalisation d’une carte de la stabilité des versants par l’utilisation d’un S.I.G, 2^{ème} Colloque Maghrébin sur l’Hydraulique, Zéralda, pp. 345 – 350.

- Larvet, P. Analyse des systèmes : de l'approche fonctionnelle à l'approche objet. Paris: Inter Editions, 1994. 320 p.
- Laurini R., 1993, Les bases de données en Géomatique, Edition Hermes, 339 p.
- Le Moigne, J.-L., 1973, Les systèmes d'information dans les organisations, Presses Universitaires de France, Paris, 237 p.
- Le Moigne J.-L., 1977, Théorie du Système Général, Théorie de la Modélisation, Presses Universitaires de France, Paris.
- Le Moigne J.-L., 1990, La modélisation des systèmes complexes, Dunod, Paris.
- Le Moigne, J. L., 1990, Systémique de la complexité. Revue internationale de systémique, 2(90), 2-21.
- Le Moigne Jean-Louis, 1990, La mémoire du réseau : tout s'écoule... et pourtant. In: Flux n°2, 1990. pp. 25-32.
- Le Moigne Jean-Louis, 2006, La théorie du système général- Théorie de la modélisation, Publication de l'édition 1994. Nouvelle présentation, 2006, Collection Les classiques du réseau intelligence de la complexité, 360 p.
- Leonardo, D. O., Craig, J., & Goodno, B. (2006). Seismic response of critical interdependent networks, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36(2), 285–306.
- Liemberger Roland, Do You Know How Misleading the Use of Wrong Performance Indicators can be? IWA Managing Leakage Conference, Cyprus, November 2002
- Li Jonathan, Zlatanova Sisi, Fabbri Andrea, 2007, Geomatics Solutions for Disaster Management, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 451 p.
- Li Weifeng, Ling Wencui, Liu Suoxiang, Zhao Jing, Liu Ruiping, Chen Qiuwen, Qiang Zhimin, Qu Jiuhui, 2011, Development of systems for detection, early warning, and control of pipeline leakage in drinking water distribution: A case study, *Journal of Environmental Sciences* 2011, 23 (11) 1816–1822
- Liu Songsong, Konstantopoulou Flora, Gikas Petros, Papageorgiou Lazaros G., 2011, A mixed integer optimisation approach for integrated water resources management, *Computers and Chemical Engineering* 35 (2011) 858–875
- Loriaux M., 1994, Des causes aux systèmes : la causalité en question. In : Franck R. (ed.), Faut-il chercher aux causes une raison? L'explication causale dans les sciences humaines, Publication de l'Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques, Lyon, p. 41-86.
- Lynn E. Johnson, 2013, Chapter 7: GIS and Remote Sensing Applications in Modern Water Resources Engineering, www.springer.com, 38 p.

M

- Mahmoud R. Halfawy (2010) Municipal information models and federated software architecture for implementing integrated infrastructure management environments, *Automation in Construction* 19 (2010) 433–446
- MapBasic, development environment, reference, MapInfo corporation, troy, New York, 2001, 661 p

- MapInfo, MapBasic v. 8.0, 2005, Reference Guide, 631 p
- Marco Franchini & Stefano Alvisi (2010) Model for hydraulic networks with evenly distributed demands along pipes, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 27:2, 133-153
- Marest P., Guillard M., Mallet A., et Gouriten Y., 2013, Nantes Métropole's "climate plan": an example of breaking down barriers between services, Urban planning and urban services: the essential alliance, Introduction publication to the 92nd ASTEE Congress, 4-7 June 2013, Nantes (France), pp.83- 90
- Mario A. Gomarasca, 2010, Basics of geomatics, Book Presentation, *Applied Geomatics*, 2010, vol. 2, p. 137–146.
- Martinez F., Hernandez V., Miguel Alonso J., Rao Z. & Alvisi S., 2007, Optimizing the operation of the Valencia water distribution network, IWA Publishing *Journal of Hydroinformatics*, 09.1, 2007
- Martorana, F.; Bellocchi, G., 1999: A review of methodologies to evaluate agroecosystem simulation models. *Italian Journal of Agronomy* 3(1): 19-39
- Marunga Antony, Hoko Zvikomborero, Kaseke Evans, 2006, Pressure management as a leakage reduction and water demand management tool: The case of the City of Mutare, Zimbabwe, *Physics and Chemistry of the Earth* 31 (2006) 763–770
- P. K. McPherson, A perspective on systems science and systems philosophy, *Futures*, 6 (3) (1974) 219 - 239.
- Méléze J., 1972, L'analyse modulaire des systèmes de gestion, A.M.S., Editions hommes et techniques, Puteaux, France.
- Miralles André, 2006, Ingénierie des modèles pour les applications environnementales, Thèse de doctorat en informatique, Université de Montpellier II, 344 p.
- Mojeron J., Merise par l'exemple, Les éditions d'organisation, 1991, 247 p.
- Molle F., Ruf T. Éléments pour une approche systémique du fonctionnement des périmètres irrigués. In Symposium International "Recherches-système en Agriculture et Développement Rural", Montpellier, France, 21-25 novembre 1994, pp. 114-118.
- Morris Dick, Oreszcyn Sue, Blackmore Christine, Ison Raymond & Martin Stephen (2006) A Systemic Approach to Scoping of Factors Influencing More Sustainable Land Use in Herefordshire, *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*, 11:6, 683-699, DOI: 10.1080/13549830600853759
- Mousty P., Chartier B., Barrere S., Montaner J., Delacour J. D., Pauline D., 1990, Système d'information géographique et télégestion d'un réseau d'assainissement, *TSM N°9*, pp. 431 – 438.

N

- Nikolaidis, C., Mandalos, P., & Vantarakis, A. (2008). Impact of intensive agricultural practices on drinking water quality in the EVROS Region (NE GREECE) by GIS analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 143, 43–50. doi:10.1007/s10661-007-9955-0.

- Nilufar Islam, Rehan Sadiq, Manuel J. Rodriguez, 2013, Optimizing booster chlorination in water distribution networks: a water quality index approach, *Environmental Monitoring and Assessment* (2013) 185:8035–8050
- Nyerges, T., 1992. Coupling GIS and spatial analytical models. In: *Proceedings of 5th International Symposium on Spatial Data Handling. Humanities and Social Sciences Computing Laboratory, University of South Carolina, Columbia, SC*, pp. 534-543.

O

- Office National de météorologie, 2011, Extrait de synthèse des données météorologiques.
- Office National des statistiques, 2008, Données de recensement de la population.
- Oleau, Connaissance et maîtrise des pertes dans les réseaux d'eau potable, Guide élaboré par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, Aout 2005, 99 p.
- Otero E. & Feanadez J., 1996, Network management information system : the main support for customer service, *Blackwell Science LTD, Water supply*, Vol. 14, NOS ¾, Durban, pp. 359 – 370.

P

- Padilla Sifontes V. & Davila Quintero J., Multi-agent geosimulation for a water distribution System, *Computing Conference (CLEI), 2013, XXXIX Latin American* , Naiguata: 7-11 Oct. 2013, pp. 1 - 12 , Print ISBN: 978-1-4799-2957.
- Panagopoulos George P., Bathrellos George D., Skilodimou Hariklia D. & Martsouka Faini A., 2012, Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS, *Water Resources Management*, 2012, 26:1347–1363
- Park Suwan, Jeon Dae-Hoon & Jung So-Yeon, 2013, Developing efficient management strategies for a water supply system using system dynamics modelling, *Civil Engineering and Environmental Systems*, DOI: 10.1080/10286608.2013.820281
- Patel H.R, 1996, Determination of hydraulic parameters for water resources project using GIS technology, *IE(I) Journal _ CV*, Vol. 77, pp. 133 - 134.
- Patry N., Bailly C., Vulliet S., 1992, VENUS: Un outil d'aide à la gestion de crise sur un réseau de distribution d'eau potable, *SIG – GIS, Actes des conférences et expositions Européennes sur la cartographie assistée par ordinateur et les systèmes d'information géographique*, pp. 73 – 77.
- Pez G., Jarrige P. A., Tocqueville L., Cazottes N., Tridon O., Jussac P., Un modèle hydraulique du réseau d'eau potable en temps réel, l'eau – l'industrie, les nuisances, 196, pp. 49 – 53.
- Phillips D. C., 1969, Systems theory -- a discredited philosophy, *Abacus*, 5 (September) (1969) 3 - 15.
- Pirot Françoise & Varet-Vitu Anne, Systèmes d'information géographique, archéologie et histoire, *Histoire et Mesure*, vol. XIX, no 3/4, 2004, pp. 219-222.
- Pornon H., 1992, Les SIG mise en œuvre et applications, Edition Hermes, 160 p.

- Pornon H., 1996, La notion de précision dans les SIG : Données précises ou données de qualité, le géomètre 6, pp. 30 – 33.
- Pouliot, J. 1999. Définition d'un cadre géosémantique pour le couplage des modèles prévisionnels de comportement et des SIG - Application pour les écosystèmes forestiers" Thèse de Doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 171 p.
- Poulton, M. D.; Conroy, P. J., (2001). GIS-based analysis for selecting water distribution mains for rehabilitation. In Proceeding. of the 1st. World Water Cong., Track 3, Paper Eight, Berlin.
- Poussin Jean-Christophe, 1987, Notions de système et de modèle, Cahiers des Sciences Humaines, 23 (3-4) 1987: 439-441.
- Prelaz Droux R., 1995, Système d'information et gestion du territoire, Approche systématique et procédure de réalisation, Presses polytechniques et universitaires romandes.

Q

- Qin Hua-Peng, Su Qiong, Khu Soon-Thiam, 2011, An integrated model for water management in a rapidly urbanizing catchment, Environmental Modelling & Software 26 (2011) 1502-1514

R

- Rajasekaram V., Simonovic S. P. & Nandalal K. D.W., 2003, Computer Support for Implementation of a Systemic Approach to Water Conflict Resolution, Water International, 28:4, 454-466, DOI: 10.1080/02508060308691723
- Ramesh, L. Santhosh & C. J. Jagadeesh , Simulation of Hydraulic Parameters in Water Distribution Network Using EPANET and GIS, International Conference on Ecological, Environmental and Biological Sciences (ICEEBS'2012) Jan. 7-8, 2012 Dubai, pp.350-353.
- Ramsey Kevin, 2009, GIS, modeling, and politics: On the tensions of collaborative decision support, Journal of Environmental Management 90 (2009) 1972–1980
- Renaud Eddy, Khedhaouiria Dikra, Clauzier Marion, Nafi Amir, Wittner Christophe et Werey Caty, 2012, Réduction des fuites dans les réseaux d'alimentation en eau potable Systèmes d'indicateurs et méthodologies pour la définition, la conduite et l'évaluation des politiques de lutte contre les fuites dans les réseaux d'eau potable, Rapport de recherche, 62 p.
- Repetti A., Prélaz-Droux R., 2003, an urban monitor as support for a participative management of developing cities, Habitat International, Volume 27, Issue 4, December 2003, Pages 653–667, Governance and the Use of GIS in Developing Countries

- Repetti Alexandre, 2004, un concept de monitoring participatif au service des villes en développement. Approche méthodologique et réalisation d'un observatoire urbain, Thèse de doctorat, École polytechnique fédérale de Lausanne, 220 p.
- Reza Khaji Mohammad & Shafaei Rasoul, 2011, A system dynamics approach for strategic partnering in supply networks, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 24:2, 106-125, DOI: 10.1080/0951192X.2010.531288
- Roozbahani Abbas, Zahraie Banafsheh, Tabesh Massoud, 2013, Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27(4), 923-944
- Rossman L., Epanet 2 User's Manual, Environmental Protection Agency, 2000, Cincinnati, USA. (<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/wswrd/epanet.html>) (Consultation le 1 mars 2010).
- Rossi Giuseppe & Cancelliere Antonino, 2013, Managing drought risk in water supply systems in Europe: a review, International Journal of Water Resources Development, 29:2,272-289, DOI: 10.1080/07900627.2012.713848
- Rouet P., 1993, Les données dans les Systèmes d'Information Géographique, Edition Hermes.
- Rouissat Bouchrit, 2010, La gestion des ressources en eau en Algérie: Situation, défis et apport de l'approche systémique, La revue de l'Économie & de Management, N°10, Avril 2010 : " Regards Croisés sur les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD): pauvreté, éducation, santé et ressources naturelles " 1-15

S

- Salomons Elad., 2005. DXF2EPA – AutoCad DXF File Conversion Utility for EPANET, Notice d'utilisation
- Sampson D.A., Escobar V., Tschudi M.K., Lant T., Gober P., 2011, A provider-based water planning and management model - WaterSim 4.0 – For the Phoenix Metropolitan Area, Journal of Environmental Management 92 (2011) 2596-2610
- Sauvagnargues-Lesage S. et Ayral P.A., Systèmes d'Information Géographique : outil d'aide à la gestion territoriale, Techniques de l'ingénieur, 2009, Référence H7415.
- Sauvant D., 2003, Principes généraux de la modélisation systémique, Département des sciences animales de l'Institut national agronomique Paris-Grignon, <http://www.inapg.inra.fr/dsa/cours/systemique/systemique.pdf>
- Saysel Ali Kerem, 2007, System Dynamics: Systemic Feedback Modeling For Water Resources Management, International Congress On River Basin Management, 22-24 March 2007, Antalya , Turkey
- Schlüter, M.; Rüger, N., (2007). Application of a GIS-based simulation tool to illustrate implications of uncertainties for water management in the Amudarya river delta. Environment Modeling Software, 22 (2), 158-166
- Schwarz E., 1999, Une introduction à l'approche systémique, <http://gerard.metrailleur.net/documents/etudes/systemique/systemique.pdf>

- Seligman J., L., Les SIG pour l'aide à l'exploitation des services de distribution d'eau, Exemple de cartographie et mise à jour des plans des réseaux pour la connaissance et la gestion au quotidien du réseau, SEURECA, 2007.
- Shafiqul Islam M. & Rehan Sadiq & Manuel J. Rodriguez & Homayoun Najjaran & Alex Francisque & Mina Hoorfar, (2013), Evaluating Water Quality Failure Potential in Water Distribution Systems: A Fuzzy-TOPSIS-OWA-based Methodology, *Water Resources Management* (2013) 27:2195–2216 , DOI 10.1007/s11269-013-0283-6
- Simachaya, W., Watanamahart, P., Kaewkrajang, V., & Yenpiem, A. (2000). Water quality situation in the Chao Praya delta. In *Proceeding of the international conference the chao phraya delta: Historical development, dynamics and challenges of Thailand's rice bowl*, December. Bangkok, Thailand (pp. 1–21).
- Sitzenfrei Robert, Möderl Michael, Rauch Wolfgang, 2013, Automatic generation of water distribution systems based on GIS data, *Environmental Modelling & Software* 47 (2013) 138-147
- Stefan H. Maier, Roger S. Powell And Clive A. Woodward, 2000, Calibration and comparison of Chlorine decay models for a test Water Distribution System, *Water Resources* Vol. 34, No. 8, Pp. 2301-2309
- Suely Schuartz Pacheco Mestrinho , 2010, From headwaters to the coastal zone - Systemic approach for water resources management and protection: A case study for the Itapicuru river basin, northeastern, Bahia – Brazil, 8th World general assembly of the international network of basin organizations, Dakar (Senegal) 20-23 January 2010

T

- Tabesh M. et Delavar M.R., Application of integrated GIS and hydraulic models for unaccounted for water studies in water distribution systems, *Advances in Water Supply Management, Proceedings of the CCWI '03 Conference*, London, 15-17 September 2003, Edited by Cedo Maksimovic , Fayyaz Ali Memon , and David Butler , Taylor & Francis , Print ISBN: 978-90-5809-608-1, eBook ISBN: 978-0-203-83366-7, DOI: 10.1201/NOE9058096081.ch14
- M. Tabesh, A. H. Asadiyani Yekta, R. Burrows, 2009, An Integrated Model to Evaluate Losses in Water Distribution Systems, *Water Resources Management* (2009) 23:477–492
- M. Tabesh; M. R. Delavar; A. Delkhah, 2010, Use of geospatial information system based tool for renovation and rehabilitation of water distribution systems, *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7 (1), 47-58, Winter 2010
- Tabesh , M. Jamasb & R. Moeini (2011) Calibration of water distribution hydraulic models: A comparison between pressure dependent and demand driven analyses, *Urban Water Journal*, 8:2, 93-102
- M. Tabesh & H. Saber, 2012, A Prioritization Model for Rehabilitation of Water Distribution Networks Using GIS, *Water Resources Management* (2012) 26:225–241

- M. Taeho Choi & Jayong Koo (2014): A water supply risk assessment model for water distribution network, Desalination and Water Treatment, DOI: 10.1080/19443994.2014.892440
- Takahashi S., Matsushita M., 1996, The application of a computer mapping system and the resulting improved service to the citizens of KOBE, Blackwell Science LTD, Water supply, Vol. 14, NOS ¾, Durban.
- Taneha K. Bacchin, Richard M. Ashley, William Veerbeek, Meta Berghauer Pont, 2013, A multi-scale approach in the planning and design of water sensitive environments, Actes de la 8ème conference internationale NOVATECH 2013, 23 -27 Juin 2013, Lyon , France
- Tena-Chollet F., Sauvagnargues-Lesage S., Thierion V. et Ayrat P. A., Systèmes d'information géographique : mise en œuvre, Techniques de l'ingénieur, 2010, Référence H7416
- Tian Yu Ma Liya ; Lei Xiaohui & Jiang Yunzhong, Construction of water supply pipe network based on GIS and EPANET model in Fangcun District of Guangzhou, Geoscience, 2010 Second IITA International Conference on and Remote Sensing (IITA-GRS) (Volume:2) Qingdao : 28-31 Aug. 2010, Page(s):268 - 271 , Print ISBN: 978-1-4244-8514-7 , INSPEC Accession Number: 11594527.
- Tissier, B. Education, Formation, Environnement. Poche Environnement, 11. Paris : Economica, 1998. 112 p.
- Tomlinson, R.F., 1967, An Introduction to the Geographic Information System of the Canada Land Inventory, Department of Forestry and Rural Development, Ottawa.
- Top G., Henry E., Boulemia C. & Joos F., 2007 GIS, urban data model and systemic approach for sustainable management of urban drainage infrastructure, International Symposium on New Directions in Urban Water Management, 12-14 September 2007, UNESCO Paris
- Torres Jacob M., Brumbelow Kelly, Guikema Seth D., 2009, Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems, Reliability Engineering and System Safety 94 (2009) 1259–1273
- Touleb Mustapha, 1997, Utilisation de la méthode DRASTIC et du système d'information géographique pour l'évaluation et la cartographie de la ou vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution : cas de Mitidja-Est, Mémoire de magister, ENSH Blida, 128 p.
- Tsihrintzis V.A., Hamid R. & Fuentes H.R., 1996, Use of Geographic Information Systems (GIS) in water resources: a review. Water Resources Management 10(4):251–277

U

- Urbani Dominique, 2006, Elaboration d'une approche hybride SMA-SIG pour la définition d'un système d'aide à la décision; application à la gestion de l'eau, Thèse de Doctorat en informatique, Université de Corse, 155 p.

- Udovyk O., 2006, GIS for intergrated water resources management. In: Hlavinek P, Kukharchyk T, Marsalek J, Mahrikova (eds) *Integrated Urban Water Resources Management*, Springer, The Netherlands, pp 35–42

V

- Vairavamoorthy, Jimin Yan, Harshal M. Galgale, Sunil D. Gorantiwar, 2007, IRA-WDS: A GIS-based risk analysis tool for water distribution systems, *Environmental Modelling & Software* 22 (2007) 951-965
- Valiron F., *Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement*, Tome 1, 2, 3, Edition Lavoisier, 1994, 1262 p.
- Valtenbergs Visvaldis, González Ainhoa, Piziks Ralfs, 2013, Selecting indicators for sustainable development of small towns: The case of Valmiera municipality, *Procedia Computer Science* 26 (2013) 21 – 32
- Vasan A. et Simonovic Slobodan P., 2010, Optimization of Water Distribution Network Design Using Differential Evolution, *Journal of Water Resources Planning And Management Asce / March/April 2010*, p. 279-287
- Vasilis Kanakoudis, Stavroula Tsitsifli, Petros Samaras, Anastasios I. Zouboulis, 2014, Water Pipe Networks Performance Assessment: Benchmarking Eight Cases Across the EU Mediterranean Basin, *Water Quality, Exposure and Health*, Mars 2014, DOI 10.1007/s12403-014-0113-y
- Voiron Christine, Chery Jean-Pierre, 2005, Espace géographique, spatialisation et modélisation en Dynamique des Systèmes, communication présentée au 6^{ème} congrès européen des sciences des systèmes 19-22 septembre 2005 , Paris

W

- Wamsler Christine, Brink Ebba, Rivera Claudia, 2013, Planning for climate change in urban areas: from theory to practice, *Journal of Cleaner Production* 50 (2013) 68-81
- Worm G.I.M., Van Der Helm A.W.C., Lapikas T., Van Schagen K.M, Rietveld L.C., 2010, Integration of models, data management, interfaces and training support in a drinking water treatment plant simulator, *Environmental Modelling & Software* 25 (2010) 677–683
- Winarni, W., 2009, Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator, *Technical Note: Civil Engineering Dimension*, Vol. 11, No. 2, (2009), p.126-134

Y

- Yammani, S. (2007). Groundwater quality suitable zones identification: Application of GIS, Chittoor area, Andhra Pradesh, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 53, 201–210.
- Yang Chou-Ping, Chiang Pen-Chi, Chang E-E, Lin Tsair-Fuh & Kao Chih-Ming, 2013, Using a systematic approach to develop water quality management strategies in

the Nankan River, Taiwan, *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, Iss. 34-36, 2013 DOI:10.1080/19443994.2013.792526

- Yong Liu, Xiaojian Lv, Xiaosheng Qin, Huaicheng Guo, Yajuan Yu, Jinfeng Wang, Guozhu Mao, 2007, An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe , *Landscape and Urban Planning* 82 (2007) 233–246

Z

- Zaoui M., 1996, Modélisation des données du réseau de Gaz et contribution à sa gestion au moyen d'un S.I.G, thèse de Magister, CNTS, 101 p.
- Zaoui S., Biemont C. et Meguenni K., Approche épidémiologique du diabète en milieux urbain et rural dans la région de Tlemcen (Ouest algérien), *Cahiers Santé*, 2007, vol.17, p.15-21
- Zhang Tao, 2006, The Application of GIS and CARE-W on Water Distribution Networks in Skärholmen Pressure Zone, Pipeline Technology 2006 Conference, Stockholm, Sweden
- Zheng Yi Wu, Rong He Wang, Thomas M. Walski, Shao Yu Yang, Daniel Bowdler, Christopher C. Baggett , 2006, Efficient Pressure Dependent Demand Model For Large Water Distribution System Analysis, Communication présentée au 8th Annual International Symposium On Water Distribution System Analysis, Cincinnati, Ohio, August 27-30, 2006
- Zhou Nianqing, Westrich Bernhard, Jiang Simin, Wang Yan, 2011, A coupling simulation based on a hydrodynamics and water quality model of the Pearl River Delta, China, *Journal of Hydrology* 396 (2011) 267–276

ANNEXES

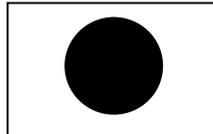
ANNEXE I

DICTIONNAIRE DES DONNEES DU RESEAU D'AEP

ENTITE : ANTI BELIER

DEFINITION : Moyen de protection des installations d'AEP contre les phénomènes transitoires (surpression et dépression).

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Bélier_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de l'anti bélier.

Domaine variable : Type Caractère

Type : Type de l'anti bélier (ballon anti bélier – soupape de décharge – volant d'inertie – cheminée d'équilibre).

Domaine variable : Type Caractère

Capacité_L : Capacité de l'anti bélier exprimée en litres.

Domaine variable : Type Flottant

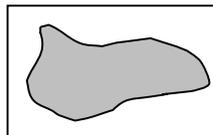
RELATIONS :

Protège : Conduite

ENTITE : BATI STRUCTURE FRAME WORK

DEFINITION : Ensemble de constructions telles que : maisons, immeubles, hangars, monument, bâtiments...

TYPE DE REFERENCE :



SUR

ATTRIBUTS :

Bâti_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro du bâti.

Domaine variable : Type Caractère

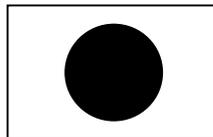
RELATIONS :

Appartenir_8 : Ilot

ENTITE : BOUCHE D'INCENDIE

DEFINITION : Elle est utilisée par les pompiers dans leurs interventions contre les incendies.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Bouche_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la bouche d'incendie.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_mm : Diamètre exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

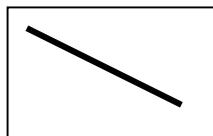
RELATIONS :

Appartenir_1 : Conduite

ENTITE : CONDUITE

DEFINITION : Ensemble de tronçons connexes du réseau d'AEP, spécialisé dans le transport de l'eau potable. Elle est caractérisée par une section constante et un même sens d'écoulement.

TYPE DE REFERENCE :



LIN

ATTRIBUTS :

Conduite_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la conduite.

Domaine variable : Type Caractère

Longueur_m : Longueur de la conduite exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Diamètre_mm : Diamètre de la conduite exprimé en millimètres

Domaine variable : Type Entier

Débit_l/s : Débit des eaux qui transitent par la conduite en litres par secondes.

Domaine variable : Type Numérique (Virgule Fixe)

Rugosité_mm : Rugosité de la conduite exprimée en mm.

Domaine variable : Type Flottant

Nature : Nature du matériau de la conduite (Fonte, Acier, Amiante - Ciment).

Domaine variable : Type Caractère

Date_de_pose : Date de pose de la conduite indiquant l'année de la réalisation ou du changement de la conduite.

Domaine variable : Type Caractère

Etat_d_entretien : Etat d'entretien de la conduite (Bon, Moyen, Mauvais, Inconnu).

Domaine variable : Type Caractère

Côte_du_sol_m : Côte du sol exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Disposition : Disposition de la conduite (Principale, secondaire).

Domaine variable : Type Caractère

Type_d_Alimentation : Type d'Alimentation de la conduite (Distribution, Refoulement).

Domaine variable : Type Caractère

RELATIONS :

Alimente_3 : Forage

Alimente_4 : Station de Pompage

Alimente_5 : Réservoir

Alimente_6 : Ilot

Appartenir_1 : Bouche d'incendie

Appartenir_2 : Cône

Appartenir_3 : Coude

Appartenir_4 : Té

Appartenir_5 : Vanne

Appartenir_6 : Ventouse

Appartenir_7 : Vidange

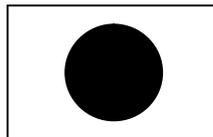
Compose : Tronçon

Protège : Anti Béliér

ENTITE : CONE

DEFINITION : Elément du réseau utilisé pour raccorder deux tronçons contigus de diamètres différents.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Cône_ID :Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro du cône.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_E_mm : Diamètre d'entrée exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

Diamètre_S_mm : Diamètre de sortie exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

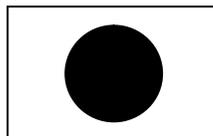
RELATIONS :

Appartenir_2 : Conduite

ENTITE : COUDE

DEFINITION : Elément du réseau utilisé pour raccorder deux tronçons contigus dans un changement de direction.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Coude_ID :Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro du coude.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_mm : Diamètre exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

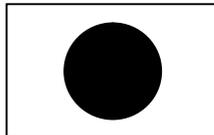
RELATIONS :

Appartenir_3 : Conduite

ENTITE : FORAGE

DEFINITION : Sondage en profondeur qui permet l'exploitation des eaux souterraines.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Forage_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Nom : Nom du forage.

Domaine variable : Type Caractère

Coordonnées : Coordonnées de forage en Longitude – Latitude.

Domaine variable : Type Flottant

Altitude : Valeur de l'altitude en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Profondeur : Valeur de la profondeur en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Débit : Débit d'exploitation exprimé en litres par secondes.

Domaine variable : Type Flottant

Date de réalisation : Année de réalisation du forage.

Domaine variable : Type Caractère

RELATIONS :

Alimente_1 : Réservoir

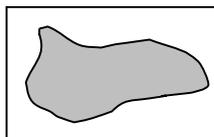
Alimente_3 : Conduite

Relier : Station de Pompage

ENTITE : ILOT

DEFINITION : Partie issue du découpage de la ville de Birtouta pour la gestion du réseau d'AEP.

TYPE DE REFERENCE :



SUR

ATTRIBUTS :

Ilot_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de l'îlot.

Domaine variable : Type Caractère

Nom : Nom de l'îlot.

Domaine variable : Type Caractère

RELATIONS :

Alimente_6 : Conduite

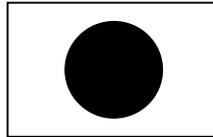
Appartenir_8 : Bâti

Limite : Rue

ENTITE : RESERVOIR

DEFINITION : Ouvrage de stockage et de distribution de l'eau potable.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Réservoir_ID :Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro du réservoir.

Domaine variable : Type Caractère

Type : Type de réservoir (surélevé, enterré ou semi - enterré.).

Domaine variable : Type Caractère

Côte_du_radier_m : Côte radier exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Côte_Tampon_m : Côte tampon exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Capacité : Capacité du réservoir en mètres cubes.

Domaine variable : Type Flottant

RELATIONS :

Alimente_1 : Forage

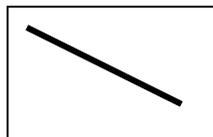
Alimente_2 : Station de pompage

Alimente_5 : Conduite

ENTITE : RUE

DEFINITION : Voie servant à la circulation telle que délimitée par des îlots (rue, ruelle, avenue...).

TYPE DE REFERENCE :



LIN

ATTRIBUTS :

Rue_ID :Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la rue.

Domaine variable : Type Caractère

Nom_de_la_rue : Nom de la rue

Domaine variable : Type Caractère

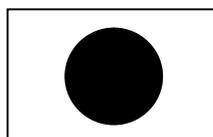
RELATIONS :

Limite : Ilot

ENTITE : STATION DE POMPAGE

DEFINITION : Elle est destinée à élever les eaux d'un niveau à un autre.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Station_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la station de pompage.

Domaine variable : Type Caractère

Nbre_Pompes : Nombre de pompes dans la station de pompage.

Domaine variable : Type Entier

Type_de_Montage: Montage en parallèle ou en série des pompes.

Domaine variable : Type Caractère

Type_de_Pompes: Type de pompes dans la station de pompage

Domaine variable : Type Caractère

Débit_l/s : Débit refoulé exprimé en litres par secondes.

Domaine variable : Type Flottant

HMT : Hauteur Manométrique Totale exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Situation_P: Situation des Pompes (immergées ou non).

Domaine variable : Type Caractère

Marque_P: Marque des pompes.

Domaine variable : Type Caractère

Date_de_pose: Date d'installation des pompes.

Domaine variable : Type Caractère

RELATIONS :

Alimente_2 : Réservoir

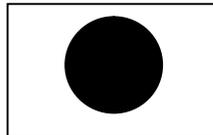
Alimente_4 : Conduite

Relier : Forage

ENTITE : TE

DEFINITION : Elément du réseau utilisé pour raccorder trois tronçons contigus et de directions différentes.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Té_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro du té.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_mm : Diamètre exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

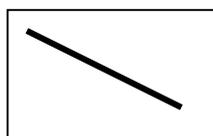
RELATIONS :

Appartenir_4 : Conduite

ENTITE : TRONÇON AEP

DEFINITION : Une portion de la conduite d'AEP, spécialisé dans le transport de l'eau potable. Il est considéré comme portion de la conduite ayant une section constante et un même sens d'écoulement.

TYPE DE REFERENCE :



LIN

ATTRIBUTS :

Tronçon_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro du tronçon.

Domaine variable : Type Caractère

Longueur_m : Longueur du tronçon exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Diamètre_mm : Diamètre de la conduite exprimé en millimètres

Domaine variable : Type Entier

Débit_l/s : Débit des eaux qui transitent par la conduite en litres par secondes.

Domaine variable : Type Numérique (Virgule Fixe)

Rugosité_mm : Rugosité de la conduite exprimée en mm.

Domaine variable : Type Flottant

Nature : Nature du matériau de la conduite (Fonte, Acier, Amiante - Ciment).

Domaine variable : Type Caractère

Date_de_pose : Date de pose de la conduite indiquant l'année de la réalisation ou du changement de la conduite.

Domaine variable : Type Caractère

Etat_d_entretien : Etat d'entretien de la conduite (Bon, Moyen, Mauvais, Inconnu).

Domaine variable : Type Caractère

Côte_du_sol_m : Côte du sol exprimée en mètres.

Domaine variable : Type Flottant

Disposition : Disposition de la conduite (Principale, secondaire).

Domaine variable : Type Caractère

Type_d_Alimentation : Type d'Alimentation de la conduite (Distribution, refoulement).

Domaine variable : Type Caractère

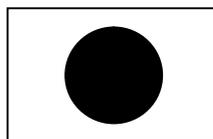
RELATIONS :

Compose : Conduite

ENTITE : VANNE

DEFINITION : Elle est utilisée pour isoler une partie du réseau d'AEP, en cas de panne ou pour réguler la distribution d'eau.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Vanne_ID : Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la vanne.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_mm : Diamètre exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

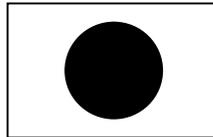
RELATIONS :

Appartenir_5 : Conduite

ENTITE : VENTOUSE

DEFINITION : Elle est utilisée pour chasser l'air des conduites en cas de distribution en contre pente.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Ventouse_ID :Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la ventouse.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_mm : Diamètre exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

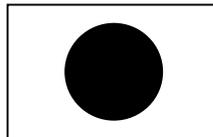
RELATIONS :

Appartenir_6 : Conduite

ENTITE : VIDANGE

DEFINITION : Elle est utilisée pour établir une vidange du réseau d'AEP en cas de pollution.

TYPE DE REFERENCE :



PT

ATTRIBUTS :

Vidange_ID :Identifiant unique.

Domaine variable : Type Entier

Numéro : Numéro de la vidange.

Domaine variable : Type Caractère

Diamètre_mm : Diamètre exprimé en mm.

Domaine variable : Type Entier

RELATIONS :

Appartenir_7 : Conduite

ANNEXE II

MODELE LOGIQUE DE DONNEES DU RESEAU D'AEP

ANTI BELIER	(Bélier_ID, Numéro, Type, Capacité_L)
BATI	(Bâti_ID, Numéro)
BOUCHE D'INCENDIE	(Bouche_ID, Numéro, Diamètre_mm)
CONDUITE	(Conduite_ID, Numéro, Longueur_m, Diamètre_mm, Débit_l/s, Rugosité_mm, Nature, Date_de_pose, Etat_d_entretien, Côte_du_sol_m, Disposition, Type_d_Alimentation)
CONE	(Cône_ID, Numéro, Diamètre_E_mm, Diamètre_S_mm)
COUDE	(Coude_ID, Numéro, Diamètre_mm)
FORAGE	(Forage_ID, Nom, Coordonnées, Altitude, Profondeur, Débit, Date de réalisation)
ILOT	(Ilot_ID, Numéro, Nom)
RESERVOIR	(Réservoir_ID, Numéro, Type, Côte_du_radier_m, Côte_Tampon_m, Capacité)
RUE	(Rue_ID, Numéro, Nom_de_la_rue)
STATION DE POMPAGE	(Station_ID, Numéro, Nbre_Pompes, Type_de_Montage, Type_de_Pompes, Débit_l/s, HMT, Situation_P, Marque_P, Date_de_pose)
TE	(Té_ID, Numéro, Diamètre_mm)

VANNE	(Vanne_ID, Numéro, Diamètre_mm)
VENTOUSE	(Ventouse_ID, Numéro, Diamètre_mm)
VIDANGE	(Vidange_ID, Numéro, Diamètre_mm)
ALIMENTE_1	(Forage_ID, Réservoir_ID)
ALIMENTE_2	(Station_ID, Réservoir_ID)
ALIMENTE_3	(Forage_ID, Conduite_ID)
ALIMENTE_4	(Station_ID, Conduite_ID)
ALIMENTE_5	(Réservoir_ID, Conduite_ID)
ALIMENTE_6	(Conduite_ID, Ilot_ID)
APPARTENIR_1	(Bouche_ID, Conduite_ID)
APPARTENIR_2	(Cône_ID, Conduite_ID)
APPARTENIR_3	(Coude_ID, Conduite_ID)
APPARTENIR_4	(Té_ID, Conduite_ID)

APPARTENIR_5

(Vanne_ID, Conduite_ID)

APPARTENIR_6

(Ventouse_ID, Conduite_ID)

APPARTENIR_7

(Vidange_ID, Conduite_ID)

APPARTENIR_8

(Bâti_ID, Ilot_ID)

COMPOSE

(Tronçon_ID, Conduite_ID)

LIMITE

(Rue_ID, Ilot_ID)

PROTEGE

(Bélier_ID, Conduite_ID)

RELIER

(Station_ID, Forage_ID)

ANNEXE 3

MODELE PHYSIQUE DE DONNEES DU RESEAU D'AEP

Nom de la table : ANTI BELIER

Indexée sur : ANTI BELIER, CONDUITE

Par l'attribut : Béliier_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Béliier_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Type	Caractère		
Capacité_L	Flottant		

Nom de la table : BATI

Indexée sur : BATI, ILOT

Par l'attribut : Bâti_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Bâti_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	

Nom de la table : BOUCHE D'INCENDIE

Indexée sur : BOUCHE D'INCENDIE ,CONDUITE

Par l'attribut : Bouche_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Bouche_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_mm	Entier		

Nom de la table : CONE

Indexée sur : CONE ,CONDUITE

Par l'attribut : Cône_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Cône_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_E_mm	Entier		
Diamètre_S_mm	Entier		

Nom de la table : COUDE

Indexée sur : COUDE ,CONDUITE

Par l'attribut : Coude_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Coude_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_mm	Entier		

Nom de la table : CONDUITE

Indexée sur : CONDUITE, ANTI BELIER, COUDE, CONE, FORAGE, BOUCHE D'INCENDIE, VANNE, VENTOUSE, VIDANGE, TE, RESERVOIR, STATION DE POMPAGE, ILOT

Par l'attribut : Conduite_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Conduite_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Longueur_m	Entier		
Diamètre_mm	Entier		
Débit_l/s	Virgule fixe	8	3
Rugosité_mm	Flottant		
Nature	Caractère	16	
Date_de_pose	Caractère	10	
Etat_d_Entretien	Caractère	10	
Cote_du_sol_m	Virgule fixe	8	3
Disposition	Caractère	16	
Type d_Alimentation	Caractère	16	

Nom de la table : FORAGE

Indexée sur : FORAGE, CONDUITE, RESERVOIR, STATION DE POMPAGE

Par l'attribut : Forage_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Forage_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Nom	Caractère	16	
Coordonnées	Flottant		
Altitude	Flottant		
Profondeur	Flottant		
Débit	Flottant		
Date_de_réalisation	Caractère	10	

Nom de la table : ILOT

Indexée sur : ILOT, BATI, CONDUITE, RUE

Par l'attribut : Ilot_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Ilot_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Nom	Caractère	16	

Nom de la table : RESERVOIR

Indexée sur : RESERVOIR, FORAGE, CONDUITE, STATION DE POMPAGE, ILOT

Par l'attribut : Réservoir_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Réservoir_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Type	Caractère	20	
Cote_du_radier	Flottant		
Cote_Tampon_m	Flottant		
Capacité	Flottant		

Nom de la table : RUE

Indexée sur : RUE, ILOT

Par l'attribut : Rue_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Rue_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Nom_de_la_rue	Caractère	80	

Nom de la table : STATION DE POMPAGE

Indexée sur : STATION DE POMPAGE, RESERVOIR, FORAGE, CONDUITE

Par l'attribut : Station_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Station_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Nbre_Pompes	Entier		
Type_de_Montage	Caractère	20	
Type_de_Pompes	Caractère	20	
Débit_l/s	Flottant		
HMT	Flottant		
Situation_P	Caractère	20	
Marque_P	Caractère	40	
Date_de_Pose	Caractère	20	

Nom de la table : TE

Indexée sur : TE, CONDUITE

Par l'attribut : Té_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Té_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_mm	Entier		

Nom de la table : VANNE

Indexée sur : VANNE ,CONDUITE

Par l'attribut : Vanne_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Vanne_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_mm	Entier		

Nom de la table : VENTOUSE

Indexée sur : VENTOUSE ,CONDUITE

Par l'attribut : Ventouse_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Ventouse_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_mm	Entier		

Nom de la table : VIDANGE

Indexée sur : VIDANGE ,CONDUITE

Par l'attribut : Vidange_ID

CHAMPS	TYPE	LARGEUR	NOMBRE DECIMAL
Vidange_ID	Entier		
Numéro	Caractère	10	
Diamètre_mm	Entier		

ANNEXE 4¹

ALGORITHMES DE SIMULATION - EPANET

La méthode utilisée par EPANET pour calculer les équations de perte de charge et de conservation de masse, qui caractérisent l'état hydraulique du réseau à un instant donné, peut être décrite par le nom approche hybride de nœud-circuit (en anglais: hybrid node-loop approach). Todini et Pilati (1987) et plus tard Salgado et al. (1988) l'ont appelé la .Méthode du Gradient. (Gradient Method). Des approches similaires ont été décrites par Hamam et Brameller (1971) (the "Hybrid Method") et par Osiadacz (1987) (the "Newton Loop-Node Method"). La seule différence entre ces différentes méthodes est la manière dont les débits à travers les arcs sont mis à jour après que le logiciel a trouvé une nouvelle solution pour la charge aux nœuds. Comme l'approche de Todini est la plus simple, elle a été retenue pour être appliquée dans EPANET.

Supposons que nous ayons un réseau de tuyaux avec N nœuds de demande et NF nœuds à hauteur fixe (bâches et réservoirs). La relation entre le débit et la perte de charge dans un tuyau entre les nœuds i et j est donnée par la formule :

$$H_i - H_j = h_{ij} = rQ_{ij}^n + mQ_{ij}^2 \quad (1)$$

dans laquelle H est la charge au nœud, h la perte de charge, r le coefficient de résistance, Q le débit, n l'exposant du débit, et m le coefficient de pertes singulières. La valeur du coefficient de résistance dépend de la formule de perte de charge par friction utilisée (voir ci-dessous). Pour les pompes, la perte de charge (valeur négative du gain de charge) peut être calculée avec une formule de la forme suivante:

$$h_{ij} = -\omega^2 (h_0 - r(Q_{ij}/\omega)^n)$$

dans laquelle h_0 est la charge de la pompe à débit nul, ω est la vitesse relative à la valeur nominale, et r et n sont des coefficients de la courbe caractéristique. La deuxième série d'équations à résoudre est celle de la conservation de la masse:

$$\sum_j Q_{ij} - D_i = 0$$

Pour $i = 1, \dots, n$ (2)

dans laquelle D_i est la demande au nœud i. Par convention, le flux qui arrive dans un nœud est positif. Pour une série de charges piézométriques aux conditions aux limites, il faut chercher

¹ Le contenu de cette annexe est extrait du document publié le 01/09/2003, par Générale des eaux, le document est intitulé : « EPANET 2.0 : Simulation Hydraulique et Qualité pour les Réseaux d'Eau sous Pression, Manuel de l'Utilisateur, Version française, 222p.

une solution pour toutes les charges H_i et tous les débits Q_{ij} qui répondent aux équations (1) et (2).

La méthode du Gradient commence par une estimation initiale des débits dans chaque tuyau, qui peut ou non répondre à l'équation de conservation de la masse. À chaque itération de la méthode, les nouvelles charges aux nœuds sont obtenues en résolvant l'équation matricielle suivante:

$$\mathbf{AH}=\mathbf{F} \quad (3)$$

dans laquelle \mathbf{A} est une matrice Jacobienne ($N \times N$), \mathbf{H} est un vecteur ($N \times 1$) représentant les charges inconnues aux nœuds et \mathbf{F} un vecteur ($N \times 1$) contenant les termes du côté droit.

Les éléments diagonaux de la matrice Jacobienne sont:

$$A_{ii} = \sum_j p_{ij}$$

tandis que les éléments non-nuls, qui ne se trouvent pas sur la diagonale s'expriment de la manière suivante:

$$A_{ij} = -p_{ij}$$

avec p_{ij} l'inverse de la dérivée de la perte de charge dans l'arc entre les nœuds i et j , en respectant le débit. Pour les tuyaux,

$$p_{ij} = \frac{l}{nr|Q_{ij}|^{n-1} + 2m|Q_{ij}|}$$

Tandis que pour les pompes :

$$p_{ij} = \frac{l}{n\omega^2 r(Q_{ij}/\omega)^{n-1}}$$

Tous les termes du côté droit sont dus au déséquilibre de flux en un nœud et à un facteur de correction:

$$F_i = \left(\sum_j Q_{ij} - D_i \right) + \sum_j y_{ij} + \sum_f p_{if} H_f$$

Le dernier terme de l'expression s'applique à tous les arcs qui relient le nœud i à un nœud de hauteur fixe f . Le facteur de correction y_{ij} s'exprime ainsi:

$$y_{ij} = p_{ij} \left(r|Q_{ij}|^n + m|Q_{ij}|^2 \right) \text{sgn}(Q_{ij})$$

pour les tuyaux, avec $\text{sgn}(x)$ égal à 1 si $x > 0$ et sinon à -1 , et:

$$y_{ij} = -p_{ij}\omega^2 \left(h_0 - r(Q_{ij}/\omega)^n \right)$$

pour les pompes. (Q_{ij} est toujours positif pour les pompes.)

Après avoir trouvé les nouvelles charges en résolvant les équations (3), les nouveaux débits s'obtiennent en résolvant l'équation suivante:

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (v_{ij} - p_{ij}(H_i - H_j)) \quad 4$$

Si la somme des variations absolues de débits dans tous les arcs, divisée par la somme de tous les débits dans tous les arcs est supérieure à la tolérance préétablie (par exemple, 0,001), les équations (3) et (4) sont recalculées. La formule (4) trouve toujours un équilibre de flux après la première itération.

EPANET applique cette méthode en décrivant les étapes suivantes:

1. Le système linéaire d'équations (3) est résolu en utilisant une méthode des matrices creuses, basée sur la réorganisation des nœuds (George et Liu, 1981). Après la réorganisation des nœuds pour minimiser le contenu de la matrice A, une factorisation est effectuée sur la matrice sous forme symbolique, pour ne calculer que les éléments de la matrice qui sont différents de zéro. Pour une simulation de longue durée, cette réorganisation et cette factorisation ne s'effectue qu'une seule fois, au début de la simulation.
2. Pour la première itération, le débit dans un tuyau est choisi de telle sorte que la vitesse est égale à 1 pied/sec, tandis que le débit à travers une pompe est égal au débit nominal. (Les unités utilisées pour les calculs sont pieds pour la charge et pieds cubes par seconde pour le débit).
3. Le coefficient de résistance des tuyaux (r) est calculé comme décrit dans le tableau 3.14. Pour l'équation de perte de charge de Darcy-Weisbach, la formule utilisée pour calculer le facteur de friction f dépend du nombre de Reynolds (Re):

Formule de Hagen Poiseuille si $Re < 2000$ (Bhave, 1991):

$$f = \frac{64}{Re}$$

L'approximation de Swamee et Jain pour l'équation de Colebrook - White si $Re > 4.000$ (Bhave, 1991):

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Interpolation cubique du diagramme Moody si $2.000 < Re < 4.000$ (Dunlop, 1991):

$$f = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4)))$$

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0,128 - 17 FA + 2,5 FB$$

$$X3 = -0,128 + 13 FA - 2 FB$$

$$X4 = R(0,032 - 3FA + 0,5FB)$$

$$FA = (Y3)^{-2}$$

$$FB = FA \left(2 - \frac{0,00514215}{(Y2)(Y3)} \right)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}$$

$$Y3 = -0,86859 \operatorname{Ln} \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{4000^{0,9}} \right)$$

dans laquelle ε est la rugosité du tuyau et d son diamètre.

- Bhave, P.R., 1991,. Analysis of Flow in Water Distribution Networks. Technomic Publishing. Lancaster, PA.
- Dunlop, E.J. , 1991, WADI Users Manual. Local Government Computer Services Board, Dublin, Ireland.
- George, A. & Liu, J. W-H., 1981, Computer Solution of Large Sparse Positive Definite Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Hamam, Y.M, & Brameller, A., 1971, "Hybrid method for the solution of piping networks", Proc. IEE, Vol. 113, No. 11, pp. 1607-1612.
- Osiadacz, A.J., 1987, Simulation and Analysis of Gas Networks. E. & F.N. Spon, London.
- Salgado, R., Todini, E., & O'Connell, P.E., 1988, "Extending the gradient method to include pressure regulating valves in pipe networks". Proc. Inter. Symposium on Computer Modeling of Water Distribution Systems, University of Kentucky, May 12-13.
- Todini, E. & Pilati, S., 1987, "A gradient method for the analysis of pipe networks". International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution, Leicester Polytechnic, UK, September 8-10

ANNEXE 5¹

LES PRINCIPALES SOLUTIONS SIG

Les principaux SIG existants sur le marché sont :

1. Arc/ESRI

La société ESRI est un des éditeurs incontournables du marché des SIG. Elle propose plusieurs architectures différentes.

- Un ensemble de progiciels qui assurent toutes les fonctions citées auparavant, exemple : ArcGis Desktop.
- Des bibliothèques qui permettent de construire des applications SIG spécifiques : ArcGis Engine
- Des serveurs permettant de construire un SIG centralisé : ArcGis Server.

Les produits Arc/ESRI permettent d'utiliser les bases de données Oracle, Oracle Locator ou Spatial, DB2, Informix, MS SQL Server et aussi MS Access, ils supportent SQL/MM et permettent d'exporter des géodatabases au format XML. Les licences simple utilisateur sont vendues entre 1500 et 20 000 euros selon les fonctionnalités.

2. Intergraph

Cet éditeur détient la plus grosse part du marché des SIG. Il a aussi segmenté son offre en proposant des solutions de natures différentes :

- Une solution de librairies qui permet de construire des SIG spécifiques: Geomedia Objects
- Une solution dédiée à la logistique avec gestion des communications : I/CAD
- Une solution d'outil individuel de SIG disposant d'un client universel de données SIG : Geomedia

3. MapInfo

C'est un éditeur qui offre et propose une solution orientée micro-ordinateur et plutôt mono-poste. Son produit de référence MapInfo-Professionnal est complété par une offre de modules spécialisés :

- ChronoMap permet de déterminer les zones d'achalandises, les calculs d'éloignement.
- ChronoVia permet le calcul d'itinéraires, l'optimisation de tournées.
- Vertical Mapper permet l'analyse 3D, la construction de modèle numérique de terrain, la détermination de la répartition des richesses sur une agglomération, l'optimisation de l'implantation des relais de transmission.
- Géocodeur Universel permet le géocodage de gros volumes d'adresses

Le prix public d'une licence mono-utilisateur s'élève à 3250 euros.

4. MacMap

Cet éditeur présente une alternative aux outils puissants et coûteux énumérés ci-avant.

MacMap fonctionne sous l'environnement Mac O.S. Il offre des fonctions d'interrogation, de géocodage, de représentation et de lecture de fichiers externes. Il est qualifié de « mini-SIG ».

¹ Cette annexe est extraite d'une étude réalisée en avril 2005 par Hervé Brunel. L'étude s'intitule : « Etat de l'art des systèmes d'information géographique », 37p.

Le prix public d'une licence mono-utilisateur s'élève à environ 3500 euros en version limitée en nombre d'objets manipulés, ou à 5000 euros sans limite de capacité.

5. GéoConcept

Cet éditeur a développé un concept conforme à ses concurrents. Sa particularité tient à la fois dans un ensemble d'outils classiques d'un SIG et d'un cœur applicatif ouvert sur des développements. Il dispose lui-même de modules complémentaires :

- Virtual Géo permet la représentation 3D en temps réel des données du SIG.
- Publisher for Geoconcept offre des fonctionnalités complémentaires d'édition cartographique.

Ce module génère des fichiers swf et XML permettant d'intégrer les données dans d'autres applications (Web en particulier).

De plus une version serveur a été développée. GeoConcept Enterprise Solution permet de centraliser les données et est compatible avec les SGBD Oracle, MS SQL Server, Sybase, DB2. Une version tournée vers l'Internet a été conçue avec GeoConcept Internet Server. L'ensemble des produits s'intègre totalement avec les produits Microsoft. L'éditeur commercialise aussi des solutions orientées métier avec des applications tournés vers la logistique, la défense, la gestion des territoires.

6. Star Informatic

C'est là un des autres leaders dans le domaine des systèmes d'information géographique. Cet éditeur, comme ces concurrents directs, a choisi de proposer plusieurs solutions adaptées à des besoins différents. Un ensemble de fonctionnalités sont communes à tous les produits.

- Star Gis : C'est la version bureautique de l'éditeur. C'est outil est très orienté vers la plateforme et les produits Microsoft.
- Win Star : C'est la version SIG professionnel de l'éditeur. Il offre des fonctions d'interrogation très développées. Comme pour ses concurrents, Star a ouvert le cœur de son applicatif professionnel en livrant les API permettant ainsi aux développeurs de spécialiser l'applicatif pour répondre à des besoins précis.
- Star Next : L'éditeur a choisi de développer son offre vers le secteur Internet/intranet avec ce produit. Particularité affichée par rapport avec ses concurrents : une compatibilité avec OpenGis.

7. GeoMap

Cet éditeur a choisi une technologie objets. Pour l'ensemble de ces modules il a choisi l'environnement des produits AutoDesk, en particulier AutoCad Map. L'applicatif central Geomap Gis contient toutes les fonctions nécessaires à l'exploitation des données, il est ouvertement orienté réseau, avec une architecture produits Microsoft, l'affichage Web est réalisé avec la technologie Active X. Les interfaces administrateur et utilisateur utilisent MapGuide, viewer compatible AutoDesk. Cet solution est remarquable pour son ouverture sur de nombreux formats : données Raster : TIF NB et Couleur, SUN, SPOT, RLC, HRF, PCX, BMP, données Vecteur : DWG, DXF, EDIGEO, DGN, MIF-MID (MapInfo), ARC Info. Des solutions métier ont aussi été développées dans le domaine de la gestion de réseau, des télécommunications de l'immobilier, et de l'urbanisme.

8. GeoCT, Grass

GeoCT est un ensemble d'outils pour manipuler des données géographiques : extraction depuis un entrepôt de données hétérogène, opérations spatiales, productions de plans.

Cet outil présente la particularité d'être développé sous licence logiciels libres et d'être orienté vers les collectivités locales. Grass est édité sous la même licence, il présente un niveau de

maturité supérieur. Il dispose d'une très grande palette de compatibilité tant avec les formats de fichiers raster que vectoriel. Il existe d'autres SIG, open-source : MapServer, PhpGis, ou des bibliothèques comme GDAL ou OGR qui permettent le développement d'application SIG.

9. Apic

La société Apic, maintenant fusionnée avec Star, propose ses propres solutions. La stratégie est légèrement différente. Apic a développé un moteur, à la manière de Géoconcept, Apic-Space. Ce moteur est conçu avec une architecture objets. Il gère son propre format de données, Apic ou le format Oracle. Il dispose d'un langage de programmation lui conférant la fonction de générateur d'applications, il est interfaçable en C++ et SQL.

Il utilise les formats d'échanges EDIGEO, NTF, DXF, GDF. A partir de ce moteur des solutions prêtes à l'emploi ont été développées :

- APIC-Compose, ce module permet la conception cartographique.
- APIC-Explore, c'est le module d'interrogation.
- APIC-Edit, c'est le module de saisie et de mise à jour de l'information géographique.
- APIC-Visu, ce module est consacré à la représentation des résultats du module d'interrogation.

L'ensemble des modules compose l'applicatif APIC 4. Cet éditeur a aussi choisi de proposer des applicatifs métiers : URBAPRO, gestion du droit des sols, DocuWare, outil de gestion spatiale des objets, APIC-réseaux, pour la gestion des réseaux d'eau et d'assainissement ... APIC a aussi exploré le champ de l'Internet avec APIC/Web, extension d'APIC qui permet l'affichage sur Internet et Intranet des données du SIG.

10. Savane

Ce logiciel a été développé par un géographe, Marc Souris. Il comporte tous les modules classiques d'un SIG : géoréférencement, gestion des données textuelles, outils de mesure, calculs et analyse spatiale. Il dispose d'une bibliothèque de développement. Il permet d'utiliser des données issues de SGBD utilisant ODBC, DAO ou ADO. Il dispose d'un module qui en permet la consultation depuis Internet. Le coût d'une licence s'élève à 500 euros.

ANNEXE 6

QUESTIONNAIRE ADRESSE AUX EMPLOYES DE L'ADE

Le présent questionnaire rentre dans le cadre de la préparation de la thèse de doctorat, en hydraulique, intitulée : **Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG – Cas du groupement urbain de Tlemcen**. Et dans le cadre du mémoire de magister en Civil Engineering Management, dont le thème est : **L'approche Total Quality Management pour la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable**.

Il est adressé au personnel (cadres et employés) de l'entreprise étatique l'Algérienne Des Eaux.

Cadre réservé aux renseignements de la personne remplissant le présent questionnaire

Fonction :

Age

Sexe :

Situation Familiale :

Fonction occupée :

Service :

Nombre d'année d'expérience :

Habitats : individuel : Collectif : Semi- Collectif :

I/ ORGANISATION

1. L'organigramme de l'entreprise ADE est – il respecté ?

En totalité : Partiellement : Non :

2. Que pensez-vous de l'organigramme de votre entreprise ?

Bien adapté à l'entreprise :

Nécessite des améliorations :

Le changer totalement :

3. Y a t-il un département qualité au niveau de votre entreprise ?

Oui : Non :

4. Les missions de chaque agents sont – elles définies formellement ?

Oui : Non :

5. Les missions sont elles bien assimilées par vos agents?

Oui : Non : Parfois non :

6. La hiérarchie est – elle respectée ?

Oui : Non : Parfois :

7. Les postes de travail correspondent ils au niveau de formation des fonctionnaires de l'ADE ?

Oui :

Non :

8. De combien notez-vous l'organisation actuelle de l'ADE ?

0/3

1/3

2/3

3/3

II/ CULTURE ET CLIMAT DE TAVAIL

9. Les horaires de travail sont - ils respectés ?

Souvent :

Assez souvent :

Toujours :

Jamais :

10. La communication circule t-elle normalement sans entrave au niveau des différents services ?

Oui :

Non :

11. Ya t-il des formations pour vos agents ?

Oui :

Non :

12. Vos agents sont- ils récompensés pour un travail bien fait par :

Une pécuniaire :

Une détente :

Promotion :

Jamais :

13. Le climat de travail est- il :

Motivant :

peu motivant :

démotivant :

14. Ya t-il un respect mutuel entre les supérieurs et les subordonnés ?

Oui :

Non :

Parfois non :

15. L'ADE possède t-elle une culture interne ?

Oui :

Non :

III/ GESTION DES RESSOURCES HUMAINES

16. Y a-t-il des sanctions à l'encontre de vos agents ?

Oui : Non :

17. Sanctionnez-vous vos agents pour un travail mal fait par :

Retenue sur salaire :

Mis à pied :

Exclu :

Pas de sanction :

18. Est-ce que le salaire attribué reflète votre compétence ?

Oui : Non :

19. Le système de notation est – il efficace dans l'amélioration du rendement du personnel de l'ADE ?

Oui : Non :

20. La notation se fait- elle suivant des critères formalisés ?

Oui : Non :

21. Ces critères sont ils communiqués aux agents de l'ADE ?

Oui : Non :

IV/ CONTRATS

22. Sur quelle base se fait le choix des fournisseurs et des sous- traitants ?

Critère mentionné sur cahier de charge :

Attribution à des co- contractants mentionnés

Sur des listes préétablies par l'ADE :

Autres à préciser :.....
.....

23. Quel mode de passation des contrats privilégiez vous le plus ?

Appel d'offre :

Gré à Gré :

Consultation restreinte :

Autres à préciser :
.....

24. Avant l'élaboration du contrat est- ce que vous établissez un cahier des charges ?

Oui : Non :

25. La qualité de l'exécution du contrat est elle mesurée :

Selon le cahier de charge :

Conformément aux normes techniques :

Autres à préciser :.....

26. L'ADE peut- elle établir des études et des réalisations des réseaux d'alimentation en eau potable ?

Oui : Non :

27. Si vous avez répondu par Non à la 26^{ème} question dite pourquoi?

Manque de personnels qualifiés :

Manque de moyens matériels:

Autres à préciser:.....

.....

28. Entant qu'entreprise de gestion exigez-vous de la qualité de vos co- contractants?

Oui : Non :

29. Disposez-vous des plans de recollement des réseaux d'AEP?

Oui : Non :

30. La mise à jour des plans de recollements s'effectué t-elle après chaque modification?

Oui : Non :

V/LA QUALITÉ

31. Avez vous une stratégie de management qualité?

Oui: Non:

32. L'ADE dispose t-elle des moyens adéquats pour la mise en place d'un système de management qualité?

Oui : Non :

33. L'ADE est-elle certifiée ISO?

Oui: Non:

34. Pour améliorer la structure de l'ADE sur quel plan faut il se focalisé le plus d'efforts?

Plan organisationnel:
Plan matériel:
Plan financier:
Autres à préciser:.....
.....

35. L'entreprise dispose t- elle d'une stratégie d'achat d'équipement ?

Oui : Non :

36. L'ADE dispose t-elle d'un archive bien ficelé ?

Oui : Non :

37. Avez vous évalué le coût de la non qualité?

Oui : Non:

38. Avez vous une connaissance parfaite de votre client?

Oui : Non:

39. Développez-vous une stratégie de prise en charge de la qualité de réception de vos clients?

Oui : Non:

40. Que faites vous pour satisfaire vos clients?

Respectez les horaires de distribution d'eau:
Intervenir rapidement pour la réparation des fuites d'eau:
Assurez une pression d'eau acceptable aux abonnés:
Établir un échancier de paiement des factures:
Autres à préciser:
.....

41. Les réclamations des abonnés sont elles prises en charge par vos soins ?

Oui : Non:

42. Votre entreprise a-t-elle mis à la disposition des abonnés un numéro vert ?

Oui :

Non:

43. Que pensez vous de l'accueil que vous réservez à vos abonnés ?

Bon :

Moyen :

Mauvais :

VI / GESTION DU RÉSEAU

44. Que représente la qualité pour vous dans l'entreprise?

Qualité de service livré:

Qualité des réseaux d'A.E.P :

Qualité de l'eau :

Autres à préciser:

45. Est-ce que vous informé vos abonnés en cas de coupure d'eau pour éventuelle réparation ?

Oui :

Non:

46. Par quels moyens?

❖ Radio:

❖ Affichage:

❖ Autres à préciser:.....

47. Quelle est la cause qui mène le plus à l'apparition des fuites au niveau des réseaux d'AEP?

L'âge de la conduite:

La nature du sol:

La mauvaise manœuvre des fonteniers

Lors de l'ouverture et la fermeture des vannes:

La corrosion:

La mauvaise conception:

La mauvaise réalisation:

La mauvaise qualité du matériau utilisé:

48. Disposez-vous d'une équipe de détection de fuites au niveau de chaque secteur de l'ADE?

Oui :

Non:

49. Si oui précisé le nombre de personnes dans l'équipe:

- Un (01): Deux
(02): Trois
(03): Ou
plus:

50. Disposez-vous d'une équipe d'intervention au niveau de votre secteur pour la réparation des fuites d'eau?

Oui : Non:

51. Si oui précisé le nombre de personnes dans l'équipe: Un

- (01):
Deux (02):
Trois (03):
Ou plus:

52. Pensez-vous que vos agents réparent les fuites d'eau dans des délais raisonnables?

Oui : Non:

53. Ya t-il des réclamations des abonnés concernant la facturation?

Oui : Non:

54. Existe t-il un programme de généralisation du comptage pour la facturation au forfait?

Oui : Non:

55. Ya t-il une politique pour changer les anciens compteurs?

Oui : Non:

56. Le mode de facturation au forfait est - il bénéfique pour l'entreprise ADE?

Oui : Non:

57. Le taux de fuite est - il établi sur la base de rapport entre volume distribué et facturé?

Oui :

Non:

Si non comment?

.....
.....

58. Le taux de fuite est- il un indicateur pour établir un programme de rénovation du réseau d'AEP?

Oui :

Non:

59. Quel est le taux de fuites nécessaire pour entamer la rénovation des réseaux d'AEP?

10%:

20%:

30%:

40% :

50%:

ou plus:

60. combien est estimé le taux de fuite actuellement au niveau du réseau d'alimentation en eau potable de la Wilaya ?

10%:

20%:

30%:

40%

50%:

ou plus:

61. Disposez-vous des outils de détection des fuites d'eau?

Oui :

Non:

Si oui quels sont les plus utilisés?

.....
.....
.....

62. Les piquages illicites d'eau sont- ils recensés par l'ADE ?

Oui :

Non:

63. Quelles sont les mesures prévues par l'ADE pour réduire les piquages illicites d'eau ?

- a. Suppression du branchement :
- b. Régularisation :
- c. Ester en justice :
- d. Autres à préciser :

64. Ya t-il un programme de distribution d'eau potable ?

Oui : Non:

65.. Le programme de distribution d'eau est-il respecté ?

Oui : Non:

66.. Est-ce que l'entretien des compteurs est pris en charge par l'ADE ?

Oui : Non:

67. Que pensez-vous de la fiabilité des compteurs installés par vos soins ?

Bon : Mauvais :

68. Est - ce que vous effectuez le contrôle des travaux des réseaux d'AEP?

Oui : Non :

69. Que pensez-vous de la qualité des travaux de réparation des fuites d'eau exécutés par vos soins ?

Bonne : Moyenne : Mauvaise :

70. L'ADE peut -elle améliorer la situation de l'AEP ?

Oui : Non :

71. Si oui comment :

- Réduire le taux de fuites d'eau dans les réseaux :
- Augmenter la dotation en eau :
- Améliorer la qualité de l'eau :
- Autres à préciser:.....

QUESTIONNAIRE ADRESSE AUX ABONNES DU GUT

Le présent questionnaire rentre dans le cadre de la préparation de la thèse de doctorat, en hydraulique, intitulée : **Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG – Cas du groupement urbain de Tlemcen**. Et dans le cadre du mémoire de magister en Civil Engineering Management, dont le thème est : **L'approche Total Quality Management pour la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable**.

Il est adressé aux abonnés du groupement urbain de Tlemcen (Tlemcen, Mansourah et Chetouane).

Cadre réservé aux renseignements de la personne remplissant le présent questionnaire

Fonction :

Age

Sexe :

Situation Familiale :

Habitats : Individuel : Collectif : Semi- Collectif :

I/ LES SERVICES

1. Êtes- vous satisfait du programme de distribution d'eau?

Oui : Non:

2. Etes- vous informé en cas de coupure d'eau pour éventuelle réparation ?

Oui : Non:

3. Par quels moyens?

❖ Radio:

❖ Affichage:

❖ Autres à préciser:.....

.....

4. Les factures arrivent- elles à temps?

Oui : Non:

5. Est-ce que le montant de la facturation d'eau représente réellement le volume d'eau consommé par vos soins?

Oui : Non:

6. Qu'est ce que vous pensez de la fiabilité des compteurs installés par l'ADE?

Bon : Mauvais:

7. L'ADE vous propose t-elle un échéancier (calendrier) de paiement au cas ou votre facture représente un montant important?

Oui : Non:

8. Est ce que la facturation au forfait vous convient?

Oui : Non:

9. Est-ce que l'entretien des compteurs est pris en charge par l'ADE?

Oui : Non:

10. Etes- vous satisfait de la qualité de l'eau au robinet?

Oui : Non:

11. Que pensez-vous de la pression d'eau au niveau de votre logement?

- a. Acceptable:
- b. Faible:
- c. Nulle:

12. Est-ce que le prix du mètre cube d'eau consommé vous parez acceptable?

Oui : Non:

13. Est-ce que la ponctualité des releveurs des indices des compteurs d'eau de l'ADE est respectée ?

Oui : Non:

14. Le mode de paiement des factures de consommation d'eau potable actuel vous convient il ?

Oui : Non:

15. Si non que choisissiez-vous parmi ces modes de paiement ?

- a. Le payement à la maison :
 - b. Le payement par prélèvement de compte bancaire :
 - c. Autres à préciser :
-

16. Est-ce que vous connaissez le détail de calcul de votre facture de consommation d'eau ?

Oui :

Non:

17. Est-ce que vous connaissez les tranches de facturation d'eau?

Oui :

Non:

18. Est-ce que vous avez un compteur ?

Oui :

Non:

19. Si oui de quel type :

Individuel :

Collectif:

II/ ACCUEIL ET ÉCOUTE CLIENT

20. Les journées de réception pour réclamations et informations au niveau de l'ADE sont- elles connues par vos soins?

Oui :

Non:

21. Vos réclamations sont-elles prises en charge par l'ADE?

Oui :

Non:

22. Est-ce que l'ADE a mis à votre disposition un numéro vert?

Oui :

Non:

23. Est-ce que les fuites d'eau au niveau du réseau d'AEP sont signalées à l'ADE par vos soins?

Oui :

Non:

24. Est-ce que les horaires de travail de services d'encaissement des redevances de l'ADE sont ils affichés?

Oui :

Non:

25. Que pensez- v o u s de l'accueil qui vous est réservé par le personnel de l'ADE?

Bon:

Moyen:

Mauvais:

III/ EXÉCUTION DES TRAVAUX

26. Les réparations des fuites d'eau par l'ADE sont- elles rapides?

Oui :

Non:

27. Est-ce que les délais proposés par l'ADE pour les branchements particuliers sont respectés?

Oui :

Non:

28. Que pensez-vous de la qualité des travaux de réparation des fuites d'eau exécutés par l'ADE?

Bonne :

Moyenne:

Mauvaise: